SÆRTRYKK 110

Angrep på betong i jord, fjell og vann

Av cand.real. ARNE KJENNERUD
Norges byggforskningsinstitutt

BYGGFORSK
Norges byggforskningsinstitutt (NBI)
Postboks 123, Blindern, 0314 Oslo 3

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

NBI

OSLO 1965

Angrep på betong i jord, fjell og vann

Av cand. real. Arne Kjennerud

Norges byggforskningsinstitutt

DK 691.32

I likhet med andre materialer undergår også betong og mørtel så vel kjemiske som fysiske forandringer dersom de utsettes for de vanlige nedbrytende krefter som virker i naturen. Den første som bevisst gikk inn for forskning på dette feltet var den engelske ingeniør J. Smeaton (1756). Hans undersøkelser gikk blant annet ut på å bestemme holdbarheten av forskjellige mørtel- og betongkvaliteter under ulike ytre forhold. Ved å utsette støpte prøvelegemer for henholdsvis ferskt vann og salt vann kunne han på grunnlag av sine målinger konkludere at den mest holdbare mørtel fremkom dersom man ved cementfremstillingen benyttet kalkstein som var sterkt forurenset med leire. Kvalitetsforbedringen mente han skyldtes leire-innholdet. Senere fulgte det flere forskere som alle ydet viktige bidrag til å komme fram til bedre cementkvalitet, men det var først etter at engelskmannen J. Aspedin tok ut patent på portland cement i 1824 at det kom fart i sakene. Etterhvert som anvendelsesområdet for portland cement øket, fikk man samtidig også inn rapporter over holdbarheten. Man erfarte at mørtel — eller betongkonstruksjoner av samme kvalitet, men som var anbragt i jorden på forskjellige steder viste en markant forskjell i holdbarheten. Dette måtte ha sammenheng med forholdene på vedkommende sted, og måtte være forårsaket av stoffer i jorden, fjellgrunnen eller i grunnvannet som virket skadelig.

Kjemisk forvitring av betong og mørtler omfatter en gruppe prosesser som skyldes aggressive stoffer i grunnvannet eller i jorden. Disse prosesser er ikke bare begrenset til overflaten av vedkommende konstruksjon, det er også mulig for løsningene å trenge dypere inn i betongen. En fortløpende oppløsning av de opprinnelige mineraler synes å være den primære årsak til ødeleggelsene. Samtidig fremkalles sekundære krystalline forbindelser som erstatter den opprinnelige cementpasta og som på annen måte deltar i nedbrytningen. Ved forvitringsprosessen vil de forskjellige hydratiserte cementmineraler, som bare er stabile i det miljø de er dannet, dvs. pH-verdi på 11—13, undergå en forandring og vil avspalte Ca^{++}-joner for å opprettholde likevekten. Tilbake blir det en uoppløselig rest av en del bestående av $SiO_2.nH_2O$, $Al(OH)_3$ og $Fe(OH)_3$.

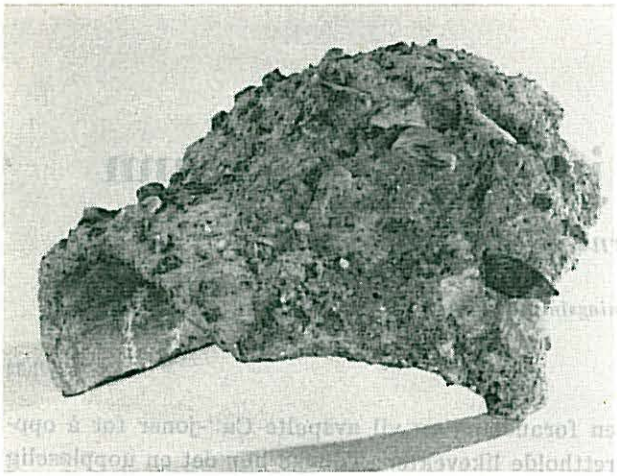
Ødeleggelsene synes i mange tilfelle å ha et begrenset omfang, idet det ofte dannes soner eller områder i konstruksjonen som styrkemessig sett varierer meget selv innenfor små avstander. Disse svakhetssoner kan være opprinnelige og skrive seg fra inhomogen betong eller mørtel, f. eks. fremkommet ved uheldig gradering av tilslagsmaterialet, eller det kan også skyldes lokale variasjoner i mengdeforholdet av skadelige stoffer i grunnvannet.

I det følgende er det søkt redegjort for de viktigste destruktive agenser for cementbundne materialer; deres forekomst — dannelsesmåte samt skadelig innvirkning på betong.

Innvirkning av CO_2-holdig (kullsyreholdig) vann.

Karbondioksyd forekommer i tre forskjellige former i naturlig vann. En av disse er karbonsyre (H_2CO_3) som dannes når karbondioksyd løses i vann. Denne forbindelse er vanligvis kalt «fri karbondioksyd» eller «fri kullsyre». Karbondioksyd forekommer også i bundet form som kalsiumkarbonat ($CaCO_3$) og kalsiumbikarbonat $Ca(HCO_3)_2$. Kalsiumbikarbonat kan bare eksistere i vanndige løsninger og i nærvær av karbonsyre. Hvis fri karbonsyre ikke er tilstede i løsningen i tilstrekkelig mengde, vil kalsium bikarbonat spaltes i karbonsyre og kalsiumkarbonat. Som et resultat av denne reaksjonen vil kalsumkarbonat felles ut. Den mengde karbonsyre (fri kullsyre) som skal til for å hindre en slik spaltning av bikarbonat, øker med økende mengde av kalsium bikarbonat, og avtar vanligvis med den totale konsentrasjon av andre løse substanser i vannet (andre enn kalsium-forbindelser).

I nærvær av vann vil både karbonsyre og kalsium bikarbonat kunne reagere med kalsiumhydroksyd som er tilstede i cement og danne kalciumkarbonat.



Utvendig korrosjon av betongrør på grunn av blott CO_2 holdig grunnvann.

Reaksjonen kan antydes på følgende måte:

$$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 = CaCO_3 + 2H_2O \quad (1)$$

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3 + 2H_2O \quad (2)$$

Kalsiumkarbonat som dannes på denne måten vil avleires på overflaten av betongen eller på veggene i porene nær overflaten. Dersom vannet i kontakt med betongen inneholder nettopp nok karbonsyre for å hindre spaltningen av kalsium bikarbonat som er tilstede i løsningen, vil det rimeligvis avsettes karbonat i alle porene til disse er fullstendig fylt.

Hvis vannet på den annen side inneholder mere karbonsyre enn det som er nødvendig for å hindre spaltningen av kalsium bikarbonat i løsningen, vil noe av dette overskuddet kunne reagere med kalsiumkarbonat som er dannet ved de to foregående reaksjoner og danne kalsiumbikarbonat etter følgende mønster:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 = Ca(HCO_3)_2 \quad (3)$$

På denne måten dannes den relativt løselige forbindelse kalsium bikarbonat som igjen vil kunne fjernes fra løsningen. Som en konsekvens av dette vil porøsiteten og permeabiliteten av betongen øke. Det skal bemerkes at ikke all overskudds karbonsyre som opprinnelig er tilstede, vil kunne ta del i den ovennevnte reaksjon. Noe holdes tilbake for å hindre spaltningen av kalsium bikarbonat som også dannes ved denne reaksjonen.

Den delen av karbonsyre som kan reagere på denne måten, kalles for «aggressiv karbondioksyd» eller «aggressiv kullsyre». Det er denne delen av tilstedeværende karbonsyre som kan skade betong. Man kan få inntrykk av mengden aggressiv kullsyre i en vannprøve ved å foreta en utristing med fast $CaCO_3$ og så bestemme økningen av vannprøvens kalsium bikarbonatinnhold. Dette er en nokså tidskrevende operasjon idet den endelige likevekt for ligning (3) er meget tidsavhengig. I særlig grad er dette tilfelle dersom vannet inneholder spor av metalljoner som Cu, Zn, Hg, Sc. Det vil innstille seg en tilsynelatende likevekt som ligger langt under den virkelige. Grunnen til dette er at de nevnte metalljoner vil absorberes på overflaten av kalsitkrystallene og her blokkere visse aktive centra ved utfelling av tungtløselige metallkarbonater. Metalljonenes inhiberende virkning synes å gjøre seg gjeldende i konsentrasjoner på under 10^{-6}mol/l. Skal man derfor få en korrekt verdi for innholdet av aggressiv kullsyre etter denne metoden, må ristingen av vannprøven foregå i flere døgn. Det forutsettes da at ikke noe kullsyre går tapt ved f. eks. lekkasje. Innholdet av aggressiv kullsyre i en vannprøve er ikke bare avhengig av innholdet av fri kullsyre, men er også avhengig av mengden kalsium bikarbonat og av andre substanser som er tilstede i vannet. Dette innebærer igjen at brakkvann eller sjøvann med en gitt konsentrasjon av karbondioksyd har en meget mer ødeleggende effekt på betong enn ferskt vann med det samme innhold av karbondioksyd, fordi en større mengde av den totale CO_2 her vil være aggressiv.

Karbondioksydholdig overflatevann eller grunnvann som enten strømmer over eller igjennom kalkholdige sedimenter, vil meget ofte være mettet med hensyn på kalsium bikarbonat og dermed også mindre skadelig for betong. Dette er da også grunnen til at aggressivt surt vann ikke er mere utbredt i naturen enn det er. Imidlertid kan et slikt vann som har tapt sin aggressivitet ved reaksjon med kalkholdige sedimenter, på nytt bli aggressivt dersom dette fortynnes med vann som inneholder lite eller ikke noe kalsium bikarbonat, selv om dette vannet heller ikke er aggressivt. Dersom fortynningsvannet er ferskt, vil den totale blandingen oppnå en ubetydelig økning i aggressiv karakter, men dersom fortynningsvannet er sjøvann, kan aggressiviteten øke ganske betraktelig.

Den mest iøynefallende effekt av kullsyreangrep på betong er at kalk fjernes fra cementpastaen og at den resterende del av kalken enten helt eller delvis omdannes til kalsium karbonat. Silika vil også til en viss grad lutes ut, men meget langsommere enn kalken. Som en konsekvens av disse prosesser vil pastaen inneholde betraktelig mere jern- og aluminiumoksyd, noe mere silika og adskillig mindre kalk enn det som opprinnelig er til stede i cementen. Dette bevirker igjen at styrken av betongen blir mindre. Eksperimenter har vist at reduksjon i styrke er proporsjonal med tap av kalk, og styrken av betongen er praktisk talt null når halvparten av det opprinnelige kalkinnhold er lutet ut.

Humussyre, industrielle forurensninger av vann.

Mange steder, særlig i sumpige og myrlendte områder, støter man på vanntyper som har tydelig aggressiv karakter overfor betong, uten at dette bare kan tilskrives innholdet av opløst karbondioksyd. Disse vanntyper inneholder de såkalte humussyrer som er en fellesbetegnelse for en rekke svake organiske syrer som dannes ved nedbryting av organisk materiale. Slike forbindelser vil i likhet med andre sure forbindelser i kontakt med betongen bevirke ustabilitet av de opprinnelige cementmineraler som vil avspalte kalsiumhydroksyd. Samtidig med dette dannes tungt løselige kalsiumhumater som vil legge seg rundt cementkornene og til en viss grad beskytte dem for videre angrep, samtidig som betongen vil bli mere ugjennomtrengelig for løsninger.

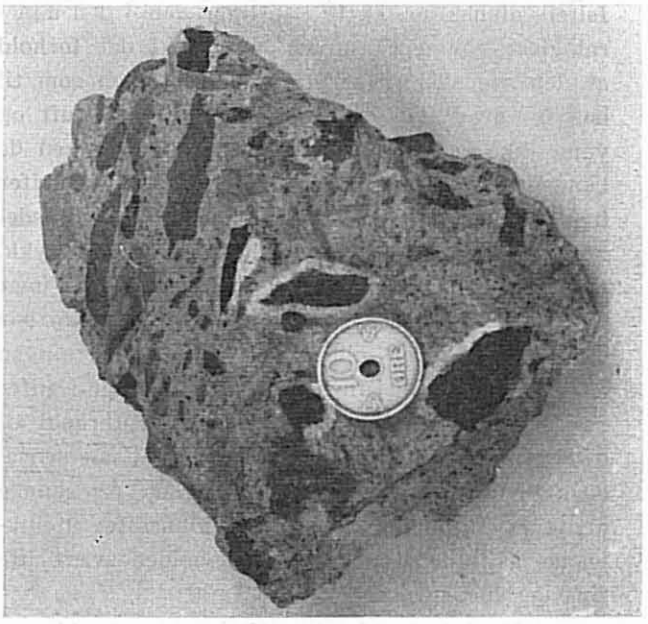
Foruten de mere naturlig forekommende destruktive agenser som kullsyre og humussyrer, kan grunnvannet mange steder få et tilskudd av skadelige stoffer fra industrielle anlegg både som spillvann og avgasser fra fyringsanleggene. Det man i første rekke tenker på er de sure forbrenningsprodukter som dannes i forbindelse med fyring med særlig tunge oljer. Her dannes det tildels store mengder av svoveltrioksyd og svoveldioksyd som sammen med fuktigheten i luften vil danne svovelsyre. Dette er kanskje særlig utbredt i våre dager, dels fordi tunge oljer i stadig økende grad erstatter andre energikilder, og dels fordi forbrenningsmetoden er blitt noe anderledes. På grunn av korrosjonsfaren i kjeleanlegget og i avtrekkskanaler, har man avpasset forholdene så som brenntemperatur, tilførsel av olje og luft osv. slik at de korrosive stoffer først dannes noe senere og høyere oppe i avtrekkssystemet enn tidligere.

Foruten at det i rene avgasser dannes sure komponenter, vil det i spillvann, og særlig fra kjemiske bedrifter, kunne forekomme stoffer som virker skadelig på betongrørledninger o. l., og da igjen fortrinnsvis sure komponenter.

Alunskifer — og alunskiferens innvirkning på betong.

Der hvor undergrunnen består av alunskifer vil ofte betongkonstruksjoner som grunnmurer, fundamenter, rør o. l. forvitre etter ganske kort tid. Forvitringen kan dels være mekanisk og skyldes volumutvidelser i konstruksjonen eller i undergrunnen, dels være av kjemisk natur ved at cementpastaen erstattes med andre mineraler eller begge deler.

Petrografisk sett er alunskifer en fellesbetegnelse for en rekke mørke skifrige bergarter, avsatt som



Alunskiferkorn i betong med reaksjonssone av gips og ettringitt.
(Fra Norges geotekniske instituts publikasjon nr. 37.)

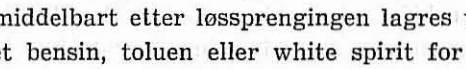
slam i grunne havområder for flere hundre millioner år siden. Det slam som senere herdnet til vår alunskifer, ble i tidsrommet mellom-kambrium og i begynnelsen av ordovicium, avsatt i et havområde som den gang dekket til dels store arealer av det nåværende Skandinavia og Baltikum.

Et karakteristisk trekk ved bergarten er at både svovelinnholdet og karboninnholdet ofte er meget høyt og kan variere ganske meget fra en lokalitet til en annen. Svovelinnholdet foreligger utelukkende bundet til jern i form av svovelkis (FeS_2) og/eller magnetkis ($FeS_{0.99}$ $FeS_{1.14}$) og forekommer i en gjennomsnittlig mengde på 5—7 % beregnet som fritt svovel. Etter all sannsynlighet skyldes skiferens svovelinnhold sulfatreduserende bakterier, idet disse har omdannet sulfat til hydrogensulfid som igjen har reagert med jern og dannet 2-verdig jernsulfid. Innholdet av karbon varierer meget og kan gå fra bare noen få prosent til hele 40—50 % innenfor relativt små avstander. Skiferens innhold av karbon er enten på antrasittbasis eller på bitumenbasis og inneholder da som regel en del flyktige forbindelser som olje og gass. Det tilstedeværende karbon er sannsynligvis dannet ved vanlig nedbryting av organisk materiale. Selv om den nåværende alunskifer her i Skandinavia er avsatt innenfor samme tidsperiode og ventelig av den grunn skulle være nokså ensartet hva utgangsstoffer angår, så er det allikevel stor forskjell på f. eks. den svenske alunskifer og den vi har i Osloområdet. Den viktigste forskjell, i hvert fall i denne forbindelse, er at den svenske skifer er gjennomgående mindre aggressiv overfor betong enn Oslo-

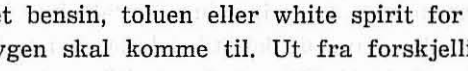
feltets alunskifer. Dette kan ligge dels i den mineralogiske sammensetningen og dels i det forhold at den svenske skifer inneholder bitumen som til en viss grad beskytter bergarten, slik at luft og vann ikke i den grad kommer i kontakt med de skadelige sulfidmineraler. Oslo-feltets alunskifer har i langt større grad vært utsatt for fjellkjedefoldinger og eruptiv virksomhet slik at både trykk, temperatur og bevegelser har fått en meget mer inngripende virkning på vår alunskifer. Dette har da bevirket at den mineralogiske sammensetningen er blitt noe forskjellig, således at vår alunskifer har et større innhold av magnetkis i forhold til svovelkis; sannsynligvis på grunn av at noe svovel er gått tapt ved de nevnte prosesser. Av samme årsak er karboninnholdet i vår alunskifer utelukkende på antrasitbasis, og inneholder svært lite flyktige forbindelser.

Av alunskiferens komponenter er magnetkis, og særlig en monoklin variant av denne, den mest skadelige for betong. Dette mineral er så reaktivt at det kun ved kort tids lagring i fuktig luft oksyderes til sulfat. Av samme grunn benyttes en spesiell metodikk for prøvetaking av alunskifer, idet prøven umiddelbart etter løssprengingen lagres under renset bensin, toluen eller white spirit for at ikke oksygen skal komme til. Ut fra forskjellige forsøk man har gjort med alunskifer har det vist seg at man ved gjennomforvitring av bergarten har fått dannet mere sulfat enn den mengde som teoretisk skulle tilsvare innholdet av magnetkis. Dette tydes da som at den tilstedeværende mengde magnetkis har katalysert svovelkisens oksydasjonsreaksjon. Forsøk som har vært gjort med alunskifer inneholdende bare svovelkis, viser ingen tegn til slik forvitring; svovelkis er i seg selv meget stabilt såfremt det forekommer alene. Forvitringshastigheten er også til en viss grad avhengig av kornstørrelsen på de tilstedeværende jernsulfider. Den katalytiske virkningen av magnetkis er sannsynligvis av elektrokjemisk natur, idet de to mineraler i ledende kontakt med hverandre danner et element med resultat galvanisk korrosjon. I et system svovelkis-magnetkis vil svovelkis kunne opptre både som pos. og neg. pol overfor magnetkis, alt etter hvilke pH-verdier som er tilstede i vannfasen. Reaksjonshastigheten er også sterkt avhengig av det miljø hvor prosessene foregår. Ved rik oksygentilgang synes forvitringsprosessen vesentlig å gå ut over magnetkisen, mens ved mere moderate mengder oksygen synes magnetkisen først å katalysere oksydasjonen av de svovelkiskrystaller som er i ledende kontakt med magnetkis. Først når kontaktpunktet mellom de to mineraler er forvitret, inntrer oksydasjonen av magnetkis.

Som det vil ha fremgått av det foregående, vil de tilstedeværende sulfidmineraler i alunskiferen sammen med oksygenholdig vann primært danne 2-verdige jernløsninger med pH omtrent nøytral. For betongmaterialer er dette den absolutt mest skadelige forbindelse, idet 2-verdig jernsulfat p.g.a. løselighetsforholdene meget lett vil kunne trenge inn i betongen og bringe med seg tildels store mengder sulfat. Inne i betongen hvor pH normalt ligger på 11—13 pH-enheter, vil løseligheten av 2-verdig jern være så liten at dette felles ut som jernhydroksyd samtidig som det dannes gips og/eller etringitt ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$). Denne forbindelsen må oppfattes som en dobbeltforbindelse av sure aluminater og kalsium sulfater og er tidligere ofte kalt sulfaluminat og kalsium aluminosulfat. I de tilfelle hvor det samtidig kan foregå en oksydasjon av 2-verdig jern inne i betongen, som f. eks. ved varierende grunnvannstand, vil det utfelte 2-verdige jern hydroksyd oksyderes til 3-verdig jern hydroksyd samtidig som det dannes svovelsyre. Dette kan anskueliggjøres ved følgende likninger:



$$2FeSO_4 + 4H_2O = 2Fe(OH)_2 + 2\ H_2SO_4$$



$$2(Fe(OH)_2 + \tfrac{1}{2}O_2 + H_2O = 2Fe(OH)_3$$

Som en konsekvens av denne reaksjon vil pH i betongens indre avta, stabiliteten av cementkomponentene avtar og disse vil kunne løses lettere. De er som kjent lettere løselige ved lave pH-verdier enn ved høye. Under slike forhold vil vi ha de typiske syreangrep.

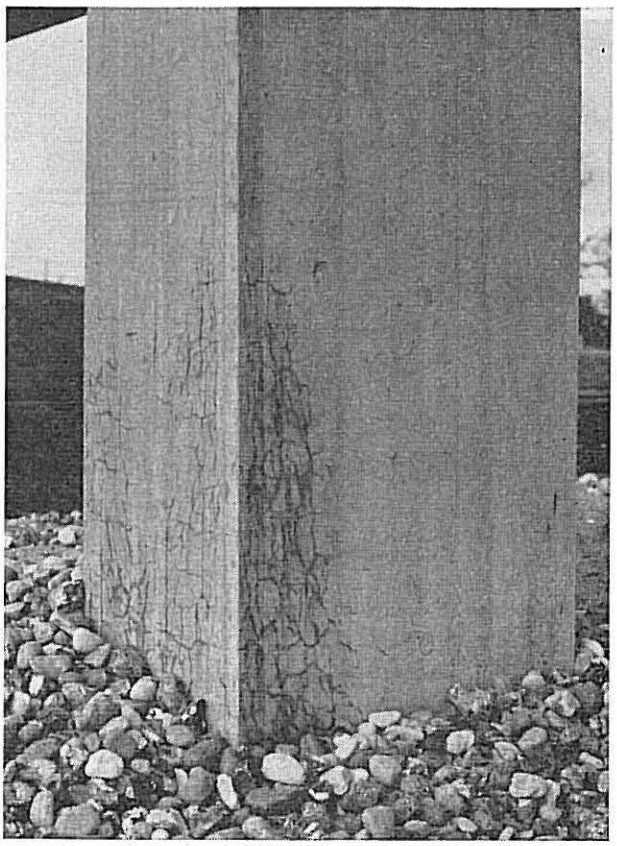
Dersom de 2-verdige jernløsningene på forhånd er gjennomluftet, eller sagt på annen måte, dersom ovenfor nevnte reaksjon har foregått i løsningen før denne kommer i kontakt med betongen, vil reaksjonsforløpet bli noe forskjellig. Ved denne reaksjonstypen vil vi ha et syreangrep på overflaten av betongen. Under oksydasjonen dannes store mengder med ren svovelsyre, pH synker ofte til under pH 3, og 3-verdig jern vil forbli i løsningen. I kontakt med betongen vil — på grunn av løselighetsforholdene — jernet felles ut som jern (tre-) hydroksyd og avsette seg som en gele på overflaten av denne og til en viss grad hindre videre inntrengning av sulfat. Svovelsyren vil angripe betongoverflaten og løse ut cementen samtidig som det dannes gips av tilstedeværende kalk og kalkspat.

Under forvitringen av alunskifer dannes det også en god del alkalisulfater. I likhet med 2-verdig jernsulfat, vil løsninger av natriumsulfat også kunne trenge dypt inn i betongen og derved kunne føre med seg store mengder med sulfat. Inne i

betongen vil natriumsulfat omdannes til natriumhydroksyd og natriumkarbonat, pH vil ved denne reaksjonen stige, og vi får det typiske sulfatangrep med dannelse av hovedsakelig etringitt.

Alkali-aggregatreaksjoner i betong.

Vanligvis hører tilslagsmaterialene til den delen av betongen som undergår minst forandring med tiden ved f. eks. lagring i jord. Tilslagsmaterialer som tas fra sand- eller grustak, består av bergartsfragmenter som gjennom lengre tidsrom har vært utsatt for forvitring både kjemisk og mekanisk og representerer derfor den mest stabile del av bergarten. Allikevel finnes det enkelte mineraler eller bergarter som i og for seg kan være stabile nok, men som sammen med de forhold som er til stede i betong, kan bevirke store skader. Slike skader er ofte langsomtvirkende og vises først mange år etter at betongen er herdnet. De bergarter eller mineraler det her siktes til, er slike som inneholder kiselsyre i en spesiell reaktiv form, og som sammen med de tilstedeværende alkalier i cementen reagerer under dannelse av alkalisilikat gel under utvikling av anseelige ekspansive krefter. Resultatet av dette er at konstruksjonen til å begynne med blir gjennomsatt av fine sprekksystemer som etter hvert som reaksjonen går for seg, blir større og større. For å få fremkalt slike reaksjoner er det nødvendig at alkali-innholdet i cementen er relativt høyt, og likeledes at innholdet av de aktive silikatmineraler er høyt. Det fremkommer ikke skader dersom reaktive aggregater kombineres med cement med relativt lavt innhold av alkalier. Innholdet av alkalier i cement varierer fra ca 0,4—1 % beregnet som sum av Na_2O og K_2O og en vesentlig del av dette vil gå i løsning i den første perioden av avbindingsprosessen. Det er vanlig å kalkulere den totale mengde alkali (R_2O) som ekvivalent med Na_2O, dvs. som prosentinnholdet av Na_2O pluss 0,658 ganger prosentinnholdet av K_2O. For å unngå ekspansjon selv med reaktive aggregater, har man satt innholdet av R_2O i cementen til max. 0,6 %. Mineraler som opal, calcedon, tridymit og enkelte typer metamorfe skifre som fyllitter, har alle vist seg å fremkalle alkalireaksjoner i forbindelse med alkalicement. Likeledes har visse typer flint vist seg å forvolde store skader i forbindelse med alkalirik cement. I Danmark f. eks. er slike skader meget utbredt og er vel en av de vanligste årsaker til betongødeleggelser. Selve mekanismen for ekspansjonen ved alkaliaggregat reaksjonene har man ikke helt løst ennå. En av de foreslåtte teorier går ut på at den herdnede *cementpasta* rundt de reaktive partikler virker som

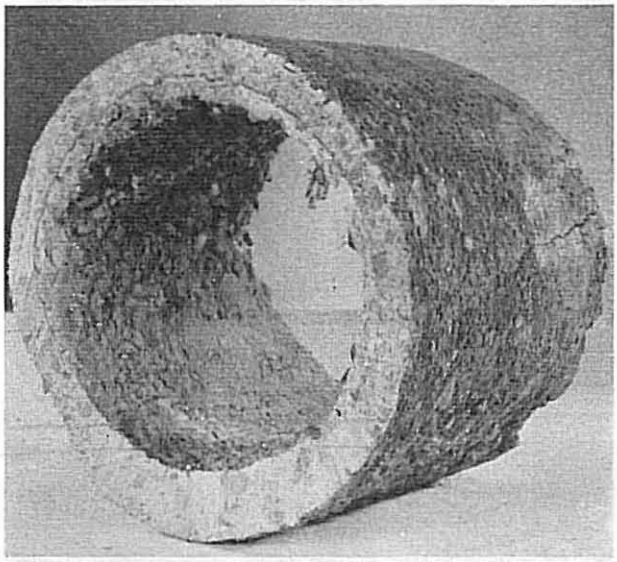


Eksempel på alkaliaggregatreaksjon i en bropillar.
(Foto: Betonforskningslaboratoriet — Karlstrup.)

en semi-permeabel hinne som tillater alkalihydroksyd å diffundere igjennom til partiklene, mens derimot de kompleksbundne silikatjoner hindres i å komme ut.

Et slikt system vil kunne utvikle ganske anselige trykk. Den ekspansive effekt er funnet å være mindre i porøse aggregater og betong enn i mere tette, idet de tilstedeværende hulrom og kapillarer vil kunne samle opp reaksjonsproduktene uten å utvikle spenninger. I de tilfelle hvor man er henvist til å bruke reaktive aggregater, er det en vanlig regel å bruke cement med et alkaliinnhold på under 0,6 % R_2O eller possulan-tilsetning. Possulan cement, som inneholder 15—30 % possulan av samme finhetsgrad som cementen, har vist seg i mange tilfelle å være heldig for å redusere ekspansjonen til tross for at denne i seg selv inneholder kiselsyre i reaktiv form. Virkemåten for possulantilsetning er ikke helt klarlagt, men det er antydet at den kan bestå i at possulaner har stor tendens til å ta opp natrium og kalium fra løsningen.

Possulan-tilsetningen til cement er jo av samme finhetsgrad som cementen og vil kunne resultere i at reaksjonsproduktet blir mere jevnt fordelt i hele betongen og ikke bare på bestemte områder rundt aggregatene. Enkelte luftinnførende tilsetningsstoffer virker også til å nedsette ekspansjons-



Innvendig korrosjon i kloakkrør på grunn av bakterievirksomhet med dannelse av gips på oversiden av vannspeilet.

effekten, sannsynligvis p.g.a. at slike stoffer frembringer atskillige hulrom hvor reaksjonsproduktene kan vokse uten å frembringe særlige spenninger.

Det er ikke alltid lett å kunne skille mellom skader frembragt av alkalireaksjoner og skader frembragt av frost eller andre destruktive virkemidler. Skadebildet kan i mange tilfelle være nokså likt, men tilstedeværelse av alkalisilikat gel på bruddflaten av betongen og tilstedeværelse av en reaksjonssone rundt partikkelaggregatene er typiske tegn på alkaliaggregatreaksjoner.

Skader på grunn av alkalireaksjoner er lite kjent hos oss.

Bakteriekorrosjon på betong.

Selv om korrosjon på betong frembragt av svovelbakterier i og for seg ikke er noe annet enn sulfatangrep, skal det for fullstendighetens skyld og fordi det i andre land er årsak til omfattende skader, som nå også har vist seg i Norge, tas med en del synspunkter i forbindelse med denne typen korrosjon. Det er særlig i septiktanker og i kloakkledningsnett at denne korrosjonstypen forekommer, og skadene arter seg på den måten at cementpastaen i de øverste partier av betongrøret omdannes til gips p.g.a. svovelsyre. Dannelsen av svovelsyre er et resultat av biologisk nedbrytning av sulfater i vannet til sulfidjoner. Sulfidjonene vil sammen med tilstedeværende hydrogenjoner danne hydrogensulfid. Denne gassen vil løses eller opptas i det kondenserte vannet i de øvre deler av røret, og i nærvær av visse bakterier vil hydrogensulfid sammen med oksygen danne svovelsyre. Foruten hydrogensulfid vil det kondenserte vannet også kunne inneholde gassarter som karbondioksyd, ammoniakk, metan, oksygen osv.

Alt etter hvilke betingelser som er tilstede som pH, oksygeninnhold osv., vil nedbrytningen av organisk materiale ved hjelp av bakterier kunne foregå på to forskjellige måter. Under aerobe forhold, d.v.s. hvis oksygen er tilstede i form av løst oksygen i vannet, eller hvis vannet inneholder nitrater, vil sluttproduktet ved spaltningen bli karbondioksyd, vann og noen andre forbindelser. Disse er luktfri og har liten korrosiv virkning. Under anaerobe betingelser, d.v.s. ved fravær av oksygen, vil en gruppe mikroorganismer kunne utnytte materialet som energikilde ved produksjon av protoplasma, og resultatet av dette blir dannelse av hydrogensulfid, merkaptan, ammoniakk, metan osv. Dette er forbindelser som lukter ille og har muligheter til å danne korrosive miljøer.

I septiktanker og kloakkledninger vil hydrogensulfid under bestemte forhold kunne omdannes på to forskjellige måter.

1) Nedbryting av svovelholdig organisk materiale. Mange mikroorganismer er i stand til å utnytte organisk materiale under anaerobe betingelser, og vil kunne danne hydrogensulfid som et av sluttproduktene.
2) Reduksjon av sulfater ved hjelp av en spesiell gruppe anaerobe organismer. Hvis sulfater er tilstede i relativt store mengder, vil produksjonen av hydrogensulfid ved hjelp av disse organismer bli meget større enn dem som danner hydrogensulfid ut fra organisk materiale.

Dersom det skal dannes sure komponenter i septiktanker og kloakkledninger og dermed følgende skader, må følgende betingelser være oppfylt:

1) Anaerobe forhold i kloakkvannet
2) Nærvær av sulfater og/eller svovelholdig organisk materiale
3) Avgassing av hydrogensulfid fra kloakkvannet
4) Kondensasjon av vann på veggene
5) Dårlig ventilasjon
6) Nærvær av oksygen i atmosfæren over vannet
7) Nærvær av anaerobe bakterier i vannet og
8) Gunstig temperatur

Kloakkvannet må være fritt for oppløst oksygen og inneholde sulfater og/eller svovelholdige organiske forbindelser, som danner næringsgrunnlaget for organismene som produserer hydrogensulfid. Hvis det dannede H_2S ikke forlater vannfasen, vil heller ikke skade oppstå på anlegget. Dette er også en metode for kontroll for slike anlegg. Selv om hydrogensulfid forlater vannfasen, behøver skader allikevel ikke oppstå, så sant fuktighet ikke kon-

denseres på rørveggene. Det er derfor en fordel at anlegget er godt gjennomluftet. Kondensert fuktighet på rørveggene danner gode vekstvilkår for aerobe organismer, Thiobacillicus, som igjen oksyderer hydrogensulfid til svovelsyre. Man har funnet at disse bakterier kan leve selv ved pH-verdier så lave som 1,0 pH-enheter. Foruten de her nevnte forhold, er pH i kloakkvannet av avgjørende betydning, og særlig for avgassingen av hydrogensulfid til atmosfæren over vannet. Ved pH-verdier fra 8 og oppover, vil bare en mindre del av den tilstedeværende sulfid kunne foreligge som hydrogensulfid og vil derfor ikke være skadelig. Ved fall i pH-verdien vil imidlertid hydrogensulfidmengden tilta hurtig, og dermed også skadeomfanget.

Som sagt er skader av ovenfor nevnte art mange steder sterkt utbredt, og det ser ut som om antallet av skadetilfelle øker fra år til år. Man kan spørre seg, hva er så grunnen til dette. Fra flere hold er det blitt antydet at dette muligens kan ha sammenheng med de syntetiske vaskemidler som i stadig økende grad i våre dager erstatter de gode gammeldagse såper. Slike vaskemidler vil løse opp det fett- eller slamlag som naturlig vil avsette seg i slike anlegg, og rørveggene vil ligge ubeskyttet. Denne forklaring kan nok ha mye for seg, men jeg tror at en viktig årsak til dette ligger i det forhold at man ved bruk av syntetiske vaskemidler øker konsentrasjonen av både sulfat og svovelholdige organiske stoffer i kloakkvannet, og derved skaffes bakteriene bedre vekstvilkår. De fleste syntetiske vaskemidler er jo som kjent på sulfonatbasis.

Slutning. Fremtidig forskning.

Holdbarheten av betong- og mørtelkonstruksjoner i jord er i det alt vesentlige avhengig av hvilke stoffer som er tilstede i jorden eller i berggrunnen, og som kan ekstraheres av grunnvannet. I et land som Norge hvor berggrunnen og jordsmonnet ofte består av sure bergarter som gneis, granitter, syenitt osv., vil den ekstraherende effekt av de fleste naturlige vanntyper som regel være ganske liten, og innholdet av oppløste stoffer i vannet vil ofte være sparsomt. Slike vanntyper betegnes som bløte, og det karakteristiske for dem er at bufferkapasiteten gjennomgående er lav, d.v.s. pH for slike vann endres ganske radikalt om man tilsetter selv ganske små mengder med sure eller basiske komponenter. Hvis temperaturen av vannet i tillegg også er gjennomgående lav, vil en relativt stor mengde kullsyre kunne foreligge oppløst i vannet som fri kullsyre, og vil kunne gi vannet en sur karakter med pH ofte på 4—5 pH-enheter. Slike vanntyper er meget utbredt og representerer derfor kanskje den viktigste årsak til de fleste betongødeleggelser i vårt land. Det er på basis av disse forhold at NBI har påtenkt et forskningsprogram som tar sikte på å undersøke holdbarheten i vann av forskjellige mørtel- og betongkvaliteter under varierende betingelser og da særlig varierende CO_2-innhold. Det er også av interesse å studere innvirkningen av kullsyreholdig bløtt vann på betong under forskjellige hydrauliske trykk. Slike data kan være av verdi ved bedømmelsen av holdbarheten av f. eks. en bestemt konstruksjon av en gitt betongkvalitet. Likeledes kan man få viktige opplysninger om holdbarheten av forskjellige rørledninger som står under et hydraulisk trykk.

Særtrykk nr. 2296

Aas & Wahl, Oslo 1965.

Omslaget trykt i J. Petlitz Boktrykkeri (Rolf Rannem), Oslo