

# Betong i jord

Corrosion on concrete in soil

Av cand. real. ARNE KJENNERUD

Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



---

OSLO 1967

# Betong i jord

Av cand. real. Arne Kjennerud  
Norges byggforskningsinstitut

sg 691.32 : 620.193  
K  
321

Som vel de fleste vet og har erfaring for, er alt her på jorden forgjengelig; tidens tann fortærer alt hva naturen og menneskene kan frembringe om den bare virker lenge nok. Materialer av tre råtner, metaller korroderer, bergarter forvitrer osv. Dette er en konsekvens av den lovmessighet som regjerer vår klode, idet alle stoffer som termodynamisk sett ikke er i likevekt med sine omgivelser — eller med sitt miljø som vi ofte sier — vil ha en tendens til å endre sin karakter på en slik måte at likevekten på nytt kan etableres. Slike miljøpåvirkede endringer i materialene kan være av ren fysisk natur, som f. eks. ved temperaturforandringer. Dette vil lett kunne føre til endringer i volumet og dermed også endringer i materialets spenningstilstand. Sluttresultatet er da ofte en oppsprekning. Miljøpåvirkede endringer i materialene kan også være av ren kjemisk natur, idet materialene som følge av reaksjoner med sine omgivelser omdannes til andre forbindelser og derved endrer sin opprinnelige struktur og egenskaper. I samme forbindelse kan det også være verdt å minne om de endringer i likevektsforholdene som er betinget av mikroorganismers innvirkning, noe som nettopp i våre dager synes å få en stadig økende betydning.

Grunnstoffet jern er et eksempel på en slik naturlig likevekts-tilstand. På grunn av de forhold som er til stede her på jorden, forekommer ikke dette fritt, men vil være bundet i kjemiske forbindelser som oksyder, sulfider, silikater osv. Disse forbindelser re-

presenterer altså en langt mere stabil tilstand enn det rene grunnstoff, og man må derfor tilføre energi hvis det er ønskelig for å bringe det over i sin metalliske form. Det er derfor åpenbart at man også må holde denne energi vedlike på en eller annen måte om ikke jernet skal gå tilbake til sin naturlige tilstand.

Om forholdene ikke er helt de samme, så gjelder det som her er nevnt om jern også i stor utstrekning for cement og cementbundne materialer. Både klinkerminerale og de hydratiserte cementminerale vil til en viss grad være i en slik labil tilstand termodynamisk sett og vil søke å endre sin karakter etter sine omgivelser. Dette skjer ved at mineralene bl. a. avspalter kalk, som så igjen reagerer videre med karbondioksyd i luften og danner kalkspat. Derved er man tilbake ved utgangspunktet igjen på samme måte som de naturlige jernminerale.

Når det gjelder holdbarheten eller bestandigheten av betong under forskjellige ytre forhold, kan man trekke fram en rekke eksempler fra det praktiske liv hvor også alle grader av holdbarhet kan komme til uttrykk. Vi kjenner eksempler fra gammel romersk og gresk byggekunst hvor betong og mørtelkonstruksjoner som vannledninger (aquadukter), dam- og havneanlegg i mange henseender fremdeles er intakte selv etter nesten 2000 års eksponering, samtidig som vi kjenner eksempler fra vår egen tid hvor konstruksjoner er blitt fullstendig ødelagt etter bare noen få år.

For bedre å kunne forstå selve

nedbrytningsprosessen av betong ved innvirkning av de forskjellige aggressive stoffer, skal det i det følgende ganske kort omtales en del generelle ting om betong og cement og deres sammensetning og struktur.

Som de fleste vet, består betong av en blanding av sand, stein, pukk, cement, vann og eventuelle tilsetningsstoffer som etter en herdingsprosess stivner til en hard, fast masse.

Sammenbindingen av de forskjellige aggregater skyldes cementens reaksjon med vann, idet reaksjonsproduktene delvis reagerer videre på overflaten av aggregatene og derved kitter dem sammen. Cementpastaen i seg selv har ingen fasthetsegenskaper, og den store fasthet som betongen etter hvert får skyldes dels disse overflatereaksjoner, og dels en rekrytallisering av de hydratiserte mineraler. Det er viktig at man har et velproporsjonert tilslagsmateriale slik at cementpastaen i det vesentligste bare ligger som en hinne og danner kontakten med de enkelte korn. Også fra et korrosjonssynspunkt er det viktig at cementpastahinnen er så tynn som mulig, for det er nettopp her de fleste kjemiske angrep starter. Tilslagsmaterialene består vanligvis av naturlig forekommende mineraler og bergarter, og er derfor langt mere motstandsdyktig overfor kjemisk påvirkning.

For å oppnå en best mulig sammenkitting av aggregatene og dermed en økt bestandighet overfor naturlig forekommende aggressive, er cementens sammensetning av den aller største betydning.



Fig. 1. Betongrør, ca. 8 år gammelt med utvendige skader på grunn av kullsyreangrep.

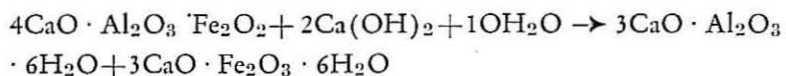
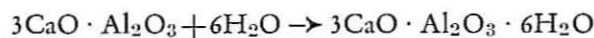
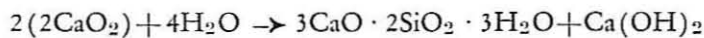
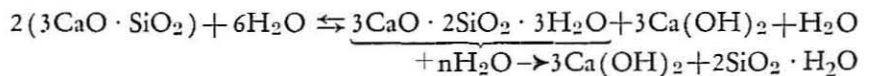
Den mest brukte cementtype — Portland-cement — er i sin sammensetning meget konstant hva oksydkomponentene angår — dette gjelder også cement levert fra forskjellige fabrikker — men den mineralogiske sammensetningen kan variere ganske betydelig. Dette er jo noe som avhenger av brenntemperatur, klinkerkornenes opphold i de forskjellige soner i cementovnen og sist men ikke minst — avkjølingsprosessen.

Tabell 1 viser variasjonene i mineralogisk sammensetning for de fire viktigste cementmineraler.

trikalsiumsilikat	
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	ca. 30—60 %
di-kalsiumsilikat	
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	» 10—30 %
tri kalsiumaluminat	
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	» 0—15 %
tetrakalsiumaluminatferrit	
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	» 1—8 %

Som nevnt skyldes sammenbindingen av aggregatene i betong primært cementmineralenes reaksjoner med vann. Disse reaksjoner

er karakterisert ved en rekke oppløsnings- og utfellingsprosesser, idet mineralene delvis vil gå i oppløsning for siden å utfelles igjen som hydratiserte forbindelser. Vi kan anskueliggjøre dette ved følgende ligninger:



Av disse ligningene skal vi bare merke oss den første, dels fordi det er denne som vanligvis er til stede i størst mengde og også dels fordi det er denne som er vesentlig ansvarlig for betongens egenskaper.

Som vi ser er dette en likevektsreaksjon, og reaksjonen vil gå så langt at det i tillegg til den mettede løsning av kalk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , også vil krystalliseres ut fast  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Blir denne blanding tilført vann slik at konsentrasjonen av  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  totalt sett avtar, vil det hydratiserte kalsiumsilikat spaltes av mere  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

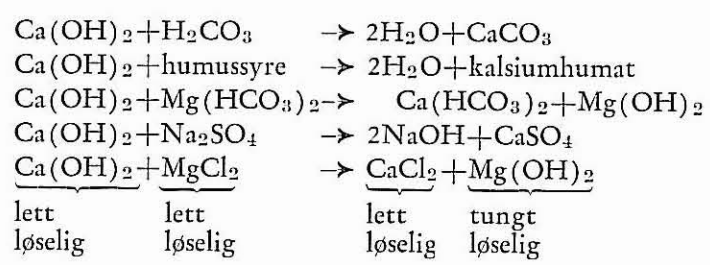
for å opprettholde likevektsforholdene, og sluttresultatet blir — dersom dette pågår lenge nok — en vannholdig gel av silika uten noen bindende egenskaper.

Betong- og mørtelkonstruksjoner i jord vil være utsatt for et begrenset antall typer kjemisk ødeleggelse, og vi skal i det følgende behandle tre typer av skader, nemlig: 1) skader p.g.a. oppløsning og utvasking, herunder innbefattet angrep av kullsyreholdig vann, humusholdig vann, industrielle spillvann o.l. 2) Skader p.g.a. sulfatangrep herunder innbefattet bakteriekorrosjon og 3) skader p.g.a. reaksjoner mellom cement og aggregater.

Som det vil ha fremgått av det foregående, er de hydratiserte cementmineraler bare stabile i det miljø hvor de er dannet, dvs. i en mettet løsning av  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  som samtidig har et visst overskudd av fast  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Endres imidlertid dette forhold, vil likevekten forstyrres og cementmineralene vil undergå en fornyet hydrolyse under avspalting av kalk for å gjenopprette likevekten, samtidig som ekvivalente mengder av kiseltsyre, aluminiumhydroksyd, jernhydroksyd blir tilbake. En måte hvorpå dette kan foregå, er ved at rent vann trenger inn i betongen

og nedsetter konsentrasjonen av  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  i denne. Dette vil være tilfelle f. eks. i betongrør som fører rent vann. Her vil kalsiumhydroksyd i stadig dypereliggende partier i betongen lutes ut av vannet og fjernes, og resultatet blir at tilslaget står igjen som en grynet masse.

Kalklikevekten kan også forstyrres ved at stoffer som på forhånd er oppløst i vannet, reagerer med kalken og danner tungtløselige kalsiumforbindelser. Dette vil være tilfelle for betongkonstruksjoner som utsettes for vanntyper inneholdende oppløst kullsyre, organiske syrer (humussyrer), sulfater og magnesiumsalter, og vi kan skrive reaksjonene på følgende måte:

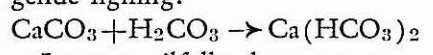


Særlig for betongkonstruksjoner i sjøvann vil de to siste ligninger være aktuelle. Sjøvann inneholder som bekjent ganske store mengder av disse salter, men også i vanlig grunnvann kan slike salter forekomme, særlig i forbindelse med leirholdig grunn. Mange av de nåværende leirer er som vi vet avsatt i tidligere perioder i havområder og har til en viss grad beholdt disse saltene.

*Kullsyreangrep på betong.*

Den angrepsform som kanskje er mest utbredt — i hvert fall i typisk kalde strøk som i store deler av vårt land — er kullsyreangrep. Alle typer vann: overflatevann, grunnvann, regnvann vil inneholde en større eller mindre mengde med oppløst kullsyre enten ved opptak av kulldioksyd fra atmosfæren eller fra nedbrytningsprosesser av organiske materialer i jorden eller i vannet. Hvis temperaturen er gjennomgående lav, kan slike vanntyper inneholde betydelig mengde kullsyre som igjen kan virke skadelig på betong. (Fig. 1.) Særlig damanlegg i våre høyfjellsstrøk vil være utsatt for slike angrep. Temperaturen er her vanligvis lav store deler av året, og på grunn av trykkforholdene i en slik dam

under innvirkning av mere kullsyre som kalsium bikarbonat. Vi kan anskueliggjøre dette ved følgende ligning:



I mange tilfeller kan et grunnvann ha tydelig aggressiv karakter overfor betongkonstruksjoner uten at dette kan tilskrives innhold av kullsyre. Det man her sikter til er slike vanntyper som stammer fra myr eller sumpige områder hvor vannet har fått sur karakter på grunn av de prosesser som foregår på slike steder. Dette er de såkalte humussyrer. Angrep av humussyrer vil for det meste bare bevirke rene overflateangrep, idet disse stoffer reagerer med kalk under dannelse av tungt løselig kalsiumhumater som til en viss grad vil virke tettende og hindre angrep innover i konstruksjonen.

Spillvann fra kjemisk industri hvor det tømmes sure løsninger, svake organiske syrer som melkesyre, garvesyre o. l. vil i kontakt med betong påføre denne skade. Likeledes vil regnvann som passerer sterk  $\text{SO}_3$ -holdig atmosfære — f. eks. fra fyringsanlegg med tunge oljer, inneholde oppløst svovelsyre og vil overføre kalken i betongen til gips.

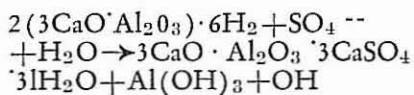
*Betong i forbindelse med alunskifer.*

Mange steder i vårt land finnes bergarter inneholdende forskjellige sulfidiske mineraler som under bestemte forhold omdannes til forbindelser som er særdeles skadelige for betong. Det siktes her til en bergart som går under betegnelsen alunskifer, som innehol-

Fig. 2. Alunskiferkorn innstøpt i betong med karakteristiske reaksjoner av etringitt og gips.



der jernsulfid, som svovelkis  $\text{FeS}_2$ , markasitt  $\text{FeS}_2$ , magnetkis  $\text{FeS}$  i en spesiell reaktiv form. I kontakt med et oksygenholdig vann vil det tungt-løselige jernsulfid — og særlig en monoklin variant av magnetkisen, som for øvrig også katalyserer oksydasjonen av de andre — overføres til løselig 2-verdig jernsulfat som kan trenge inn i betongen og omdanne kalsiumhydroksyd til kalsiumsulfat. Enda alvorligere er det om den til betong tilførte løsning med sulfat reagerer med innhold av trikalsiumaluminat-hydrat og danner forbindelsen etringitt. Skjematisk kan reaksjonen skrives som



Etringitt er en tungt løselig forbindelse og vil felles ut av løsningen, og den har praktisk ingen bindings- eller styrkeegenskaper. Av formelen ses at den inneholder 31 molekyler krystallvann, hvilket innebærer at man ved reaksjonen får en betydelig volumøkning (ca. 300 %), som igjen bevirker en sprengning av betongen. (Fig. 2)

I samme forbindelse skal også minnes om sulfatangrep på betong som skyldes innvirkning av spesielle sulfatreduserende bakterier. Det er særlig i septiktanker og kloakkledningsnett at slike skader kan forekomme, og skadene arter seg på den måten at cementpastaen — særlig i de øverste partier av betongrøret i luftrommet — omdannes til gips p.g.a. innvirkning av svovelsyre. Svovelsyren er dannet ved biologisk nedbrytning av svovelholdig mate-

riale til sulfider, og det dannes hydrogensulfid som kondenseres i de øverste deler av røret. I nærvær av visse bakterier (*Thiobacillus*) og oksygen vil hydrogensulfid omdannes til svovelsyre. Som vi ser av fig. 3 er den øverste sonen i det avbildete røret praktisk talt ren gips, og den minsker ned til laveste vannføringsstand i røret.

#### Alkali-aggregatreaksjoner.

Til slutt skal det nevnes en skadetype som er ofte forekommende i Danmark, men som er meget sjelden her hos oss — i hvert fall har ikke NBI noen data for utbredelsen i Norge. Dette er de såkalte alkaliaggregatreaksjoner, som kan opptre når tilslagsmaterialene inneholder kiselsyre i en spesiell reaktiv form. Av forekommende norske bergarter kan enkelte metamorfe skifere som f. eks. fylitt frembringe slike reaksjoner. Mekanismen for slike reaksjoner er at cementens inn-

hold av kalium og natrium reagerer med kiselsyren og danner en alkali kiselsyregel som virker sprengende. Skademønsteret er gjerne et tett nettverk av fine sprekker — riss i betongen som med tiden stadig blir større og større, og den virkelig store skaden vises etter 10—15 år. Det karakteristiske trekk er at det dannes gelé-lignende (vannholdige) dråper i bruddsonen, som vil bevirke at sprekken til enhver tid virker «fuktige».

Som vi ser av fig. 4 kan disse skader i en viss grad minne om sprekker p.g.a. frost eller kanskje av svinn (kontraksjonstsvinn, karbonatiseringssvinn), og det er vel kanskje fare for at man i noen tilfeller har tatt feil.

Som det vil ha fremgått av det foregående, vil de fleste angrepsformer på betong være betinget av at vann — enten med eller uten oppløste aggressive stoffer — bringes fram til konstruksjonen og

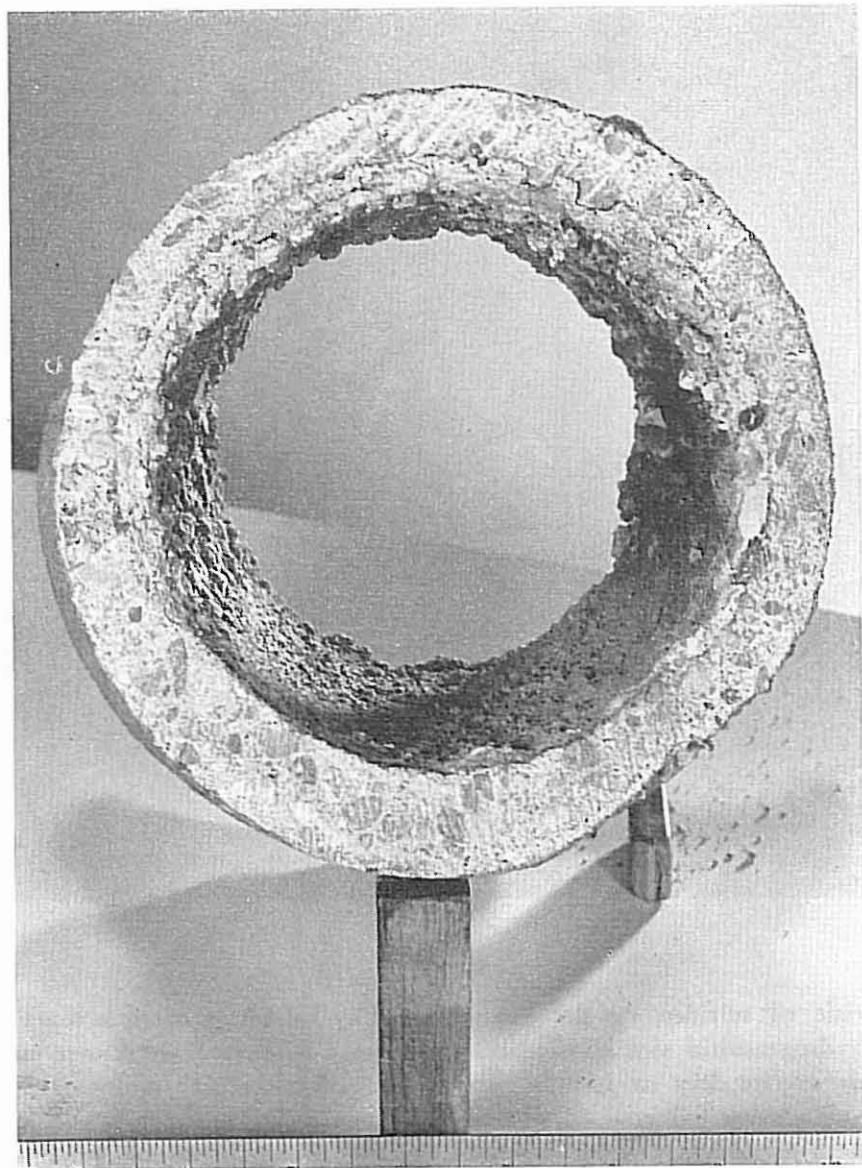


Fig. 3. Bakteriekorrosjon på rørledning fra kloakk-kum. Den øverste sonen av røret er praktisk talt ren gips.

delvis trenger inn i denne. Hastigheten hvorved nedbrytingen foreløper vil være avhengig av i hvilken utstrekning dette skjer — eller hvor raskt reaksjonen med betongen kan foregå, og hvor raskt igjen selve reaksjonsproduktene fjernes.

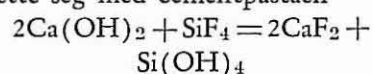
Det er klart at det er flere måter hvorpå man til en viss grad kan hindre dette. Den mest nærliggende måte er å gjøre betongen så tett som mulig. Dette oppnås ved bruk av riktig gradert tilslag og et korrekt w/c forhold som ikke må overstige 0,5. Man må videre ha: tilstrekkelig mengde cement, god støpelighet på blandingen (ingen vannsepara-

sjon), god komprimering og sist, men ikke minst god ettervanning. Derved vil et eventuelt angrep begrenses vesentlig til overflaten av konstruksjonen. Særlig i damkonstruksjoner og trykkvannsledning er det særlig viktig at betongen er så tett som mulig slik at utlutningen begrenses til et minimum. Også når det gjelder karbonatiseringsprosessen er det viktig at betongen er så tett som mulig. Som vi så i de foregående likninger, vil vann med oppløst kullsyre overføre  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  til  $\text{CaCO}_3$ , som vil skje ved en soneforflytning innover i betongen, og dermed reduseres jo også konstruksjonen rent styrkemessig. Dette er

også særlig viktig når man har med armerte konstruksjoner å gjøre, for etter hvert som karbonatiseringen skrider fram og når sonen med armeringen, vil stålet ikke lenger være innen sitt passivitetssområde, og vi kan forvente korrosjon på dette med sluttresultat — en oppsprekking.

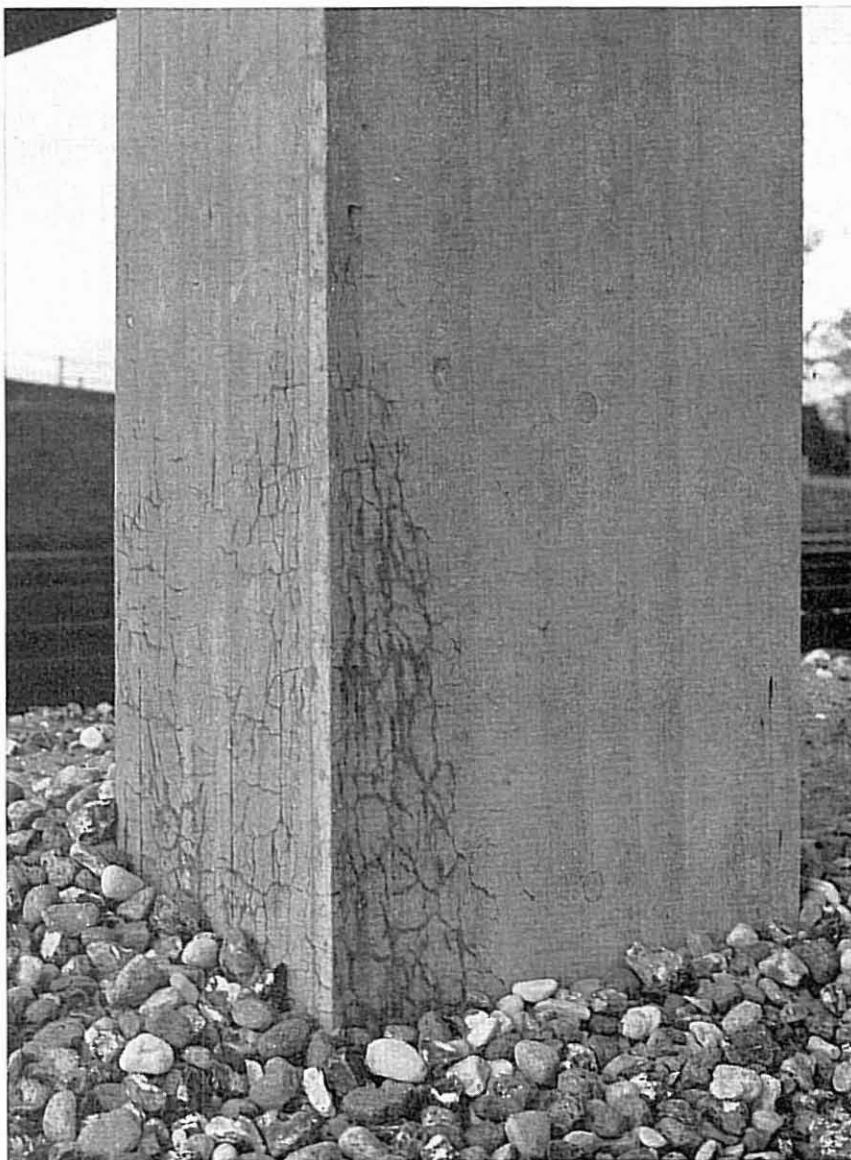
Det er også andre måter hvorpå man kan beskytte betongen for inntrengning av vann og skadelige stoffer. En ren overflatebehandling med asfalt eller bitumen har i mange tilfeller vist seg som et billig og effektivt middel. Ved en slik påstrykning skal man være klar over betydningen av at det er god heft til betongoverflaten overalt, og slik at det ikke dannes «lommer» i kontaktsonen hvor vannet kan samle seg.

Av andre overflatebehandlinger kan nevnes fluatering som innebærer at overflaten bestrykes med saltoppløsninger av kisel-fluor-vannstoffsyre (magnesium eller sink) (ca. 10 %). Ved denne behandlingsmåten dannes et tungt løselig belegg av kalsiumfluorid samt fri kiseltsyre. Metoden har imidlertid den ulempe at reaksjonene bare foregår i et tynt sjikt på overflaten. Annerledes er det med den såkalte ocratiseringsmetoden. I korthet går denne ut på at betongoverflaten tilføres silisiumtetrafluorid — som er en gass — i lukkede beholdere under trykk. Gassen vil kunne trenge inn i betongen i et meget dypere sjikt og i en langt større grad omsette seg med cementpastaen



Også vannglassløsninger har i

Fig. 4. Bropillar (foto Betongforskningslab. Karlstrup) med karakteristiske skader p.g.a. alkaliaggregatreaksjoner.



en viss utstrekning, og ofte med godt resultat vært brukt for å «tette» betongoverflater, som innebærer at det dannes tungt løselige silikater samt fri kiselsyre i overflatesonen.

I de tilfeller hvor betongkonstruksjonen kan tenkes å bli utsatt for sulfatholdige løsninger kan det komme på tale å anvende sulfatresistent cement. Denne cementtypen er særlig fattig på  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , derved unngår man dannelsen av ettringitt — eller cementbasillen — som den ofte kalles.

Når det gjelder innvirkningen av kullsyreholdige vanntyper med moderate mengder sulfat, synes

det som om aluminiumrike cements er de mest bestandige — i hvert fall viser forsøk som jeg selv har foretatt vedr. utlutningshastigheten av de forskjellige cementmineraler at aluminatene er gjennomgående mere bestandige enn silikatene.

Til slutt skal det ganske kort nevnes at vi ved NBI har satt i gang en forsøksserie hvor vi nettopp ønsker å studere innvirkningen av forskjellige aggressive vanntyper av forskjellige betongkvaliteter — hvor stor svekkelse man må regne med av betongen under de og de forhold, og om mulig å komme fram til en levealder for konstruksjonen.

