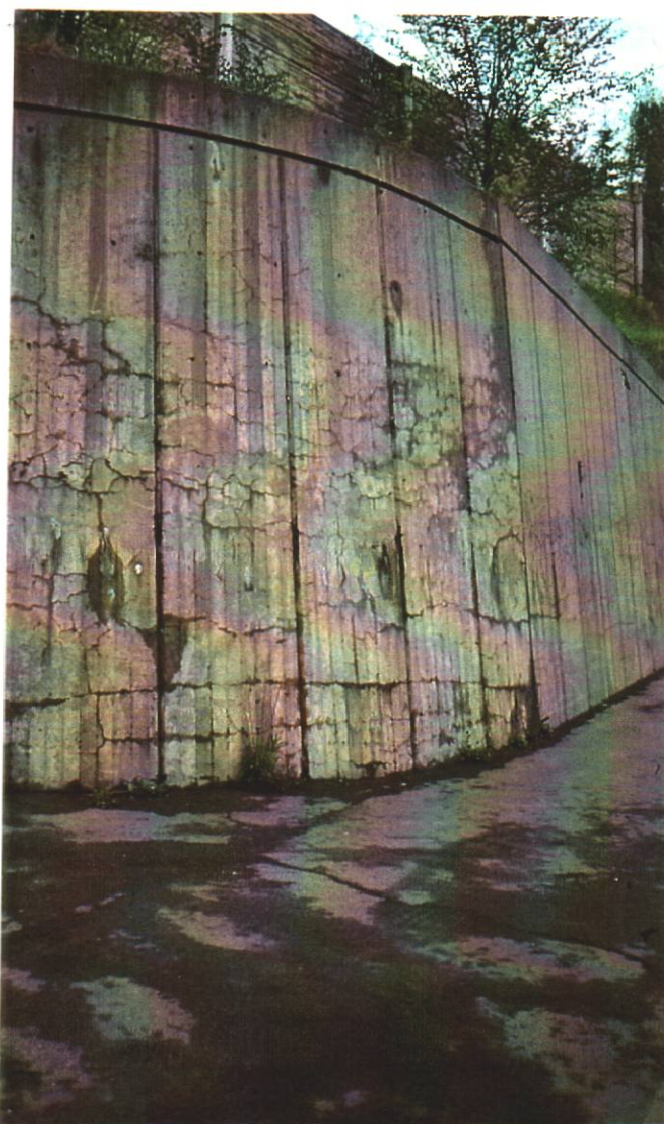


Intern rapport nr. 2220

Reparasjon og vedlikehold
av brukonstruksjoner
skadet av alkalireaksjoner



August 2001



Intern rapport nr. 2220

Reparasjon og vedlikehold av brukonstruksjoner skadet av alkalireaksjoner

Sammendrag

Rapporten er basert på relevante artikler i Proceedings fra 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, som ble holdt i juni 2000, og på norske erfaringer med alkalireaksjoner (AR).

I mange land synes situasjonen m.h.t. AR å være nokså lik den vi har i Norge, nemlig at vi mener å ha kontroll når det gjelder nye konstruksjoner, og at en sakte skadeutvikling foregår på mange eldre konstruksjoner. Med hensyn til inspeksjon og skadevurdering har vi noe å lære fra bl.a. Storbritannia, Nederland og Frankrike.

Det finnes ingen effektive metoder for å stoppe AR i utendørs betong, når betongen først er støpt med sitt alkaliinnhold og innhold av reaktivt tilslag. Fukttinnholdet i betongen kan reduseres ved skjerming, drenering/bortledning av vann, overflatebehandling og påstøp, men ikke til et fuktnivå hvor AR stopper. Slike tiltak vil imidlertid kunne beskytte mot sekundær nedbrytning ved frostsprengning, armeringskorrosjon etc., noe som er minst like viktig m.h.t. konstruksjonens levetid.

Indirekte skadeutvikling ved tvangsdeformasjoner, hindrede dilatasjoner og betydelig reduksjon i betongens strekkfasthet er de mest bekymringsfulle skadeeffektene av AR.

Emneord: *Betong, alkalireaksjoner, alkalikisel, AR, vedlikehold, reparasjon*

Kontor: *3530 Betongkontoret*

Saksbehandler: *Reidar Kompen*

/ kareno

Dato: *13.08.2001*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Vegteknisk avdeling
Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo
Telefon: 22 07 35 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

1. Innledning	2
2. Alkalireaksjoner i Norge	2
3. Skadebeskrivelse	5
4. Aktuelle vedlikeholdsmetoder	9
4.1 Formål	9
4.2 Skjerming mot vann	9
4.3 Mekanisk reparasjon	10
4.4 Overflatebehandling	11
4.5 Lithium impregnering	13
5. Evaluering av vedlikeholdsmetodene	13
6. Konklusjoner	14
7. Referanser	15

1. Innledning

Denne rapporten tar for seg reparasjon og vedlikehold av brukonstruksjoner skadet av alkalireaksjoner (AR). Rapporten er basert på relevante artikler i Proceedings fra 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Quebec City, Canada June 2000, og på egne synspunkter.

I Norge har vi hittil ikke arbeidet mye med reparasjon/vedlikehold av konstruksjoner skadet av alkalireaksjoner. Erfaringene er således meget begrensede. Kunnskapen om alkalireaksjoner i Norge er også ganske ung. Riktignok hevdet Arne Kjennerud ved Norges byggforskningsinstitutt allerede i 1978 at vi hadde skader på grunn av alkalireaksjoner her i landet, men dette ble da avvist av betong fagmiljøet. Det var først for ca. 10 – 12 år siden at det ble dokumentert at også vi har denne skadetyper i vesentlig omfang. Det siste tiåret er det arbeidet betydelig med kartlegging av omfanget av alkalireaksjoner i Norge, hvilke bergarter og mineraler som er reaktive, prøvingsmetoder og forståelse av selve reaksjonen. Det norske arbeidet med alkalireaksjoner har pågått samtidig med tilsvarende arbeider mange andre steder i verden. Alkalireaksjoner er et betong bestandighetsproblem som fins i alle verdensdeler.

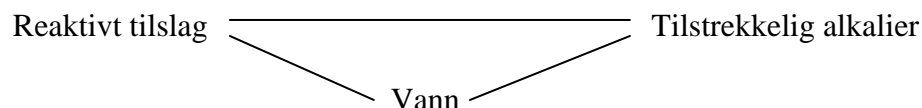
For å unngå skadelige reaksjoner i nye konstruksjoner, praktiseres det i dag regler om materialsammensetning av betong beskrevet i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 21 [9]. Disse reglene praktiseres også av vegvesenet, ved henvisning til reglene i Publikasjon nr. 21 fra Statens vegvesens håndbok 026, Prosesskode-2, prosess 84.4.

2. Alkalireaksjoner i Norge

Alkalireaksjon i betong er en kjemisk reaksjon mellom

- tilslagsmaterialer (sand og stein) som ikke fullt ut er stabile i det kjemiske miljøet i betong, og
- alkalier, dvs. Na og K som stammer fra sementen og eventuelle tilsetningsstoffer.

Den kjemiske reaksjonen kan kun foregå i fuktig miljø. Det er altså 3 betingelser som må oppfylles for at alkalireaksjoner skal foregå:



Med hensyn til hvor stor risiko det er for at disse betingelsene skal være oppfylt, kan følgende bemerkes:

Reaktivt tilslag. Reaktive tilslag finnes mange steder i østlandsområdet, i Trøndelag og i Nord-Norge. Det er også påvist reaktivt tilslag i Sogn og Fjordane. Dette betyr ikke at alle tilslag i disse områdene er reaktive, eller at all betong produsert med reaktive tilslag vil utvikle skader. Men det innebærer at risikoen for alkalireaksjons skader er til stede.

Fullstendig fravær av alkalireaktivt tilslag regnes ikke å være nødvendig for å unngå skadelige reaksjoner, kfr. NS 3420 kap. L, pkt. b 2.3. Det det er spørsmål om, er hvor store mengder av reaktivt eller potensielt reaktivt tilslagsmateriale som kan tillates uten at en begrenser risikoen for skadelige reaksjoner på annen måte. Grenseverdier er gitt i NB Publikasjon nr. 21, men det forskes fortsatt for å verifisere disse grenseverdiene ut fra data for eksisterende konstruksjoner.

Alkalier. Norskprodusert sement (Brevik, Kjøpsvik og Slemmestad inntil denne fabrikken ble nedlagt) har helt inntil de seinere årene alltid vært høyalkaliske. Alkali-innholdet ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) har typisk ligget på 1,1 – 1,2 %, vel å merke med noe svingninger oppover og nedover i løpet av årene. Tabellen nedenfor, hentet fra Viggo Jensens doktoravhandling 1993 [10], gir karakteristiske tall for Standardsement fra de tre fabrikkene inntil 1990.

CEMENT FACTORY	% Na_2O	% K_2O	eq.% Na_2O	$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$
Dalen 1959-1990	0.45	1.16	1.21	2.58
Kjøpsvik 1971-1990	0.66	0.66	1.09	1.06
Slemmestad 1961*	0.38	1.23	1.19	3.24

* Two analyses

Definisjonsmessig betegnes sementer med alkaliinnhold under 0,6 % som "lavalkalisement". Disse anses sikre med hensyn til å unngå alkalireaksjoner i betong med normale mengder sement, og spesifiseres som sikringstiltak mot AR. Fra USA er det like fullt rapportert tilslag som også reagerer med sement som har lavere alkaliinnhold enn 0,6 %.

SR-sement har alltid vært lavalkalisk, men har knapt vært brukt til brukonstruksjoner. Norcem Anleggsement samt den tidligere HS-65 og P30-4A sement er også lavalkaliske, det samme gjelder Embra Standard sement. Dessuten har Norcem Standard FA og den tidligere Norcem MP 30 med 20 % flyveaske høyere terskelverdi for utvikling av alkalireaksjoner.

Egentlig er det ikke sementens alkaliinnhold men betongens totale alkaliinnhold som er avgjørende. Alkalier kan også stamme fra tilsetningsstoffer, i spesielle tilfeller også fra tilslaget, og det kan tilføres betongen utenfra, men: I betong til bruer har det alltid, med relativt få unntak, blitt benyttet så stor sementmengde at grensen for ufarlig total mengde alkalier er overskredet. Det største unntaket er betong hvor Norcem MP 30 sement er benyttet.

For konstruksjoner bygget før 1990 kan det nesten uten unntak slås fast at sementen alltid har inneholdt tilstrekkelig alkalier til at alkalireaksjoner kan utvikles.

Vann. Betong er et hygroskopisk materiale, dvs. det "suger" til seg fukt fra omgivende luft og innstiller seg fuktmessig i likevekt med omgivelsene. Uttørking av materialet skjer meget sakte, og for betong av "brukvalitet" er det som hovedregel bare de ytterste 1 – 4 cm ut mot betongoverflaten som blir påvirket av værforholdene.

Skadeutviklingen på grunn av alkalireaksjonene er avhengig av fuktinnholdet i betongen. Ugunstigste fuktnivå har en i området 80 – 95 % RF i betongen, kfr. figur 1 nedenfor gjengitt av V. Jensen [10] etter Nilsson 1983. Det er sannsynligvis dette fuktinnholdet vi har i utendørs betong i Norge. Det synes også å være en oppfatning generelt i alle land med

temperert eller kjølig klima, at utendørs betong har et fuktinnhold som er tilstrekkelig til at alkalireaksjoner kan foregå, dersom vilkårene ellers er til stede.

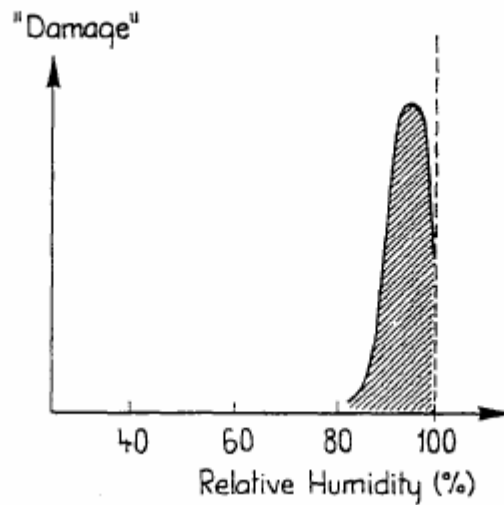


Fig. 1. The pessimum effect of moisture, in principle, at room temperature – Nilsson 1983.

I vannmettet betong synes skadeutviklingen å bli mindre enn ved 80 – 95 % RF. I følge V. Jensen hevder Nilsson 1983 at dette skyldes at alkaligelen blir mer viskøs og penetrerer sementpastaen uten så høyt svelletrykk. Vannmetning ett sted på konstruksjonen innebærer imidlertid kapillær vanntransport til nærområder, hvor skadeutviklingen blir maksimal.

Alkalireaksjoner med norske bergarter går meget sakte, i alle fall sammenlignet med den danske flinten. Typisk tar det i Norge 15 – 30 år før skader på grunn av alkalireaksjoner viser seg. Hvor lang tid reaksjonene fortsetter, vet vi ennå ikke.

I likhet med alle andre kjemiske reaksjoner er også alkalireaksjonene temperaturavhengige. Dette viser seg ved at betongoverflater som vender mot sør og vest, og som blir påvirket av soloppvarming, først viser tegn på skader.

3. Skadebeskrivelse

Reaksjonsproduktet fra alkalireaksjonene utgjør en gel som har ekspansiv virkning. Ekspansjonen får betongen til å risse opp, så vel med mikroriss som makrosprekker. Overflatekrakelleringen i et ”krokodilleskinnmønster” er oftest det som først blir lagt merke til, og som betegnes som ”skaden”. Opprissing skjer imidlertid også i det indre av konstruksjonsdelen, ikke bare på overflatene.

Betongens volum øker også som følge av alkalireaksjonen. Det rapporteres [1] om 1,5 og 2,5 ‰ lineær ekspansjon. I [4] rapporteres det om 1,5 ‰ ekspansjon i løpet av 3 år. I uarmert betong vil ekspansjonen være uniform i alle 3 retninger, men i armert betong vil den kunne være anisotropisk. Armeringen ”spennes opp” og yter motstand mot ekspansjonen, derved vil ekspansjonen bli størst den retningen hvor det er minst armering. Permanente trykkspenninger i betongen yter også motstand mot ekspansjon. På bruer fører dette til oppsprekking parallelt med spennarmering i overbygning og vertikalt på søyler. For selve betongmaterialets egenskaper innebærer alkalireaksjonen følgende endringer:

- *Trykkfasthet.* Det rapporteres uendret eller en svakt økt trykkfasthet. Hvor mye av trykkfasthetsøkningen som skyldes alkalireaksjonen og hvor mye som skyldes sementens fortsatte hydratasjon over lang tid er imidlertid uklart.
- *Strekfasthet.* Betydelig reduksjon, i mange tilfeller til nær null. [6] rapporterer enaksial strekkfasthet i området 0,7 – 3,2 MPa og ekstremt stor spredning i strekkfasthet for betong hvor 3,5 – 4,5 MPa ville vært normalt.
- *Elastitetsmodul.* Noe redusert. E-modulen reduseres på grunn av oppsprekkingen men økes på grunn av trykkfasthetsøkningen.
- *Kryp.* Ingen merkbar endring rapporteres.
- *Permeabilitet.* Betydelig økning (dvs. betydelig mindre vanntett) på grunn av opprissingen.

For betongkonstruksjonen vil alkalireaksjonen ha både direkte og indirekte konsekvenser:

1. Overflatekrakellering, opprissing

Betongoverflaten risser opp i et mønster a la ”krokodilleskinn”, det vises til figur 2 og 3. Langs rissene får en gjerne noe utfelling av alkaligel (mørkt materiale) og utlutet kalk som er karbonatisert til kalsiumkarbonat (lyst materiale).

Opprissingen medfører:

- et lite tiltalende utseende, konstruksjonen ser lurvete ut.
- at betongoverflatene er åpnet opp for alle andre nedbrytningsmekanismer som frostsprengning, karbonatisering og/eller kloridinntrengning med tilhørende armeringskorrosjon, utluting etc.

- at oppfuktingen av konstruksjonen blir mer omfattende, med den betydningen dette har for utvikling av følgeskader. Konstruksjoner som begynner å få opprissing på grunn av AR ser merkelig våte ut til "bare å stå utendørs".



Fig.2. Opprissing på grunn av alkalireaksjoner i et relativt tidlig stadium



Fig. 3. Alkalireaksjon i en mer utviklet fase. At det ikke er utfelling av gel og kalk på overflaten er atypisk.

2. Forvitring, delaminering og bom

Når frostsprengning og armeringskorrosjon griper tak i sprekker og riss, vil det med tiden kunne sprenges ut betongbiter/hjørner som faller ned og kan skade det de faller ned på.

Forvitringen kan etter hvert få karakter av ”smuldring”.

3. Direkte bæreevnemessige konsekvenser

Det har tidligere blitt fremholdt, som en ”trøst” til de som har fortvilet over alkalireaksjonene, at ”hittil har ingen konstruksjoner blitt revet på grunn av alkalireaksjoner”. Denne ”sannheten” er nå ikke gyldig lenger. Det blir også hevdet i fagartikler at ”konstruksjonenes lastkapasitet ikke blir redusert av alkalireaksjoner, snarere tvert imot”. Det har imidlertid også blitt hevet advarende pekefinger med utsagn som ”alkalireaksjoner kan bringe innstøpt armering over i flyting”.

Ut fra det beskjedne erfaringsgrunnlaget vi har med alkalireaksjoner, bør vi være forsiktig med å akseptere eller adoptere slike generaliserende utsagn som her er gjengitt.

[6] har gjennomført en evaluering av britiske retningslinjer ”Structural Effects of Alkali-silica Reaction; Technical Guidance on the Appraisal of Existing Structures”, The Institution of Structural Engineers, London 1992. I følge denne veiledningen oppveier de positive effektene av AR (eksempelvis forspenning på grunn av tilbakeholdt ekspansjon og omfordeling av krefter på grunn av redusert stivhet) de negative aspektene (oppsprekking, reduserte fasthetsegenskaper). Ut fra egne målinger av betongens strekkfasthet setter [6] et spørsmålsteget ved dette utsagnet. Den betydelige reduksjonen i strekkfastheten for betongen vil påvirke kapasiteten for alle strekk-relaterte bæremekanismer. Det vil si skjær, torsjon, heft, armeringsforankring og armeringsskjøting. [6] finner i særlig grad skjærkapasiteten betenkelig redusert for noen av de undersøkte bruene. Artikkelen tyder på at vi vil ha adskillig erfaring å hente med hensyn til vedlikehold og kapasitetsvurdering av AR-skadde konstruksjoner fra Storbritannia og Nederland.

4. Dimensjonsendringer, indirekte bæreevnemessige konsekvenser

I og med at betongmaterialet ekspanderer, øker også konstruksjonens dimensjoner, kfr. figur 4. AR-ekspansjonen kommer i tillegg til de dimensjonsendringene som konstruksjonen er utformet og dimensjonert for, nemlig temperaturbevegelser, svinn, kryp og elastiske deformasjoner. AR-ekspansjonen virker motsatt av svinn.

I noen tilfeller får slike dimensjonsendringer ubehagelige konsekvenser, for eksempel jernbanesviller som ekspanderer slik at jernbanens sporvidde øker utover toleransene.

For bruer vil konsekvensene kunne bli:

- a) Lagere får bevegelser/forskyvninger utover sin kapasitet. Om ikke opplagringen rettes opp tidnok, kan feil i opplagringen gi følgeskader på konstruksjonen.
- b) Konstruksjonen mister de dilatasjonsmulighetene (fugeåpningene) den en gang ble bygget med, og som var en forutsetning for dimensjoneringen. Dette er en mulig konsekvens for alle bruer med fuger i overbygningen. Om fugeåpningene er klempt sammen, må de gjenetableres. (Lukkede fugespalter kan også ha andre årsaker som utførelsesfeil, bevegelse av landkar etc.)

- c) Søylar som er monolittisk forbundet med overbygningen på flerspenns bruer kan bli påtvunget deformasjoner/tvangskrefter som de ikke er dimensjonert for. I ytterste konsekvens er dette sannsynligvis den farligste følgen av AR. Det fins neppe noen annen utvei enn å forsterke søylene.



Fig.4. Overbygning har presset mot landkar slik at dette har sprukket. Bemerk også den improviserte opplagringen.

4. Aktuelle vedlikeholdsmetoder

4.1 Formål

Når en går til det skrittet å "reparere" en konstruksjon, vil en prøve å unngå at den samme nedbrytningen skal fortsette. En vil altså ønske å

- 1) stoppe eller bremse ned hastigheten av alkalireaksjonen
- 2) å hindre andre nedbrytningsmekanismer i å virke sammen med alkalireaksjonen
- 3) å gjenopprette et pent utseende av konstruksjonen.

Når betongen har herdnet, med den alkalimengden og den mengden av reaktivt tilslag den inneholder, er det ikke noe å gjøre med det. Det eneste som eventuelt kan gjøres noe med, er betongens fuktinnhold. I litteraturen er imidlertid også en annen metode foreslått, nemlig å tilføre betongen lithium-ioner. Hvorvidt dette kan fungere i praksis diskuteres seinere.

4.2 Skjerming mot vann

Konstruksjonsdeler som er utsatt for nedfukning av nedbør, kan skjermes med en luftet kledning. Denne løsningen (med bølgeblikklater) er i bruk på et stort antall islandske husfasader. Prinsippet er en skjerm som holder regnvannet ute og en godt luftet spalte. Det vil si at kledningen må ha en luftåpning nede og oppe for at betongen skal kunne tørke ut.

I [5] er vist en reparasjonsløsning for mastefundamenter, kfr. figur 5. Løsningen er egentlig bare en skjerming av fundamentet mot nedbør og delvis mot grunnvann, men slik at fundamentet har betong utseende.

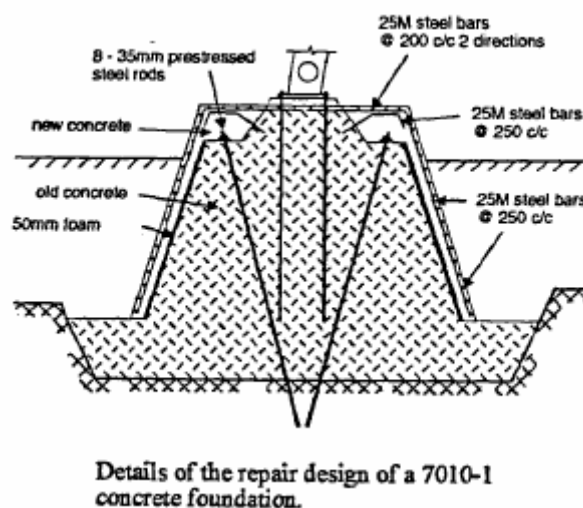


Fig. 5. Reparasjonsløsning for mastefundament

Om skjermingen reduserer fuktnivået i betongen tilstrekkelig til å stoppe alkalireaksjonen, er imidlertid tvilsomt. Muligens oppnår en kun å stenge ute det visuelle bildet av en skadet konstruksjon. [5] hevder at ekspansjonshastigheten av fundamentet i Fig. 5 ble redusert meget betydelig ved den viste "reparasjonen". I tilfellet husfasader er det klart at en luftet kledning vil hindre vanngjennomgang i vegg, dermed skape tørrere forhold innendørs, og følgelig hindre/ redusere sekundær skadeutvikling.

For konstruksjoner mot jord (støttemurer, landkar etc.) kan reduksjon av fuktpåkjenningen oppnås ved å bedre dreneringen bak muren, ledning av vanntilslig vekk fra muren etc.

Det fins også en elektrokjemisk metode for uttørking av for eksempel kjellervegger. Det er ikke funnet referanse for bruk av denne metoden for AR-skadde konstruksjoner, men metoden kan muligens være aktuell for konstruksjoner i jord.

4.3 Mekanisk reparasjon

Overflatesjiktet av konstruksjonen kan meisles av og erstattes med en påstøp/kappestøp, eventuelt med sprøytebetong. Risikoen med en slik reparasjon er at den ikke endrer fuktnivået i betongens indre i særlig grad, og at alkalireaksjonen fortsetter med så høyt tempo at den etter hvert sprenger av kappen.

[1] framhever betydningen av å gjøre reparasjoner på riktig tidspunkt, det vil si når alkalireaksjonen er fullført. Artikkelen hevder at alkalireaksjonsforløpet kan deles i en initieringsperiode, en propageringsperiode og en hvileperiode som vist i figur 6, og at avslutningstidspunktet for propageringsperioden kan estimeres. I Norge har vi så langt ikke kunnet konstatere at AR-ekspansjonen noen gang vil stoppe.

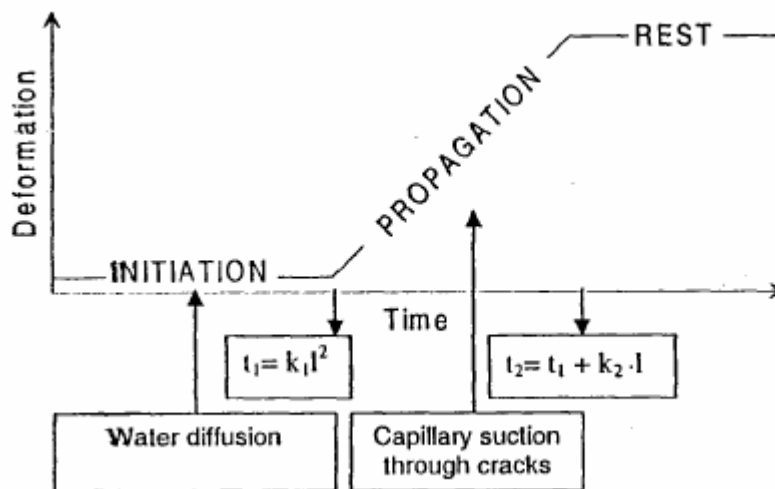


Fig. 6. Modell for skadeutvikling på grunn av AR.

Dersom alkalireaksjonen foregår over svært lang tid, kan en risikere at konstruksjonen brytes ned av andre mekanismer før alkalireaksjonen er avsluttet. Vedlikeholdsarbeid kan være nødvendig å utføre lenge før alkalireaksjonen stopper opp av seg selv.

Både [6] og [7] angir laboratorie testmetoder for å undersøke betongens rest-ekspansjon, som basis for å vurdere reparasjonstidspunktet. [1] baserer seg på utviklingen av prosentandel skadet overflate for å estimere riktig reparasjonstidspunkt.

Påstøp-/kappestøp-tykkelse ved denne typen reparasjon kan bli ganske stor, nettopp fordi betongen under er skadet av oppsprekking i et relativt fint mønster. [8] beskriver meislingsdybder på 100, 200 og 300 mm, og framhever vannmeislingsmetoden som årsak til

at deres rehabiliteringsprosjekt ble så vellykket. Til dette må nevnes at vi ville være meget varsomme med å benytte vannmeisling på AR-skadde konstruksjoner. Det høye vanntrykket i sprekker og riss vil kunne sprengne konstruksjonen i stykker på en helt ukontrollert måte. Skadene kan fort vise seg å bli så omfattende at en må velge rehabiliteringsmetode av tilsvarende omfang, kfr. figur 7.



Fig.7. Slik kan omfanget av rehabiliteringen øke.

4.4 Overflatebehandling

Aktuelle overflatebehandlinger kan være hydrofobering ved hjelp av silan/siloxan impregnering samt malinger som har vannavvisende effekt men er diffusjonsåpne. Begge typer overflatebehandlinger skal ha som tilsiktet effekt at fuktbelastningen på konstruksjonen skal reduseres.

Betongkontoret ved Vegteknisk avdeling har arbeidet en del med begge typer overflatebehandling, og har kort referert erfart følgende:

- Fuktinnholdet i betongen få centimeter inn fra overflata lar seg ikke påvirke av overflatebehandling. Fuktinnholdet i betongen holder seg i likevekt med omgivende luft på årsbasis.
- Impregnering med silan/siloxan er meget vanskelig å få til i praksis på brubetong generelt, og nærmest umulig på fuktig brubetong. En snakker i beste fall om impregneringsdybder på 1 – 2 mm ved konvensjonell utførelse. Det arbeides derfor videre med silan/siloxan-gel, som kan trenge inn over lengre tid enn påsprøytet væske.
- Malingsbelegg utvikler skader etter få år der det er hull i belegget (pin holes, riss porer osv.) . For at et malingsbelegg på betong skal kunne vise god holdbarhet, må det være rissoverbyggende (alle konstruksjoner med alkalireaksjoner og de aller fleste betongkonstruksjoner generelt har en del riss), det må kombineres med en porefylling eller eventuelt selv være porefyllende, og det må ha en slik tykkelse at det dekker over alle mindre ujevnheter i betongoverflaten.

Et tykkfilmsbelegg av rissoverbyggende, elastisk sementbasert slemmemasse er påført deler av Breivegen bru i Oppland i 1995, som en forsøksreparasjon. Malingsbelegget bedret utvilsomt konstruksjonens utseende, og det beskytter mot andre nedbrytningsmekanismer som for eksempel frostsprengning. Måling av rissvidder i konstruksjonen tyder på at

alkalireaksjonene ikke har stoppet. Det blir spennende å se hvordan holdbarheten av malingsbelegget vil være.

[4] beskriver enkel påsprøyting av silan på jernbanesviller, og dokumenterer en reduksjon av RF i betongen fra ca. 75 % til ca. 60 % i det sørafrikanske klimaet, kfr. figur 8. Effekten minner om det vi i sin tid ble forespeilet med silan-impregnering, men som vi ennå ikke har fått til å fungere i norsk klima. [4] påstår ikke at AR har stoppet opp, men at nedbrytningshastigheten blir betydelig redusert ved silan-behandlingen.

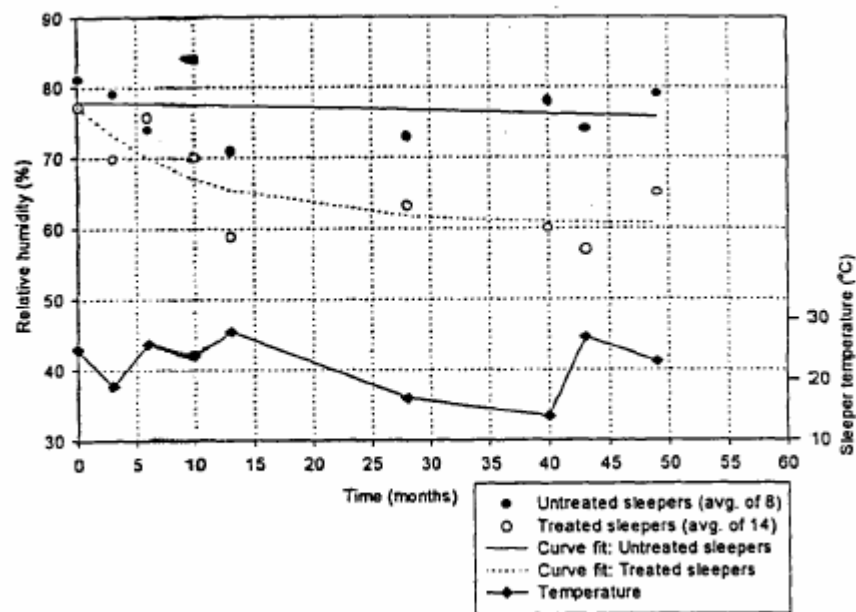


Fig.8. Relative humidity and temperature measurement.

[7] beskriver bruk av en to-trinns overflatebehandling bestående av
 - et vannavvisende silan-strøk (artikkelen bruker ordet "coating", ikke "impregnation").
 - et "tynt" (3 mm tykt!) sementpolymer belegg med 35 % bruddforlengelse og 2 MPa heftfasthet.

Artikkelen sier at det er vel kjent at denne overflatebehandlingen ikke stopper AR definitivt, men at formålet med overflatebehandlingen er vel så mye å beskytte konstruksjonen mot inntrengning av vann og tinesalt.

[1] beskriver et eksempel hvor kantbjelkene og den bitumiøse membranen ok brudekke ble fornyet, og at dette var en tilstrekkelig reparasjon etter at AR hadde stoppet av seg selv.

4.5 Lithium impregnering

Litteraturen forteller at lithium-ioner i systemet hindrer ekspansive alkalireaksjoner. Lithium-forbindelser skal kunne brukes som tilsetningsstoff til fersk betong med alkalireaktiv sammensetning for å unngå framtidige, skadelige reaksjoner. Noen forklaring på hvordan stoffet virker er ikke funnet, men det gjettes på at det har noe med vannbinding å gjøre.

Aktuelle stoffer i følge litteraturen er:

- lithiumhydroxyd, som er sterkt alkalisk og som derfor må håndteres med forsiktighet for å unngå etseskader.
- lithiumnitrat, som oppgis å være nøytralt og ufarlig.

Det refereres også [2] forsøk med 30 % lithiumnitrat-oppløsning tilsatt overflateaktive stoffer (surfactants) som bedrer inntrengningsevnen i betong.

I likhet med silan/siloxan og andre stoffer det ønskes å impregnere betong med, synes det (ikke uventet) å være vanskeligheter med å få inntrengning av lithium-løsninger i betong. Som ”skryteresultat” er det i [2] vist inntrengningsdybder på 20 – 25 mm i betong av ikke oppgitt kvalitet.

[3] beskriver elektrokjemisk inndriving av lithium-ioner med en midlertidig installasjon lik de som benyttes ved elektrokjemisk klorid-uttrekk eller realkalisering. Her benyttes armeringen som katode, og det vil være overdekningsjiktet som vil være gjenstand for lithium-inntrengning.

Selv om lithium skulle være effektivt med hensyn til å stoppe og hindre alkalireaksjoner, synes det likevel som om man står overfor litt av et problem med å få lithium-ionene inn til kjernen av massive konstruksjoner. En teoretisk ide kunne være å bore en mengde hull i konstruksjonen, sette pakkere i hullene og presse lithium-løsning under trykk inn i konstruksjonen. Spørsmålet er hvor tett hullene må bores for at behandlingen skal få ønsket effekt.

5. Evaluering av vedlikeholdsmetodene

Alkalireaksjoner er i utgangspunktet nokså håpløse å motarbeide når forholdene først ligger til rette for de, og dette er vel også bakgrunnen for at det er arbeidet relativt lite med å finne egnede vedlikeholdsmetoder. Når konstruksjonen først er støpt, er det lite å gjøre med betongens alkaliinnhold og innhold av reaktive bergarter.

Om det er mulig å gjøre så mye med betongens fuktinnhold at det har betydning for alkalireaksjonen, er også usikkert når det gjelder utendørs konstruksjoner. For enkelte konstruksjoner kan kanskje skjerming mot regn eller overflatebehandling være tilstrekkelig til å bremse ned reaksjonshastigheten. Litteraturen hevder at skadeutviklingshastigheten blir betydelig redusert ved å minske fuktbelastningen, men det mangler langtidsdokumentasjon for dette.

Feltforsøk med impregnering av konstruksjoner med lithium skal være utført på Elgseter bru i Trondheim uten at undertegnede kjenner til resultatene av dette. Trolig vil det være vanskelig eller kreve omfattende tiltak å få impregnert tilstrekkelig av betongvolumet til at det vil gi merkbar effekt.

Nå er det heldigvis slik at alkalireaksjonene utvikler seg ganske langsomt. Reparasjoner og vedlikeholdstiltak (som for eksempel overflatebehandling) vil i seg selv ha en begrenset levetid. Muligens vil enkelte vedlikeholdstiltak ha slik levetid at de beskytter mot frostsprengning etc. og gir akseptabelt utseende av konstruksjonen inntil alkalireaksjonene har utviklet seg så mye at vedlikeholdstiltaket må fornyes.

Vedlikehold for å hindre sekundære nedbrytningsmekanismer (frostsprengning, armeringskorrosjon) der AR har åpnet for disse ved opprissing, kan være vel så viktig som å stoppe selve alkalireaksjonen.

Fuktighet er med i enhver nedbrytningsmekanisme, og derfor vil tiltak for å redusere fuktbelastningen på konstruksjonen øke levetiden. For AR-skadde konstruksjoner vil dette være spesielt viktig, og en bør ha i tankene så vel den ordinære fuktisolasjonen av brudekker som ekstraordinære tiltak som skjerming, overflatebehandling og påstøp på begrensede områder.

6. Konklusjoner

Situasjonen vedrørende alkalireaksjoner synes å være mer eller mindre den samme i svært mange land, deriblant Norge.

1. For nye konstruksjoner mener en å ha situasjonen under kontroll, ved at det anvendes nye spesifikasjoner som tar hensyn til risikoen for AR.
2. For en viss andel av de eldre konstruksjonene som er bygget med reaktivt tilslag skjer det en langsom nedbrytning ved AR. Tilstanden og tilstandsutviklingen må holdes under kontroll ved inspeksjoner, slik at en kan sette inn riktige vedlikeholdstiltak på riktige tidspunkter. Som ved andre nedbrytningsmekanismer må vedlikeholdsstrategi vurderes individuelt for hver enkelt bru, hvor også andre skader og bruas funksjon i vegnettet legges til grunn.
3. Enkelte vegforvaltere har utviklet et inspeksjonssystem med kriterier for når konstruksjonen/-delen må bli gjenstand for en nærmere vurdering av skadegrad/reparasjonsbehov. Det kan være noe å lære ved å studere hvordan andre vegmyndigheter med flere tiårs erfaring håndterer problemet.
4. Vedlikeholdstiltak vil være rettet mot å redusere fuktbelastningen på konstruksjonen, og kan bestå av:
 - skjerming mot nedbør
 - drenering og/eller bortledning av vann
 - overflatebehandling med vannavvisende men diffusjonsåpen, rissoverbyggende "maling"
 - påstøp/kappestøp på begrensede områder.

Vedlikeholdstiltakene kan være vel så mye rettet mot sekundære skademekanismer (frostsprenning, armeringskorrosjon etc) som mot AR. AR kan muligens bremses ned, men ikke stoppes for utendørs konstruksjoner. En har ingen sikkerhet for at en greier å bremse hastigheten av AR ved noen tiltak.

5. Drastisk skadeutvikling med kritisk reduksjon av bæreevne/sikkerhet synes å høre med til sjeldenhetene. Tvangsdeformasjoner, hindrede dilatasjoner og betydelig reduksjon i betongens strekkfasthet er imidlertid bekymringsfullt. Inspeksjonsrutinene må være spesielt rettet mot slike forhold. Bruer må kunne bevege seg som forutsatt. Eventuelt må fugespalter gjenetableres og lagerstillinger justeres. Søylar som deformeres på grunn av AR i overbygninger må kontrollregnes med hensyn til kapasitet. Det kan også vise seg nødvendig å regne noen overbygninger om igjen med hensyn til for eksempel skjærkapasitet. Ombygging/forsterking kan vise seg som aktuelle tiltak.

7. Referanser

- [1] Alkali-Aggregate Reaction, Strengthening or Total Collapse ?
The Different Effects of AAR on Concrete Structures
Nielsen, A. 1009
- [2] Development of a Lithium-Based Material for Decreasing ASR-
Induced Expansion in Hardened Concrete
Stokes, D. B., Thomas, M. D. A., Shashiprakash, S. G. 1079
- [3] Use of an Applied Electric Field to Drive Lithium Ions into
Alkali-Silica Reactive Structures
Whitmore, D. Abbot, S. 1089
- [4] Programme for the Treatment and Replacement of AAR Affected
Concrete Sleepers in the Sishen-Saldanha Railway Line
Grabe, P. J., Oberholster, R. E. 1059
- [5] Long-Term Monitoring Results of Concrete Electrical Tower
Foundations Affected by ASR and Repaired with Different Products
and Repair Methods
Durand, B. 1049
- [6] Evaluation of the Institution of Structural Engineers' Procedure on
Concrete Structures with Alkali-Silica Reaction in the Netherlands
Siemens, A. J. M., Bakker, J. D. 1195
- [7] Diagnosis, Treatment and Monitoring of a Bridge Damaged by AAR
Baillemont, G., Delaby, J. B., Brouxel, M., Rémy, P. 1099
- [8] Rehabilitation of a Major 38 Year Old Structure Characterized by
Severe Alkali-Aggregate Reactivity
Ryell, J., Mlynarczyk, R., Falcioni, R. 1185

- [9] Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 21, Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag. April 1996.
- [10] Viggo Jensen: Alkali Aggregate Reaction in Southern Norway. Doctoral Dissertation NTNU 1993.