



Bygningskonstruksjoner

Alkalireaksjoner i betong

Skader og utbedring

Byggforskserien
Byggforvaltning
720.063
Sending 2 – 1996

0 Generelt

01 Innhold

Dette bladet gir oversikt over typiske skader som følger av alkalireaksjoner i betong. Bladet behandler metoder for å identifisere skader forårsaket av alkalireaksjoner på betongkonstruksjoner. Det gir en kort oversikt over skadeundersøkelser utført av Byggforsk i perioden 1978 – 1995 og behandler tiltak i forbindelse med konstruksjoner som er skadet av alkalireaksjoner. I tillegg er det tatt med en liten oversikt over en del målinger av restekspansjon eller restreaksjonspotensial i norske konstruksjoner. Skadeårsaker og faktorer som påvirker skadeområdet, er beskrevet i Byggdetaljer 520.063.

02 Henvisninger

Norsk Standard:

NS 3424 Tilstandsanalyse for byggverk. Innhold og gjennomføring

Byggdetaljer:

520.032 Optisk analyse av betong. Planslip og tynnslip

520.063 Alkalireaksjoner i betong. Materialer og miljø

Byggforvaltning:

700.305 Tilstandsanalyse som grunnlag for vedlikeholdsplan

720.111 Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner

720.112 Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner. Skadesymptomer og tilstandsgrader

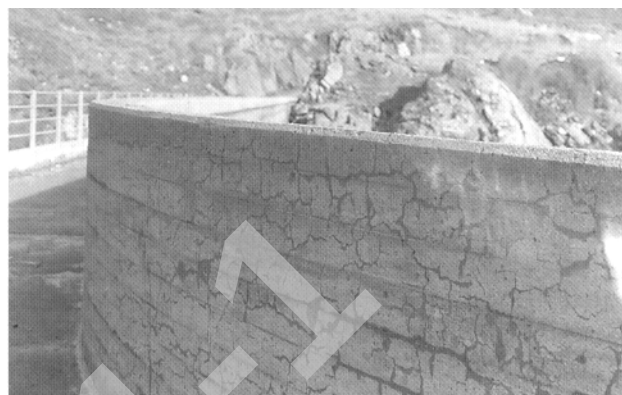


Fig. 11 a
Rissmønster på 23 år gammel dam, over 1 000 m.o.h.



Fig. 11 b
Rissmønster på 78 år gammel dam i lavlandet og med høyere fukttilgang

1 Identifisering av alkalireaksjoner og -skader

11 Riss og sprekker

Det vanligste synlige tegn på alkalireaksjoner i en betongkonstruksjon er et karakteristisk sprekkemønster på overflaten. Figur 11 a viser oppsprekking på overflaten av en norsk betongdam bygd i 1967 over 1 000 m.o.h., undersøkt av Byggforsk i 1990. Det krakelerte området er høyt oppe på dammen og ikke utsatt for vann på oppstrøms side. Oppfuktingen stammer fra vær og vind. Rissene danner såkalt trebensmønster, som er typisk for alkalireaksjoner. Figur 11 b

viser en gammel dam fra 1917 beliggende sentralt på Østlandet, undersøkt av Byggforsk i 1995, med mer omfattende skader. Skadene er her særlig lokalisert til området nær vannoverflaten. Med stor tilgang på vann og høy vannmetningsgrad har frostvirkningen videreutviklet skadene. Belastningssituasjonen og geometrien til konstruksjonsdelen vil også påvirke krakelermønsteret. Slanke konstruksjonsdeler som f.eks søyler vil ha tendens til oppsprekking på langs av konstruksjonen.

12 Følgeskader

Alkalireaksjoner øker sannsynligheten for at andre skademekanismer som frost og armeringskorrosjon får virke på konstruksjonen fordi væske, gass eller løste ioner kommer lettere inn i betongen når det fins sprekker og riss. I tillegg til mekaniske skader kan betongkonstruksjonens funksjon bli påvirket, redusert eller ødelagt av ekspansjon som følge av alkalireaksjon. Noen slike eksempler er:

- innspenne krummede dammer tvinges i radiell retning som følge av ekspansjon i damhvelvets periferetning
- bevegesesfuger trykkes sammen
- bevegelige damluker låses
- turbinakslinger kommer ut av posisjon
- fliser i svømmebasseng og industridekker løsner som følge av ekspansjon i underliggende betong

13 Overflateavskallinger («pop-outs») og gelutfelling

Utfelling av gel på overflaten og i porer og hulrom i betongen kan ofte sees på norske konstruksjoner med alkalireaksjoner. Gelen er oftest hvit på overflaten av betongen, men man kan også se fargeløs og gulbrun gel. Overflateavskalling («pop-outs») derimot, som er vanlig observert i Danmark, er ikke observert i noe omfang i Norge.

14 Laboratorieundersøkelser på borkjerner

For å fastslå med sikkerhet om det pågår eller har pågått alkalireaksjoner i en betongkonstruksjon må det foretas laboratorieundersøkelser på prøver fra konstruksjon (borkjerner) eller på gel som kan tas ut fra konstruksjonen. Det fins flere manualer, anbefalinger og retningslinjer for å diagnostisere alkalireaksjoner, f.eks. [521, 523]. Borkjerner tas i områder med synlige riss og sprekker. Etter uttak pakkes kjernene i lufttette plastposer. De videre undersøkelsene foretas så snart som mulig etter prøveuttak.

- 141 *Observasjon av reaksjonssoner.* Reaksjonssoner kan observeres visuelt i overgangen mellom reaktive tilslagskorn og sementpasta pga. at gelen er hygroskopisk, dvs. trekker til seg vann. Reaksjonssoner kan observeres på en enkel måte ved å plassere en borkjerne i tilnærmet 100 % RF noen døgn og deretter la kjernen tørke i romluft under visuell observasjon. Man kan da ev. se mørke (fuktige) reaksjonssoner i overgangen mellom tilslagskorn og sementpasta på borkjernens overflate. Observasjoner av reaksjonssoner gjøres på overflaten av borkjerner eller på bruddflater.

Observasjoner av reaksjonssoner på overflaten av borkjerner gir muligens et bedre inntrykk av omfang av reaksjonen ved at mengden reaksjonssoner rundt tilslag observeres. Metoden må kunne karakteriseres som delvis kvantitativ ved at mengden reaksjonssoner i forhold til total mengde heftsoner kan tallfestes.

- 142 *Mikroskopi på tynnslip.* Tynnslipene tas ut fra områder på borkjernene med antatte reaksjonssoner, se pkt. 141. Vanligvis tas slip normalt på konstruksjonens overflate, ett fra overflaten og ett inne i betongen (100 – 150 mm). En nærmere beskrivelse av

tynnslipmetoden fins i Byggdetaljer 520.032, hvor bl.a. typiske tegn på alkalireaksjoner observert på tynnslip er beskrevet (riss, utfyllinger av gel etc.). I tillegg analyseres bergartene i tilslagsmaterialet, slik at man kan vurdere om det er snakk om risikobergarter, se også Byggdetaljer 520.063 og [523].

Observasjoner på tynnslip gir kvantitativ informasjon ved bruk av punkttelling. Fordi tynnslip oftest representerer veldig små utsnitt av konstruksjonen, blir det også her et spørsmål om representativitet. Man bør derfor ta tynnslip fra flere kjerner, og både fra overflaten og lenger inne i betongen for hver kerne, eventuelt lage store tynnslip. Man kan i tillegg lage plan-slip for å få sikker bestemmelse av pasta/tilslagsforhold og luftinnhold i betongen, som beskrevet i Byggdetaljer 520.032.

- 143 *Kjemisk analyse av alkaligel.* Større porer og hulrom i betongen kan være mer eller mindre fylt med gel. I tørr tilstand er gelen oftest hvit og kan likne kalkutfellinger. I fuktig tilstand kjennes gelen glatt og såpeaktig. Betongkjerner med mye gel fra alkalireaksjoner kan i våt tilstand være praktisk talt såpeglatte. Kjemisk analyse av reaksjonsproduktene/gelen som skilles ut fra reagerte konstruksjoner, vil også gi informasjon om det er snakk om alkalireaksjoner. Tabell 143 gir eksempler fra [522], [523] og [524]. I [522] ble gelen i svømmebassenget analysert med atomabsorpsjonsspektrografi, gelen fra laboratorieprøvene [523] og jernbanesvillene [524] ble analysert med røntgendiffraksjon.

Tabell 143

Kjemisk sammensetning (vekt-%) av hvit gel

Referanse	Si	Na	K	Ca
Svømmebasseng [522]	18	7	10	(ikke målt)
Laboratorieprismer [523]	33	4	10	8
Jernbanesviller [524]	23	3	4	10

Tabellen viser at hvit gel fra disse prøvene er relativt likt sammensatt. Innenfor de tre undersøkelsene varierte både betongsammensetning, reaktivt tilslag (bergart), prøveopprinnelse (konstruksjoner, betongvarer, laboriestøpte prizmer), prøveuttak og analysemetode (røntgendiffraksjon, atomabsorpsjonsspektrografi), avsetningssted: riss/luftporer/fasegrense. Alkaligel fins imidlertid også som brungel, i spesielle krystalliseringsmønstre (plateformet, bladformet m.m.), samt såkalt natriumrik gel [523] med forskjellig sammensetning fra den hvite gelen som er vist i tabell 143.

- 144 *Mekaniske egenskaper.* Alkalireaksjoner resulterer i tap av strekkfasthet som følge av oppsprekking og minsket heft mellom pasta og tilslag. Forholdet mellom spaltestrekkfasthet og trykkfasthet vil avta når omfanget av alkalireaksjoner øker. Dette kan måles på utborede kjerner.

15 Tilstandsgradering

I tabell 15 er det gitt en skjønnsmessig inndeling i skadegrad: «ikke», «lite», «noe», «betydelig», «mye», basert på undersøkelser beskrevet under pkt. 14. Inn-

delingen i skadegrad gir en gradering av omfang av reaksjon og skader. Ved tidligere tilstandskontroller av alkalireaksjoner er nyere terminologi i henhold til NS 3424, Byggforvaltning 700.305, 720.111 og 720.112 ikke brukt. Grovt sett kan man si at skadegrader tilsvarer tilstandsgrader som vist i tabell 15, men man må vurdere hvert tilfelle for seg.

Tabell 15
Sammenheng mellom skadegrader for alkalireaksjoner og tilstandsgrader

Skadegrad	Beskrivelse	Tilstandsgrad i henhold til NS 3424
0 ikke skader	Ingen skader ses og heller ingen tegn på alkalireaksjoner på prøver	0 ingen symptomer
1 lite skader	Lite opprissing ses, og på laboratorieprøver er omfanget av synlige tegn meget lavt	1 svake symptomer
2 noe skader	Synlige riss på overflaten, reaksjonssoner og gelutfellinger observert på borkjerner	1 – 2 svake eller middels kraftige symptomer
3 betydelige skader	Stort omfang av riss/sprekker på konstruksjonen og reaksjonstegn på prøver	2 – 3 middels kraftige eller kraftige symptomer
4 mye skader	Store riss, avskallinger og konstruksjonsdefekter, stort omfang av reaksjonstegn på prøver	3 kraftige symptomer

nene. Enkelte var kun tre – fire år gamle ved undersøkelsestidspunktet. Forretningsbygget, boligblokkene, TV-tårnet og oljeplattformene (skvalpesone) er også relativt nye konstruksjoner (yngre enn 25 år). Dammer og kraftstasjoner er de eldste konstruksjonene. I to tilfeller var konstruksjonene godt over 60 år gamle ved undersøkelsestidspunktet.

Omfang av undersøkelsene har variert fra å være relativt omfattende (tilstandskontroll, uttak av kjerneprøver til tynnslipanalyser, trykkfasthet og ekspansjonsmålinger) til enklere analyser (mottak av borkjerner for tynnslipanalyse, kjemisk analyse av gel, ev. supplert med oppdragsgivers beskrivelse av skadene). Merk at fordi undersøkelsesår varierer fra 1978 til 1995, er eksponeringsalder og konstruksjonsalder forskjellig.

22 Skadeomfang – betydningen av klima

Tabell 21 indikerer at klima er en viktig faktor for at skader skal oppstå som følge av alkalireaksjoner. Relativt nye konstruksjoner, som f.eks. det ene industribygget (fuktig, varmt meieridekke), har betydelige alkalireaksjoner. Det samme gjelder et svømmebasseng, hvor skadelige alkalireaksjoner ble observert kun tre år etter bygging.

Boligblokkene og muligens TV-tårnet (av noe høyere alder enn blokkene ved undersøkelsestidspunktet) må regnes som ganske tørre konstruksjoner, og har nok så lite skader. For dammer og kraftstasjoner varierer prøvenes uttakssted relativt mye; fra tørre til fuktige partier. En mer detaljert beskrivelse av betydning av miljø/klima for alkalireaksjoner er gitt i Byggdetaljer 520.063.

2 Konstruksjoner undersøkt av Byggforsk 1978 – 1995

21 Type og alder

41 ulike konstruksjoner er undersøkt i perioden 1978 – 1995. Samtlige befinner seg i Sør-Norge og hovedparten i Østlandsområdet. Tabell 21 gir en oversikt over undersøkte konstruksjonstyper og skadegrad. De ulike skadegradene, samt sammenhengen mellom skadegrad og tilstandsgrad i henhold til NS 3424 er beskrevet i tabell 15.

Tabell 21
Konstruksjonstyper undersøkt av Byggforsk i perioden 1978 – 1995

Konstruksjonstype	Antall	Byggeår	Skadegrad, se tabell 15
Dam/kraftstasjon	15	1917 – 1967	2 – 3,5
Bro	6	1955 – 1979	0 – 2
Oljeplattform	3	1976 – 1983	0
Forretningsbygg	1	1966	3,5
Industribygg	3	før 1960	1,5 – 3,5
Boligblokk	2	–	0 – 0,5
Svømmebasseng	8	1970 – 1978	1,5 – 3
Annet (TV-tårn, takstein, fliser)	3	1960 – 1985	1 – 2
Sum	41		

Tabellen viser at dammer og kraftstasjoner dominerer undersøkelsene, deretter følger svømmebasseng og broer. Svømmebassengene er de yngste konstruksjo-

3 Overvåking og framtidig reaksjonspotensial

31 Ekspansjonsmåling

Ekspansjonsmåling er den vanligste måten å kvantifisere alkalireaktivitet på ved utprøving av betongre-septer. Ekspansjonsmålinger på prøver uttatt fra konstruksjonen kan gi informasjon om potensial for framtidige alkalireaksjoner. Målinger av restekspansjon på konstruksjoner eller på borkjerner uttatt fra eksisterende konstruksjoner, har ikke vært benyttet så mye, fordi vi har relativt liten erfaring med en og samme metode gjennomført på et større antall konstruksjoner. I Storbritannia [521] og Canada [525] derimot, brukes ekspansjonsmålinger på borkjerner tatt fra konstruksjoner for å vurdere hvor langt reaksjonen er kommet, dvs. betongens restreaksjonspotensial.

311 *Norske måleresultater.* Tabell 311 viser resultater av noen norske restekspansjonsmålinger utført av ulike institusjoner (Noteby, Byggforsk, SINTEF, Grøner) på konstruksjoner og i laboratorium [526]. Dam 2 og bro 2 er fra [531]. Type ekspansjonsmålinger har variert en del; på kjerner lagret ved ulike temperaturer og i ulike klima, på konstruksjonsoverflater, i borehull og

Tabell 311

Noen ekspansjonsmålinger fra Norge, konstruksjoner eldre enn 25 år [526]

Konstruksjon	Type måling	Måleperiode	Utvidelse (‰)	Kommentarer
Fundament	Borehull	1987 –	0,45 – 0,75 pr. år	Fortsatt ekspansjon
Dam 1	Overflate	1991 –	1 på 1 år	Fortsatt ekspansjon
Dam 2	Kjerner, 40 °C/100 % RF	1990 – 1992	< 0,1 på 1,5 år	Init. svelling (fukt, temp.): 1,2 ‰
Dam 3	Kjerner, 20/50 °C mettet NaCl	0,4 år	0,8/1,7	Ikke-reaktiv iht. met. ¹⁾
Dam 4	Radielt over hele damhvelvet	1967 –	0,4 – 0,7 1980 – 93	1967 – 1980: ingen bevegelse
Bro 1	Overflate	1990 – 1991	–	Både eksp. og kontraksjon
Bro 2	Kjerner i 40 °C/100 % RF	1990 – 1992	< 0,1 på 1,5 år	Init. svelling (fukt, temp.): 1,4 ‰

¹⁾ Dansk Teknologisk Institutt's prøvemethode TI-B 51, 1985

over hele konstruksjonen (dam). I tillegg pågår for tiden et større måleprogram på konstruksjoner i Nord-Norge i regi av SINTEF [529].

- 312 *Talking av ekspansjonsmålinger.* Fra tabell 311 ser vi at for fundamentet, dam 1 og dam 4 fortsetter ekspansjonen, for dam 2 og bro 2 later ekspansjonen til å ha stoppet opp. Implikasjonen av dette er at alkali-reaksjonen har stoppet, og at reparasjoner kan utføres. For dam 3 og bro 1 er resultatene noe vanskelige å vurdere: For dam 3 er ekspansjonen lavere enn akseptgrenser gitt i den danske akselererte metoden, mens det er tvilsomt om erfaringer med dansk flint er anvendbare på norske bergarter. For bro 1 er måleperioden relativt kort, og både kontraksjon (vinter) og ekspansjon (sommer) ble målt. Målingene burde her pågått over lengre tid for å kunne si noe sikkert. Generelt kan vi si at ekspansjonsmålinger i felt bør gå over flere år for å jevne ut sesongvariasjoner.

Et annet eksempel er to relativt tynne konstruksjoner, henholdsvis ei bru og en dam på ca. 35 år [531]. Her kunne ingen ekspansjon registreres i borkjerner tatt fra konstruksjonene. For disse to byggene vil anbefalingen gå i retning av mekanisk reparasjon og av å forhindre videre fukttilgang (bortledning av vann, overflatebehandling).

I praksis vil ofte også andre faktorer være med på å avgjøre valg av reparasjonsstrategi, f.eks. konstruksjonens funksjonsdyktighet, alder i forhold til prosjektert levetid og totaløkonomi – og om en velger reparasjon eller nybygging.

42 Metode for bremsing av alkalireaksjoner

I en større undersøkelse i USA [533] ble følgende strategier for bremsing og kontroll av alkalireaksjoner undersøkt:

- påføring/tilføring av LiOH-løsninger (litiumhydroksid)
- fastholding
- tørking/forsegling
- IDV-tiltak

Av disse ble LiOH og tørking/forsegling funnet mest lovende, men mye arbeid gjenstår trolig før sikre metoder kan anbefales.

43 Mekaniske reparasjoner

Mekaniske reparasjoner består i å meisle bort skadet betong. Skadet betong erstattes med ny betong, reparasjonsmørtler, sprøytebetong eller liknende. Dersom kun reaktivt tilslag er tilgjengelig, må man følge anvisning fra Norsk betongforening [532]. Alternativt kan man bruke høyfast betong/selvuttørkende betong, dersom fuktnivået holdes under kritisk grense for skadelige reaksjoner. Dette reparasjonsalternativet vil i praksis være omdiskutert, men er ikke desto mindre et interessant alternativ også for nybygging med reaktive tilslagsmaterialer [528]. Ved reparasjonen bør man dessuten vurdere å etablere nye dilatasjonsfuger for å sikre fri ekspansjon og forhindre tvangskrefter, dersom dette er mulig uten at konstruksjonens sikkerhet/bæreevne reduseres.

44 Reduksjon av fuktighet/fukttinnhold

Dersom betongens fukttinnhold ligger under 80 % relativ fuktighet, regnes alkalireaksjoner ikke som noe problem, selv om alle andre nødvendige faktorer er til stede (reaktivt tilslag, tilstrekkelig med alkalier, tilstrekkelig høy temperatur).

4 Reparasjon – utbedringstiltak

41 Grunnlag for å velge tiltak

Det er stor usikkerhet om når reparasjonstiltak må eller kan settes inn og virkningen av disse på konstruksjoner skadet av alkalireaksjoner. Usikkerheten vil ofte være større enn for andre skademekanismer som karbonatiserings- eller kloridinitiert armeringskorrosjon, frostskafer, sulfatangrep etc. Årsaken er først og fremst at reaksjonens tidsavhengighet er beheftet med stor usikkerhet. For å kunne ta beslutninger om utbedring av konstruksjoner med alkalireaksjoner må man imidlertid fastlegge data om konstruksjonens fukttinnhold, temperatur og ekspansjon som funksjon av tid. I Norge har man i den senere tid innført forkortelsen IDV (= Instrumentering Dokumentasjon Verifisering) for registrering av slike data for overvåking av betongkonstruksjoners oppførsel over tid, deriblant mikroklima og skade/ekspansjonsforløp. Dataene er viktige for å kunne bestemme tidspunkt for reparasjon og hvilken strategi man skal velge. Se også pkt. 3.

- 411 *Eksempler.* Et eksempel er et massivt fundament undersøkt av Noteby (over 70 år gammelt) som fortsatt ekspanderer. I et slikt tilfelle må man finne måter å leve med konstruksjonen på eller bytte den helt ut, med mindre man kan klare å redusere fukttinnholdet.

Membraner eller overflatebehandling kan brukes for å hindre tilgang på ny fukt og hindre tilgang på eksterne alkalier, men må brukes med omhu. Det er avgjørende at membranen brukes/påføres slik at for høyt fukttinnhold ikke stenges inne. For eksempel på oppstrømssiden av en dam, eller der hvor fuktopptak skyldes nedbør eller annen sporadisk fukttilførsel, vil membran eller annen tett overflatebehandling kunne redusere skadepotensialet. Erfaringer fra USA [533] tyder ikke på at diffusjonsåpne overflatebehandlinger (f.eks. silaner/siloksaner) effektivt kan redusere fuktighet slik at alkalireaksjoner reduseres. Dersom overflatebehandlingen fører til redusert uttørkingsevne, bidrar til å opprettholde for høyt fuktnivå eller stenger inn kapillært opptrukket fukt, kan konstruksjonens vannmetningsgrad øke. Luftens relative fuktighet setter dessuten en praktisk grense for uttørkingsmulighetene.

Andre tetttiltak kan være å:

- injisere riss for å hindre inntrenging av væske, gass og/eller oppløste ioner i konstruksjonen, og dermed forhindre følgeskader
- legge fliser i epoksymørtel for å hindre inntrenging av fukt og sikre god heft til underliggende betong i svømmebassenger og andre konstruksjoner utsatt for høy fuktighet og varme

45 Erfaringer

Praksis har vist at reparasjon av betongkonstruksjoner med alkalireaksjoner er vanskelig. Mange av de reparasjonene som er utført fra slutten av 1980-årene, har hatt mer preg av forskning og utvikling enn rutinemessig reparasjon. Tre norske dammer med omfattende sprekker pga. alkalireaksjoner ble reparert med epoksy/akrylbaserende membraner i 1987 – 88. Tanken var å forhindre/ redusere fuktinntrenging og dermed videre alkalireaksjoner og følgeskader. Etter kun 1,5 år hadde oppsprekningen gitt hull i membranene, og etter 3 år var det klart målbare økninger i rissviddene under overflatebehandlingen [523]. Mekanisk reparasjon med fjerning av gammel og skadet betong og påstøp av ny betong har i flere tilfeller vist seg å være mislykket. Erfaringer fra Canada har vist at sprøytebetongreparasjon på konstruksjoner med alkalireaksjoner kan gi problemer med deformasjoner og sprekker pga. ekspansjonen i den gamle betongen og fastholdt svinn i reparasjonslaget [527]. En viktig underliggende årsak til disse problemene er at selve betongkonstruksjonen ofte fortsetter å ekspandere fordi alkalireaksjonene fortsatt pågår. Konklusjonen hittil har vært at ekspansjon i gammel betong, og derav skader på reparasjoner, er svært vanskelig å bestemme ved laboratorieforsøk. Forsøksreparasjoner bør derfor utprøves på virkelig konstruksjon før omfattende reparasjonsarbeider igangsettes. Slike forsøk er gjort rede for bl.a. i [527] og [533].

5 Referanser

51 Utarbeidelse

Bladet er utarbeidet av Stefan Jacobsen og Hans Chr. Gran. Saksbehandler har vært Jan Chr. Krohn. Redaksjonen ble avsluttet i oktober 1996.

52 Litteratur

- 521 The diagnosis of alkali-silica reaction. British cement association publication 45.042. Wexham Springs, 1988.
- 522 Kjennerud, A. Alkaligrusreaksjoner påvist i Norge: Skadene mer vanlig enn antatt. Plan og Bygg 26. Ingeniørforlaget. Oslo, 1978.
- 523 Jenssen, V. Alkali Aggregate Reaction in Southern Norway. Dr.Techn. avhandling. Trondheim, 1993.
- 524 Thaulow, N. et al. Composition of Alkali silica gel and ettringite in concrete railroad ties: SEM-EDX and X-ray diffraction analyses. Cement and concrete research, Vol. 26, No. 2, pp. 309 – 318. New York, 1996.
- 525 Grattan-Bellew, P.E.; Danay, A. Comparison of laboratory and field evaluation of alkali-silica reaction in large dams. Int. conf. on concrete alkali-aggregate reactions in hydroelectric plants and dams, Canadian Electrical Association. Montreal, 1992.
- 526 Jacobsen, S.; Gran, H. C. Måling av restreaksjonspensiale i betongkonstruksjoner. Rapport E 6264 (6 s.). Norges byggforskningsinstitutt. Oslo, 1992.
- 527 Pigeon, M. et al. Fiber reinforced shotcrete repair of concrete structures affected by alkali-silica reaction: Laboratory assessment, Concrete under severe conditions. Environment and loading Vol. 1, pp. 761 – 770. London, 1995.
- 528 Larrard, F.; Larive, C. BHP et alcali-reaction: deux concepts incompatibles? Bull. liaison LCPC 190, pp. 107 – 109. Paris, 1994.
- 529 Jensen, V.; Hangen, M. Alkalireaksjoner i Nord-Norge. Rapport nr. 3: In-situ målinger av fukt og dilatasjon. SINTEF STF 22 A 96 807. Trondheim, 1996.
- 530 Wigum, B. Alkalireaksjoner i betong. Kontrollrådet for betongprodukter. Oslo, 1996.
- 531 Jacobsen, S.; Gran, H. C. Alkali aggregate reactions in Norway: Thin section analysis and expansion measurements from a dam and a bridge. Nordic Concrete Research Publ. no. 11, pp 83 – 91, 1992.
- 532 Norsk betongforenings publikasjon nr. 21, Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag. 1996.
- 533 Strategic Highway Research Program. Eliminating or minimizing Alkali-Silica Reactivity. Rapport SHRP-C-343. 266 sider. 1993.