

# Alkalireaksjoner - metoder for måling av restekspansjon

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 238



## Tittel

Alkalireaksjoner - metoder for måling av restekspansjon

## Undertittel

Betongkjerner utboret fra konstruksjoner med alkalireaksjoner

## Forfatter

Børge Johannes Wigum, Mannvit

## Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologi-avdelingen

## Seksjon

Tunnel og betong

## Prosjektnummer

603242

## Rapportnummer

Nr. 238

## Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

## Godkjent av

Eva Rodum

## Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling bruer, betong, alkalireaksjoner, restekspansjon, laboratoriemetoder

## Sammendrag

Restekspansjonsmålinger på betongkjerner utboret fra konstruksjoner med alkali-reaksjoner er omstridt. Like fullt er dette målinger som i gitte tilfeller kan gi verdifull informasjon vedrørende en aktuell betongs reaktivitet og ekspansjonspotensiale - egenskaper som gir viktig input til en konstruksjonseier ved vurdering av konstruksjonens tilstand, både når det gjelder framtidig skadeutvikling og tiltak. På oppdrag fra Statens vegvesen har Mannvit gjennomført et litteratursøk i internasjonale databaser og utarbeidet en statusrapport på laboratoriemetoder for måling av restekspansjon på kjerner boret ut fra konstruksjoner med alkalireaksjoner. Rapporten gir en oversikt over ulike metoders: Eksponeringsbetingelser, størrelse på prøvestykker, måle-metodikk og utstyr, effekt på ulike tilslagstyper/-sammensetninger, resultater i forhold til virkelig oppførsel i felt og feilkilder. Det er spesielt lagt vekt på metoder som ikke tilfører alkalier og hvor temperaturen holdes på et moderat nivå.

**Antall sider** 57

**Dato** Juli 2013

## Title

AAR - Laboratory testing of residual expansion

## Subtitle

Concrete cores drilled from AAR affected structures

## Author

Børge Johannes Wigum, Mannvit

## Department

Traffic safety, Environment and Technology department

## Section

Tunnel and concrete

## Project number

603242

## Report number

No. 238

## Project manager

Synnøve A. Myren / Bård Pedersen

## Approved by

Eva Rodum

## Key words

Durable structures, existing bridges, concrete, alkali aggregate reactions, residual expansion, laboratory testing

## Summary

Laboratory testing of residual expansion is disputed. Such testing may, however, in some cases generate valuable information concerning the reactivity and expansion potential of the concrete in a structure, characteristics which are essential input when evaluating the condition of the structure and future development of damage and relevant measures. Ordered by NPRA, Mannvit has performed a literature survey and prepared a state-of-the-art report on laboratory testing of residual expansion of concrete cores drilled from AAR affected structures. The report summarises different methods regarding: Exposure conditions, size of specimens, measuring technique and equipment, effect on different types of aggregate, laboratory results contra behaviour under real field conditions and sources of error. Methods which imply no adding of alkalis and moderate temperature conditions are emphasised.

**Pages** 57

**Date** July 2013

## Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

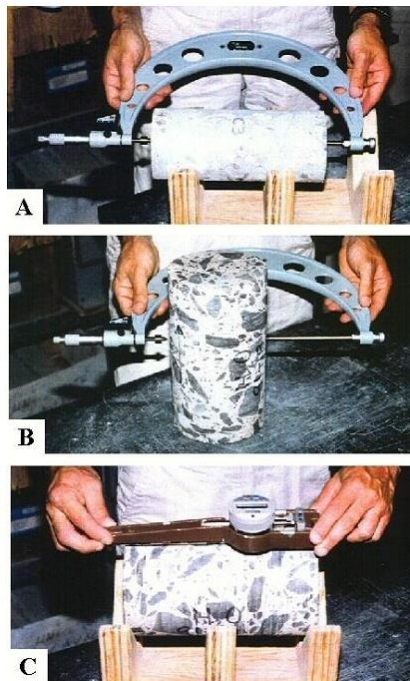
Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på [vegvesen.no/varigekonstruksjoner](http://vegvesen.no/varigekonstruksjoner)

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer** som ledes av Bård Pedersen. Prosjektet vil generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Dette vil gi grunnlag for bedre levetidsvurderinger og reparasjonsmetoder. Innenfor områdene hvor det er nødvendig vil det etableres forbedrede rutiner og verktøy for tilstandskontroll- og analyse. Prosjektet vil også frembringe kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader, samt konstruktive effekter av forsterkningstiltak. Prosjektet vil gi viktig input i forhold til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og vil således ha leveranser av stor betydning til Prosjekt 3: Fremtidige bruer.

Rapporten er utarbeidet av *Børge Johannes Wigum, Mannvit* på oppdrag fra Varige konstruksjoner. Beskrivelse av oppdraget er gjengitt i vedlegg.

Avrop 10:  
Rammeavtale på Laboratorietjenester innen betong,  
betongkonstruksjoner, tunnel og bruvedlikehold med FOU.  
*Saksnummer: 2010174185*

**Deloppgave 1:**  
**Utarbeidelse av «State-of-the-art» rapport (STAR) på  
laboratoriemetoder for restekspansjonsmålinger**



av  
Dr. Børge Johannes Wigum

Mars 2013

***«Short term tests on small samples have misled us for too long» !***

*Jonathan Woods (2000)*





## Innhold

1	Innledning .....	2
1.1	Generelt .....	2
1.2	Beskrivelse av oppdraget og oppbygging av rapporten .....	2
2	Generell oversikt over ulike undersøkelser .....	4
3	Diskusjon og oppsummering .....	26
3.1	Målemetodikk og eksponeringsbetingelser .....	26
3.2	Størrelse på prøvestykker .....	26
3.3	Utstyr .....	26
3.4	Resultater i forhold til virkelig oppførsel i felt .....	27
3.5	Feilkilder .....	27
3.6	Relevans for norske forhold (bergartstyper og klima) .....	27
4	Referanser .....	28

## 1 Innledning

Alkalireaksjoner i betong (*Alkali Aggregate Reactions - AAR*) er kjemiske reaksjoner mellom sement og tilslagsmaterialer som på lengre sikt fører til en delvis oppløsning av  $\text{SiO}_2$ -mineraler i visse typer reaktive bergarter. Det dannes en "gel" som ved vannopptak ekspanderer. Utsatte deler av betong konstruksjoner ekspanderer, samtidig som det kan oppstå betydelige riss og sprekker. Videre vil betongens fasthet og tetthet kunne bli redusert, noe som blant annet kan disponere for andre nedbrytende prosesser.

Da reaksjonene i konstruksjoner skjer langsomt (fra år til tiår), er det vanlig å dokumentere potensialet for AAR i fersk- eller eksisterende betong, med laboratorietester der reaksjonen akselereres, enten ved høy luftfuktighet, ved økt temperaturen, eller ved å lagre prøvestykker neddykket i alkaliske oppløsninger, ved økt temperatur. Det er da vanlig å kunne dokumentere skadelig ekspansjon grunnet AAR innen en tidsramme fra 14 dager til et år, avhengig av lagringsbetingelser.

### 1.1 Generelt

Potensialet for videre ekspansjon (restekspansjon) i en betongkonstruksjon grunnet alkalireaksjoner (AAR) er en viktig parameter som i gitte tilfeller kan gi verdifull informasjon vedrørende en aktuell betongs reaktivitet og ekspansjonspotensiale. Dette er egenskaper som gir viktig innspill til en konstruksjonseier ved vurdering av konstruksjonens tilstand, både når det gjelder framtidig skadeutvikling og tiltak for reparasjon. In-situ overvåkning av deformasjoner i betongkonstruksjonen er den eneste nøyaktige metoden for å estimere dette potensialet. Grad av deformasjon måles periodisk eller kontinuerlig, og kan deretter bli ekstrapolert til å anslå fremtidige ekspansjon. Et av problemene med in-situ målinger er derimot at det kreves normalt flere år for å generere relevante data, dvs. data der permanent og kumulativ deformasjon grunnet AAR klart kan skilles fra reversible og syklisk bevegelser relatert til mekanisk (lasting, trafikk, bruksbetingelser etc.) og termiske/klimatiske (daglig og sesongmessige) variasjoner. For å kunne si noe om restekspansjonspotensialet i en betongkonstruksjon er det derfor utviklet tester for å måle restekspansjonen i laboratoriet under akselererte forhold.

### 1.2 Beskrivelse av oppdraget og oppbygging av rapporten

Denne rapporten er utarbeidet på grunnlag av en bestilling fra Statens vegvesen (Avrop 10), der det skulle utarbeides en statusrapport på laboratoriemetoder for bestemmelse av restekspansjon på utborede betongkjerner.

Denne rapporten er bygd opp ved at det i kapittel 2 gis en kronologisk oversikt over ulike undersøkelser der man har sett på restekspansjon fra utborede betongkjerner fra konstruksjoner.

Basert på oversikten i kapittel 2, er det i det påfølgende kapitlet diskutert de ulike metoder utfra:

- Eksponeringsbetingelser
- Størrelse på prøvestykker
- Målemetodikk og utstyr
- Effekt på ulike tilslagstyper/-sammensetninger
- Resultater i forhold til virkelig oppførsel i felt
- Feilkilder

I diskusjonen er det forsøkt å legge vekt på geografiske variasjoner i metodebruken. Det er spesielt lagt vekt på erfaringer med metoder som ikke tilfører alkalier og hvor temperaturen holdes på et moderat nivå (f.eks. 38°C). Det er også denne kategori av metoder som er mest benyttet og ansett av ledende internasjonale eksperter til å være de anbefalte metodene (Bérubé et al., 2004<sup>1</sup> & Bérubé 2002<sup>2</sup>)

Betydningen av betongens fuktinnhold under eksponering er også belyst. De ulike metoder/varianter av metoder er også vurdert spesielt med hensyn på relevans for norske forhold (bergarter og klima).

Informasjon i denne rapporten er basert på et bredt søk i internasjonale litteraturdatabaser og aktuelle «conference proceedings» – minimum ICAAR-konferanser opp til 2012 og tidsskrift utgitt av forlagene Elsevier, Thomas Telford, Canadian Science Publishing og Springer Science (herunder tidsskriftene: Cement and Concrete Research, Materials and Structures, Magazine of Concrete Research, Construction and Building Materials, Canadian Journal of Civil Engineering). Søkene har minimum dekket tidsperioden fra 1995 opp til dags dato. Rapporten inneholder en utvidet referanseliste/vedlegg, hvor abstract fra omtalte referanser er inkludert.



## 2 Generell oversikt over ulike undersøkelser

I det etterfølgende er det gitt en oversikt over ulike rapporterte undersøkelser vedrørende alkalireaksjoner og restekspansjon. Kapitlet gir en kronologisk oversikt der det startes med de nyeste undersøkelsene først. Dette er både undersøkelser som vurderer kritisk de ulike prøvningsprosedyrene for ulike metoder for å bestemme restekspansjon, samt ulike praktiske undersøkelser, der det er utført restekspansjonsmålinger på konkrete betongkonstruksjoner.

Sammenstillingen er begrenset til laboratoriemetoder for bestemmelse av restekspansjon på utborede betongkjerner. Det er lite fokusert på andre testmetoder, eksempelvis; ikke destruktive testmetoder. Slike alternative metoder er kun tatt med, der disse er relatert til restekspansjonsforsk.

I teknisk komité i **RILEM<sup>1</sup> (2012)<sup>3</sup>** er det under utarbeidelse en guide (AAR 6.1) som omhandler diagnostikk og vurdering av AAR skader på betong i konstruksjoner. I utkastet til denne guiden omhandles det i kapitel 5.3.1; ekspansjonstester på betongkjerner. Selve metodikken og tolkning av resultater vil senere bli presentert i en påfølgende rapport (AAR 6.2). Det poengteres at resultater fra ekspansjonstester for kjerner må brukes med forsiktighet, da utborede kjerner kan begynne å ekspandere når de får økt tilgang til fuktighet. Det poengteres dermed viktigheten av å måle vektforandringer for testede kjerner. Denne guiden poengterer også utfordringene ved å opprettholde «100% RF» ved testing av betongkjerner. Det vises til at erfaringer med restekspansjonstester har påvist 3 ulike ekspansjonsmekanismer; 1) ekspansjon grunnet vannopptak i pasta, 2) ekspansjon grunnet vannopptak i eksisterende gel, 3) ny kontinuerlig restekspansjon. Det foreligger ennå ikke tilstrekkelig erfaring til å kunne klart skille mellom disse ulike mekanismene, men ved å følge med på vektøkning vs. ekspansjoner det mulig å delvis kunne skille mellom disse.

I denne guiden fra RILEM diskuteres det kortfattet ulike metoder for å vurdere restekspansjon; metoder ved lagring i 100%RF i 20°C og 38°C, samt akselererte metoder der kjerner lagres neddykket i NaOH eller NaCl oppløsninger. Det er erfart at kjerner som lagres ved 20°C viser en mye lavere ekspansjonshastighet sammenlignet med kjerner som er lagret ved 38°C, mens den totale sluttekspansjonen ved 20°C kan bli høyere enn ved 38°C.

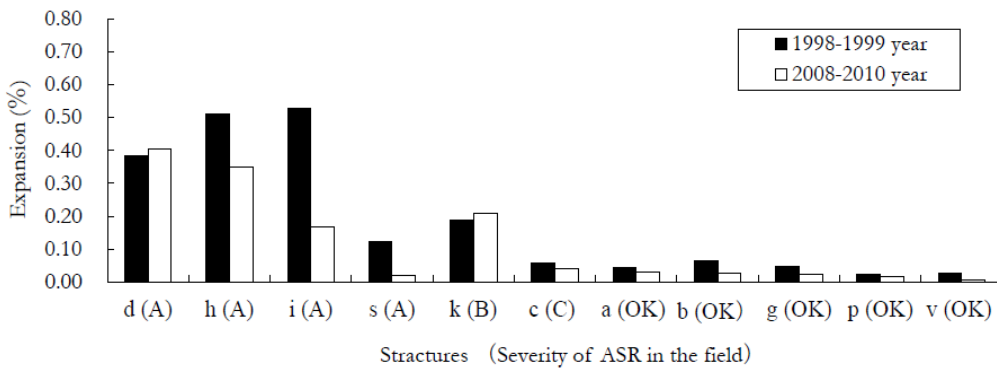
I områder der vulkanske bergarter er dominerende reaktive bergarter, påpekes det av RILEM at det er påvist at skadegrad i felt korresponderer godt med ekspansjonshastighet for kjerner lagret i NaOH oppløsning (diameter 55 mm, lengde 130 mm), og kan bli brukt som lokale retningslinjer (Katayama et al., 2004)<sup>4</sup>. Det er erfart at kjerner lagret i 1 N NaOH oppløsning ved 80°C etter 3 uker gir en tilsvarende ekspansjon som for kjerner lagret i NaCl oppløsning ved 50°C etter 3 måneder. Kjerner lagret i NaCl oppløsning viser en forsinket ekspansjon grunnet lav OH-ione konsentrasjon. The poengteres at i disse to testene, der kjerner lagres i ulike oppløsninger, kan man eventuelt redusere kjernediameteren, da det er mindre fare for alkali-utlekking.

---

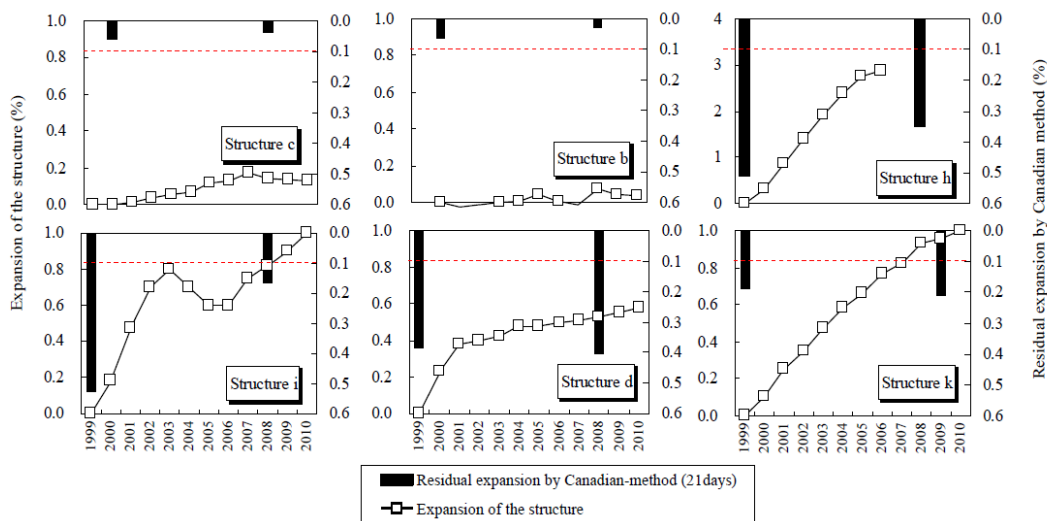
<sup>1</sup> RILEM – International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures.

**Nomura et al. (2012)**<sup>5</sup> gjennomførte en undersøkelse der det ble tatt prøver fra 24 ulike motorvei bruer i Japan. I tillegg til undersøkelse av overflateekspansjon og petrografisk undersøkelser av reaktive tilslagstyper, ble det utført restekspansjonsmålinger. Resultatene ble sammenlignet med en lignende undersøkelse som ble utført 10 år tidligere. Den vulkanske bergarten andesitt ble ansett som den dominerende reaktive komponenten i tilslagsmaterialene.

Restekspansjonsmålingene ble utført på utborede kjerner ( $\varnothing=55\text{mm}$ ,  $L=150\text{mm}$ ) som ble lagret i 1 N NaOH oppløsning ved  $80^{\circ}\text{C}$ , tilsvarende prosedyre som den akselererte mørtelprismetesten, ASTM C1260. For kjerner fra konstruksjoner som var klassifisert i skadeklasse A, ble det observert mer enn halvering av ekspansjon i forhold til det som ble observert for tilsvarende kjerner 10 år tidligere. Derimot for kjerner fra konstruksjoner i skadeklasse B, ble det observert en økt ekspansjon enn det som var målt tidligere, og det antas dermed at ekspansjonen vil fortsette å øke. Det er dog presisert at siden kjernene blir utsatt for akselererte betingelser, vil disse testene ikke nødvendigvis gjenspeile hva som skjer i virkelige konstruksjoner.



Figur 1. Rest-ekspansjon målt i ulike konstruksjoner testet på betongkjerner uttatt 1998-1999 og 2008-2010<sup>5</sup>.



Figur 2. Sammenheng mellom målt ekspansjon på konstruksjoner og rest-ekspansjon målt på betongkjerner uttatt 1998-1999 og 2008-2010<sup>5</sup>.

**Fecteau og Fournier (2012)**<sup>6</sup> poengterte i en undersøkelse at det mangler data som bekrefter påliteligheten for rest-ekspansjonsmålinger i laboratorium. For å oppnå et grundigere datagrunnlag ble det i denne undersøkelsen støpt ut blokker (400 x 400 x 700 mm) med 6 ulike reaktive tilslag for eksponering utendørs ved en feltstasjon ved Universitetet i Texas i Austin. Ekspansjonsmålinger ble utført regelmessig for å sikre at utboring av kjerner kunne utføres på forutbestemte ekspansjonsnivåer. Rest-ekspansjonsmålinger ble deretter utført på utborede betongkjerner (100 x 200mm); to fra hver betongblokk, og fra ulike ekspansjonsnivåer. Kjernene ble lagret ved 38°C og RF > 95%, og lengde ekspansjon og vekt-forandringer ble målt over en tidsperiode på minimum et år.

Det ble funnet at grad av ekspansjon og ekspansjonshastighet var avhengig av fuktforhold i prøvestykkene, dvs. om prøvestykkene tørket ut signifikant eller ikke før rest-ekspansjonstesten startet. Det ble poengtert viktigheten av å følge med på prøvestykkers vektendring. Preliminære resultater viste at rest-ekspansjon av kjerner i laboratoriet generelt underestimerer de ekspansjonsverdiene som er registrert i felt. Det ble derimot i denne undersøkelsen etablert multiplikasjonsfaktorer for å bestemme felteksponasjon basert på målinger av kjerner i laboratoriet. Disse faktorene varierte avhengig bl.a. av grad av reaktivitet for de ulike tilslagene. Det fastslås at det foreløpig er for tidlig å konkludere med hvilke faktorer som skal benyttes, da blokkene i feltstasjonen ennå ikke har nådd sin endelige slutt-ekspansjon. Videre er det påpekt de store usikkerheter som oppnås i laboratorieforsøkene, grunnet mye utlekking av alkalier fra betongkjernene. Det anbefales å benytte 150 x 300 mm kjerner isteden for de vanlige 100 mm. En annen mulighet kunne være å lagre kjernene i en alkalisk oppløsning, som ville kunne redusere alkali-utlekkingen. Avslutningsvis påpekes det at videre undersøkelser er nødvendig, både vedrørende grad av alkali-utlekking fra betongkjerner og hvilke korrelasjonsfaktorer som skal benyttes mellom felt og laboratorium.

**Bérubé et al. (2012)**<sup>7</sup> gjennomførte rest-ekspansjonsforsøk ved 38°C og RF > 95%, der hovedmålsettingen var å se på mulighetene for å redusere alkali-utlekking, samt å vurdere masse-variasjoner. Det ble utført forsøk med ulike variasjoner av test betingelser (prøvestørrelser, prøvningsoverflate og forholdet luft/betong i prøvningsbeholdere) og ulike beskyttende tiltak for å redusere alkali-utlekking (overflatebehandling med silan og tildekking med aluminiumsfolie). Det ble funnet at ulike prøvningsoverflater, dvs. støpte sylindere vs. utborede kjerner ikke hadde noen effekt på sluttresultatene.

Undersøkelsene viste at høyere forholdet mellom luft vs. betong i prøvningsbeholdere, og minkende størrelse på prøvestykkene, gav en høyere alkali-utlekking, lavere ekspansjon og lavere masse-økning. I 100 mm betongkjerner ble det registrert alkali-utlekking i gjennomsnittlig størrelsesorden 32% etter 411 til 487 dagers prøvningsperiode. Det ble ikke funnet forskjell i grad av alkali-utlekking for kjerner som ekspanderte mye, kontra kontrollkjerner som inneholdt ikke-reaktivt tilslag. Det ble dermed konkludert med at eventuell opprissing ikke var en årsak til alkali-utlekking. Det ble observert at alle prøvene som hadde beskyttende tiltak mot utlekking ekspanderte mindre enn kontroll-prøvene, til tross for vesentlig redusert alkali-utlekking. Innpakning med aluminiumsfolie viste seg å være den mest effektive metoden mot utlekking, men ekspansjonen var fortsatt betydelig lavere enn for kontroll-prøvene. Det ble på det sterkeste anbefalt å benytte betongkjerner med diameter 150 mm, tiltros for at dette er mindre praktisk enn kjerner med diameter 100 mm.

**Merz og Leemann (2012)**<sup>8</sup> gjennomførte en undersøkelse der de så på restekspansjon av kjerner fra flere ulike betongkonstruksjoner med varierende skadegrad. Det ble gjennomført undersøkelser for å identifisere ulike faser av ekspansjon og å undersøke virkningen av betongkjernenes størrelse (lengde og diameter), og lagringstemperaturen på de målte verdiene. Det ble påvist at restekspansjonen kunne deles i forskjellige faser med forskjellige grad av ekspansjon. Resultater i undersøkelsen indikerer at økningen i den første fasen, som finner sted etter at kjernene stabiliserer seg (pre-kondisjonering), men før en lineær ekspansjonsgrense er nådd, bestemmer videre ekspansjonsutvikling for betongkjernene i testen. De hevder dermed at dette kan brukes til å skille betong med forskjellige restekspansjonspotensialer. Resultater viser også at anisotropi mellom ekspansjon i lengde og bredde av kjernene generelt øker med minkende kjernediameter. Imidlertid reduseres anisotropien i tilfeller med økende restekspansjon. Målinger av restekspansjon viser en sammenheng mellom grad av ekspansjon og sprekemålinger utført på eksisterende konstruksjoner. Det er også påvist sammenhenger mellom målinger av restekspansjon på betongkjerner vs. målinger av ekspansjon på tilsvarende betongblandinger fremstilt i laboratoriet og testet vha funksjonsprøvning.

**Fournier et al. (2010)**<sup>9</sup> publiserte på vegne av det amerikanske vegvesenet (*The Federal Highway Administration*) en viktig og omfattende rapport<sup>2</sup> om hvordan alkalireaksjoner kan diagnostiseres, utarbeidelse av prognoser for videre utvikling, og hvordan forhindre ytterligere skadeutvikling.

I appendix F i rapporten foreligger det en detaljert beskrivelse av to ulike metoder vedrørende ekspansjonstester på betongkjerner for å bestemme restekspansjon. Disse to metodene er:

1. Betongkjerner eksponert i luft ved >95% RF ved 38°C (beskrevet grundig i denne rapporten)
2. Betongkjerner eksponert i 1N NaOH løsning ved 38°C

Det hevdes at den første metoden er den mest realistiske metoden for å evaluere; betongrestekspansjon (*residual concrete expansivity*), mens den andre metoden er anbefalt for å evaluere; restekspansjon for tilslag (*residual aggregate reactivity*).

Da dette er metodebeskrivelser som både er omfattende, og av nyere dato, er det valgt å inkludere i denne rapporten en relativt detaljert beskrivelse av den første metoden der det ikke er tilført alkalier; Betongkjerner eksponert i luft ved >95% RF ved 38°C

#### Prøvetakning; kjernediameter (*Appendix F.2 Sampling; F.2.1 Core diameter*)

Det anbefales at diameter på betongkjernene skal minimum være tre ganger større en maksimal størrelse på tilslagspartiklene, og lengden skal være to til tre ganger diameteren. Det poengteres at kjernediameter på 100 mm er det mest praktiske, men anbefaler kjernediameter på 150 mm når man tester kjerner eksponert i luft ved >95% RF ved 38°C. Dette er anbefalt for å redusere alkali-utlekking iløpet av prøveperioden.

#### Overflate effekter (*F.2.2 Surface effects and depth of cores*)

Grunnet effekten av andre mekanismer i ytre deler av betongoverflaten (alkali-utlekking eller alkali-konsentrasjon, oppsprekking, fryse/tine effekter o.l.), anbefales det at de ytterste 50 mm av betongkjernen kuttes vekk før det foretas videre testing.

#### Antall, lokalisering, og orientering av kjerner (*F.2.3 Number, location, and orientation of cores*)

Grunnet variasjoner i betongkonstruksjoners geometri, og ulike spenningskonstruksjoner, fuktighet etc., anbefales det at uttak av kjerner skjer på flere lokaliteter i konstruksjonen. For et konstruksjonselement anbefales det uttak av minimum 3 kjerner, dersom det skal testes i luft ved >95% RF ved 38°C, og minimum 2 kjerner dersom det skal testes i 1N NaOH løsning ved 38°C.

---

<sup>2</sup> [www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif09004/hif09004.pdf](http://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif09004/hif09004.pdf)

## Lagring av kjerner før testing

### Initiell tilpassing (F.3.1 Initial adjustment)

Etter utboring vil volumet til betongkjernene kunne endres utfra:

- Ekspansjon eller svinn grunnet temperaturforandringer eller fuktforandringer.
- Ekspansjon grunnet utløsning av spenninger.
- Ekspansjon av alkaligel som ekspanderer grunnet lavere spenninger eller økt fuktinnhold.

### Lagringsbetingelser (F.3.2 Storage conditions)

For å minimalisere disse effektene er det anbefalt å forsegle betongkjerner straks etter uttak (noe som også forhindrer karbonisering), og vente minst en uke før videre testing for å oppnå mekanisk balanse grunnet spenninger (*stress release*). Volumendringene som finner sted i løpet av dette første tidsrommet, kan også måles ved å feste på målepunkter og foreta initielle målinger straks etter prøveuttak.

Tabell 1. Foreslått lengde for kjerner som testes, som en funksjon av kjerne diameter

Core diameter (mm)	Recommended length <sup>1</sup> (mm)	Minimum length <sup>1</sup> (mm)
50 (2 in)	150 (6 in)	100 (4 in)
75 (3 in)	225 (11 in)	150 (6 in)
100 (4 in)	300 (12 in)	200 (8 in)
150 (6 in)	300 (12 in)	300 (12 in)

<sup>1</sup> Approximately (max ± 5mm)

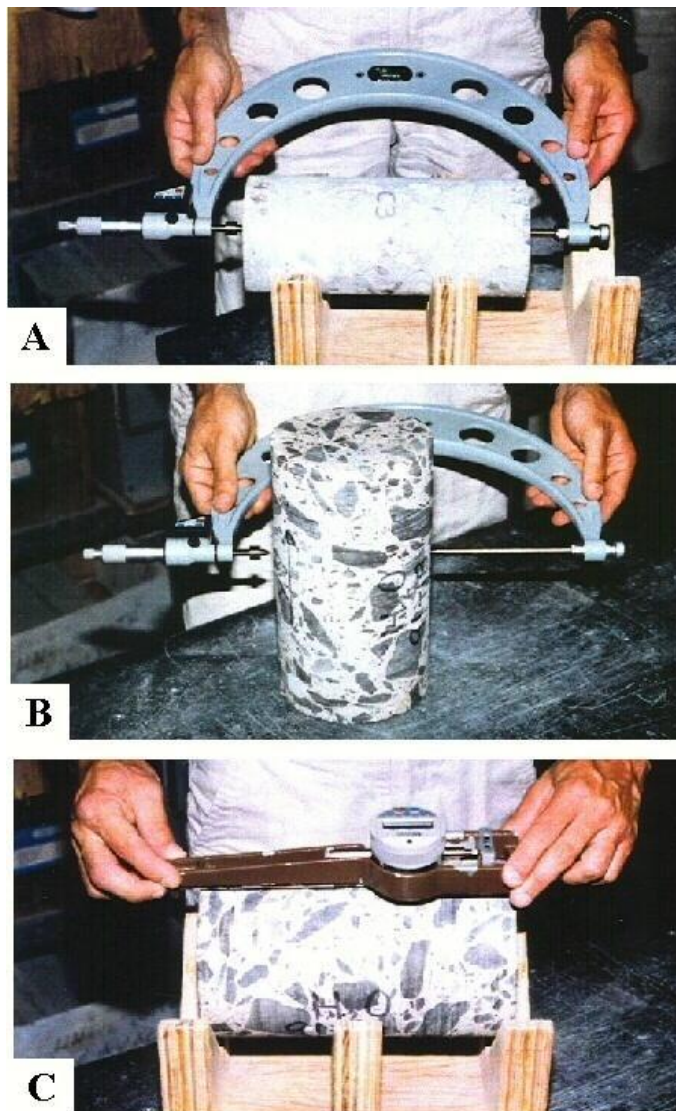
### Installering av referansepunkter (F.4.2 Installation of gage reference studs)

Installering av referansepunkter gjøres for å kunne måle (langsgående og diametral) ekspansjon av kjernene langs de tre retninger, inklusiv en retning vinkelrett på støpe-planet.

*Axial (langsgående) målinger* er mer anbefalt enn *lateral (langsgående) målinger* fordi de generelt gi lavere variasjoner i resultatene (Smaoui et al. 2004<sup>10</sup>).

*Lateral (langsgående) målinger* er også mulig å gjennomføre, men mindre anbefalte enn aksiale målinger på grunn av større variabilitet ofte observert mellom de enkelte målingene utført på samme kjerne.





Figur 3. Ekspansjon målinger. A) Aksial lesing ved hjelp av en bue-type måleinstrument. B) diametral måling med samme måleinstrument. C) Lateral lesing ved hjelp av standard konvensjonelle lengde- endring måleinstrument.

Tabell 2. Foreslåtte avstander mellom referansepunkter (studs) for laterale målinger av kjerner

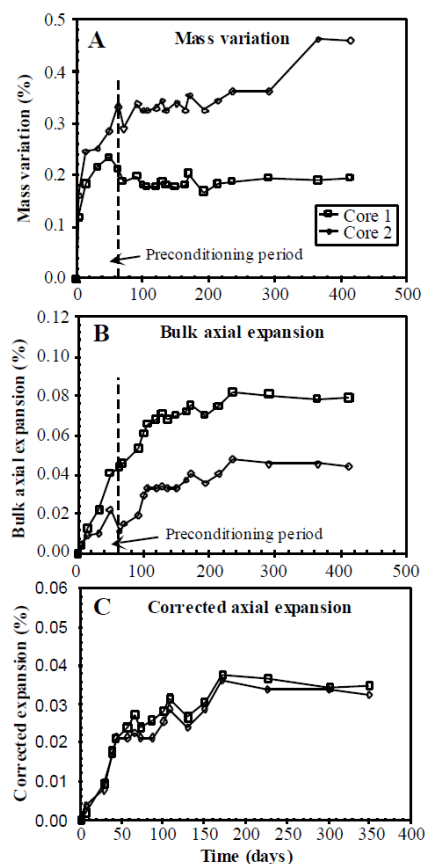
Length of cores (mm)	Distance between studs (mm)	Distance between studs and end portions of cores (mm)
90 – 140 (0.36 – 5.6 in)	50 (2 in)	20 – 45 (0.8 – 1.8 in)
140 – 190 (5.6 – 7.6 in)	100 (4 in)	20 – 45 (0.8 – 1.8 in)
190 – 240 (7.6 – 9.6 in)	150 (6 in)	20 – 45 (0.8 – 1.8 in)
240 – 290 (9.6 – 11.6 in)	200 (8 in)	20 – 45 (0.8 – 1.8 in)
≥290 (≥ 11.6 in)	250 (10 in)	≥ 20 (≥ 0.8 in)

### Tidlig termal og fuktighet tilpasninger (F.5 Early Thermal and Moisture Adjustments («Preconditioning»))

Når man tester lengdeforandringer på betongkjerne, observeres en preliminær ekspansjonsfase, som tidligere beskrevet, grunnet; termal ekspansjon, ekspansjon grunnet utløsning av spenninger, og ekspansjon grunnet økt fuktopptak.

Den beste måten å gjøre noe med disse kortsiktige variasjonene består i å lagre prøvene under de samme betingelser som for selve testen, inntil en relativ likevekt i masse og ekspansjon er nådd. Ved dette tidspunktet nullstilles målingene (se figur 4). Tidspunkt der denne likevekten er nådd er bestemt utfra observasjoner på parallelle masse- og ekspansjons kurver. Dette tidspunktet er noen ganger vanskelig å bestemme nøyaktig, særlig på ekspansjons kurven, men det er anbefalt å ta null lesing heller senere, enn for tidlig. Det mest kritiske punktet er å sikre at alle innledende justeringer er gjennomført, ellers vil ekspansjon grunnet restekspansjon grunnet AAR bli overestimert.

Ytterligere detaljer vedrørende detaljerte prøvningsprosedyre er beskrevet i den opprinnelige rapporten i F.6 (Periodic Measurements (Expansion, Mass and Temperature)) og F.7 (Expansion Test in Air at >95 percent R.H and 38°C)<sup>2</sup>.



Figur 4. Resultater fra ekspansjons tester i luft ved >95% RH og 38°C på kjerneprøver. A) Variasjon i masse. B) Målt bulk aksial ekspansjon. C) "Reset" (etter at den delen knyttet til pre-kondisjonering) axial ekspansjon etter en pre-kondisjonering på 60 dager.

### Kriterier for ekspansjonsgrenser (F.7.2 Expansion limit criterion)

Grunnet generelt lavt alkaliinnhold i betongen i betongkjerner fra konstruksjoner, sammenlignet med betongprismer testet i laboratorium, observeres det generelt relativ lav ekspansjon i disse restekspansjonstestene. Lave ekspansjonsverdier ned mot 0,003%/år, som er kritisk grense for betongprismetester, vil derimot kunne ha store konsekvenser for eksisterende konstruksjoner. Ekspansjonsnivåer på 0,002 til 0,005%/år er vanlig i mange konstruksjoner utsatt for AAR (CSA, 2000)<sup>11</sup>. Dersom ekspansjonsresultater er  $\leq 0,005\%/år$ , er det vanskelig å vurdere om resultatene er statistisk signifikant. Det anbefales da å: 1) forlenge testperioden utover kun et år, 2) foreta oftere målinger, 3) utføre lineær regresjonsanalyse for å vurdere årlig grad av ekspansjon.

Tabell 3. Tolkning av ekspansjonsresultater for betongkjerner lagret i fuktig luft ved  $> 95\%$  RF og  $38^{\circ}\text{C}$ .

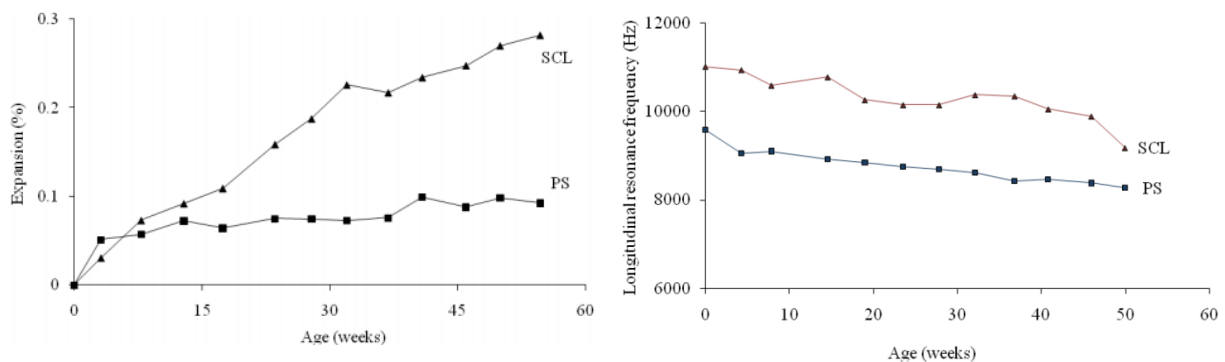
1-yr exp. <sup>1</sup> (percent)	Case	Conclusion about the concrete	Preexisting ASR gel (before test)	Secondary ASR gel (after test)	Result for companion cores tested at $38^{\circ}\text{C}$ ( $100^{\circ}\text{F}$ ) in 1N NaOH	Further expansion expected in the field
<0.003	1	Non-expansive since construction	No/small amounts	No/small amounts	Non-expansive (non-reactive aggregates) or expansive (low alkali concrete content)	Non-expansive (non-reactive aggregates or low-alkali content)
	2	Non-expansive anymore	Yes	No/small amounts	Non-expansive (aggregates non-reactive anymore) or expansive (alkali content not sufficiently high anymore)	Non-expansive (aggregates non-reactive anymore or alkali content not sufficiently high anymore)
	3	Reactive but non-expansive (cracked/porous concrete)	Yes or no depending on age and humidity	Yes	Non-expansive (porous/ cracked concrete) or expansive (concrete not as cracked)	Expansive or non-expansive depending on porosity/ cracking, humidity, and confinement
>0.003	4	Expansive	Yes or no depending on age and humidity	Yes	Expansive	Expansive or non-expansive depending on humidity and confinement

<sup>1</sup> Excluding the preconditioning period. The expansion results obtained could be underestimated if the concrete tested is significantly more porous/cracked (open spaces for free expansion of the ASR gel) than the overall concrete of the field member under study.

Det poengteres at signifikant ekspansjon i denne testen ikke nødvendigvis indikerer at tilsvarende ekspansjon vil kunne finne sted i konstruksjonen som kjernene er prøvetatt fra, da konstruksjonen kan ha et lavere fuktnivå, samt være påvirket av trykkspenninger som minsker ekspansjonen.

Grunnet de lave ekspansjonshastighetene funnet i de fleste betongkjernetester, og behovet for å teste i opptil 2 år, er det anbefalt å benytte kjerner med diameter 150 mm, bl.a. for å minimalisere alkali-utlekking. Til tross for at det forsøkes å minimalisere alkali-utlekking, må man påregne at ekspansjonskurven på sikt flater ut, noe som ikke er på grunn av at reaktive mineraler eller alkalier «brukes opp», men som et resultat av alkali utlekking. Alkali-utlekkingen i fuktig luft er også påvirket av betongens permeabilitet (v/c-forholdet) som varierer mellom ulike betonger.

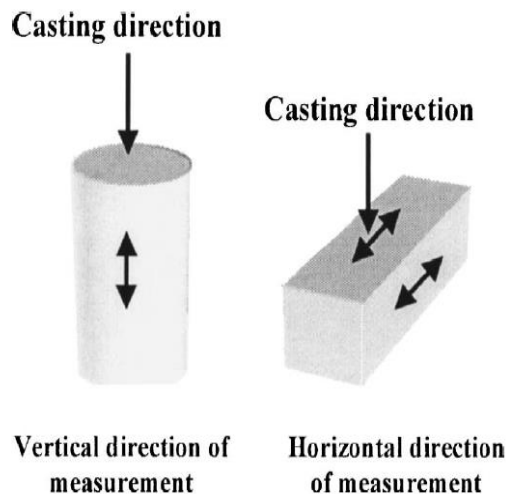
**Sargolzahi et al. (2009)**<sup>12</sup> undersøkte betongkjerner fra 2 betongkonstruksjoner, der de reaktive tilslagene var silifisert kalkstein i den ene konstruksjonen og sandstein i den andre. Potensialet for videre skadeutvikling ble vurdert både utfra rest-ekspansjon ved lagring av 80 mm betongkjerner i NaOH oppløsning, og ved bruk av ikke-destruktive metoder; *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) (ASTM C 597-97) og *Resonance Frequency Measurements* (ASTM C 215-02). Det ble utboret 6 kjerner fra hver konstruksjon, der 3 av kjernene ble benyttet til restekspansjonsmålinger. Kjernene ble lagret i 1 M NaOH ved 38°C. Som det går frem av figur 5, ble det registrert relativ høy ekspansjon for betongkjerner som inneholdt silifisert kalkstein, og lavere ekspansjon for betongkjerner som inneholdt sandstein. Det ble for begge betongtypene funnet en god sammenheng mellom ekspansjon og målinger av resonansfrekvens. Det hevdes at slike metoder bør benyttes, da de er lettere å utføre enn rest-ekspansjonsmålinger.



Figur 5. Ekspansjon for betong kjerner (figur t.v.) Måling av resonansfrekvens i lengderetning (figur t.h.) SCL: Siliceous clayey limestone, PS: Potsdam sandstone (Sargolzahi et al., 2009)<sup>12</sup>

**Herrador et al. (2008)**<sup>13</sup> gjennomførte rest-ekspansjonsmålinger på store betongkjerner (195 x 520 mm) prøvetatt i en betongdam i Spania. Det ble prøvetatt kjerner både fra en stressfri sone i konstruksjonen og i områder utsatt for trykkpåkjenninger. Kjernene ble lagret i et rom inne i selve dam-konstruksjonen, der temperaturen lå jevnt på rundt 15°C og relativ fuktighet var nær 100%. Rest-ekspansjon ble målt både på kjerner som kunne fritt ekspandere i lengderetningen og på kjerner som ble festet i en rigg, der man kunne styre begrensningen i lengdeekspansjon. Dette ble gjort for å simulere de virkelige forholdene i konstruksjonen. En av konklusjonene i undersøkelsen var at alle kjernene som var prøvetatt fra områder utsatt for trykk, viste en mer intens ekspansjon enn kjerner fra stressfrie soner. Det konkluderes med at til tross for at trykk kan holde igjen ekspansjonen (inntil ca. 10 Mpa), vil alkalireaksjoner og geldannelse kunne finne sted, og ekspansjonen kan utløses når betongen får anledning til å ekspandere.

**Multon et al. (2008)**<sup>14</sup> gjennomførte en undersøkelse ved Sentrallaboratoriet LCPC i Paris, der det ble målt rest-ekspansjon på ulike prøvestykker, lagret ved ulike betingelser. Målsettingen var å kunne hjelpe eiere av betongkonstruksjoner utsatt for alkalireaksjoner til å kunne vurdere fremtiden til konstruksjonene. Som utgangspunktet for undersøkelsen ble det støpt en alkali-reaktiv betong og en ikke-reaktiv betong, med tilnærmet like mekaniske egenskaper. Det ble støpt ut prøvestykker; sylindere (160 x 320 mm) og prismer (140 x 140 x 280 mm), som alle ble herdet i 28 dager ved 20°C og ca. 40%RF. Det ble så utboret kjerner (110 x 220 mm) fra noen av sylindrene og prismene etter 28 dager. Disse ble utboret både parallell med «støperetningen» og normalt på «støperetningen». I figur 6 er «støperetningen» forklart nærmere.



Figur 6. «Støperetning» for sylindre og prismer (Multon et al., 2008)<sup>14</sup>.

Etter initiell herding ble både sylindere, prismer og ulike utborede kjerner lagret ved ulike betingelser;

- Luftlagring, 100% RF, 38°C
- Neddykket i vann, 38°C
- Tildekket i epoxy og aluminiumsfolie, 38°C

Basert på de fremkomne resultatene fra de ulike prøvene, ble det påpekt en rekke faktorer som påvirker de endelige ekspansjonsverdiene.

Det ble funnet anisotropi i ekspansjonsresultatene. Anisotropi ble definert som: «ekspansjon målt langs støperetningen dividert på ekspansjon målt normalt på støperetningen». Det ble funnet følgende forhold:

- 2.2 for prøvestykker tildekket med epoxy og aluminiumsfolie
- 1.4 for prøver lagret i luft ved 100% RH
- 2.0 for prøver lagret i vann

Denne anisotropien har blitt tidligere forklart (Larrive et al., 2000<sup>15</sup>) ved at i forbindelse med vibreringen ved utstøping legger tilslagspartiklene seg i en bestemt orientering, som videre vil føre til vanddannelse

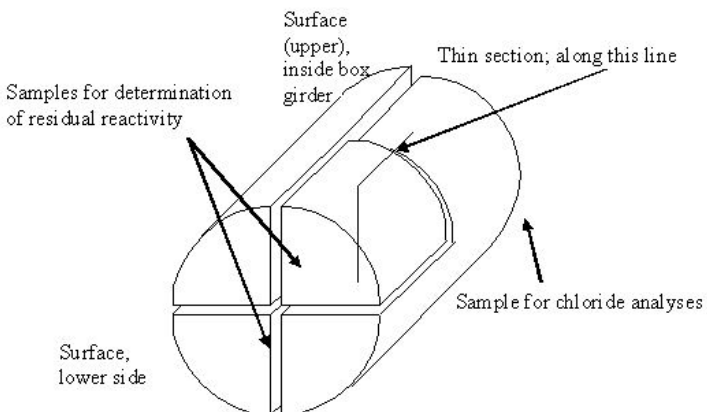
under tilslagspartiklene. Valg av lokalitet og retning ved utboring av kjerner for rest-ekspansjonsmålinger er dermed av stor betydning.

Det ble også igjennom denne undersøkelsen poengtert at prøveuttak av kjerner fra relativt tørre områder på en konstruksjon vil gi høyere rest-ekspansjon enn kjerner fra områder med større fuktighet. Rest-ekspansjon for kjerner fra tørre områder kan dermed brukes som et direkte mål på potensiell fremtidig ekspansjon, dersom konstruksjonselementer blir utsatt for økt fukt i fremtiden.

Grunnet stor variasjon i ekspansjonsmålinger er det nødvendig med et visst antall kjerner for å få frem et representativt mål på rest-ekspansjon. Det påpekes også viktigheten av at rest-ekspansjonsmålinger starter raskest mulig etter kjerneuttak, og at utborede kjerner umiddelbart pakkes inn i plast, for å forhindre uttørking.

**Eriksen et al. (2008)**<sup>16</sup> foreslo en prosedyre for å støtte forvaltningen av vedlikehold og reparasjon av betongbruer i Danmark som er utsatt for skadelige alkalireaksjoner. Dette ble basert på undersøkelser av en 40 år gammel betongbru. Det ble prøvetatt 6 kjerner (diameter 100 mm, lengde ca. 100 mm) fra to bjelker, fra to ulike steder på konstruksjonen. Areal A hadde ikke synlig fukt, mens areal B hadde synlig fukt. Det ble gjennomført kombinerte undersøkelser der både petrografisk analyse og restekspansjonsmålinger ble gjennomført.

Restekspansjonsmålinger ble utført på  $\frac{1}{4}$  kjerner (se figur 7) ved at prøvestykkene ble lagret ved 50°C, enten neddykket i en NaCl oppløsning eller lagret ved 100% RF. Prøvetiden for begge testene var 22 uker. En prøve fra begge bjelkene (A og B) ble også testet ved 23°C for å undersøke hypotesen at ekspansjon ved 23°C ville være høyere enn 50°C.



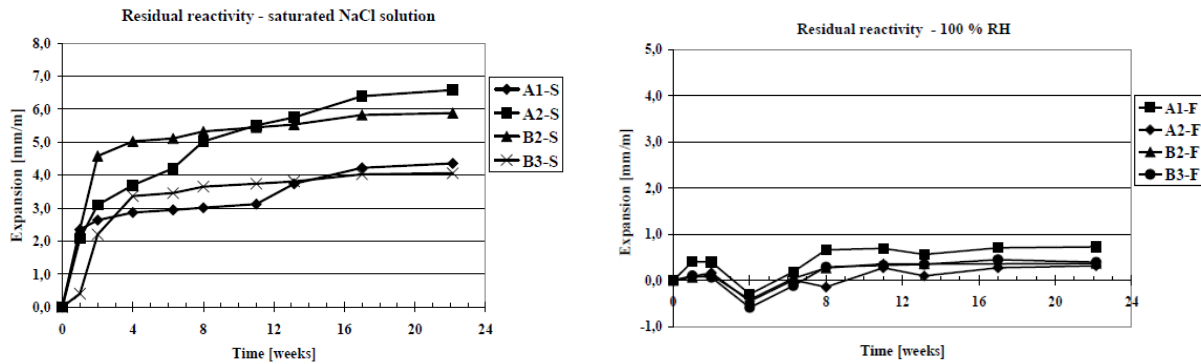
Figur 7. Neddeling av utborede betongkjerner.

Resultatene fra restekspansjonsmålingene er presentert i figur 8, der man ser en markant høyere ekspansjon for kjerner lagret i NaCl oppløsning sammenlignet med prøver lagret ved 100% RF. Det

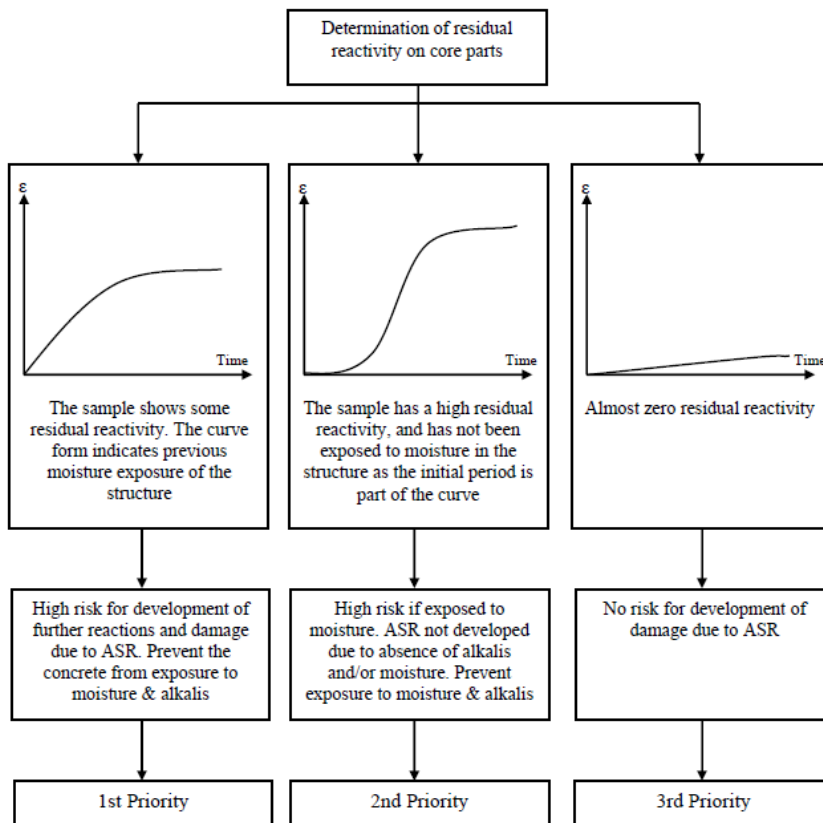


observerte svinn som sees etter 4 uker for prøver lagret i 100% RF skyldes en feil, der prøvestykkene delvis tørket ut. Det ble ikke gjennomført tilstrekkelig antall forsøk ved 23°C til å kunne si noe om forskjellen av ekspansjon ved 23°C eller 50°C.

I figur 9 er det presentert et flytskjema for avgjørelser i forbindelse med forvaltning og planlegging av vedlikehold og reoperasjon av AAR skadde konstruksjoner.



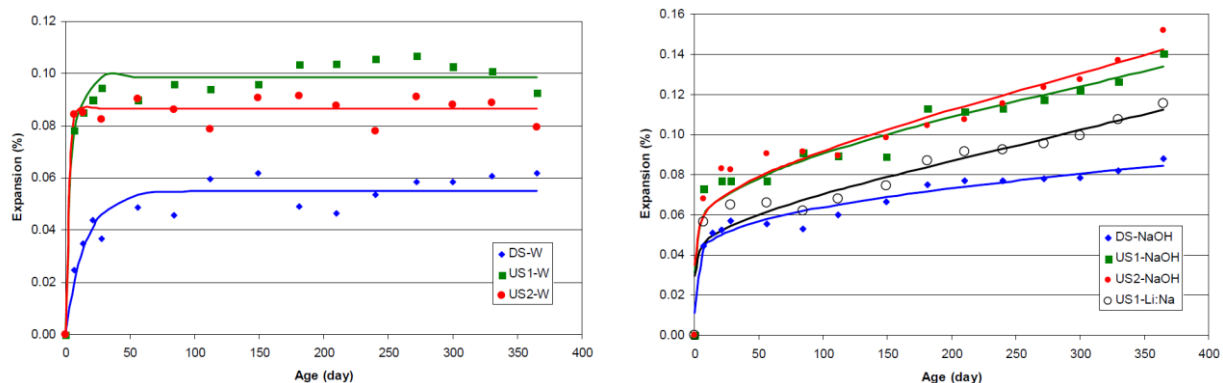
Figur 8. Restekspansjonsresultater for prøver fra areal A og B. Grafen t.v. viser prøver lagret i NaCl oppløsning, mens grafen t.h. viser prøver lagret ved 100% RF<sup>16</sup>.



Figur 9. Flytskjema for avgjørelser ved gjennomførelse av planlagt vedlikehold og reoperasjon av AAR skadde konstruksjoner<sup>16</sup>.

**Hasparyk et al. (2008)**<sup>17</sup> undersøkte betongkjerner fra Furnas betongdam i Brasil som ble bygget i 1963. Da AAR ble dokumentert i 1976, ble det straks satt i gang tiltak med instrumentering og måling av deformasjon på selve konstruksjonen, samt uttak av betongkjerner for restekspansjonsmålinger i laboratoriet. Petrografiske analyser av skadet betong viste at reaktive tilslag i betongen hovedsakelig var kvartsitt inneholdende deformert kvarts. Dette er trolig tilsvarende reaktive bergarter som man finner bl.a. i Norge. Restekspansjonstestene var basert på tre ulike testmetoder, der kjerner ble lagret i et år. Kjernene ble enten; lagret i vann, lagret i NaOH oppløsning, eller lagret i litium nitrat/natriumhydroksid løsning (0.74M) ved 38°C.

Resultatene viser at betongkjernene neddykket i vann ekspandere tidlig, men stabiliserer seg raskt. Betongkjerner nedsenket i NaOH oppløsning viser en ekspansjon som ikke stopper, og nådde 0,18% ekspansjon på ett år. I studien med litium, viste betongkjerner fra oppstrøms-området mindre ekspansjon i forhold til kjerner uten litium, men reduksjonen var bare omtrent 24%. Dette resultatet bekreftet potensial av litium i å forhindre ekspansjon grunnet AAR. Men det poengteres at ytterligere tester er nødvendig og må gjøres for å bekrefte disse resultatene.



Figur 9. Ekspansjonskurver for betongkjerner lagret ved 38°C i vann (t.v.) og lagret i NaOH løsning ved 38°C (t.h.)<sup>17</sup>.

**Sellier et al. (2008)**<sup>18</sup> gir i en artikkel en historisk oversikt over betongdammen; Temple sur Lot, bygd i Frankrike i årene 1948-1951. Krakelering grunnet AAR ble observert i 1964, og siden 1970 har flere reparasjonsarbeider vært gjennomført. Nylige deformasjonsmålinger på konstruksjonen viser at betongen fortsatt ekspanderer. Det er gjennomført tidligere restekspansjonsmålinger på utborede kjerner, men forfatterne poengterer vanskeligheten ved å benytte klassiske restekspansjonstester på utborede kjerner i å forsøke å forutsi deformasjoner i konstruksjoner. Spesielt er dette utfordrende der ekspansjonene er relativt lave grunnet lavt alkaliinnhold i betongen. For å bestemme konstruksjonens fremtidig ekspansjonspotensialet grunnet AAR, foreslås det derfor en finite element metode der restekspansjonspotensialet ikke måles i laboratoriet, men bestemmes utfra følgende to prosesser:

1. En eksperimentell analyse av aktuell alkalireaktiv betong utføres i laboratoriet, for å vurdere den kjemiske kinetikken for hver størrelse av tilslagpartikler i betongen. Metoden som brukes til å beregne kinetikkparametrene omfatter også miljøbetingelser som fuktinnhold i betongen og temperaturen av betong i selve dammen.

2. En ikke lineær finite element analyse av strukturen utføres for å tilpasse den endelige ekspansjonen til betongen. Dette trinnet tar hensyn til grad av forskyvning målt på selve konstruksjonen og de mulige tidsmessige variasjoner av miljøforholdene.

Denne foreslåtte metoden er testet med positivt resultat på demningen Temple sur Lot. Basert på dette arbeidet har det for de neste tiårene blitt foretatt en prediksjon av dammens fremtidige forskyvninger og skader.

**Kuroda et al. (2008)**<sup>19</sup> undersøkte restekspansjonsmålinger av betongkjerner der det ble sett nærmere på effekten av lagring i ulike type oppløsninger (NaOH og NaCl) ved ulike temperaturer.

Følgende resultater ble oppnådd fra disse eksperimentene:

- (1) For prøver neddykket i NaOH og NaCl-løsninger, så man at forholdet mellom ASR ekspansjon og løsningskonsentrasjon var reflektert i lagringstemperatur. ASR ekspansjonen forble liten selv om løsningskonsentrasjonen ble økt mye ved lav lagringstemperatur. Ved høy lagringstemperatur, økt ASR ekspansjonen med stigende løsningskonsentrasjon.
- (2) For prøver neddykket i NaOH og NaCl-løsninger, ble det registrert at ASR ekspansjonen forble liten selv når lagringstemperatur ble hevet, men det ble holdt lav konsentrasjon av løsningen. I høy oppløsning konsentrasjon, økt ASR utvidelse med stigende lagringstemperatur.
- (3) Prøver neddykket i NaOH-oppløsning viste høyere ekspansjon på et tidlig stadium sammenlignet med prøven nedsenket i NaCl-oppløsning. Høyest ekspansjon viste prøvene som ble neddykket i en NaOH-oppløsning av 1 mol / l og lagret ved 60°C.

**Fernandes et al. (2008)**<sup>20</sup> presenterer en feltundersøkelse fra Fagilde dam i Portugal som ble ferdigstilt i 1984. Tilslaget i betongen består av knust kalkstein i grovere fraksjoner og silisium-holdig sand i finfraksjonen. I de senere år er det observert endel bevegelse i konstruksjonen i tillegg til oppsprekking. For å vurdere konstruksjonens tilstand ble det prøvetatt betongkjerner på utvalgte steder på konstruksjonen. Kjernene ble bl.a. undersøkt vha. Uranyl acetate test, restekspansjonsmålinger, kryp- og trykk-tester, mengde oppløselig alkalier og petrografiske analyser. Kjerner for mekaniske tester hadde diameterer 150 mm, mens kjerner for andre tester og analyser hadde diameter 76 mm.

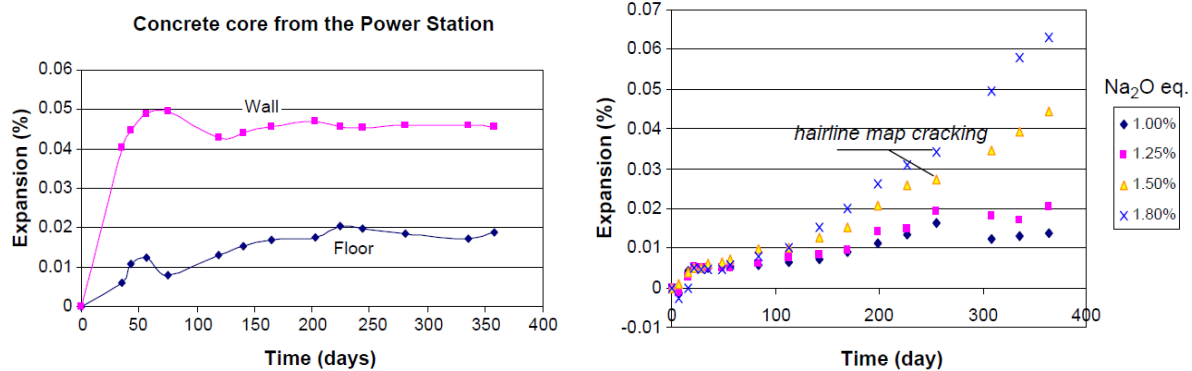
Betongkjerner med 76 mm i diameter og 160 mm lange ble testet ihht til den franske LPC Nr. 44 test metode fra 1997<sup>21</sup>. Totalt 72 prøvestykker ble testet, derav 26 prøvestykker testet med eksterne tilgang til alkalier. Denne metoden går ut på at prøvestykkene pakkes inn i absorberende papir og plastfolie, og plasseres i en lukket metallbeholder, med noen få centimeter vann eller 1M NaOH-oppløsning. Beholderen lagres så i et klimakammer ved 38°C. Ekspansjonsmålingene foretas etter ulike intervaller over en periode på ett år. Det ble i målingene påvist at prøvene som ble lagret i beholdere med vann viste høyere ekspansjon enn prøvene som ble lagret i beholdere med alkali løsning. Etter endt prøvetid ble prøvestykker analysert videre i SEM. Disse SEM undersøkelsene viste tilstedeværelse av ettringitt i

alle prøver, som indikerer en intern sulfat reaksjon. Det ble i tillegg også funnet enkelte områder med alkali-gel.

Som et resultat av denne undersøkelsen med restekspansjonstester, ble det konkludert at den viktigste årsaken til deformasjoner og oppsprekking var grunnet internt sulfat angrep, i tilknytning til dannelse av alkali-silikagel i enkelte deler av demningen.

**Shayan & Grimstad (2006)**<sup>22</sup> utførte en undersøkelse for å vurdere hovedårsak til oppsprekking for de ulike konstruksjonsdeler i et vannkraftanlegg, inkludert en betongdam. Betongkjerner med lengder fra 0,3 – 10 meter ble prøvetatt. Kjernene ble inspiserte mht alkalireaktivitet, og potensialet for videre reaksjoner ble vurdert vha restekspansjonsmålinger samt bestemmelse av alkaliinnhold i de ulike betongkjernene. Betongkjerner, diameter 100 mm, ble lagret ved 100% RF ved en temperatur på 40°C. Opprinnelig tilslag, som ble funnet på damstedet, ble testet både ved akselerert mørtelprismetest og betongprismetest. Det grove tilslaget ble klassifisert som deformert granitisk gneiss, mens sanden ble klassifiser som kvarts-sand. Det totale tilslagsmaterialet ble ansett som langsomtreagerende.

I figur 10 er det både vist restekspansjon for betongkjerner fra vegg og gulv, samt resultater fra betongprismetest med opprinnelig tilslagsmateriale. Det konkluderes med at betongen i gulvet trolig har så lavt potensiale til å utvikle skadelig AAR, at det vil være tilstrekkelig å holde det tørt. For betongen i veggene anbefales det påføring av eksempelvis Silan for å redusere fuktinnhold, og dermed redusere faren for skadelige alkalireaksjoner. Konklusjonen fra betongprismetesten viser at tilslagsmaterialet er reaktivt dersom man øker alkaliinnholdet til 1,25% (5,25 kg alkali/m<sup>3</sup>). Det anslås at det ikke i noen deler av denne konstruksjonen er brukt så mye alkalier.



Figur 10. I grafen t.v. er det vist restekspansjon for betongkjerner fra vegg og gulv. I grafen t.h. er vist resultater av opprinnelig tilslag testet i betongprisme metode.

**Bérubé et al. (2004)**<sup>23</sup> presenterte i en omfattende artikkel en kritisk vurdering av de eksperimentelle prosedyrene som brukes for å måle restekspansjon av betongkjerner ved Laval University i Quebec City, Canada, og diskuterte tolkningen av testresultatene. I en innledende del av artikkelen diskuteres hvordan ulike restekspansjonsmetoder kan benyttes for både å diagnostisere AAR og bruke restekspansjonsresultater til å legge frem prognoser om eventuell videre skadeutvikling, ekspansjonshastighet og omfang etc. Det påpekes at direkte «in-situ» målinger på konstruksjoner gir de mest pålitelige resultatene, men at dette både er omfattende og tar lang tid. I artikkelen presenteres og

diskuteres fire ulike testmetoder, basert på tidligere undersøkelser. Dette er metodene, basert på prosedyrene;

1. Testing av utborede kjerner i >95 % RF ved 38°C utføres for å evaluere potensial for restekspansjon av betongkjerner. Denne metoden anses som den mest realistiske metoden for å vurdere restekspansjon i konstruksjoner.
2. Testing av utborede kjerner i 1N NaOH-oppløsning ved 38°C, utføres for å bestemme ytterligere total gjenværende reaktivitet av tilslagsmaterialet i betongkjernene. Det poengteres at en mer nøyaktig metode for å bestemme denne totale gjenværende reaktiviteten vil være å ekstrahere det grove tilslaget fra betongkjernene og teste dette ved standard betongprisme tester.
3. Testing av utborede kjerner i 1N NaOH-oppløsning ved 80°C. Det påpekes at denne metoden ofte gir urealistiske resultater, der ekspansjonen i enkelte tilfeller måles svært høy, spesielt for tilslagsmaterialer som kalkstein og granitt. Derimot er det i enkelte situasjoner målt for lave ekspansjonsverdier, eksempelvis for det veldokumenterte tilslagsmaterialet silifisert sandstein fra Potsdam (Potsdam siliceous sandstone). Det er også i enkelte tilfeller observert slike urealistiske resultater også når det testes ved 1N NaOH-oppløsning ved 38°C.
4. Testing av utborede kjerner lagret i vann vil for betonger med v/c 0,4 eller høyere har man erfaringsmessig vist at man oppnår lave ekspansjoner. Derimot for betonger med v/c 0,35 eller lavere, har man erfaringsmessig observert tilsvarende ekspansjoner som man observerer i tester der prøvestykker lagres i 1N NaOH-oppløsning. Betongens permeabilitet (v/c) er dermed styrende parameter når man tester betongkjerner lagret i vann.

Artikkelen konkluderer videre med at det er de to første test-metodene som er aktuelle å bruke, og det presenteres detaljerte prosedyrer for hvordan testene bør utføres. Som utgangspunkt i de prosedyrene som presenteres av Bérubé et al., publiserte Fournier et al. i 2010<sup>9</sup>, på vegne av det amerikanske vegvesenet et Annex F der disse testmetodene og prosedyrene er presentert. Dette er omhandlet i detalj tidligere i denne rapporten (fra side 8), og blir ikke videre omtalt her.

Basert på en rekke restekspansjonstester av betongkjerner fra dammer og bruer i Quebec i Kanada, konkluderer denne viktige artikkelen med bl.a. følgende:

- Testing av kjerner lagret i luft ved 38°C og >95% RF er den mest anbefalte testen for å vurdere restekspansjonspotensialet i en konstruksjon.
- Testing av kjerner lagret i 1N NaOH ved 38°C kan være nyttige for å vurdere totalekspansjonspotensialet.
- Andre metoder; eksempelvis testing i alkalisk oppløsning ved høy temperatur, eller lagring i vann er ikke anbefalt.
- Det er erfart at AAR ekspansjon er påvirket av retningene på hoved spenningene i en konstruksjon, og støpe-lag-retninger. Som en konsekvens bør ekspansjonsmålinger utføres på tre ulike retninger.
- Det ble funnet at ekspansjonresultater for tester utført ved 38°C i > 95%RF er i stor grad påvirket av kjernens diameter og eksisterende oppsprekking. Det ble funnet at jo større kjernediameter, desto lavere ekspansjon ble det observert på kort sikt, men høyere ekspansjon på lang sikt på

grunn av mindre alkali utlekking. Ekspansjonsresultatene for kjerner testet i 1N NaOH-oppløsning er i stor grad påvirket av eksisterende oppsprekking, kjernediameter, alkali innhold og betongs permeabilitet (vann/sement forholdet). Desto større kjernediameteren, lavere alkali innhold, og lavere vann/sement-forhold, desto lavere er ekspansjonen på kort sikt, men akselererer derimot på lang sikt.

- Avslutningsvis poengteres det i denne artikkelen at det vil alltid være utfordrende å tolke resultater fra restekspansjonsmålinger. Det vil da kunne være viktig å utføre petrografiske analyser av betongen både før og etter testingen. I tillegg vil andre analyser også kunne bidra med viktig informasjon, slik som bestemmelse av alkali-innhold i betongen, samt kjemisk analyse av oppløsninger etter at testen er utført.

**Wood (2004)**<sup>24</sup> innleder en interessant diskusjon i en artikkel, der han i utgangspunktet stiller spørsmålet; « *Når stopper alkalireaksjoner opp: i laboratoriet og i felten ?* ». I sin videre diskusjon rundt dette spørsmålet poengterer han at det vites relativt lite rundt effekten av temperatur på reaksjonsdynamikken, og at dette er et kompleks tema. Han mener at dette må man forstå nærmere for å kunne relatere laboratoriestudier til hva som observeres i felt. Det diskuteres også videre problematikken rundt alkali utlekking, både grunnet kondensering ved temperatur og fuktighet variasjoner, og i tilfeller der prøvestykker lagres i vann. Disse faktorene gir i laboratorieprøvning alltid typiske «S»-kurver der ekspansjonen etterhvert flater ut. Denne trenden er derimot ikke observert i felt der ekspansjon fortsetter kontinuerlig. På bakgrunn av dette presenteres det et alternativt prøvningsopplegg, tidligere presentert av **Wood (1997)**<sup>25</sup>, der det beskrives en egen metode for måling av rest-ekspansjon på utborede betongkjerner. Målsetting med metoden er å kunne forutsi fremtidige trender i konstruksjoner. Foreslått test prosedyre er anbefalt å utføre parallelt med måling på måleknaster (Demec) festet på konstruksjoner, i tillegg til måling av sprekkeutvidelse.

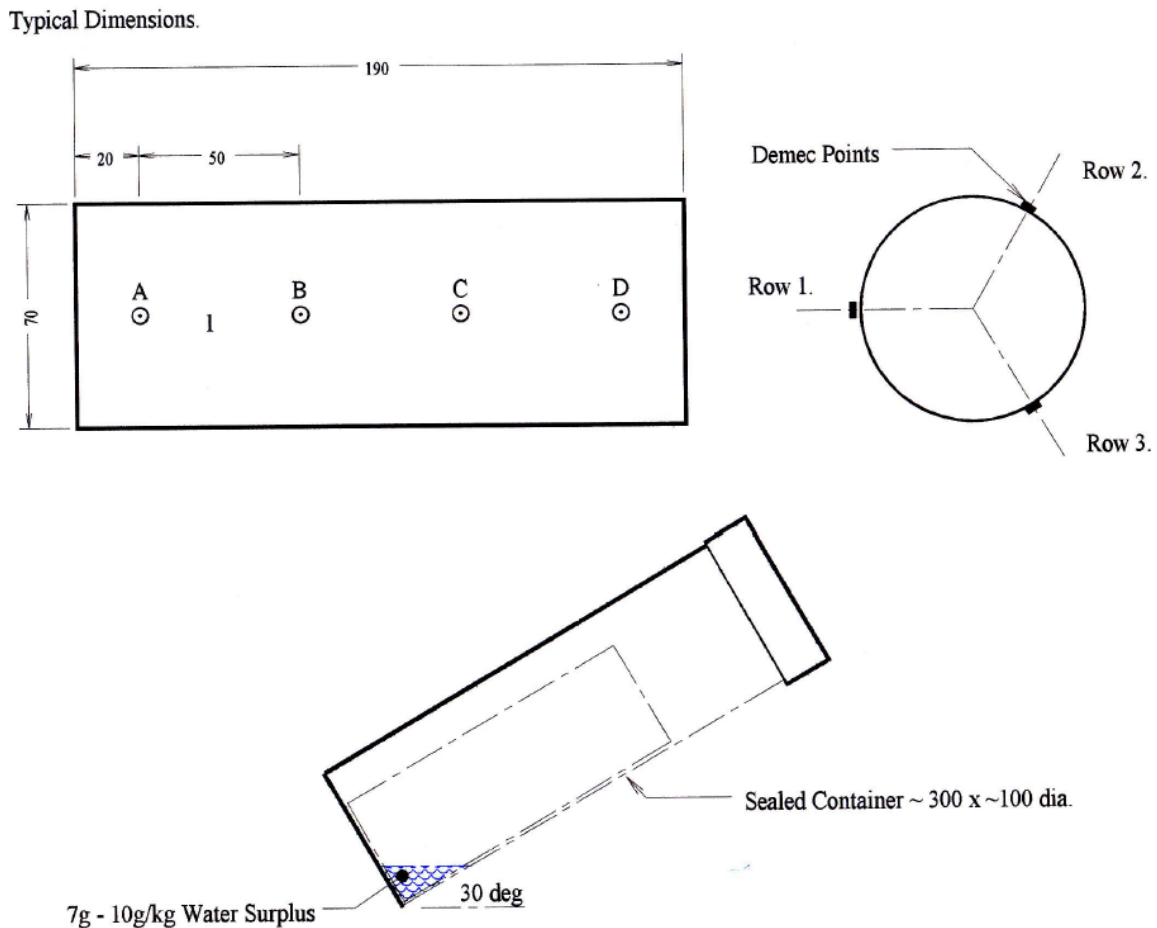
Betongkjerner skal utbores uten påvirkning av armeringsjern og oppsprekking. Anbefalt diameter på kjerner er 70 mm med lengde 180 – 200 mm. Denne lengden gjør det mulig å utføre *Stiffness Damage Test (SDT)* og trykkstyrke målinger før og/eller etter rest-ekspansjons testingen. Straks etter utboring skal kjernene renses, overflatetørket for deretter å ligge til tørt i skygge i en time, før kjernene pakkes inn i plastfilm og levert laboratoriet. Denne uttørkingsprosedyren gir en konsistent indre grad av fuktighet og reduserer risikoen for ekspansjon grunnet vannet benyttet ved utboring.

Kjernesens tilstand skal inspiseres før påfesting av Demec måleknaster, der eventuelle sprekker og riss registreres. Måleknastenes plassering er vis på figur 11. Når initiell lengdemålinger er gjennomført fjernes plastfilmen som kjernene ble pakket inn i, og legges i en beholder typisk 100 mm diameter, 300 mm høy, som kan lukkes tett, som vist på figur 11. Beholderen skal settes i en 30 graders vinkel slik at deler av kjernen ligger neddykket i vannet nederst i beholderen. Ved å opprettholde 10 g fritt vann pr kg prøvestykke, hevdes det at tilstrekkelig vanntilgang er oppnådd. Vannet etterfylles ved 7 g fritt vann pr kg prøvestykke, når deler av vannet har blitt absorbert eller fordampet. Det hevdes at med dette prøveoppsettet vil tilgang til vann være større enn i de fleste konstruksjoner, og registrert grad av ekspansjon vil være typisk 5-10 ganger høyere enn registrert i større massive konstruksjoner. Hver gang



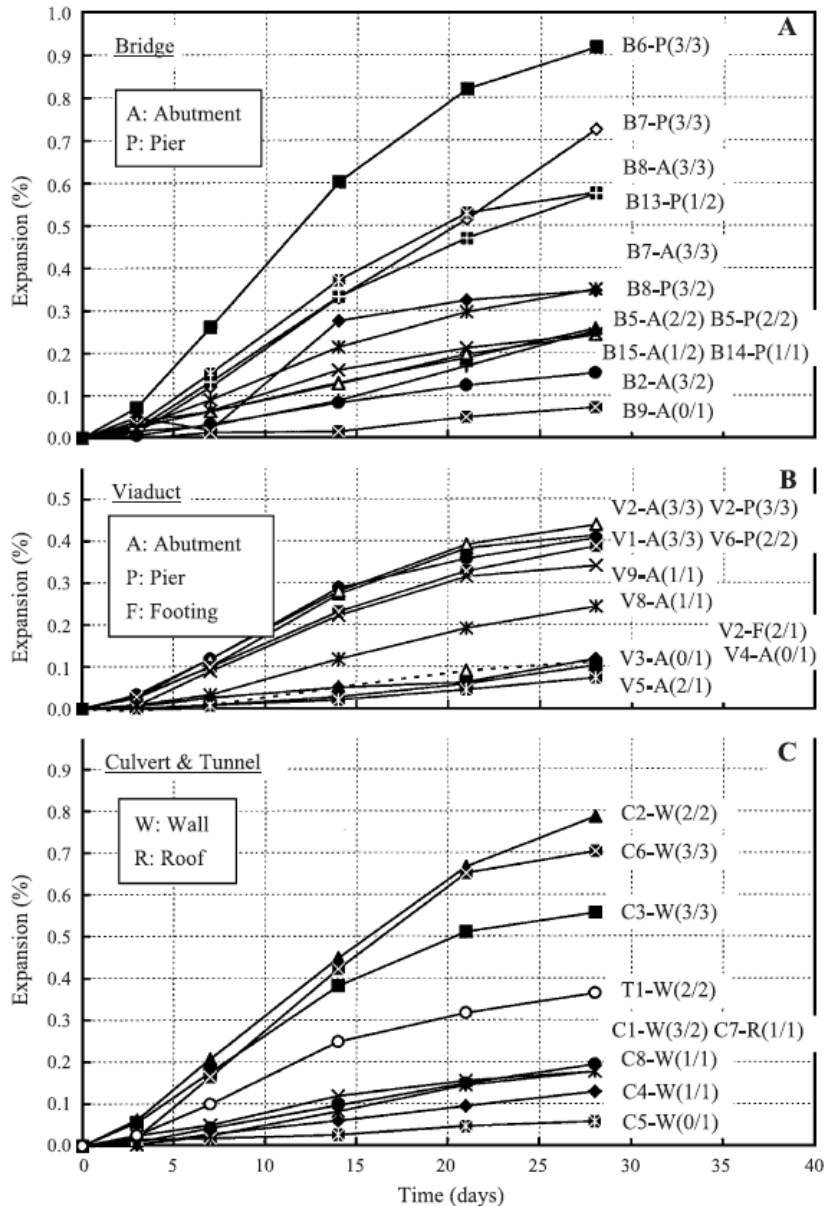
man måler ekspansjonen mellom Demec måleknastene, veies beholdere, det frie vannet og prøvestykket til en nøyaktighet til 0,1 g. Det hevdes også at til tross for at en viss alkali-utlekking må påregnes, er volumet av det frie vannet så lite, i forhold til fuktigheten i prøvestykket (typisk 50g/kg) at dette minimalisere alkali-utlekkingen.

Det påpekes at det anses ikke som noen poeng å forsøke å opprettholde en jevn og økt temperatur for prøven. Bare man unngår direkte varme eller sollys, kan prøvebeholderen, samt stål kontrollplate, lagres i normal romtemperatur i laboratoriet. Kontrollplate av stål fungerer som kalibrering ved ulike måletemperaturer.



Figur 11. Foreslått prøvningsoppsett med festing av Demec måleknaster øverste, og lagringsbetingelser nederst. (Wood, 1997)<sup>25</sup>.

**Katayama et al. (2004)**<sup>4</sup> gjennomførte undersøkelser av betongkjerner fra totalt 35 bruer og kulverter i Japan. Reaktiv komponent i betongen var i hovedsak Andesitt og Rhyolitt. Det ble gjennomført en mengde ulike undersøkelser der restekspansjonsmålinger på betongkjerner var en av undersøkelsene. Det ble benyttet betongkjerner; 56 mm i diameter, med lengde 130 mm. Betongkjernene ble lagret ved 1 M NaOH ved 80°C og ekspansjonsmålinger foretatt inntil 28 dager. Ekspansjonsresultater fra 31 konstruksjoner er presentert i figur 12. Det kommer der frem at betongkjerner fra skadede konstruksjoner generelt ekspanderer mer enn 0,10% etter 21 dager (>0,05% ved 14 dager). Grad av ekspansjon korrelerer også godt med skadegrad påvist ved petrografisk analyse vha. tynnslip.



Figur 12. Akselererte ekspansjonstester av betongkjerner lagret ved 80°C neddykket i 1M NaOH oppløsning. Dette er betongkjerner fra bruer (A), viadukter (B), kulverter og tuneller (C). Skadegrad grunnet AAR; felt/petrografi [3; alvorlig, 2; moderat, 1; lite, 0; uskadet]<sup>4</sup>.

**Hefny et al. (2001)**<sup>26</sup> poengterer viktigheten av å ha kunnskap om grad av rest-ekspansjon i en konstruksjon for å kunne planlegge prosjektering av rehabilitering av konstruksjoner. Det ble tatt utgangspunkt i R.H. Saunders dam i Canada, der de omfattende mekaniske og driftsmessige problemene knyttet til alkalireaksjoner er beskrevet. Bl.a. er det beskrevet prosedyrene med utsaging av ekspansjons-fuger for å avlaste sentrale deler av konstruksjonen. I denne undersøkelsen ble det utviklet en test metodikk for å bestemme rest-ekspansjon utfra simulering av feltbetingelser (stress and strain). Test metodikken inkluderer; fri ekspansjon, semi-begrenset ekspansjon, en-aksial null-deformasjon og tre-aksial null-deformasjon. Målsetningen med dette er bl.a. å måle;

- a) Bestemmelse av variasjoner og fordeling av ekspansjons-potensialet i selve dam-kroppen.
- b) Undersøke sammenhengen mellom stress og grad av ekspansjonsbelastning.
- c) Bestemme under hvilken kritisk trykkbelastning ekspansjonen opphører.
- d) Undersøke effekten av utsaging av ekspansjons-fuger på ekspansjonspotensialet.

Utborede betongkjerner (diameter 63 mm) ble lagret inne i selve konstruksjonen ved en konstant temperatur på 8°C, og i tillegg neddykket i elven nær konstruksjonen. Dette for å simulere de reelle miljøpåkjeningene til betongen. Det ble poengtert at betongkjernene gjerne skulle ha hatt en større diameter, men at det ikke var mulig i denne undersøkelsen.

Basert på resultater fra rest-ekspansjonsmålinger og omfattende målinger av stress og belastninger (*stress and strain*) i konstruksjonen, ble det komme frem til følgende konklusjoner:

- Grad av belastning (*strain rates*) målt ved fri ekspansjon var i god overensstemmelse med tilsvarende verdier målt i dam-konstruksjonen.
- Resultatene fra fri ekspansjonsmålingene viste stor grad av variasjoner langs dammens akse. Det ble ikke prøvetatt tilstrekkelige antall kjerner til å kunne forklare dette nærmere.
- Grad av ekspansjon i semi-begrensede prøver er av samme størrelsesorden som målt i konstruksjonen (tester på armeringsjern og «levelling» data).
- Ekspansjons-potensialet oppnådd i semi-begrenset ekspansjons tester avtar omtrent lineært med logaritmen av påført stress.
- Resultater av semi-begrenset og null-deformasjon tester viste at under en viss belastning, lik det kritiske trykket, er ekspansjon fullstendig undertrykt, tilsvarende resultatene av stress meter målinger i konstruksjonen.
- Verdien av kritisk trykk målt i prøvene er i god overensstemmelse med verdiene målte ved hjelp av stress meter installert i dammen.
- Ekspansjonsresultater ved spennings-avlastning i de semi-begrensede testene, designet for å simulere utsaging av ekspansjons-fuger, viste høy ekspansjon etter spennings-avlastning.

**Wood (2000)**<sup>27</sup> vurderte sammenhengen mellom felt erfaringer og laboratorietesting, og stiller følgende spørsmål i en interessant artikkel; «Hvor sikker og økonomisk er dagens AAR spesifikasjoner?» Avslutningsvis i sin diskusjon om dette temaet konkluderer han med at for å oppnå forståelse av AAR så må vi kombinere lang tids (5 til 15 år) testing på store prøvestykker i laboratoriet, i realistiske omgivelser, med utviklingen av forbedrede prosedyrer for å analysere miljømessige og andre variabler i eldre konstruksjoner (10 til 70 år) som har utviklet AAR, ved å kartlegge ekspansjonsbevegelser og utvikling av sprekke dannelse.

Avslutningsvis utbryter Wood, slik han har gjort det i mange sammenhenger; «*Short term tests on small samples have mislead us for too long*» !

**Lo & Hefny (1999)**<sup>28</sup> presenterte i en artikkel en metodikk for restekspansjonsmåling i laboratoriet under forskjellige spenningspåkjenninger. Dette inkluderte både en-aksiale og tre-aksiale forhold. Dette ble utviklet bl.a. for å kunne vurdere hvordan utfresing av ekspansjonsfuger i dam konstruksjoner hadde effekt på alkali-ekspansjon. Resultatene av tester på prøver fra RH Saunders Dam viste at de målte restekspansjonene målt i laboratoriet var konsistente med de som ble målt med et omfattende instrumentering system i felt. Det ble hevdet at testmetodikk utviklet i dette prosjektet ville kunne ha en innvirkning på prediksjon av fremtidige resultater og tiltak på grunn av allsidigheten i forsøksmetodikken.

### 3 Diskusjon og oppsummering

#### 3.1 Målemetodikk og eksponeringsbetingelser

Måling av restekspansjon på betongkjerner deles primært inn i to metoder basert på lagringsbetingelser ;

1. Betongkjerner lagret i luft ved >95% RF
2. Betongkjerner neddykket i ulike alkaliske oppløsninger, eksempelvis 1N NaOH løsning.

Videre er ulike metoder basert på ved hvilken temperatur prøvene eksponeres, eksempelvis fra 20°C til 80°C. I utgangspunktet vil høyere temperatur gi en høyere ekspansjon raskere. Men det er også hevdet at ved lav temperatur (eksempelvis 20°C) vil man kunne oppnå en høyere total ekspansjon.

Vitenskapsmenn i Nord-Amerika (Kanada og USA) og England hevder at metoder der det ikke tilføres alkalier, og der det prøves ved moderat temperatur er de metodene som best gjenspeiler grad av reaksjon som kan finne sted i konstruksjoner i felt. I andre land derimot, eksempelvis Japan, virker det som det er mer tradisjon for å kjøre akselererte forsøk med både økt temperatur og tilførte alkalier for å finne maksimalt ekspansjonspotensiale. For konstruksjonseier som skal bruke disse resultatene er det svært viktig å vite forskjellen på disse ulike testene.

Det skal også påpekes at enkelte mener at alternative metoder, eksempelvis måling av ressonans-frekvenser gir minst like pålitelige resultater.

#### 3.2 Størrelse på prøvestykker

Det anbefales at diameter på uttatte betongkjerner skal minimum være tre ganger større em maksimal størrelse på tilslagspartiklene, og lengden skal være to til tre ganger diameteren.

Flere forfattere anbefaler på det sterkeste å benytte kjerner med diameter 150 mm. Til tross for at dette er mer upraktisk og tungvint, vil dette kunne redusere alkali-utlekking betydelig.

#### 3.3 Utstyr

I utgangspunktet benyttes det tilsvarende type utstyr som brukes for testing av mørtel- og betongprismer av ferske materialer. I stedet for innstøpte endeknaster, som brukes for testing av ferske materialer, er det vanlig med påliming av Demex måleknaster. Ellers er det ulike typer lagringsmedier for lagring i fuktig luft eller neddykket i oppløsninger. Jonathan Wood har ved flere anledninger presentert sin enkle prosedyre, der lagring og måling skjer ved laboratorietemperatur, der det hevdes at man unngår problemer med fuktvariasjoner, alkaliutlekking, kalibrering av utstyr etc.

### 3.4 Resultater i forhold til virkelig oppførsel i felt

På samme måte som for mørtel- og betong-prisme testing av ferske materialer, ligger det fortsatt store utfordringen i å tolke resultater fra restekspansjonsmålinger i laboratoriet i forhold til hva man vil kunne forvente i virkelige konstruksjoner i felt. På dette området har man ennå kommet kort, og flere forfattere poengterer at det er kun in-situ overvåking av deformasjoner i betongkonstruksjoner som gir det riktige svaret. Enkelte har kommet frem til at spesifikke metoder for spesifikke bergarter gir gode korrelasjoner til hva som observeres i felt, mens andre poengterer at restekspansjon av kjerner generelt underestimerer de ekspansjonsverdier som er registrert i felt. Det jobbes nå med å forsøke å utarbeide korreksjonsfaktorer som kan brukes for ulike typer tilslag.

### 3.5 Feilkilder

Som det er påpekt av flere, er det en stor utfordring i å opprettholde prøvningsbetingelser der prøvestykker lagres ved 100% RF. Variasjoner både i temperatur og fuktnivåer vil føre til kondens på overflaten av betongkjerner, noe som igjen vil øke alkaliutlekking. I målemetoder der man ikke tilfører alkalier, og benytter relativt tynne betongkjerner må man regne med betydelig alkaliutlekking som vil tilsvarende kunne redusere ekspansjonen betydelig.

Spesielt ved metoder der det ikke tilføres alkalier, og man tester ved relativ lav temperatur, vil det innenfor eksempelvis et års prøvetid utvikles svært små ekspansjonsverdier. Disse små ekspansjonsverdiene vil da ofte ligge nær de statistiske begrensningene for metodene.

Det er påpekt viktigheten av å følge med på vektendringer i starten av prøvningsperioden. Dette for å kunne avdekke at prøvningsstykkene får tilstrekkelig fukt, men ikke minst å kunne avdekke de ulike typer ekspansjonsmekanismer som prøvningsstykkene utsettes for. På den måten har man mulighet til å kunne finne ut hva som er virkelig restekspansjon grunnet AAR.

Det er også poengtert viktigheten av å prøveta på flere ulike steder på en konstruksjon, utsatt for ulike spenninger. Likeledes er det vist at støperetningen på betongen kan gi store utslag på ekspansjonsresultatet.

### 3.6 Relevans for norske forhold (bergartstyper og klima).

I Norge er de alkalireaktive bergarter langsamt reagerende, tilsvarende det man bl.a. har erfart i Canada. Utvikling av norske mørtel- og betongprismemetoder for testing av alkalireaktivitet for fersk betong, har derfor tidligere bygd på bl.a. kanadiske erfaringer. Dette er både grunnet relativt like bergarter, men ikke minst grunnet det omfattende forskningsarbeid som har vært utført i Nord-Amerika.

Basert på tilsvarende argumentasjon ville det være nærliggende å basere fremtidig norsk testing på metoder utviklet av kollegaer i Canada og USA. Spesielt interessant virker metoden der betongkjerner eksponeres i luft ved >95% RF ved 38°C. Denne metoden er utførlig beskrevet og er godt gjennomprøvd som presentert av Fournier et al. (2010)<sup>9</sup>.

## 4 Referanser

---

- <sup>1</sup> Bérubé, M.A., Smaoui, N., and Côté, T., 2004: **Expansion tests on cores from ASR-affected structures.** 12th Int. Conf. on AAR, Beijing, China : 821-832.
- <sup>2</sup> Bérubé, M.A., Frenette, J., Pedneault, A., and Rivest, M., 2002: **Laboratory assessment of the potential rate of ASR expansion of field concrete.** Cement, Concrete, and Aggregates, 24 (1) : 13-19.
- <sup>3</sup> RILEM 2012: **Guide to Diagnosis and Appraisal of AAR Damage to Concrete in Structures. - Part 1 – Diagnosis – (AAR – 6.1).** RILEM Technical Report, TC 191 – Alkali-Reactivity & Prevention. TC 219 – Alkali Aggregate Reaction in Concrete Structures. Upublisert utkast, mai 2012.
- <sup>4</sup> Katayama, T., Tagami, M., Sarai, Y., Izumi, S., and Hira, T. 2004: **Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan.** Materials Characterization, Vol.53. pp.105-122.Proc.
- <sup>5</sup> Nomura, M., Komatsubara, A., Kuroyanagi, M. & Torii, K., 2012: **Evaluation of the residual expansivity of cores due to alkali-silica reaction in Hokuriku district, Japan.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.
- <sup>6</sup> Fecteau, P-L & Fournier, B., 2012: **Residual expansion testing: New aspects on cores extracted from exposure blocks submitted to environmental conditions.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.
- <sup>7</sup> Bérubé, M- A, Fournier, B. & Côté, T., 2012: **Testing concrete cores for residual expansion due to AAR – An attempt to minimize alkali leaching and consequent unrealistic expansion decrease.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.
- <sup>8</sup> Merz, C. & Leemann, A., 2012: **Assessment of the residual expansion potential of concrete from structures damaged by AAR.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.
- <sup>9</sup> Fournier, B., Bérubé, M-A, Folliard, K. J. & Thomas, M., 2010: **Report on the Diagnosis, Prognosis, and Mitigation of Alkali-Silica Reaction (ASR) in Transportation Structures.** The Federal Highway Administration, Report No. FHWA -HIF-09-004, 62 pp + appendix.
- <sup>10</sup> Smaoui, N., Fournier, F., Bérubé, M.A., and Bissonnette, F., 2004: **Influence of Specimen Geometry, Orientation of Casting Plane, and Mode of Concrete Consolidation on Expansion Due to ASR.** Cement, Concrete and Aggregates, 26 (2): 58-70, 2004.
- <sup>11</sup> Canadian Standards Association (CSA), 2000: **Guide to the Evaluation and Management of Concrete Structures Affected by Alkali-Aggregate Reaction.** CSA A864-00, Canadian Standards Association, Mississauga, Ontario, Canada, 2000.



- 
- <sup>12</sup> Sargolzahi, M., Rivard, P. & Rhazi, J., 2009: **Evaluation of residual reactivity of concrete cores from ASR-affected structures by non-destructive tests.** NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering. Nantes, France, June 30th – July 3rd, 2009.
- <sup>13</sup> Herrador, M.F., Martinez-Abella, F. & Dopico, J.R.R, 2008: **Experimental evaluation of expansive behavior of an old-aged ASR-affected dam concrete: methodology and application.** *Materials and Structures* (2008) 41:173–188.
- <sup>14</sup> Multon, S., Barin, F-X, Godart, B. & Toutlemonde, F., 2008: **Estimation of the Residual Expansion of Concrete Affected by Alkali Silica Reaction.** *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 20, No. 1, January 2008, pp. 54-62.
- <sup>15</sup> Larive, C., Joly, M., and Coussy, O. 2000: **Heterogeneity and anisotropy in ASR-affected concrete—Consequences for structural assessment.** *Proc.*, 11th Int. Conf. AAR, Québec City, Canada, 969–978.
- <sup>16</sup> Eriksen, K., Jansson, J. & Geiker, M., 2008: **Assessment of concrete bridge decks with Alkali Silica Reactions.** In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.
- <sup>17</sup> Hasparyk, N.P., Monteiro, P. J. M. & Dal Molin, D.C.C., 2008: **AAR in Furnas dam, Brazil, Residual expansion and the effect of lithium.** In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.
- <sup>18</sup> Sellier, A., Bourdarot, E., Multon, S., Cyr, M. & Grimal, E., 2008: **Assessment of the residual expansion for expertise of structures affected by AAR.** In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.
- <sup>19</sup> Kuroda, T., Inoue, S., Yoshino, A., Nishibayashi, S. & Miyagawa, T., 2008: **Effects of accelerated test conditions on ASR expansion of concrete core.** In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.
- <sup>20</sup> Fernandes, I., Santos Silva, A., Gomes, J.P., Tavares de Castro, A. & Noronha, F., 2008: **Characterization of AAR in Fagilde Dam.** In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.
- <sup>21</sup> LPC 44, 1997: **Alcali-réaction du béton. Essai d'expansion résiduelle sur béton durci.** LCPC, Paris: pp 12.
- <sup>22</sup> Shayan, A. & Grimstad, J., 2006: **Deterioration of concrete in a hydroelectric concrete gravity dam and its characterisation.** *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 371 – 383.
- <sup>23</sup> Bérubé, M.A., Smaoui, N. and Côté, T., 2004: **Expansion Tests on Cores from ASR-Affected Structures.** 12th International Conference on AAR, Beijing (China), pp. 821-832, 2004.
- <sup>24</sup> Wood J G M, 2004: **When does AAR Stop?** pp 1016-1024. Vol II, Proc. 12th ICAAR, Beijing, October 2004.

- 
- <sup>25</sup> Wood, J.G.M., 1997: **Water Supply Expansion Testing of Concrete Cores at Laboratory Ambient Temperatures.** Commercial In Confidence. @ 1997.
- <sup>26</sup> Hefny, A., Lo, K.Y. & Adeghe, L., 2001: **Measurements of laboratory rates of concrete expansion and their comparisons with field rates.** Can. J. Civ. Eng. 28, pp 402 – 410.
- <sup>27</sup> Wood, J.G.M., 2000: **Comparison of Field and laboratory Performance: How Safe and Economic are current Specifications ?** Proc., 11th Int. Conf. AAR, Québec City, Canada, pp 543-552.
- <sup>28</sup> Lo, K. Y. & Hefny, A., 1999: **Measurements of Residual Expansion Rates Resulting from Alkali Aggregate Reaction in Existing Concrete Dams.** Materials Journal, Volume:96, Issue:3, Pages: 339-345

## Vedlegg, hvor abstract fra omtalte referanser er inkludert.

For referansene nr. 3, 10 og 20 ble det enten ikke funnet tilgjengelig abstrakt, eller referansen var av en slik karakter at referansen ikke inneholdt abstrakt.

### 1.

Bérubé, M.A., Smaoui, N., and Côté, T.,2004: Expansion tests on cores from ASR-affected structures. 12th Int. Conf. on AAR, Beijing, China : 821-832.

#### **Abstract:**

Expansion tests on cores from ASR-affected structures can be performed for prognosis and for diagnosis as well. This paper reviews the experimental procedures used at Laval University. (Quebec City, Canada) and discusses the interpretation of the test results. Tests in humid air at 38°C are performed to evaluate the potential for further expansion of the field concrete under test, with companion cores in 1N NaOH solution at 38°C, to determine the residual absolute reactivity of the aggregates this concrete contains. The expansion results of tests performed in humid air are largely influenced by core diameter and preexisting cracking. The greater the specimen diameter, the lower usually the expansion in the short term, but the higher this expansion in the long term due to lesser alkali leaching. For their part, the results from tests in alkaline solution are largely influenced by preexisting cracking, core diameter, alkali content, and concrete permeability (water/cement ratio). The greater the core diameter, the lower the alkali content, and the lower the water/cement ratio, the lower is the expansion in the short term, which accelerates, however, in the long term. Low expansions are sometimes obtained in the immersion test with highly-reactive aggregates whose the reactive silica dissolves in the immersion solution rather to produce expansive reaction gels within the concrete specimens.

---

## 2.

Bérubé, M.A., Frenette, J., Pedneault, A., and Rivest, M., 2002: Laboratory assessment of the potential rate of ASR expansion of field concrete. *Cement, Concrete, and Aggregates*, 24 (1) : 13-19.

### **Abstract**

In-situ monitoring of concrete deformations and movements is the best way to assess the current expansion of concrete members affected by alkali-silica reactivity (ASR). However, laboratory tests on cores are less expensive and more rapid, and are commonly used to assess the potential for further expansion due to ASR. The risk of expansion and damage due to ASR can be reasonably assessed in the laboratory from: (1), the inherent expansivity of the concrete under study, which is determined by testing core samples in air at 100% RH and 38°C; (2), the residual absolute reactivity of the aggregates present in the concrete under study, which can be determined by testing core samples in 1N NaOH solution at 38°C or, even better for coarse aggregates, by testing aggregates extracted from cores through the concrete prism test CSA A23.2-14A or ASTM C 1293; (3), the amount of alkalis that are still active in the concrete, i.e. in the pore solution, which is estimated by a hot-water extraction method on ground concrete, and (4), humidity, (5), temperature, and (6), stress conditions (confinement, reinforcement, pretensioning, posttensioning) in service. The individual risk indices corresponding to each of the above parameters are combined to determine the potential rate of ASR expansion of concrete members in service, either already affected by ASR or not.

---

#### 4.

Katayama, T., Tagami, M., Sarai, Y., Izumi, S., and Hira, T. 2004: Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan. *Materials Characterization*, Vol.53. pp.105-122.Proc.

##### **Abstract**

Concrete cores taken from highway bridges and culverts undergoing alkali-silica reaction (ASR) were investigated petrographically by means of core scanning, point counting, polarizing microscopy, scanning electron microscopy (SEM), Xray diffraction analysis (XRD), electron-probe microanalysis with energy-dispersive spectrometry, in conjunction with wet chemical analyses and expansion tests. Field damage was roughly proportional to the content of andesite in the gravel aggregates due to the presence of highly reactive cristobalite and tridymite. Electron-probe microanalyzer analysis of unhydrated cement phases in the concrete revealed that the cement used had contained at least 0.5% to 1.0% alkali (Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>) and that both the aggregates and the deicing salts had supplied part of the water-soluble alkali to concrete toward the threshold of producing ASR (Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub> 3.0 kg/m<sup>3</sup>). An accelerated concrete core expansion test (1 M NaOH, 80 8C) of the damaged structures mostly gave core expansions of N0.10% at 21 days (or N0.05% at 14 days), nearly comparable to those of a slow expansion test with saturated NaCl solution (50 8C, 91 days) which produced Cl-containing ASR gel.

---

## 5.

Nomura, M., Komatsubara, A., Kuroyanagi, M. & Torii, K., 2012: **Evaluation of the residual expansivity of cores due to alkali-silica reaction in Hokuriku district, Japan.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.

### **Abstract**

In Hokuriku district, river gravels and sands have been used as concrete aggregates for a long time, and have been found in seriously ASR-affected structures. Accordingly, the issue of the relevance of test methods for aggregate reactivity has become a matter of great concern in Japan. Establishment of methods for assessing and repairing ASR-damaged concrete structures are therefore, urgently required. The surface expansion behaviour, the petrographical evaluation of reactive aggregates and the residual expansivity in concrete cores drilled from 24 different road structures along Hokuriku Expressway, from 2008 to 2010, were compared with the results of a similar survey conducted about 10 years ago. Because external alkali supply from deicer salts is a typical feature in this region, accelerated ASR expansion tests were performed in accordance to Canadian and ASTM C1260 methods. Furthermore, the chemical composition of ASR-gels was investigated and ASR progress was assessed as level 2 and 3.

---

## 6.

Fecteau, P-L & Fournier, B., 2012: **Residual expansion testing: New aspects on cores extracted from exposure blocks submitted to environmental conditions.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.

### **Abstract**

Residual expansion testing on cores in the laboratory is intended to provide an estimate of the future expansion in an AAR-affected structure, thus helping engineers to take appropriate remedial measures for aging concrete structures. However, rare data are available that confirm the reliability of the laboratory test. In an attempt to generate that information, concrete blocks incorporating a selection of reactive aggregates were cast and placed outdoors at the University of Texas exposure site in Austin. Expansion measurements were taken regularly to ensure coring at preselected expansion levels (i.e., from 28 days to 0.40%). Residual expansion tests were then carried out on two companion concrete cores (100 x 200mm) for each reactive aggregate and expansion levels. In order to better correlate the expansion rates and total expansion of the exposure blocks and of the concrete cores, the preconditioning period of the lab specimens (for hydric reequilibration) was fixed at 14 days for ASR-affected concretes and 7 days for ACR-affected concrete. The results obtained so far indicate that the core expansion test in the laboratory generally underestimates the values encountered in the field. Factors were however suggested to better correlate field and laboratory data and that could be used by engineers to develop various scenarios for the prognosis of expansion in the field.

---



## 7.

Bérubé, M- A, Fournier, B. & Côté, T., 2008: **Testing concrete cores for residual expansion due to AAR – An attempt to minimize alkali leaching and consequent unrealistic expansion decrease.** In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.

### **Abstract**

Expansion tests were performed at 38°C and >95% RH on concrete specimens incorporating reactive and non- reactive aggregates. The effects on alkali leaching, expansion, and mass variation, of a number of test conditions (e.g. specimen size, specimen surface, air/concrete in test containers) and protective methods against leaching (e.g. silane, sleeve, aluminum foil) were investigated. The specimen surface (i.e. molded cylinders vs cores) did not affect the results. The higher the air/concrete ratio and the smaller the specimen size, the higher the alkali leaching and the lower the expansion and the mass increase. All specimens protected against leaching expanded less than the controls, despite significantly reducing leaching. Wrapping with aluminum foil was the most effective method against leaching but the expansion was still considerably lower than for the controls. Na was always leached in larger proportions than K in the presence of reactive aggregates, with the reverse for the non - reactive aggregate tested, thus suggesting that K ions are more highly integrated in the ASR reaction gel than Na ions.

---

## 8.

Merz, C. & Leemann<sup>2</sup>, A., 2012: Assessment of the residual expansion potential of concrete from structures damaged by AAR. In: Drimalas, T, Ideker, JH, Fournier, B (Eds.) 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete, Austin, Texas, USA, pp. 10.

### Abstract

Residual expansion of cores from several concrete structures with varying degrees of damage has been measured to identify different phases of expansion and to investigate the influence of core size (length and diameter) and the storage temperature on the measured values. The expansion can be divided into different phases with different expansion rates. The results indicate that the expansion in the first phase, that takes place after sample conditioning and but before a linear expansion rate is reached, determines the further behaviour of the cores during the test. Therefore, it can be used to distinguish concrete with different residual expansion potentials. The data analysis shows that the anisotropy between expansion in length and width of the cores generally increases with the slenderness of the cores. However, the anisotropy tendentially decreases with increasing residual expansion values. The residual expansion shows a correlation with the expansion rates on the existing structures assessed by crack width measurements and the expansion of lab concrete, with a similar composition as the on-site concrete, determined with a concrete performance test.

---

## 9.

Fournier, B., Bérubé, M-A, Folliard, K. J. & Thomas, M., 2010: Report on the Diagnosis, Prognosis, and Mitigation of Alkali-Silica Reaction (ASR) in Transportation Structures. The Federal Highway Administration, Report No. FHWA -HIF-09-004, 62 pp + appendix.

### **Abstract**

Alkali-aggregate reaction (AAR) is only one of the many factors that might be fully or partly responsible for the deterioration and premature loss in serviceability of concrete infrastructure. Two types of AAR reaction are currently recognized depending on the nature of the reactive mineral; alkalisilica reaction (ASR) involves various types of reactive silica ( $\text{SiO}_2$ ) minerals and alkali-carbonate reaction (ACR) involves certain types of dolomitic rocks ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Both types of reaction can result in expansion and cracking of concrete elements, leading to a reduction in the service life of concrete structures.

This document described an approach for the diagnosis and prognosis of alkali-aggregate reactivity in transportation structures. A preliminary investigation program is first proposed to allow for the early detection of ASR, followed by an assessment (diagnosis) of ASR completed by a sampling program and petrographic examination of a limited number of cores collected from selected structural members. In the case of structures showing evidence of ASR that justifies further investigations, this report also provides an integrated approach involving the quantification of the contribution of critical parameters with regards to ASR

---

## 10.

Smaoui, N., Fournier, F., Bérubé, M.A., and Bissonnette, F., "Influence of Specimen Geometry, Orientation of Casting Plane, and Mode of Concrete Consolidation on Expansion Due to ASR," *Cement, Concrete and Aggregates*, 26 (2): 58-70, 2004.

### **Abstract**

Concrete specimens of different sizes and shapes were made with various reactive aggregates and stored under conditions favorable to the development of alkali-silica reactivity (ASR), with their expansion measured with time along the three directions. They have been cast vertically (cylinders and prisms) or horizontally (prisms and larger blocks), using a vibrating table, a vibrating needle, or rodding. The expansion due to ASR was always greater in the direction perpendicular to the casting plane. The higher the number of flat and elongated particles in the reactive aggregate, the higher the coefficient of anisotropy, defined as the ratio between the expansions perpendicular and parallel to the casting plane. This coefficient was constant through the course of the expansion. It was generally higher for the cylinders than for the prisms, and still less for larger blocks. Consolidation by rodding induced anisotropy coefficients distinctly smaller than consolidation using a vibrating table, while a vibrating needle induced intermediate values; however, all methods gave constant volumetric expansion at least up to an important expansion level. For prisms cast horizontally and measured axially in accordance with the concrete test CSA A23.2-14A or ASTM C 1293, consolidation using rodding induced long-term (axial) expansions greater by 71% compared with consolidation using a vibrating table. In order to reduce the experimental variability of the test, only one method of consolidation should be allowed. When evaluating field concrete affected by ASR, it appears important to consider the orientation with respect to the casting plane of the core samples subjected to mechanical or residual expansion tests.

---

## 11

Sargolzahi, M., Rivard, P. & Rhazi, J., 2009: Evaluation of residual reactivity of concrete cores from ASR-affected structures by non-destructive tests. NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering. Nantes, France, June 30th – July 3rd, 2009.

### **Abstract**

The alkali–silica reaction (ASR) is a deleterious reaction affecting numerous concrete structures worldwide. The effect of ASR on durability of a concrete structure could be very severe and weaken its strength, stiffness, serviceability, safety and stability. This study provides an overview of a research on ASR affecting two concretes locks. The procedure aims at estimating the future expansion of concrete structures, as well as the amount of potential damage. The methods used in the laboratory for the assessment of ASR in concretes are: residual expansion tests in NaOH, ultrasonic pulse velocity (UPV) and resonance frequency measurements. No unique relationships were obtained between the expansion due to ASR and the results of NDT. The resonance frequency appears to be a valuable method for assessing ASR damage in concrete. Such test methods guarantee the use of NDT methods to identify and characterize the evolution of the ASR on concrete structures.

---

## 12

Herrador, M.F., Martinez-Abella, F. & Dopico, J.R.R, 2008: Experimental evaluation of expansive behavior of an old-aged ASR-affected dam concrete: methodology and application. *Materials and Structures* (2008) 41:173–188.

### **Abstract**

Availability of computational power calls for the responsible use of mechanical models that faithfully represent material behavior even in complex cases, as is concrete undergoing Alkali–Silica Reaction (ASR) expansion. In this paper, a series of tests aimed towards obtaining meaningful data for mechanical characterization of an existing, old-aged, ASR-affected dam concrete are presented. These tests, consisting mainly in long-term measurement of free and confined expansions of core-drilled specimens extracted from different locations in the dam, are designed to provide data for a material model. A specific methodology is developed and applied, including procedures for test design, mechanical loading and data acquisition in harsh environmental nonlaboratory conditions. Conclusions about the possibility of ASR-expansion mitigation through confinement are drawn from experimental data.

---

## 13

Multon, S., Barin, F-X, Godart, B. & Toutlemonde, F., 2008: Estimation of the Residual Expansion of Concrete Affected by Alkali Silica Reaction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 20, No. 1, January 2008, pp. 54-62.

**Abstract:**

An experimental research program was carried out in order to validate a methodology for the mechanical assessment of structures damaged by alkali-silica reaction ASR. Long-term deformations of specimens kept under varied environments were measured. Results were collected according to the French methodology for measuring residual expansion, on cores drilled from cylinders and prisms made of the same concrete materials. Numerous testing conditions were intended to check the experimental robustness of the most significant input data for structural assessment. It appears that omitting the measured expansion of the specimens during a rather long period 60 days, as presently recommended, can lead to an unsafe estimation of ASR-residual expansions, especially when the core is drilled during the active phase of ASR development. The strains of the specimens during the first days of the test are caused by the superimposition of concrete expansion due to water sorption and additional ASR expansions. Evolutions and improved conditions of application relative to the French standard method for estimating residual expansion of ASR-affected concrete are proposed.

---



## 14

Larive, C., Joly, M., and Coussy, O. 2000: Heterogeneity and anisotropy in ASR-affected concrete—Consequences for structural assessment. Proc., 11th Int. Conf. AAR, Québec City, Canada, 969–978.

### **Abstract**

Swelling due to Alkali-Silica reaction is most often evaluated by measuring one or maximum three deformations on a few specimens (usually sets of three concrete prisms are used). Values are always more or less dispersed but it is difficult to have a precise idea on the real ASR heterogeneity.

In this paper, both the heterogeneity and the anisotropy of swelling due to Alkali-Silica Reaction are quantified on numerous concrete specimens. Comparison is made with non-reactive specimens. Explanations on the origin of these phenomena are given and consequences on structure assessment are discussed

---

## 15

Eriksen, K., Jansson, J. & Geiker, M., 2008: Assessment of concrete bridge decks with Alkali Silica Reactions. In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.

### **Abstract**

Based on investigations of concrete from an approximately 40 years old bridge a procedure to support the management of maintenance and repair of alkali silica damaged bridges is proposed. Combined petrography and accelerated expansion testing were undertaken on cores from the Bridge at Skovdiget, Bagsværd, Denmark to provide information on the damage condition as well as the residual reactivity of the concrete.

The Danish Road Directory's guidelines for inspection and assessment of alkali silica damaged bridges will be briefly presented, and proposed modifications will be described.

---

## 16

Hasparyk, N.P., Monteiro, P. J. M. &, Dal Molin, D.C.C., 2008: AAR in Furnas dam, Brazil, Residual expansion and the effect of lithium. In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.

### **Abstract**

Furnas Hydraulic Power Plant is located in Brazil, and it was built in 1963. The occurrence of the AAR in the concrete of Furnas was first noticed in 1976. Once the AAR was recorded, the structure was monitored by instruments and concrete cores were studied in the laboratory through several tests and microscopy analyses. We report an experimental program involving concrete cores from the spillway driftway (both upstream and downstream) of Furnas Dam. Visual inspection and microscope analyses were performed to identify the reactive aggregates and expansive products of AAR. The expansion tests exposed the concrete cores to three different immersed conditions: in water, in NaOH solution and in a lithium nitrate/sodium hydroxide solution (0.74M) at 38°C. The results confirmed the AAR, the presence of residual expansions in the concrete cores and the potential of using lithium nitrate as admixture to minimize the ASR expansion.

---

## 17.

Sellier, A., Bourdarot, E., Multon, S., Cyr, M. & Grimal, E., 2008: Assessment of the residual expansion for expertise of structures affected by AAR. In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.

### **Abstract**

Alkali aggregate reaction (AAR) causes premature and unrecoverable deteriorations of numerous civil engineering structures. AAR-expansions and induced cracking can affect the functional capacity of bridges and dams. Several hydraulic dams of Electricité de France (EDF) are concerned by AAR. Therefore, a behaviour model implemented in a finite element code has been developed in order to assess the safety level and the maintenance choices of these degraded structures. This approach has the particularity of modelling the AAR structural effects from the construction of the structure until today. It uses several AAR advancement variables, one for each aggregate size range of the affected concrete. These advancement variables depend on both the saturation degree and the temperature in the dam. At first, this paper presents an historical review of the Temple sur Lot dam. On this dam, built between 1948 and 1951, first cracks were observed in 1964. Several remedial work campaigns have been carried out since 1970. Recent deformation measurements showed that expansions keep on. In a second part, the difficulty of using a classical residual expansion test on core samples to fit the model is pointed out, particularly when the swelling rate is slow due to low alkali content in the concrete. Thus, the authors propose an original approach combining additional tests and physical modelling to assess the chemical advancement of the AAR for each aggregate size of the affected concrete. Only the chemical advancement, which is a normalized variable linked to the residual reactive silica content, is measured in laboratory. The concrete residual potential expansion is not measured on laboratory tests but fitted through an inverse analysis based on a finite element structural calculation. This calculation takes into account the geometry, the thermo-hydro-mechanical environment of the structure and the measured displacement rates. This combination of chemical analysis in laboratory and structural displacement measurements allows a reliable model fitting. In fact, damages and displacements calculated on several points (not used for the model fitting) of the Temple-sur-Lot dam can be found with an acceptable accuracy. Thus a prediction of the dam behaviour can be made for the next decades.

---

## 18

Kuroda, T., Inoue, S., Yoshino, A., Nishibayashi, S. & Miyagawa, T., 2008: Effects of accelerated test conditions on ASR expansion of concrete core. In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.

### **Abstract**

The kinds of solution for immersion of the specimens (NaOH solution and NaCl solution), the solution concentration, and the storage temperature were selected as experimental parameters to examine their effects on ASR expansion of concrete. The following results were obtained from experiments: (1) ASR expansion became small when the concentration of the solution rose excessively at low storage temperature, but it increased with rising concentration of the solution at high storage temperature. (2) ASR expansion became small when the storage temperature rose excessively in low concentration of the solution, but it increased with rising storage temperature in high concentration of the solution. (3) The specimen immersed in the NaOH solution generated larger expansion at the early stage than the specimen in the NaCl solution. The specimen immersed in a NaOH solution of 1 mol/l at 60°C generated the largest expansion at the early stage.

---

## 19

Fernandes, I., Santos Silva, A., Gomes, J.P., Tavares de Castro, A. & Noronha, F., 2008: Characterization of AAR in Fagilde Dam. In: Broekmans, M. & Wigum, B., eds. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), 2008 Trondheim.

### **Abstract**

The Fagilde Dam was completed in 1984, and is located in the centre of Portugal, about 150 km SSE from Porto city. Crushed limestone was used as coarse aggregate, while alluvial siliceous sand was used as fine aggregate in the manufacture of the concrete. In the last few years, progressive displacements have been observed by the monitoring system, especially by levelling surveys. Site inspection revealed the existence of random cracking, surface discoloration, some exudation and superficial dissolution of cement in the spillways surface and in the upstream face of the dam. In order to assess the condition of the concrete, cores were collected from various parts of the dam to perform laboratory tests. Uranyl acetate test, residual expansion tests, soluble alkalis evaluation, creep tests, unconfined compression tests and petrographic examination were carried out. The tests performed showed the presence of different causes of deterioration that might have caused the displacements that were observed and the damage features observed.

---

## 21

Shayan, A. & Grimstad, J., 2006: **Deterioration of concrete in a hydroelectric concrete gravity dam and its characterisation.** Cement and Concrete Research 36 (2006) 371 – 383.

### **Abstract**

A hydroelectric concrete gravity dam in the Snowy Hydro network had shown signs of concrete distress in the form of cracking in some sections of the dam wall, and vertical movements in the wall, measured in routine surveys on the crest of the dam wall. Concrete elements of the associated power station had also shown some degree of distress in the form of cracking. Alkali-aggregate reaction (AAR) was considered among other mechanisms as a likely cause of cracking. In order to investigate the main causes of cracking of the various elements of the power station and the dam wall, core samples ranging in length from 0.3 m to 10 m were extracted and investigated for the presence of AAR, its extent, likelihood of continuing reaction, residual expansion potential, and effect on the strength of concrete. Results of the investigation showed that mild AAR was present in some sections of the wall of the power station but not in the floor, where drying shrinkage could have caused the cracking. Mild AAR was also present in sections of the dam wall with minor visible cracking, but it was stronger and more widespread in the badly cracked area. It was suggested that the walls of power station could be treated by appropriate surface coating to mitigate the progress of AAR, and the badly cracked portion of the dam wall be anchored to stabilise the vertical movement. Other portions of the dam wall did not appear to need treatment.

---

.....



.....  
Bérubé, M.A., Smaoui, N. and Côté, T., 2004: Expansion Tests on Cores from ASR-Affected Structures. 12th International Conference on AAR, Beijing (China), pp. 821-832, 2004.

**Abstract**

Expansion tests on cores from ASR-affected structures can be performed for prognosis and for diagnosis as well. This paper reviews the experimental procedures used at Laval University. (Quebec City, Canada) and discusses the interpretation of the test results. Tests in humid air at 38°C are performed to evaluate the potential for further expansion of the field concrete under test, with companion cores in 1N NaOH solution at 38°C, to determine the residual absolute reactivity of the aggregates this concrete contains. The expansion results of tests performed in humid air are largely influenced by core diameter and preexisting cracking. The greater the specimen diameter, the lower usually the expansion in the short term, but the higher this expansion in the long term due to lesser alkali leaching. For their part, the results from tests in alkaline solution are largely influenced by preexisting cracking, core diameter, alkali content, and concrete permeability (water/cement ratio). The greater the core diameter, the lower the alkali content, and the lower the water/cement ratio, the lower is the expansion in the short term, which accelerates, however, in the long term. Low expansions are sometimes obtained in the immersion test with highly-reactive aggregates whose the reactive silica dissolves in the immersion solution rather to produce expansive reaction gels within the concrete specimens.

---

## 23

Wood J G M "When does AAR Stop?" pp 1016-1024. Vol II, Proc. 12th ICAAR, Beijing, October 2004.

**Abstract:**

The ability to predict future expansion and damage in field conditions is of major practical and economic importance to the owners of bridges, dams and building structures in which Alkali Aggregate reactions expansions are developing.

The literature on AAR contains many conflicting statements on the duration of the reaction in laboratory concretes, in cores taken from structures and in the field. Often these statements are generalized, but are based on data relating to only a limited range of environments, sample size, aggregate characteristics and alkali availability. Much laboratory test data is flawed, but the best now provides us with an improved basis for predicting long term behavior.

Over the last 20 years a range of UK structures with ages from 30 to 80 years have been monitored for trends of the development of cracking from AAR expansion. This has been allied to comprehensive test programs on expansions of cores from these structures and changes in stiffness and strength of the concrete. The methodologies developed led to the recommendations in IStructurE report "Structural effects of ASR". Their progressive development has been described in papers by the author to ICAAR Conferences since 1983 and in detailed procedure notes. From this experience, allied to reported research, some guidance can be given to owners on the long management of structures with AAR.

---

## 24.

Wood, J.G.M., 1997: Water Supply Expansion Testing of Concrete Cores at Laboratory Ambient Temperatures. Commercial In Confidence. @ 1997.

### **Abstract**

To determine the potential for further expansion of concrete in structures with, or suspected of having, alkali aggregate reaction, cores need to be exposed to damp conditions with temperatures similar to those in the field. Many field structures have slow small residual expansions which may develop over a period of years. The procedures set out below are for predicting future trends in field structures as a guide to their management. They are distinct from those for short term 'Diagnostic' expansion tests. These laboratory core expansion tests are normally run in parallel with Demec site monitoring of expansions and crack movements

---

## 25

Hefny, A., Lo, K.Y. & Adeghe, L., 2001: **Measurements of laboratory rates of concrete expansion and their comparisons with field rates.** Can. J. Civ. Eng. 28, pp 402 – 410.

### **Abstract**

The R.H. Saunders dam is one of over one hundred concrete dams, worldwide, suffering from structural and operational problems due to the expansion of concrete resulting from alkali–aggregate reaction. A laboratory test methodology for measuring the residual expansion rate in these dams with simulation of field environment has been developed. This paper describes the test principles and method of interpretation of the different tests developed. Results of various expansion tests performed on samples recovered from the R.H Saunders dam (Canada) are presented. Results showed that the expansion rates measured in laboratory are consistent with those measured by extensive instrumentation in the field (in situ rebar tests, levelling data, stress meters, and in situ overcoring data). It is believed that the test methodology developed provides the necessary and inexpensive tools for measuring the stress-dependent residual expansion potentials in concrete dams. It would also have an impact on the design of remedial measures and the prediction of future performance because of the reliability and versatility of the test method.

---

## 26

Wood, J.G.M., 2000: Comparison of Field and laboratory Performance: How Safe and Economic are current Specifications ? Proc., 11th Int. Conf. AAR, Québec City, Canada, pp 543-552.

### Abstract:

The range of National Standards for testing and specifications on Alkali Aggregate reaction evolved over the last 50 years have reduced the risks for general construction. However these standards may not be sufficient where the design life is over 50 years, the conditions are severe, or the structure and associated machinery are sensitive to small expansions. This paper identifies examples of dams, nuclear, bridge and tunnel structures where additional rigor in specification is necessary.

Economic and environmental pressures are likely to necessitate a more refined evaluation of materials and tailoring of specifications to overall design requirements than is achievable with current knowledge. Detailed investigations of compositional variation in structures with decades of monitored AAR development in the field are needed to guide future developments in specification.

---

## 27

Lo, K. Y. & Hefny, A., 1999: **Measurements of Residual Expansion Rates Resulting from Alkali Aggregate Reaction in Existing Concrete Dams.** Materials Journal, Volume:96, Issue:3, Pages: 339-345

**Abstract:**

Expansion due to alkali-aggregate reactions (AAR) has caused structural and operational problems in a large number of existing concrete dams all over the world. However, there appears to be no laboratory test methods for the behavior representative of field performance. This paper presents a laboratory test methodology to measure the residual expansion potential under different stresses and the suppression pressure under uniaxial and triaxial conditions. The effect of slot cutting (the remedial measure currently used in dams) on expansion is also investigated. Results of tests on samples from R. H. Saunders Dam showed that the measured expansion rates in the laboratory are consistent with those measured by an extensive instrumentation system in the field. It is believed that the test methodology developed herein not only provides the necessary and inexpensive tools for measuring the stress-dependent residual expansion potentials in concrete dams, but also will have an impact on the prediction of future performance and remedial measures because of the versatility of the test method.

---

## Vedlegg: Beskrivelse av oppdraget

Restekspansjonsmålinger på betongkjerner uttatt fra konstruksjoner med alkalireaksjoner er omstridt. Like fullt er dette målinger som i gitte tilfeller kan gi verdifull informasjon vedrørende en aktuell betongs reaktivitet og ekspansjonspotensiale - egenskaper som gir viktig input til en konstruksjonseier ved vurdering av konstruksjonens tilstand, både når det gjelder framtidig skadeutvikling og tiltak.

Det skal utarbeides en statusrapport på laboratoriemetoder for bestemmelse av restekspansjon på utborede betongkjerner.

Rapporten skal gi en oversikt over ulike metoders/varianters:

- Eksponeringsbetingelser
- Størrelse på prøvestykker
- Målemetodikk og utstyr
- Effekt på ulike tilslagstyper/-sammensetninger
- Resultater i forhold til virkelig oppførsel i felt
- Feilkilder

Eventuelle geografiske variasjoner (Europa, Asia, Amerika, ...) i metodebruk skal fremgå av oversikten.

Det skal legges hovedvekt på erfaringer med metoder som ikke tilfører alkalier og hvor temperaturen holdes på et moderat nivå (f.eks. 38 °C). Betydningen av betongens fuktinnhold under eksponering (neddykking, 100 % RF, «as-drilled», ...) skal belyses spesielt.

De ulike metoder/varianters av metoder skal vurderes med hensyn på relevans for norske forhold (bergartstyper og klima).

Rapporten skal baseres på et bredt søk i internasjonale litteraturlister og aktuelle «conference proceedings» – minimum ICAAR-konferanser opp til 2012 og tidsskrift utgitt av forlagene Elsevier, Thomas Telford, Canadian Science Publishing og Springer Science (herunder tidsskriftene: Cement and Concrete Research, Materials and Structures, Magazine of Concrete Research, Construction and Building Materials, Canadian Journal of Civil Engineering). Søkene skal minimum dekke tidsperioden fra 1995 opp til dags dato.

Rapporten skal ha en utvidet referanseliste/vedlegg, hvor abstract fra omtalte referanser er inkludert.



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO  
Tlf: (+47 915) 02030  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**