

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave høsten 2012

Fagområde	Dato	Sider
Betongteknologi/Konstruksjon	13.12.2012	60 + vedlegg

Tittel:

Alkalireaksjoner i betongdammer

Skader, tilstandsvurdering og tiltak

Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Dams

Damage, condition assessment and measures

Utført av:

Hans Martin Skjefstad

Intern veileder: Christian Sørensen, UMB

Ekstern veileder: Bård Aslak Birkeland, Statkraft AS
Trond Bjertnes, Statkraft AS

Forord

Denne masteroppgaven, *Alkalireaksjoner i betongdammer*, ble skrevet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, IMT, ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, UMB, høsten 2012, under veiledning av Christian Sørensen fra IMT og Bård Aslak Birkeland og Trond Bjertnes fra Statkraft.

Jeg vil først takke Statkraft og mine veiledere der for muligheten og den økonomiske støtten til å gjennomføre denne oppgaven. En spesiell takk går til Bård Aslak Birkeland for svært god oppfølging og jevnlig kontakt gjennom hele semesteret.

Jeg vil også rette en takk til Sjur Åge Ekkje i Norsk Hydro og Torstein Tjelde i Eidsiva Energi for deling av erfaringer og målinger fra sine damanlegg. En videre takk går til Thomas Mo Willig og Energi Norge for interesse, formidling av artikler og invitasjon og støtte til å delta på Vassdragteknisk Forum. Takk også til NNCOLD, Norwegian National Committee On Large Dams, for muligheten til å delta på deres fagseminar.

En siste takk går til min veileder ved IMT, Christian Sørensen, for god hjelp til oppsett av oppgaven, hjelp til litteratur og skrivetekniske spørsmål.

Hans Martin Skjefstad

Ås, 13. desember 2012

Sammendrag

Alkalireaksjoner (fra nå av referert til som AR) har vært kjent i Norge siden slutten av 80-tallet. Under en hovedinspeksjon av Bjølsegrødammen i Ålvik, Hardanger i 1994 ble det konkludert med at dammen viste tegn til AR. Dette førte til at en ny hovedinspeksjon og en revurdering av dammen ble fremskyndet til 1996. I revurderingen ble det tatt kjerneprøver som bekreftet at AR var til stede i konstruksjonen. I tillegg ble det gjennomført en elementanalyse på dammen som tok høyde for en volumutvidelse. Elementanalysen og tilsynene som ble gjort på dammen konkluderte da med at det ikke ble funnet noen skader eller forhold som hadde noen betydning for dammens sikkerhet, men at den måtte følges bedre opp. Et måleprogram ble etablert for å få en mer detaljert oppfølging av hvordan konstruksjonen beveger seg.

Oppgaven begynner med en litteraturstudie av alkalireaksjoner. Denne inneholder detaljer om hvordan reaksjonen oppstår, og innvirkninger den har på konstruksjonen. Videre tar litteraturstudiet for seg forskjellige eksempler, tester og erfaringer som er gjort i laborietesting og på konstruksjoner med alkalireaksjoner rundt om i Norge og resten av verden. I case-delen av oppgaven tar jeg for meg Bjølsegrødammen som er påvirket av alkalireaksjoner. Med grunnlag i litteraturstudiet, tidligere rapporter, innmålinger og prøvetaking skal tilstanden og utviklingen til dammen vurderes.

15 år med deformasjonsmålinger indikerer at det fremdeles foregår en volumutvidelse av betongen. Befaringer viser også at bevegelsene til dammen har gjort skade på den tilstøtende frostveggen, men at det ikke har oppstått synlige skader som har betydning for sikkerheten. Disse skadene var også til stede under forrige revurdering av dammen som ble gjort på midten av 90-tallet. Kjerneprøver tatt høsten 2012 viser at omfanget av AR i dammen er omtrent det samme eller marginalt større enn det som ble registrert i 1997.

Det er vanskelig å si noe sikkert om hvordan AR har påvirket betongkvaliteten i konstruksjonen. Tester som er gjort på forskjellige konstruksjoner opp gjennom årene viser at betong generelt blir noe svekket av AR. Spesielt E-modulen kan bli noe redusert. En faktor som kan veie opp for effekten av AR er at betong fortsetter å herde i mange tiår etter 28-døgns fasthet.

Prøver som er tatt opp gjennom historien viser at utbredelsen av AR i en enkelt konstruksjon kan variere innad i konstruksjonen. Deformasjonsmålingene som er tatt av dammen viser at innmålingsboltene beveger seg i forskjellig retning og hastighet. Over 15 år er det målt deformasjon av bolter som er store nok til potensielt å forårsake flyt i armeringen om en forutsetter at det ikke oppstår glidning mellom armering og betong. Derimot er det usikkerheter rundt innmålingene og det er begrenset med forskning på heft mellom armering og betong med AR. Det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner vedrørende den totale tilstanden til konstruksjonen ved hjelp av inspeksjoner av overflaten. Kjerneprøver av damplaten kan bare gjøres i begrenset omfang.

Ved neste revurdering bør det tas hensyn til siste tilgjengelige viten om alkalireaksjoners påvirkning på betong og dens egenskaper. En eventuell rehabilitering bør tilstrebe å hindre videre ekspansjon og/eller gjøre tiltak med rom for at en volumutvidelse kan fortsette i ubestemt tid.

Abstract

Alkali-Aggregate Reactions (from now on referred to as AAR) has been known and accepted in Norway since the late 1980's. A main inspection on the Bjølsegrø Dam in Ålvik, Hardanger gave evidence of AAR. The dam was reevaluated in 1996 when concrete cores were extracted and analyzed. This confirmed the structure's chemical-physical reaction. A finite element analysis was performed which simulated expanding concrete. The finite element analysis and inspections concluded that there was no damage or other conditions that would affect the dam's safety requirements, but that a survey program should be established to better monitor the structures behavior.

This thesis consists of a literature study on AAR. This part investigates the reaction itself and the effects it has on structures. It also takes a look at other studies, cases and examples from laboratory- and field work in Norway and around the world. The case study examines the Bjølsegrø Dam where AAR has been confirmed. On the basis of the literature study, earlier reports, surveying and core samples, the condition and development of the dam is going to be studied.

15 years of surveying indicates that the concrete in the dam still expands. Inspections also show that the movement of the dam has caused damage to the attached downstream frost-wall, but that no damage that has a significant effect on the dam's safety has occurred. The visual damages on the dam were also apparent when the dam was being reevaluated in the mid 90's. Core samples taken fall 2012 indicates that the extent of AAR in the structure is practically the same or marginally bigger than in 1997.

It is difficult to reach a conclusion regarding the overall condition of the concrete structure. Tests made on different structures over the years shows that concrete in general is somewhat weakened by AAR. Especially the modulus of elasticity shows some signs of reduction. One factor that may offset the effect of AAR is that concrete continues to cure for many decades after 28-days strength.

Core samples extracted from structures on various locations throughout history shows that the prevalence of AAR in a single structure can vary within the structure. Deformations measured on the dam indicate surveying bolts moving in different directions and rates. 15

years of measuring the dam provide evidence of deformations that are large enough to cause the reinforcement to yield, assuming there is no slip between the reinforcement bars and the concrete. However, there are uncertainties surrounding the surveying data and there is limited research on the bond between the reinforcement and AAR-affected concrete. It is difficult to evaluate the overall condition of the structure by means of inspections of the surface and there are limited opportunities to take core samples of the dam wall.

At the next re-evaluation, the last available knowledge on AAR and its influence on concrete and its properties should be taken into account. Any rehabilitation measures should aim at preventing further expansion, and/or include considerations that open for the expansion to go on indefinitely.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	5
Ord- og forkortelsesforklaring.....	10
1 Innledning.....	11
1.1 Bakgrunn for oppgaven	11
1.2 Case-studie	11
2 Litteraturstudie.....	13
2.1 Generell historie	13
2.2 Alkalireaksjoner i betongdammer i Norge	13
2.3 Hva er alkalireaksjoner?	14
2.3.1 Reaktivt tilslag	15
2.3.2 Alkalier.....	16
2.3.3 Fuktighet.....	17
2.3.4 Temperatur.....	18
2.4 Alkalireaksjoners påvirkning på betongkonstruksjoner	19
2.4.1 Tester av laboratorieprøver	19
2.4.2 Prøver tatt fra eksisterende konstruksjoner	19
2.4.3 Effekten mellom AR og armering	21
2.4.4 Fullskala testing av konstruksjoner med AR	24
2.5 Overvåking og vurdering av skader	26
2.5.1 Visuell inspeksjon	26
2.5.2 Innmåling av konstruksjonen	27
2.5.3 Boring av kjerneprøver	27

2.5.4 Måling av sprekker i konstruksjonen	28
2.5.5 Ultralydtesting.....	29
2.5.6 Vurdering av tester og overvåkingsmetoder	30
2.5.7 Mulige konsekvenser.....	31
2.6 Tiltak mot alkalireaksjoner på eksisterende konstruksjoner	31
2.6.1 Slissing	31
2.6.2 Fastholding	32
2.6.3 Rissreparering.....	32
2.6.4 Tørking.....	32
2.6.5 Litium.....	33
2.7 Vurdering av tiltak	34
3 Case: Bjølsegrødammen.....	36
3.1 Generelt.....	36
3.2 Påvist alkalireaksjoner.....	37
3.3 Resultat av målinger gjort fra 1998 til 2012.....	38
3.3.1 Dilatasjonsmåling av sprekker.....	38
3.3.2 Deformasjonsmålinger	39
3.3.3 Nye kjerneprøver tatt i 2012	44
3.4 Volumøkningens virkning på konstruksjonen	47
3.4.1 Synlige skader.....	47
3.4.2 Skjulte skader	49
3.5 Sammenligning med andre betongdommer med AR	51
3.5.1 Vanlige bevegelser	51
3.5.2 Hunderfossen dam	52
3.5.3 Lignende tilfeller i Norge	52

3.6 Konklusjon og anbefalinger	53
Figurliste	56
Tabeller.....	58
Litteraturliste.....	59
Vedlegg A: Optisk analyse av betong	61
Vedlegg B: Befaring Bjølsegrødammen 18.9.2012.....	63
Vedlegg C: Prøvemethoder for E-modul og trykk- og strekkfasthet av betongsylindere	69
Vedlegg D: Erfaringer fra Hunderfossen Dam	70
Vedlegg E: Innmåling av Bjølsegrødammen 2012.....	72
Vedlegg F: Bevegelser mellom bolter på damkronen	74
Vedlegg G: Oversiktskart deformasjonsbolter.....	75
Vedlegg H: Dilatasjonsmålinger Bjølsegrødammen	76
Vedlegg I: Prøverapport kjerneprøver 1996	77
Vedlegg J: Prøverapport kjerneprøver 2012	93

Ord- og forkortelsesforklaring

AR: Alkalireaksjoner

Alkalireaksjoner blir omtalt på forskjellige måter i litteraturen. På engelsk går den mest under navnet AAR (Alkali-Aggregate Reaction) eller ASR (Alkali-Silica Reaction). Aggregate betyr tilslag og silica betyr kvarts. På norsk blir det som regel bare kalt alkalireaksjoner selv om en ser og hører benevnningen alkali-kisel reaksjon. Kisel kommer fra dansk og betyr Silisium. Silisium er en bestanddel i Silisiumdioksid (SiO_2), eller kvarts som er et mineral som inngår i de fleste bergarter. Alle disse navnene er benevninger for den samme type reaksjon.

Alkalier: Natrium (Na), Kalium (K). Grunnstoffer

Kalsiumhydroksid: ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) Kalkforbindelser som er hovedbestanddelen i sement.

Tilslag: Delmateriale i betong som naturlig sand, grus og stein eller knuste bergarter (pukk)

HRV: Høyeste regulerte vannstand

LRV: Laveste regulerte vannstand

E-modul (Elastisitetsmodul): Et materials forhold mellom fasthet og forlengelse.

Motstandsevnen et materiale har for elastisk deformasjon.

Elastisk deformasjon: Deformasjon der materialet går tilbake til sin opprinnelige form når belastning fjernes.

Kryp: Økende deformasjon over tid på grunn av belastning fra egenvekt eller ytre last mindre enn bruddlast.

RF (Relativ fuktighet): I betong; forholdet mellom fuktinnholdet i porene i betongen og det maksimale fuktinnholdet når betongen er mettet.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Dammer har vært brukt til å kontrollere vann siden 3000 år før Kristus. Betong som byggemateriale for dammer ble først tatt i bruk av romerne. I Norge blir dammer brukt mest i forbindelse med vannkraftutbygging. Det finnes i dag flere tusen betongdammer av forskjellig størrelse i Norge. Siden 1920-tallet har det blitt observert at betong i fuktig miljø kan få et spesielt rissmønster og begynne å øke i volum etter at den er størknet. Dette ble først observert i et vannkraftverk i Pennsylvania (4). Fenomenet ble identifisert som alkalireaksjoner der alkalier i hovedsak fra sement reagerer med en viss type tilslag og danner en gel som ekspanderer i betongen. Frem til slutten av 1980-tallet var ikke dette sett på som noe problem i Norge. Det er i dag kjent at denne reaksjonen i aller høyeste grad finnes i norske betongkonstruksjoner og også da i betongdammer. En utvidelse av betongen innenfra fører til at den slår sprekker og åpner for inntrengning av vann og forurensende stoffer og åpner for videre fryse/tine skader. Volumøkningen skaper også problemer der betongen støter mot andre konstruksjoner eller bevegelige mekaniske innretninger. Til sammen vil disse konsekvensene føre til større usikkerhet rundt egenskapene til konstruksjonene og en mulig redusert levetid.

Når en dam får skader utover normal slitasje kan dette føre til store ekstra kostnader i reparasjoner og utskiftninger for dameierne. Konsekvensene av et dambrudd er så store at det stilles svært strenge krav til kvalitet og kontroll av konstruksjonene. Oppgaven er et ledd i å få en dypere forståelse av hvordan AR påvirker betongkonstruksjoner og hvordan vi kan overvåke og vurdere tilstanden til dammer som er påvirket av AR. Dette gjør at en på en sikrere og mer økonomisk måte kan drifte eldre betongdammer.

1.2 Case-studie

Senere i oppgaven skal vi se på et konkret eksempel der en betongbuedam er påvirket av AR slik at betongen ekspanderer og presser dammen innover i magasinet. Det er mange eksempler rundt om i verden der buedammer beveger seg oppstrøms som følge av en volumutvidelse. Det er derimot lite kjent hvilke konstruksjonsmessige konsekvenser dette har. Det er gjort mange studier på hvordan AR påvirker betongen. Flere av studiene viser at

materialeegenskapene til betongen kan bli dårligere, men at AR ikke er entydig med at konstruksjonen er permanent ødelagt og må byttes ut. Dammen i casestudiet er en buedam der hele konstruksjonen i prinsippet skal være i trykk under belastning fra vannet den holder tilbake. Derimot vil ikke konstruksjonen være under trykk når vannstanden er lav. Det er usikkert hvor mye en volumutvidelse vil ha å si på styrken til dammen. Rent geometrisk kan det tenkes at en buedam har visse konstruksjonsmessige fordeler med tanke på en utvidelse kontra rette damkonstruksjoner. Litteraturstudiet, innmåling og kjerneprøver skal prøve å gi svar på tilstanden til dammen.

2 Litteraturstudie

2.1 Generell historie

Alkalireaksjoner (fra nå av referert til som AR), også kjent som AAR eller ASR (Alkali-Aggregate Reaction, Alkali-Silica Reaction), i betong er et velkjent fenomen rundt om i verden. Skader forårsaket av AR har vært kjent siden 1920-tallet. Land som først observerte skader som følge av AR og som begynte undersøkelser var Danmark, Storbritannia, USA og Canada. Tegn på reaksjoner ble observert i betongkonstruksjoner som ble mye utsatt for fukt. Damkonstruksjoner er spesielt utsatt og det er registrert utvidelser av betong i slike konstruksjoner i over 40 år i land som USA, Canada, Frankrike, Zimbabwe og Mosambik (5). I Norge trodde man frem til slutten av 1980-tallet at man ikke hadde reaktive bergarter og at dette derfor ikke var noe problem til tross for at det ble dokumentert slike skader på norske betongkonstruksjoner allerede på slutten av 1970-tallet (2).

Siden 1988 er det blitt observert og dokumentert alkalireaksjoner i et stort antall kraftverk, damkonstruksjoner og broer. I senere tid er det også observert i fabrikkbetong som prefabrikkerte søyler og bjelker og i forspente jernbanesviller (6).

I 1993 ble det utarbeidet prøvemetoder for tilslag og betong for å kunne dokumentere alkalireaktivitet og forhindre alkalireaksjoner i nye konstruksjoner (2).

Noe av grunnen til at det er kommet så sent i gang i Norge er fordi det i Norge bare er blitt observert virkninger av langsomme AR. Det tar normalt minst 15 år før virkningene er synlige ved bruk av Norske bergarter [5]. I andre land som Danmark er det observert hurtige AR. Forskjellen ligger i hvilke bergarter som blir brukt i betongen. Hurtige AR kommer for eksempel fra opal og flint som ikke blir brukt i noen vesentlig grad i Norge. Alkalireaktive bergarter som blir brukt i Norge kan ses i Tabell 1. AR er også temperaturavhengig. Deler av Norge har lave temperaturer store deler av året. Dette er med på å senke hastigheten til reaksjonen.

2.2 Alkalireaksjoner i betongdammer i Norge

De første observasjonene som ble gjort i kraftbransjen som kunne indikere alkalireaksjoner ble gjort allerede i 1977. Da engasjerte Norsk Hydro A/S på Rjukan konsulenter for å redegjøre for deformasjoner i flere av deres kraftstasjoner. Det ble antydnet at

alkalireaksjoner kunne være årsaken, men det var på denne tiden liten tiltro til at dette kunne forekomme i Norge.

I 1987 fikk Vassdragstilsynet melding fra Hydro om spesielle betongskader på sine dammer og kraftstasjoner. Det ble tatt kjerneprøver som ble sendt til AEC Rådgivende Ingeniør A/S i Danmark for analyse. Der ble det konkludert med at det hadde vært en reaksjon mellom mikrokrystalline kvartfeltspatmineraler og sementpastaen som hadde ført til oppsprekking og sprenging av tilslag og betong (7).

Etter dette ble det satt i gang flere undersøkelser på dammer som viste tegn til samme type skademønster som ble observert i Rjukan. Mange av disse har etter prøvetagning og analyse vist seg å ha alkalireaksjoner.

Det er gjort flere forskningsforsøk på metoder for å senke relativ fuktighet i betongen for å stoppe eller forsinke AR uten positive resultater. I praksis blir hver enkelt konstruksjon med AR vurdert hver for seg. Ingen permanente løsninger på problemet er i dag kjent.

2.3 Hva er alkalireaksjoner?

Alkalireaksjoner i betong er en kjemisk-fysisk reaksjon mellom alkalier i sementen og tilslag fra visse typer bergarter som inneholder kvarts. Reaksjonsproduktet er en hygroskopisk gel som sveller ved vannopptak. Dette medfører en volumøkning som igjen kan føre til oppsprekking av betongen om sementpastaens strekkfasthet overskrides.

Typiske tegn på AR er et krakelingsmønster i betongen som vist på Figur 1. Riss i betongen danner et nettverk og møtes i et såkalt trebeinsmønster. Derimot er ikke observasjonen av denne typen riss i betongen nok til å konkludere med AR.

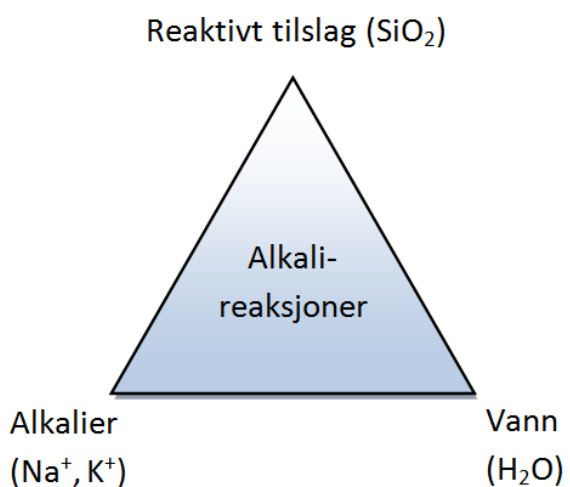


Figur 1 Typiske krakelingsriss forårsaket av alkalireaksjoner.

Lignede riss kan også være forårsaket av frostsprenging. For å dokumentere at AR er tilstede må det bli tatt prøver betongen som sendes inn til analyse hos et godkjent laboratorium.

Den kjemiske prosessen består i at alkaliionene natrium og kalium (Na^+ , K^+) i hovedsak fra sementen reagerer med visse typer tilslag som inneholder kvarts (SiO_2). Reaksjonen forekommer etter at betongen har herdet. Alkalier og kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) gir høy pH i betongens porevann og skaper derfor et basisk (alkalisk) miljø. Alkaliene og den høye pHen gjør SiO_2 mer løselig (2). Dette frigjør flere silikationer som blir tilgjengelige for dannelse av gel (8).

For at reaksjonene skal inntreffe må både alkalier, kvarts (SiO_2) og vann være tilstede (Figur 2). Om en av disse tre hovedkomponentene ikke er til stede vil ikke reaksjonen kunne starte, evt vil den stoppe om den allerede er i gang. Hastigheten på reaksjonen, og hvor lang tid det tar for reaksjonen å starte etter herding varierer. Dette er avhengig av bergarter i tilslaget, betongteknologiske forhold som type sement og hvordan konstruksjonen blir eksponert for fukt og temperatur.



Figur 2 Parametere som må være tilstede i tilstrekkelig grad for at AR skal kunne finne sted.

2.3.1 Reaktivt tilslag

Det var ikke før sent på 1980-tallet at det ble akseptert at norske bergarter kunne føre til slike skader. Tidligere gikk en ut fra at observerte krakeleringer typisk for AR var forårsaket av andre mekaniske skadevirkninger som frost (9).

Fra 1990 til 1996 ble det gjennomført to store forskningsprosjekter som hadde som mål å kartlegge alkalireaktive bergarter i Norge. Prosjektene ble i hovedsak gjennomført av SINTEF i Trondheim i samarbeid med NGU (Norges Geologiske Undersøkelse). Bergartene og klassifiseringen av disse kan ses i Tabell 1.

En del av forskningsprosjektet gikk også ut på å utvikle testmetoder for å finne ut om bergarter var alkalireaktive eller ikke. SINTEF utviklet da petrografisk analyse av tilslag. Tilslaget kan etter dette undersøkes nærmere med mørtelprismemetoden eller betongprismemetoden. Disse er internasjonalt kjente metoder modifisert for bruk i Norge. Metodene vil overprøve resultatet fra den petrografiske analysen. Se Vedlegg A for en oversikt over prøvemethodene.

For nybygg i dag er det krav til at tilslaget som blir brukt i betongen skal være dokumentert sikret mot alkalireaksjoner. En godkjent sikring er at tilslaget er dokumentert ikke-alkalireaktivt. Dvs. at innholdet av risikobergarter i tilslaget skal være under 20 % (2).

I land der det er mer vanlig med hurtige AR har det blitt dokumentert at et innhold av 5-30 % alkalireaktive bergarter gir størst skade på betongen. I

Reaktivitet	Bergart
Alkalireaktive bergarter: typisk kvartskornstørrelse < 60 µm (dokumentert i betongkonstruksjoner)	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentære bergarter: sandstein, siltstein, leirstein, metamerger, gråvakke - Deformasjonsbergarter: mylonitt, kataklasitt, mylonittgneis - Sure vulkanske bergarter: ryolitt, kvartskeratofyr - Kvartsitt, mikrokrystallin/kvartsskifer - Fyllitt
Tvilstilfeller: typisk kvartskornstørrelse < 130 µm	<ul style="list-style-type: none"> - Kvartsitt/kvartsskifer - Kvartsrik bergart, det vil si med kvartsinnhold > 20 % - Kalkstein med urenheter, det vil si finkornet kvarts - Hornfels - Lyse mylonitter, med 1-5 % kvarts
Ikke alkalireaktive bergarter: typisk kvartskornstørrelse > 130 µm eller kvarts ikke til stede	<ul style="list-style-type: none"> - Mørke bergarter: basalt, grønnstein, gabbro, amfibolitt - Kvantsholdige bergarter: granitt/gneis, kvartsskifer, glimmerskifer - Feltspatiske bergarter - Annet/uidentifisert: ren kalkstein og marmor, frikorn, porfyre, kvartsfrie mylonitter

Tabell 1 Klassifisering av norske bergarters alkalireaktivitet. (2) Tabell 32.

Norge hvor vi har langsomme AR viser erfaringer at økt innhold av

alkalireaktive bergarter gir økt skade på betongen. Det er også dokumentert at alkalireaktiv stein gir større skader enn alkalireaktiv sand. Dette tas hensyn til i norsk regelverk (2).

2.3.2 Alkalier

Alkaliene som må til for at en alkalireaksjon skal forkomme kommer i hovedsak fra sementen. Norsk Portlandsement har tradisjonelt hatt et alkaliinnhold på over 1 %. Dette er betydelig høyere enn den øvre grensen for alkaliinnhold på 0,6 % som er i lavalkalisement. Lavalkalisement har vært tilgjengelig på det norske markedet i mer enn 30 år. Alkalier i

betongen kan også tilføres fra andre tilsetningsstoffer i sementen som silikastøv, flygeaske, slagg og resirkulert blandevann. Eksterne faktorer som sjøvann og veisaltning kan også tilføre betongen alkalier etter at betongen er støpt. Visse typer av mineralet feltspat som kan finnes i tilslaget kan også inneholde alkalier. Det har blitt gjort tester som viser at tilslag som er rike på feltspat kan bidra med opp til tilsvarende $3,4\text{kg/m}^3$ alkalier i betongen (10). Dette gjør at det er enda viktigere å tilstrebe bruk av ikke-reaktive bergarter i betongen. En metode for å teste bergarter for potensielt alkaliinnhold er for tiden under utvikling (11).

Følgene av dette er at en ikke kan regne med at alkaliene i den opprinnelige sementen blir brukt opp og reaksjonen stopper. Eksempler på at reaksjoner har stoppet etter 25 år finnes på dammer i USA. Dette har ikke blitt registrert i Norge. Det faktum at alkalier kan komme fra bergarter gjør det også enda viktigere å holde alkaliinnholdet i sementen på et så lavt nivå som mulig. Det er også viktig å kombinere et lavt alkaliinnhold med kontroll av bergartene som blir brukt. Per i dag finnes det ikke gode tester for å måle mengden av alkalier som kan kommer fra tilslag. Eksterne kilder for alkalier blir ikke tatt med i beregningen av alkaliinnhold i betongen.

Ved bruk av pozzolane tilsetninger eller slagg i betongen kan en tillate en noe større mengde alkalier i betongen. Tilsetninger som silikastøv er med på å redusere pH-verdien i porevæsken og binde opp alkalier. Dette gjør at betongen tåler et høyere innhold av alkalier før en eventuell skadelig reaksjon inntreffer. Dette forutsetter at silikastøvet har et dokumentert alkaliinnhold på mindre enn 0,5 % (2).

2.3.3 Fuktighet

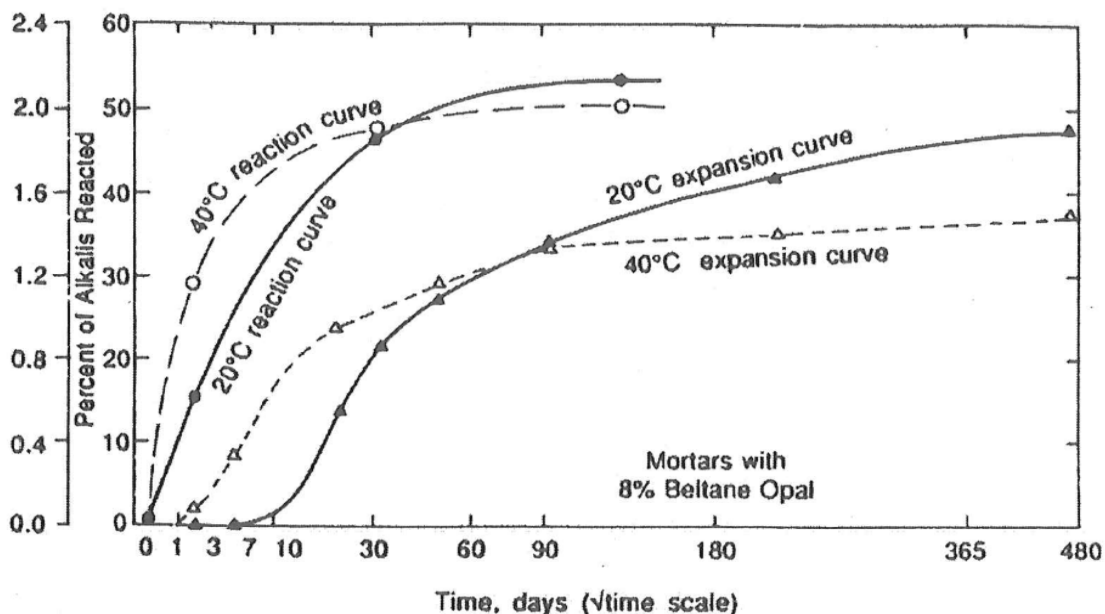
Fuktighet i betongen er viktig for at alkalireaksjoner skal inntreffe på flere måter. Den er viktig for oppløsning av kvarts og for transport av alkalier til det reaktive tilslaget. Innhold av fuktighet er også med på å avgjøre hvor mye den hygroskopiske gelen, som er resultatet av den kjemisk-fysiske reaksjonen, kan svulle. Fuktighet kan tilføres konstruksjonen gjennom høy fuktighet i omgivelsene, kapillærsug eller ved direkte vanntrykk. Når en ser på betongdammer vil alle disse faktorene spille inn (2).

Betongdammer har som regel en relativ fuktighet på over 80 %. Dette er den mest vanlige grenseverdien som er satt for at alkalireaksjoner skal inntreffe. Den kan variere litt avhengig

av forskjellige faktorer. Alkalireaksjonene øker ved økt fuktighet. Dammer får tilført fuktighet på flere måter. Omgivelsene har som regel en RF på over 80 %, dammene står ute og blir tilført regnvann og blir utsatt for direkte vanntrykk på vannsiden. En har også observert at det er økte tegn på skader fra AR der betongen har blitt syklisk oppfuktet og uttørket. Der denne effekten er størst er på betong som er eksponert for både regn og sol.

2.3.4 Temperatur

Som i de fleste kjemiske reaksjoner vil reaksjonshastigheten øke ved økt temperatur og det vil bli produsert mer svellende gel. Dette ser ut til å stemme med observasjoner av økte skader på betongflater som er utsatt for direkte sol. Det er også observert omfattende skader på konstruksjoner som er konstant utsatt for høy fuktighet og temperatur, som innendørs svømmehaller og støpte meierigulv. Derimot gjør egenskapene til gelen at reaksjoner som skjer ved lavere temperaturer over tid vil gjøre større skader. Dette er fordi gelen blir mer tyntflytende ved høye temperaturer. Ved lavere temperaturer vil reaksjonen skje tregere, men vil kunne utøve et høyere svelletrykk (δ). Figur 3 viser resultatene fra et laboratorieforsøk på hvordan reaksjoner ved lavere temperatur over tid kan føre til større skader enn reaksjoner ved høyere temperatur. Reaksjonene vil stoppe opp ved temperaturer under frysepunktet.



Figur 3 Reaksjonskurver og ekspansjonskurver av mørtelprismer eksponert ved 20°C henholdsvis 40°C (8) s. 8

2.4 Alkalireaksjoners påvirkning på betongkonstruksjoner

For å gjøre en faglig vurdering på tilstanden til en konstruksjon som er påvirket av AR må en vite en del om hvordan AR og volumøkningen den forårsaker påvirker egenskapene til betongen. Dette kan ikke gjøres ordentlig ved innmålinger og visuelle observasjoner. Dette må gjøres ved fysisk testing av betong med naturlig eller fremprovosert AR.

2.4.1 Tester av laboratorieprøver

For å enkelt skaffe prøver kan disse bli laget under kontrollerte former i et laboratorium. Dette blir gjort på omtrent samme måte som betongprismemetoden. Det er en godkjent metode som brukes for å vurdere alkalireaktivitet til sand, stein og blandet tilslag (2). Først



Figur 4 Den mest vanlige formen for prøver er sylindere (caer.uky.edu)

blir det støpt ut en betongprisme som en vet inneholder reaktivt tilslag og alkalisk sement. Prøvene lagres så i kar med 100 % RF og en temperatur på 38 °C. Disse omgivelsene vil fremprovosere en hurtig reaksjon. Når det har blitt bekreftet at prøven har AR kan det gjennomføres tester som kan si noe om egenskapene til betongen. Trykktesting av slike laboratorieprøver har vist at E-modulen i betong kan bli redusert ned til 7,3-8,2 GPa pga AR (12). Det er derimot viktig å huske på at disse prøvene ikke inneholder

armering og omkringliggende fastholding som normale betongkonstruksjoner. De har også en utvikling av AR som er kunstig akselerert. Her skjer det en volumøkning i betongen fra noen måneder og opp til 1-2 år. Prøver tatt fra eksisterende konstruksjoner har utviklet AR i minst 15-20 år med varierende omfang. Det er først etter så lang tid en blir oppmerksom på problemet og tar ut prøver. Dette fører til at laboratorieprøver og prøver tatt fra konstruksjoner har store forskjeller i påfølgende materialegenskaper og kan ikke direkte sammenlignes (12).

2.4.2 Prøver tatt fra eksisterende konstruksjoner

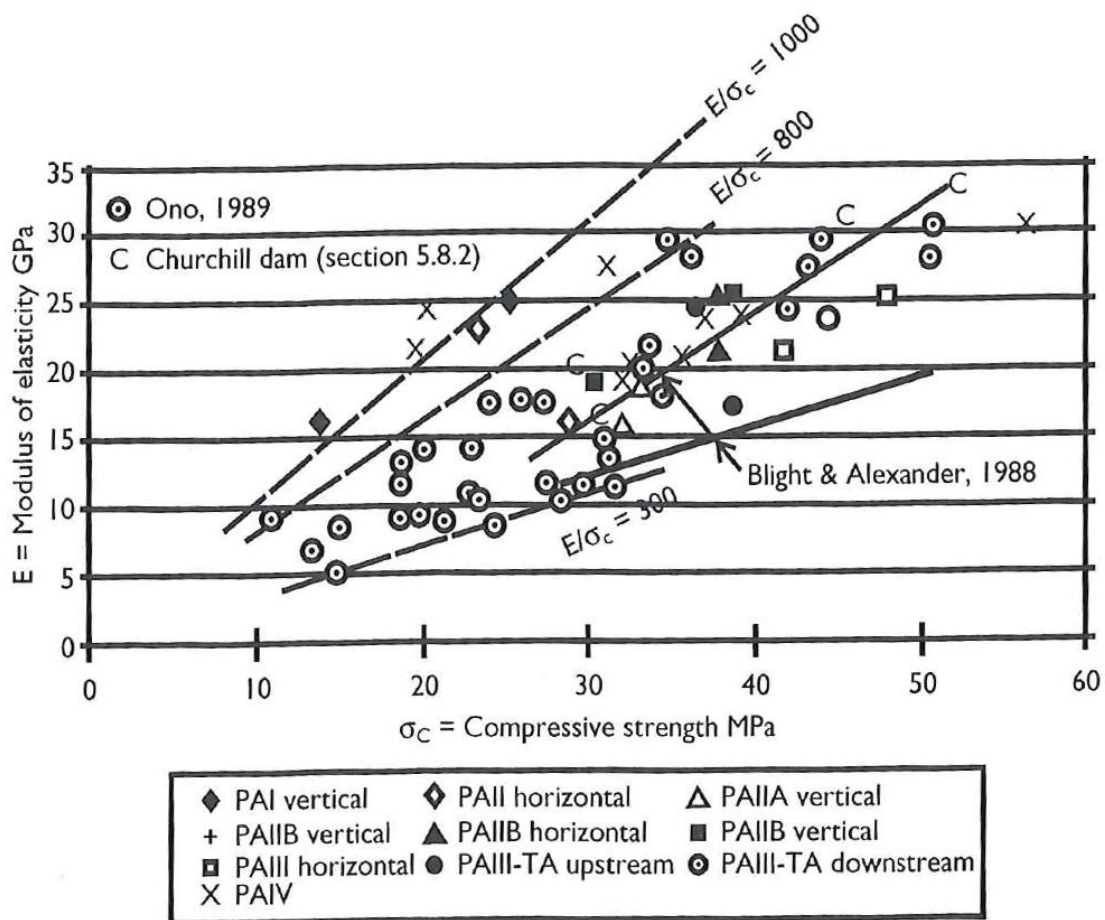
Det er godt kjent at teori og praksis ikke alltid stemmer over ens. Derfor kan en ikke entydig si at prøver som er laget i et laboratorium gir et godt nok bilde på egenskapene i betong som

er påvirket av AR. For virkelig å teste ut egenskapene til reagert betong må det tas ut prøver fra konstruksjoner som en vet er påvirket av AR. Problemene med dette er at betongen i virkelige konstruksjoner sjelden er 100 % homogen. Det vil si at kjerneprøver tatt fra et sted på konstruksjonen ikke nødvendigvis har nøyaktig de samme egenskapene som prøver tatt fra et annet sted. Om en konstruksjon er så påvirket av AR at deler av den har store sprekker vil ikke en inntatt prøve være representativ for de deler av konstruksjonen som har sprekker (12).

Om en skal gjøre en vurdering av betongegenskapene til en konstruksjon ut fra kjerneprøver er det viktig å få et best mulig bilde av hele konstruksjonen. Jo flere prøver en tar jo mer nøyaktig blir resultatene. Det er ikke alltid like lett å få tatt ut prøver av en eksisterende konstruksjon. Dette kan være på grunn av tilkomstproblemer og mangel på steder det er forsvarlig å ta ut prøver. En bør vurdere på forhånd om testing av egenskapene til kjerneprøvene vil gi et godt nok bilde av betongen i hele konstruksjonen til at det er hensiktsmessig å gjennomføre disse.

Flere slike tester har blitt gjort av forskjellige konstruksjoner der det har blitt påvist AR. Som tidligere nevnt vil ikke en enkelt prøve tatt fra en konstruksjon være representativ for betongkvaliteten for resten av konstruksjonen. Dette vises godt igjen i prøveresultatene som har varierende resultater. Mange av disse prøveresultatene er vist som forhold mellom trykkfasthet og E-modul, og trykkfasthet og strekkfasthet. Selv om resultatene har stor spredning kan en se tendenser til at E-modulen kan bli redusert mer enn trykkfastheten. I en sammenligning av prøver tatt fra konstruksjoner med AR kommer resultatene ut med et forhold mellom E-modul og trykkfasthet på $E/\sigma_c = 300$ til 1000 med de fleste dataene mellom 300 og 800 (Figur 5). Prøvene er tatt fra fire forskjellige kraftverk i Paulo Afonso i Brasil i tillegg til Churchilldammen i Sør-Afrika og bro- og veikonstruksjoner i Japan (Ono, 1989). For de mest vanlige betongtypene uten skader ligger dette tallet mer konsentrert opp mot 1000. Ved strekkfasthet er det gitt et forhold mellom trykkfasthet og indirekte strekkfasthet på $\sigma_c/\sigma_{it} = 11$ til 20 og forhold mellom trykkfasthet og direkte strekkfasthet på $\sigma_c/\sigma_t = 20$ til 60 (12). For vanlig uopprisset betong kan strekkfastheten normalt være opp til 10 % av trykkfastheten. Se Vedlegg C for prøvemetoder av trykkfasthet og direkte- og indirekte strekkfasthet.

I tillegg til redusert E-modul er det gjennomført forsøk på kryp i betong påvirket av AR. Dette viser hvordan betongen oppfører seg ved påført last over tid. Et forsøk gjort i 1980 viser at prøvene som var visuelt mest angrepet av AR også hadde de største deformasjonene etter en belastning på 15 MPa ved $RF = 45\%$ over en periode på 300 dager (12). Siden prøvene er tatt ut av konstruksjonen vil ikke disse være fastholdt av konstruksjonen rundt, og vil sannsynligvis ha et større relativt kryp enn selve konstruksjonen. Det er viktig å vite noe om elastisiteten til materialet om en eventuell forsterkning av en konstruksjon innbærer oppspenning og påføring av laster.



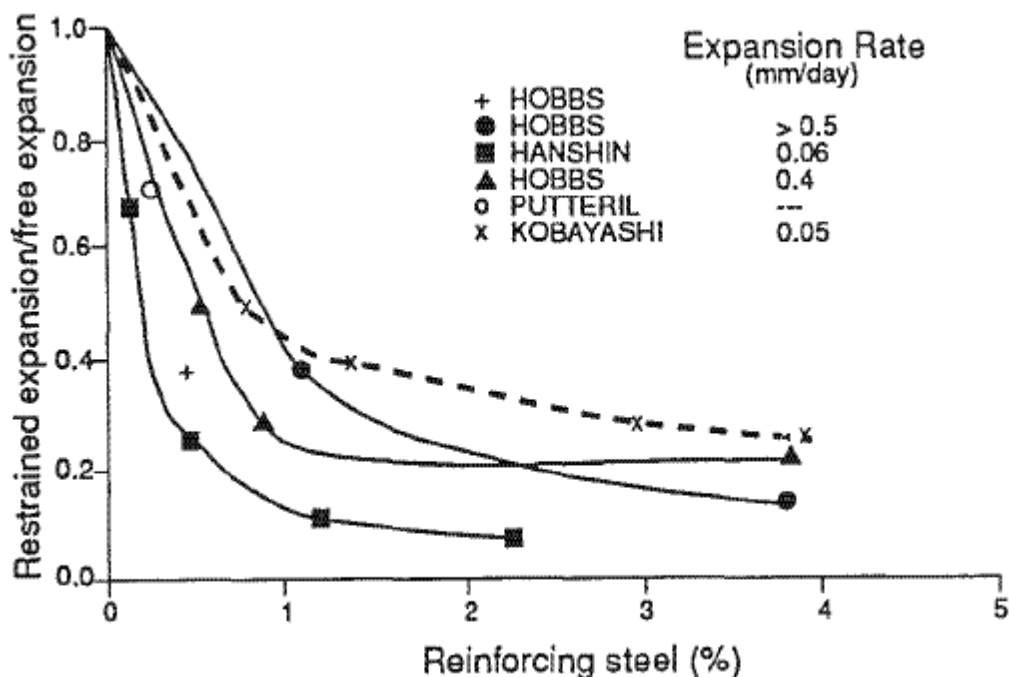
Figur 5: Forhold mellom E-modul og trykkfasthet i betongprøver tatt fra konstruksjoner med AR. (12) Figur 3.8 (a)

2.4.3 Effekten mellom AR og armering

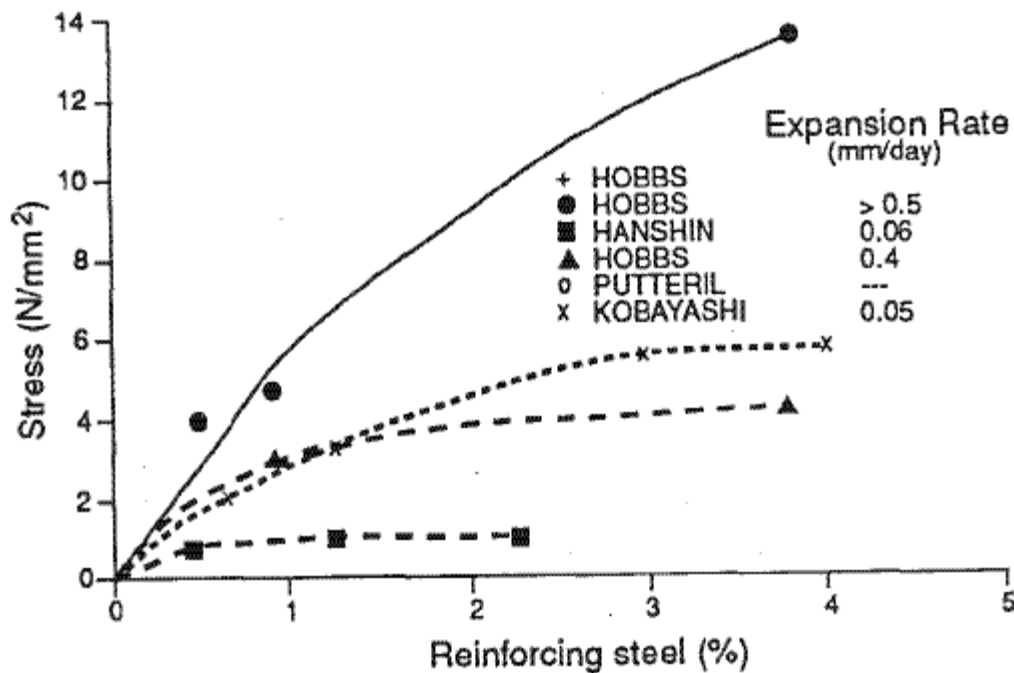
En volumutvidelse av betongen som følge av AR vil også påvirke armeringen i betongen. Siden armeringen er en innstøpt del i betongen vil også denne ha innvirkning på hvordan betongen oppfører seg. Alt dette avhenger av hvor stort trykk AR kan utøve. En ekspansjon vil bli tatt opp av strekkapasiteten til betongen. Siden denne er begrenset inneholder de

fleste betongkonstruksjoner armering til å ta opp strekkrefter. I betong som får en ekspansjon pga. AR vil armeringen motvirke denne volumøkningen. Det vil bli strekk i armeringen som igjen vil gi et tilsvarende trykk tilbake på betongen.

The British Institute of Structural Engineers har samlet inn en del data på forskning som er gjort på hvilke trykk som kan oppstå i armert betong påvirket av AR. Testene viser klart at armering reduserer ekspansjonen i betongen (Figur 6). Dette medfører strekkrefter i armeringen og trykkrefter i betongen parallelt til armeringen. Ved betong med akselerert AR med volumutvidelse på over 0,5 mm/dag og 4 % armering kan betongen oppnå et trykk på 14 MPa (Figur 7). Dette ble oppnådd ved en unaturlig rask ekspansjon. I konstruksjoner ute i felt foregår ekspansjonen saktere og blir også påvirket av kryp og relaksasjon. En kan derfor regne med at betong på virkelige konstruksjoner ikke får et høyere trykk en rundt 4 MPa (13).



Figur 6 Effekten av armering på ekspansjon av betong påvirket av AR. (13) Fig. 7(a)



Figur 7 Forholdet mellom mengden armering og strekkrefter påført armeringen under ekspansjon. (13) Fig. 7(b)

Dette betyr at trykket AR i betongen kan utvikle et stort nok til å overstige flytgrensen til armeringen om mengden armering i konstruksjonen er liten nok. Om vi tar et eksempel på en konstruksjon med 1 % armering vil et trykk i betongen på 4 MPa føre til strekk i armeringen på 400 Mpa.

En annen faktor som bør tas hensyn til når en vurderer armeringen i en konstruksjon påvirket av AR er heft mellom armering og betong. Det er ikke registrert tilfeller der AR har vært ansvarlig for alvorlige tilfeller av reduksjon i heft, men siden heft har en sammenheng med indirekte strekkfasthet kan AR være med på å svekke denne. Det viktigste med hensyn på heft er at det er nok overdekning og avstand mellom armeringsjern. Henholdsvis minimum 3 og 5 ganger diameter på armeringsjern (12). Det er viktig å vite hvor mye armering som er i konstruksjonen og hvordan denne er plassert for å gjøre en faglig god vurdering. Om for eksempel armeringen på begge sider av en vegg/dekke ikke er bundet sammen vil dette øke faren for svekket heft (13).

I de siste årene er det kommet rapporter om brudd i armering på konstruksjoner påvirket av AR. Det viser seg at disse bruddene ikke hadde noe med AR å gjøre. Armeringen i disse

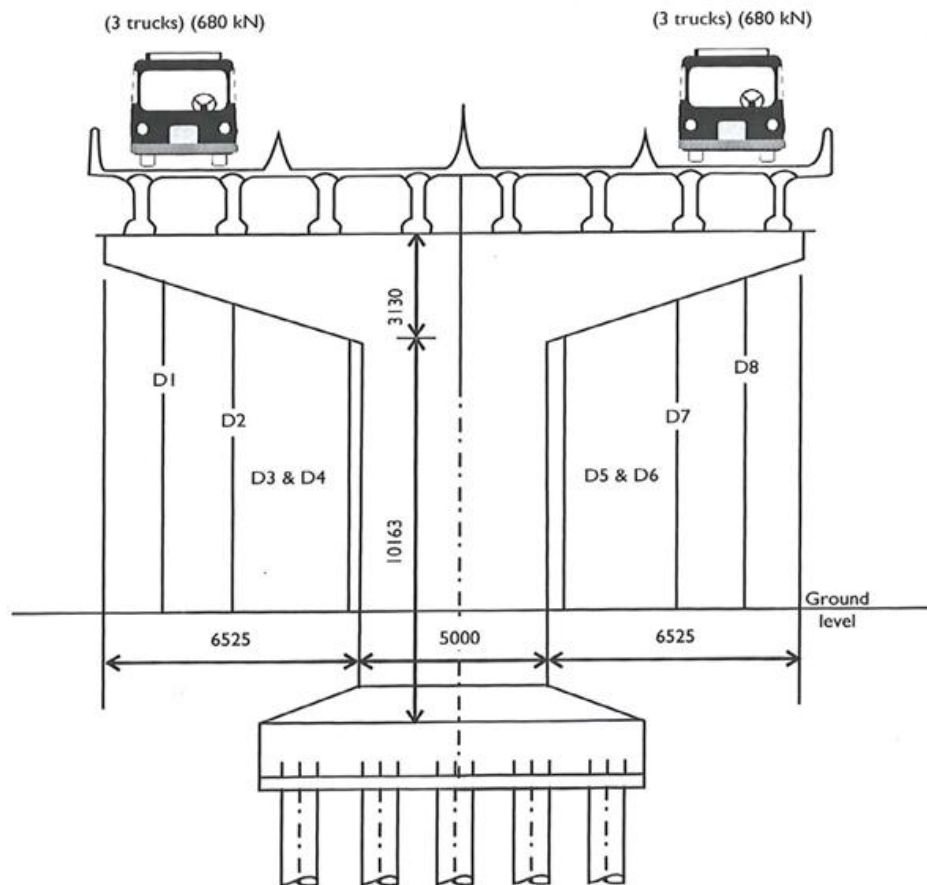
tilfellene var bøyde til en radius som var alt for liten i forhold til egenskapene til armeringen. I tillegg til sveising på armering førte dette til brudd (12).

2.4.4 Fullskala testing av konstruksjoner med AR

Den beste metoden å teste de egentlige egenskapene til en konstruksjon er å gjøre en fullskalatest. Det er bare ved slike metoder en kan se hvordan konstruksjonen oppfører seg i de omgivelsene og i den tilstanden den var konstruert for. Fullskalatesting har sine naturlige begrensninger. På damkonstruksjoner er det ikke kjent at slik testing har blitt gjennomført på eksisterende konstruksjoner med AR. Det er derimot gjort flere fullskalatester på andre typer konstruksjoner.

De konstruksjoner som det finnes mest av rundt om kring i verden og som har fått mest omtale i forbindelse med AR, er i forbindelse med veier. Broer og motorveipilarer i betong finnes i store mengder og felles for alle er at de står ute i et relativt fuktig klima og en del blir utsatt for forurensing og salter fra veien. Broer og motorveikonstruksjoner er velegnede til å gjøre fullskala tester på. I testene som er blitt gjennomført er det også blitt tatt ut kjerneprøver. På denne måten kan en sammenligne resultater fra laborietester på kjerneprøver med fullskalatester av hele konstruksjoner. Måten dette blir gjort på er å utsette konstruksjonen med en last for så å måle deformasjoner. Ut i fra disse deformasjonene kan en finne ut E-modul og hvor stor deformasjonen er sammenlignet med deformasjoner på kjerneprøver.

I 1986 ble det utført tester på motorveikonstruksjoner i Japan som hadde forskjellig grad av angrep av AR (12). Dette var store T-profiler som holdt oppe en firefelts motorvei. Se Figur 8. I konstruksjonene var det sprekker på opp til 5 mm. Det ble tatt ultralydsprøver av konstruksjonene som viste et resultat fra 4,20 km/s til 1,92 km/s. En sterk og god betong har en ultralydshastighet på 4-4,5 km/s. I tillegg viste tester på kjerneprøver tatt fra konstruksjonene at trykkfastheten hadde gått ned fra 36 til 23 MPa og E-modulen hadde blitt redusert fra 28 til 6 GPa. Dette er alarmerende lave tall, men to år tidligere var det blitt gjort en fullskalatest som viste at E-modulen i konstruksjonene påvirket av AR var på 90 % av E-modulen i konstruksjonene som ikke hadde tegn til AR. Langt i fra de 21 % som ble indikert av kjerneprøvene.



Figur 8 Skjematisk oppsett av testing av T-profil på japansk motorvei. D1 til D8 viser hvor deformasjoner ble målt. (12) fig. 4.10

Resultater fra slike tester viser at testing av kjerneprøver som regel får en konservativ verdi. På en lignende motorveikonstruksjon i Japan ble det gjort lignende tester. Noen av konstruksjonene hadde tydelige og dokumenterte AR og noen hadde ingen tegn til AR. Den tilsynelatende ureagerte konstruksjonen fikk påført en last og beregnet tilbake til å ha en E-modul på 40,5 GPa. Prøver ble tatt av konstruksjonen med AR og testet i laboratorium. Denne ble målt til å ha en E-modul på 11,2 GPa, bare 28 % av den ureagerte konstruksjonen. Dette er lavt, men når det ble gjennomført en fullskalatest av konstruksjonen med AR viste den tilbake på en E-modul på 35,3 GPa. 87 % av den ureagerte konstruksjonen. Altså en forskjell på 59 %.

Lignende, om ikke like store, forskjeller er funnet i fullskalatest av en 5,76 km lang brygge i Australia, og motorveikonstruksjoner i Sør-Afrika. Her ble det funnet at E-modul beregnet ut fra tester av kjerneprøver generelt var 20-30 % lavere enn det som er målt på fullskalatest.

Disse målingene blir støttet opp av tester på motorveibroer i Danmark og Frankrike der det ble konkludert med at konstruksjonene som var påvirket av AR oppførte seg tilnærmet likt det som var ventet av konstruksjoner som ikke var påvirket av AR.

De nevnte eksemplene viser at AR har en viss negativ effekt på materialegenskapene til betongen i konstruksjonene, men at egenskapene funnet ut fra kjerneprøver som blir testet i laboratorium ikke nødvendigvis er representative for hele konstruksjonen.

2.5 Overvåking og vurdering av skader

De første visuelle skadene en legger merke til ved AR på en konstruksjon er det karakteristiske krakeleringsmønsteret. Dette er ikke nok til å konkludere med at det forekommer AR, men på konstruksjoner som er utsatt for AR vil mønsteret som regel bli synlig. For å få en bekreftelse på at AR er tilstede i konstruksjonen må det tas kjerneprøver som analyseres i et godkjent laboratorium. Fremgangsmåten for dette er beskrevet i vedlegg A. Andre observasjoner som kan tyde på AR er unormalt store volumøkninger i konstruksjonen. Dette er lettest å oppdage om konstruksjonen har et veletablert innmålingsprogram.

2.5.1 Visuell inspeksjon

For å vurdere skadene og tilstanden til en konstruksjon som en mistenker er utsatt for AR er det første en må gjøre å ta en visuell inspeksjon. Her må en gå over hele konstruksjonen og dokumentere alle forhold som kan være gjeldene for dammens tilstand. Sammen med innmåling av konstruksjonen og sammenligning med eventuelle tidligere inspeksjoner og målinger kan en finne ut om og hvordan konstruksjonen har forandret seg siden den ble oppført.

Riss og sprekker er det som er lettest å observere. Konstruksjoner med AR har som regel et karakteristisk mønster som vist på Figur 1. Små sprekker og riss trenger ikke nødvendigvis ha en direkte alvorlig konsekvens, men kan føre til økt fare for inntrengning av fukt og klorider. Dette kan igjen føre til armeringskorrosjon og fryse/tine skader (14).

AR har bare blitt påvist i eldre konstruksjoner i de fleste deler av Norge. I teorien er det bare i eldre konstruksjoner dette skal være et problem. Grunnen til det er at det på 90-tallet ble etablert regler for testing av tilslag og bruk av sement i betongen som skal hindre at AR inntreffer i nyere konstruksjoner. I tillegg er det bare påvist langsomme AR her til lands. Disse tar minst 15-20 år etter utstøping før de reagerer (7).

2.5.2 Innmåling av konstruksjonen

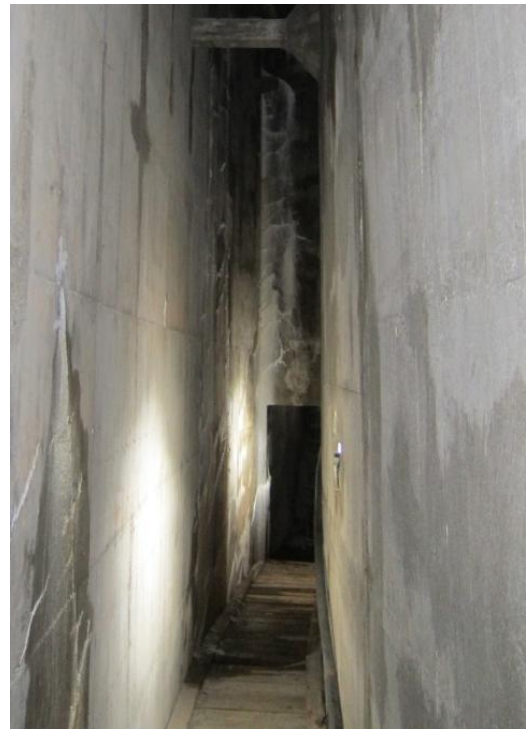
På eldre konstruksjoner finnes det en varierende grad av måleprogrammer. Noen konstruksjoner har vært godt overvåket helt fra de ble bygget, mens andre konstruksjoner ikke har hatt noen rutiner for dette. En eventuell volumøkning i konstruksjonen vil være lettere å oppdage om det er gode innmålingsrutiner på konstruksjonen. Om det er mistanke om AR og det ikke



Figur 9 Innmåling av konstruksjonen må gjøres av profesjonelle og overvåkes nøye. (bilde: larslyn.dk)

2.5.3 Boring av kjerneprøver

Siden riss og sprekker i betong er vanlig og kan ha forskjellige årsaker, må det bores kjerneprøver før en kan konkludere 100 % med at det forekommer AR i konstruksjonen. Disse bør tas ut av konstruksjonen på steder slik at de best mulig representerer den totale



Figur 10 Inspeksjon/befaring Bjølsegrødammen 9.9.2012

eksisterer et måleprogram bør dette snarest innføres. Flere målepunkter gir større nøyaktighet i målingene. Det bør tilstrebes å gjøre målinger på samme tid på året hvert år slik at faktorer som temperatur ikke overstyrer eventuelle endringer i konstruksjonen. Laster på konstruksjonen bør være så like som mulig når målingene blir gjort. Om dette ikke er mulig bør lastene registreres og tas hensyn til når målingene skal analyseres.

tilstanden til betongen i konstruksjonen. Prøvene skal deretter sendes inn til et godkjent laboratorium for analyse. Videre forklaring på hvordan denne analysen foregår finns i Vedlegg A. Det er i tillegg gjort mange styrkemessige tester av prøver som er tatt ut av konstruksjoner. Disse kan gi en indikasjon på kvaliteten til betongen, men en kjerneprøve gir bare et bilde på enkelte deler av konstruksjonen og er ikke nødvendigvis representativ for hele konstruksjonen.

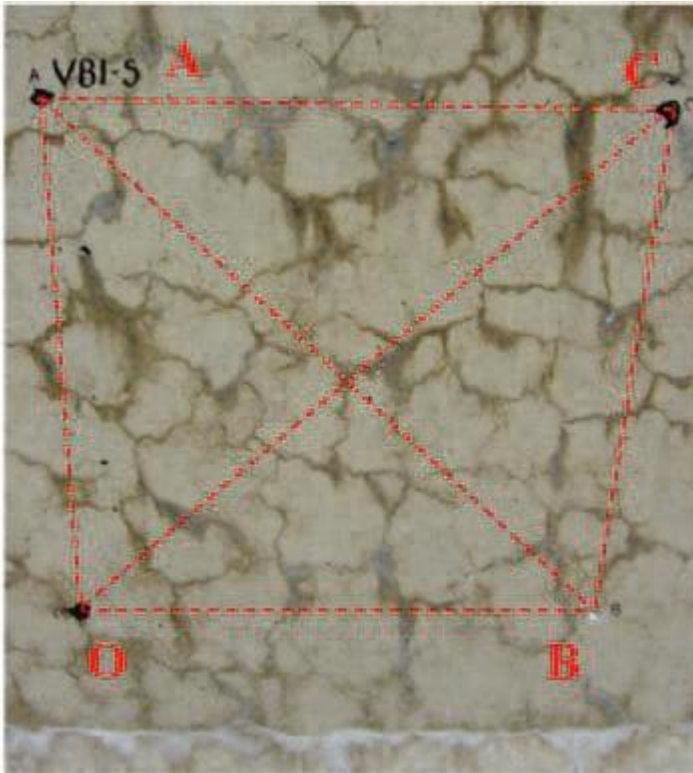
2.5.4 Måling av sprekker i konstruksjonen

Et in-situ målesystem utviklet av SINTEF Byggforsk har vært brukt på flere damkonstruksjoner i Norge. Dette er dilatasjonsmålinger av sprekker som viser bevegelser av sprekker over tid. Disse kan være nyttige for å overvåke spesielt alvorlige sprekker, men gir bare et lokalt mål på hvordan utvidelsene er akkurat der. Det er også et høyt krav til nøyaktighet som kan være vanskelig å opprettholde ute i felt.

En mer internasjonalt brukt metode er å måle overflaterissindeks (ORI). Denne tar for seg en 1 x 1 meter flate på konstruksjonen der riss som krysser diagonalene i et aksesystem blir målt og talt for så å gi en overflaterissindeks. Overflaterissindeksen gir en gjennomsnittlig rissvidde i millimeter pr. meter overflate. Tallet kan da kategoriseres for opprissningsgrad fra neglisjerbar til alvorlig. Denne metoden gir på samme måte som dilatasjonsmålingene et bilde på opprissningsgrad av overflaten på betongen over et begrenset område. Ved å etablere målemetoden flere steder på konstruksjonen kan en få et bilde av hvor den er mest opprisset, men det er fremdeles et tall som representerer overflaten av betongen og vil derfor ha store usikkerheter om hvordan betongen er påvirket innover i konstruksjonen.



Figur 11 Dilatasjonsmålesystem av sprekk



Figur 12 Referanserektangel for måling av overflaterissindeks (15)

2.5.5 Ultralydtesting

I mange år har Ultra-sonic Puls Velocity (UPV) eller ultralydhastighet i betong vært brukt for å sjekke for skader. Denne metoden går ut på å sende lydbølger mellom en sender og en mottaker slik at lydbølgene går gjennom betongen. Metoden har en klar fordel ved at den ikke krever noen form for fysisk belastning på konstruksjonen. Metoden testingen blir gjort på er å feste en sender og en mottaker i betongen og sende lydbølger mellom disse. Metoden kan brukes i felt og i laboratorium. Lydhastigheten i sterk og god betong ligger vanligvis mellom 4 og 4,5 km/s.

Selv om UPV kan brukes til å finne sprekker og skader i betong, har det vist seg at metoden ikke er bra nok til å påvise omfang av AR i en konstruksjon. Når lydbølgene går gjennom betongen vil de bli påvirket av mange andre faktorer. Metoden kan kontrolleres bra i et laboratorium, men byr på utfordringer ute i felt. Lydhastigheten blir redusert når den må gå over sprekker fylt med luft. Derimot vil den gå raskere om sprekken er fylt med vann eller gel fra AR. Derfor blir metoden påvirket av fuktigheten i betongen. I en vanlig konstruksjon vil også armeringen innvirke på resultatet, da lyd går raskere gjennom stål enn betong.

2.5.6 Vurdering av tester og overvåkingsmetoder

For å få et best mulig bilde av hvordan en konstruksjon har oppført seg over tid er det viktig at god dokumentasjon ligger til grunn. Dette kan derimot være et problem siden det spesielt på eldre betongdammer er stor variasjon i hvor godt overvåket dammene er, og hvor godt dette er dokumentert. Overvåking av lokale enkeltsprekker eller områder ved hjelp dilatasjonsmålinger eller ORI kan være nyttig, spesielt på kritiske steder, men vil ikke gi et godt nok bilde på tilstanden til hele konstruksjonen. Kjerneprøver er nødvendig for å bekrefte at det er AR i konstruksjonen. Mange steder er betongens egenskaper analysert ved å teste prøver som er tatt ut av konstruksjoner med AR. Dette kan gi en indikasjon på kvaliteten til betongen, men prøvene er ikke nødvendigvis representative for resten av konstruksjonen. For å få et godt bilde må det tas ut så mange kjerneprøver som mulig. Dette er tidkrevende og kostbart og det er ikke alltid muligheter for prøvetaking på grunn av tilkomst eller begrensninger på steder å ta ut prøver uten å skade konstruksjonen. Det må vurderes nøye for hver konstruksjon om slik testing av kjerneprøver er hensiktsmessig.

For å få et helhetlig bilde på hvordan konstruksjonen utvider seg bør hele konstruksjonen måles inn og dataene analyseres. Det beste er om dette har blitt etablert ved oppføring av konstruksjonen. Om dette ikke eksisterer bør det installeres snarest.

Ved inspeksjoner bør en være spesielt oppmerksom på steder der utvidende betong kan få følgeskader. Dette kan være knusing mot tilstøtende konstruksjoner og avskalling av betong som igjen kan føre til eksponert armering. I konstruksjoner der betongen presser mot mekaniske installasjoner er det spesielt viktig å følge med og gjøre noe med skadene før de blir for store. På damkonstruksjoner er det spesielt luker og åpningsmekanismer som kan kiles fast og ødelegges om ikke overvåkingen er god nok. Klaring til bevegelige deler og innretninger som er sensitive for deformasjon bør overvåkes nøye og ofte, og utførelser av tiltak bør gjøres før utvidelsen skaper problemer.

Der konstruksjonen er festet mot grunn bør en være spesielt oppmerksom på sprekker. I disse områdene er som regel konstruksjonen bedre fastholdt mot utvidelser. Dette gjør at sprekker ikke vil være like utbredt som på resten av konstruksjonen, men konsekvensen av knusing av betongen og plutselige sprekker kan være større her, da store spenninger kan oppstå.

2.5.7 Mulige konsekvenser

Volumøkningen som ofte forekommer i forbindelse med AR vil ha flere konsekvenser avhengig av utformingen på konstruksjonen. Den første merkbare potensielle faren på dammer er luker som kiler seg og blir vanskelige å manøvrere. Dette kan føre til alvorlige situasjoner ved store nedbørmengder der vannmasser må kunne ledes bort. E-modul og strekkfastheten i betongen kan reduseres, og etter hvert også trykkfastheten. Dette er alvorlig da materialegenskapene blir forandret og konstruksjonen ikke lenger vil ha styrken som den opprinnelig var dimensjonert for. Det er derimot vanskelig å fastslå omfanget av AR og svekkelsen av betongen. Slike skader må vurderes for hvert enkelt tilfelle om det medfører en uakseptabel svekking av konstruksjonen. Sammenpresning av ekspansjonsfuger kan få alvorlige konsekvenser om det kombineres med faktorer som fører til økt volumutvidelse. For eksempel soleksponering. Da vil ikke konstruksjonen ha fugene til å ta opp det økte volumet og det kan føre til kritiske skader på konstruksjonen.

2.6 Tiltak mot alkalireaksjoner på eksisterende konstruksjoner

Siden AR kan føre til omfattende skader og kostbare utbedringer har det vært av stor interesse i mange år å finne en måte å begrense skadene av AR på. Det finnes to hovedmetoder å ta for seg skadene på. Behandle konsekvensene av skadene eller stoppe utgangspunktet for skadene. Metoder som er brukt for å behandle konsekvensene av AR uten å rive deler eller hele konstruksjonen er slissing, injisering og fastholding. Disse metodene kan forlenge levetiden til konstruksjonen, men vil ikke stoppe videre reaksjoner. Tiltak som er utprøvd for å stoppe selve reaksjonen går mest ut på å tørke ut konstruksjonen til en RF under 80 %. I tillegg er det gjort forsøk på å behandle konstruksjoner med litium som skal hindre videre reaksjoner. Tiltakene i denne oppgaven er spesielt rettet mot betongdammer.

2.6.1 Slissing

Dette blir gjort ved å skjære ut nye fuger i konstruksjonen. Det gjør at en løser opp spenning som er forårsaket av svellingen i betongen. Denne metoden kan være nyttig om svellingen i betongen har forårsaket kiling av tappeluker og andre mekaniske anretninger i forbindelse med konstruksjonen. Det vil også hindre at store spenninger fører til plutselige og ukontrollerte skader. Ved slissing regner en som regel med å måtte sage opp igjen slissene

etter en tid, men det kan medvirke til å forlenge levetiden til konstruksjonen. Det er registrert økt hastighet på ekspansjonen etter at slissene er blitt sagt opp (8).

2.6.2 Fastholding

En annen metode er å gjøre tiltak for å fastholde konstruksjonen mot svelling. Dette kan hindre volumøkning og problemene som oppstår. For at dette skal være en varig løsning må en forsikre seg om at tiltakene er sterke nok til å motstå kreftene fra alkalireaksjonene. Det er utført lovende laboratorieforsøk der bånd av karbonfiber er brukt for å hindre reaktive betongsøyler å svulle i volum (8). Flere forsøk er blitt gjort med forskjellige typer materialer som viser at slik forsterkning kan redusere ekspansjon (16). Det er per i dag ikke utført feltforsøk på damkonstruksjoner der fastholding er utprøvd. Denne metoden kan også være aktuell å kombinere med slissing og rissreparering

2.6.3 Rissreparering

Det finnes flere forskjellige metoder å reparere riss i konstruksjoner på. Den mest brukte er injisering av sprekker og hulrom med sementbaserte eller kjemiske materialer som epoksy, polyuretan og akryl. Den viktigste virkningen med å tette sprekker og riss er at videre skader pga. vanninntrengning og fryse/tine skader blir hindret. Ved AR vil riss bevege seg og tetting av disse vil derfor ha en midlertidig effekt. Elastiske materialer vil holde lenger enn "døde" materialer, men vil etter hvert bli strukket og tykkelsen av materialet redusert (8).

Forskjellige typer overflatebehandling kan brukes på konstruksjonen for å tette riss. Det er derimot ikke funnet egnede materialer for holdbare reparasjoner av damkonstruksjoner med AR (6). Tetting av riss kan tenkes å ha en mer holdbar effekt om den kombineres med slissing og/eller fastholding. Om ny betong skal påføres eldre betong som en vet er påvirket av AR bør det tas hensyn til at deler av konstruksjonen kan ha videre deformasjoner. Senere i caseoppgaven kan en se at fjerning av gammel betong og reparasjon med stålfiberarmert betong har holdt relativt godt på Bjølsegrødammen, selv om dammen fremdeles øker i volum.

2.6.4 Tørking

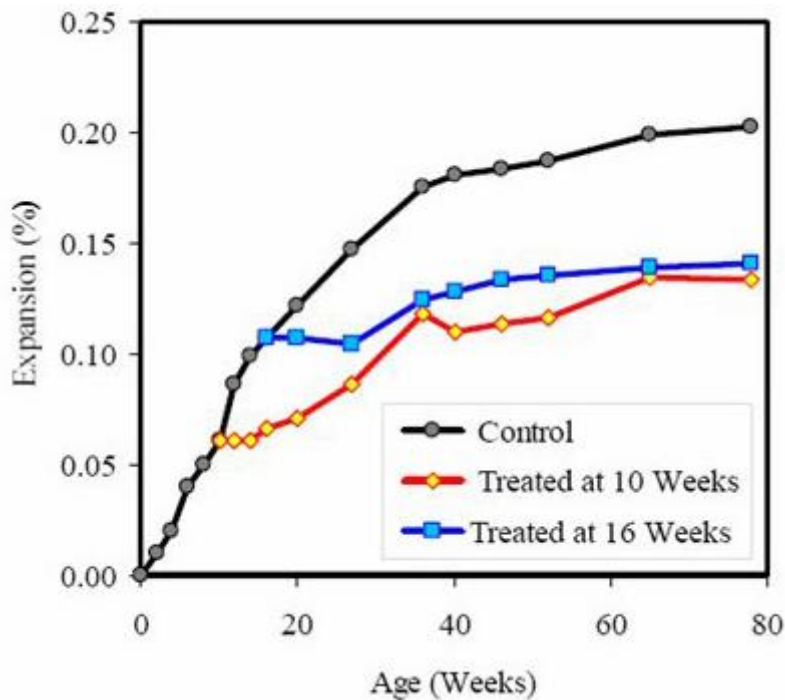
Den mest logiske måten å stoppe AR i en eksisterende konstruksjon på er å fjerne en av de tre hovedkomponentene som må til for at reaksjonen skal finne sted. Siden en ikke kan fjerne verken tilslaget eller sementen i en eksisterende konstruksjon er løsningen en har

prøvd på til nå å tørke ut konstruksjonen. Grenseverdien for relativ fuktighet som er brukt for at AR skal forekomme er 80 %. Dammer har som regel 100 % RF hele tiden og står i svært krevende miljøer.

En metode for å tørke ut en konstruksjon på er å dekke den med en geomembran. Denne kan være helt tett eller pustende. En pustende membran skal i prinsippet slippe ut fuktigheten som eksisterer i konstruksjonen samtidig som den beskytter mot fukt utenfra. I sammenheng med tildekking av betongen er det også prøvd ut uttørkning ved elektroosmose. Dette består i at en spenningskilde blir tilført betongen som trekker ut vannet. Begge disse tiltakene har gitt positive resultater i laboratorier (9), men ingen har gitt tilfredsstillende resultater ved bruk på damkonstruksjoner. Et problem med konstruksjoner som står i slike miljøer er at selv om en klarer å tette utsiden av konstruksjonen, vil fuktighet fremdeles bli sugd opp fra grunnen. Et eksempel der det er blitt gjort mange forsøk på tildekking og uttørking uten tilfredsstillende resultater er på Hunderfossen Dam på Lillehammer. Se Vedlegg D: Erfaringer fra Hunderfossen Dam.

2.6.5 Litium

Allerede på 1940-tallet ble det kjent at litium kunne bli brukt til å kontrollere skadene av AR. Senere har dette blitt bekreftet i laboratorietester. En har kommet frem til at et forhold av Litium mot Natrium + Kalium ($\text{Li}/(\text{Na}+\text{K})$) på større eller lik 0,74 vil i stor grad eliminere volumøkning som følge av AR. Problemet med denne metoden er at den til nå ikke har gitt tilfredsstillende resultater i feltundersøkelser. Det er usikkerheter i forhold til hvordan litium virker på forskjellige typer bergarter. Tester viser at det er mest effektivt mot raske AR forårsaket av bergarter som opal (17). Som nevnt tidligere er ikke raske AR registrert i Norge. Det største problemet med bruk av litium på eksisterende konstruksjoner er at det ikke har lyktes å penetrere betongen dypt nok til at det er brukende på normale konstruksjonstverrsnitt. Bruken av litium for å forhindre AR er ikke en godkjent metode i følge norsk regelverk (2).



Figur 13 Utvidelse av betongprismer etter behandling med litium på 10 uker (utvidelse = 0,061 prosent) og 16 uker (utvidelse = 0,107 prosent) (17) Fig. 22

2.7 Vurdering av tiltak

Opp gjennom årene er det gjort mange forsøk på å stoppe alkalireaksjoner og reparere konstruksjoner som er utsatt for disse. Tiltak som har hatt som mål å stoppe eller bremse reaksjonen går mest på å senke den relative fuktigheten, slik at det ikke er nok vann til at reaksjonen kan fortsette. Problemet er at konstruksjoner der AR er påvist ofte står i krevende miljøer. På enkelte konstruksjoner har det blitt gjort forsøk med positive resultater, men på betongdammer som denne oppgaven handler om er dette vanskelig. Konstruksjonene står i et så fuktig miljø at det til nå ikke er funnet en metode som holder RF nede på et nivå over tid tilstrekkelig til å hindre eller senke hastigheten til AR. Å redusere fuktigheten til et lavt nok nivå i en såpass utsatt konstruksjon er per i dag en bortimot håpløs oppgave.

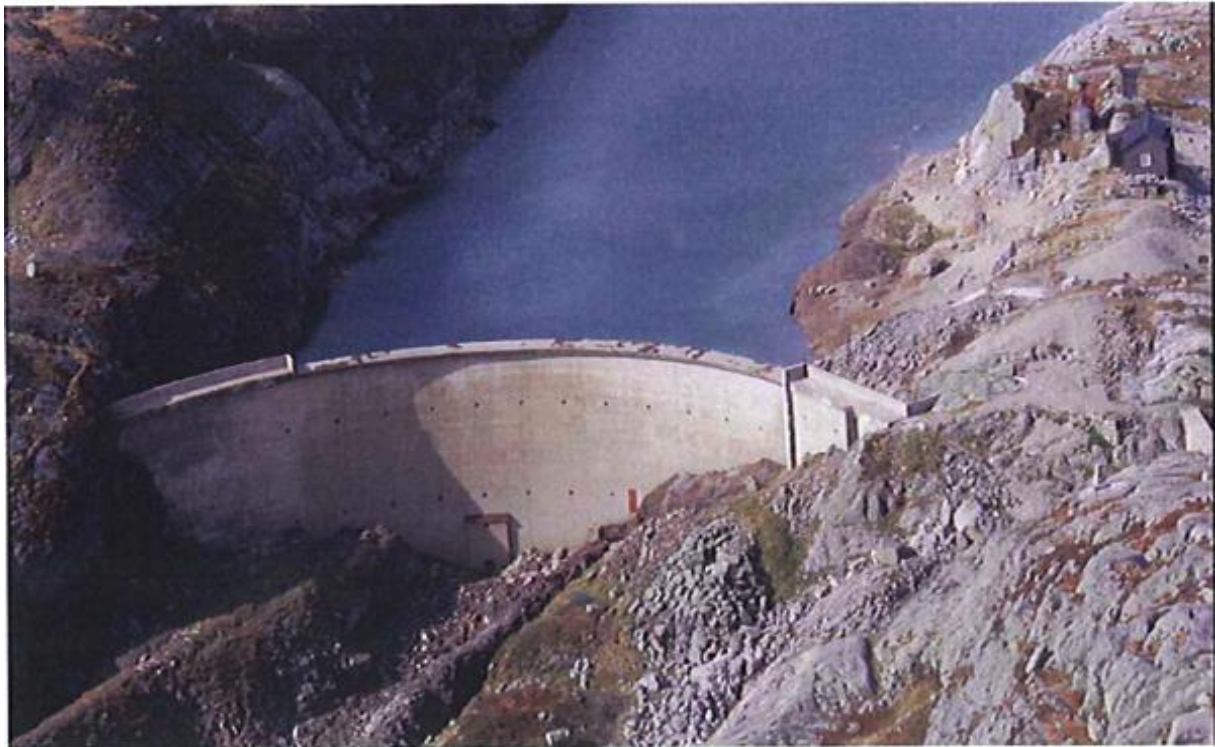
Den andre metoden som er nevnt for å stoppe opp reaksjonen er påføring av litium. Metoden har vist seg effektiv på overflaten av betongkonstruksjoner, men litium trenger ikke dypt nok inn i betongen til å stoppe reaksjonen i tykke konstruksjoner. Det er heller ikke en godkjent metode i Norge.

De tiltakene vi står igjen med er arbeid og reparering av selve konstruksjonen. Dette er slissing for å lette opp spenninger i konstruksjonen og gjøre plass til videre volumutvidelse, fastholding av konstruksjonen for å hindre videre volumutvidelse og tetting av sprekker for å hindre videre skader på grunn av inntrenging av vann og forurensninger. Sistnevnte tiltak bør gjøres på alle konstruksjoner som har riss og sprekker som kan føre til videre skader, uavhengig av om de er forårsaket av AR. Dette går under vanlig vedlikehold av konstruksjonen og vil uansett være med på å forlenge levetiden. Det en må være oppmerksom på er at utbedring av sprekker og skader som regel må gjøres oftere på konstruksjoner med AR da disse kan fortsette å utvide seg over lang tid.

Slissing og fastholding av konstruksjonen kan være store og kostbare tiltak. Derimot kan ett av tiltakene eller en kombinasjon av begge være en løsning om deformasjonene i konstruksjonen er så store at de utgjør en risiko. Slissing har vært utprøvd på damkonstruksjoner tidligere med positive resultater. En må regne med at slissingen må gjøres flere ganger, da konstruksjonen sannsynligvis vil fortsette å øke i volum. Fastholding av en konstruksjon blir allerede gjort i praksis av armeringen som befinner seg inne i betongen. Men pga. det trykket som AR potensielt kan forårsake, vil armeringsmengden i eldre konstruksjoner sjelden være tilstrekkelig til å hindre utvidelse. En ekstern fastholding av konstruksjonen kan være med på å hindre eller senke hastigheten av volumøkningen. Denne må da være dimensjonert til å tåle de potensielle spenningene AR kan påføre fastholdingen.

Det er ikke kjent fra litteraturen at det er gjennomført ekstern fastholding av en buedam som beveger seg oppstrøms som følge av AR. En problemstilling en må ta hensyn til ved et slikt tiltak er at en fastholding mot oppstrøms deformasjon vil påføre krefter på dammen i samme retning som vann- og istrykk. Dette kan da være en konsekvens som gjør denne metoden lite egnet til denne typen konstruksjon.

3 Case: Bjølsegrødammen



Figur 14 Bjølsegrødammen (Bilde hentet fra rapport: Bjølsegrødammen Hovedtilsyn 2008, Statkraft)

I forbindelse med masteroppgaven har jeg tatt for meg Bjølsegrødammen på Ålviksfjellet i Hardanger. På 90-tallet ble det påvist alkalireaksjoner i dammen. Etter at det ble etablert et måleprogram på dammen er det tydelig at dammen fremdeles utvider seg.

3.1 Generelt

Dammen er en enkeltkrum buedam. Den har en maksimal høyde på 22 meter og en lengde på ca 100 meter. 59,75 meter av damkronen fungerer som overløp. Kronetykkelsen er 600 mm og øker med ca 50 mm pr. meter nedover. På luftsiden av dammen er det en 150 mm tykk isolasjonsvegg. Det er denne som syns på Figur 14. Dammen demmer opp Bjølsegrøvatn som fungerer som inntaksmagasin til Bjølve kraftverk. Kraftverket utnytter fallet på 870 m ned til fjorden i en stasjon bygget i tilknytning til Bjølvefossen smelteverk i Ålvik i Hardanger.

Dammen stod ferdig i 1936 (18). Tilslaget i betongen er hentet fra området rundt dammen. På denne tiden var alkalireaksjoner så vidt blitt kjent i USA, men det var ikke kjent at dette kunne være et problem i Norge. Dermed var det ingen som helst kontroll på type bergarter som ble brukt eller fokus på å begrense alkaliinnholdet i sementen.

Vedlikehold som er gjort på dammen består av ny stålfiberarmert betong på 80-90 % av overløpet og ny bunntappeventil. Den nye ventilen ble satt inn i 1992. Det er ukjent når vedlikeholdet av overløpet ble gjennomført. Den stålfiberarmerte betongen på overflaten ser, per 2012, ut til å holde relativt godt tatt i betraktning bevegelsene i dammen.

3.2 Påvist alkalireaksjoner

Et hovedtilsyn utført i 1994 av Ing. Chr. F. Grøner AS konkluderte med at det var tydelige tegn til AR i dammen og at videre undersøkelser burde gjøres. Etter dette ble dammen og grunnen rundt dammen grundig undersøkt.

En revurdering av dammen ble gjort i 1997 (18). Det ble tatt ut kjerneprøver som ble analysert og konkludert med at AR var til stede. Det var ikke tidligere opprettet et måleprogram på dammen. Derimot var det tydelig at det var bevegelser i konstruksjonen. Ekspansjonsfugene i frostveggen hadde utvidet seg med 50-100mm mot toppen av dammen i tillegg til at et par store gjennomgående sprekker i frostveggen ble registrert. Siden frostveggen er forankret til dammen kan det tyde på at dammen utvider seg innover i magasinet og drar med seg frostveggen som ikke har den samme utvidelsen.

Ut i fra utvidelsen av fugene i frostveggen gikk man ut fra at dammen hadde hatt en økning i lengde på 80-100 mm forutsatt at frostveggen ikke var utsatt for svelling. Ved denne revurderingen ble det gjennomført en elementanalyse på dammen. Svellingen av dammen ble simulert med en temperaturøkning av betongen på 70-100 °C. I rapporten er det antatt en betongfasthetsklasse C25 (det som i dag er B20), og at armeringen som er brukt er av vanlig handelskvalitet St 37. Tillatt spenning ble satt til 110 MPa.



Figur 15 Sprekk i frostvegg som følge av utvidelse av buedam som frostvegg er forankret i.

Stikkprøver med en prellhammer viser til en betongtrykkfasthet i hvelvet på 40-55 N/mm². Siden betong har den egenskapen at herdingen kan fortsette i flere tiår etter 28-døgns trykkfasthet kan stikkprøvene som er tatt av dammen virke troverdige. Verdien som er brukt i beregningene med elementmetode er i følge revurderingsrapporten konservative.

Elementanalysen konkluderer med at volumøkningen simulert med en temperaturøkning ikke har gitt faretruende forhøyede verdier på verken armering eller betong. Resten av revurderingen, inkludert inspeksjon av vannside med dykker og ingeniørgeologisk vurdering av fundament, konkluderer med at det ikke ble registrert skader som hadde betydning for sikkerheten eller som krevde reparasjon.

Revurderingen anbefaler at et måleprogram blir etablert på dammen så fort som mulig. Dette skal innebære målepunkter på damkronen og målinger av utvalgte sprekker. Disse målingene vil med tid gi et bedre grunnlag for en ny vurdering av dammen.

3.3 Resultat av målinger gjort fra 1998 til 2012

Etter revurderingen ble det etablert et måleprogram. Det ble gysset fast 14 bolter i damkronen for å kunne overvåke hvordan denne beveger seg. Det er verdt å merke seg at målepunktene som ble etablert på dammen i 1997 ble gysset fast i stålfiberbetongen. Denne betongen er støpt over de gamle ekspansjonsfugene og en kan da ikke være helt sikker om betongen under beveger seg på samme måte som måleboltene.

Det ble også etablert et in-situ målesystem på noen utvalgte sprekker for å se hvordan disse beveget seg. Målingene blir gjort med

dilatasjonsmåling mellom 3 punkter rundt sprekken. Se bilde i Vedlegg B: Befaring

Bjølsegrødammen 18.9.2012

3.3.1 Dilatasjonsmåling av sprekker

Figur 16 illustrerer hvordan målingene blir gjort.

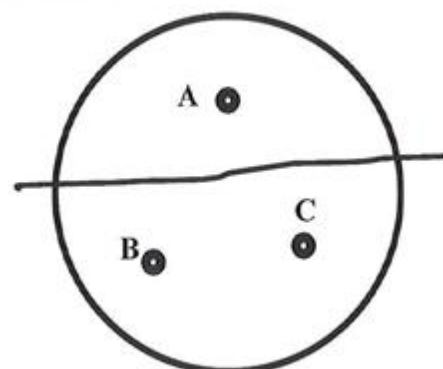
Avstanden mellom punktene blir målt og

sammenlignet fra år til år for å overvåke hvordan

sprekken beveger seg. Målinger gjort fra 2005 til

2011 viser at noen av sprekken har utvidet seg med rundt 1 mm (Se Vedlegg H:

Målested 1

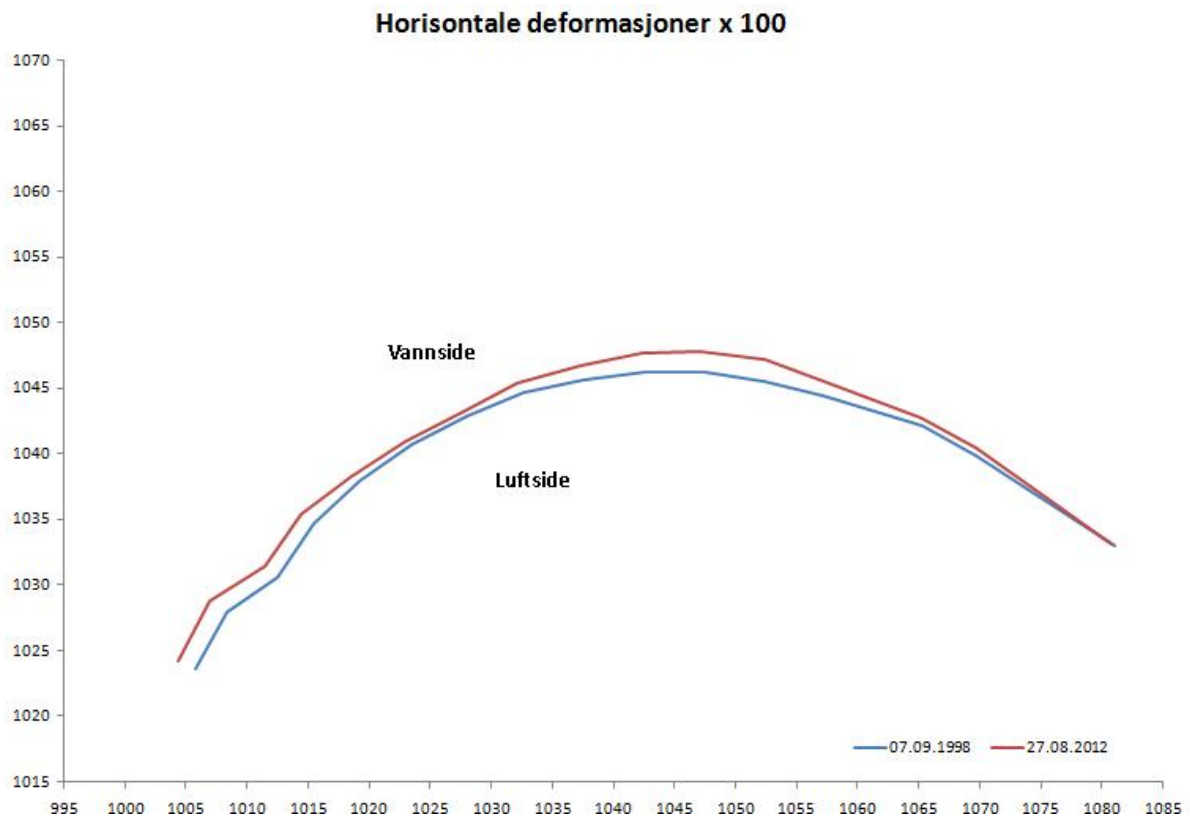


Figur 16 Dilatasjonsmåling av enkeltsprekker

Dilatasjonsmålinger Bjølsegrødammen). Måling av sprekke bøl fortsette, men omfanget, nøyaktigheten og metoden målingene er gjort på er ikke gode nok til å trekke noen konklusjoner om generelle bevegelser i hele konstruksjonen.

3.3.2 Deformasjonsmålinger

Siste innmåling av dammen ble gjort av Ing. Egil Ulvund 25. September 2012. Den viser en maksimal horisontaldeformasjon på 16mm i forhold til første innmåling i 1998. Se vedlegg E. Om vi setter opp koordinatene for målingene gjort i 1998 og målingene i 2012 ser vi hvordan dammen har beveget seg innover i magasinet. Se Vedlegg G: Oversiktskart deformasjonsbolter for oversiktskart av bolter på damkronen.



Figur 17 Viser hvordan dammen har beveget seg. Koordinatene er basert på lokalt rutenett. Bevegelsene er overdrevet 100 ganger.

Lengdeøkning

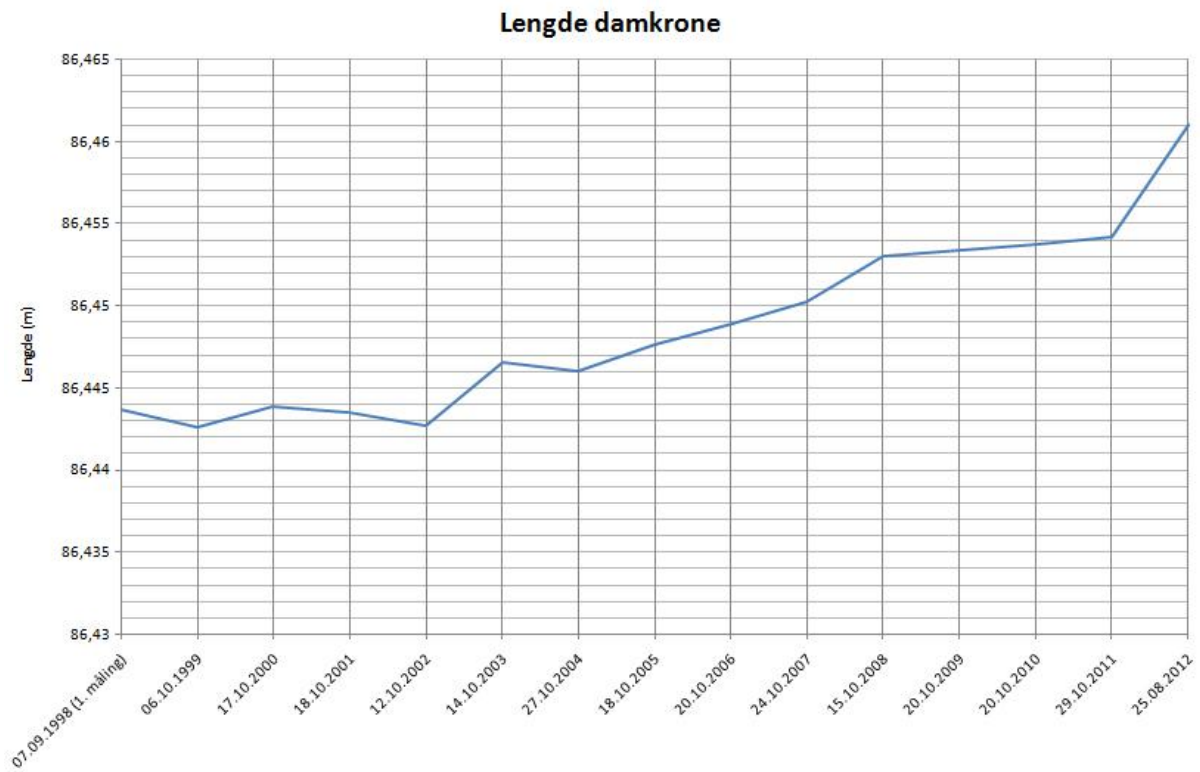
Figur 17 viser hvordan hele damkronen beveger seg innover i magasinet. Dette er klare tegn på at en buedam øker i volum. For å få et bedre bilde på volumutvidelsen av betongen har jeg sett på hvor mye dammen har økt i lengde over de årene den har vært målt. Ut fra koordinatene kan en regne seg frem til avstandene mellom boltene. Når en slår avstandene

sammen finner en lengden på dammen mellom alle boltene. I 1998 var den totale lengden mellom boltene 86,444 meter. I 2012 hadde lengden økt til 86,461 meter. Altså en økning i total lengde på 17mm eller 0,2 % (Figur 18). Siden målenøyaktigheten spiller inn på hver måling må man finne gjennomsnittsoøkningen over disse årene. Den ser ut til å ligge på 16mm eller 0,185 % (Figur 19). Målingene er bare gjort over 14 år og vi kan derfor gå ut fra at de totale bevegesener i dammen siden oppføring er større enn dette.

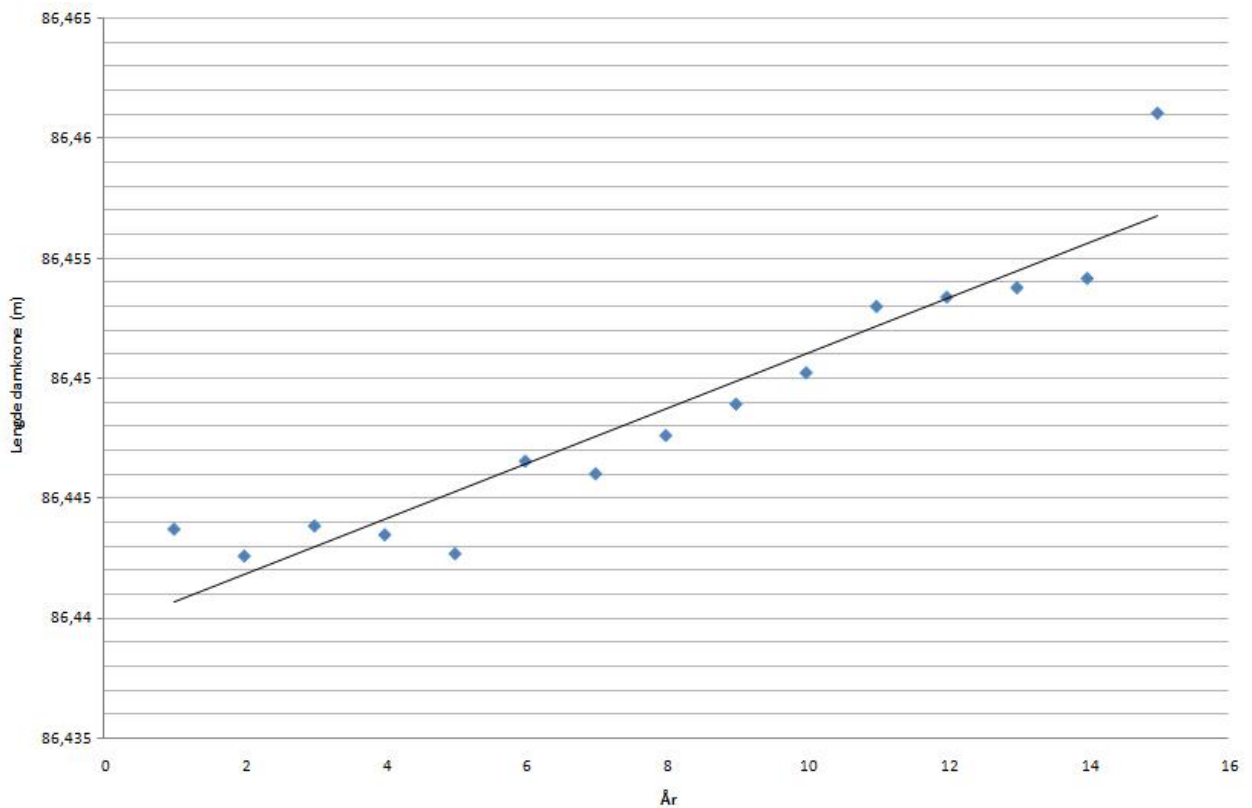
Som grafen viser er det stor variasjon i hvor mye dammen har utvidet seg fra år til år. Dette kan komme av flere forskjellige faktorer. Både temperatur, soloppvarming, materialeegenskaper og feilkilder i innmåling kan spille inn. Målingene er gjort på omtrent samme tid på året og også da omtrent samme temperatur. Eventuelle variasjoner i avstander på grunn av temperaturforskjeller blir i følge målingsrapport korrigert for i totalstasjonen. Betong kan deformeres mellom 8 og 12 microstrain/°C (1 microstrain = 0,001 mm/m). Vi kan derfor regne med at nøyaktighet i målingene vil være den største feilkilden. Det som kan konkluderes med er at dammen fortsatt er i bevegelse. Fra 2011 til 2012 har den økt i lengde med 7 mm. Dette er en relativt stor endring og det faktum at vannstanden i magasinet var lavere dette året enn tidligere innmålinger kan ha vært med på å påvirke resultatet, men to innmålinger på ett år er for få til å trekke konklusjoner.

Målenøyaktigheten på horisontale målinger ligger nært den årlige utvidelsen på dammen. Den store økningen kan derfor skyldes naturlig avvik. Se Figur 19 for en gjennomsnittlig økning av kronelengden. Variasjonen i bevegelsene viser også viktigheten i å få etablert et måleprogram så tidlig som mulig for å få et best mulig estimat på hastigheten dammen utvider seg i.

Dammen stod ferdig i 1936. I Norge er det bare påvist bergarter som fører til langsomme AR. Vi kan gå ut fra at det derfor tok minst 15 år etter at dammen var ferdig før AR begynte å føre til volumutvidelse av dammen. Om dammen har utvidet seg 16 mm på 14 år vil det si at den utvider seg 1,14 mm i året. Om vi går ut fra at utvidelsen startet i 1951, 15 år etter den var ferdig, har utvidelsen pågått i 61 år. Det vil si at om utvidelsen har pågått omtrent i samme takt som de 14 årene den har vært målt inn har den utvidet seg med ca. 70 mm eller 0,8 %. Den totale lengden av dammen er ca. 100 meter. Dette tilsvarer da en utvidelse på



Figur 18 Viser hvordan damkronen har økt i lengde over 14 år. Målinger ble ikke utført i 2006, 2009 og 2010. Disse tallene er interpolert.



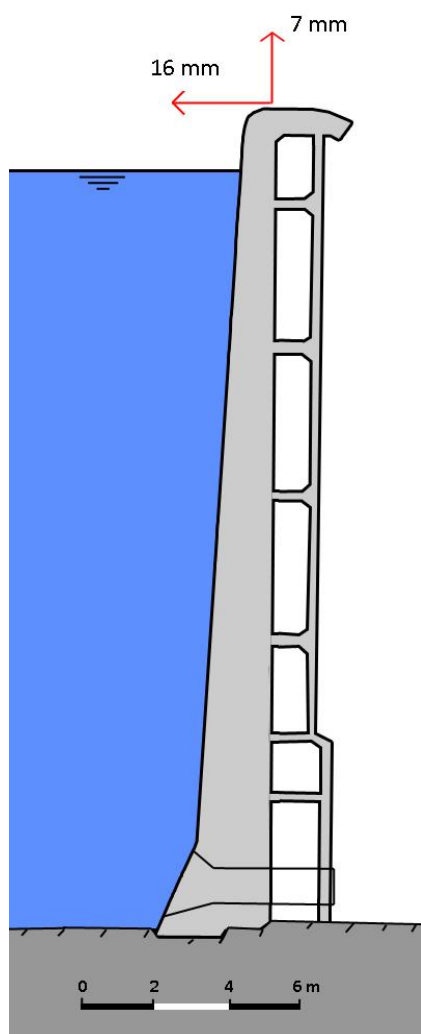
Figur 19 Viser gjennomsnittlig økning av lengden på damkronen over 14 år på 1,14 mm pr. år.

ca. 80 mm. En ser da at utvidelsen på 80-100 mm som det ble gått ut fra under revurderingen i 1997 var et godt estimat.

Vertikal ekspansjon

Ut fra måledataene er det også en indikasjon på at måleboltene beveger seg i positiv vertikal retning (Vedlegg E: Innmåling av Bjølsegrødammen 2012). Boltene har hevet seg mellom 1 og 7mm siden 1998.

For å sammenligne "fri ekspansjon" mellom laboratorieprøver og faktiske konstruksjoner er det vertikal deformasjon som er brukt som mål (5). I en sammenligning av forskjellige



Figur 20 Snitt i dypløpet av Bjølsegrødammen. Maksimale horisontale og vertikale deformasjoner på damkronen

damkonstruksjoner rundt om i verden ble det målt inn vertikal deformasjon og ut i fra dette beregnet hvor mye dammen ville øke i volum frem til det en kan regne med er levetiden til dammen. Dette tallet varierte kraftig fra 0,1 ‰ til 3,8 ‰ (5). Konstruksjonene stod i forskjellige miljøer og det er mange parametere som er med på å bestemme volumøkningen. En må derfor vurdere hver av konstruksjonene for seg.

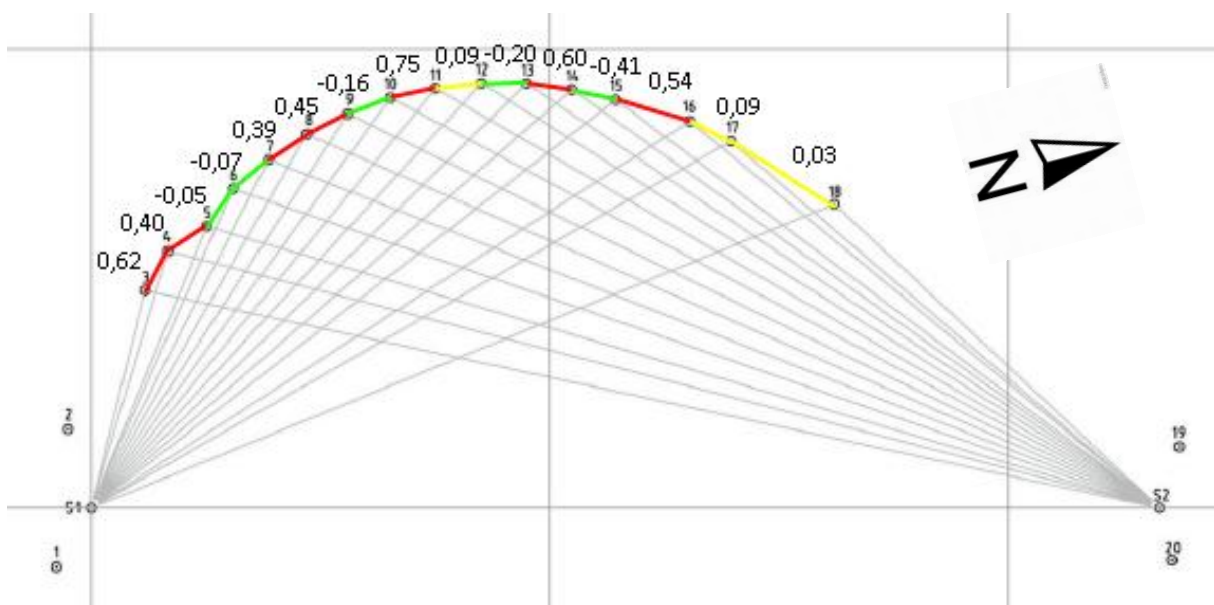
Om en ser på Bjølsegrødammen har den en maksimal vertikal økning på 7 mm over de 14 årene den har blitt målt inn. Denne deformasjonen ble målt inn på bolt 8 som ligger nær dypløpet på dammen der den er ca. 22 meter høy. 7 mm på 14 år gir en gjennomsnittlig årlig "fri ekspansjon" på 0,5mm pr. år. Om vi bruker de samme forutsetningene for utvidelse som ved beregning av lengdeøkning tilsvarer dette at dammen har hatt en total fri ekspansjon på 30,5mm eller 1,4 ‰. I sammenligningen som ble gjort på dammer lå denne verdien mellom 0,5 ‰ og 2 ‰ på buedammer som er kategorien Bjølsegrødammen havner under (5).

Lokale deformasjoner

Noe av det som gjør at det er vanskelig å si noe om helheten til en konstruksjon som er påvirket av AR er at betongen sjelden er homogen. Den utvider seg som regel forskjellig på forskjellige steder i konstruksjonen. Derfor kan det være at noen deler av konstruksjonen utvider seg mer enn andre.

For å få mer innsikt i hvordan forskjellige deler av dammen beveger seg har jeg tatt for meg avstandene mellom de forskjellige boltene. Det kommer da tydelig frem at det er stor variasjon i hvordan boltene beveger seg i forhold til hverandre. Figur 21 viser hvor de største bevegelsene i dammen forekommer. Tallene representerer hvor mye avstanden mellom punktene har økt/minket i ‰ over de 14 årene boltene har vært målt inn.

Alle betongkonstruksjoner blir konstruert med ekspansjonsfuger ettersom betong er et materiale som vil bevege på seg i forhold til temperatur og fuktighet. Ut i fra tidligere tilstandsrapporter av Bjølsegrødammen kommer det frem at ekspansjonsfugene i selve dammen stort sett har blitt tettet igjen av volumutvidelsen. En må ta hensyn til at ekspansjonsfugene er med å bestemme hvordan boltene kan bevege seg. På en annen side er boltene, som nevnt tidligere, støpt inn i den rehabiliterte delen av betongen der det ikke er tatt hensyn til ekspansjonsfugene i den opprinnelige konstruksjonen.



Figur 21 Illustrerer hvordan boltene beveger seg i forhold til hverandre. Grønt: Boltene beveger seg mot hverandre. Gult: Boltene beveger seg lite, men fra hverandre. Rødt: Boltene beveger seg fra hverandre. Tallene er oppgitt i ‰. Bolt 18 står i fjell.

Det er ilagt forbud på å gå på overløpet av dammen uten sikring. Under befaringen 18.9.2012 var det ikke muligheter til å undersøke overløpet nærmere. Det er derfor vanskelig å si nøyaktig hvor ekspansjonsfugene går i forhold til målepunktene på damkrona. En sammenligning av opprinnelige konstruksjonstegninger og oversiktskart over boltene viser seg å ha for stor usikkerhet til å konkludere med hvor boltene står i forhold til ekspansjonsfugene. En grundigere inspeksjon med hensiktsmessig sikring av personell vil kunne avdekke hvor boltene står i damkronen i forhold til ekspansjonsfugene.

3.3.3 Nye kjerneprøver tatt i 2012

For å få et enda bedre bilde på forandringer som skjer i betongen har vi nå tatt nye betongprøver av dammen. Disse prøvene er tatt ut på de samme stedene som det ble tatt prøver fra under revurderingen i 1996 (Se Vedlegg I: Prøverapport kjerneprøver 1996). Det gjør at resultatene kan sammenlignes for å se om det har skjedd noen forandring med tanke på AR i betongen siden sist gang. Analysen av borkjernene er tatt av samme personell som under revurderingen.

I 1996 ble det tatt fire kjerneprøver av dammen. To prøver (C og D) ble tatt i nordre vederlag på utsiden av konstruksjonen. En prøve (A) ble tatt i en pilar inne i dammen og en prøve (B) ble tatt i en massiv del i bunnen av dammen rett innenfor døren til inspeksjongangen. I 2012 ble det tatt ut fire nye prøver. En på hver av stedene som i 1996 og en ekstra i frostveggen ved kjerne 2. Se tegning i slutten av Vedlegg I: Prøverapport kjerneprøver 1996 for en illustrasjon av hvor de forskjellige prøvene er tatt ut.

Disse prøveresultatene kan sammenlignes for å se om det har vært noen utvikling i omfanget av alkalireaksjoner i betongen. En må ta hensyn til at det er begrensede områder som blir dekket av slike kjerneprøver og derfor begrenset grunnlag for vurdering av hele konstruksjonen. I sammenligningen av prøvene vil det derfor legges mest vekt på omfanget av alkalireaksjoner som er registrert. Fullstendige prøverapporter finnes i Vedlegg I og Vedlegg J. Disse er tatt med i oppgaven i samråd med Statkraft AS. SINTEF som har levert prøverapportene har ikke ansvar for sammenligningen av prøveresultatene eller kommentarer og konklusjoner som kommer frem i denne oppgaven på grunnlag av prøverapportene.

Kjerne A1 fra 1996 og kjerne 3 fra 2012

	A1 - 1996	3 - 2012
Visuelle tegn på alkalireaksjoner	Ingen reaksjonsprodukter, enkelte reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag.	Ja. Hvitt, gellignende materiale i enkelte luftporer.
Tegn på alkalireaksjoner ved planslipanalyse	Fra overflaten og 193 mm inn i betongen: Enkelte tilslag med riss. Observert gellignende materiale i en luftpore.	Fra overflaten og 330 mm inn i betongen: En del riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, en del riss i tilslag. Hvit utfelling i enkelte luftporer.
Tegn på alkalireaksjoner ved tynnslipanalyse	Alkaligel ikke observert	Alkaligel observert i mange riss og i flere luftporer.

Tabell 2 Sammenligning av kjerne A1 fra 1996 og kjerne 3 fra 2012

Kjerne B1 fra 1996 og kjerne 2 fra 2012

	B1 - 1996	2 - 2012
Visuelle tegn på alkalireaksjoner	Enkelte reaksjonsprodukter, ingen reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag.	Ja. Hvitt, gellignende materiale i enkelte luftporer.
Tegn på alkalireaksjoner ved planslipanalyse	Fra overflaten og 147 mm inn i betongen: En del riss i reagert tilslag.	Fra overflaten og 240 mm inn i betongen: Enkelte riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, enkelte riss i tilslag. Hvit utfelling i en luftpore.
Tegn på alkalireaksjoner ved tynnslipanalyse	Observert alkaligel (rekrystallisert) i 2 luftporer.	Alkaligel observert i riss og i flere luftporer.

Tabell 3 Sammenligning av kjerne B1 fra 1996 og kjerne 2 fra 2012

Kjerne C2 fra 1996 og kjerne 1 fra 2012

	C2 - 1996	1 - 2012
Visuelle tegn på alkalireaksjoner	Ingen reaksjonsprodukter, enkelte reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag.	Ja. Hvitt gellignende materiale i flere små luftporer, reaksjonsrender og sonering rundt enkelte tilslagskorn.
Tegn på alkalireaksjoner ved planslipanalyse	Innerste del av borkjerne som var brukket i 2 brukt til planslip: En del riss i reagert tilslag.	Fra overflaten og 255 mm inn i betongen: En del riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, en del riss i tilslag. Hvit utfelling i flere små luftporer.
Tegn på alkalireaksjoner ved tynnslipanalyse	Reaksjonsprodukter inne i reagert tilslag.	Alkaligel observert hovedsakelig i riss, men også i en luftpore.

Tabell 4 Sammenligning av kjerne C2 fra 1996 og kjerne 1 fra 2012

Kjerne D4 og D5 fra 1996 og kjerne 1 fra 2012

	D4 og D5 - 1996	1 - 2012
Visuelle tegn på alkalireaksjoner	Ingen reaksjonsprodukter, en del reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag.	Ja. Hvitt gellignende materiale i flere små luftporer, reaksjonsrender og sonering rundt enkelte tilslagskorn.
Tegn på alkalireaksjoner ved planslipanalyse	2 innerste kjerner er limt og brukt til planslip. Prøve var i 5 stykker. En del riss i reagert tilslag.	Fra overflaten og 255 mm inn i betongen: En del riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, en del riss i tilslag. Hvit utfelling i flere små luftporer.
Tegn på alkalireaksjoner ved tynnslipanalyse	Gel observert i flere riss og porer. Rissdannende reaksjonstype i fremskredet stadium.	Alkaligel observert hovedsakelig i riss, men også i en luftpore.

Tabell 5 Sammenligning av kjerne D4 og D5 fra 1996 og kjerne 1 fra 2012

Den største forskjellen i prøveresultater kan vi se mellom prøve A1 fra 1996 og prøve 3 fra 2012. Her ble det ikke observert noe reaksjonsprodukt i 1996, men i mange riss og flere luftporer i 2012. Det skal tas med i vurderingen at det ved denne lokasjonen på dammen var noen usikkerheter rundt plasseringen av prøven som var tatt i 1996. Det kan konkluderes med at alkalireaksjoner fremdeles er tilstede i deler av konstruksjonen og at sammenligningen viser at omfanget av AR er like stort eller noe større enn det var i 1996.

I tillegg til disse resultatene kan det tas med at det ikke er observert AR i betongprøven fra frostveggen. Dette støtter opp teorien om at rissene i frostveggen gir en god indikasjon på ekspansjonen til damplata da frostveggen uten AR ikke vil ha den samme ekspansjonen som damplata.

Kjerneprøve 1 tatt i 2012 ser også ut til å være skadet av frost, da det opprinnelige overflatesjiktet er borte og det har oppstått delaminering i betongen. Det er også denne prøven som i utgangspunktet har den største faren for å bli skadet av frost da betongen her ikke er beskyttet av en frostvegg.

3.4 Volumøkningens virkning på konstruksjonen

3.4.1 Synlige skader

Det første en ser på konstruksjonen er en del sprekker og riss. Mange av disse stemmer godt med typiske krakeleringsriss som forekommer på konstruksjoner påvirket av AR. Noen steder har biter av betongen skallet av. Store deler av overløp og toppen av dammen har blitt reparert med at betong har blitt fjernet og erstattet av ny stålfiberarmert betong (Figur 22). Det forligger ingen dokumentasjon på skadene på dammen før denne reparasjonen. En kan gå ut fra at disse skadene var forårsaket av bevegelsene i dammen og følgeskader av disse bevegelsene. Når dammen ble oppført var det også en mindre streng kontroll på mengde av overdekning av armering. Ved mindre overdekning er konstruksjonen mer sårbar for bevegelser og ytre påkjenninger.

Tilsynsrapporter viser at vannsiden av dammen har en del småskader og noen steder synlig armering. En kan også se at ekspansjonsfuger har tettet seg på enkelte steder. Dette er sannsynligvis som følge av volumøkningen.

Volumutvidelsen trenger ikke i seg selv å føre til en alvorlig svekkelse av betongen, men som tidligere nevnte tester har vist kan materialegenskapene endre seg. Da spesielt strekkfasthet og E-modul. Dette bør tas hensyn til ved en eventuell revurdering. Når ekspansjonsfugene tetter seg vil en videre volumøkning føre til økte spenninger i betongen. Dette kan igjen føre til knusing og avskalling av tilstøtende deler. Slike skader bør følges opp hyppig og en vurdering må tas om tiltak bør iverksettes.



Figur 22 Bildet viser pilar med krakelering og ny reparert betong på toppen

En volumøkning av en buedam vil som regel føre til at den beveger seg innover i magasinet. Disse bevegelsene er synlige om en ser på frostveggen som er forankret til dammen. Denne har fuger som utvider seg oppover. Dette stemmer med at dammen er fastholdt mot utvidelse mot grunnen, men ikke mot toppen. Bevegelsene i dammen har vært så store at det har oppstått et par nye gjennomgående sprekker i frostveggen. Figur 15.

Inne i dammen er det en 80cm bred inspeksjonsgang i flere plan mellom selve dammen og frostveggen. Her kan en se vertikale og horisontale sprekker. Noen med kalkutfelling og

noen tørre. Det er brudd i de fleste betongbinderne som står mellom frostveggen og dammen. Dette kommer av at det blir strekk i betongen av dammen som drar frostveggen etter seg. De fleste betongbinderne har eksponert armering. Se bilder i Vedlegg B: Befaring Bjølsegrødammen 18.9.2012.

En del av konstruksjonen der en volumutvidelse kan føre til alvorlige sprekker er i overgangen til fjell. Der det var mulig å observere dette var det ingen tegn til alvorlige sprekker og lekkasje. Grunnen til dette er sannsynligvis at fjellet og fjellboltene som dammen er forankret med holder dammen fast og hindrer den samme volumutvidelsen som en finner på damkronen. Det er viktig å kunne gjennomføre en god inspeksjon på delene av dammen som står på grunn. Under befaringen var det fylt med vann mellom dammen og frostveggen helt nederst. Det var derfor ikke mulig å se på tilstanden til betongen her. Det ble ikke registrert noen betydelige lekkasjer nedstrøms dammen.

3.4.2 Skjulte skader

Det meste av selve reaksjonen i AR skjer inne i konstruksjonen. Derfor er det vanskelig å konkludere med omfanget av skadene ved utvendig inspeksjon. Ved bare å se på utsiden av dammen er det vanskelig å vite hvor langt inn sprekker og riss går i konstruksjonen. En kan finne ut av dette ved hjelp av kjerneboring, men det blir bare på bestemte punkter. Kjerneboring kan også være vanskelig å få til på grunn av tilkomst og begrensninger i hvor en kan ta ut prøver uten å svekke konstruksjonen.

En del av konstruksjonen som er bortimot umulig å overvåke tilstanden til er armeringen. Det er mulig å sjekke spenningen som er påført armeringen, men dette blir da bare i armering som er eksponert og vil kun representere en begrenset del av konstruksjonen. Tidligere fant vi ut at trykket fra AR kan være stort nok til å påføre strekkrefter i armeringen som overstiger flytgrensen. Dette ble spesielt aktuelt om det var en liten andel armering i betongen. Bjølsegrødammen har en armeringsmengde som ligger mellom 1-2 %. Derfor er muligheten der for at trykket fra AR kan føre til at armeringen går til flyt.

Vi kan støtte opp om dette ved å se på ekspansjonen av dammen og E-modulen til armeringsjern. E-modulen kan bestemmes på flere forskjellige måter. En metode er en funksjon av aksiell spenning og aksiell deformasjon.

$$E_{\text{modul}} = \frac{\text{Aksiell spenning}}{\text{Aksiell deformasjon}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Ekspansjonen i dammen varierer. Den største ekspansjonen mellom to bolter ble målt til å være 0,75 ‰ på 14 år. Dette tilsvarer 0,0536 ‰ pr. år. Som vi tidligere fant ut kan dammen ha økt i volum i 61 år. Det tilsvarer en potensiell utvidelse på 3,27 ‰. Om vi går ut fra en E-modul i armeringsjern på 200 000 MPa vil dette medføre en spenning i armeringsjernet på $200\,000 \times 0,00327 = 654$ MPa forutsatt null glipp mellom armering og betong. Feilkilder med denne metoden er blant andre innmåling av deformasjon, eksterne effekter som kan påvirke deformasjonen, usikkerheter rundt heft mellom betong og stål, og det faktum at vi bare har 14 år med innmåling å gå etter. Det er derfor vanskelig å fastslå om deformasjonen mellom bolt 10 og 11, som var den største de siste årene, har pågått i samme hastighet og over så lang tid før innmålingene startet. Dette må derfor betraktes som en konservativ verdi.

Den frie ekspansjonen til dammen målte vi tidligere inn ved hjelp av vertikal deformasjon. Denne viste at dammen har hatt en ekspansjon på 1,4 ‰ i positiv vertikal retning der dammen er på sitt høyeste. Om vi bruker denne deformasjonen som et gjennomsnitt på volumøkningen kommer vi frem til en spenning i armeringen på $200\,000 \times 0,0014 = 280$ MPa.

Den samlede økningen i lengden på dammen er enda mindre med 0,86 ‰. Dette kommer sannsynligvis av fastholding av betongen mot grunnen og vederlagene i tillegg til at ekspansjonsfuger har tatt opp deler av ekspansjonen. Om vi bruker denne utvidelsen som et gjennomsnitt får vi en spenning i armeringen på $200\,000 \times 0,00086 = 172$ MPa. Da er vi nede på en spenning som bør kunne betegnes som akseptabel. Derimot er det usikkert hvilken kvalitet armeringsjernet i dammen har. I tillegg kan en regne med at deler av betongen har utvidet seg mer en den samlede lengdeøkningen siden deformasjonsfugene i dammen har blitt tettet igjen. Med litteraturen som ligger til



Figur 23 Tversnitt av konstruksjonsdel av Nautesund bru (1)

grunn og målingene som er gjort bør det regnes med at potensialet for at armeringsjern kan gå til flyt er der og at det allerede kan ha forekommet noen steder i dammen.

Om betongen utvider seg og er oppsprukket blir det også et spørsmål om heft og forankring mellom armering og betong. For at trykkspenninger fra betongen skal overføres til strekkrefter i armeringen forutsetter dette at det ikke skjer glidning. I 2009 ble Nautesund bru i Telemark revet. Betongen var angrepet av AR og deler av brua ble fraktet til SINTEF i Trondheim for testing. Der ble det konkludert med at opprissingen i betongen ikke hadde redusert forankringskapasiteten til armeringen i vesentlig grad (1). Det tas derimot høyde for at mer oppsprukket betong kan få redusert forankringskapasitet. Det er ellers lite publisert forskning på området.

3.5 Sammenligning med andre betongdammer med AR

Hvert år dukker det opp flere og flere tilfeller der AR er påvist i betongdammer. Alle disse viser at betongen øker i volum. Hastigheten og konsekvensene av ekspansjonen varierer mellom konstruksjonene. De tre hovedtypene av betongdammer er massivdammer, buedammer og platedammer. Alle reagerer forskjellig og forskjeller i de enkelte konstruksjoner er også med på å bestemme hvordan dammen reagerer.

3.5.1 Vanlige bevegelser

På Hydro 2012 konferansen i Bilbao ble det presentert målinger fra fire forskjellige dammer (19). Alle hadde målinger som viste at betongen ekspanderte. Dette var massivdammer, buedammer og en kombinasjon av disse. Målingene viste en deformasjon på opp til 2 mm/år. Den mest normale deformasjonen er lik den på Bjølsegrødammen med en ekspansjon i vertikal retning med en generell bevegelse oppstrøms. Unntaket var en rett massivdam der damkronen økte i vertikal retning og beveget seg nedstrøms. Dette kan forklares med at siden det er en rett dam vil den ikke bli påvirket av den typiske buedameffekten (Se Figur 17), der buen utvider seg oppstrøms når den øker i volum, og det faktisk at vannsiden av dammen stod mot syd og ble derfor utsatt for mest soloppvarming. Det går igjen at flater som vender mot syd som regel har de største ekspansjonene.

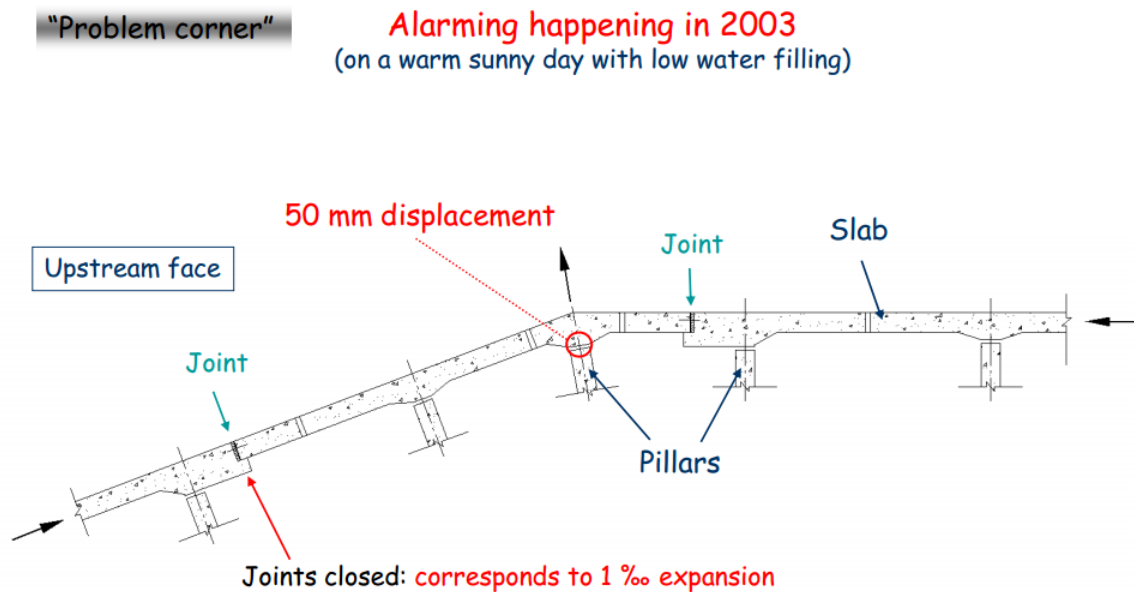
3.5.2 Hunderfossen dam

Hunderfossen er en kjent dam i Norge som er kraftig angrepet av AR. Det er prøvd uttørking av konstruksjonen uten hell. Bevegelsene i denne dammen fører til at bevegelige deler på dammen blir vanskelige å manøvrere og kan kile seg. Problemene med lukene her er mer akutt og overskygger eventuelle konstruksjonsmessige svakheter AR fører til. Det har vært gjort omfattende rissreparering av dammen. Se Vedlegg D: Erfaringer fra Hunderfossen Dam for mer informasjon om Hunderfossen dam.

3.5.3 Lignende tilfeller i Norge

To dammer, Votna 1 og Votna 2 som ligger på Røldalsfjellet er dokumentert påvirket av AR. Dette er en dobbeltkrum buedam (Votna 1) og en platedam (Votna 2). Disse ligger i samme området og det er brukt lokalt tilslag i betongen. Buedammen har vært godt overvåket siden den ble bygget og viser de samme tendensene som andre buedammer som er påvirket av AR. Siden første innmåling i 1966 har bolter på damkronen hatt en maksimal oppstrøms deformasjon på 106 mm og en maksimal vertikal deformasjon på 23 mm. Flere bolter er etablert inne i hvelvet på dammen som bekrefter volumutvidelsen. Ingen kritiske skader er meldt og ingen store tiltak er gjort på denne dammen. Det er beregnet at dammen skal holde et tilfredsstillende sikkerhetsnivå hvertfall frem til 2025 (20).

Gjennom prøver tatt fra dammene er det også her funnet at det er tegn til en noe svekket E-modul og strekkfasthet. Dette kan være delvis fordi strekkfastheten ikke øker i like stor grad som trykkfastheten over tid, men prøvene tyder også på at verdiene har størst reduksjon i deler av konstruksjonen der AR er mest fremtredende.



Figur 24 Platedam der ekspansjon fra AR førte til bred sprekk i kritisk punkt (21).

Platedammen som ligger i samme område er et av få tilfeller der AR har ført til kritiske konstruksjonsmessige skader. Dammen er en rett platedam med en vinkel. Fugene i de rette delene av dammen ble tettet igjen og trykket som bygget seg opp i konstruksjonen presset på vinkelen av dammen. På en varm og solrik dag med lav vannstand løsnet damplaten fra støttepilarene i og nær hjørnet på dammen (21). I hjørnet var det en 50 mm bred sprekk mellom platen og pilaren. Dette gjør at dammen har en svekket kapasitet og det ble satt begrensninger på vannstand i magasinet. Dammen er etter dette gjennomgått en stor rehabilitering med ny plate på vannsiden. Volumøkningen i dammen var ikke mye større enn dem vi kan regne med er på Bjølsegrødammen. Dette viser at avhengig av type konstruksjon kan en begrenset volumutvidelse som følge av AR være svært alvorlig om spenningene får bygget seg opp over tid og konstruksjonen har svake punkter der disse spenningene får utløp.

3.6 Konklusjon og anbefalinger

Slik som dammen fremstår i dag er det ikke observert noen skader utover det som ble konkludert med i forrige revurdering. Omfanget av alkalireaksjoner ser ut til å være uforandret eller marginalt større når kjerneprøver tatt i 1996 og i 2012 sammenlignes. Målingene tyder på at betongen fremdeles utvider seg og at damkronen fortsatt beveger seg oppstrøms. De mest tydelige konsekvensene av dette er sprekker i frostveggen og i

betongbinderne mellom frostvegg og damplate. Tidligere tilsyn viser at det på noen steder, spesielt på vannside, er synlig armering. Om dette skyldes AR vites ikke. Forsøk som er gjort på konstruksjoner med AR viser at materialegenskapene til betongen kan svekkes, spesielt betongens E-modul, men at det er vanskelig å komme med generelle konklusjoner.

Hovedårsaken til dette er at reaksjonene er forskjellig fra hver konstruksjon og at reaksjonene er inhomogene innad i hver konstruksjon. En faktor som kan motvirke AR sin svekkende effekt på betongen er at betong fortsetter å herde i lang tid etter 28-døgns fasthet. Etter 76 år kan konstruksjonen ha en fasthet som er vesentlig høyere enn det som var prosjektert, men det er vanskelig å fastslå den egentlige betongkvaliteten til den eksisterende konstruksjonen.

Som en ser fra sammenligningen med platedammen i Figur 24 har AR potensialet til å påføre alvorlige skader om konstruksjonen har svake punkter. Med lignende ekspansjoner i en buedam kan det tenkes at geometrien gjør at spenninger ikke bygges opp på samme måte og at eventuelle skader skjer mer gradvis og er lettere å kontrollere. Denne teorien er ikke dokumentert og bør undersøkes videre om en skal bruke den til å vurdere tilstanden til dammen.

Det første som bør gjøres på dammen, som den står nå, er å legge bedre til rette for inspeksjoner for å kunne følge bedre med på utviklingen. Dette innebærer utbedring av gangbaner og tiltak som drenerer bort vann i dypløpet slik at den nederste delen av damplaten mot grunn kan inspiseres og det enklere kan måles lekkasjer. Alle innmålinger som har blitt gjort til nå må fortsette. Om det blir bestemt at dammen blir stående som den er, bør måleprogrammet utvides med bolter inne i hvelvet for å få et bedre helhetlig bilde på bevegelsene. AR på denne dammen er langsomme pga. bergartene i tilslaget og det faktum at dammen står i et miljø med lave temperaturer. Å analysere innmålinger over lang tid er den beste måten å forutsi hvordan dammen vil påvirkes i fremtiden.

Dammen nærmer seg sin neste revurdering. Det vil da gjennomføres en ny konstruksjonsmessig vurdering av dammen. I denne revurderingen bør det tas hensyn til at betongen fremdeles utvider seg og at materialegenskapene kan ha blitt påvirket. En kan ikke regne med at ekspansjonen vil stoppe opp. Det potensielle trykket fra AR og den begrensede

mengden armering i konstruksjonen gjør at deler av armeringen i konstruksjonen kan ha bli strukket så langt at den går til flyt.

Det er til nå ikke funnet egnede metoder for å stoppe AR i betongdammer. Pga. plasseringen av dammen og mangel på veiforbindelse ligger ikke forholdene til rette for eksperimentering med nye metoder. Helikoptertransport er eneste effektive transportmiddel. Dette er derimot ikke ideelt da været i området er svært varierende. Om tiltak skal gjøres som innebærer mer usikre metoder bør dette planlegges med etablering av veiforbindelse til dammen for lettere å kunne følge utviklingen.

De konstruksjonsmessige tiltakene som kan være aktuelle for den eksisterende dammen er fastholding og slissing i kombinasjon med forsterkning. En eventuell fastholding må dimensjoneres for å motstå trykket fra AR. Det finnes ingen veldokumenterte eksempler av fastholding av en buedam for oppstrøms deformasjon. En slik fastholding vil påføre dammen tilleggskrefter i samme retning som vann- og istrykk. Om det skal benyttes en ekstern fastholding for å kontrollere deformasjonene bør det gjennomføres en studie på hvordan en slik fastholding vil virke på konstruksjonen i kombinasjon med vann- og istrykk og hvilke tiltak som må gjøres for at dette skal kunne gjennomføres.

Om en revurdering av dammen fører til at konstruksjonsmessige tiltak ikke trengs bør overnevnte tiltak som går på utbedring av inspeksjonsmuligheter og utvidet måling utføres. Viser en revurdering at dammen som den står nå ikke tilfredsstillt dagens krav, bør det tas en vurdering på om den eksisterende dammen skal forsterkes eller om det skal bygges en ny dam uavhengig av den eksisterende. Om dammen som den står nå skal forsterkes må det regnes med at AR vil fortsette i ubestemt tid.

Figurliste

Figur 1 Typiske krakeliringsriss forårsaket av alkalireaksjoner.	14
Figur 2 Parametere som må være tilstede i tilstrekkelig grad for at AR skal kunne finne sted.	15
Figur 3 Reaksjonskurver og ekspansjonskurver av mørtelprismer eksponert ved 20°C henholdsvis 40°C (8) s. 8	18
Figur 4 Den mest vanlige formen for prøver er sylindere (caer.uky.edu)	19
Figur 5: Forhold mellom E-modul og trykkfasthet i betongprøver tatt fra konstruksjoner med AR. (12) Figur 3.8 (a).....	21
Figur 6 Effekten av armering på ekspansjon av betong påvirket av AR. (13) Fig. 7(a)	22
Figur 7 Forholdet mellom mengden armering og strekkrefter påført armeringen under ekspansjon. (13) Fig. 7(b)	23
Figur 8 Skjematisk oppsett av testing av T-profil på japansk motorvei. D1 til D8 viser hvor deformasjoner ble målt. (12) fig. 4.10	25
Figur 10 Innmåling av konstruksjonen må gjøres av profesjonelle og overvåkes nøye. (bilde: larslyn.dk).....	27
Figur 9 Inspeksjon/befaring Bjølsegrødammen 9.9.2012	27
Figur 11 Dilatasjonsmålesystem av sprekk	28
Figur 12 Referanserektangel for måling av overflaterissindeks (15)	29
Figur 13 Utvidelse av betongprismer etter behandling med litium på 10 uker (utvidelse = 0,061 prosent) og 16 uker (utvidelse = 0,107 prosent) (17) Fig. 22.....	34
Figur 14 Bjølsegrødammen (Bilde hentet fra rapport: Bjølsegrødammen Hovedtilsyn 2008, Statkraft).....	36
Figur 15 Sprekk i frostvegg som følge av utvidelse av buedam som frostvegg er forankret i. 37	
Figur 17 Viser hvordan dammen har beveget seg. Koordinatene er basert på lokalt rutenett. Bevegelsene er overdrevet 100 ganger.	39
Figur 16 Dilatasjonsmåling av enkeltsprekker	38
Figur 18 Viser hvordan damkronen har økt i lengde over 14 år. Målinger ble ikke utført i 2006, 2009 og 2010. Disse tallene er interpolert.....	41
Figur 19 Viser gjennomsnittlig økning av lengden på damkronen over 14 år på 1,14 mm pr. år.	41

Figur 20 Snitt i dypløpet av Bjølsegrøddammendammen. Maksimale horisontale og vertikale deformasjoner på damkronen	42
Figur 21 Illustrerer hvordan boltene beveger seg i forhold til hverandre. Grønt: Boltene beveger seg mot hverandre. Gult: Boltene beveger lite, men fra hverandre. Rødt: Boltene beveger seg fra hverandre. Tallene er oppgitt i %. Bolt 18 står i fjell.	43
Figur 22 Bildet viser pilar med krakelering og ny reparert betong på toppen	48
Figur 23 Tverrsnitt av konstruksjonsdel av Nautesund bru (1).....	50
Figur 24 Platedam der ekspansjon fra AR førte til bred sprekk i kritisk punkt (20).....	53
Figur 25 "Bildet viser eksempel på alkalikiselreaksjoner. En sprekk fylt med krakelert alkalikiselgel går tvers over bildet. Gelen trekker til seg vann og virker sprengende på betongen" (3)	61
Figur 26 Hunderfossen dam	70

Tabeller

Tabell 1 Klassifisering av norske bergarters alkalireaktivitet. (2) Tabell 32.....	16
Tabell 2 Sammenligning av kjerne A1 fra 1996 og kjerne 3 fra 2012	45
Tabell 3 Sammenligning av kjerne B1 fra 1996 og kjerne 2 fra 2012.....	45
Tabell 4 Sammenligning av kjerne C2 fra 1996 og kjerne 1 fra 2012.....	46
Tabell 5 Sammenligning av kjerne D4 og D5 fra 1996 og kjerne 1 fra 2012	46
Tabell 6 Innmåling av Bjølsegrødammen (Ing. Egil Ulvund AS).....	72
Tabell 7 Innmåling av Bjølsegrødammen forts. (Ing. Egil Ulvund AS)	73
Tabell 8 Boltavstander.....	74

Litteraturliste

1. E. Rodum, *Alkalireaksjoner i betong – hvordan håndterer vi dette?*, Teknologidagene 2010, Trondheim (2010).
<http://www.vegvesen.no/attachment/182152/binary/349886> (1.11.2012)
2. J. Lindgård, M. Haugen, P. A. Dahl, *Byggetaljblad 520.063. Alkalireaksjoner i betong. Skademekanisme og regelverk ved nybygging*. SINTEF Byggforsk, Ed., (2007).
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=299§ionId=2> (21.8.2012)
3. H. C. Gran, *Byggetaljblad 520.032 Optisk analyse av betong. Planslip og tynnslip*. SINTEF Byggforsk, Ed., (1994).
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=290§ionId=2> (21.8.2012)
4. T. P. Dolen, Historical Development of Durable Concrete for the Bureau of Reclamation, in *Reclamation. Managing Water in the West*. (U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation), vol. 1.
<http://www.riversimulator.org/Resources/USBR/ReclamationHistory/DolenTimothyP.pdf> (13.11.2012)
5. K. S. Robin Charlwood, Ian Sims, Recent developments in the management of chemical expansion of concrete in dam and hydro projects - Part 1: Existing structures. *presented at Hydro 2012*, (Bilbao, 2012).
<http://www.charlwood.us/wp-content/uploads/2012/09/Hydro-2012-Charlwood-et-al-Part-1-5-Sept-2012-+-Footer.pdf> (2.11.2012)
6. V. Jensen, "Statusrapport over tilstandsundersøkelser og reoperasjonstiltak på dam Embretsfoss i perioden 1993 til 2001" *STF22 A01608* (SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim, 2001)
7. V. N. Svendsen, E. Torblaa, *Alkalireaksjoner i norske betongdammer Publ. nr. 20*. (NVE-Vassdragsdirektoratet, 1989).
8. E. Rodum, J. Lindgård, H. Justnes, "Betongdammer - typiske nedbrytningsmekanismer, prinsipielle rehabiliteringsmetoder og erfaringer med ulike tiltak" *STF22 A04608* (SINTEF Bygg og Miljø, 2004)
9. J. Lindgård, M. Haugen, Concrete aggregates, in *TKT 4215 Concrete Technology 1*. (NTNU, 2005), pp. 9-1 - 9-32.
10. M.-A. Bérubé, J. Duchesne, J. F. Dorion, M. Rivest, Laboratory assessment of alkali contribution by aggregates to concrete and application to concrete structures affected by alkali-silica reactivity. *Cement and Concrete Research* 32, 1215 (2002).
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884602007664> (2.11.2012)
11. P. N. Ian Sims, Bruno Godart, Robin Charlwood, Recent developments in the management of chemical expansion of concrete in dams and hydro projects - Part 2:

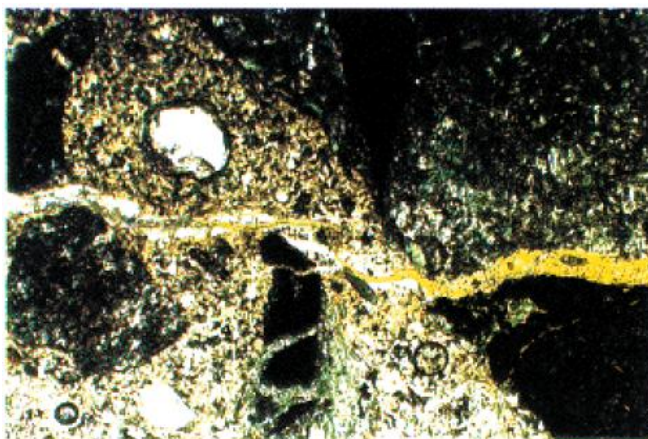
- RILEM proposals for prevention of AAR in new dams. *presented at Hydro 2012*, (Bilbao, 2012).
<http://www.charlwood.us/wp-content/uploads/2012/09/Paper-for-Hydro-2012-final-6-Sept-2012+RGC-edit.pdf> (2.11.2012)
12. G. E. Blight, M. G. Alexander, *Alkali-aggregate reaction and structural damage to concrete*. (CRC Press, Boca Raton, 2011), pp. 234.
 13. British Institution of Structural Engineers, *Structural effects of alkali-silica reaction*. (1992).
<http://homepage.tudelft.nl/n89v3/LinkedDocuments/1992-StructuralEffectsofASR-UK.pdf> (19.10.2012)
 14. L. T. P. Børge J Wigum, Jan Lindgård, "State-of-the art report: Key parameters influencing the alkali aggregate reaction" *SBF52 A06018* (SINTEF, 2006)
<http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Partner/Report%202.1%20-%20Final%20-%20A06018.pdf> (7.11.2012)
 15. M.-A. B. Benoit Fournier, Kevin J. Folliard, Michael Thomas, "Report on the Diagnosis, Prognosis, and Mitigation of Alkali-Silica Reaction (ASR) in Transportation Structures" *FHWA-HIF-09-004* (U.S Departement of Transportation, 2010)
<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif09004/hif09004.pdf> (23.10.2012)
 16. K. Torii, M. Aoyama, Y. Okuda, H. Sasaki, *Rehabilitation For ASR Affected Reinforced Concrete Piers*, in *9th International Conference on Durability of Materials and Components*. (in-house publishing, Rotterdam (Netherlands), 2002), pp. 8.
<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB9896.pdf> (17.9.2012)
 17. M. D. A. Thomas, B. Fournier, K. J. Folliard, J. H. Ideker, Y. Resendez, "The Use of Lithium To Prevent or Mitigate Alkali-Silica Reaction in Concrete Pavements and Structures" *FHWA-HRT-06-133* (U.S. Depatment of transportation, 2007)
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/concrete/06133/06133.pdf> (13.9.2012)
 18. M. Berntsen, "Revurdering Dam Bjølsegrøvatn" (Berdal Strømme (Norconsult), 1997)
 19. F. Amberg, *A review of expanding concrete cases and consequences on dam performance. presented at Hydro 2012*, (Bilbao, 2012).
 20. J. L. Svein Larsen, Erik Thorenfeldt, Eva Rodum, Marit Haugen, "Experiences from extensive condition survey and FEM-analyses of two norwegian concrete dams with ASR"
http://www.sintef.no/upload/ICAAR2008_103_LarsenEtAl_FINAL.pdf (22.11.2012)
 21. H. Stemland, *Alkalireaksjoner - Konstruktive konsekvenser og tiltak*, paper presented at the Vassdragteknisk Forum Region Midt 2010, 2010.
<http://www.energinorge.no/getfile.php/FILER/KALENDER/Foredrag%202010/Vassdragsteknisk%20forum%20-%20region%20Midt/8.%20Hans.Stemland.pdf> (12.10.2012)

Vedlegg A: Optisk analyse av betong

Optisk analyse av betong er brukt ved tilstandsundersøkelser og rehabilitering av betongkonstruksjoner. Ved en slik analyse kan en finne ut materialegenskapene til betongen som "luftinnhold, mål på frostbestandighet (måling av avstandsfaktor og den indre spesifikke overflate), masseforhold (vann/bindemiddeltall, sementinnhold), homogenitet i bindemiddelet, type og kvalitet på tilslag. Videre kan teknikkene påvise sprekker, riss og kjemiske omvandlingsreaksjoner (alkalikiselreaksjoner, karbonatisering, utluting)" (3).

Uttak av prøver bør skje med kjerneboring for å få best mulig resultat. Om prøvene skal analyseres spesielt med hensyn på alkalireaksjoner bør prøvene være minst 150 mm lange. Dette er fordi reaksjonen vanligvis påvises et stykke inne i konstruksjonen. Når en tar ut prøvene er det viktig å ha informasjon om hvor i konstruksjonen prøvene er tatt ut og hvilken del av prøven som er dypest i materialet. Etter prøvene er tatt ut må disse merkes godt og pakkes i plast for å holde på den opprinnelige fuktigheten. En kan da bruke vanlig husholdningsplast innerst og en tykkere, sterkere plast ytterst.

De to metodene som er brukt er planslip og tynnslip. Planslip går ut på å ta ut en prismeformet prøve av materiale og slip/polere den på siden som skal analyseres. Prøven kan så bli behandlet med fluoriserende epoksy, fluoriserende væske eller sinkkoxid. Dette gjør at luftporene i betongen blir selvlysende og kan analyseres i et mikroskop. Ut fra volumsammensetningen i betongen kan da v/b-tall bestemmes og en kan finne sprekker og riss.



Figur 25 "Bildet viser eksempel på alkalikiselreaksjoner. En sprekke fylt med krakelert alkalikiselgel går tvers over bildet. Gelen trekker til seg vann og virker sprengende på betongen" (3)

Med tynnslip blir betongprøven behandlet på samme måte som ved planslip. Den slipte overflaten blir så limet på et glass. Når limet er herdet blir mesteparten av prøven fjernet og slipt ned til en tykkelse på 0,025 mm. Den er nå så tynn at den kan gjennomlyses. En kan finne volumsammensetninger og masseforhold på samme måte som med

planslip, men disse blir da mer usikre siden prøven er en mindre del av kjernen. Tynnslipen gir imidlertid mulighet til å analysere "tilslaget (petrografisk analyse), påvise kjemiske omvandlingsreaksjoner (alkaliskreaksjoner, karbonatisering og utluting) og kvalitativt bestemme hydratiseringsgrad".

Vedlegg B: Befaring Bjølsegrødammen 18.9.2012

På befaring deltok:

Hans Martin Skjefstad

Bård Aslak Birkeland (Statkraft)

Skiftende vær. Tidvis nedbør. 3-5 °C

Generell data om dammen:

HRV: 879,65

LRV 861,65

Magasin 89 mill m³

Betongbuedam enkeltkrum R = 43,5 m

Isolasjonsvegg på hele dammens luftside

Kronetykkelse 600 mm økende med 50 mm pr. m.

Kronelengde ca. 100 m

Største høyde ca. 22 m

Ved dammens venstre vederlag er det en kort plateseksjon

Bygget i 1936

Mål med befaring

Befaringen er gjort i forbindelse med masteroppgave om dammen høsten 2012.

Det er tidligere registrert deformasjoner og alkalireaksjoner i dammen. Disse ser ut til å ha en sammenheng. På slutten av 90-tallet ble det tatt ut kjerneprøver og det ble startet innmåling av damkronen. Disse skal nå følges opp med nye prøveuttak for å få et bedre bilde på tilstanden og utviklingen til dammen.

Observasjoner

Dammen ser ut til å være i stort sett samme stand som rapporter fra 90-tallet tilsier. Det er tydelige tegn til alkalireaksjoner. Flere steder har deler av betongen skallet av fra det som ser ut som indre oppsprekking. Mønster på riss er typisk alkalireaksjoner. Noen steder er det synlig armering. Dette kan være en kombinasjon av AR og fryse/tine-skader.

Det er flere lange vertikale riss med stor kalkutfelling på innsiden av damplaten. Dette tyder på at rissene er gjennomgående. Det er også stor utbredelse av horisontale riss. Disse er i stor grad tørre og derfor ikke gjennomgående.

Store deler av damkronen har blitt reparert med stålfiberarmert betong. Denne ser ut til å holde gått. En kan se at innmålingsboltene er satt i den nye fiberarmerte betongen. Det er usikkert hvilken virkning dette har på målingene. Repareringsbetongen har ingen fuger slik som resten av damplaten har.

Ellers er det tydelige tegn på at dammen beveger seg innover i magasinet. Frostveggen er 150mm tykk. Fugene i frostveggen ekspanderer tydelig oppover til en vidde på 30-50mm. Det er også 2-3 tydelige gjennomgående riss på 10-15mm. Dette kan tyde på at dammen utvider seg og drar med seg frostveggen. En ser også tegn på dette på innsiden av frostveggen. Det er flere brudd på festene som holder frostveggen til damplaten. Dette tyder på at det er forskjell i hvordan damplaten og frostveggen beveger seg.

Disse og flere observasjoner kan ses på bildene under:



Fuge i frostvegg. Sprekk fra 0mm i bunn opp til 50mm i topp.



Vertikalt gjennomgående sprekk i frostvegg. 5-10mm i toppen.



Sprekk i frostvegg fra innsiden.



Horisontale og vertikale riss på damplate med kalkutfelling. Åpning i toppen mellom damkrone og frostvegg kan skyldes dårlig støping kombinert med forskjellig volumutvidelse.



Riss og kalkutfelling på vannside



Riss og skader med synlig armering. Den lyse betongen på damkrona er nyere stålfiberarmert betong brukt til rehabilitering.



Tydlig opprissing og oppsprekking av pilar i overgang mellom hvelv og platedam. Krakelermønster er typisk for alkalireaksjoner.



Tørre horisontale riss på damplate. Bildet viser målepunkt 4 til in-situ målesystemet som ble etablert på dammen på slutten av 90-tallet.



Brudd på betongbinder som holder frostvegg inntil damplaten. Tyder på større utvidelse av damplate enn frostvegg.

Vedlegg C: Prøvemethoder for E-modul og trykk- og strekkfasthet av betongsylindere

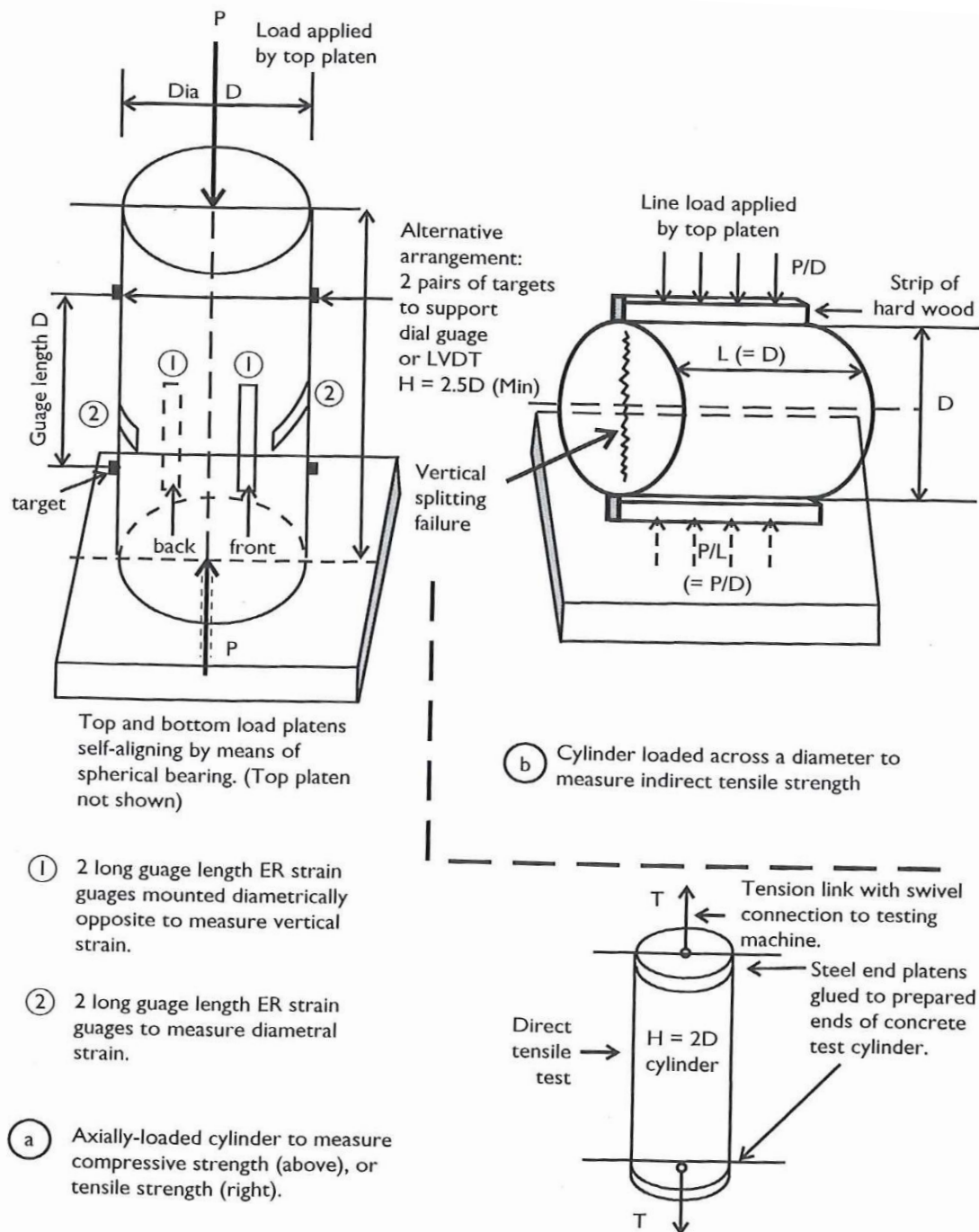


Figure 3.4 (a) Principle of direct compressive or tensile strength testing. (End plates glued to concrete cylinder and pulled to measure tensile strength). (b) Principle of indirect or splitting tensile strength test.

Hentet fra (12)

Vedlegg D: Erfaringer fra Hunderfossen Dam

På Vassdragteknisk Forum Region Sør og Øst kom jeg i prat med Torstein Tjelde som er Vassdragteknisk ansvarlig (VTA) for Hunderfossen Dam. Dette er kanskje den mest kjente konstruksjonen i Norge som er kraftig påvirket av AR. Jeg ble invitert opp til Hunderfossen for deling av erfaringer og en omvisning på dammen.

24. oktober 2012 var jeg på besøk på Hunderfossen dam. I forbindelse med stabilisering av en bueseksjon av dammen foregikk det en del arbeid.



Figur 26 Hunderfossen dam

Tjelde kunne fortelle meg at det var blitt gjort mye arbeid på dammen for å hindre følgeskader av AR. De mest synlige er tetting av sprekker som er gjort på de fleste av pilarene. Dette er for å hindre videre skader som følge av fryse/tine skader. Andre tilpasninger som er gjort er slissing av sporene damlukene går i. Siden pilarene mellom damlukene utvider seg presser disse mot lukene og kan føre til kiling. Lukene blir derfor nøye fulgt med på og samtlige luker har måttet gjennomgå utbedringer. Tiltak har også måttet bli

gjort på akslingene som går mellom motorene som heiser opp lukene. Buedammen på vestre side av dammen presser mot pilarene. Dette fører til at deformasjonene blir ført videre gjennom akslingene og videre på motoren i andre enden.

Opp gjennom årene har forskjellige forskningsmiljøer og firmaer prøvet sine metoder for overvåking, måling og reparering av skadene AR har påført Hunderfossen dam. De fleste av disse har gått på overvåking og forsøk på å senke den relative fuktigheten i betongen. Det har blitt testet forskjellige membraner og uttørking ved hjelp av osmose. I følge Tjelde har ingen til nå klart å senke fuktigheten i betongen tilstrekkelig eller på noen annen måte klart å finne en varig løsning på problemene.

Det er ingen tegn til at AR på Hunderfossen Dam har stoppet opp, men med nøye overvåking og regelmessig utbedring av følgeskadene AR gir, fungerer dammen i dag fint uten at det går utover sikkerheten.

Bolt nr	Rev.dat0 07.09.98			Sign. SE			Rev.dat0 15.11.07			Sign. EU			Rev.dat0 16.11.08			Sign. EU			Rev.dat0 07.11.11			Sign. EU			Rev.dat0 27.08.12			Sign. EU		
	X	Y	H	Målt dato	Stasjon-tidsikt	Diffi forh til 1. mål	X	Y	H	Målt dato	Stasjon-tidsikt	Diffi forh til 1. mål	X	Y	H	Målt dato	Stasjon-tidsikt	Diffi forh til 1. mål	X	Y	H	Målt dato	Stasjon-tidsikt	Diffi forh til 1. mål	X	Y	H	Målt dato	Stasjon-tidsikt	Diffi forh til 1. mål
14	1045.572	1045.572	1045.572	07.09.98	Fr.sbj. S1-S2	0.006	1045.578	1045.578	1045.578	24.10.07	Nivellement	0.009	1045.581	1045.581	1045.581	15.10.08	Fr.sbj. S1-S2	-0.001	1045.584	1045.584	1045.584	29.10.11	Fr.sbj. S1-S2	0.012	1045.588	1045.588	1045.588	25.08.12	Fr.sbj. S1-S2	0.016
15	1044.435	1044.435	1044.435	07.09.98	Fr.sbj. S1-S2	0.004	1044.439	1044.439	1044.439	24.10.07	Nivellement	0.004	1044.442	1044.442	1044.442	15.10.08	Fr.sbj. S1-S2	-0.002	1044.443	1044.443	1044.443	29.10.11	Fr.sbj. S1-S2	0.008	1044.447	1044.447	1044.447	25.08.12	Fr.sbj. S1-S2	0.012
16	1065.277	1065.277	1065.277	07.09.98	Fr.sbj. S1-S2	0.001	1065.278	1065.278	1065.278	24.10.07	Nivellement	0.002	1065.276	1065.276	1065.276	15.10.08	Fr.sbj. S1-S2	-0.001	1065.277	1065.277	1065.277	29.10.11	Fr.sbj. S1-S2	0.000	1065.277	1065.277	1065.277	25.08.12	Fr.sbj. S1-S2	0.000
17	1069.764	1069.764	1069.764	07.09.98	Fr.sbj. S1-S2	0.000	1069.764	1069.764	1069.764	24.10.07	Nivellement	0.000	1069.762	1069.762	1069.762	15.10.08	Fr.sbj. S1-S2	-0.002	1069.764	1069.764	1069.764	29.10.11	Fr.sbj. S1-S2	0.000	1069.764	1069.764	1069.764	25.08.12	Fr.sbj. S1-S2	0.000
18	1081.071	1081.071	1081.071	07.09.98	Fr.sbj. S1-S2	0.000	1081.071	1081.071	1081.071	24.10.07	Nivellement	-0.001	1081.070	1081.070	1081.070	15.10.08	Fr.sbj. S1-S2	-0.001	1081.070	1081.070	1081.070	29.10.11	Fr.sbj. S1-S2	0.001	1081.069	1081.069	1081.069	25.08.12	Fr.sbj. S1-S2	-0.002
19	1118.683	1118.683	1118.683	07.09.98																										
20	1117.895	1117.895	1117.895	07.09.98																										
S1	1000.000	1000.000	1000.000	07.09.98																										
S2	1116.545	1116.545	1116.545	07.09.98																										

Tabell 7 Innmåling av Bjølsegrødammen forts. (Ing. Egil Ulvund AS)

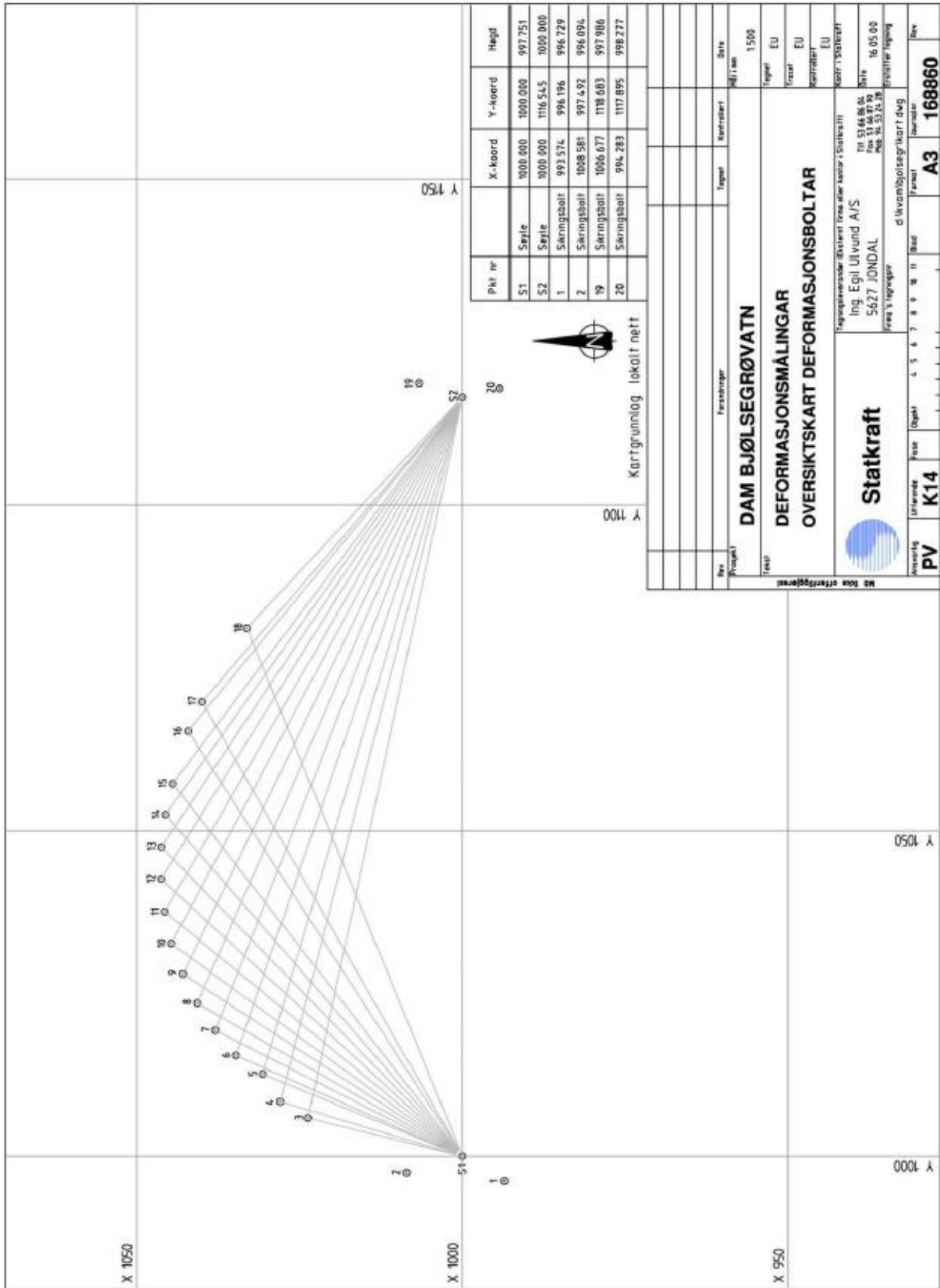
Vedlegg F: Bevegelser mellom bolter på damkronen

Tabellen viser hvordan avstanden mellom boltene har forandret seg siden 1998. Fargene fra grønt via gult til rødt indikerer hvor mye avstanden har økt. Negative verdier betyr at boltene har beveget seg mot hverandre.

(Avstand 4 = Avstand fra pkt. 3 til 4 osv..)											
Avstander	07.09.1998			27.08.2012			Def.	mm/m	‰		
	x	y	Fra pkt. til pkt. x	y	Fra pkt. til pkt. x	Fra pkt. til pkt. x					
4	4,279	2,519	4,965400487	4,282	2,52	4,96849313	0,003092644	0,622451168	0,622838855		
5	2,695	4,235	5,019785852	2,694	4,238	5,02178056	0,001994709	0,397211445	0,397369284		
6	4,102	2,867	5,004607177	4,101	2,868	5,0043606	-0,000246579	-0,049272803	-0,049270375		
7	3,157	3,857	4,984285104	3,154	3,859	4,98393389	-0,000351216	-0,070469675	-0,070464709		
8	2,792	4,174	5,021706881	2,791	4,177	5,02364509	0,00193821	0,38581743	0,385966342		
9	2,194	4,483	4,991084551	2,195	4,485	4,99332054	0,002235987	0,447795607	0,447996218		
10	1,77	4,671	4,99511171	1,773	4,669	4,99430576	-0,000805953	-0,161374361	-0,161348324		
11	1,017	4,889	4,993656977	1,021	4,892	4,99740983	0,003752852	0,750959522	0,751523886		
12	0,557	5,015	5,045837294	0,561	5,015	5,04628041	0,000443118	0,087810835	0,087818547		
13	0,035	4,925	4,925124364	0,034	4,924	4,92411738	-0,001006981	-0,20449981	-0,204457999		
14	0,641	4,946	4,987363732	0,641	4,949	4,99033887	0,002975134	0,596178707	0,596534349		
15	1,137	4,779	4,91239351	1,141	4,776	4,91040294	-0,001990574	-0,405378886	-0,405214621		
16	2,314	8,059	8,384633385	2,32	8,062	8,38917421	0,004540829	0,541272521	0,541565656		
17	2,181	4,487	4,988980858	2,182	4,487	4,9894181	0,000437244	0,08764366	0,087642047		
18	6,857	11,307	13,22371725	6,861	11,305	13,224082	0,000364794	0,027585586	0,027586347		
		sum	86,44368914			86,4610634		0,01737422			

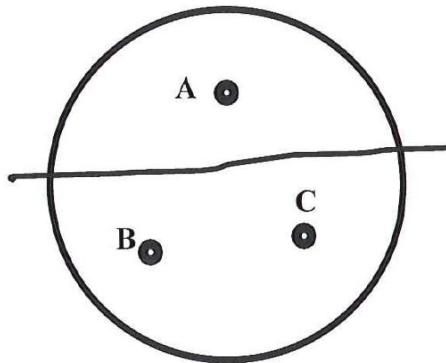
Tabell 8 Boltavstander

Vedlegg G: Oversiktskart deformasjonsbolter

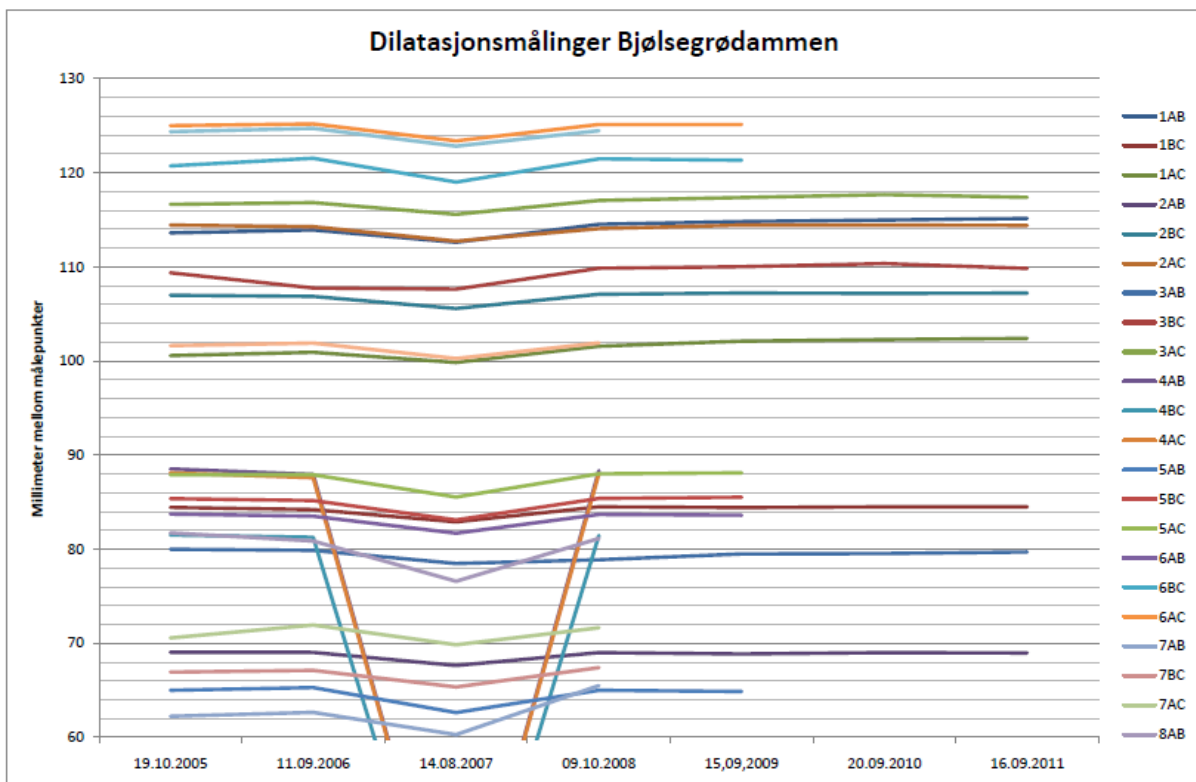


Vedlegg H: Dilatasjonsmålinger Bjølsegrødammen


Målested 1



Skissen viser hvilke avstander som blir målt rundt sprekkene. Figuren under viser målinger gjort fra 2005 til 2011.



Vedlegg I: Prøverapport kjerneprøver 1996

 SINTEF SINTEF Bygg og miljøteknikk Sement og betong Postadresse: 7034 Trondheim Besøksadresse: Rich Birkelands vei 3 Telefon: 73 59 52 24 Telefaks: 73 59 71 36 Foretaksnr: 948 007 029		PRØVINGSRAPPORT	
		OPPDRAGSGIVER Berdal Strømme a.s. Rådgivende Ingeniører Vestfjordgaten 4 1300 Sandvika	
BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF Henv av 1996-10-29 /Morten Berntsen		KOPI	
OPPDRAGETS ART STRUKTURANALYSER AV 4 BORKJERNER FRA DAM BJØLSEGRØVATN			
ARKIVKODE	GRADERING Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE s:\2271\PRO\22M018\XVJEE006.W51	FAGLIG ANSVARLIG for Viggo Jensen <i>[Signature]</i>	RAPPORTNUMMER 80070	
PROSJEKTNR 22M018	DATO 1997-01-28 for	SAKSBEHANDLER Viggo Jensen og Marit Haugen <i>[Signature]</i>	ANTALL SIDER/VEDLEGG 4 + 3

1 BAKGRUNN

Bakgrunnen for dette oppdraget er en henvendelse fra firmaet Berdal Strømme a.s. ved Morten Berntsen, som ønsker å få undersøkt 4 borkjerner fra dam Bjølsegrøvatn. Dette for å bekrefte/avkreftede forekomsten av alkalireaksjoner i betongen. SINTEF har verken befart dam Bjølsegrøvatn eller deltatt i planleggingen for utboring av prøver. Formålet med dette oppdraget er å undersøke om betongen fra de 4 mottatte borkjerner inneholder tegn til alkalireaksjoner.

2 PRØVEMATERIALET

SINTEF mottok 1996-10-29 4 stk borkjerner fra Berdal Strømme a.s. Kjernene var merket som følger:

- o A1 og A2, 2 kjernestykker med total lengde ca 250 mm og diameter 55 mm
- o B1, total lengde ca 160 mm og diameter 95 mm
- o C1 og C2, 2 kjernestykker med total lengde ca 120 mm og diameter 55 mm
- o D1-D5, 5 kjernestykker med total lengde ca 315 mm og diameter 55 mm.

Prøveresultatene refererer seg kun til de innsendte prøver.
Utdragsvis eller forkortet gjengivelse samt eventuell oversettelse av rapporten skal godkjennes av SINTEF.



Rapport nr 80070
Side 2 av 4

Ifølge brev av 1996-10-29 er prøvene nummerert etter følgende prinsipp: Bokstav angir hullplassering og nr angir rekkefølge der kjernen er brukket opp. Laveste nr. nærmest overflaten. I følge samme brev er dam Bjølsegrøvatn bygget i slutten av 1930-årene. Dammen er en ca 25 m høy buedam med en veggtykkelse på ca 1m (varierende med høyden).

3 UNDERSØKELSER

Av borkjernen er det framstilt 1 stk fluorescensimpregnert planslip og 1- 2 stk fluorescensimpregnerte tynnslip. Det er foretatt strukturanalyse ved:

Makroanalyse av planslip undersøkt i stereomikroskop og UV-lys

Mikroanalyse av tynnslip undersøkt i polarisasjonsmikroskop påmontert UV-filtre

Fotografering til dokumentasjon

4 RESULTATER

Resultatene fra strukturanalysene er detaljert beskrevet i VEDLEGG 1. Foto finnes i VEDLEGG 2 og viktige faguttrykk finnes i VEDLEGG 3.

Nedenfor er det gitt en kort oppsummering av resultatene fra strukturanalysene.

Overflaten av betongen:

Kun for kjerner mrk A1 og B1 er det framstilt preparater av betongens overflate:

- o Kjerne A1: Overflaten er dekket av et overflatebehandlingssjikt, karboniseringsdybde 0,3 mm - 2 mm unner overflatesjiktet, 1 riss kan følges inn i betongen. Ingen tegn på frostnedbryting av betongoverflaten.
- o Kjerne B1: Karboniseringsdybde maks 5 mm. Ingen tegn på frostnedbryting av betongoverflaten.

S:\2271\PRO\22M018\XVJEE006.w51



Rapport nr 80070
Side 3 av 4

Betongens sammensetning:

I det følgende er de viktigste parametre av betongen gjengitt:

- o Portlandsement, normalt - høyt innhold av portlanditt
- o Ekv. vann/sement-forhold = 0,50- 0,60, stedvis 0,70.
- o Luftinnhold i % av mørtelandel: 1,6-2,8 %. Betongen er ikke luftinnblandet. Det er observert en del innkapslet luft i kjerne A1.
- o Høyt innhold av mikroriss, enkelte fine riss. Det ses en del riss i tilslaget. I kjerne D4-D5 er det et høyt innhold av "grove" riss (rissvidder > 0,1mm)
- o Normalt innhold av sand og stein. Ingen tegn på separasjon. Steintilslaget er sannsynligvis blandet naturmateriale og pukk.
- o Det er observert flere typer alkalireaktive bergarter; bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts (mulig reaktiv bergart i hht DGB ordningen), mylonitt, kvartsitt, fyllitt, sandstein og en gråvakkeligende bergart.

Utfellinger og omdannelser:

- o Det er observert et høyt innhold av ettringitt - og portlandittutfellinger i luftporer og riss. Dette antyder at betongen er utsatt for fukt og vann.

Alkalireaksjoner:

Det er observert varierende tegn på alkalireaksjoner i undersøkte borkjerner, se tabell 1.

Tabell 1. Alkalireaksjoner og reaktivt tilslag i undersøkte borkjerner

Alkalireaksjon	Reaktivt tilslag	Reagert tilslag	Reaksjonstype	Kommentar
Kjerne A1	mange typer	ingen	ingen reaksjon	
Kjerne B1	mange typer	ukjent	uskadelig	lite omfang
Kjerne C2	få	gråvakke	rissdannende	lite omfang
Kjerne D4/5	mange typer	mange typer	rissdannende	framskredet

s:\2271\PRO\22M018\XVJBE006.w51





Rapport nr 80070
Side 4 av 4

5 VURDERING AV RESULTATENE

Det er observert en varierende forekomst av alkalireaksjoner i de mottatte betongkjerner. I kjerne A1 ble det ikke dokumentert alkalireaksjoner i betongen selv om alkalireaktive bergarter er anvendt som tilslag. I kjerne B ble det observert alkalireaksjon, men denne finnes kun i begrenset omfang og er vurdert å være uskadelig da det kun ble observert utfelling av alkaligel i enkelte luftporer. I kjerne C2 vurderes alkalireaksjonen som rissdannende, men denne finnes kun i lite omfang da kun enkelte reagerte bergarter ble observert (bl a gråvakkeligende bergart i tynnslipet). Derimot i kjerne D4/5 ble det observert rissdannende alkalireaksjon i et framskredet stadium. Alkalireaksjonen er her forårsaket av bergartene mylonitt, kvartsitt, sandstein og en bergart med fin/mikrokrystallin kvarts (mulig reaktiv bergart i hht DGB). I alle kjernene ble det observert utfelling av ettringitt og portlanditt i luftporer og riss, hvilket antyder at betongen er utsatt for fukt og vann.

6 VIDERE ARBEID

Undersøkelsene har vist at alkalireaksjoner forekommer i betongen, men i varierende omfang. Utboring av flere borkjerner og etterfølgende strukturanalyser vil gi ytterligere dokumentasjon om denne variasjonen, hvis dette er ønskelig.

In-situ målinger av fukt, temperatur og sprekkeviddeutvidelser over lengre tid (flere år) vil kunne dokumentere eventuelle endringer og utvidelser av betongen forårsaket av alkalireaksjoner. Hvis ønskelig kan SINTEF være behjelpelig med å montere et rimelig målesystem på dam Bjølsegrøvatn hvor personale fra Bjølvefossen a.s. selv utfører målingene.

- VEDLEGG 1 : Strukturanalyseskjemaer
- VEDLEGG 2: Fotodokumentasjon
- VEDLEGG 3: Ordlister

s:\2271\PRO\22M018\XVJEE006.w51

Strukturanalyse av Prøve A1 fra Dam Bjøsegrøvatn

BORKJERNE	<i>Dimensjon Ø 54 mm og lengde 250 mm, borkjernen var i 2 stykker</i>
-Overflaten	Ingen riss
-Tegn på frostskaide	Ingen avskallinger eller smuldrende betong
-Tegn på AAR	Ingen reaksjonsprodukter, enkelte reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag
PLANSLIP	<i>Dimensjon 53 mm x 193 mm (overflaten og 193 mm inn i betongen)</i>
-Riss i overflaten	Ett riss kan følges maks 46 mm inn i betongen (inn til luftrom)
-Riss i betongen	En del riss i mørtelandel, enkelte riss i tilslag og enkelte riss som går fra tilslag og ut i pastaen. Mange riss rundt tilslagskorn
-Steintilslaget	Normalt innhold, maks tverrmål 9 mm
-Luft	En del luftporer, opp til 4 mm
-Reagert tilslag	Enkelte med riss. Observert gellignende materiale i en luftpore
TYNNSLIP	<i>2 tynnslip (30 mm x 50 mm) plassert henholdsvis i overflaten og 82 mm inn i betongen</i>
Betongens sammensetning	
-Sementpastaen	Portlandsement, stedvis høyt portlandtinnhold
-Porøsitet	Ekv. v/c-forhold 0,60 (stedvis 0,70), inhomogen porøsitet
-Luftinnhold	1,6 vol% luft, ikke luftinnblandet, en del store porer
-Sandtilslaget	Frikorn og forskjellige typer bergartsfragmenter
-Steintilslaget	Hovedsakelig bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts, gneis/granitt, mylonitt, kvartsitt (grovt) og kvartsitt (fin)
-Reaktivt tilslag	Bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts, mylonitt, kvartsitt (fin) og fyllitt
Riss i betongen	Høyt innhold av mikroriss (spesielt rundt tilslagskorn), enkelte fine riss, ingen grove riss
Utfelling (porer/riss)	Mye ettringitt, mye portlanditt
Alkalireaksjoner	
-reaksjonsprodukter	Alkaligel ikke observert
ANNET	Overflaten er dekt av et mørtellag (0,3-2 mm tykt). Mørtellaget inneholder kalksteinsfragmenter. Karboniseringsdybden fra opprinnelig overflate er maks 0,9 mm

Vurdering av undersøkelsen

Det er ikke observert alkalireaksjoner i betongen til tross for at reaktive bergarter er observert. Det er dog observert enkelte reaksjonsprodukter i bruddflater av tilslag og gellignende utfelling i en luftpore i planslipet. Betongen virker dårlig utstøpt (mange luftrom). Overflaten er dekket av et mørtellag.

Undersøkelse utført av Marit Haugen og Viggo Jensen, vinteren 1997

Strukturanalyse av Prøve B1 fra Dam Bjølsegrøvatn

BORKJERNE	<i>Dimensjon Ø 93 mm og lengde 150-170 mm, borkjernen var intakt</i>
-Overflaten	Ingen riss
-Tegn på frostskaade	Ingen avskallinger eller smuldrende betong
-Tegn på AAR	Enkelte reaksjonsprodukter, ingen reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag
PLANSLIP	<i>Dimensjon 91 mm x 143-147 mm (overflaten og 147 mm inn i betongen)</i>
-Riss i overflaten	Ingen riss kan følges inn i betongen
-Riss i betongen	En del riss i mørtelandel, en del riss i tilslag og en del riss som går fra tilslag og ut i pastaen
-Steintilslaget	Normalt innhold, maks tverrmål 20 mm
-Luft	En del luftporer, opp til 2,5 mm
-Reagert tilslag	En del med riss
TYNNSLIP	<i>2 tynnslip (30 mm x 50 mm) plassert henholdsvis i overflaten og 96 mm inn i betongen</i>
Betongens sammensetning	
-Sementpastaen	Portlandsement, normalt portlandtinnhold
-Porøsitet	Ekv. v/c-forhold 0,50 (stedvis 0,60), inhomogen porøsitet
-Luftinnhold	1,7 vol% luft, ikke luftinnblandet
-Sandtilslaget	Frikorn og forskjellige typer bergartsfragmenter
-Steintilslaget	Hovedsakelig bergart m/fin mikrokrySTALLIN kvarts, kvartsitt (fin), granitt/gneis og mylonitt
-Reaktivt tilslag	Kvartsitt (fin), bergart m/fin-mikrokrySTALLIN kvarts og mylonitt
Riss i betongen	Høyt innhold av mikroriss, enkelte fine riss, ingen grove riss
Utfellinger (porer/riss)	En del ettringitt, en del portlanditt
Alkalireaksjoner	
-reaksjonsprodukter	Det er observert alkaligel (rekrySTALLISERT) i 2 luftporer
-reagert tilslag	Kan ikke identifiseres
ANNNET	Karbonatiseringsdybden er 2,5-5 mm

Vurdering av undersøkelsen

Det er observert alkaligel i 2 luftporer. Bergarten(ene) som har reagert er ikke identifisert. Det er ikke observert rissdannelser i forbindelse med alkalireaksjonen. Det er observert flere typer alkalireaktive bergarter som ikke har reagert.

Undersøkelse utført av Marit Haugen og Viggo Jensen, vinteren 1997

Strukturanalyse av Prøve C2 fra Dam Bjølsegrøvatn

BORKJERNE	<i>Dimensjon Ø 54 mm og lengde 120 mm, borkjernen var i 2 stykker</i>
-Overflaten	Ett riss, rissvidde 0,25 mm
-Tegn på frostskaade	Ingen avskallinger eller smuldrende betong
-Tegn på AAR	Ingen reaksjonsprodukter, enkelte reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag
PLANSLIP	<i>Dimensjon 54 mm x 78-101 mm (den innerste delen av kjernen er benyttet til planslip)</i>
-Riss i betongen	Enkelte riss i mørtelandel, en del riss i tilslag og en del riss som går fra tilslag og ut i pastaen
-Steintilslaget	Normalt innhold, maks tverrmål 10 mm
-Luft	En del luftporer, opp til 5 mm
-Reagert tilslag	En del med riss
TYNNSLIP	<i>1 tynnslip (30 mm x 50 mm) plassert 55 mm inn i betongen</i>
Betongens sammensetning	
-Sementpastaen	Portlandsement, normalt-høyt portlandtinnhold
-Porøsitet	Ekv. v/c-forhold 0,50, litt inhomogen porøsitet
-Luftinnhold	2,8 vol% luft, ikke luftinnblandet
-Sandtilslaget	Frikorn og forskjellige typer bergartsfragmenter
-Steintilslaget	Hovedsakelig feltspatisk bergart og granitt (lite stein i tynnslip)
-Reaktivt tilslag	Gråvakkeliggende bergart
Riss i betongen	Meget høyt innhold av mikroriss, enkelte fine riss, ingen grove riss
Utfellinger (porer/riss)	Mye ettringitt, mye portlanditt
Alkalireaksjoner	
-reaksjonsprodukter	Inne i reagert bergart
-reagert steintilslag	Gråvakkeliggende bergart
-reaksjonstype	Rissdannende

Vurdering av undersøkelsen

Det er observert rissdannende alkalireaksjon forårsaket av gråvakkeliggende bergart.

Undersøkelse utført av Marit Haugen og Viggo Jensen, vinteren 1997

Strukturanalyse av Prøve D4 og D5 fra Dam Bjølsegrøvatn

BORKJERNE	<i>Dimensjon Ø 54 mm og lengde ca 295 mm, borkjernen var i 5 stykker</i>
-Overflaten	Ingen riss
-Tegn på frostskaade	Ingen avskallinger eller smuldrende betong
-Tegn på AAR	Ingen reaksjonsprodukter, en del reaksjonsrender, enkelte riss i tilslag
PLANSLIP	<i>Dimensjon 54 mm x 185 mm (de to innerste delene av kjernen er limt og benyttet til planslip)</i>
-Riss i betongen	En del riss i mørtelandel, en del riss i tilslag og en del riss som går fra tilslag og ut i pastaen
-Steintilslaget	Normalt innhold, maks tverrmål 12 mm
-Luft	En del luftporer, opp til 5 mm
-Reagert tilslag	En del med riss
TYNNSLIP	<i>2 tynnslip (30 mm x 50 mm) plassert henholdsvis 128 og 207 mm inn i betongen</i>
Betongens sammensetning	
-Sementpastaen	Portlandsement, høyt portlandtinnhold
-Porøsitet	Ekv. v/c-forhold 0,60, homogen porøsitet
-Luftinnhold	1,3 vol% luft, ikke luftinnblandet
-Sandtilslaget	Frikorn og forskjellige typer bergartsfragmenter
-Steintilslaget	Hovedsakelig gneis/granitt, bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts, mylonitt og kvartsitt (fin)
-Reaktivt tilslag	Bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts, mylonitt, sandstein og kvartsitt (fin)
Riss i betongen	Høyt innhold av mikroriss (spesielt rundt tilslagskom), en del fine riss, en del grove riss
Utfelling (porer/riss)	En del ettringitt, en del portlanditt
Alkalireaksjoner	
-reaksjonsprodukter	Gel er observert i flere riss og porer
-reagerte sandtilslag	Bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts og sandstein
-reagerte steintilslag	Mylonitt og kvartsitt (fin)
-reaksjonstype	Rissdannende og i framskredent stadium

Vurdering av undersøkelsen

Det er observert rissdannende alkalireaksjoner i et framskredent stadium forårsaket av bergartene mylonitt, kvartsitt (fin), bergart m/fin-mikrokrystallin kvarts og sandstein

Undersøkelse utført av Marit Haugen og Viggo Jensen, vinteren 1997

FOTODOKUMENTASJON

På de følgende sidene er det vist foto av strukturanalysen.

På de enkelte foto er det anført anvendt belysningsteknikk. For mikrofoto av tynnslip er bildets lengde og høyde angitt i mm.

Det er anvendt følgende forkortelser:

Do: Samme område som foregående bilde.

Del: Detaljer av samme område/prøve som vist i foregående foto.

Ord: Ordinær belysning (pålys).

UV: Planslipet er belyst med ultrafiolett lys. Dermed vil fargestoffet i epoksyen fluorescere. Porøse områder, luftporer og riss/sprekker fremstår som lysgule-hvite felt.

Plan: Planpolarisert lys (gjennomfallende lys). I tynnslip er transparente mineraler fargeløse, sementpasta som regel brunfarget, mens luftporer, riss/sprekker og porøse områder i sementpastaen er gule når planpolarisert lys anvendes.

Pol: Polarisert lys (kryssende nicoller). I tynnslip er kubiske mineraler og amorfe materialer som gel, glass og epoksy sorte (isotrope). De fleste mineraler er anisotrope, og det ses interferensfarger i mineralet alt etter mineralets optiske egenskaper, snittet i tynnslipet og tynnslipets tykkelse. Kvarts ses typisk i lysgrå-grå farger.

Gips: Polarisert lys med gipsfilter. Isotrope materialer er rødfiolett, mens anisotrope mineraler utover rødfiolett typisk har to farger, alt etter mineralets optiske egenskaper og snitt i tynnslipet. Kvarts er typisk både gul og blå.

Flur: Fluorescerende lys. I mikroskopet er innsatt to filtre. I tynnslip er områder med høy kapillærporøsitet gulfarget, mens områder med lav kapillærporøsitet er mørkegrønne. Riss/sprekker og luftporer ses meget tydelig i lysegrønne farger.

SINTEF Bygg og miljøteknikk, Sement og betong

Rapport nr 80070

VEDLEGG 2 side 1 av 2

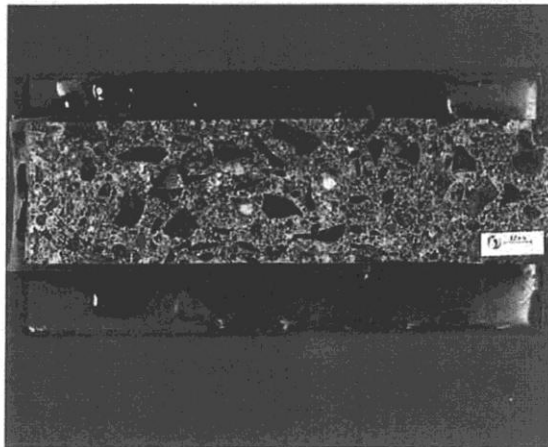


Foto nr 1 Bildet viser planslipet av kjerne A1. Overflaten er til venstre i bildet

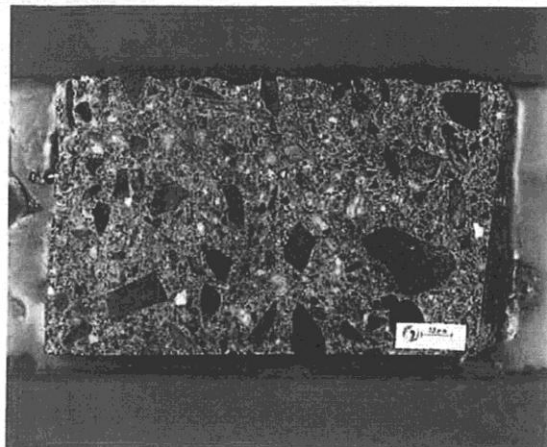


Foto nr 2 Bildet viser planslipet av kjerne B1. Overflaten er til venstre i bildet

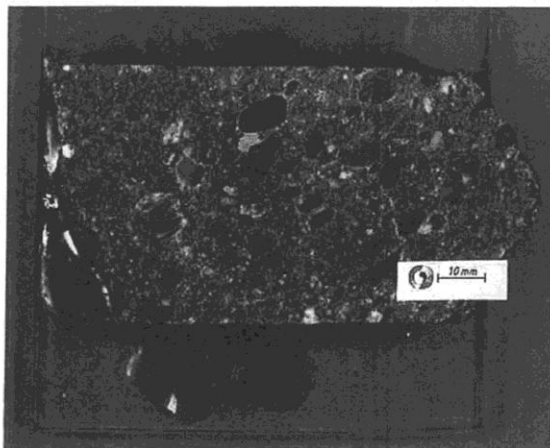


Foto nr 3 Bildet viser planslipet av kjerne C2

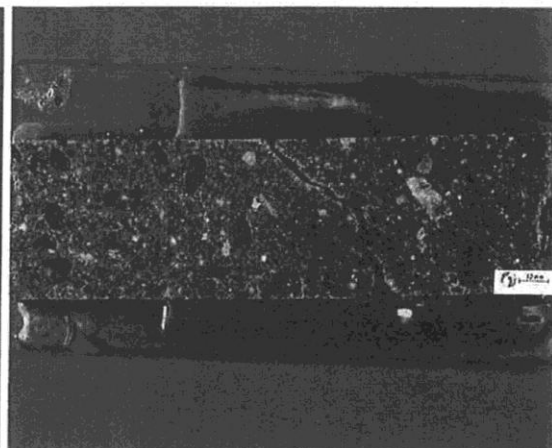


Foto nr 4 Bildet viser planslipet av kjerne D4/5. Kjerne "biten" D5 er til høyre i bildet

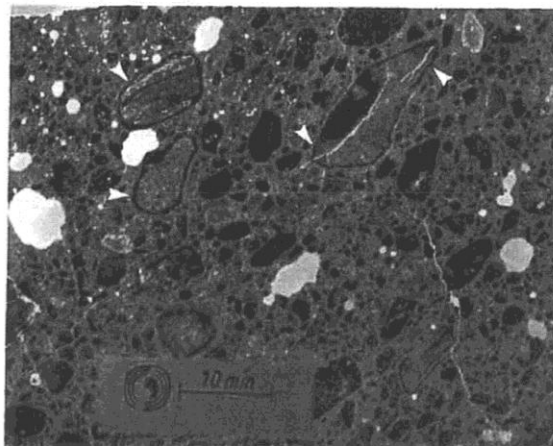


Foto nr 5 Bildet viser en detalje av planslip C2 fotografert i fluorescerende lys. Merk riss og soneringer om reagerede tilslag (piler)

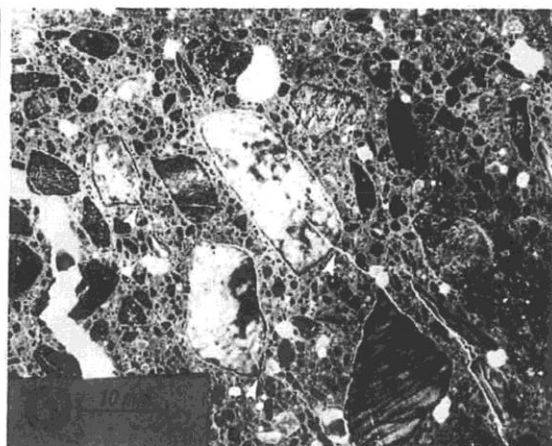


Foto nr 6 Bildet viser en detalje av planslip D4/5 fotografert i fluorescerende lys. Merk riss og soneringer om reagerede tilslag (piler)

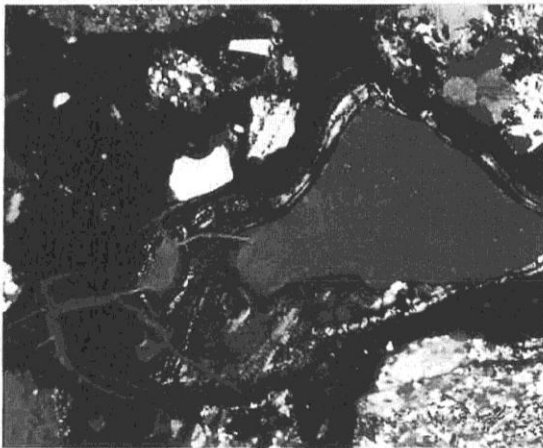


Foto nr 7 Bildet viser alkaligel utfellet i en luftpore i tynnslip B1 (piler). Bildets størrelse er 2,4mm x 3,6mm. (fotografert med gipsfilter)

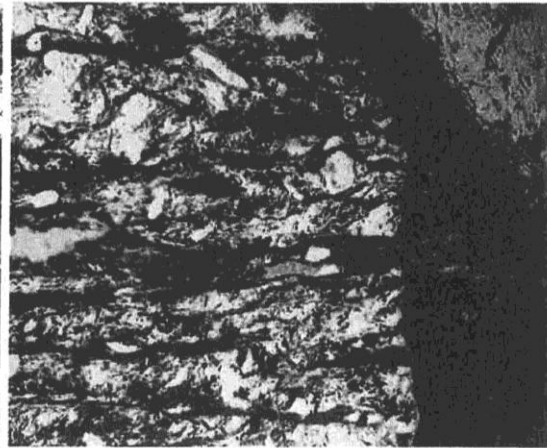


Foto nr 8 Bildet viser en reagert gråvakkeligende bergart i tynnslip C1. Merk riss som løper ut i pastaen. Bildet størrelse er 0,8mm x 1,2mm

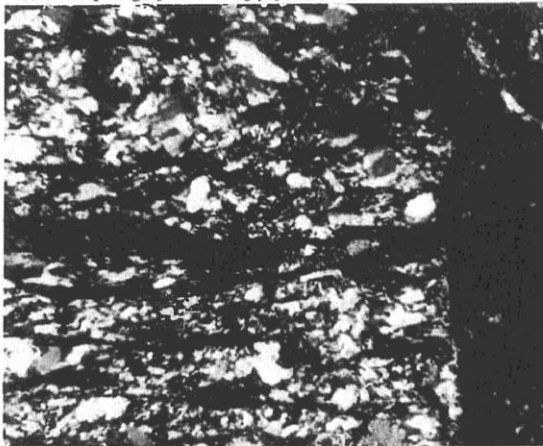


Foto nr 9 Samme som foto nr 8 fotografert med polarisasjonsfilter. Merk kryptokrystalline reaksjonsprodukter inn i bergarten (piler)

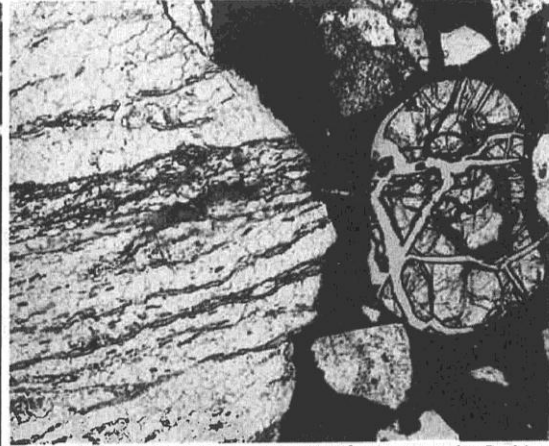


Foto nr 10 Bildet viser en reagert mylonitt i tynnslip D. Merk riss som løper ut i pastaen og at alkaligel er utfellet i en luftpore. Bildet størrelse er 0,8mm x 1,2mm



Foto nr 11 Bildet viser en reagert mylonitt i tynnslip D. 2 typer reaksjonsprodukter finnes, brune inne i partiklen og fargeløs gel i overgangen til pastaen. Bildet størrelse er 0,8mm x 1,2mm

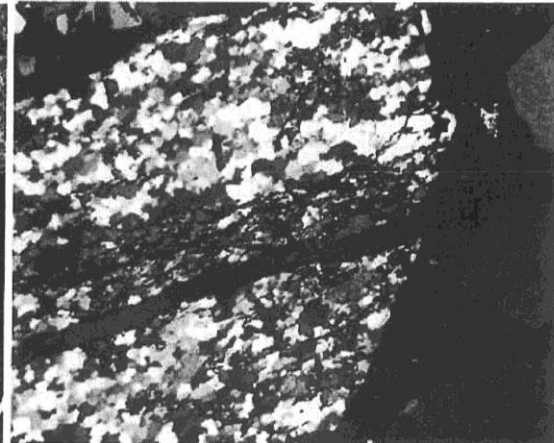


Foto nr 12 Samme som foto nr 11 fotografert med gipsfilter. Merk at bergarten består av mikrokrystalline mineraler (gul, fiolet og blå) som hovedsakelig er kvarts

ORDLISTE

I rapporten er det anvendt faguttrykk som er beskrevet nærmere i ordlisten.

Alkalireaksjon (alkalikiselreaksjon):

Kjemisk-fysisk reaksjon mellom visse tilslagstyper og sementpastaen. Reaksjonen er avhengig av høy fuktighet (RF >80%), høyt alkaliinnhold i betongen og reaktivt tilslag (>20% i norske bergarter). I Norge er det i de senere år observert langsom/sen-ekspansiv alkalireaksjoner i flere konstruksjoner. Alkalireaksjonene vurderes skadelige i de tilfeller riss/sprekker kan dokumenteres forårsaket av alkalireaksjonen.

Alkaligel:

Reaksjonsprodukt etter alkalireaksjon. Gelen er ofte (men ikke alltid) fargeløs og inneholder svinnriss.

Amorf: Se isotrop.

Anisotrop:

Polarisert lys vil kunne passere transparente, anisotrope mineraler. Avhengig av mineralets optiske egenskaper, snittet i tynnslipet og tynnslipets tykkelse, ses interferensfarger i mineralet. F eks ses kvarts med lysgrå-grå interferensfarger.

Ekvivalent vann/semest-forhold (ekv. v/c):

I tynnslip sammenliknes prøvens fargeintensitet i fluorescerende lys med standardprøver med kjent vann/semest-forhold. Fargeintensiteten er et indirekte uttrykk for sementpastaens kapillærporøsitet, og kan benyttes til å anslå ekv. v/c.

Ettringitt (kalsiumsulfoaluminat):

Mineral som dannes ved sementhydratisering. Ved fuktbelastet, herdet betong vil ettringitt kunne utfelles som krystaller i luftporer og riss.

Fine riss:

Riss med vidde 0,01 - 0,1 mm.

Fluorescerende lys:

Fargepigmentet "Hudson Yellow" vil ved belysning med ultrafiolett lys avgi et gulgrønt lys (fluorescere).

Fluorescensimpregnert:

Ved visuell strukturanalyse er betongen impregnert med epoksy tilsatt et fluorescerende fargestoff (Hudson Yellow).

Fyllitt:

Lavmetamorft omdannet bergart dominert av leirmineraler. Fyllitt har bl a i England, Canada og Norge forårsaket skadelige alkalireaksjoner i betong.

Gel: Se alkaligel.

Grove riss:

Riss med vidde større enn 0,1 mm.

Grønnstein:

Omdannet basisk bergart, f.eks basalt. Grønnstein anses ikke å være alkalireaktiv.

Gråvakke:

Sandstein karakterisert av et høyt innhold av bergartsfragmenter (bruddstykker av bergarter), feltspat og leirmatriks. Gråvakke har bl a i England, Canada og Norge forårsaket skadelige alkalireaksjoner i betong.

Isotrop:

Kubiske mineraler og amorft materiale som f eks gel, glass og epoksy tillater ikke polarisert lys å passere gjennom mineralet/materialet, hvilket er en karakteristikk for isotrope stoffer. I tynnslip er isotrope stoffer sorte i polarisert lys, og rødfiolett ved anvendelse av gipsblad.

Kapillærporøsitet:

I tynnslip i fluorescerende lys vil sementpasta med høy kapillærporøsitet ses som gulgrønne felt, mens sementpasta med lav kapillærporøsitet er mørkegrønne. Variasjon i kapillærporøsiteten angis normalt som: Homogen, inhomogen og meget inhomogen.

Karbonatisering:

Sementpasta omdannet til karbonat pga reaksjon mellom luftens karbondioksid og kalsiumhydroksid/mentgel.

Kataklasitt (se også mylonitt):

Homogen bergart dannet ved ekstrem deformasjon og nedknusning (dynamisk metamorfose). Kataklasitt har bl a i Sverige (Stockholm) og Norge forårsaket skadelig alkalireaksjon.

Krypto-mikrokrystallint reaksjonsprodukt:

Reaksjonsprodukt etter alkalireaksjon. I tynnslip er reaksjonsproduktet ofte brunfarget i gjennomfallende lys og har et prikket sort-hvitt utseende i polarisert lys (salt and pepper texture). Krystallstørrelsen er < 0,01 mm.

Kvantitativ:

Riss og bestanddeler etc kvantifiseres ved punkttelling, telling i rasternett og telling langs linjer. Resultater omregnes ofte til volumprosent og antall pr arealenhet eller pr preparat.

Makroanalyse:

Betegnelse for undersøkelse foretatt på planslip.

Mafisk:

Mørke mineraler som f eks amfiboler, pyroksener og biotitt. Prefiks anvendt ved bergarter dominert av mørke mineraler.

Meta:

Prefiks anvendt ved metamorfoserte bergarter, f eks omdanning av sandstein og vulkanske bergarter.

Mikroanalyse:

Betegnelse for undersøkelse foretatt på tynnslip.

Mikrokrystallin:

Krystallstørrelsen av mineralet er kun synlig i mikroskop. Krystallstørrelser 0,01 - 0,001 mm.

Mylonitt (se også kataklasitt):

Foliert bergart dannet ved ekstrem deformasjon og nedknusning (dynamisk metamorfose). Mylonitt har bl a i Sverige (Stockholm) og Norge forårsaket skadelig alkalireaksjon.

Opak:

I tynnslip ikke gjennomskinnelig minerale, f eks sulfider.

Pastariss:

Korte mikroriss i pastaen. Pastariss kan dannes ved flere prosesser, f eks svinn.

Planslip:

Planslip er halvdelen av en borkjerne, saget på langs og heretter polert og fluorescensimpregnert.

Portlanditt (kalsiumhydroksyd):

Portlanditt dannes ved sementens hydratisering, og ses i tynnslip som spredte mikrokrySTALLINE krystaller i sementpastaen. Portlanditt kan også være utfelt i riss, riss omkring tilslag og helt eller delvis utfylle luftporer. Dette kan skyldes separasjon og/ eller fuktbelastning i herdet betong.

Polarisasjonsmikroskop:

Mikroskop med polarisasjonsfiltre. Ved betongundersøkelser er mikroskopet påmontert ultrafiolette filtre.

Reaksjonssone:

I bruddflater i reagert tilslag ses ytterst en tynn mørk sone (alkaligel) og like under hvite, bløte utfelling (krypto-mikrokrySTALLINSK utfellingsprodukt).

Rhyolitt:

Sur, vulkansk bergart med samme kjemiske sammensetning som granitt. Rhyolitt har forårsaket skadelige alkalireaksjoner bl a i Australia, USA, Sverige og Norge (Rjukan-området).

Riss:

Ved visuell strukturanalyse kan rissvidder inndeles i størrelsesklasser;

- o Grove riss; rissvidde > 0,1 mm
- o Fine riss; rissvidde 0,1 - 0,01 mm
- o Mikroriss; rissvidde < 0,01 mm

Riss i tilslagkorn:

I betong med forekomst av skadelig alkalireaksjoner observeres ofte et stort antall tilslagkorn med riss.

Sandstein:

Sedimentær bergart bestående av sammenkittede sandpartikler. Sandstein har forårsaket skadelige alkalireaksjoner i betong bl a i Australia, England, Canada og Norge. Se også gråvakke.

Semikvantitativ:

Vurdering av bestanddeler angitt ved f eks lavt innhold, normalt innhold og høyt innhold.

Siltstein:

Sedimentær bergart med kornstørrelser fra 0,06 mm-0,002 mm. Siltstein har forårsaket skadelige alkalireaksjoner i betong bl a i England, Canada og Norge.

Sericitt:

Glimmermineral (som muskovitt) med mikrokrystallin kornstørrelse.

Stereomikroskop (binocular mikroskop):

Mikroskop som i prinsippet virker som en lupe.

Strained:

Se "Undulerende utslukking". "Strained" brukes om deformerte krystallgitter, i det de har indre spenninger.

Subkorn:

Ved deformasjon av kvarts dannes små mikrokrystalline subkorn ved kvartsmineralets korn grense.

Suturet korn grense:

Ved deformasjon av bergarter "sammenpresses" mineralene, og det oppstår en bølget ("suturet") kornkontakt.

Tynnslip:

Ca 40 x 45 mm stor skive av betongen (fluorescensimpregnert) som er ca 0,02 mm tykk. I tynnslip er de fleste mineraler transparente (gjennomskinnelige).

Undulerende utslukking:

Ses mest i kvarts med deformert krystallgitter (strained). Ved dreining av mikroskopbordet og ved anvendelse av polarisert lys ses et mørkt bånd bevege seg over kvartskornet. Kvarts med undulerende utslukking blir av flere betongteknologer ansett som alkalireaktivt.

UV-lys:

Ved betongundersøkelser anvendes langbølget Ultrafiolett lys med bølglengden 350-400 nm.

Vedheftriss:

Mikroriss mellom tilslagskom og sementpasta. Vedheftriss kan ha flere årsaker, f eks separasjon og svinn.

Visuell strukturanalyse:

Kvalitativ og kvantitativ beskrivelse av betongens struktur på makro- og mikronivå. Analysen består av tre delundersøkelser: Overflatebeskrivelse, makroanalyse og mikroanalyse. Ved vurdering av herdet betongs frostegenskaper, og ved kontroll av luftinnblandet betong suppleres visuell strukturanalyse med luftporeanalyse ihht ASTM C457.

Vedlegg J: Prøverapport kjerneprøver 2012

**SINTEF Byggforsk**

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Besøksadresse:
Richard Birkelands veg 3
Trondheim

Sentrålbord: 73593000
Telefaks: 73597136

byggforsk@sintef.no
http://www.sintef.no/Byggforsk/
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Prøvingsrapport

Strukturanalyse av betongkjerne boret ut fra Bjølsegrødammen i Ålvik



Sertifisert laboratorium U16

Betong og natursteinlaboratoriet

Dato:

2012-12-10

Prosjektleder/forfatter(e):

Marit Haugen

Oppdragsgivere(e):

Statkraft Energi AS Region Vest-Norge
Postboks 233
4201 SAUDA

Oppdragsgivers referanse:

Bård Aslak Birkeland

Prosjektnummer:

3D0598.18

Antall sider og vedlegg:

20 + 0 vedlegg

Sammendrag:

SINTEF Byggforsk mottok 2012-10-23 fire stk utborede betongkjerne fra Bjølsegrødammen merket henholdsvis "Nr 1", "Nr 2", "Nr 3" og "Nr 4". Kjernene er boret ut uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

Oppdragsgiver ønsker å få undersøkt om, og eventuelt i hvilket omfang alkalireaksjoner forekommer i betongen.

Prøvingen ble utført i perioden 2012-10-23--12-05. Prøvingsresultatene viser at det er påvist alkalireaksjoner i kerne Nr 1, Nr 2 og Nr 3, men ikke i kerne Nr 4. Reaksjonene har ført til en del intern opprissing i alle de tre kjernene. Kerne 1 ser i tillegg ut til å være skadet av frost, da opprinnelig overflatesjikt er borte, samt at det er observert overflateparallel opprissing (delaminering) i betongen.

Prosjektleder/forfatter:

Marit Haugen

 Signatur Marit Haugen
Kontrollert av:

Jan Lindgård

 Signatur Jan Lindgård
Godkjent av:

Ola Skjølsvold

 Signatur Ola Skjølsvold
Rapport nr:

80151

Gradering:

Fortrolig

Prøveresultatene gjelder kun de objekter som er prøvd.
Rapporten er oppdragsgivers eiendom og kan ikke uten vedkommendes skriftlige tillatelse overlates til tredjepart. Uten SINTEF sin skriftlige godkjenning kan rapporten kun reproduseres i sin helhet.





1 PRØVEMATERIALET

SINTEF Byggforsk mottok 2012-10-23 fire stk utborede betongkjerner fra Bjøsegrødammen merket henholdsvis "Nr 1", "Nr 2", "Nr 3" og "Nr 4". Kjernene er boret ut uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

Tabell 1 viser kjernenes merking og dimensjoner. Foto nr 1-12 (kap 3.1) viser bilder av de innsendte borkjernene.

Tabell 1 Kjernenes merking og dimensjoner

Prøve merket	Diameter, mm	Ca lengde, mm	Kommentar 1)
"Nr 1"	75	210-255	Kjernen var delt i 2 deler, med brudd i dybde 110-120 mm (foto nr 1)
"Nr 2"		220-240	Kjernen var intakt (foto nr 4)
"Nr 3"		330	Kjernen var delt i 2 deler, med brudd i dybde 110-135 mm (foto nr 7)
"Nr 4"		170	Kjernen var intakt (foto nr 10)

1) Alle kjernene var pakket inn i tett pløst

2 UTFØRTE UNDERSØKELSER

Det er utført følgende analyser av de innsendte borkjernene:

- * Visuell undersøkelse (utført for alle kjernene)
- * Måkrøanalyse av plønslip undersøkt i UV-lys (utført for alle kjernene)
- * Mikroanalyse av tynnslip undersøkt i polarisasjonsmikroskop påmontert UV-filtre (utført for alle kjernene)

3 RESULTATER

3.1 Visuell undersøkelse

Tabell 2 viser observasjoner gjort i de visuelle undersøkelsene av borkjernene.


Tabell 2 Visuell undersøkelse av borkjernene

Kjerne merket	Riss i overflaten	Tegn på alkalireaksjoner?	Kommentar
"Nr 1"	Opprinnelig overflatesjikt er borte	Ja. Hvitt, gellignende materiale i flere små luftporer, reaksjonsrender og sonering rundt enkelte tilslagskorn	Overflateparallel opprissing (delaminering) i kjernen
"Nr 2"	Ikke observert	Ja. Hvitt, gellignende materiale i enkelte luftporer	
"Nr 3"	Ett riss med vidde 0,10-0,15 mm som kan følges 70 mm inn i betongen	Ja. Hvitt, gellignende materiale i enkelte luftporer	
"Nr 4"	Ikke observert	Nei	

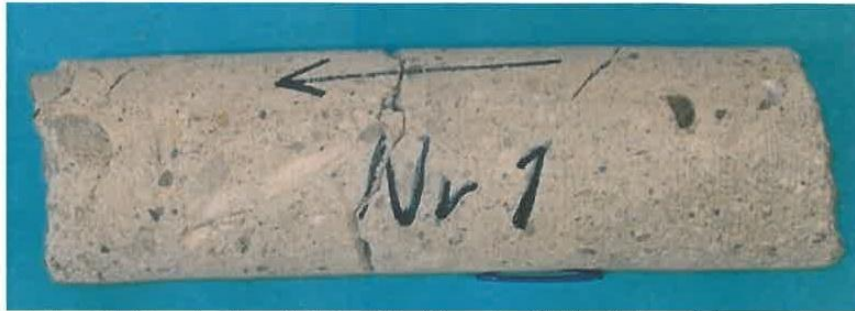


Foto nr 1. Oversiktsfoto av borkjerne Nr 1. Overflaten til venstre på bildet. Merk overflateparallell opprissing i betongen (delaminering).



Foto nr 2 og 3. Ytre del (overflaten) av kjerne Nr 1 (til venstre) og indre bruddflate (til høyre). Merk at opprinnelig overflatesjikt er borte. Det kan observeres reaksjonsrender og sonering rundt enkelte tilslagskorn på indre bruddflate.



Foto nr 4. Oversiktsfoto av borkjerne Nr 2. Overflaten til venstre på bildet.



Foto nr 5 og 6. Overflaten (til venstre) og indre bruddflate (til høyre) til kjerne Nr 2.



Foto nr 7. Oversiktsfoto av borkjerne Nr 3. Overflaten til venstre på bildet.



Foto nr 8 og 9. Overflaten (til venstre) og indre bruddflate (til høyre) til kjerne Nr 3.

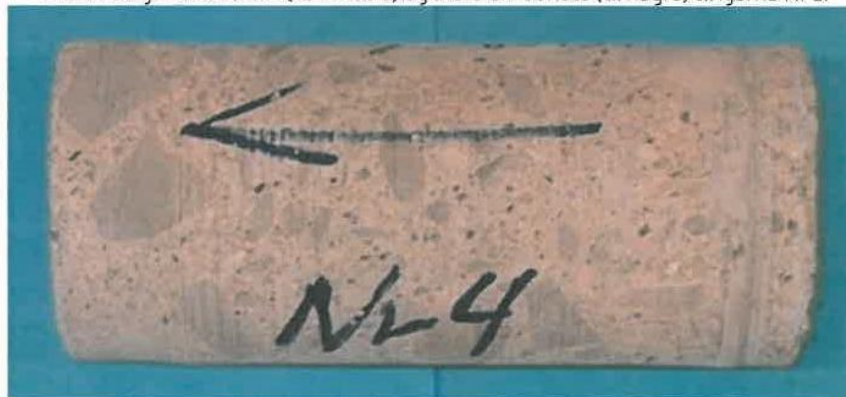


Foto nr 10. Oversiktsfoto av borkjerne Nr 4. Overflaten til venstre på bildet.



Foto nr 11 og 12. Overflaten (til venstre) og endeflaten (til høyre) til kjerne Nr 4.



3.2 Planslipanalyse

Det ble framstilt 1 stk fluorescensimpregnert planslip fra hver av borkjernene. Resultatene fra planslip-observasjonene er presentert i Tabell 3-6, samt i foto nr 13-20.

Tabell 3 Observasjoner i planslip fra kjerne Nr 1

Planslip fra kjerne	Nr 1 (foto nr 13 og 14)
Plassering av planslip	Frå 0 til 255 mm inn i betongen (hele kjernen)
Riss i overflaten	Ingen riss kan følges inn i betongen
Riss i betongen	Mærket, overflateparallell opprissing (delaminering) inn til dybde ca 190 mm, samt en del andre riss i mørtelandel, en del riss i tilslag og en del riss som går fra tilslag og ut i pastaen
Steintilslaget	Singel. Normalt innhold, maks tverrmål 20 mm. Litt ujevnt fordelt (litt mindre stein i de innerste ca 80 mm)
Tegn på alkalireaksjoner	En del riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, en del riss i tilslag. Hvit utfelling i flere små luftporer

Tabell 4 Observasjoner i planslip fra kjerne Nr 2

Planslip fra kjerne	Nr 2 (foto nr 15 og 16)
Plassering av planslip	Frå 0 til 240 mm inn i betongen (hele kjernen)
Riss i overflaten	Ett riss med vidde 0,05 mm kan følges maks 12 mm inn i betongen
Riss i betongen	En del riss i mørtelandel, enkelte riss i tilslag, og enkelte riss som går fra tilslag og ut i pastaen
Steintilslaget	Singel. Normalt innhold, maks tverrmål 15 mm
Tegn på alkalireaksjoner	Enkelte riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, enkelte riss i tilslag. Hvit utfelling i én luftpore

Tabell 5 Observasjoner i plønslip fra kjerne Nr 3

Plønslip fra kjerne	Nr 3 (foto nr 17 og 18)
Plassering av plønslip	Fra 0 til 330 mm inn i betongen (hele kjernen)
Riss i overflaten	Ett riss med vidde 0,075 mm kan følges maks 75 mm inn i betongen
Riss i betongen	En del riss i mørtelandel, en del riss i tilslag, og en del riss som går fra tilslag og ut i pastaen
Steintilslaget	Singel. Normalt innhold, maks tverrmål 18 mm
Tegn på alkalireaksjoner	En del riss går fra tilslag og ut i sementpastaen, en del riss i tilslag. Hvit utfelling i enkelte luftporer

Tabell 6 Observasjoner i plønslip fra kjerne Nr 4

Plønslip fra kjerne	Nr 4 (foto nr 19 og 20)
Plassering av plønslip	Fra 0 til 170 mm inn i betongen (hele kjernen)
Riss i overflaten	Ett riss med vidde 0,05 mm kan følges maks 11 mm inn i betongen
Riss i betongen	Enkelte riss i mørtelandel, enkelte riss i tilslag, men ingen riss som går fra tilslag og ut i pastaen. En del heftriss
Steintilslaget	Singel. Normalt innhold, maks tverrmål 19 mm
Tegn på alkalireaksjoner	Ikke observert, men det kan ikke utelukkes at enkelte riss i tilslag indikerer begynnende alkalireaksjoner (det er også observert hvit utfelling i én luftpore)

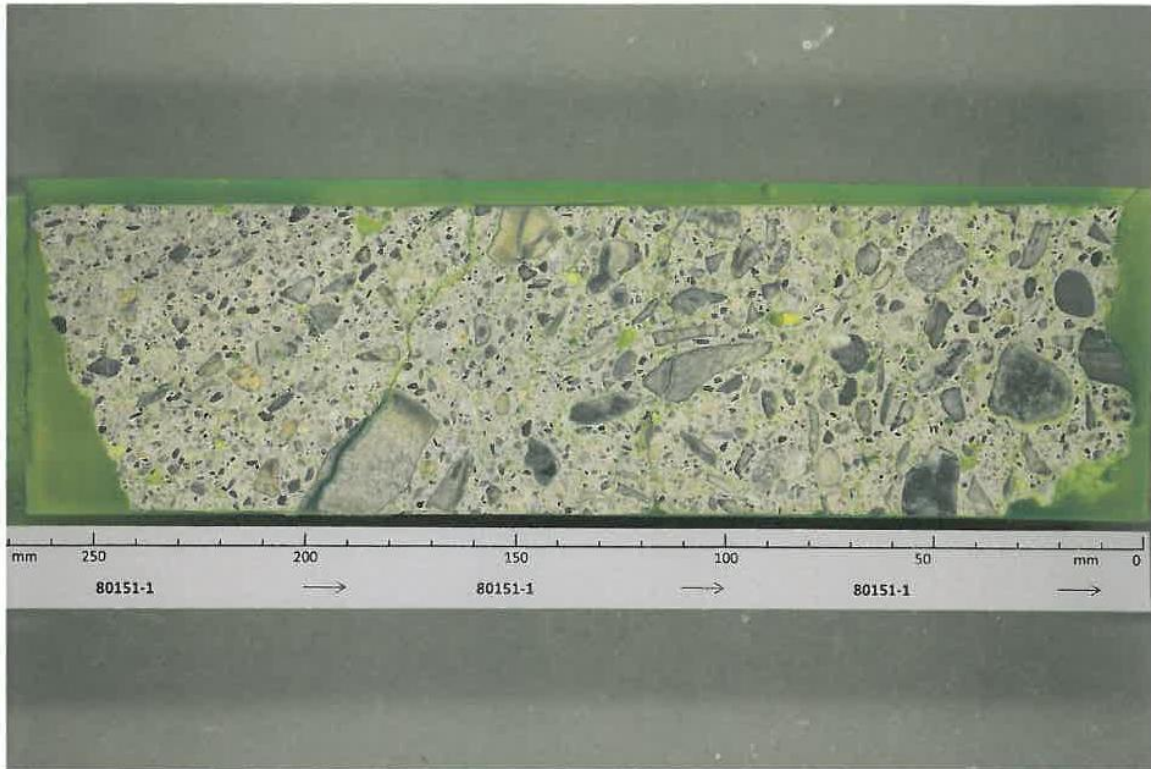


Foto nr 13. Planslipet fra kjerne Nr 1. Overflaten til høyre på bildet. Merk at opprinnelig overflatesjikt er borte.

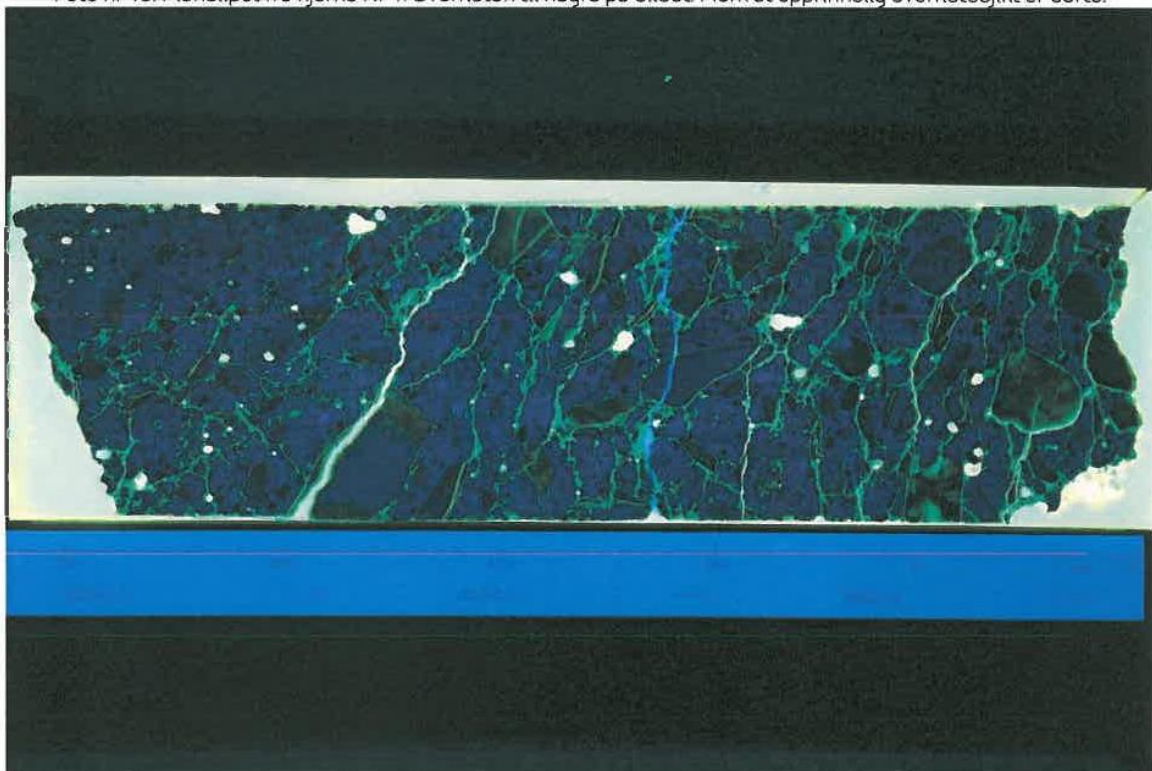


Foto nr 14. Planslipet fra kjerne Nr 1 fotografert i UV-lys. Rissene er fylt med fluorescerende epoksy, og framkommer som gulgrønne "streker" med denne belsningsformen. Merk at betongen er kraftig opprisset med overflateparallele riss (delaminering).

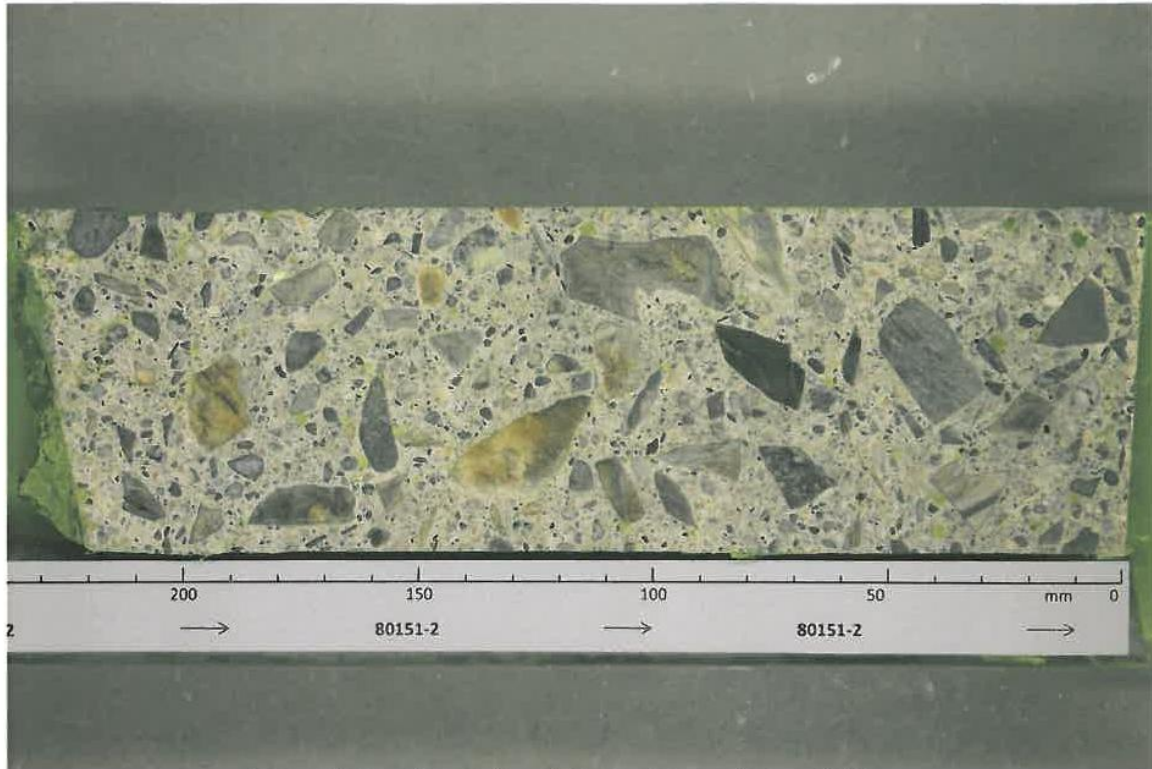


Foto nr 15. Planslipet fra kjerne Nr 2. Overflaten til høyre på bildet.

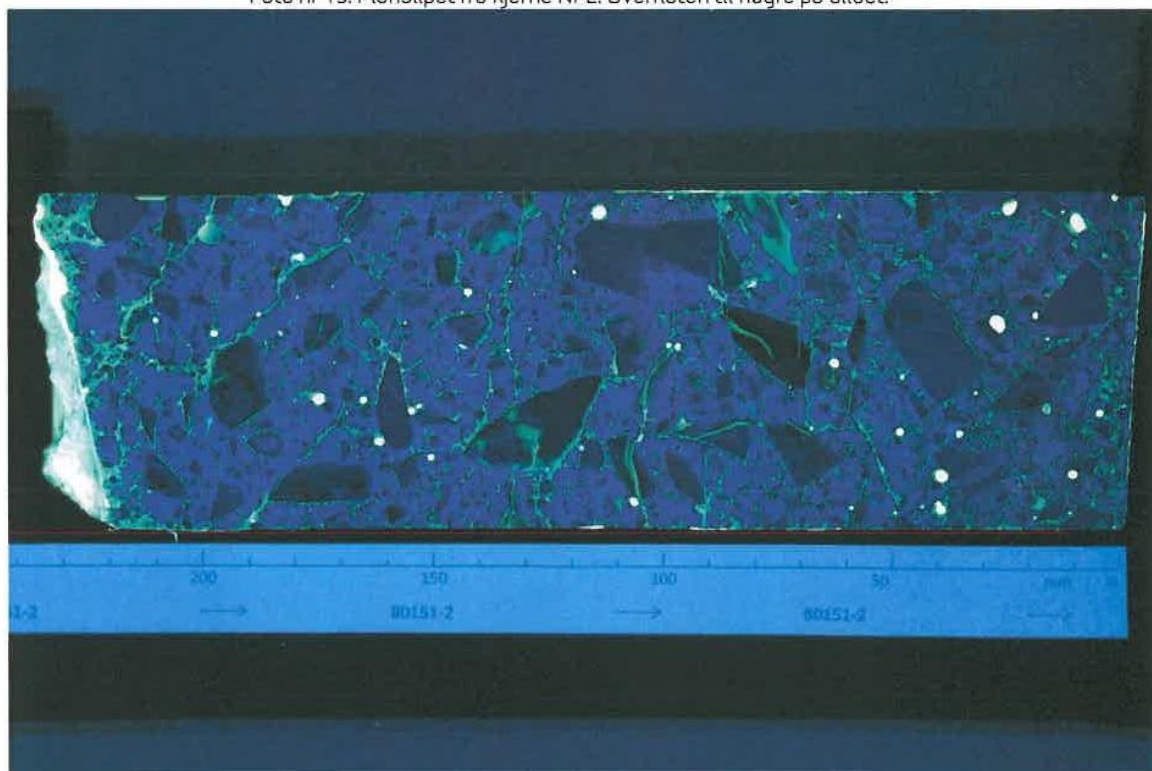


Foto nr 16. Planslipet fra kjerne Nr 2 fotografert i UV-lys. Rissene er fylt med fluorescerende epoksi, og framkommer som gulgrønne "streker" med denne belsningsformen.

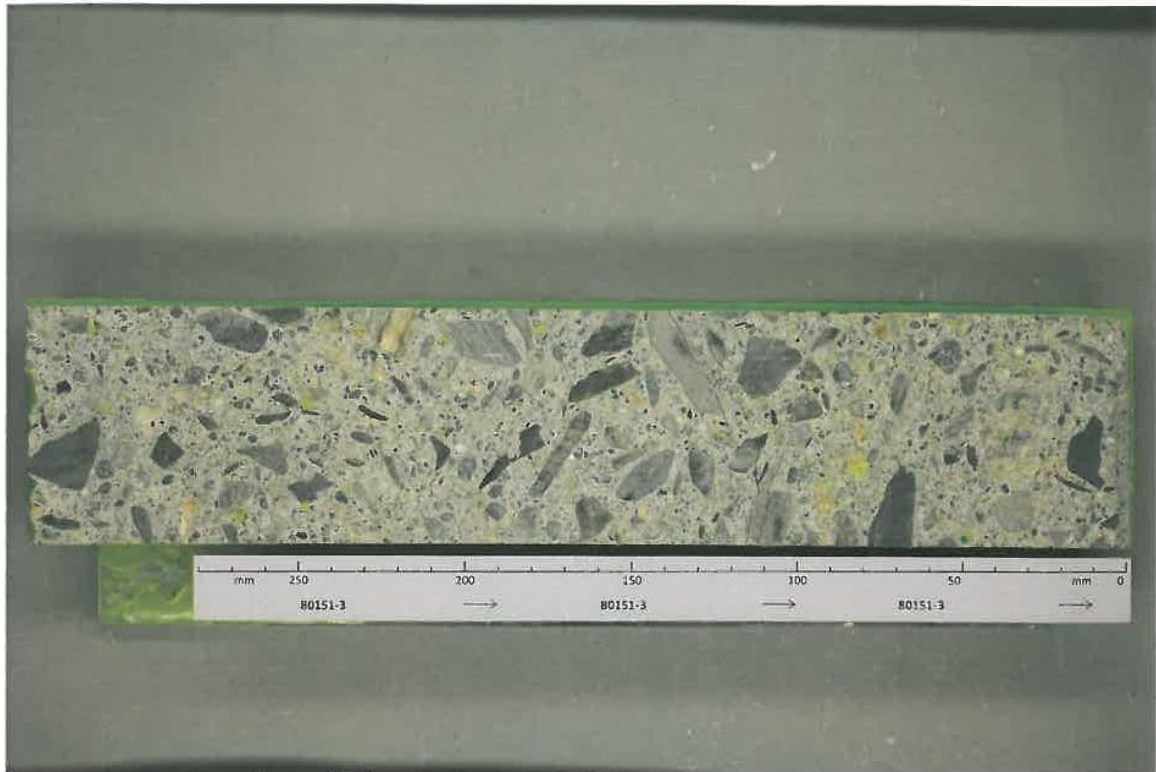


Foto nr 17. Planslipet fra kjerne Nr 3. Overflaten til høyre på bildet.

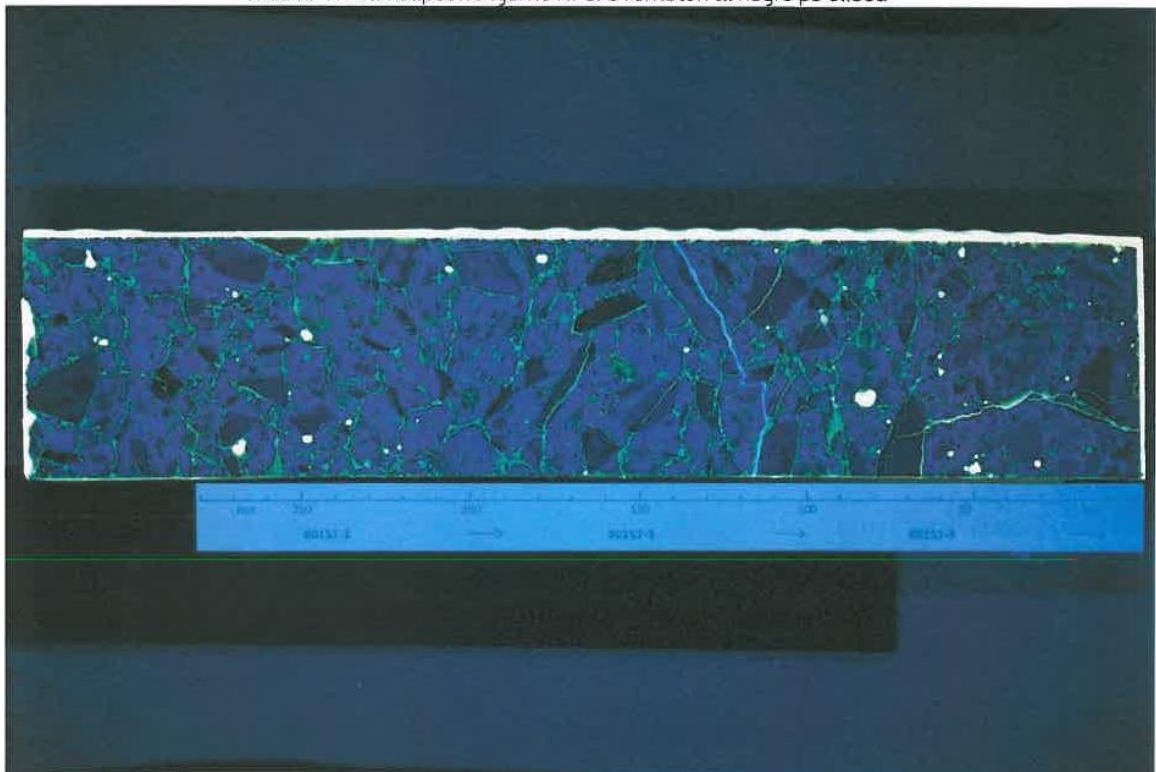


Foto nr 18. Planslipet fra kjerne Nr 3 fotografert i UV-lys. Rissene er fylt med fluorescerende epoksy, og framkommer som aulorønne "streker" med denne helisinnnsformen

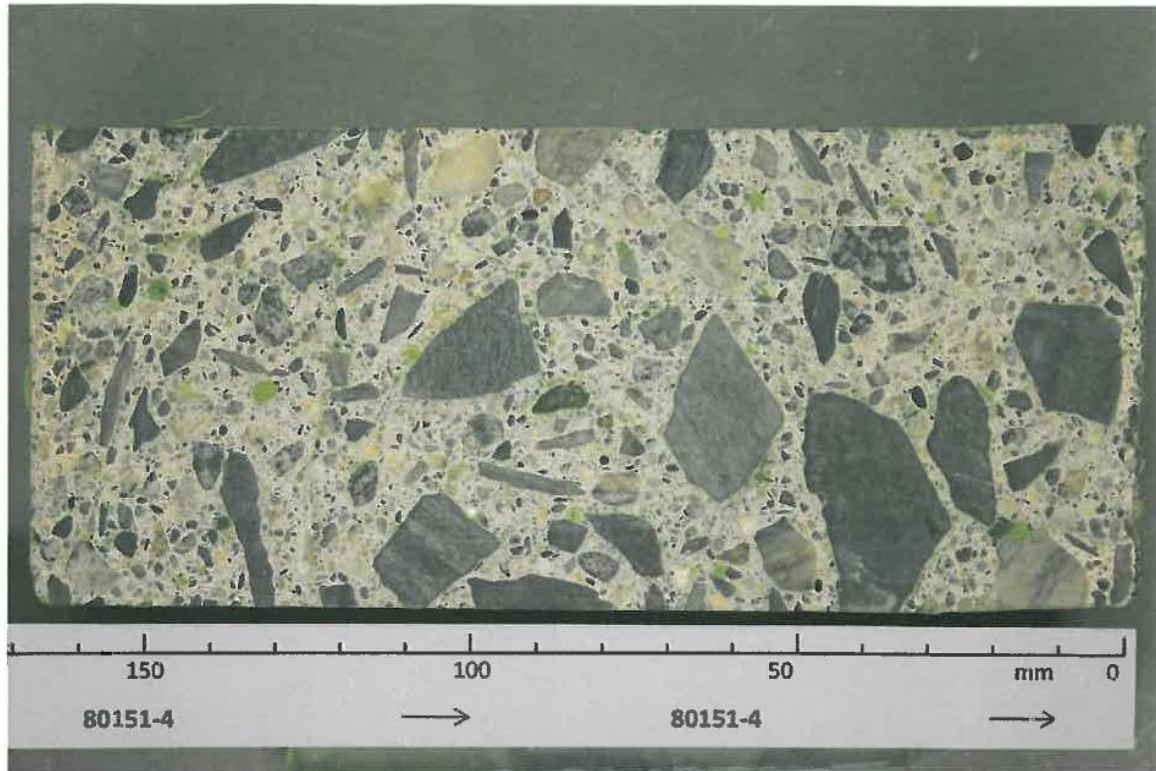


Foto nr 19. Planslipet fra kjerne Nr 4. Overflaten til høyre på bildet.

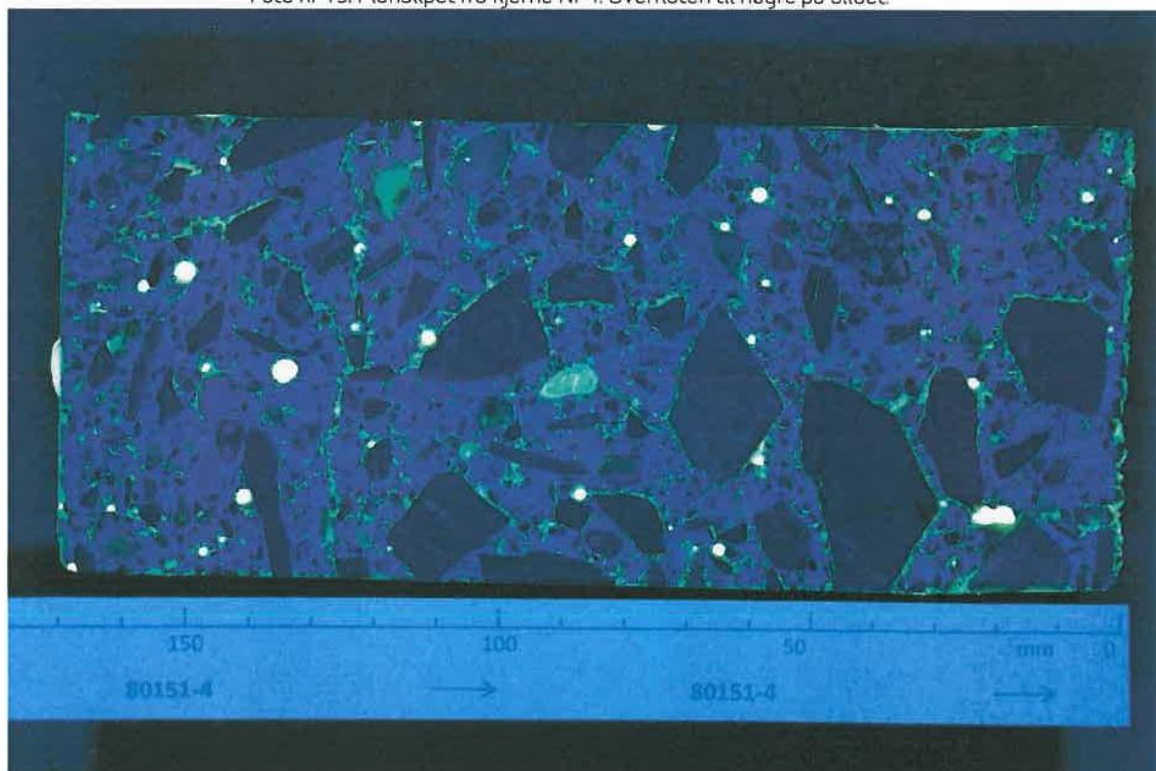


Foto nr 20. Planslipet fra kjerne Nr 4 fotografert i UV-lys. Rissene er fylt med fluorescerende epoksy, og framkommer som gulgrønne "streker" med denne belysningsformen. Denne betongen har mindre riss enn de andre.



3.3 Tynnslipanalyse

Det ble framstilt 1 stk fluorescensimpregnert tynnslip fra hver av borkjernene. Tynnslipenes størrelse er 48 mm x 28 mm, og de er plassert i varierende avstand fra overflaten. Resultatene fra tynnslipobservasjonene er presentert i Tabell 5-8 samt i foto nr 21-28.

Tabell 5 Observasjoner i tynnslip fra kjerne Nr 1

Tynnslip fra kjerne	Nr 1 (foto nr 21 og 22)
Plassering av tynnslip	175 mm inn i betongen
Anslått v/c-forhold 1)	Ca 0,75
Porøsitet i mørtelfasen	Homogen
Luftinnblandet	Nei
Mikroriss	Lite
Fine riss i betongen	En del
Grove riss	Enkelte
Utfellinger	Mye ettringitt i luftporer og riss. Mange luftporer er helt fylt av ettringitt
Type steintilslag	Hovedsakelig kvartsrik bergart, kvartsitt finkornet og gråvåkke
Alkalireaksjoner	Ja
Reagert tilslag	Kvartsrik bergart, kvartsitt finkornet og gråvåkke
Reaksjonsprodukter	Alkaligel observert hovedsakelig i riss, men også i én luftpore
Reaksjonsomfang	Riss forbinder tilslagskorn

1) antatt v/c-forhold basert på mørkhet av sementpastaen (fluorisert) sammenlignet med referansetynnslip

Tabell 6 Observasjoner i tynnslip fra kjerne Nr 2

Tynnslip fra kjerne	Nr 2 (foto nr 23 og 24)
Plassering av tynnslip	105 mm inn i betongen
Anslått v/c-forhold 1)	Ca 0,50
Porøsitet i mørtelfasen	Litt inhomogen
Luftinnblandet	Nei
Mikroriss	En del
Fine riss i betongen	En del
Grove riss	Enkelte
Utfellinger	En del ettringitt i luftporer og riss. Litt portlønditt
Type steintilslag	Hovedsakelig finkornet kvartsitt og gneis/granitt
Alkalireaksjoner	Jå
Reagert tilslag	Finkornet kvartsitt
Reaksjonsprodukter	Alkåligel observert i riss og flere luftporer
Vurdering av reaksjonsomfang	Riss forbinder tilslagskorn

1) åntatt v/c-forhold basert på mårketet av sementpastaen (fluorisert) sammenlignet med referansetynnslip



Tabell 7 Observasjoner i tynnslip fra kjerne Nr 3

Tynnslip fra kjerne	Nr 3 (foto nr 25 og 26)
Plassering av tynnslip	90 mm inn i betongen
Anslått v/c-forhold 1)	Ca 0,45
Porøsitet i mørtelfasen	Litt inhomogen
Luftinnblandet	Nei
Mikroriss	En del
Fine riss i betongen	En del
Grove riss	Enkelte
Utfellinger	Litt ettringitt i luftporer og riss
Type steintilslag	Hovedsakelig gneis/granitt, finkornet kvartsitt og fyllitt
Alkalireaksjoner	Ja
Reagert tilslag	Finkornet kvartsitt og fyllitt
Reaksjonsprodukter	Alkaligel observert i mange riss og i flere luftporer
Vurdering av reaksjonsomfang	Riss forbinder tilslagskorn

1) antatt v/c-forhold basert på mørkhet av sementpastaen (fluorisert) sammenlignet med referansetynnslip

Tabell 8 Observasjoner i tynnslip fra kjerne nr 4

Tynnslip fra kjerne	Nr 4 (foto nr 27 og 28)
Plassering av tynnslip	50 mm inn i betongen
Anslått v/c-forhold 1)	Ca 0,45
Porøsitet i mørtelfasen	Litt inhomogen
Luftinnblandet	Nei
Mikroriss	En del
Fine riss i betongen	Enkelte
Grove riss	Ingen
Utfellinger	Litt portlanditt
Type steintilslag	Hovedsakelig finkornet kvartsitt og gneis/granitt
Alkalireaksjoner	Ikke observert

1) antatt v/c-forhold basert på mørkhet av sementpastaen (fluorisert) sammenlignet med referansetynnslip



Foto nr 21. Tynnslipet fra kjerne Nr 1. Bildet viser alkaligel i riss mellom gråvåkke og fyllitt.

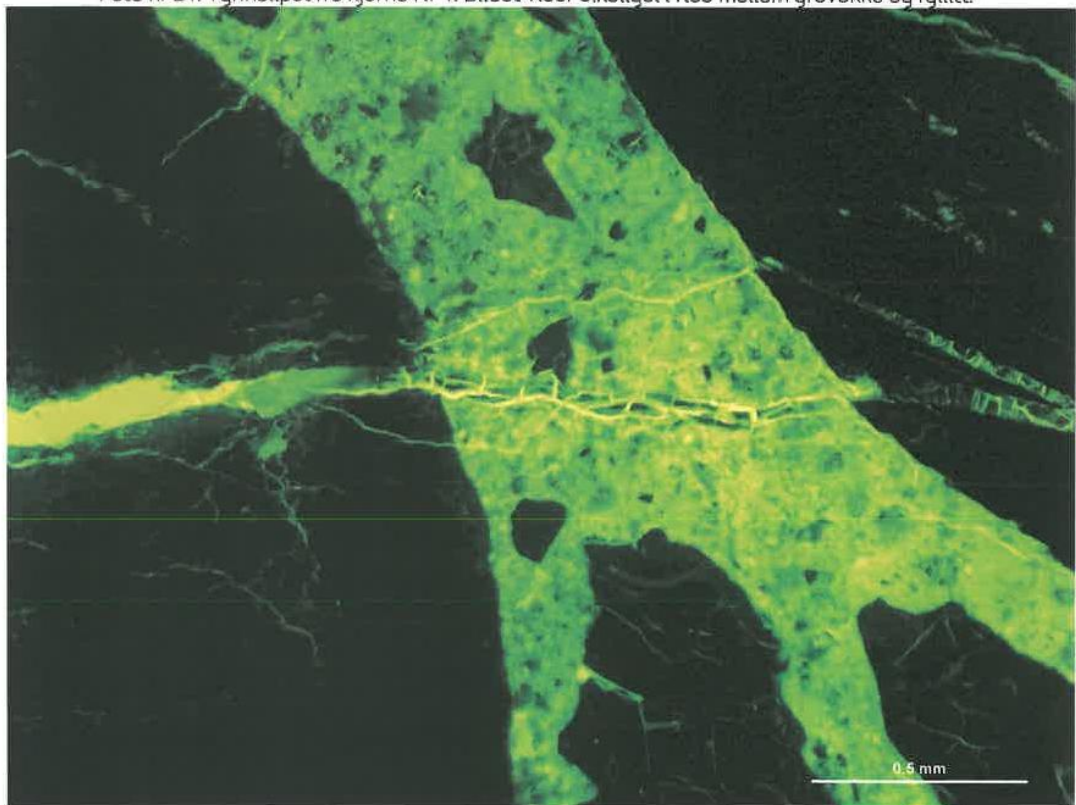


Foto nr 22. Tynnslipet fra kjerne Nr 1 fotografert i fluorescerende lys. Bildeutsnittet er tilnærmet det samme som i foto nr 17.

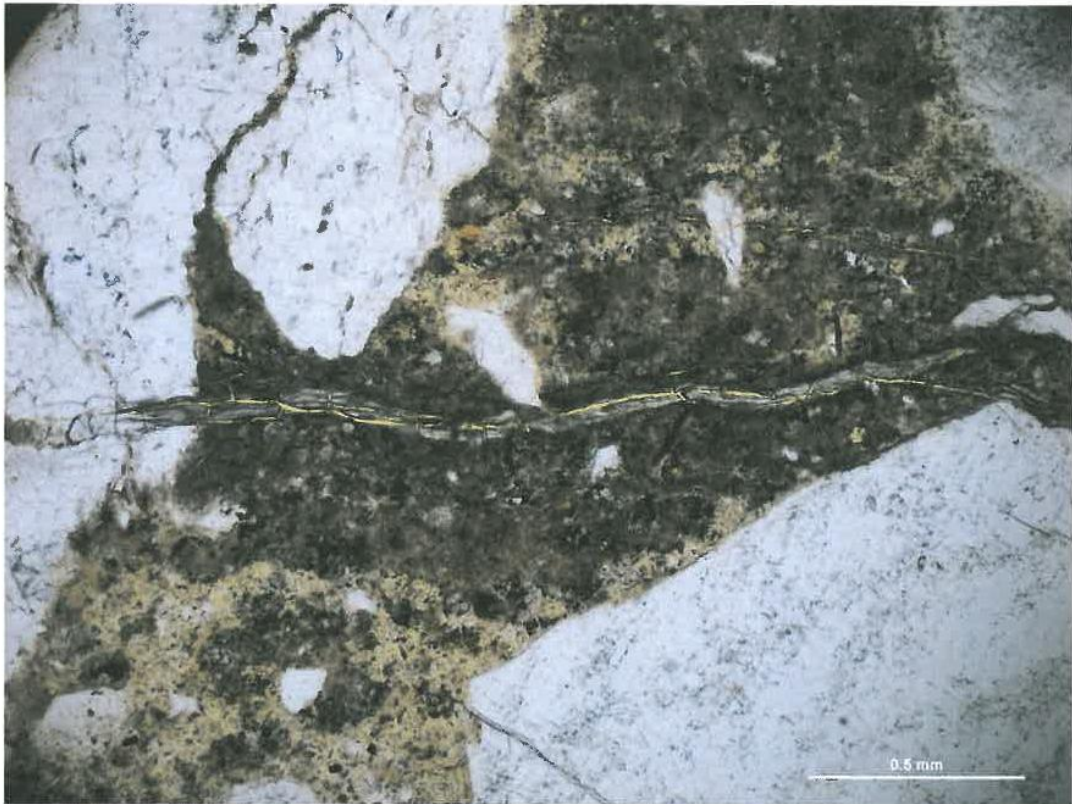


Foto nr 23. Tynnslipet fra kjerne Nr 2. Bildet viser riss ut fra finkornet kvartsitt fylt med alkaligel.

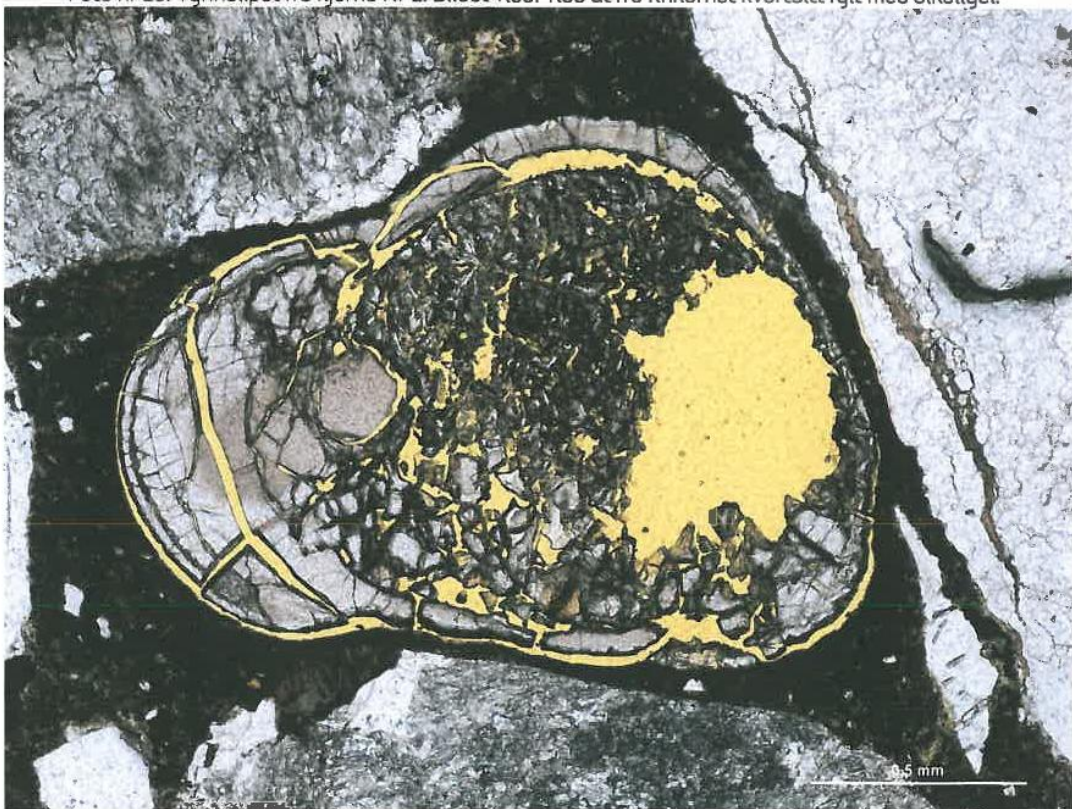


Foto nr 24. Tynnslipet fra kjerne Nr 2. Bildet viser en luftpore fylt med alkaligel. Luftporen ligger ved finkornet kvartsitt.

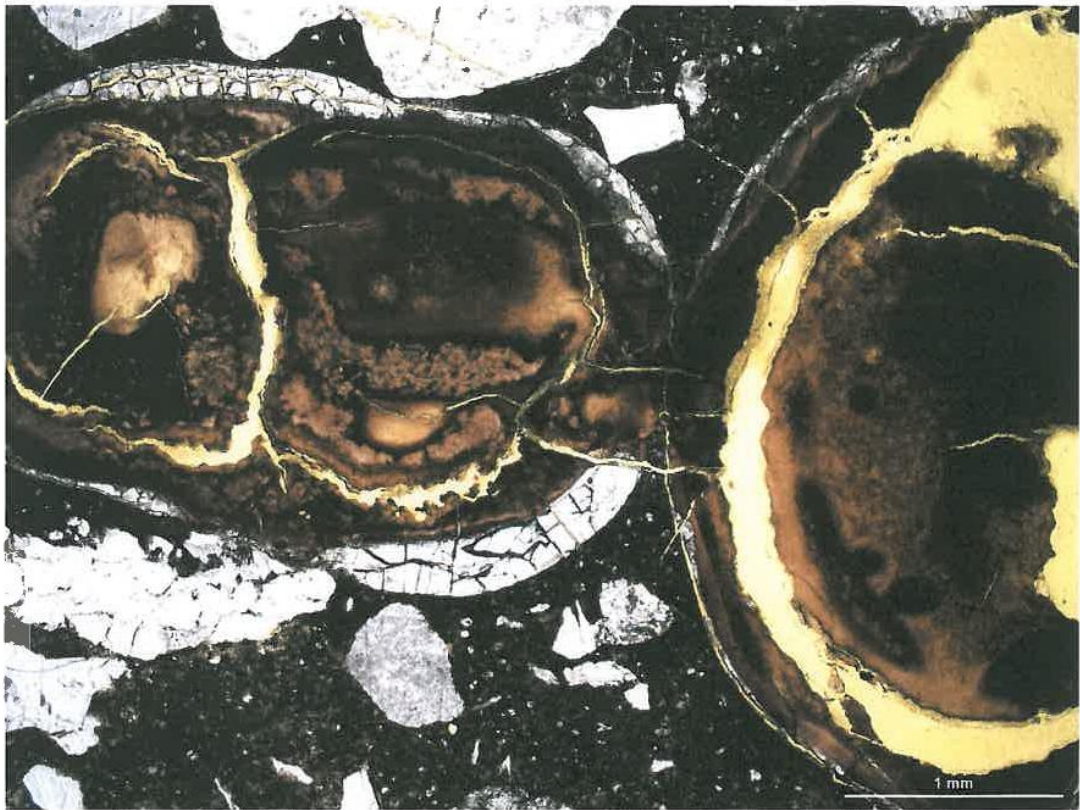


Foto nr 25. Tynnslipet fra kjerne Nr 3. Bildet viser to luftporer som er fylt med alkaligel.

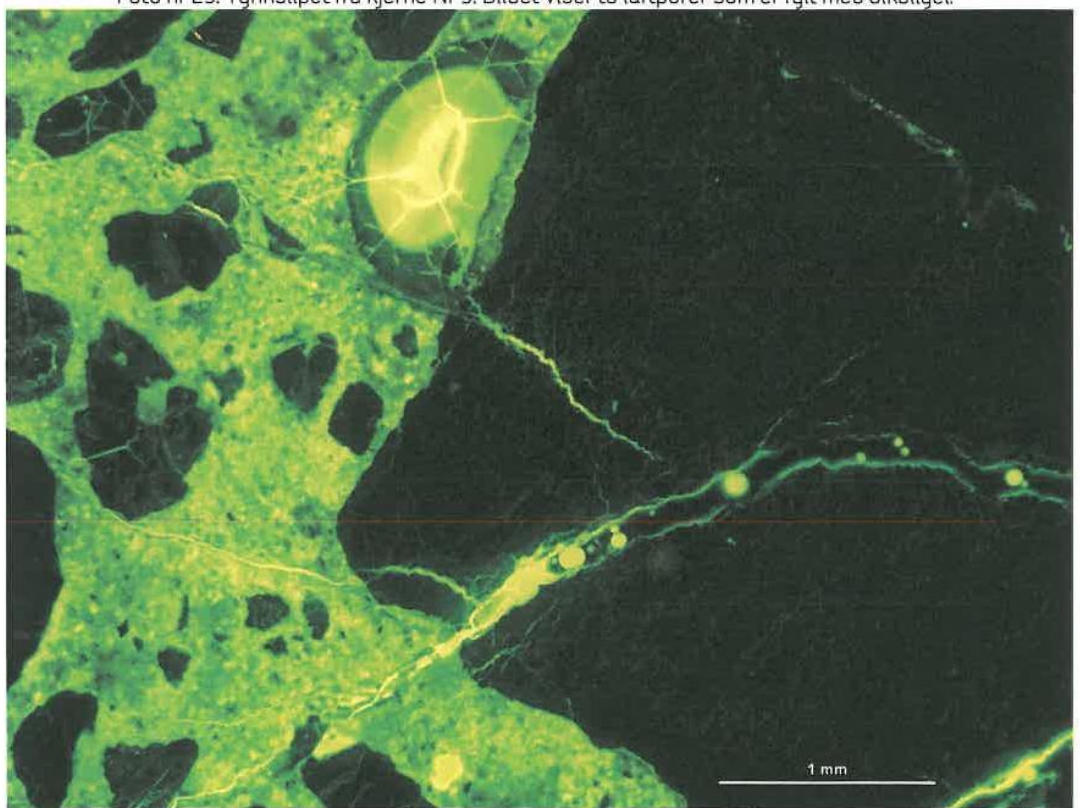


Foto nr 26. Tynnslipet fra kjerne Nr 3 fotografert i fluorescerende lys. Bildet viser riss og luftpore ved finkornet kvartsitt som er fylt med alkaligel.

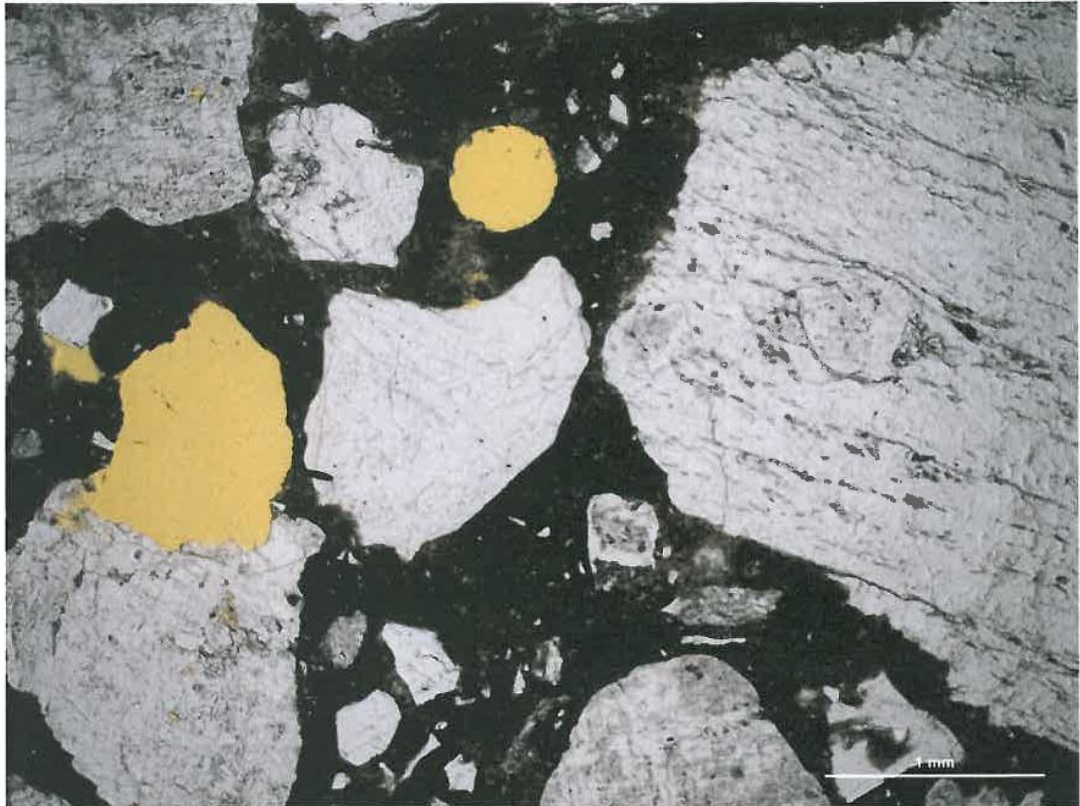


Foto nr 27. Tynnslipet fra kjerne Nr 4. Det kan ikke observeres alkalireaksjoner i betongen.

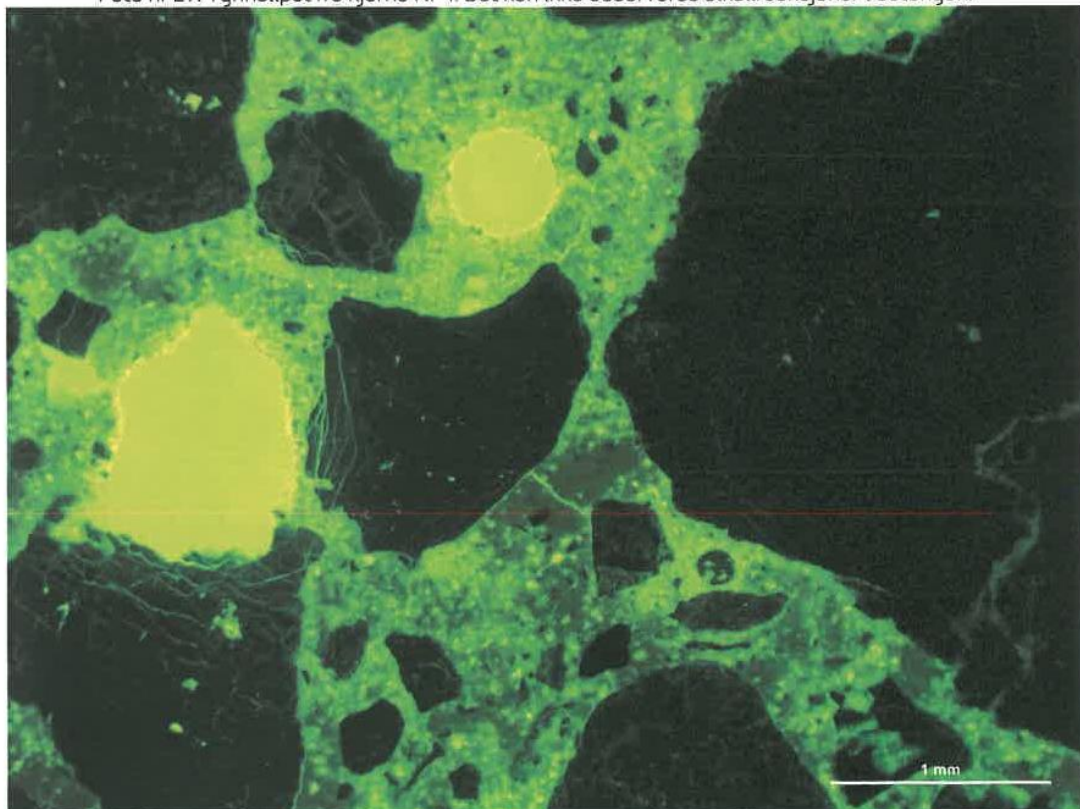


Foto nr 28. Tynnslipet fra kjerne 4 fotografert i fluorescerende lys. Utsnittet er det samme som i foto nr 27.



4 VURDERING AV LABORATORIERESULTATER

Det er observert alkalireaksjoner i borkjerne merket "Nr 1", "Nr 2" og "Nr 3". Reaksjonene har ført til en del intern opprissing i alle kjernene. I kjerne Nr 1 er det påvist mye ettringitt i riss og luftporer, noe som viser at betongen er svært fuktbelastet. I kjerne Nr 2 er det også funnet en del ettringitt, litt mindre i kjerne Nr 3.

I borkjerne Nr 4 er det ikke påvist alkalireaksjoner, men det kan ikke utelukkes at det også her kan være alkalireaksjoner i et meget tidlig stadium.

Kjerne Nr 1 har tydelig overflateparallel opprissing (delaminering). Dette, og at opprinnelig overflatesjikt er borte, tyder på at betongen er frostskaadet.

5 KONKLUSJON

Det er påvist alkalireaksjoner med utfelling av alkali-silikagel i betongen i borkjerne Nr 1, Nr 2 og Nr 3. Reaksjonene har ført til en del intern opprissing i alle disse kjernene. Tynnslianalysene viser også at betongen, spesielt i kjerne Nr 1, er fuktbelastet.

I borkjerne Nr 4 er det ikke påvist alkalireaksjoner, men det kan ikke utelukkes at eventuelle reaksjoner her er i et meget tidlig stadium.

Betongen i kjerne Nr 1 antas i tillegg å være frostskaadet.