

Alkalireaksjoner i betong – fagtur i Nord-Amerika

236661 KPN Alkalireaksjoner i betong – pålitelig konsept for funksjonsprøving

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 467



Tittel

Alkalireaksjoner i betong – fagtur i Nord-Amerika

Undertittel

236661 KPN Alkalireaksjoner i betong – pålitelig konsept for funksjonsprøving

Forfatter

Eva Rodum, Bård Pedersen (Statens vegvesen) og Jan Lindgård (SINTEF)

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

604726

Rapportnummer

Nr. 467

Prosjektleder

Bård Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Betong, alkalireaksjoner, sulfidmineraler, ekspansjon, laboratorieprøving, felteksponering, konstruksjoner

Sammendrag

I regi av SINTEFs KPN-prosjekt «236661 Alkalireaksjoner i betong – pålitelig konsept for funksjonsprøving» (2014-2018) ble det arrangert en fagtur i Nord-Amerika i perioden 12.-22. august 2017. Det faglige programmet var i hovedsak planlagt, tilrettelagt og arrangert av professor Benoit Fournier ved Université Laval i Québec i Canada. Turen startet i Toronto og ble avsluttet i Fredericton, gjennom delstaten Maine i USA. Det ble holdt seminarer/møter med fagfolk fra tre canadiske universiteter (Toronto, Quebec og Fredericton) og representanter fra Maine DOT/FHWA. Fire feltstasjoner ble befart (Kingston, CANMET Ottawa, Treat Island, UNB Fredericton), to dammer (Sartigan og Mactaquac), én betongveg (Trois-Rivières) og flere bruer (Maine, USA). Det faglige innholdet var i hovedsak relatert til alkalireaksjoner i betong, men ekspansjon av betong pga. sulfidmineraler i tilslag ble også diskutert. Rapporten oppsummerer de viktigste faglige inntrykkene fra turen og inneholder en lang referanseliste til aktuell litteratur.

Antall sider 45

Dato Juni 2018

Title

ASR in concrete – technical tour in North America

Subtitle

236661 KPN-ASR Reliable concept for performance testing

Author

Eva Rodum, Bård Pedersen (Statens vegvesen) and Jan Lindgård (SINTEF)

Department

Roads Department

Section

Tunnels and Concrete

Project number

604726

Report number

No. 467

Project manager

Bård Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Concrete, ASR, sulfide minerals, expansion, laboratory testing, field exposure, structures

Summary

As part of the SINTEF project KPN-ASR Reliable concept for performance testing (2014-2018) a technical tour was arranged in North America in August 2017. Professor Benoit Fournier from Université Laval in Québec, Canada, was in charge of the technical programme - as well as the practical and social part of the tour. The tour started in Toronto and ended in Fredericton, crossing through the U.S. State of Maine. Seminars/ meetings were held with experts from three different universities (Toronto, Quebec and Fredericton) and engineers from Maine DOT/FHWA. Four field stations (Kingston, CANMET Ottawa, Treat Island and UNB Fredericton) were visited, in addition to two concrete dams (Sartigan and Mactaquac), one highway pavement (Trois-Rivières) and several bridges (Maine, USA). The main topic for all activities was ASR, but concrete expansion due to oxidation of sulfide-bearing aggregates was also discussed. The report summarizes the main impressions from the tour and includes a list of relevant literature.

Pages 45

Date June 2018

INNHOOLDSLISTE:

1	INNLEDNING	2
2	REISERUTE OG FAGLIG INNHold	2
3	PROGRAM	5
3.1	MINI-SEMINAR – UNIVERSITETET I TORONTO	5
3.2	BEFARING KINGSTON FELTSTASJON	6
3.3	BEFARING CANMETs FELTSTASJON, OTTAWA	9
3.4	BEFARING BETONGVEG, NÆR TROIS-RIVIÈRES	12
3.5	SULFIDMINERALER I TILSLAG – FELTBEFARINGER OG MØTE	15
3.6	WORKSHOP LAVAL	19
3.7	SARTIGAN DAM	22
3.8	BEFARING MASTEFUNDAMENTER	23
3.9	MØTE OG BEFARING – MAINE DOT	26
3.10	MØTE EASTPORT, MAINE	35
3.11	BEFARING TREAT ISLAND FELTSTASJON	35
3.12	BEFARING UNIVERSITY OF NEW BRUNSWICK (UNB) – LABORATORIUM OG FELTSTASJON	39
3.13	BEFARING MACTAQUAC DAM	41
4	OPPSUMMERING – RELEVANS FOR NORSKE KONSTRUKSJONER	44
4.1	ALKALIREAKSJONER	44
4.2	MAGNETKIS.....	44
5	REFERANSER	44

1 Innledning

SINTEF Byggforsk har et pågående kompetanseprosjekt for næringslivet (KPN): "236661, Alkali-reaksjoner i betong – pålitelig konsept for funksjonsprøving" (2014-2018). Forskningsrådet, Norcem, Norstone, Norsk Hydro, Axion og Norsk Stein er finansielle partnere. FoU-partnere er Statens vegvesen, NTNU, universitetene New Brunswick og Laval i Canada, samt forskningsinstituttet LNEC i Portugal.

For å unngå alkalireaksjoner (ASR) i nye betongkonstruksjoner er det i prinsippet to fremgangsmåter: 1) Benytte «ikke-reaktivt» tilslag og 2) Benytte bindemidler som forhindrer alkalireaksjoner selv med reaktivt tilslag. Pga. begrenset tilgang på sikre ikke-reaktive tilslagsressurser er førstnevnte alternativ ofte lite hensiktsmessig. Det kommer stadig nye sementtyper og bindemidler på markedet, hvorav mange forventes å kunne forhindre utvikling av alkalireaksjoner, selv med bruk av alkalireaktive tilslag. Iht. norsk standardverk skal disse bindemidlenes potensiale til å dempe eller eliminere alkalireaksjoner dokumenteres ved funksjonsprøving. Hovedmålet med KPN-prosjektet er å foreslå pålitelige metoder for slik funksjonsprøving. En sentral del av prosjektet er å kalibrere laboratorieresultatene mot virkelig oppførsel i felt, både via etablerte feltstasjoner og mot virkelige konstruksjoner (bruer og dammer). SINTEF har siden 2004 dokumentert feltoppførsel av ulike betongblandinger på sin feltstasjon i Trondheim, delvis også parallelt ved LNECs feltstasjon i Portugal (fra 2010).

I Canada har de mange års erfaring med kalibrering av laboratoriemetoder mot felteksponering. De første feltstasjoner ble etablert allerede i 1991. Alkali-reaksjoner i Canada har mange fellestrekk med alkalireaksjoner i Norge, blant annet geologisk sammensetning av tilslag og klima. Professor Benoit Fournier ved Université Laval i Québec i Canada inviterte derfor deltagere i KPN-prosjektet til en fagtur til Canada for å se på ulike prosjekter de har gående der. I tillegg til feltdokumentasjon av ulike bindemidlers/betongers alkalireaktivitet ble også følgende tema berørt: 1) Effekt av ulike vedlikeholdstiltak ved pågående alkalireaksjoner og 2) Ekspansjon av betong pga. sulfidmineraler i tilslag (f.eks magnetkis). De to sistnevnte aktiviteter var av interesse særlig for Statens vegvesen, relatert til hhv. det pågående FoU-programmet «Bedre bruvedlikehold» (2017-2021) og en nyere problemstilling i Norge knyttet til bruk av tunnelmasser i betongproduksjon lokalt. Statens vegvesen har inngått en samarbeidsavtale med professor Benoit Fournier ved Université Laval innenfor ett av prosjektene i «Bedre bruvedlikehold» som omhandler alkalireaksjoner i betong.

Reisen ble gjennomført i perioden 12. - 22. august 2017, med følgende deltagere fra Norge:

- Børge Johannes Wigum, Heidelberg Cement/NTNU (til 17. august)
- Jan Lindgård, SINTEF Byggforsk
- Bård Pedersen, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- Eva Rodum, Statens vegvesen Vegdirektoratet

Denne rapporten gir en oversikt de møter/seminarer som ble holdt og hvilke feltstasjoner/-objekter som ble befart, og oppsummerer de viktigste faglige inntrykkene fra turen.

2 Reiserute og faglig innhold

Fagturen ble gjennomført som en kombinasjon av seminarer, møter og befarings til feltstasjoner og virkelige konstruksjoner.

Børge J. Wigum sto for arrangementet av et mini-seminar i Toronto, alt øvrig program var planlagt, tilrettelagt og arrangert av Benoit Fournier (Figur 1), i samarbeid med Jan Lindgård. Fournier la ned en imponerende innsats både før og under turen. For hvert punkt på programmet supplerte han med relevant litteratur, f.eks. konferanseartikler med prosjektbeskrivelser og oppdaterte resultater. Programmet holdt et høyt faglig nivå og deltagerne fikk et stort faglig utbytte av turen, inkludert en lang referanseliste med aktuelle artikler (avsnitt 5).

Programmet for turen fremgår av Tabell 1. Reiseruten er vist på kart i Figur 2 og Figur 3.

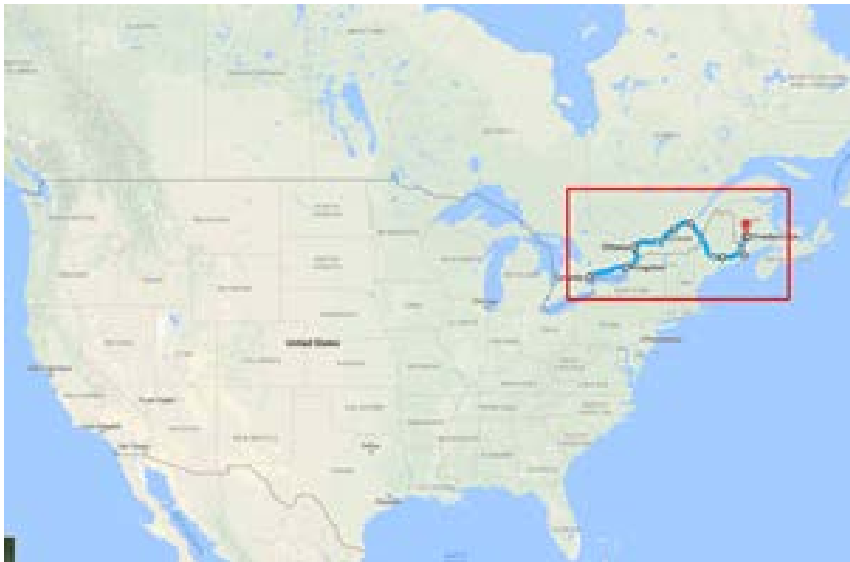


Figur 1 Turarrangør og reiseleder, professor Benoit Fournier. (Foto: Bård Pedersen)

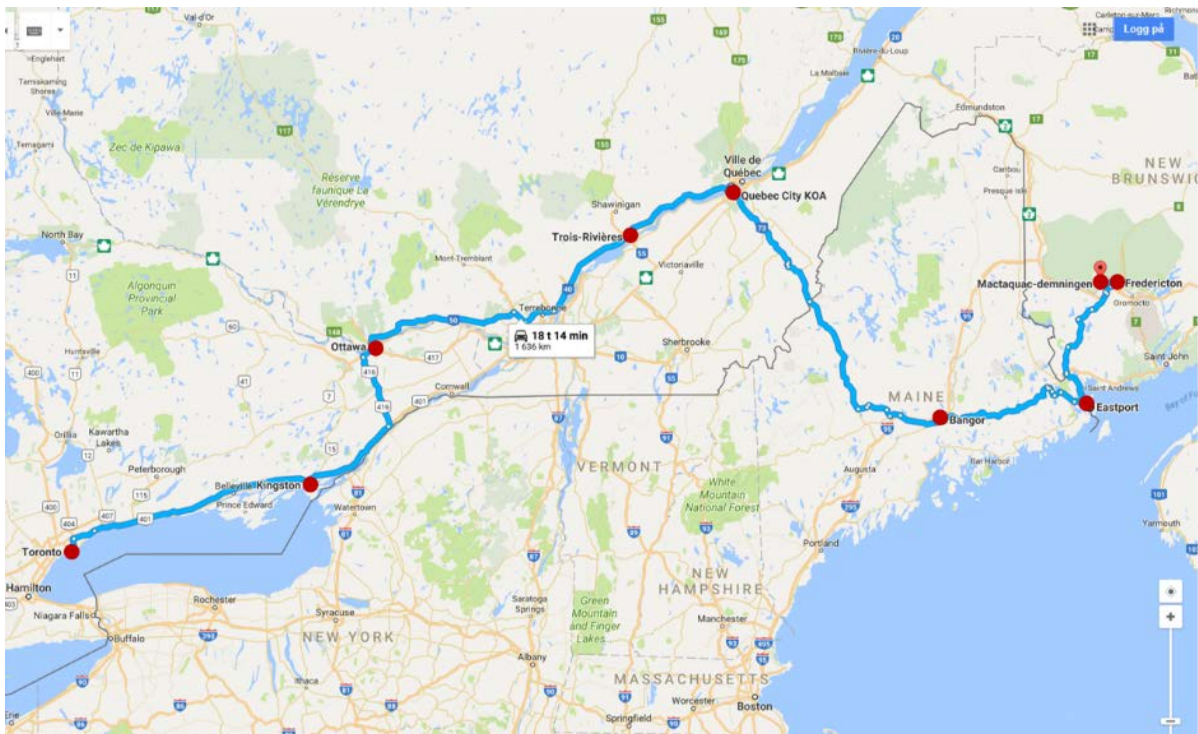
Tabell 1 Program for turen, utarbeidet av Benoit Fournier

Day	Date	Day of week	Stay overnight	Activities
1	12	Saturday	Toronto (airport)	<ul style="list-style-type: none"> • Ben to drive from Québec to Toronto with car rented in Québec City (800 km)
2	13	Sunday	Ottawa	<ul style="list-style-type: none"> • Drive from Toronto to Kingston and visit the exposure site • Drive to Ottawa to stay overnight
3	14	Monday	Trois-Rivières	<ul style="list-style-type: none"> • Visit the CANMET outdoor exposure site • Drive to Trois-Rivières
4	15	Tuesday	Québec	<ul style="list-style-type: none"> • Visit some sites for sulphide-bearing aggregates (buildings, houses, exposure site) • Drive to Québec City • Visit of old city and dinner downtown
5	16	Wednesday	Québec	<ul style="list-style-type: none"> • Workshop in Québec City in the am • Visits of ASR-affected structures • Dinner at home
6	17	Thursday	Bangor (Maine)	<ul style="list-style-type: none"> • Morning in Québec to visit • Drive to Bangor (Maine) from Québec City (about 5-6 hours) • Borge to leave from Québec
7	18	Friday	Easport (Maine)	<ul style="list-style-type: none"> • Presentations at Maine DOT offices • Visit of structures in Bangor/Brewer • Drive to Eastport (Maine)
8	19	Saturday	Easport	<ul style="list-style-type: none"> • Visit of Treat Island exposure site
9	20	Sunday	Fredericton	<ul style="list-style-type: none"> • Morning in Eastport (presentations) • Drive to Fredericton
10	21	Monday	Fredericton	<ul style="list-style-type: none"> • Visit of UNB laboratories and exposure site • Visit of Mactaquac dam
11	22	Tuesday	Flying back	<ul style="list-style-type: none"> • Flight from Fredericton to Toronto and then to Europe • Ben to drive back from Fredericton

Kommentar: Besøket til Treat Island ble flyttet til søndag 20. august pga. dårlig vær lørdag.



Figur 2 Reisen foregikk i sørøstlig del av Canada og nordøstlig del av USA, se detaljert reiserute i Figur 3.



Figur 3 Reiseruten, fra Toronto i sør-vest til Fredericton i nord-øst. De ulike stoppesteder er markert med rødt.

3 Program

3.1 Mini-seminar – universitetet i Toronto

Søndag 13. august arrangerte Børge J. Wigum et mini-seminar med deltagelse fra representanter fra universitetet i Toronto (Figur 4). Seminaret ble holdt på Sandman Signature Mississauga Hotel.

Deltagere fra universitetet i Toronto:

- PhD-student Sóley Einarsdottir
- PhD-student Farideh Golmakani

I tillegg deltok geolog Chris Rogers fra Rock Consulting. Rogers har lang og bred erfaring med betongtilslag og bestandighet av betong, både fra undervisning, forskning og standardiseringsarbeid. Han har også over 30 års erfaring fra Ministry of Transportation of Ontario hvor han blant annet var involvert i etableringen av Kingston feltstasjon i 1991, se avsnitt 3.2.

Følgende presentasjoner ble holdt:

- PhD work by Sóley Einarsdottir
- PhD work by Farideh Golmakani
- AAR-activities at the Norwegian Public Roads Administration by Bård Pedersen
- ASR-KPN project at SINTEF by Jan Lindgård
- AAR-activities in Quebec (and other places) by Benoit Fournier
- RILEM activities by Børge J. Wigum

Sóley Einarsdottir presenterte sitt arbeid med å evaluere fordelaktige effekter av lavalkaliske sementer, med og uten erstatningsmaterialer (SCM = Supplementary Cementing Materials), herunder også vurderinger av behovet for modifisering av de akselererte testmetodene ved prøving av denne typen bindemidler. Studiene inkluderer bindemidler med: 100 % Portlandsement, 25/35/50 % slagg og 15/25/35 % flygeaske. Presentasjonen omhandler spesielt forhold ved alkali-leaching (utlekking) og alkali-boosting (tilførsel) knyttet til CPT-metoden (Concrete Prism Test). Einarsdottir har funnet at mellom 20 og 50 % av alkaliene lekker ut av betongen gjennom en prøvingsperiode på 2 år. Rene Portlandssementer lekker mest, mens utlekkingen avtar ved økende tilsetning av SCMs. For lavalkaliske bindemidler vil utlekkingen være av spesielt stor betydning (utgjør en større feilkilde) og det oppstår dermed et behov for kompensering (boosting) eller isolering av prøvestykkene. Einarsdottir peker på to mulige modifiseringstiltak:

- Boosting til et gitt nivå (% av alkaliinnholdet i sementen)
- Tildekking av deler av prismene med plast

Deler av Einarsdottirs arbeid er publisert ICAAR-konferansen i Brasil 2016 /1/. Hun forsvarte sin PhD-thesis høsten 2017 /2/.

Farideh Golmakani presenterte resultater fra arbeidet hun har utført for å evaluere akselererte testmetoders treffsikkerhet med hensyn på å prediktere betongers alkalireaktivitet i felt. Presentasjonen omhandler både CPT (Concrete Prism Test) og AMBT (Accelerated Mortar Bar Test), sistnevnte med spesiell fokus på effekt av temperatur og alkalinitet i lagringsvæsken. Konklusjonen var at CPT er tidkrevende, men mest treffsikker (til tross for utfordringer knyttet til alkali-leaching). AMBT er mer upålitelig og kan både gi falske positive og falske negative resultater. Forsøk med å redusere temperaturen fra 80 til 60 °C og alkaliniteten fra 1 til 0,65 N NaOH forbedret ikke treffsikkerheten nevneverdig. Golmakani påpekte følgende feilkilder ved akselereringen i AMBT-metoden:

- Endrer poreløsningens kjemiske sammensetning og påvirker ASR-gelen
- Silika løses ut fra tilslag
- Kalsium trekkes ut i gelen fra tilslaget (ikke Ca(OH)₂ fra pastaen)

Deler av Golmakanis arbeid er publisert CSCE-konferansen i London, Canada 2016 /3/.



Figur 4 Frokost miniseminar i Toronto. Fra venstre: Chris Rogers (innfelt), Benoit Fournier, Eva Rodum, Bård Pedersen, Sóley Einarsdóttir, Farideh Golmakani, Jan Lindgård og Børge J. Wigum. (Foto: Børge J. Wigum)

3.2 Befaring Kingston feltstasjon

Søndag 13. august ble det gjennomført en befaring til Ontario Ministry of Transportation sin feltstasjon i Kingston.

Feltstasjonen ble etablert i 1991, med et todelt formål:

- 1) Undersøke effekten av ulike kombinasjoner og mengder med erstatningsmaterialer for sement (SCMs) for å hindre utviklingen av ASR i betongen
- 2) Korrelere resultatene fra korttids (akselererte) laboratorieundersøkelser med resultatene fra langtids feltforsøk

Seks ulike betongblandinger ble produsert, alle med reaktivt Spratt-tilslag (silikaholdig kalkstein). Det ble støpt ut blokker ($0,6 \times 0,6 \times 2 \text{ m}^3$ - både armerte og uarmerte) og plater i grunnen ($0,2 \times 1,2 \times 4 \text{ m}^3$). SCM-innholdet i de seks blandingene er vist i Tabell 2. Ingen av blandingene ble tilsatt ekstra alkalier.

Tabell 2 Innhold av SCM og beregnet alkaliinnhold i de ulike blandingene /4/.

Blanding nr	SCM, % av bindemiddelvekt	Alkali-innhold ^{*)} , $\text{kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O eqv.}$
1	50 % høyalkalisk Portlandsement og 50 % granulert slagg	3,01
2	82 % høyalkalisk Portlandsement og 18 % flygeaske type F	2,98
3	75 % høyalkalisk Portlandsement og 25 % granulert slagg	3,14
4	24 % høyalkalisk Portlandsement, 25 % granulert slagg og 51 % sement inneholdende 7,5 % silikastøv (totalt innhold av silikastøv er 3,8 % av bindemiddelmengden)	3,33
5	100 % lavalkalisk Portlandsement	1,91
6	100 % høyalkalisk Portlandsement	3,28

*) Alkaliinnhold fra tilsetningsmaterialer (silikastøv/flygeaske/slagg) er ikke medregnet, i tråd med praksis i Canada.

Foto av et utvalg blokker og plater på feltstasjonen er vist i Figur 5, foto av feltstasjonenes informasjonsskilt er vist i Figur 6.

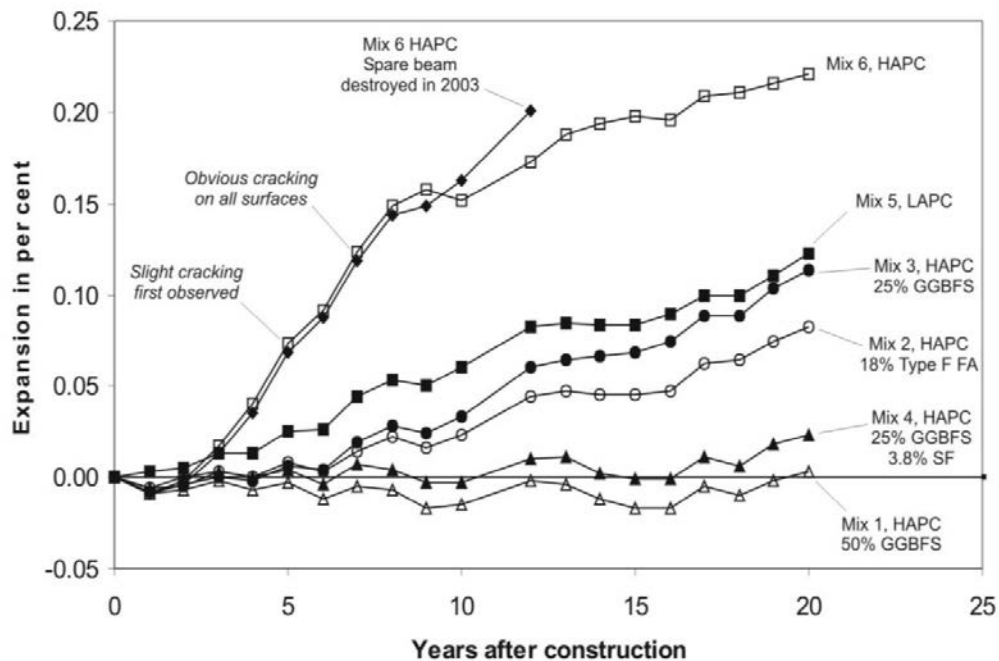


Figur 5 Et utvalg betongblokker/-plater på Kingston feltstasjon. Befaringsdeltagerne er fra venstre: Eva Rodum, Benoit Fournier, Jan Lindgård, Sóley Einarsdóttir, Børge J. Wigum og Bård Pedersen.



Figur 6 Informasjonsskilt på Kingston feltstasjon.

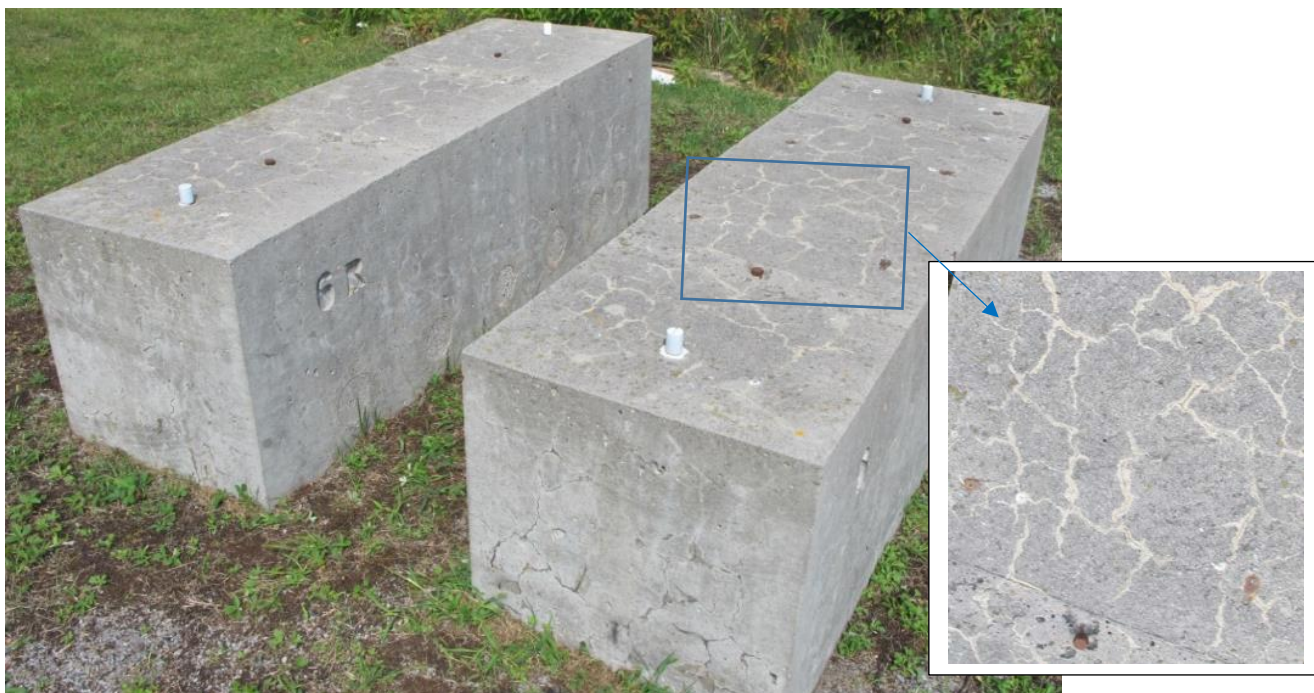
Det er utført målinger av ekspansjon hvert år. Etter 7 års eksponering (i 1998) var det kun blokker fra referanseblandingen (nr 6) som viste signifikante tegn på ekspansjon og opprissing. Etter 20 års eksponering (i 2011) ble det registrert signifikant ekspansjon på betong fra fire av de seks blandingene. Unntakene var blanding 1 og 4 /4/. Figur 7 viser ekspansjonsutvikling for alle uarmerte betongblokker fram til 2011. Foto av risstilstand i uarmert blokk med 18 % flygeaske (FA) (blanding 2) og referanseblokker (blanding 6) pr august 2017 er vist i Figur 8 og Figur 9.



Figur 7 Ekspansjonsutvikling for uarmerte betongblokker fra 1991 til 2011 /4/.



Figur 8 Uarmert blokk med 18 % FA (blanding 2), med nærfoto av toppflate. Begynnende opprissing. (Foto: Børge J. Wigum)



Figur 9 Referanseblokker (blending 6), armert til venstre og uarmert til høyre. Tydelige krakeleringssriss i topp- og sideflater. (Foto: Eva Rodum)

20-årsresultater fra feltmålingene ble presentert på ICAAR-konferansen i Texas i 2012 /4/. I dette paperet er det gjort en sammenstilling mellom akselererte laboratorieforsøk og målte ekspansjoner i felt. Fra disse resultatene er det verdt å merke seg at betong fra blanding 2 (18 % FA tilsatt) og 5 (lavalkali Cem I) viste ekspansjon like i underkant av 0,04 % etter 2 år ved akselerert prøving i henhold til Canadisk 38°C CPT (som benytter mindre prismestørrelse enn Norsk Betongprismemetode). Ekspansjon på 0,04 % etter 2 år brukes ofte som en grenseverdi for å klassifisere ikke-reaktive betongblandinger i Canada og USA. På feltstasjonen (Figur 7) er ekspansjonen betydelig høyere etter 20 års eksponering, hhv. ca. 0,08 % (blanding 2) og 0,12 % (blanding 5).

3.3 Befaring CANMETs feltstasjon, Ottawa

Mandag 14. august ble CANMETs feltstasjon i Ottawa besøkt. Oversiktsbilde av feltstasjonen er vist i Figur 10.



Figur 10 Oversikt over CANMETs feltstasjon i Ottawa. (Foto: Eva Rodum)

Denne feltstasjonen ble etablert i 1991 for å dokumentere relevansen av ulike akselererte testmetoder for alkalireaktiv betong, samt dokumentere langtidseffekten av erstatningsmaterialer for sement (SCM) som ekspansjonsdempende tiltak.

Det ble støpt ut et stort antall betongresepter med følgende variabler:

- Ulike reaktive steintilslag (naturlig og knust)
- Ulike mengder og typer flygeaske, silikastøv og slagg
- Ulike sementtyper

Det ble støpt ut prismer for laboratorietesting:

- Ved standard betingelser (38 °C, RF > 95 %)
- Ved alternative betingelser (neddykket i 1N NaOH ved 38 °C eller 80 °C)
- Iht ASTM C 1567 Accelerated Mortar Bar Test (neddykket i 1N NaOH ved 80 °C)

For felteksponering ble det støpt ut:

- Betongblokker (0,4 x 0,4 x 0,7 m³) - både med og uten ekstra tilsatt mengde alkalier
- Plater i grunnen (0,15 x 0,7 x 0,7 m³)

Testprogram og resultater er bl.a. publisert på ICAAR-konferansene i 2004 /5/ og i 2016 /6/.

Resultater etter 15 års felteksponering viser at betonger tilsatt 20 og 30 % flygeaske (av bindemiddelmengden) har varierende reaksjonsdempende effekt avhengig av tilslaget reaktivitet. Figur 11 /6/ viser at 20 % flygeasketilsetning (klasse F) ikke er tilstrekkelig til å unngå skadelige reaksjoner (her definert til ekspansjon på 0,05 %) for ett av de moderat reaktive tilslagene og alle de høy-reaktive tilslagstypene etter 15 år.

Kommentarer til de høyreaktive tilslagstypene: Tilslaget merket Sp er Spratt, som er en høy-reaktiv silikaholdig kalkstein (silicified limestone). Denne har i flere forsøk i COIN-prosjektet ved SINTEF vist ekspansjoner tilsvarende Ottersbo pukk (foreløpig upubliserte resultater). Tilslaget merket Sl er fra Springhill, en høy-reaktiv gråvacke/argillitt. Dette er samme type tilslag som det som er benyttet i Mactaquac-dammen (se avsnitt 3.13). Tilslaget merket NM er det ekstremt reaktive New Mexico-tilslaget. Dette er inkludert som referanse i "LNEC cube study"-kubene som er plassert på 10 ulike feltstasjoner i Europa og Nord-Amerika (se avsnitt 3.11). De fleste av disse kubene var risset opp allerede ved ankomst til de ulike feltstasjonene (etter noen få måneders lagring ved ca. 20°C i plast og fuktige strisekker i kjelleren til LNEC).

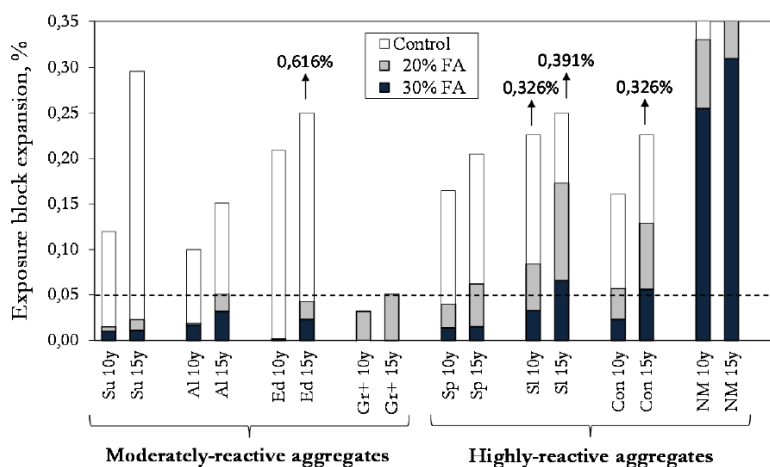
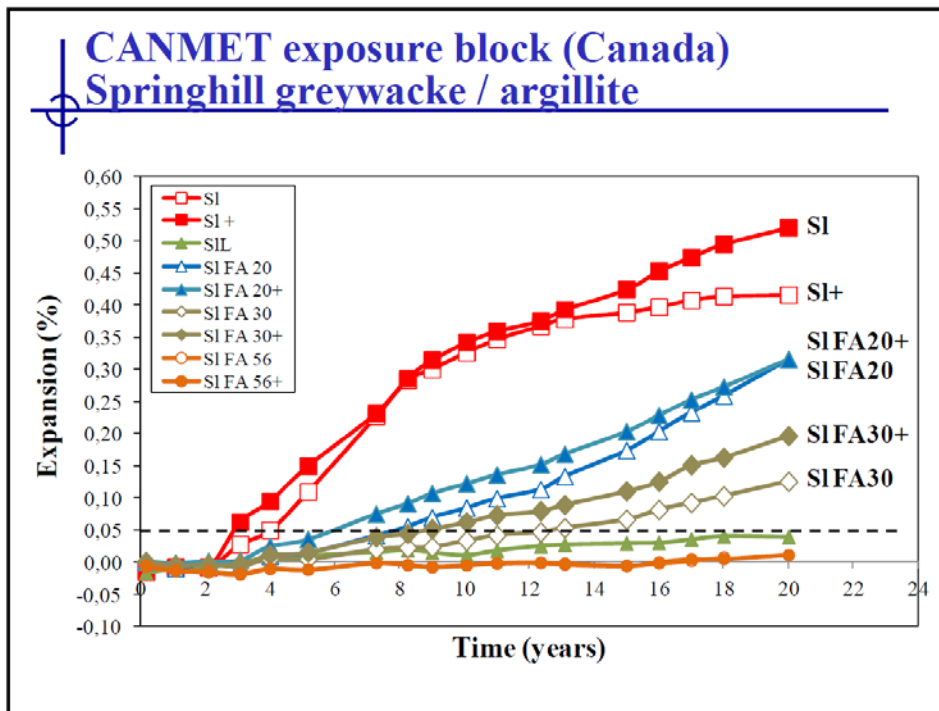


Figure 3: 10- and 15-year expansions of control and fly ash concrete exposure blocks. The data are presented for mixtures without added alkalis, with the exception of the blocks incorporating the Gr aggregate (Gr+; control at 10 years and 15 years: 0,015% and 0,051%). The 10- and 15-year expansions for the control blocks NM are 0.469% and 0.684%, respectively. The alkali content (in kg/m³, Na₂Oeq) of the concrete mixtures is as follows:

	FA content	0%	20%	30%
Alkali content	Control	3.78	--	--
	FA	--	3.02	2.65
	FA+	--	4.20	3.68

Figur 11 Ekspansjon av betongblokker etter 10 og 15 års felteksponering /6/.

Upubliserte 20-årsresultater for Sudbury-tilslaget; SuControl/Su20%FA/Su30%FA og Springhill-tilslaget; SIControl/SI20%FA/SI30%FA viser ekspansjoner på hhv. 0,564/0,031/0,009 % og 0,415/0,288/0,113 % /7/, se også Figur 12 for ekspansjonskurver for Springhill-tilslaget /8/. Det er altså en betydelig økning i ekspansjon også fra 15 til 20 år.



Figur 12 Ekspansjon av betongblokker med Springhill-tilslag, 20 års felteksponering /8/. Testseriene merket "+" er tilsatt ekstra alkalier ("boosted" med NaOH), slik at totalt alkaliinnhold i blandingen tilsvarer 1,25 % Na₂O ekv. i sementklinkeren.

CANMETs feltstasjon er senere (ukjent årstall) utvidet med flere betongblokker/-plater. Det er blant annet gjennomført et prøveprogram med formål å undersøke den reaksjonsdempende effekten av:

- 6 ulike flygeasker med ulike CaO-innhold
- Flygeaske klasse C (høyt innhold av CaO) blandet med små mengder silikastøv

Prøveprogrammet inkluderer sju ulike, moderat til svært reaktive, tilslag fra Canada og USA, herunder samme tilslagstype som brukt i Mactaquac-dammen (jfr avsnitt 3.13).

Det ble utført laboratorietesting ved Accelerated Mortar Bar Test (ASTM C 1567) og Concrete Prism Test (CSA A23.2-14A & 28A) av de ulike betongene, samtidig som det ble støpt ut blokker (0,4 x 0,4 x 0,7 m³) for felteksponering både på CANMET feltstasjon og på Treat Island.

Det er også utplassert betongblokker med ulike typer overflatebehandling.

Det er ikke mottatt detaljerte opplysninger/publikasjoner som vedrører de betongblokker m.m. som er utplassert etter 1991.

3.4 Befaring betongveg, nær Trois-Rivières

Tirsdag 15. august ble det gjennomført en befaring til en vegstrekning (highway) i betong som ble bygd i 1970-årene, men som aldri ble satt under trafikk. Vegstrekningen ligger nær Trois-Rivières, se Figur 13.



Figur 13 Utsnitt fra Google maps. Den aktuelle vegstrekningen er markert med rød ring.

Følgende opplysninger er gitt vedrørende betongen og skadeutviklingen:

- Ca 2 km lang vegstrekning
- Betongtykkelse ca 250 mm
- Armert med nett med senteravstand 150 mm
- Tilslag av reaktiv kalkstein (åla Spratt)
- Opprissing ble observert etter 10 år
- Total ekspansjon pr dato er anslått til ca. 0,2-0,3 ‰

Følgende ble observert:

- Betydelig skader i enkelte plateskjøter, dette i form av stukninger (vertikal/horizontal forskyvning) og knusninger, se Figur 14 og 15. Skadene er i hovedsak observert i de støpte fugene som er armert med dybler (hver 8. fuge, de øvrige fugene er saget)
- Rissmønsteret endres fra krakeleringsriss i midtpartiene til riss parallelt med vegens lengderetning nær de ødelagte fugene
- Tilsynelatende mindre opprissing under kryssende bru, der betongen er mer beskyttet mot nedbør

Vegstrekningen har vært gjenstand for diverse forskningsarbeid. I et arbeid utført av Allard et.al. /9/ er det boret ut et større antall kjerner fra fire ulike lokaliteter på betongdekket, med ulik visuell skadegrad, for bestemmelse av ulike parametere, herunder:

- DRI - Damage Rating Index
- SDT - Stiffness Damage Test
- Trykkfasthet
- Strekkfasthet

DRI-metoden er en petrografisk analyse av et polert planslip for å kvantifisere ulike parametere som kjennetegner alkalireaksjoner (riss i pasta, riss i tilslag, ASR-gel, reaksjonsrender rundt tilslag, ...). Planslipet tildannes ved å dele kjernen i to i lengderetningen slik at arealet tilsvarer kjernens diameter x

lengde. Det tegnes opp et rutenett på 1 x 1 cm² på planslipet før hver rute undersøkes i mikroskop med en forstørrelse på ca 15X. Hver parameter telles og multipliseres med en bestemt vektfaktor. Summen av alle vektete parametere normaliseres for et areal på 100 cm² og presenteres som Damage Rating Index (DRI). DRI-metoden er nærmere beskrevet i avsnitt 3.6.



Figur 14 Oversiktsbilde. Deformert fuge i forgrunnen. (Dronefoto: Børge J. Wigum)



Figur 15 Støpt fuge med dybler. Kraftige deformasjoner. (Foto: Eva Rodum)

SDT-metoden innebærer en syklisk trykkbelastning opp til maksimum 40 % av opprinnelig (uskadet) trykkfasthet. Syklingen gjennomføres fem ganger med en på-/avlastingshastighet på 0,1 MPa/s mens last/deformasjon logges. Det bestemmes en Stiffness Damage Index (SDI) og en Plastic Deformation Index (PDI) som vist i Figur 16. E-modulen bestemmes basert på deformasjonsforløpet i 2. og 3. pålasting.

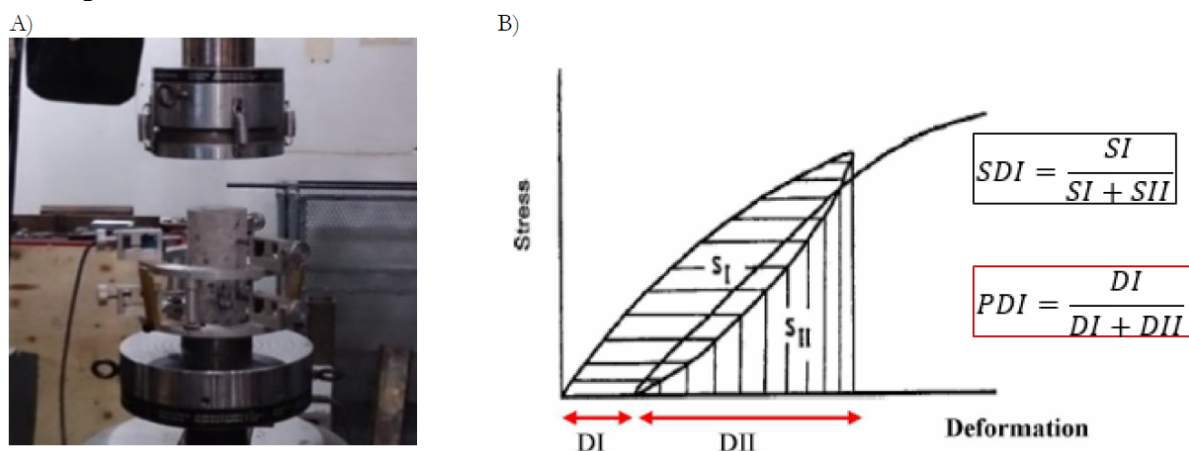


FIGURE 3: Stiffness Damage Test (SDT). A: Experimental set-up used at Université Laval for the test. B: New parameters introduced by Sanchez [2] for the test, i.e. Stiffness Damage Index (SDI) and Plastic Deformation Index (PDI).

Figur 16 SDT-metoden. Prøvingsoppsett og bestemmelse av SDI (Stiffness Damage Index) og PDI (Plastic Deformation Index) /9/.

De fire lokalitetene i dekket ble klassifisert som følger (basert på visuell vurdering av opprissingsgrad):

NE: minimally damaged (under kryssende bru, beskyttet mot nedbør)

ME: moderately damaged

E1: heavily damaged

E2: heavily damaged (nær knust fuge)

De ulike testmetodene som ble benyttet viste ulik evaluering av skadegrad, se Figur 17. Det er antydnet at dette kan skyldes upresis klassifisering av opprissingsgrad forut for utboring. Basert på en samlet vurdering av alle testresultater er det kun lokalitet E1 som bestemt kan klassifiseres som «truly damaged». Det er planlagt ytterligere undersøkelser av betongen i de ulike deler av vegdekket.

TABLE 6: Reduction in mechanical properties, SDI, DRI and the corresponding ASR damage assessment for each zone, this study.

Assessment	Stiffness Reduction (%)	Compressive strength reduction (%)	Tensile strength reduction (%)	SDI	DRI	Supposed expansion level	ASR damage assessment
NE	0	0	0	0.12	283	0.00 - 0.04%	negligible to marginal
ME	-7	-9	-	0.13	328	0.00 - 0.04%	negligible to marginal
E1	27	23	32	0.20	716	0.04 - 0.20%	marginal to high
E2	-1	-6	-	0.14	539	0.00 - 0.20%	negligible to high

Figur 17 Resultatene fra de ulike testmetodene /9/.

3.5 Sulfidmineraler i tilslag – feltbefaringer og møte

3.5.1 Bakgrunn

Jernsulfider i tilslag kan forårsake skadelige reaksjoner i betong, dette har vært rapportert flere steder i verden siden 1950-tallet. I første rekke er det magnetkis som er rapportert å skape problemer, mens svovelkis og markasitt i mindre grad antas å være problematisk. I nærvær av oksygen og vann vil det skje en oksidering og dannelse av svovelsyre. Svovelsyren vil i første omgang angripe portlandtitten ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) og det vil dannes gips. Også ettringitt og thaumasitt vil kunne dannes avhengig av betingelsene /15/. Resultatet er forvitring og ekspansjon av betongen.

Vi har i Norge ingen kjente skader som følge av magnetkis, men problematikken har nylig blitt aktualisert i forbindelse med bygging av Follo-banen. I dette jernbaneprosjektet var masser fra tunneldrivingen tiltenkt brukt som tilslag i betongelementene i tunnelen. I den Europeiske tilslagsstandarden er det stilt krav om maksimalt innhold av svovel på 0,1 % dersom det er påvist magnetkis i tilslaget. Det ble tatt en rekke prøver av tilslag fra Follo-banen, og flere av prøvene viste forekomst av magnetkis samtidig med svovelinnhold over grenseverdien (de høyeste verdiene var på ca 0,25 %). (Memo fra Ytterdal/Grasbakken Pettersen, 2017). På bakgrunn av disse analysene ble det besluttet å ikke benytte tunnelmasser til betongtilslag.

I Canada er det i området rundt Trois-Rivières påvist omfattende skader som følge av sulfidmineraler, det er rapportert om skader på mer enn 1000 grunnmurer. Det har i de senere år blitt gjennomført forskning på dette fagområdet i Canada som er svært relevant for vår del.

3.5.2 Befaringer i Trois-Rivières distriktet

Tirsdag 15. august ble det gjennomført befaringer til:

- En provisorisk feltstasjon med tilsagede elementer fra kasserte grunnmurer
- Et fjøs med sulfatskader i grunnmuren

I forbindelse med en skadesak hvor det ble påvist store skader på grunnmuren i flere hundre hus (allerede 3-5 år etter bygging), fikk flere av huseierne bekostet nye grunnmurer. I forbindelse med utskiftingsarbeidene ble det etablert en provisorisk feltstasjon hvor ulike deler av grunnmurene (hvh. opprinnelig fuktig eksponert yttervegg og opprinnelig tørt eksponert innervegg) ble utplassert for oppfølging (Figur 18 og 19).

Elementene ble utplassert i 2011. Det gjennomføres måling av riss og ekspansjon 3 ganger i året, hhv i mai, august og oktober. Det er også foretatt utboring av kjerner fra flere av elementene for gjennomføring av laboratorieundersøkelser. Eksempel på et element saget til fra yttervegg er vist i Figur 20 og eksempel på indre opprissing i yttervegg er vist i Figur 21.

Elementer som ble saget til fra innervegger hadde ingen skader ved utplassering, men begynner nå etter 3 års felteksponering å vise tegn på ekspansjon og opprissing. Det er foreløpig ikke publisert resultater fra feltstasjonen.



Figur 18 Provisorisk feltstasjon med elementer tilsaget fra ulike deler av utskiftede grunnmurer, hhv. opprinnelig fuktig eksponert yttervegg og opprinnelig tørt eksponert innervegg. (Foto: Eva Rodum)



Figur 19 Oversikt feltstasjon med elementer tilsaget fra ulike deler av utskiftede grunnmurer. (Foto: Eva Rodum)



Figur 20 Kraftig opprisset element, saget til fra yttervegg - slemmet overflate (ytterside) til venstre, ubehandlet overflate (innerside) til høyre. (Foto: Eva Rodum)



Figur 21 Til venstre: Foto av tilsaget element fra opprinnelig fuktig eksponert yttervegg, etter utboring av kjerner. Til høyre: Nærbilde av øvre venstre borhull, merk intern opprissing. (Foto: Jan Lindgård)

Fra feltstasjonen gikk turen til en bonde som har fått skadeutvikling i grunnmuren til et fjøs bygd i 2005, se Figur 22. Bygget er ett av flere som kan bli involvert i en kommende rettsak. Skadene ble observert etter 3 år. Skadene er verst ut mot hjørnene hvor ekspansjonen kan gå relativt fritt, se Figur 23.



Figur 22 Fjøs bygd 2005. Ekspansjon og opprissing i grunnmur pga sulfatreaksjoner i betongen. (Foto: Eva Rodum)



Figur 23 Nærbilde av skade på grunnmur. (Foto: Bård Pedersen)

3.5.3 Møte ved Laval universitet

Onsdag 16. august ble det arrangert et møte ved Laval universitetet (Figur 24) om mulig samarbeid rundt magnetkis/sulfidminerale, hvor professor Benoit Fournier og professor Josee Duchesne deltok. Vi har i Norge identifisert et behov for forskning på dette området (mekanismer og kritiske grenseverdier, kvantifisering av sulfidminerale, prøvingsmetoder samt eventuell effekt av tilsetningsmaterialer for å dempe reaksjoner). Konklusjonen fra møtet er at et første steg i et samarbeid kan være å arrangere et seminar i Norge (gjerne i form av et nordisk miniseminar) hvor Benoit Fournier og Josee Duchesne inviteres.



Figur 24 Møte ved Laval universitetet. Professor Josée Duchesne, Børge J. Wigum, Bård Pedersen og Jan Lindgård. (Foto: Eva Rodum)

Duchesne, Fournier og deres kolleger har publisert en rekke artikler på sulfidholdige tilslag, skadeutvikling, testmetoder m.m., både på konferanser og i tidsskrift. Disse er inkludert i referanselisten i avsnitt 7 /10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18/ og er tilgjengelig ved henvendelse til rapportforfatterne.

3.6 Workshop Laval

Onsdag 16. august ble det arrangert en workshop med flere av Fourniers MSc-studenter. Følgende presentasjoner ble holdt:

- Mathieu Champagne presenterte DRI-metoden (Damage Rating Index) og viste eksempler på bruk av metoden på flere ulike konstruksjoner, herunder også tre bruer fra Norge
- Mélissa Roy Tremblay presenterte sitt arbeid med å utvikle en prosedyre/metode for risskvantifisering ved fotoanalyse av fluorescensimpregnerte planslip.
- Frédéric Beland presenterte arbeid han har utført i samarbeid med Hydro Quebec, på bruk av restekspansjon for å estimere videre skadeutvikling. Han ser på to ulike metoder:
 - o Residual reactive silica content
 - o Residual alkali content

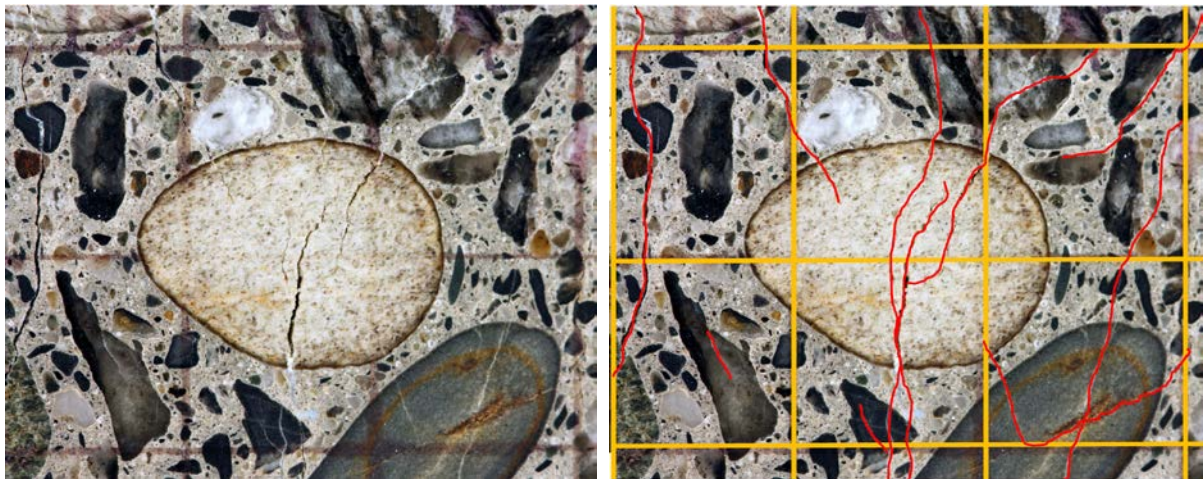
Resultatene fra Champagnes og Tremblays masteroppgaver vil bli oppsummert i KPN-prosjektet.

Etter presentasjonene fikk vi en omvisning i laboratoriet og en demonstrasjon av DRI-metoden v/ Mathieu Champagne, se Figur 28. Metoden gjennomføres i korthet som følger /19/:

- Det tildannes et planslip ved å dele en betongkjerne i to i lengderetningen. Anbefalt minste størrelse på planslipet er 200 cm²
- Det tegnes på et 1 cm² rutenett på planslipet, se Figur 25 og Figur 26
- Planslipet undersøkes visuelt i mikroskop med 16 x forstørrelse
- Innenfor hver rute telles et sett petrografiske parametere som gis ulik vektning (se tabell i Figur 27)
- Antall av de petrografiske parameterene legges inn i et regneark og det beregnes en Damage Rating Index, for hver rute og som middelerverdi for ønskede deler av/hele planslipet. Som hovedregel rapporteres en DRI-verdi for hele slipet.



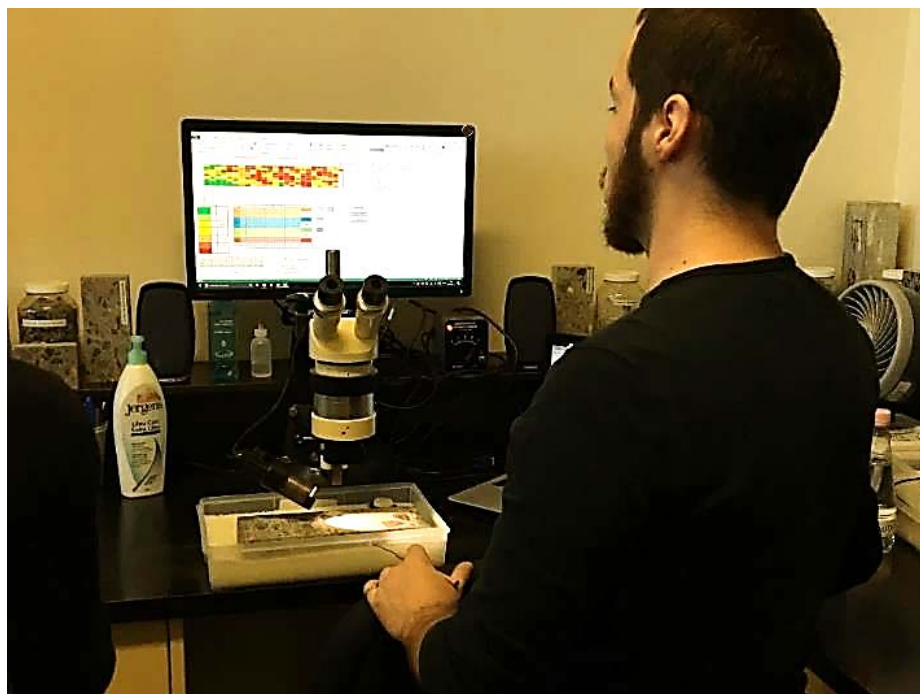
Figur 25 Planslip med påtegnet 1 cm² rutenett. (Foto: Jan Lindgård)



Figur 26 Til venstre: Utsnitt av planslip med påtegnet 1 cm² rutenett, til høyre: rutenett og riss forsterket med hhv. gule og røde streker /19/.

Petrographic features		Acronyms	Weighing factors	
			Original Method	Modified Method
			Grattan-Bellew and Mitchell (2006)	Villeneuve et al. (2012)
Crack in the particles (> 1 mm)	Closed (without reaction products)	CCA	0.75	0.25
	Opened or in a fine network (without reaction products)	OCA	4	2
	Opened or in a fine network (with reaction products)	CA + RP	2	2
Crack in the cement paste	Without reaction products	CCP	2	3
	With reaction products	CCP + RP	4	3
Debonded aggregate (> 1 mm)		Debon	3	3
Disaggregated / corroded aggregate (> 1 mm)		RAP	---	2
Reaction rim (> 1 mm)		RR	0.5	---
Reaction products in voids of the cement paste		RPV	0.5	---

Figur 27 Oversikt over petrografiske parametere som telles og opprinnelige og modifiserte vektall /19/.



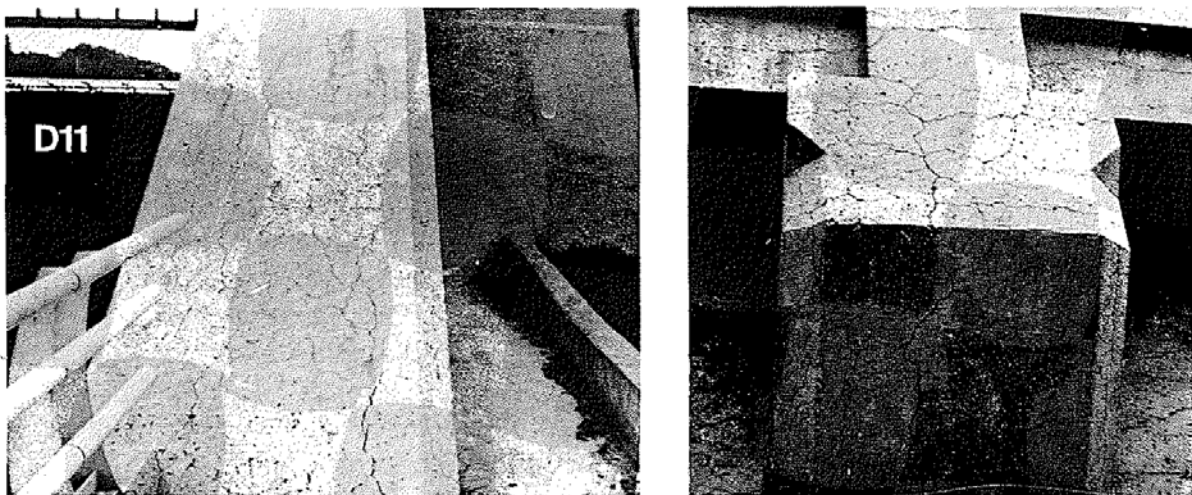
Figur 28 Masterstudent Mathieu Champagne demonstrerer utstyr og prosedyre for bestemmelse av DRI (Damage Rating Index) på planslip. (Foto: Eva Rodum)

3.7 Sartigan dam

Torsdag 17. august ble det gjennomført en befaring til Sartigan dam, se oversiktsbilde i Figur 29. Dammen ble bygd i 1967 og allerede etter 20 år ble det registrert store skader pga. alkalireaksjoner i betongen /20/. Skadesituasjonen i 1987 er vist i Figur 30. Foto i Figur 31 viser skadeomfang i 2017. Benoit Fournier benytter dammen som undervisningsobjekt for studentene sine.



Figur 29 Oversikt nedstrøms side av Sartigan dam. (Foto: Eva Rodum)



Figur 30 Skadesituasjon med omfattende opprissing i 1987 /20/. Bildet til venstre viser samme konstruksjonsdel (toppflate skråpilar) som i Figur 31.



Figur 31 Skadesituasjon i 2017. Skråpilar til venstre er den samme som avbildet i 1987, se Figur 30. (Foto: Eva Rodum)

3.8 Befaring mastefundamenter

Torsdag 17. august ble det gjennomført en befaring til ei stor stålmast på en kraftledning nær Quebec City, se Figur 32. Stålmasta er fundamentert på flere store betongfundamenter og er bygd på midten av 1960-tallet.

På slutten av 1980-tallet ble det oppdaget at betongfundamentene på flere stålmaster hadde utviklet skader pga. alkalireaksjoner /21/. I 1986-87 ble det gjennomført reparasjoner av om lag 30 fundamenter, med ulike typer reparasjoner:

- Fjerning av ytre lag betong, innlegging av ny armering og kappestøp
- Injeksjon av riss med epoksy
- Forsterkning med etterspente stålrammer + overflatebehandling med membran
- Overflatebehandling med membran

Fra 1991 ble det igangsatt et oppfølgingsprogram for å måle videre ekspansjon og følge skadeutviklingen ved visuelle registreringer. Reparasjonsarbeider, oppfølgingsprogram og resultater fram til 2013 ble presentert av Durand og Fournier på ICAAR-konferansen i 2016 /21/. Både reparerte fundamenter (ulike reparasjonsmetoder, med unntak av kappestøp) og ikke-reparerte referanser inngikk i måleprogrammet. Innledende undersøkelser (1992) av utborede kjerner viste at skadeomfanget varierte mye avhengig av tilslagstype: Betong med kalksteinstilslag var i hovedsak opprisset, mens kun noen få betonger med gråvakke hadde tydelig opprissing. Ved senere undersøkelser (2012-2013) hadde dog også betong med gråvakke utviklet tydelige skader i form av krakeleringsriss på overflata.



Figur 32 Oversikt stål mastefundament med betongfundamenter reparert i 1986-87. (Foto: Eva Rodum)

Basert på ekspansjonsmålinger utført i perioden 1992-2000 og i 2012-2013 (over totalt 20 år) er det beregnet en gjennomsnittlig ekspansjon i % pr år. Resultatene (Tabell 3) viser at de beskrevne reparasjonstiltakene ikke har hatt signifikant innvirkning på ekspansjonshastigheten. De midlere målte årlige ekspansjoner er rapportert i /21/ og gjengitt i Tabell 3.

Tabell 3 Gjennomsnittlig årlig ekspansjon for de ulike reparasjonstiltak /21/.

Reparasjonstiltak	Midlere ekspansjon, % / år	Antall målepunkt
Ureparerte referansefundamenter	0,013	3
Injiserte fundamenter	0,024 0,016	6 5
Overflatebehandlede fundamenter (membran)	0,015	15
Etterspente stålrammer + overflatemembran	0,012	1

Den stålmaster som ble befart hadde fundamenter som var reparert med ulike metoder. Master var gjerdet inn, så det var ikke mulig å inspisere fundamentene på nært hold. Oversiktsbilde av fundament med etteroppent stålramme og membran er vist i Figur 33.



Figur 33 Betongfundament reparert ved forsterkning med etteroppspent stålramme og tett membran, utført 1986-87. (Foto: Bård Pedersen)

3.9 Møte og befaring – Maine DOT

Fredag 18. august ble det arrangert et møte med representanter fra Maine DOT (Department of Transportation) og FHWA (Federal Highway Administration), se Figur 34. Følgende personer deltok i møtet:

- Michael F. Praul, P.E. Senior Concrete Engineer, FHWA—Office of Asset Management, Pavements, and Construction
- Dale Peabody, P.E., Maine DOT, Director, Transportation Research
- Brian Lawrence, Team Leader, FHWA – Maine District
- Scott Haradon – Senior Engineering Technician – Materials & Testing, Maine DOT
- Mark Gray – Engineer – Bridge Program, Maine DOT
- Ahmed Shkara – Assistant Engineer – Bridge Program, Maine DOT
- Mike Wight – Project Manager – Bridge Program, Maine DOT
- Rich Myers – Project Manager – Bridge Program, Maine DOT

Etter møtet ble det gjennomført en befaring til utvalgte brukonstruksjoner som inngår i et prosjekt på overflatebehandling av ASR-skadet betong, ledet av Benoit Fournier. Prosjektet er en del av et FHWA-sponset FoU-program «Alkali-Silica Reactivity (ASR). Development and Deployment Program».



Figur 34 Møte med representanter fra Maine DOT og FHWA. Benoit Fournier presenterer FHWA-prosjektet med overflatebehandling av ASR-skadet betong. (Foto: Eva Rodum)

Fournier ga en presentasjon av FoU-prosjektet på overflatebehandling:

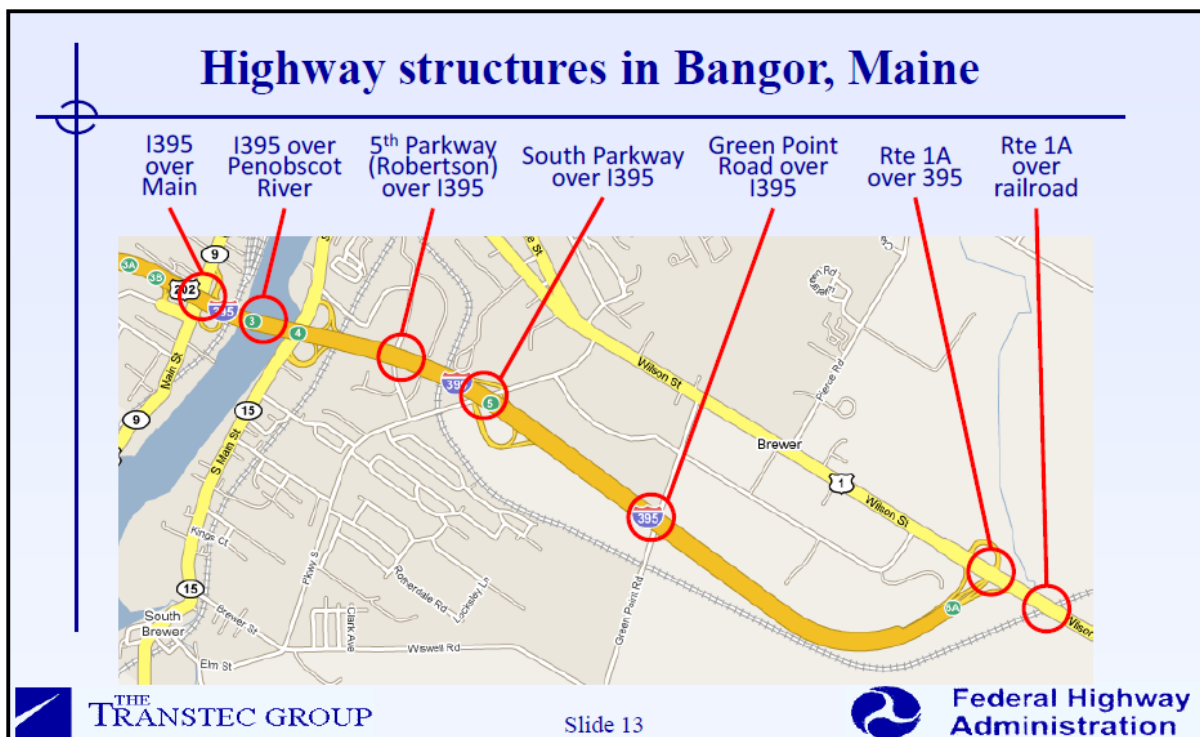
- Bakgrunn for prosjektet – ASR og typiske skader
- Valg av bruobjekter langs I-395 (Interstate highway 395)
- Innledende undersøkelser før behandling
 - Visuell inspeksjon
 - DRI – Damage Rating Index
 - SDT – Stiffness Damage Test
- Overvåkingsprogram
 - Bolter i rutenett 50 x 50 cm², for ekspansjonsmåling med DEMEC
 - Relativ fuktighet med Vaisala målesystem, i ulike dybder fra overflata
 - Cracking Index (overflaterissindeks), måling av rissvidder langs linjer i et kvadrat på større flater eller langs enkeltlinjer rundt sirkulære søyler

- Typen overflatebehandling inkludert
 - o Enviroseal 70 (40 % silan), påført ved sprøyting
 - o Protectosil BHN (100 % silan), påført ved sprøyting
 - o Sikagard («strecthy painting»), påført med rull
 - o Lithium, påført ved elektrokjemisk migrasjon
 - o FRP – 4 lag med karbonfiberarmert polymer
- Utført sommer/høst 2010
- Oppfølging
 - o Målerunde 2013
 - o Ny målerunde 2018?
- Rapporter
 - o Field application report /22/
 - o Final report /23/

Det er planlagt en ny målerunde på de ulike brukonstruksjonene i 2018, men finansieringen av dette arbeidet er enda ikke på plass.

Etter møtet ble følgende brukonstruksjoner befart, se kart i Figur 35:

- 5th Parkway (Robertson Road) bridge over I-395
- South Parkway over I-395
- I-395 over Main Street



Figur 35 Oversikt over bruere inkludert i FoU-prosjektet (ref. Benoit Fourniers presentasjon).

5th Parkway (Robertson road) bridge over I-396:

Under befaringen ble landkar mot nord inspisert. Landkaret er delt i to testområder, hhv. en halvpart behandlet med 100 % silan og en ubehandlet halvpart (referanse), se Figur 37.

Lokalitet av fire ulike prøvefelt (Site 5-8, ref. /23/) og eksempler på opprissingsgrad er vist på foto i Figur 38 - Figur 40.



Figur 36 5th Parkway (Robertson Road) bridge over I-396. (Foto: Eva Rodum)



Figur 37 5th Parkway (Robertson Road) bridge over I-396, landkar mot nord. Venstre halvdel er behandlet med 100 % silan, høyre halvdel er ubehandlet referansefelt. Målelinjer for rissvidder (Site 6, 7 og 8 iht. /23/) er forsterket på fotoet. (Foto/ill.: Eva Rodum)



Figur 38 5th Parkway (Robertson Road) bridge over I-396. Site 6 (100 % silan). (Foto: Eva Rodum)



Figur 39 5th Parkway (Robertson Road) bridge over I-396. Site 6 (100 % silan). Rissvidde målt til 0,85 mm. (Foto/ill.: Eva Rodum)



Figur 40 5th Parkway (Robertson Road) bridge over I-396. Site 5 (100 % silan) til venstre, Site 8 (referanse) til høyre. Målefelt for overflateriss og RF-målere (montert i 3 dybder). (Foto/ill.: Eva Rodum)

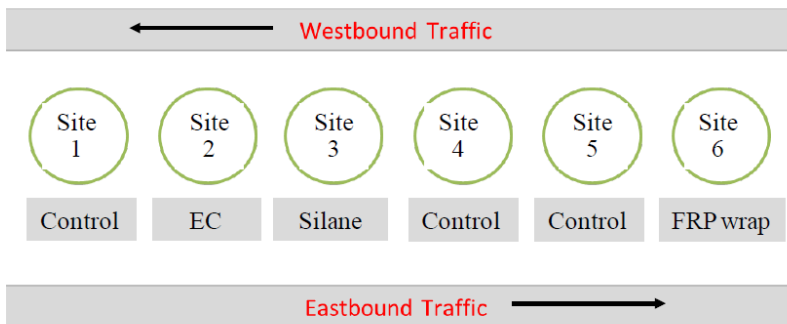
South Parkway over I-395:

Under befaringen ble søylerekken midt under brua inspisert, se Figur 41. Søyle nr 1, 4 og 5 er ubehandlede referanser, søyle 2 er elektrokjemisk behandlet med lithium (EC), søyle nr 3 er påført 40 % silan og søyle nr 6 er påført karbonfibervev (FRP wrap), se Figur 42.

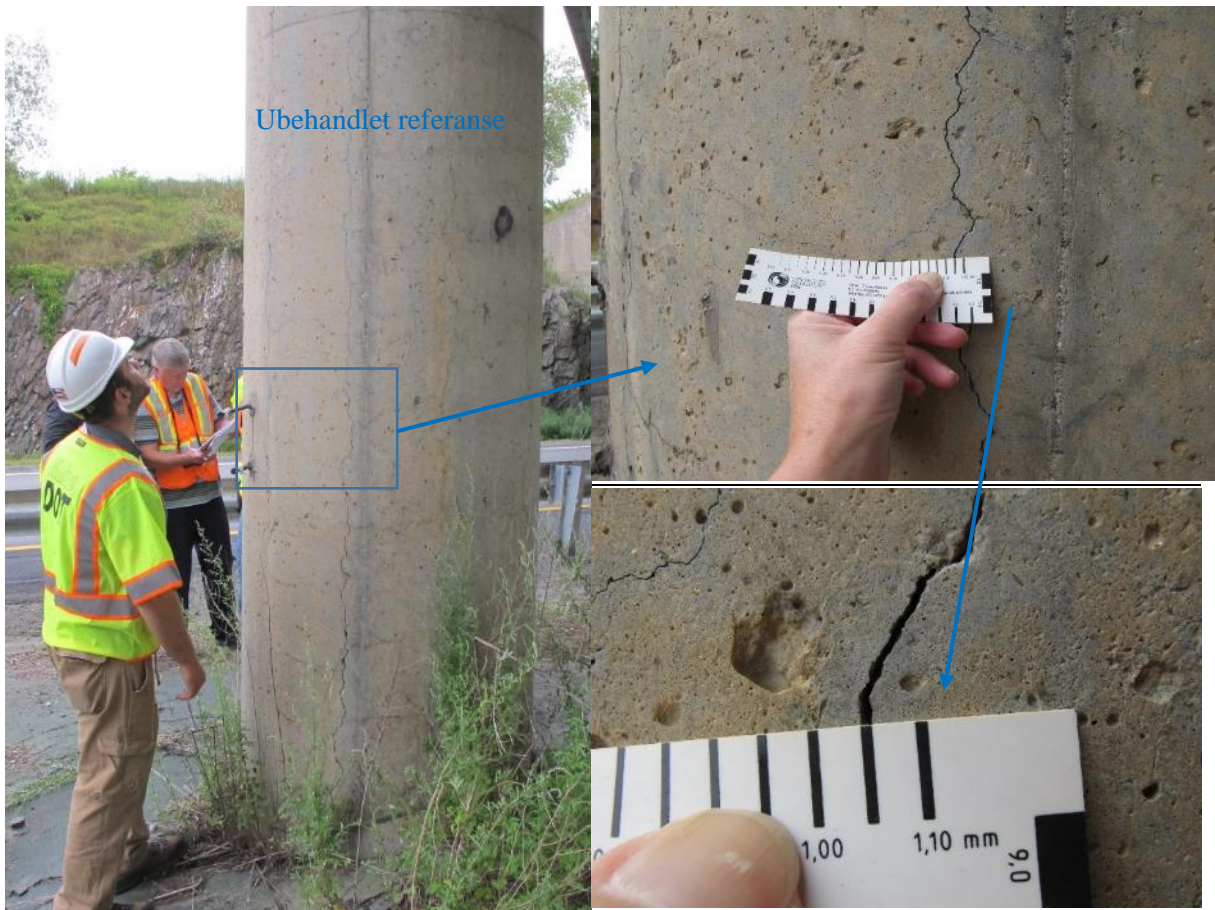
Foto av søyle 1 og 6 er vist i Figur 43 og Figur 44.



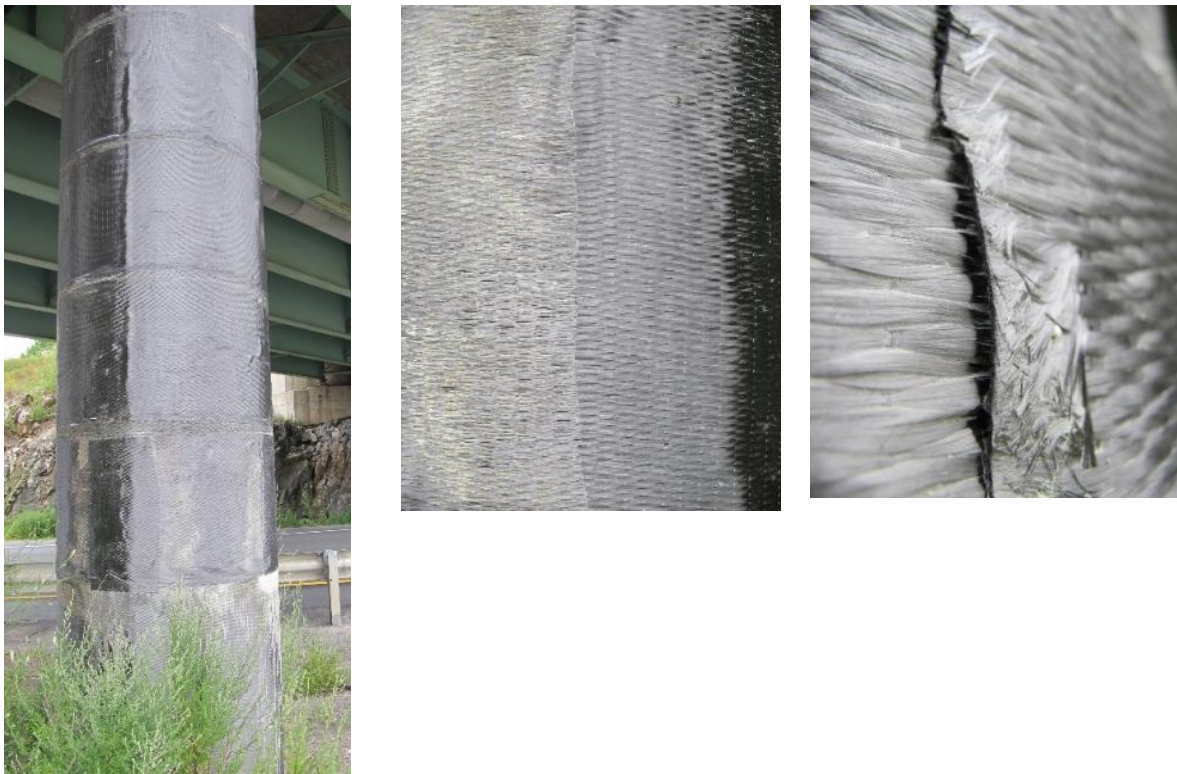
Figur 41 South Parkway bridge over I-395. Søyle nr 1-6 fra venstre, se Figur 42. (Foto: Eva Rodum)



Figur 42 Søylenummer og type overflatebehandling /23/.



Figur 43 South Parkway bridge over I-395. Søyle nr 1 (ubehandlet referanse). Rissvidde målt til 1,05 mm. (Foto/ill.: Eva Rodum)

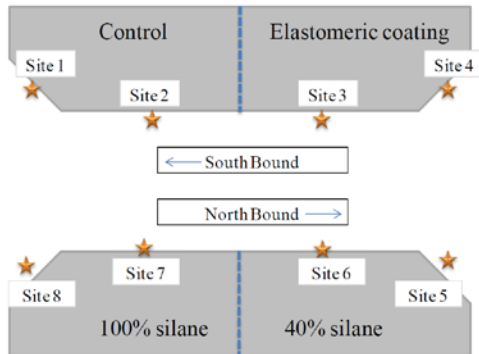


Figur 44 South Parkway bridge over I-395. Søyle nr 6 – med karbonfiberrev. Lite epoksy? (Foto: Eva Rodum)

I-395 over Main Street:

Begge landkar ble inspisert. Landkar mot vest delt i to testområder, hhv. en ubehandlet halvpart (referanse) og en halvpart behandlet med elastomeric coating, se Figur 45 og Figur 46. Landkar mot øst har en halvpart behandlet med 40 % silan og en halvpart behandlet med 100 % silan, se Figur 45.

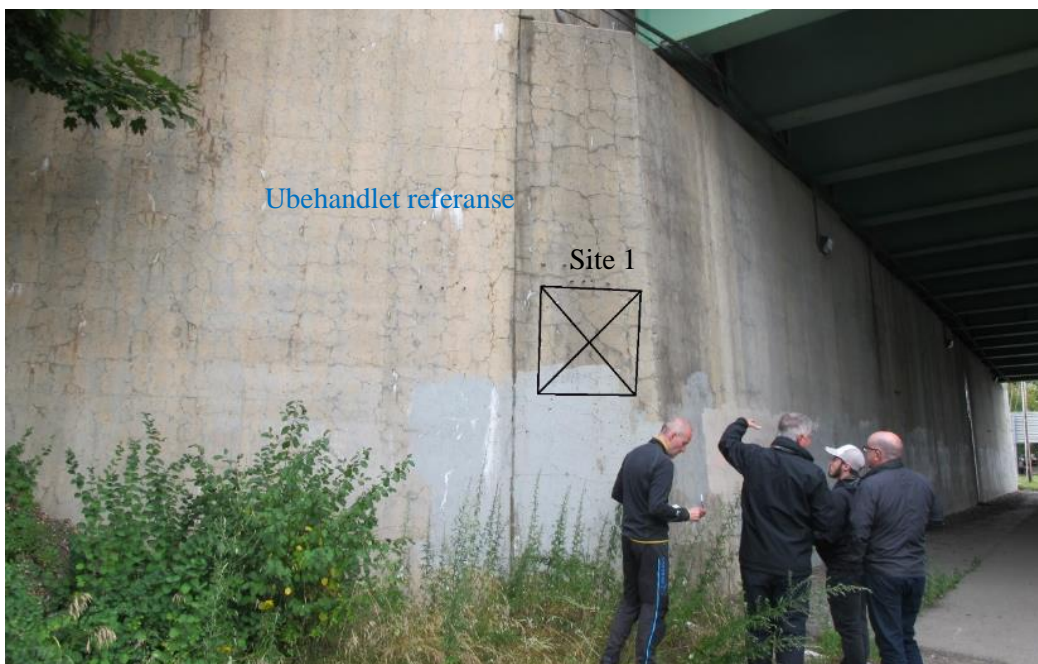
Nærfoto av diverse observasjoner (opprissingsgrad, tilstand av beleg) er vist i Figur 47 - Figur 52.



Figur 45 Skisse som viser type overflatebehandling og lokalitet av prøvefelt /23/.



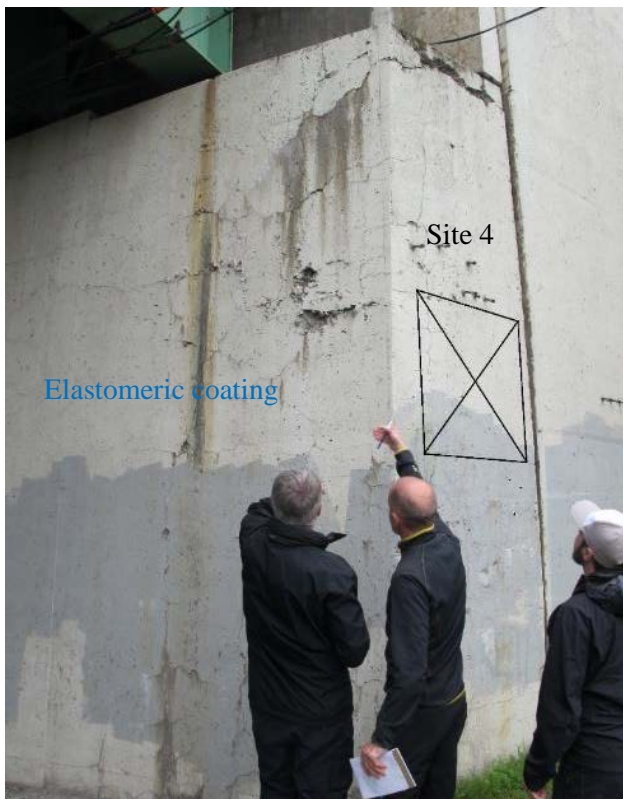
Figur 46 I-395 over Main Street. Oversikt landkar mot vest. (Foto/ill.: Eva Rodum)



Figur 47 I-395 over Main Street. Landkar mot vest, ubehandlet område. Målelinjer for rissvidder (Site 1) er forsterket på fotoet. (Foto/ill.: Eva Rodum)



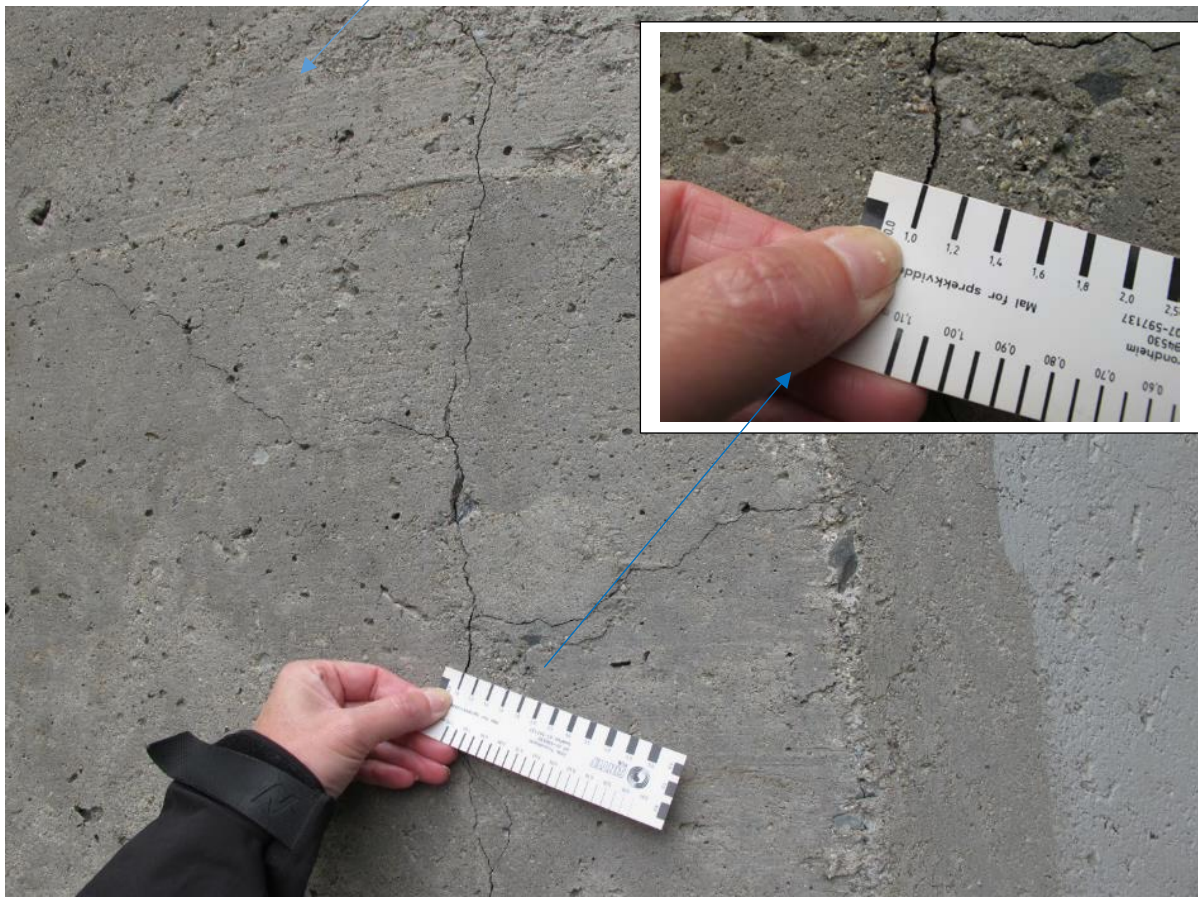
Figur 48 I-395 over Main Street. Landkar mot vest. Til venstre: Overgang ubehandlet/belagt område. Til høyre: Nærfoto av overflater med Elastomeric coating. Belegget virket tynt og fyller ikke porer i overflata. (Foto/ill.: Eva Rodum)



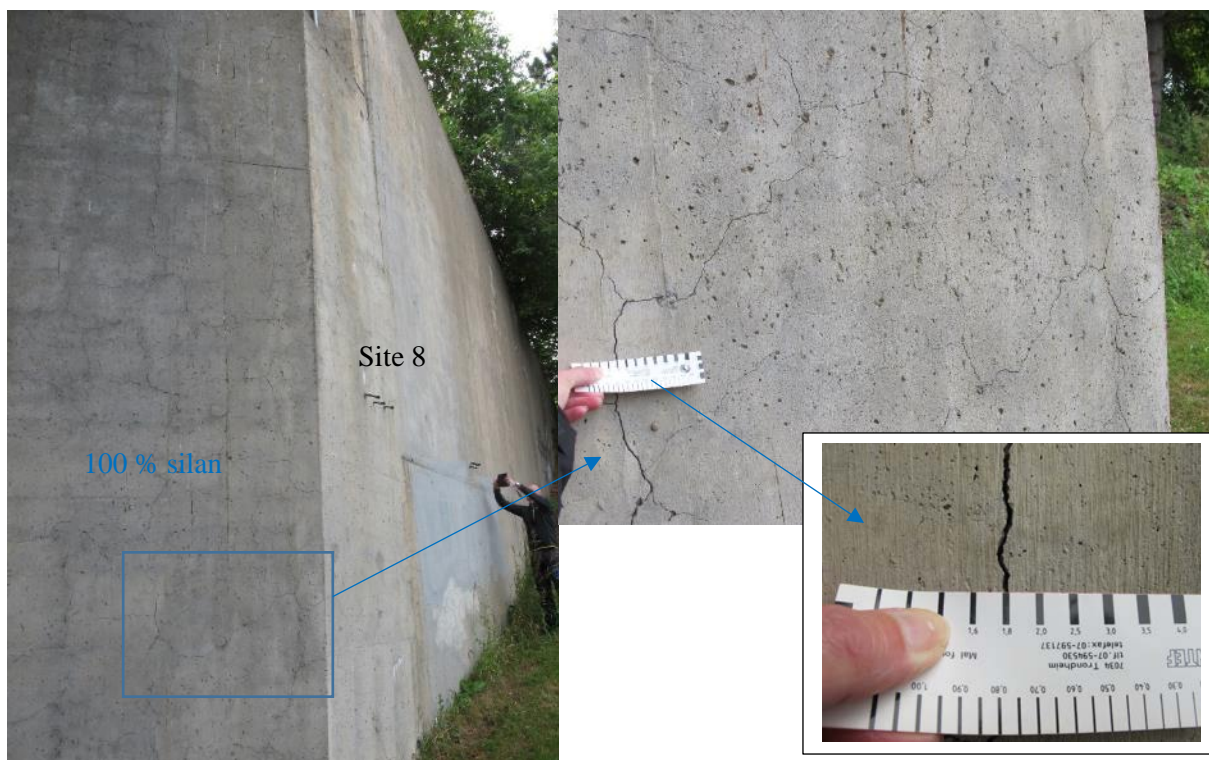
Figur 49 I-395 over Main Street. Landkar mot vest, område belagt med Elastomeric coating. Målelinjer for rissvidder (Site 4) er forsterket på fotoet. I øvre del av fundamentet observeres avskalling av belegget og frostnedbrytning av betong. (Foto/ill.: Eva Rodum)



Figur 50 I-395 over Main Street. Oversikt landkar mot øst, område behandlet med 40 % silan. Nærfoto av område markert med firkant er vist i Figur 51. (Foto: Eva Rodum)



Figur 51 I-395 over Main Street. Landkar mot øst, ved site 5. Nærfoto av riss, rissvidde målt til 1 mm. (Foto: Eva Rodum)



Figur 52 I-395 over Main Street. Landkar mot øst, område behandlet med 100 % silan (ved Site 8). Nærfoto av riss, rissvidde målt til 1,8 mm. (Foto: Eva Rodum)

3.10 Møte Eastport, Maine

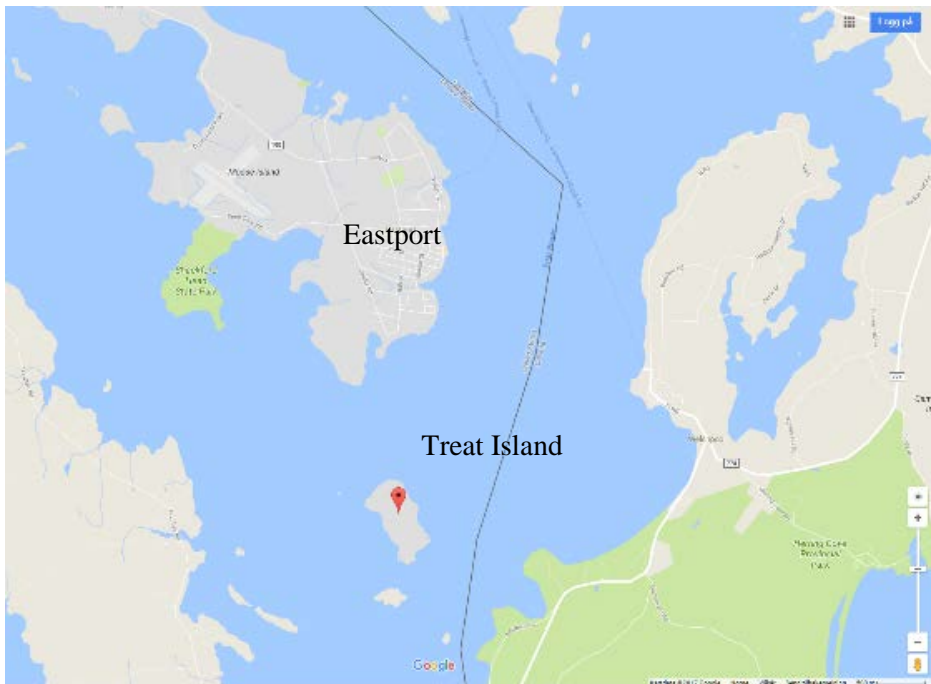
Lørdag 19. august ble det avholdt et møte hvor status i noen aktiviteter innenfor RILEM TC 258-AAA med link til SINTEFs KPN-prosjekt ble diskutert. Med på møtet var Benoit Fournier, Mike Thomas (University of New Brunswick, UNB), Bård Pedersen og Jan Lindgård. Blant annet ble pågående feltforsøk med utstøpte "LNEC-kuber" diskutert, hvor Treat Island er en av 10 feltstasjoner (se avsnitt 3.11).

3.11 Befaring Treat Island feltstasjon

Søndag 20. august ble det gjennomført en befaring til Treat Island, en kort båttur utenfor Eastport, se Figur 53. Øya har vært benyttet som marin feltstasjon for betong i mer enn 80 år /24/. Feltstasjonen ble etablert av U.S. Army Corps of Engineers i 1936 for å vurdere betongs oppførsel i nord-atlantisk marint miljø. Eksponeringsbetingelsene er betraktet som svært aggressive, med store tidevannsvariasjoner (opp til 6,7 m), saltkonsentrasjon på 3,52 % NaCl og mer enn 100 fryse-/tinesyklus pr år. Feltstasjonen har i hovedsak vært brukt for studier av kloridinntrenging i betong og korrosjonsoppførsel av innstøpt armering. Siden 1994 har det også vært utplassert prøvestykker her med tanke på å dokumentere ekspansjoner av betong med alkalireaksjoner. Prøveserien utplassert i 1994 besto av betong med v/b=0,40 og tilsetning av hhv. 0 %, 10 % silikastøv, 20 % flygeaske og 30 % flygeaske. Det er ikke mottatt noen publiserte resultater fra disse feltstudiene.

Feltstasjonen er etablert på en strand på øya. De fleste prøvestykkene er lagt ut i tidevannssonen, hvilket tilsier at de er utsatt for bølgekrefter og tidvis kan bli «kastet rundt». Situasjonen ved flo og fjære er vist i Figur 54 - Figur 56.

Befaringen til Treat Island ble gjennomført samtidig med at personell fra UNB skulle ut for gjennomføring av en komplett målerunde. Før det ble utført målinger på prøvene ble eventuell begroing fjernet med høytrykksspyler, se Figur 56.



Figur 53 Kart over området. Treat Island beliggende utenfor Eastport i Maine, USA.



Figur 54 Treat Island. Tidevannet ebber, fortsatt er de fleste prøvestykker neddykket i sjøen. (Foto: Eva Rodum)



Figur 55 Treat Island. Tidevannet ebber og prøvestykkene kommer til syne. Merk varierende grad av begroing. (Foto: Eva Rodum)



Figur 56 Prøvestykkene er frilagt og begroing fjernes ved høytrykksspyling (Ted Moffatt) før måling av ekspansjon. Det er en kort tidsåpning før tidevannet snur og kommer opp igjen. (Foto: Eva Rodum)

I samarbeid mellom SINTEFs KPN-ASR-prosjekt og WP2 i RILEM TC 258-AAA (ledet av Benoit Fournier) ble det i april 2015 støpt ut flere sett betongkuber ved LNEC i Portugal (totalt ca. 80 stk). Formålet er å evaluere effekten av ulike miljøbetingelser på ekspansjon og nedbrytning av betong med alkalireaktivt tilslag, ved å sammenligne resultater fra laboratorie- og feltundersøkelser (10 ulike lokasjoner). Følgende deltok i produksjonen av betongkubene: Joao Custodio og 4-5 laboranter fra LNEC, Jan Lindgård fra SINTEF, Jason Ideker fra Oregon University, Thano Drimalas fra University of Texas, Mike Thomas fra University of New Brunswick og Benoit Fournier fra LAVAL.

Det ble støpt ut kuber fra 5 ulike resepter. Totalt er 7 feltstasjoner i Europa (inkl. SINTEF i Trondheim og Norcem i Brevik) og 3 feltstasjoner i Nord-Amerika involvert i feltforsøkene. På feltstasjonen på Treat Island er det utplassert kuber med følgende delmaterialer:

- Reaktiv stein fra Ottersbo
- Ikke-reaktiv sand fra Årdal
- Norcem CEM I høyalkalisk sement
- Norcem flygeaske tilsatt i mengder 0, 20 og 30 % av bindemiddelmengde

Kubene er benevnt B1 (0 % FA), B2 (20 % FA) og B3 (30 % FA), se Figur 57.

Det er foreløpig ikke rapportert resultater fra målingene.



Figur 57 LNEC-kubene, plassert i tidevannssonen. Kubenes merking er påført fotoet. (Foto: Eva Rodum)

3.12 Befaring University of New Brunswick (UNB) – laboratorium og feltstasjon

21. august gikk turen til University of New Brunswick (UNB) i Fredericton, med befaring til en utendørs feltstasjon (Figur 58 og Figur 59) og omvisning i universitetets laboratorier. Andrew Fahim var ansvarlig for omvisningen.

UNB har utført akselererte laboratorieforsøk i henhold til flere ASR-metoder. En metode de selv har utviklet etter flere års forskning kalles "UNB-CCT" (Concrete Cylinder Test). Sylindriske prøvestykker, enten nystøpt (for funksjonsprøving) eller utborede (for måling av restekspansjon) settes ned i et plastrør/spann med noen mm større diameter enn prøvestykket (se Figur 61). Under eksponeringen ved 60°C (Figur 60) eller 38°C (Figur 61) er prøvestykkene neddykket i en alkalisk væske med en konsentrasjon av alkalier tilsvarende estimert eller målt alkaliinnhold i betongens porevæske. Mike Thomas presenterte denne metoden på møte i RILEM TC 258-AAA i København i august 2016 /25/.



Figur 58 UNBs feltstasjon i nærheten av universitetet. (Foto: Eva Rodum)



Figur 59 UNBs feltstasjon – kuber og sylindre. (Foto: Eva Rodum)



Figur 60 Akselerert ekspansjon i henhold til "UNB-CCT-metoden" i varmeskap med temperatur 60 °C. (Foto: Eva Rodum)



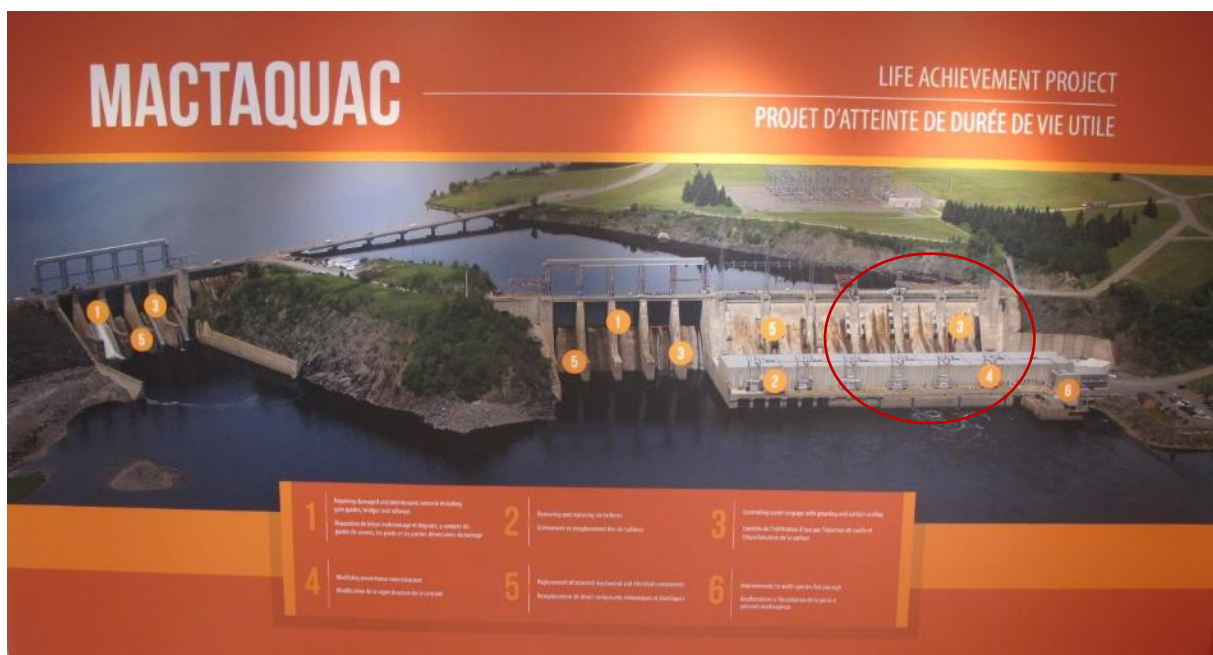
Figur 61 Akselerert ekspansjon i henhold til "UNB-CCT-metoden" i rom med temperatur 38 °C. Nærbilde av prøvestykke i spann med alkalisk væske til høyre. (Foto: Eva Rodum)

3.13 Befaring Mactaquac dam

21. august ble det gjennomført en befaring til Mactaquac dam. Dammen ligger ca. 30 km vest for Fredericton og ble bygd i perioden 1964-1970. Oversikt over damanlegget er vist i Figur 62. Allerede etter ca 10 års drift ble det observert nedbrytning og opprissing av betongen. Skadeårsaken ble diagnostisert på midten av 1980-tallet. Siden den gang er det brukt flere millioner dollar årlig på levetidsforlengende tiltak.

Skadeutvikling og tiltak ved framtidig bygging av ny dam er beskrevet i et paper presentert på ICAAR-konferansen i Brasil 2016 /26/. Her er det redegjort for at dammen har vokst ca 230 mm i høyden siden tidlig 1980-tall. Videre er det jevnlig foretatt slissing av dammen i vertikal retning i et omfang som tilsvarer fjerning av ca. 635 mm betong. Jan Lindgård var på befaring til dammen også i 2008. Da foregikk det slissearbeid, og det ble opplyst at det hvert 3. år ble slisset ca. 15 mm i hvert snitt, og at disse slissene tilnærmet lukket seg igjen i løpet av den påfølgende 3-års-perioden. Den årlige ekspansjonen er estimert til 120-150 microstrain, dvs. 0,12-0,15 ‰/år, totalt ca 6 ‰. Foto av deler av dammen pr august 2017 er vist i Figur 63.

Tilslaget som er brukt i dammen ble produsert fra fjellgrunnen dammen står på og består i hovedsak av gråvakke og mindre mengder skifer (tilsvarende tilslag som Springhill, ref. avsnitt 3.3). De reaktive mineralene er deformert og mikrokrySTALLINSK kvarts i gråvakken. I forbindelse med bygging av dammen ble tilslaget testet med hensyn på alkalireaktivitet, ved mørtelprismemetoden ASTM C227, men metoden feilet i å påvise alkalireaktiviteten. En stor feilkilde ved denne metoden er meget stort omfang av alkaliutlutning som fører til for lav ekspansjon, og metoden er senere trukket tilbake.



Figur 62 Foto av plakat som viser hele Mactaquac damanlegget. Utsnitt merket med rød ring er vist i Figur 63.



Figur 63 Foto av deler av dammen, se markering i Figur 62. Omfattende oppsprekking og kalkutfelling. (Foto: Eva Rodum)

Det har lenge vært planlagt å bygge ny dam i 2030. Undersøkelser viser at det kun finnes reaktive tilslag i nærområdet, og det er konkludert med at det må benyttes lokalt, reaktivt tilslag – enten Mactaquac (som ligger der ny dam skal bygges) eller Springhill (som ligger ca. 10 km fra dammen og har tilsvarende sammensetning som Mactaquac). Mike Thomas har ledet et prosjekt som har gjort forsøk med bruk av flygeasketilsetning (klasse F) i bindemiddelet for å dempe reaksjonene, hhv i mengder 20 %, 30 % og 56 % av bindemiddelet. Det er gjennomført både laboratorieforsøk (akselerert mørtelprisme iht ASTM C1260 og ASTM C1567, med forlenget eksponering til 28 døgn, og akselerert betongprisme iht ASTM C1293) og felteksponering av 0,4 x 0,4 x 0,7 mm³ kuber (eksponert ved CANMETs feltstasjon og UNBs feltstasjon, se avsnitt 3.3 og 3.12, samt i et fuktig galleri inne i dammen, se Figur 64).

Basert på forsøkene ble det i /26/ trukket følgende konklusjoner:

- Bruk av flygeaske demper alkalireaksjonene, både ved bruk av Mactaquac og Springhill tilslag
- På grunn av tilslagsforekomstenes ekstreme reaktivitet er det nødvendig med 30-56 % flygeasketilsetning for å unngå reaksjoner i laboratorie-/felteksponerte betongprøver
- Det er foreslått bruk av minimum 50 % flygeaske ved bygging av ny dam
- Resultatene fra de ulike metodene samsvarer ikke, men indikerer ulike behov for flygeasketilsetninger. Det er uttrykt bekymring for at laboratoriemetodene underestimerer nivået på nødvendige flygeasketilsetninger for å unngå alkalireaksjoner.



Figur 64 Instrumenterte kuber og prøvestykker lagret i et fuktig galleri inne i dammen. (Foto: Jan Lindgård)

I tillegg til ovennevnte forsøk ble det i 2008 støpt ut makrokuber i størrelse $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$ som ble utplassert på damområdet, se Figur 65. I disse makrokubene ble det benyttet Springhill-tilslag og bindemidler med 0, 30, 40 og 50 % FA type F. En femte kube inneholder 50 % "reclaimed fly ash" (flygeaske som har vært deponert). Etter 7 år /8/ er det målt ekspansjoner i størrelsesorden 3 ‰ på kuben uten flygeaske, mens det for de resterende kuber enda ikke kan registreres ekspansjoner.

Under vår omvisning på dammen opplyste prosjektlederen at de nylig har besluttet å utsette byggingen av ny dam til 2069 når dammen blir 100 år. Bakgrunnen for denne beslutningen er erfaringer fra de meget omfattende målingene av ekspansjon og bevegelser som har vært utført over en årrekke, samt de midlertidige tiltakene de har utført. De mener at de har god oversikt over dammens bevegelser og dermed kan holde den i akseptabel funksjonsdyktig stand inntil ny dam blir bygd.



Figur 65 Makrokuber ($3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$) utstøpt i 2008, med Springhill-tilslag og ulike flygeaskeinnhold (0, 30, 40 og 50 %). (Foto: Eva Rodum)

4 Oppsummering – relevans for norske konstruksjoner

4.1 Alkalireaksjoner

I rapporten er det gitt en oversikt de møter/seminarer som ble holdt og hvilke feltstasjoner/-objekter som ble befart, og en oppsummering av de viktigste faglige inntrykkene fra turen.

Arbeidet vil bli fulgt opp framover ved blant annet å gå nøye gjennom noen av de resultatene vi fikk tilgang til under befaringen. Spesielt er > 20 års felterfaring med ulike bindemidler viktig å relatere til pågående FoU-arbeid i Norge. En koordinering av erfaringer fra ulike feltstasjoner, med hovedvekt på effekt av ulike klimatiske forhold, vil bli fulgt opp via aktiv norsk deltagelse i RILEM TC 258-AAA og i SINTEFs KPN-prosjekt.

Statens vegvesen har inngått en samarbeidsavtale med professor Benoit Fournier ved Université Laval innenfor et av prosjektene i «Bedre bruvedlikehold» (2017-2021). Viktige tema i dette samarbeidet er effekt av overflatebehandling på konstruksjoner med påvist alkalireaksjoner, herunder oppfølging av erfaringer fra det FHWA-sponsede FoU-programmet omtalt i avsnitt 3.9, og videreutvikling av metoder for kvantifisering av skadeomfang på konstruksjoner med alkalireaksjoner.

4.2 Magnetkis

Arbeidet som er utført ved Laval med utvikling av testmetoder for å undersøke hvor skadelig kismaterialer er i betong er av stor relevans for norske forhold. Det samme er også felterfaringene de har gjort med bruk av kisholdige bergarter. Det er allerede avtalt FoU-samarbeid med Laval om dette temaet, i første omfang med gjennomføring av en workshop (se avsnitt 3.5.3).

5 Referanser

1. Einarsdóttir, S.U. and Hooton, R.D.: "Modifications of the concrete prism test when testing low-alkali cement with SCM systems for mitigation of alkali-silica reaction", 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016
2. Einarsdóttir, S.U.: "Modifications to Laboratory Test Methods to Evaluate the Beneficial Effects of Low-Alkali Binders on the Alkali-Silica Reaction", PhD-thesis, Department of Civil Engineering University of Toronto, 2017
3. Golmakani, F. and Hooton, R.D.: "Comparison of laboratory performance tests used to assess alkali-silica reactivity", CSCE Resilient Infrastructure, London, Canada, 2016 <http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1039&context=csce2016>
4. MacDonald, C.A., Rogers, C. and Hooton, R.D.: "The relationship between laboratory and field expansion – observations at the Kingstons outdoor exposure site for ASR after 20 years", Proceedings of the 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Austin, TX, USA, 2012
5. Fournier, B. et.al.: "«Comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing materials to control alkali-silica reaction in concrete", 12th ICAAR Conference, Beijing, China, 2004
6. Fournier, B. et.al.: «Comparative field and laboratory investigations on the use of supplementary cementing materials (SCMs) to control alkali-silica reaction (ASR) in concrete", 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016
7. Fournier, B.: Upubliserte ekspansjonsresultater fra blokker på CANMETs feltstasjon målt etter 19 -20 år", overlevert august 2017
8. Fournier, B.: "Field experiences from Canada and USA", foredrag ved KPN-ASR Fagdag, Trondheim 2017-11-20--21

9. Allard, A., Fournier, B., Bastien, J., Bissonnette, B., Sanchez, L., Duchesne, J.: "Evaluation of the degree of damage caused by alkali-silica reaction in a highway pavement: A case study", 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016
10. Duchesne, J. and Fournier, B.: "Petrography of concrete deteriorated by weathering of sulphide minerals", the 33th Annual International Conference on Cement Microscopy, California USA, 2011
11. Rodrigues, A., Duchesne, J. and Fournier, B.: "Microscopic analysis of the iron sulphide oxidation products used in concrete aggregates", the 34th Annual International Conference on Cement Microscopy, Germany, 2012
12. Rodrigues, A. et.al.: "Evaluation Protocol for Concrete Aggregates Containing Iron Sulfide Minerals", ACI Materials journal, technical paper, Title No. 113-M31
13. Rodrigues, A., Duchesne, J. and Fournier, B.: "Quantitative assessment of the oxidation potential of sulfide-bearing aggregates in concrete using an oxygen consumption test", Cement and Concrete Composites 67 (2016) pp 93-100
14. Rodrigues, A. et.al.: "Mineralogical and chemical assessment of concrete damaged by the oxidation of sulfide-bearing aggregates: Importance of thaumasite formation on reaction mechanisms", Cement and Concrete Research 42 (2012) pp 1336-1347
15. Rodrigues, A., Duchesne, J. and Fournier, B.: "A new accelerated mortar bar test to assess the potential deleterious effect of sulfide-bearing aggregate in concrete", Cement and Concrete Research 73 (2015) pp 96-110 "
16. Rodrigues, A., Duchesne, J. and Fournier, B.: "Deterioration in concrete incorporating a sulphide-bearing aggregate: Petrographic characteristics and evolution of the secondary reaction products", 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Denmark, 2013
17. Rodrigues, A., Fournier, B. and Duchesne, J.: "Petrography petrographic characterization of the deterioration products of a concrete containing sulphide bearing aggregates; a particular case of internal sulfate attack", the 33th Annual International Conference on Cement Microscopy, Chicago, USA, 2013
18. Ramos, V., Rodrigues, A., Fournier, B. and Duchesne, J.: "Development of a quick screening staining test for detecting the oxidation potential of iron sulfide-bearing aggregates for use in concrete", Cement and Concrete Research 81 (2016), pp 49-58
19. Champagne, M.: "State of the Art on the Damage Rating Index method and future improvements", foredrag ved ULAVAL workshop 2017-08-16
20. Bérube, M-A. and Fournier, B.: "Le barrage Sartigan dans la Beauce (Québec), Canada: un cas-type de détérioration de béton par de réactions alcalic-granulats", 1987 (in French)
21. Durand, B. and Fournier, B.: "20-year results of an in-situ monitoring study of large concrete electrical tower foundations affected by alkali-silica reaction (ASR)", 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016
22. U.S.Department of Transportation, Federal Highway Administration: "Treatment of ASR-Affected Bridge Structures in Maine. Field Application Report. ASR Development and Deployment Program. Field Application and Demonstration Projects"
23. Thomas, M.D.A. et.al.: "Methods for Evaluating and Treating ASR-affected structures: Results of Field Application and Demonstration Projects, Volume II: Details of Field Applications and Analysis, Final Report, Federal Highway Administration, 2013 <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/asr/pubs/hif14003.pdf>
24. Thomas, M.: "Lessons learned from the Treat Island Marine Exposure Site", Key Engineering Materials, Volume 711, pp 390-396, 2016
25. Thomas, M.D.A.: Presentasjon av den akselererte ASR-metoden «UNB-CCT», vedlegg 14 til møttereferat fra RILEM TC 258-AAA i København i august 2016
26. Moffatt, E.G. et.al.: «Remediation strategies intended for the reconstruction of the ASR-induced Mactaquac Dam», 15th ICAAR Conference, Sao Paulo, Brazil, 2016



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen