Prosjektrapport nr 1

Evaluering av utført realkalisering på bru nr. 09-0266 Blakstad bru

John Miller, Millab Consult AS
Øystein Vennesland, NTNU
Jan Lindland, Stærk & Co as

Utarbeidet av Norsk Forening for Betongrehabilitering
2011

Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse 1

Forord 3

Sammendrag 4

Summary 5

1 Innledning 6

2 Målsetting, organisering og gjennomføring 6
2.1 Målsetting med prosjektet 6
2.2 Organisering av prosjektet 6
2.3 Gjennomføring av prosjektet 6

3. Beskrivelse av brua 7

4 Tilstand og vedlikehold av brua i 1995 9
4.1 Tilstanden før vedlikehold i 1995 9
4.2 Vedlikehold 1995 9

5 Visuell kontroll i 2007 9

6 Prøveprogram 10
6.1 Uttak av prøveplater 10
6.2 Undersøkelsesmetoder og prøveomfang 12

7 Visuell kontroll av prøveplater 13

8 Materialundersøkelser og vurdering av resultatene 17
8.1 Karbonatiseringsdybde 17
8.1.1 Karbonatiseringsdybde målt med fenolftalein-oppløsning på sagflater 17
8.1.2 Testmåling av karbonatiseringsdybde på splitta borkjerner 17
8.1.3 Prøver fra referanseplater 19
8.1.4 Prøver fra platespenn akse 1-2 20
8.1.5 Prøver fra platespenn akse 2-3 20
8.2 Armeringsoverdekning 22
8.3 Trykkfasthet 23
8.4 Fuktinnhold 24
8.5 Armeringstilstand 25
8.6 K/Na-resultat 26
8.7 Oksidfilm 28
8.7.1 Oksidfilmens tykkelse målt med elektronmikroskop 28
8.7.2 Oksidfilmens tykkelse målt med optisk mikroskop 29

9 Oppsummering 30

10 Anbefalinger 30

11 Referanser 31

Vedlegg:

Vedlegg 1: Ferdigbrutegning
Vedlegg 2: Brukort
Vedlegg 3: Utsnitt armeringstegning 85/48
Vedlegg 4: Karbonatiseringsprøver. Måleresultat og fotodokumentasjon
Vedlegg 5: Rapport fra NTNU - Måling av oksidfilmtykkelse
Vedlegg 6: Rapport fra Sintef - K/Na-analyser
Vedlegg 7: Rapport fra Millab Consult AS - Måling av oksidsjikttykkelse

Forord

I 1995 ble platespennet på Blakstad brua over jernbanesporet og tilstøtende bjelkespenn rehabilitert samtidig med Jernbaneverket's elektrifisering av jernbanelinja Arendal – Nelaug (Arendalsbanen). Statens vegvesen benyttet anledningen til å få utført nødvendig vedlikehold over jernbanelinja før den ble elektrifisert. Det var da mulig å utføre vedlikehold på brua uten store ekstrakostnader, hvilket normalt påløper ved arbeider over elektrifiserte jernbanespor.

Tidligere undersøkelser hadde avdekket at noe av armeringen i brudekket lå i karbonatisert betong. I tillegg var karbonatiseringsfronten i ferd med å nærme seg armeringssjiktet for en betydelig del av armeringen i underkant dekke. Med bakgrunn i dette valgte Statens vegvesen å foreta realkalisering både av platespennet over jernbanesporet og tilstøtende bjelkespenn, for å forebygge/unngå fremtidige utbedringsarbeider.

Siden Statens vegvesen besluttet å rive brua i 2007, tok NFB initiativ til et prosjekt med målsetting å undersøke langtidseffekten av realkalisering. Dette for å fremskaffe grunnlag for å evaluere og forbedre de krav som stilles ved realkalisering, samt utarbeide råd og anbefalinger ved fremtidig bruk av metoden.

Denne rapporten er et resultat av overnevnte prosjekt. Rapporten beskriver tilstanden før rehabilitering, tilstanden ved riving, prøveprogram for undersøkelse av langtidseffekten av realkalisering, resultat av målingene, vurdering av resultatene samt anbefalinger for videre bruk av metoden.

Dette prosjektet har først og fremst vært finansiert med midler fra Statens vegvesen. I tillegg har Norsk Forening for Betongforening, Rådgivende ingeniørers Forening, Statsbygg, NTNU, Millab Consult AS og Stærk & CO.as bidratt med støtte til prosjektet. Vi takker alle bidragsyterne for støtten til prosjektet.

Oslo, 1.desember 2011

Jan Lindland
Prosjektleder

Sammendrag

I 1995 satte Jernbaneverket i gang arbeidet med elektrifisering av jernbanestrekningen Arendal – Nelaug. Statens vegvesen i Aust-Agder benyttet da anledningen til å få utført forebyggende vedlikehold på platespenn over jernbanesporet og tilstøtende bjelkespenn. Dette for å unngå store fremtidige ekstrakostnader på grunn av elektrifiseringen.

Siden deler av armeringen i underkant av brudekket lå i karbonatisert betong, og karbonatiseringsfronten var i ferd med å nærme seg armeringssjiktet for en god del av øvrig armering, valgte Statens vegvesen å foreta realkalisering av bruplatene for å begrense fremtidig vedlikehold.

Da Statens vegvesen besluttet å rive brua i 2007, tok Norsk Forening for Betongrehabilitering initiativ til et prosjekt for å evaluere langtidseffekten av realkaliseringen som ble utført i 1995.

Visuell kontroll av brudekkene før riving viste lite synlige skader. Det ble registrert et par begynnende avskallinger og noe (begrenset) malingsavflassing.

For å kunne vurdere langtidseffekten av realkalisering, ble det tatt ut store prøveplater av brudekkene for undersøkelse i laboratorium. Det ble tatt ut seks prøveplater fra realkaliserte bruplater og to referanseplater fra bruplate som ikke var realkalisert.

På platene ble det foretatt visuell kontroll, måling av overdekning, måling av karbonatiseringsdybde, måling av fuktinnhold, undersøkelse av oksidfilm på armering, måling av alkalieinnhold, måling av trykkfasthet og kontroll av armeringstilstand.

Resultatene i prosjektet viser at realkalisering av bruplata over jernbanesporet har fungert og gitt ønsket resultatet. Realkaliseringsprosessen har bidratt både til etablering av korrosjonsbeskyttende oksidfilm på armeringen og reetablering av det alkaliske miljøet i betongen.

Når det gjelder tilstøtende bjelkespenn til platespennet over jernbanesporet, har realkaliseringen ikke fungert som forutsatt. Det er kun oppnådd ønsket realkalisering på deler av dekket. Dette skyldes antagelig at realkaliseringsprosessen er avsluttet for tidlig, slik at en verken har oppnådd etablering av stabil oksidfilm på armeringen eller reetablering av det basiske miljøet i betongen.

Referanseplatene som ikke ble behandlet, har fått en ytterligere karbonatisering som samsvarer med teoretisk forventet videreutvikling av karbonatiseringsdybden fra 1995 til 2007.

Erfaringene i dette prosjektet viser at måling av karbonatiseringsdybde og oksidfilm er egnet for dokumentasjon av realkalisering.

For å oppnå ønsket effekt av realkalisering, viser prosjektet at det er viktig at prosessen pågår lenge nok til å få etablert en permanent oksidfilm på armeringen. I framtida bør en nok derfor benytte total strømmengde som dokumentasjonskriterium sammen med måling av karbonatiseringsdybde og oksidfilm.

Summary

In 1995, the Norwegian National Rail Administration started the electrification of the railway line between Arendal and Nelaug. The Norwegian Public Roads Administration's division in Aust-Agder used the opportunity to perform preventive maintenance on the bridge plate span over the railway line, and on the adjacent beam spans, in order to avoid extra expense later on in the electrification process.

Since parts of the reinforcement on the underside of the bridge deck lay in carbonated concrete, and since the carbonation front was approaching the reinforcing steel, the Road Administration decided to electrochemically realkalise the bridge decks in order to reduce the need for future maintenance.

In 2007, the Road Administration decided to demolish the bridge, and this decision resulted in an initiative from the Norwegian Society for Concrete Rehabilitation to evaluate the long term effect of the realkalisation that had been performed in 1995.

Visual inspection of the bridge decks before the demolition showed that there was little visible damage. The findings consisted only of a couple of early-stage spalls, and a limited tendency to paint flaking.

For the evaluation, large sections of the plate deck were cut out for laboratory examination. Six large test plates from realkalised areas were removed, and two more were removed as references from areas that had not been realkalised.

The plates were then subjected to visual inspection, measurements of cover thickness, carbonation depths, moisture content, alkali content and crushing strength. In addition, the condition of the oxide film on the steel surfaces, and the condition of the steel in general were examined.

The results indicate that the realkalisation of the bridge plate over the railway line had been successful and had thus produced the desired result. The realkalisation treatment had caused the formation of protective oxide films on the steel reinforcement surfaces, and the re-establishment of an alkaline environment in the concrete.

In the bridge span adjacent to the plate span over the railway line, the realkalisation treatment had not produced the expected result. Satisfactory realkalisation had only been achieved in parts on the deck. This is probably due to the treatment having been curtailed much too early for the formation of an alkaline environment in the concrete, and consequently protective oxide films failed to form.

The reference plates that had not been treated had become carbonated to a further extent corresponding to the theoretical advancement of the carbonation front from 1995 to 2007.

Experience gained in this project indicates that measurements of carbonation depths and oxide film thicknesses are suitable ways to document the effects of electrochemical realkalisation.

Results clearly demonstrate the importance of running the realkalisation treatment for sufficient time in order to allow the proper formation of the oxide film. In the future, therefore, the main criterion for the documentation of proper treatment should be the total amount of current passed to each treated section, with measurements of carbonation depth and oxide film thickness to document the effect.

1 Innledning

Sommeren 1995 ble det utført en del vedlikeholdsarbeider på Blakstad brua like utenfor Arendal. På denne tiden pågikk elektrifisering av jernbanestrekningen Arendal – Nelaug. Statens vegvesen valgte derfor å utføre forebyggende vedlikehold på brua over jernbanesporet før jernbanelinja ble elektrifisert, for å unngå fremtidige ekstrakostnader når jernbanen var elektrifisert.

Siden noe armering i underkant brudekke lå i karbonatisert betong og karbonatiseringsfronten var i ferd med å nærme seg armeringssjiktet for en del av øvrig armering i dekket, valgte Statens vegvesen å foreta realkalisering fremfor tradisjonell mekanisk reparasjon av synlige skader.

På grunn av manglende funksjon i veinettet med hensyn til gang-/sykkeltrafikk, bæreevne og geometri, vedtok Statens vegvesen i 2007 å rive Blakstad brua for å bygge ny bru oppstrøms. Bygging av ny bru startet sommeren 2005 og var ferdig høsten 2007. Da ny bru var ferdig, ble den gamle brua revet.

Siden det ble besluttet å rive den gamle brua, så en muligheten til å få undersøkt langtidseffekten av realkalisering. Med bakgrunn i dette, tok derfor Norsk Forening for Betongrehabilitering initiativ til et prosjekt for å evaluere realkaliseringen som ble utført i 1995.

2 Målsetting, organisering og gjennomføring

2.1 Målsetting med prosjektet

Målsettingen med prosjektet har vært å:

- undersøke langtidseffekten av realkalisering
- bruke resultatene fra prosjektet til å evaluere og forbedre de krav som i dag stilles til realkalisering
- utarbeide råd og anbefalinger ved bruk av metoden

2.2 Organisering av prosjektet

Norsk Forening for Betongrehabilitering har tatt initiativ til prosjektet og er prosjekteier. Prosjektet har vært organisert som følger:

Prosjektleder:	Jan Lindland, Stærk & Co. a.s.
Prosjektgruppe-deltagere:	Knut Grefstad, Statens vegvesen, Vegdirektoratet Anders Kivle, Statens vegvesen, Region Sør John Miller, Millab Consult AS Øystein Vennesland, NTNU

2.3 Gjennomføring av prosjektet

Pga rivingsarbeidene og fremdriften i entreprisen, var det begrenset med undersøkelser som kunne gjøres i felt. Prosjektet er gjennomført i følgende faser:

Fase 1: Innsamling av dokumentasjon
Innsamlingen av all tilgjengelig dokumentasjon både fra prosjekteringen og utførelsen av arbeidene. (Utført 2007 og 2009)

Fase 2: ***Visuell kontroll i felt***
Visuell kontroll av underside brudekke mellom akse 1 og 3 før brua ble revet. (Utført høsten 2007)

Fase 3: ***Uttak av prøveplater***
Uttak av seks prøveplater fra realkalisert brudekke og to referanseplater fra brudekke som ikke var realkalisert. (Utført 2007)

Fase 4: ***Undersøkelse av prøveplatene***
Denne delen av prosjektet omfattet følgende undersøkelser av prøveplatene:

- visuell kontroll og beskrivelse av prøveplatene
- måling av overdekning
- måling av kabonatiseringsdybde
- måling av fuktinnhold
- undersøkelse av oksidfilm rundt armeringen
- måling av alkalieinnhold
- måling av trykkfasthet
- kontroll av armeringstilstand

Fase 4 ble primært gjennomført i 2008, men med noen supplerende undersøkelser i 2009.

Fase 5: ***Rapportering***
Utarbeidelse av prosjektrapport som beskriver utført rehabilitering i 1995, prøveprogram, resultater fra undersøkelsene og eventuelle forbedringer til krav, råd og anbefalinger.

En stor del av undersøkelsene er utført i laboratoriet ved NTNU som studentprosjektoppgave under ledelse av professor Øystein Vennesland.

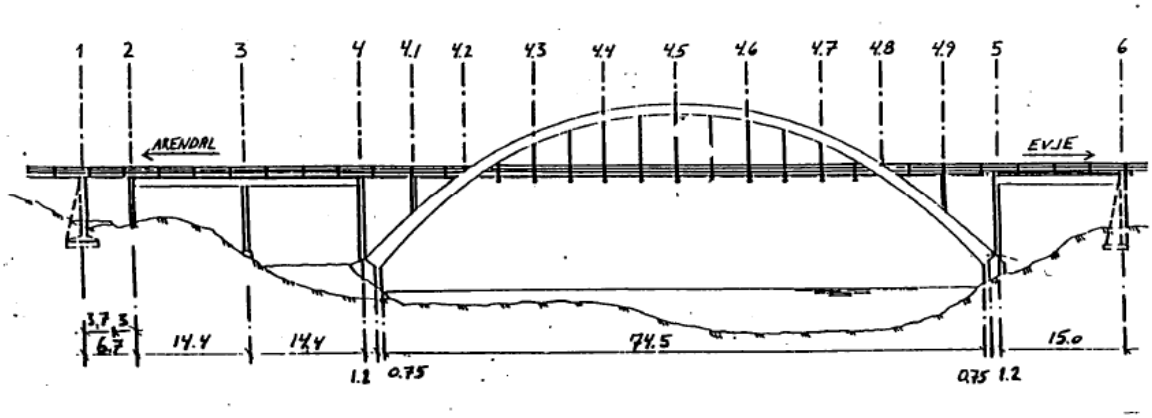
3. Beskrivelse av brua

Bru nr. 09-0226 Blakstad bru lå ved Blakstad på riksvei 42 like utenfor Arendal. Brua gikk over Nidelva samt jernbanesporet til Nelaugbanen.

Brua ble bygd som ei buebru i 1951 og hadde en samlet lengde på 126,5 m. Brua ble utført i plasstøpt betong og besto av fem spenn - akse 1 ved landkar mot Arendal og akse 6 ved landkar mot Evje.

Hovedbæresystemet var som følger:
Akse 1-2: Platespenn (over jernbanen), slakkarmert betong, spennvidde 6,70 m.
Akse 2-3: Bjelkespenn, 2 bjelker, slakkarmert betong, spennvidde 14,38 m
Akse 3-4: Bjelkespenn, 2 bjelker, slakkarmert betong, spennvidde 14,40 m
Akse 4-5: Buespenn (over Nidelva), slakkarmert betong, spennvidde 74,40 m
I buespennet i akse 4.3 til 4.7 ble lastene overført til buene via tverrbærere i stål og hengestenger. I akse 4 til 4.2 og 4.8 til 5 ble lastene overført via tverrbærere og søyler i betong
Akse 5-6: Bjelkespenn, spennvidde 15,00 m

For øvrig vises til ferdigbrutegning i vedlegg 1 samt brukortet i vedlegg 2. Akseinndelingen på brua framgår av fig.3.1



Figur 3.1 Akseinndeling på Blakstad brua (sett fra oppstrøms side)

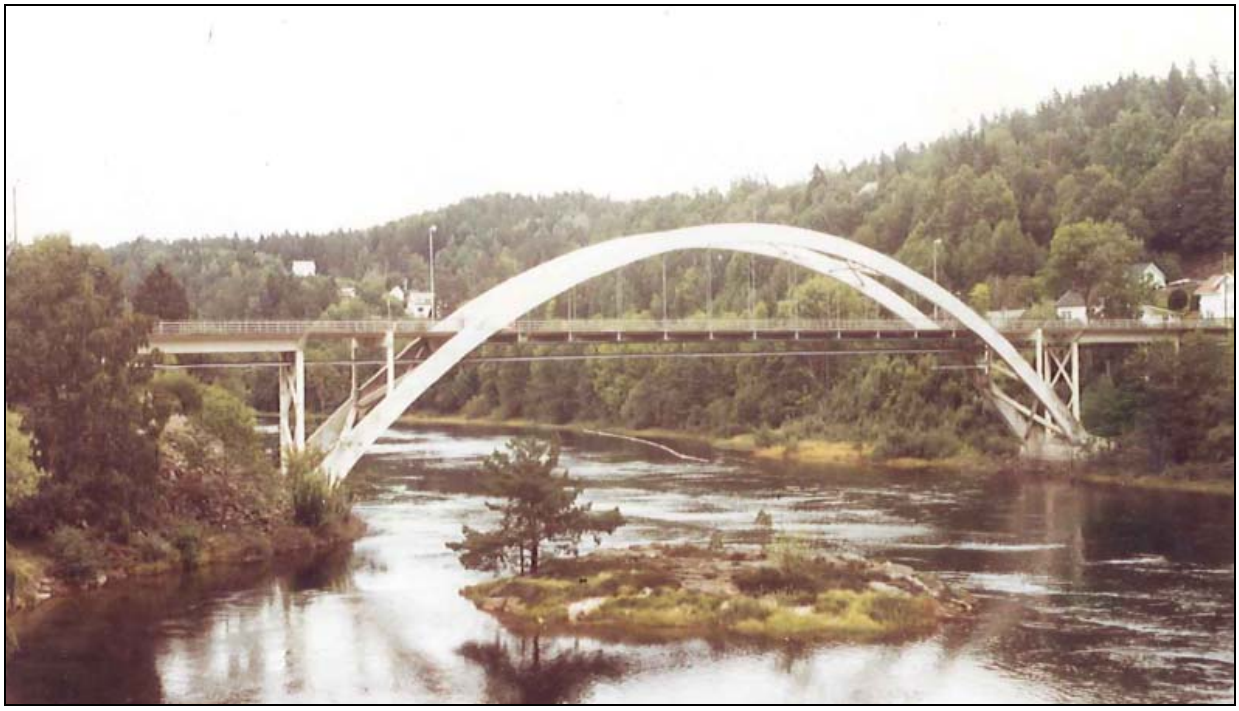


Foto 3.1 Blakstad brua sett fra nedstrøms side.

Brua var utført i plasstøpt betong, med betong produsert på stedet med enkle hjelpemidler – håndblanding og trillebår. Erfaringsmessig medfører dette store variasjoner i betongkvalitet. Prosjektert betongkvalitet var kvalitet B iht NS 427, som tilsier en minimum trykkfasthet på 230 kg/cm².

Betongen var armert med glattstål St37 med endekroker. Over opplegg var strekkarmeringen i underkant bøyd i 45 graders vinkel opp i overkant. Diameteren på bærearmeringen i underkant brudekke varierte fra 16 mm til 19 mm, mens svinn- og fordelingsarmeringen varierte fra 10 mm til 16 mm. Armeringsføringen i dekket framgår av vedlegg 3. Prosjektert overdekning var ca 15 mm.

Brua var fuktisolert og asfaltert.

4 Tilstand og vedlikehold av brua i 1995

4.1 Tilstanden før vedlikehold i 1995

Hele undersiden av brudekket over jernbanesporet (akse 1-2) var malt med Miracoat (mineralsk overflatebehandling). I nabospennene (akse 2-4) var underside av brudekket mellom hovedbjelkene ubehandlet, mens vinger utenfor bjelkene var behandlet med Miracoat som for endespennet.

Hovedinspeksjonen i 1992 avdekket enkelte skader på undersiden av brudekket mellom akse 1 og 3 i form av avskallet betongoverdekning og korrosjon på armeringen. Karbonatiseringsdybden varierte mellom 2 og 17 mm. Overdekningen mellom akse 1 og 2 var minimum 12 mm med veiet middelverdi på 17 mm, mens overdekningen mellom akse 2 og 3 var minimum 10 mm med veiet middelverdi på 19 mm. I begge spenn var det enkelte mindre avskallinger pga armeringskorrosjon som skyldtes karbonatisering og liten overdekning. Det var flest skader i spennet mellom akse 2 og 3.

4.2 Vedlikehold 1995

Vedlikeholdet i 1995 omfattet realkalisering av underside brudekke fra akse 1 til akse 3, vedlikehold av pilarer nær jernbanelinja, utbedring av kantdrager/føringskant samt montering av nytt rekkverk på hele brua.

Utbedring av underside brudekke omfattet følgende arbeider:

- fjerning av all løs og dårlig betong, dvs bom, steinreir og kortslutningspunkter
- rengjøring av korrodert armering til Sa2
- kontroll av armeringskontinuitet
- etablering av armeringskontinuitet
- utbedring av alle skader med sprøytemørtel, Rescon DS
- realkalisering
- rengjøring etter realkalisering med høytrykkspyling
- overflatebehandling med sementbasert slemming, Rescon Murtett farge hvit

Realkaliseringen ble utført iht kravene i RIF-normen ”Norm for betongrehabilitering. Tekniske bestemmelser”, 2.utgave oktober 1994. Som elektrolyttisk løsning ble benyttet 0,8-1 M natriumkarbonat. Vanlig armeringsnett ble brukt som elektrodenett, og det ble benyttet cellulosefiber av typen ISODAN N400 som bærer for eletrolyttløsningen.

Etter utført realkalisering ble betongflatene påført en hvit sementbasert slemming. Sementbasert slemming ble valgt for å unngå avflassingsproblemer, som tidligere hadde vært registrert som et problem ved overflatebehandling av nedfukta realkaliserte flater. Hvit farge ble valgt for å unngå at saltutslag/fuktskjolder etter utført realkalisering skulle bli synlige og virke skjemmende.

Dr.techn Kristoffer Apeland AS var rådgiver for utbedringsarbeidene, og Buskerud Malerforretning AS hadde kontrakten som hovedentreprenør for utførelse av alle utbedringsarbeidene. Realkaliseringen ble utført av firmaet Aaronite AS som underentreprise.

5 Visuell kontroll i 2007

Visuell kontroll av underside brudekke mellom akse 1 og 3 ble gjort fra bakkenivå uten lift før brua ble revet. I endespennet over jernbanesporet var det oppstrøms to områder med malingsavflassing langs dekkekanten og innover i underkant dekke, slik som vist på foto 5.2. Nedstrøms var det også malingsavflassing langs deler av sidekanten som vist på foto 5.1. Her ble det videre registrert to avskallingsskader pga pågående armeringskorrosjon. Det var ingen tegn til riss eller sprekker i dekket.

Foto 5.1

Underkant dekke akse 1-2 - nedstrøms.
Noe malingsavflassing langs sidekanten og innover i underkant av dekket samt to begynnende avskallinger langs sidekanten.

Foto 5.2

Underkant dekke akse 1-2 - oppstrøms.
Område med malingsavflassing i underkant dekke mot sidekanten.

På undersiden av brudekket mellom hovedbjelkene i spennet mellom akse 2 og 3, var det kun noen få mindre punktavflassinger i malingen. Hele undersiden av dekket var svært misfarget. Overflaten så skitten ut og ga inntrykk av omfattende avflassing, se foto 5.3. Dette var imidlertid ikke tilfelle. Avflassingen var kun begrenset til små punkter. Det var ingen tegn til riss, sprekker eller avskallinger.

Foto 5.3

Brudekke mellom bjelker i spenn akse 2-3.
Punktavflassing og misfarging på undersiden av brudekket mellom hovedbjelkene i sidespennet mot akse 3.

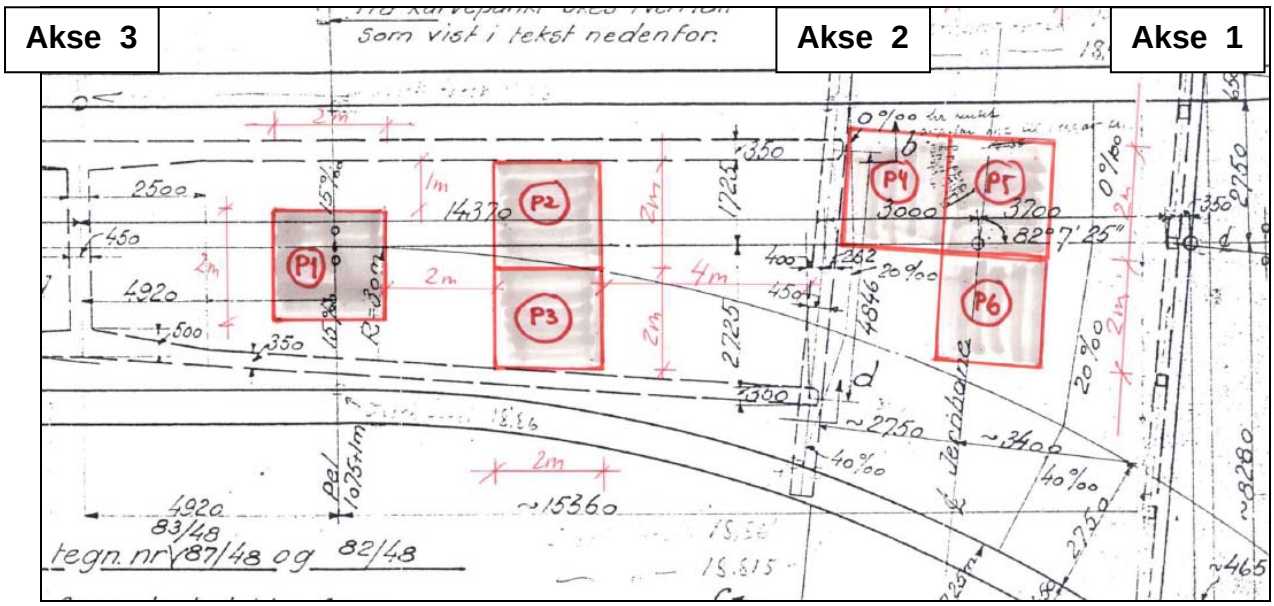
6 Prøveprogram

6.1 Uttak av prøveplater

Iht til anbudgrunnlaget for vedlikeholdsarbeidene var det forutsatt at underkant brudekke over jernbanesporet akse 1-2 skulle realkaliseres. I tillegg var det beskrevet at brudekket mellom hovedbjelkene i akse 2-3 også skulle realkaliseres, dersom undersøkelser (karbonatiseringsmålinger) viste at det var nødvendig. I følge Statens vegvesen kom dette til gjennomføring. Dette er i etterkant

(i dette prosjektet) også bekreftet av formannen som den gang var ansvarlig for arbeidene, og dette er derfor lagt til grunn ved uttak av prøveplater og valg av prøveomfang.

Alle prøveplater ble skåret (betongsaging) ut av brudekket i forbindelse med rivingsarbeidene. En valgte tre prøveplater fra hvert spenn i henholdsvis akse 1-2 og akse 2-3. I akse 1-2 ble prøveplatene nummerert P4 til P6, mens prøveplatene fra akse 2-3 (mellom bjelkene) ble nummerert P1 til P3. Prøveplatenes størrelse var ca 2 x 2 m^2. Lokalisering framgår av figur 6.1. Undersøkelse av prøveplatene ble gjort i laboratorium.



Figur 6.1 Lokalisering av prøveplatene på armeringstegning

For kunne vurdere realkaliseringseffekten, ble det i tillegg tatt ut to referanseplater (R1 og R2) fra brudekke som ikke var realkalisert i akse 3-4 mellom bjelkene og helt inn mot tverrbæreren i akse 4. Dette for å få størst mulig avstand fra realkalisert del – ca 15 m. Referanseplatene hadde samme størrelse som prøveplatene.

Ansvarlig entreprenør for rivingsarbeidene, ECO-bygg AS, sørget for utskjæring av alle platene. Alle plater ble umiddelbart etter plassering på bakken påført oppstrømsretning (i forhold til elveløpet) og platenummer med merkespray. Dette ble kontrollert av Statens vegvesen og Stærk & Co. a.s. Alle platene ble i tillegg merket med laminert plastmerke med platenummer. Disse ble skrudd fast til platene før pakking og forsegling i tykk plast. Platene ble lagret noen dager på byggeplassen før de ble transportert med lastebil til Trondheim av Midtstøl Transport AS.

Ved mottak på NTNU, viste det seg at prøveplatene ble for tunge for det utstyret NTNU hadde tilgjengelig for mottak og manøvrering i laboratoriet. Samtlige plater måtte derfor deles i to, og hver halvdel ble merket på nytt med platenummer og bokstavbetegnelse a og b. For eksempel ble hver halvdel av prøveplate P4 nummerert P4a og P4b. Denne merkingen og kontroll av merkingen ble utført av NTNU.

6.2 Undersøkelsesmetoder og prøveomfang

De ulike undersøkelsesmetodene som er benyttet er kort beskrevet nedenfor.

Visuell kontroll

Den visuelle kontrollen av prøveplatene bestod av kontroll av merking, registrering av skader, måltaking og fotografering.

Karbonatiseringsdybde

Karbonatiseringsdybden ble først målt ved å påføre fenolftalein-oppløsning på sagflaten på platene. Denne undersøkelsen viste seg å ikke fungere. Metoden ble vurdert som uegnet, og en valgte derfor i stedet å foreta måling av karbonatiseringsdybden på splitta borkjerner. Det ble tatt ut fire 70 mm's borkjerner (bruttomål, netto diameter 64 mm) fra hver prøveplate (to borkjerner fra hver halvdel).

Borkjernene ble merket med kode **Pxy-z**, der:

posisjon x er:	Prøveplatenummer
posisjon y er:	Platehalvdel – a eller b
posisjon z er:	Borkjernenummer

Betegnelsen **P4b-2** betyr da borkjerne i prøveplate 4 platedel b og prøve nr 2.

Borkjernene ble splittet, og umiddelbart etter splitting ble de friske bruddflatene blåst rene for betongstøv. Deretter ble den ene halvparten påsprøytet fenolftalein-oppløsning, mens den andre ble påsprøytet tymolftalein-oppløsning.

Innledende prøver med kun fenolftalein-oppløsning viste svakt fargeutslag. Det var noe vanskelig å se overgangen mellom karbonatisert og ukarbonatiert betong. En valgte derfor å benytte både fenolftalein- og tymolftalein-oppløsning i de videre undersøkelsene med håp om at tymolftalein-oppløsningen kunne vise overgangen mellom karbonatisert og ukarbonatisert betong tydeligere.

Det ble benyttet en fenolftalein-oppløsning bestående 1g fenolftaleinpulver blandet i 1l 50/50 etanol/vann. Fenolftalein-oppløsning gir et rødfiolett fargeutslag og har et omslagspunkt ved pH fra 8,2 til 10 alt avhengig av konsentrasjon på løsningen. Erfaringer ved bruk av fenolftaleintest er at intensiteten (styrken) på fargeutslaget er pH-avhengig. Grad av rosafarge gir derfor en indikasjon på pH-nivå. Svak rosafarge tilsvarer en pH rundt 10. I tillegg er fargeutslaget også avhengig av konsentrasjonen til fenolftalein-oppløsningen. Jo sterkere oppløsning, desto svakere fargeutslag for samme pH-verdi.

En stabil oksidfilm rundt armeringen etter utført realkalisering, krever et pH-nivå på 11 til 11,5. Bruk av 1% fenolftalein-oppløsning er derfor godt egnet til å dokumentere om realkalisering er utført og har gitt forventet resultat, fordi en får kraftig fargeutslag ved pH ned til 11, mens en vil få svak rosafarge ved pH 10 og nærmest fargeløst resultat ved pH på 9.

Tymolftalein-oppløsningen besto av 0,4 g tymolftaleinpulver blandet i 1 l 50/50 etanol/vann. Tymolftalein-oppløsningen gir et blått fargeutslag for pH i området 9,4 til 10,6. Denne tymolftalein-oppløsningen vil antagelig gi kraftig fargeutslag omtrent for samme pH-verdi som for fenolftalein-oppløsningen som ble benyttet.

Armeringsoverdekning

Armeringens overdekning ble målt med en overdekningsmåler av typen Profometer 3. Samtlige armeringsjern i ytre sjikt (underside brudekke) ble først kartlagt og merket på betongoverflaten. Deretter ble armeringens overdekning målt i punkter for hver 150 mm langs samtlige armeringsjern.

Trykkfasthet

Trykkfasthet ble målt på utborede kjerner med 70 mm's diameter. Før trykkprøving, ble prøvene saget slik at lengden var 2 x diameteren. Måling av trykkfasthet ble utført iht NS-EN 12390, del 3.

Fuktinnhold
Fuktinnholdet i prøveplatene ble bestemt ved å måle betongens relative fuktighet. RF ble målt ved å sette inn plastpropper i borehull i betongen. Etter ett døgn ble toppen på hver plastpropp fjernet og spissen på måleinstrumentet stukket ned. Når verdien for RF (avlest på et Vaisala HM31 meter) var stabil (maks ca en halv time), ble målingen foretatt. Tanken var opprinnelig også å måle betongens DS (degree of saturation). Av praktiske årsaker måtte denne undersøkelsen utgå.

Armeringstilstand
Armeringstilstanden er kartlagt ved visuell undersøkelse av blottlagte/frilagte armeringsjern fra borkjerner tatt like over armeringen. Armeringstilstanden er klassifisert som følger:

Korrosjonsgrad A:	Helt uskadet armering med matt overflate eller sort overflate
Korrosjonsgrad B:	En kan se de første tegn til korrosjon
Korrosjonsgrad C:	Jevnt fordelt overflaterust
Korrosjonsgrad D:	Kraftig avskallende overflaterust og tydelig tverrsnittsreduksjon
Korrosjonsgrad E:	Gropetæring

K/Na-analyse
Na- og K-analysene ble utført ved bruk av flammeemisjon på atomabsorpsjonsspektrometer. Natrium- og kaliuminnholdet ble analysert på 3,5 g betongstøv fra 2 mm's freste sjikt fra sjiktene 2-4 mm, 8-10 mm og 48-50 mm. Det ble tatt parallelle prøver fra hvert sjikt. Deretter ble hver prøve tilsatt 20 ml destillert vann og 10 ml konsentrert HCl. Etter at alt var oppløst, ble det tilsatt ytterligere 25 ml destillert vann. Løsningen ble så varmet opp, avkjølt og fortynnet til 500 ml i en målekolbe. Deretter ble alle prøvene analysert mht Na og K med et atomabsorpsjonsspektrometer. Dette er nærmere beskrevet i vedlegg 6. Måleresultatene ble presentert i tabell og grafisk.

Oksidfilm
Et begrenset antall analyser av oksidfilm på armeringen ble analysert av NTNU og Millab Consult AS.

Ved NTNU ble oksidfilmen undersøkt i mikrosonde (elektronmikroskop). Det ble kappet prøvebiter av armeringen for preparering ved metallografilaboratoriet ved NTNU. Disse prøvebitene ble innstøpt i plastmateriale og slipt/polert til en "mirror finish" på 1 µm. Deretter ble prøvebitene pådampet et karbonskikt på 150 Å for å gjøre overflaten elektrisk ledende for undersøkelse i elektronmikroskop. Prøvene ble så undersøkt ved at det ble tatt røntgenbilder av tre representative områder. Metoden er nærmere beskrevet i vedlegg 5.

Siden oksidsjiktene ofte viser seg å være mange mikron tykke, har Millab Consult AS, som alternativ til kostbare og kompliserte analyser med elektronmikroskopering, foretatt observasjoner/målinger i optisk mikroskop. Armeringsstykker ble montert i en stålblokk for sliping. Armeringsbitene ble kuttet sakte med vanlig baufil for at prøvene ikke skulle bli oppvarmet til over 40ºC. Dette ble kontrollert ved hjelp av en infrarød temperaturmåler. Det ble saget krysspor i overflatene for å kontrollere at selve slipingen ikke resulterte i ny oksiddannelse. Stålstykkene med krysspor ble montert i slipeblokken og sendt til Artech As for saktegående tørrsliping. Stålstykkene ble slipt ned til plan med selve blokken. Så ble samtlige slipte flater fotografert i et USB-mikroskop (Universal Serial Bus) med maksimum forstørrelse (200 ganger) for å kunne måle tykkelsen på oksidfilmen. Tykkelsen på oksidfilmen ble målt og samtlige snittflater ble fotografert. Metoden er nærmere beskrevet i vedlegg 7.

7 Visuell kontroll av prøveplater

Etter at platene var delt i to, ble de plassert i laboratoriet på NTNU og undersøkt visuelt.

Alle platene ble oppmålt og kontrollert. Det var ingen tegn til skader på platene i form av riss, sprekker, avskallinger eller bom. Det ble tatt bilder av alle platene.

Foto 7.1 til 7.8 viser samtlige prøveplater. (På samtlige bilder ligger prøveplatene slik at undersiden av brudekket vender opp). Oppmålingstegninger for platene er vist i figurene 7.1 til 7.16.

Foto 7.1 Prøveplate P1

Foto 7.2 Prøveplate P2

Foto 7.3 Prøveplate P3

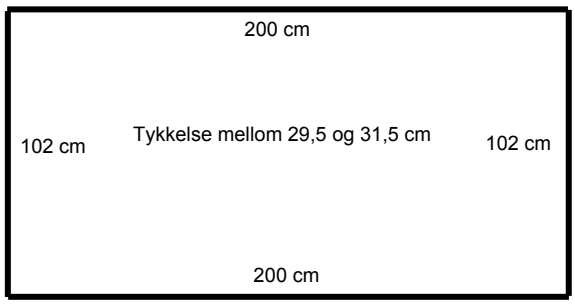
Foto 7.4 Prøveplate P4

Foto 7.5 Prøveplate P5

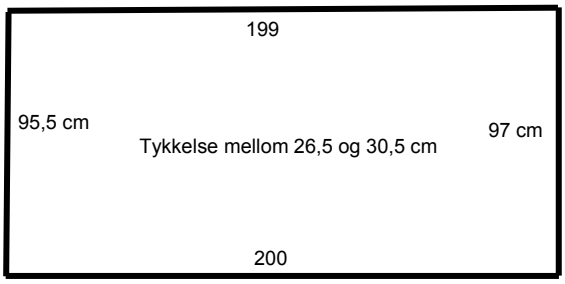
Foto 7.6 Prøveplate P6

Foto 7.7 Referanseplate R1

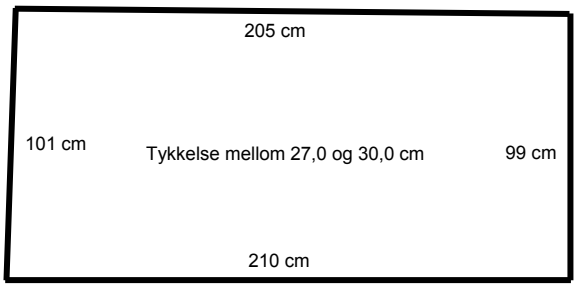
Foto 7.8 Referanseplate R2



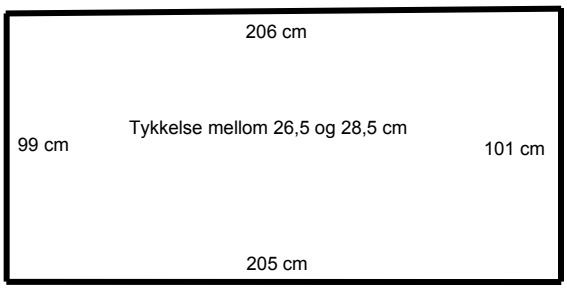
Figur 7.1 Oppmåling referanseplate R1a



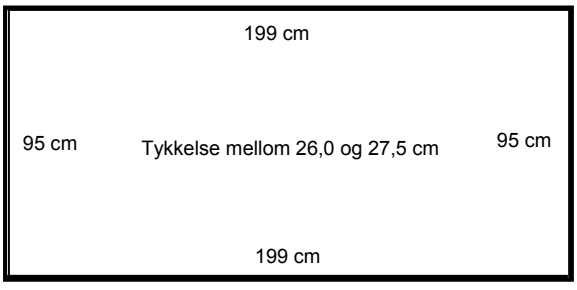
Figur 7.2 Oppmåling referanseplate R1b



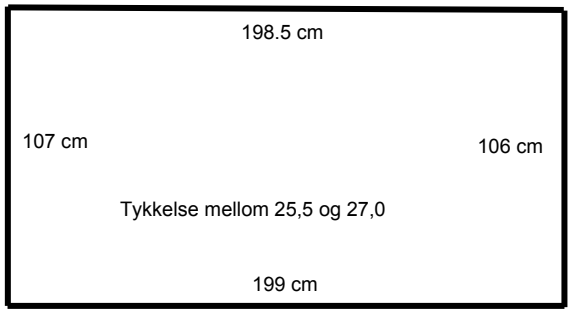
Figur 7.3 Oppmåling referanseplate R2a



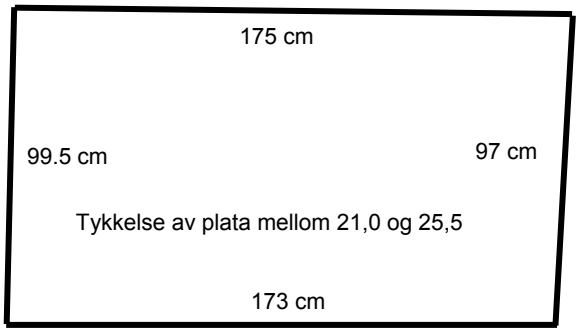
Figur 7.4 Oppmåling referanseplate R2b



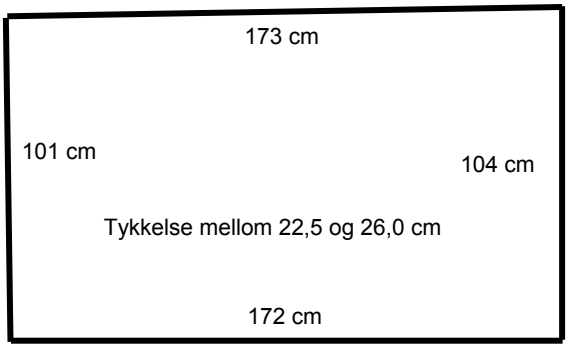
Figur 7.5 Oppmåling prøveplate P1a



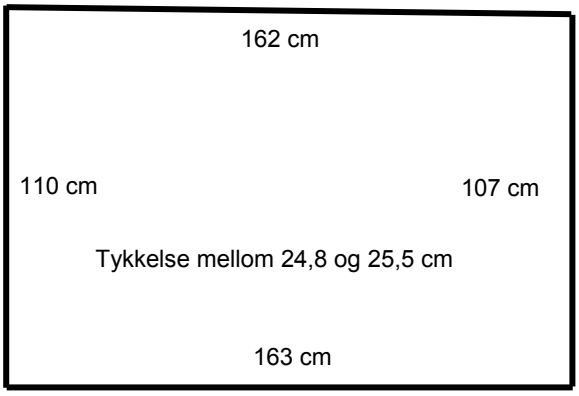
Figur 7.6 Oppmåling prøveplate P1b



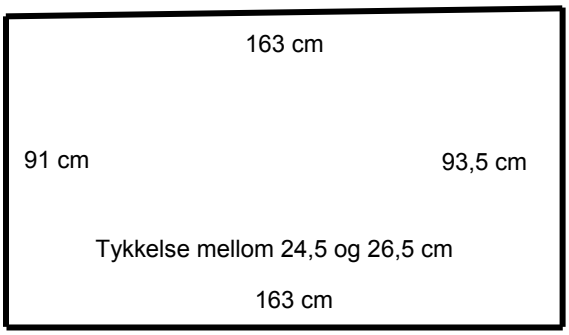
Figur 7.7 Oppmåling prøveplate P2a



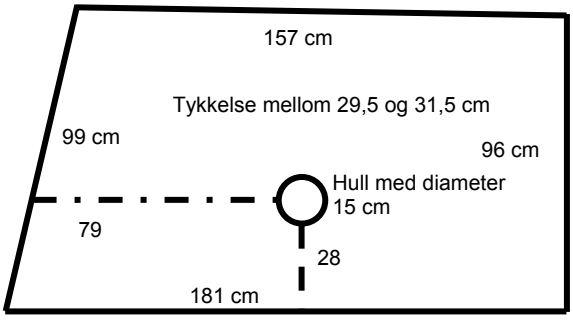
Figur 7.8 Oppmåling prøveplate P2b



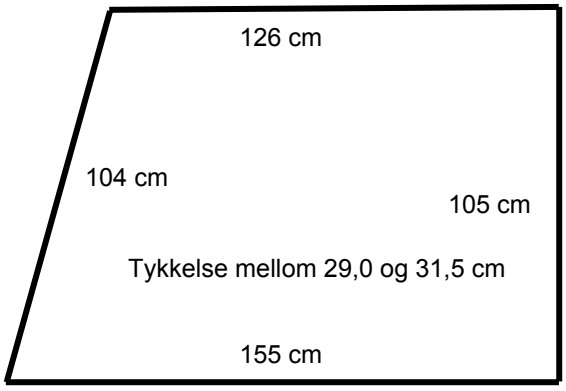
Figur 7.9 Oppmåling prøveplate P3a



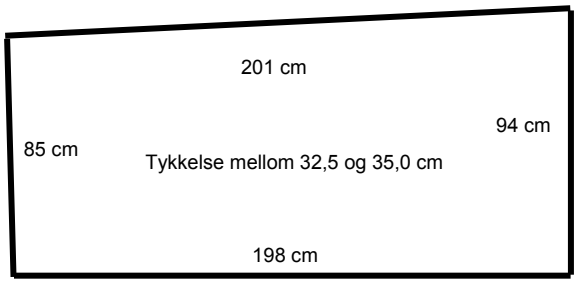
Figur 7.10 Oppmåling prøveplate P3b



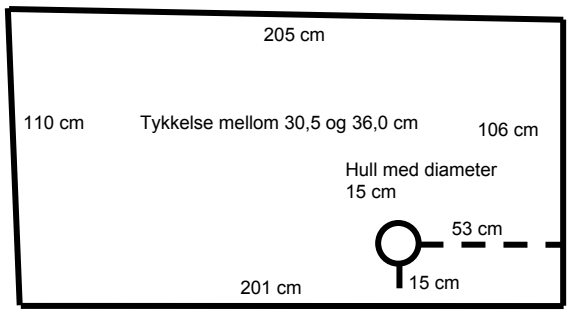
Figur 7.11 Oppmåling prøveplate P4a



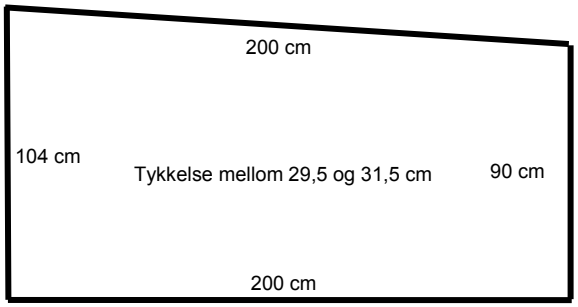
Figur 7.12 Oppmåling prøveplate P4b



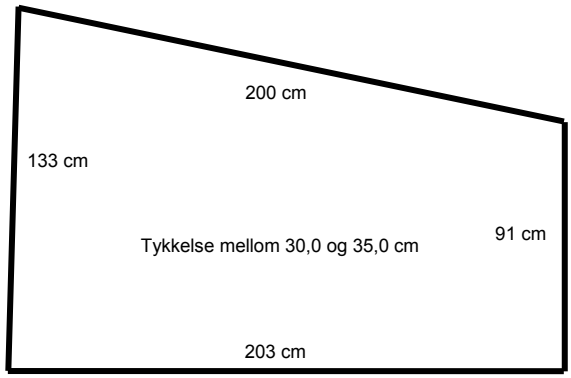
Figur 7.13 Oppmåling prøveplate P5a



Figur 7.14 Oppmåling prøveplate P5b



Figur 7.15 Oppmåling prøveplate P6a



Figur 7.16 Oppmåling prøveplate P6b

8 Materialundersøkelser og vurdering av resultatene

8.1 Karbonatiseringsdybde

8.1.1 Karbonatiseringsdybde målt med fenolftalein-oppløsning på sagflater

Karbonatiseringsdybden ble først målt ved å dusje fenolftalein-oppløsning på sagflatene på prøveplatene. Karbonatiseringsdybden ble målt ved alle jern i hver plate (ca 20 enkeltmålinger per plate). Måleresultatene viste ingen karbonatisering, med unntak av prøveplate 4b, der tre målinger viste et par mm's karbonatiseringsdybde.

Vurdering av måleresultatene

Målingene viste ingen karbonatisering, heller ikke på referanseplatene. Dette kunne ikke stemme. På alle prøveplater som var realkalisert, kunne en i beste fall forvente et slikt resultat, men ikke på referanseplatene.

En konkluderte derfor med at metoden ikke var egnet for måling av karbonatiseringsdybde. Årsaken var antagelig av betongstøv fra sagingen "ble smurt" ut over hele sagflaten ved sagingen. Dermed forurenses den karbonatiserte betongen med friskt betongstøv fra ukarbonatisert betong og fremstår som ukarbonatisert ved fenolftaleintesten.

8.1.2 Testmåling av karbonatiseringsdybde på splitta borkjerner

Siden måling av karbonatiseringsdybden på sagflater ikke fungerte, valgte en å utføre testmåling på splitta borkjerner. Det ble gjort ett forsøk med målinger på splitta 50 mm's borkjerner, for å se om

denne metoden ville gi et mer forventet resultat. To borkjerner ble tatt ut på henholdsvis prøveplate P4 og referanseplate R2. Kjernene ble splittet i to, den ene halvdelen ble påført fenolftalein-oppløsning og den andre tymolftalein-oppløsning.

På borkjernen fra prøveplate P4 fikk en kraftig rødfiolett fargeutslag på hele snittflatene etter påsprøyting med fenolftalein-oppløsning. Ved påføring av tymolftalein-oppløsning , fikk en like kraftig blåfargeutslag på snittflaten med unntak av den ytterste millimeterne mot overflaten. Dette framgår av foto 8.1.

Foto 8.1 Prøveplate P4. Fenolftalein- og tymolftalein-oppløsning på friske bruddflater.

På borkjernen fra referanseplate R2 ga fenolftalein-oppløsning rødfiolett fargeutslag, men med noe svakere farge i de ytterste 25 mm. Med tymolftalein-oppløsning var prøven fargeløs i de ytterste 32 mm og sterkt blå innenfor. Dette framgår av foto 8.2.

Foto 8.2 Referanseplate R2. Fenolftalein- og tymolftalein-oppløsning på friske bruddflater

<u>Vurdering av resultatene</u>
Borkjernen fra prøveplate P4 (realkalisert platefelt) viser omtrent ingen forskjell i karbonatiseringsdybden målt med begge indikatorløsningene. Dette skyldes høy pH som følge av realkaliseringen. Det fargeløse sjiktet helt ut mot overflaten ved tymolftalein-oppløsning er helt ubetydelig og kan muligens skyldes «utvasking» pga kondens. Kraftig fargeutslag ved bruk av både fenolftalein- og tymolftalein-oppløsning bekrefter at brudekket er realkalisert, og at det er oppnådd et pH-nivå som er høyt nok til at det dannes en stabil oksidfilm på armeringens overflate.

For borkjernen fra referanseplata R2, gir fenolftalein-oppløsningen rosa fargeutslag over hele tverrsnittet, men de ytterste 25 mm er svakt rosa. Dette tyder på lavere pH i yttersjiktet enn lenger inne i betongen. Ved bruk av tymolftalein-oppløsning er de ytterste 32 mm fargeløs. Dette viser en karbonatiseringsdybde på 32 mm, som er en del større enn karbonatiseringsdybden målt ved fenolftalein-oppløsning. Sonen med svakt rosa fargeutslag tyder på en lavere pH enn omslagsverdien for tymolftalein-oppløsning. Dersom en ser nærmere på overflaten med påsprøytet fenolftalein-oppløsing, ser en at fargeintensiteten gradvis avtar utover mot overflaten. I den aller ytterste sonen er det ikke noe fargeutslag. Resultatene tyder på at det ikke er utført realkalisering på denne plata, fordi en da burde fått resultater som vist for prøve P4 i foto 8.1 – med kraftig fargeutslag helt ut til overflaten. Som det vil framgå av foto 8.2, viser frilagt armering pågående korrosjon, noe som også bekrefter at det ikke er utført realkalisering i dette dekket. Da ville armeringen fått et svart belegg på overflaten. Armeringen korroderer, fordi den ligger i karbonatisert betong.

Disse resultatene var såpass interessante, at det ble besluttet å kartlegge karbonatiseringsdybden på splitta borkjerner. På den måten fikk en målinger på helt friske bruddflater. Det ble tatt ut fire borkjerner (70 mm) fra samtlige prøveplater (to borkjerner fra hver halvdel). Siden resultatene fra de to første borkjernene (omtalt ovenfor) viste noe diffust fargeomslag ved bruk av fenolftalein-oppløsning, fant en det hensiktsmessig å fortsette med parallelle prøver med bruk av fenolftalein- og tymolftalein-oppløsning på hver sin halvdel av borkjernen for lettere å se karbonatiseringsfronten.

8.1.3 Prøver fra referanseplater

Måleresultatene for prøver tatt på referanseplatene framgår av foto 24 til 31 i vedlegg 4.

8.1.3.1 Bruk av fenolftalein-oppløsning

For samtlige åtte borkjerner varierte enkeltmålinger for karbonatiseringsdybden (ved bruk av fenolftalein-oppløsning) fra 1 til 30 mm, med andre ord store variasjoner. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde for hver borkjerne varierte fra 1 til 25 mm med en middelverdi på ca 12 mm. Det vises til dokumentasjonen i vedlegg 4. En av prøvene, R1b-2, viste omtrent ingen karbonatisering – kun 1 mm. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde for de øvrige prøvene i referanseplatene var ca 14 mm.

Vurdering av resultatene

I 1992 varierte karbonatiseringsdybden fra 2 til 17 mm, med en antatt middelverdi på ca 10mm. Karbonatiseringsdybden kan uttrykkes som følger:

$D = k \sqrt{t}$ D = er karbonatiseringsdybde,
K = materialkonstant
t = tiden

Legger vi til grunn antatt midlere karbonatiseringsdybde målt i 1992, gir dette følgende teoretisk verdi for k, når D=10mm og t=41 år(fra 1951 til 1992):

$$k = D/\sqrt{t} = 10/\sqrt{41} = 1{,}56$$

Bruker vi denne faktoren til å vurdere forventet økning i karbonatiseringsdybden etter 15 nye år, gir dette en teoretisk karbonatiseringsdybde på:

$$D = 1{,}56 \sqrt{(41+15)} = 11{,}7\text{mm}$$

Med andre ord en økning i størrrelsesorden 2 mm. Teoretisk midlere karbonatiseringsdybde i 2007 skulle da bli 12 mm. Dette stemmer forbløffende bra med måleresultatene som ga en gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde for samtlige prøver på 12 mm.

Med bakgrunn i dette synes måleresultatene fra referansefeltene fornuftige, og målingene viser helt klart at det ikke er utført realkalisering på disse platene.

En av prøvene, R1b-2, viste omtrent ingen karbonatisering – kun 1 mm. Dette er overraskende, og vi ser ingen annen forklaring enn at dette skyldes helt spesielle lokale forhold som god betongkvalitet evt kombinert med fuktig betong. Siden betongen ble blandet på stedet, må en forvente store lokale variasjoner i betongkvalitet.

8.1.3.2 Bruk av tymolftalein-oppløsning
Ved bruk av tymolftalein-oppløsning varierte karbonatiseringsdybden fra 1 til 27 mm med en middelverdi på ca 14 mm. En av prøvene, R1b-2, viste omtrent ingen karbonatisering – kun 1 mm.

Vurdering av resultatene
Målingene viste jevnt over en karbonatiseringsdybde som var noen millimeter større enn ved måling med fenolftalein-oppløsning. Dette antar vi skyldes noe lavere pH ved karbonatiseringsfronten, som da ikke gir fargeutslag ved bruk av tymolftalein-oppløsning, men fargeutslag ved bruk av fenolftalein-oppløsning.

Målingene utført med tymolftalein-oppløsning bekreftet målingene utført med fenolftalein-oppløsning.

8.1.4 Prøver fra platespenn akse 1-2

Prøveplatene i platespennet mellom akse 1 og 2 (brudekket over jernbanelinja) var merket P4 til P6. Måleresultatene framgår av foto 13 til 23 i vedlegg 4.

8.1.4.1 Bruk av fenolftalein-oppløsning
Måleresultatene for samtlige tolv borkjerner viste enkeltmålinger for karbonatiseringsdybden som varierte fra 0 til 8 mm. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde for hver borkjerne varierte fra 1 til 3 mm med en middelverdi ca 1,5 mm .

Vurdering av resultatene
Karbonatiseringsdybden var helt ubetydelig sett i forhold til opprinnelig karbonatiseringsdybde. Dette tyder på at realkaliseringen har fungert som forutsatt. En liten fargeløs sone mot overflaten er ikke unormalt en del år etter utført realkalisering.

Siden alle prøvene viste kraftig fargeutslag, indikerer det at realkaliseringen har bidratt til en økning av pH-nivået i betongen.

8.1.4.2 Bruk av tymolftalein-oppløsning
Måleresultatene for samtlige tolv borkjerner viste enkeltmålinger for karbonatiseringsdybden varierende fra 0 til 10 mm. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde for hver borkjerne varierte fra 1 til 5 mm, med en middelverdi på ca 2,3 mm.

Vurdering av resultatene
Målingene med tymolftalein-oppløsning viste samme resultat/tendens som målingene med fenolftalein-oppløsning, men karbonatiseringsdybden var noe større. Økningen må imidlertid betraktes som ubetydelig. Dette har antagelig sammenheng med at tymolftalein-oppløsningen gir fargeutslag ved en noe høyere pH.

Resultatene viste at de to indikatorløsningene gir liten forskjell i måleresultat når karbonatiseringsdybden er liten. Målingene bekrefter at prøvefeltene er realkalisert. I tillegg viste målingene med tymolftaleinløsning at pH-nivået antagelig er større enn 11, noe som er nødvendig for å få etablert en stabil oksidfilm rundt armeringen.

8.1.5 Prøver fra platespenn akse 2-3

Prøveplatene i platespennet mellom akse 2 og 3 (brudekket i sidefeltet mot endefeltet over jernbanelinja) er merket P1 til P3. Måleresultatene framgår av foto 1 til 12 i vedlegg 4.

8.1.5.1 Bruk av fenolftalein-oppløsning

Målingene på disse borkjernene viste overraskende resultater. Seks av tolv borkjerner hadde svakt rosa fargeutslag mot ytre del av borkjernen, der yttersjiktet mot overflaten nærmest var helt fargeløs. Tykkelsen på sonen med svakt rosa fargeutslag varierte fra 15 til 37 mm. Sterk rosa fargeutslag for samtlige tolv prøver ga en "midlere karbonatiseringsdybde" varierende fra 10 til 31 mm.

Som det vil framgå av vedlegg 4, hadde omtrent alle borkjernene (P1a-1, P2a-1, P2a-2, P3a-1, P3b-1 og P3b-2) med svakt rosa fargeutslag i yttersjiktet, en vesentlig annerledes betongsammensetning ut mot betongoverflaten enn lenger inn. Betongsammensetningen i dette sjiktet ligner mer en finsats – en blanding av sand, sement og vann.

Fire av borkjernene, prøve P1a-2, P1b-2, P2b-1 og P2b-2, hadde en ubetydelig karbonatiseringsdybde. For disse borkjernene var det tydelig skille mellom betong med høy og lav pH. Gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde for hver borkjerne varierte fra 1 til 3 mm. Dette samsvarer helt med målingene fra platespennet akse 1-2. Disse borkjernene hadde lik betongsammensetning over tverrsnittet, og dermed antagelig en noe bedre betongkvalitet ut mot overflaten enn de seks borkjernene som er omtalt ovenfor.

Borkjernene P1b-1 og P3a-2 viste ikke fargeutslag i yttersjiktet. Midlere karbonatiseringsdybde var henholdsvis 14 og 26 mm. Disse prøvene hadde også "finsats" i yttersjiktet.

Vurdering av resultatene

De seks borkjernene som viste svak rosafarge i yttersjiktet indikerer en pH på 10 eller lavere med den fenolftalein-oppløsingen som er benyttet. Dette tyder helt klart på at det er utført realkalisering på dekket, men prosessen har antagelig ikke pågått lenge nok til at en har oppnådd tilstrekkelig høyt pH-nivå, som er nødvendig for å få etablert stabil oksidfilm rundt armeringen. Det rosafarga sjiktet viser antagelig karbonatiseringsdybden før realkalisering.

Det er interessant å merke seg, at for de nevnte seks borkjernene, har alle en vesentlig annerledes betongsammensetning i yttersjiktet enn lenger inn i tverrsnittet. Sjiktet med svak rosafarge samsvarer stort sett med tykkelsen på sjiktet med annen betongsammensetning. Betongsammensetningen i yttersjiktet er langt mer homogen og ser ut som en "finsats". "Finsatsen" virker også mer porøs. Vi vet at finsats ble brukt andre steder på brua i bl.a. hovedbjelkene for å sikre fullstendig omstøping rundt armeringen i nedre del av bjelkene. Siden all betong ble produsert på stedet, er det ikke utenkelig at finsatsblanding også kan ha blitt brukt andre steder enn opprinnelig planlagt. Det er all grunn til å anta at betongsammensetningen i dette yttersjiktet, har medført en vesentlig dårligere betongkvalitet enn for betongen innenfor. Dette er sannsynligvis også årsaken til at karbonatiseringsdybden er mye større på disse prøvene.

De fire borkjernene med ubetydelig karbonatiseringsdybde, tyder på at det er utført realkalisering, og på disse stedene har realkaliseringen gitt ønsket resultat.

Når det gjelder de to borkjernene som ikke viste fargeutslag, tyder det på at en ikke har oppnådd realkalisering på disse stedene. Armeringen fra prøve P1b-1 viser også pågående korrosjon på armeringen, noe som ikke hadde vært mulig, dersom området hadde vært realkalisert. Dette fordi rust på armeringsoverflaten vil omdannes til svart rust (magnetitt) ved realkalisering. Årsaken til at det ikke er oppnådd realkalisering på nevnte to steder skyldes antagelig manglende armeringskontinuitet.

8.1.5.2 Bruk av tymolftalein-oppløsning

For de borkjernene som fenolftaleintesten viste liten karbonatiseringsdybde, ga påsprøyting med tymolftalein-oppløsning samme resultat med unntak av en av borkjernene - P1a-2. For denne prøven viste bruk av tymolftalein-oppløsning noe større karbonatiseringsdybde.

For de to borkjernene som ikke hadde tegn til rosafarge i yttersjiktet ved bruk av fenolftalein-oppløsning, viste tymolftaleintesten omtrent samme resultat, gjennomsnittlig karbonatiseringsdybde på henholdsvis 14 og 22 mm.

For de resterende seks borkjernene, P1a-1, P2a-1, P2a-2, P3a-1, P3b-1 og P3b-2, som viste svakt rosautslag i yttersjiktet ved fenolftalein-oppløsning, var det ingen fargeutslag i yttersjiktet ved bruk av tymolftalein-oppløsning. Midlere karbonatiseringsdybde for hver prøve varierte fra 13 til 31 mm

Vurdering av resultatene
For de seks borkjernene med rosa fargeutslag i yttersjiktet ved bruk av fenolftalein-oppløsning, ga målingene med tymolftalein-oppløsning samme resultat som fenolftaleintesten, dersom en legger til grunn det kraftige fargeutslaget. Dette viser at den valgte fenolftalein-oppløsningen gir kraftig fargeutslag på omtrent samme pH-nivå som den valgte tymoltalein-oppløsningen. Måleresultatene viser helt klart at realkaliseringen ikke har gitt nødvendig økning av pH-nivået i betongen.

Karbonatiseringsdybden er noe større ved tymolftalein-oppløsning enn ved fenolftalein-oppløsning for prøve P1a-2, fordi noe lavere pH gir fargeutslag ved fenolftalein-oppløsning, men ikke med tymolftalein-oppløsning. Årsaken til lavere pH er antagelig at realkaliseringsprosessen ikke har pågått lenge nok.

Måleresultatene ved bruk av tymolftalein-oppløsning underbygger stort sett resultatene med bruk av fenolftalein-oppløsning, men viser i en del tilfeller karbonatiseringsfronten tydeligere.

8.2 Armeringsoverdekning

Prøveplatene inneholdt fra 8 til 23 armeringsjern i underkant dekke. Alle armeringsjern ble tegnet opp på betongoverflaten, og overdekningen ble målt i fem punkter langs alle armeringsjern - 150, 300, 500, 700 og 850 mm fra platekanten.
Resultatet av målingene framgår av tabell 1 nedenfor.

Prøveplate	**Middelverdi for overdekningen (mm) i punkter med angitt avstand fra platekanten.**				
	150 mm	300 mm	500 mm	700 mm	850 mm
P1a (15 armeringsjern)	16,9		19,7		19,7
P1b (15 armeringsjern)	19,7		15,9		16,2
P2a (8 armeringsjern)	17,2	19,9		23,1	21,9
P2b (8 armeringsjern)	18,5	20,0	20,6	24,5	29,1
P3a (20 armeringsjern)	36,3	29,5	30,7	31,9	35,5
P3b (18 armeringsjern)	28,8	31,2	28,9	30,6	31,7
P4a (23 armeringsjern)	14,7	23,1	15,2	26,1	21,2
P4b (22 armeringsjern)	23,1	22,4	30,3	36,2	42,9
P5a (10 armeringsjern)	16,6	14,9	11,1	13,6	13,1
P5b (13 armeringsjern)	24,8	18,2	16,5	14,9	16,0
P6a (12 armeringsjern)	13,3	16,6	21,5	17,6	16,1
P6b(11 armeringsjern)	18,0	17,7	19,5	18,8	15,7
R1a (18 armeringsjern)	19,2		20,7		20,2
R1b (18 armeringsjern)	20,3		18,7		17,4
R2a (8 armeringsjern)	16,4	14,1	13,5	11,9	9,3
R2b (8 armeringsjern)	16,5	18,8	16,0	13,4	11,5

Tabell 1 Midlere armeringsoverdekning i hvert målepunkt på prøveplata

Vurdering av resultatene
Middelverdien for alle målingene var 27.3 mm. Til tross for dette var overdekningen i mange områder i størrelsesorden 12 – 20 mm. Den laveste enkeltverdien var 5 mm (i R2a), og den største var 54 mm (i P4b).

Måleresultatene overfor bekrefter måleresultatene fra spesialinspeksjonen i 1992.

Ved realkalisiering er det en forutsetning at all armering er i elektrisk kontakt. Kontroll av armeringskontinuitet utføres derfor alltid i forkant av en realkalisering. Hvis kravet til armeringskontinuitet ikke er oppfylt, skal det etableres nødvendige armeringsforbindelser som sikrer full kontinuitet. Måling av armeringens overdekning har vist store variasjoner. Dette er helt normalt på konstruksjoner fra denne tidsperioden. Det må derfor forventes at enkelt armeringsjern ikke er i elektrisk kontakt med øvrig armering. Mangelfull kontroll av armeringskontinuitet under utførelse av arbeidene, kan ha ført til at det ikke er avdekket at enkelte armeringsjern ikke er i kontakt med øvrig armering. Resultatet av dette vil bli at en ikke oppnår noen realkaliseringseffekt på denne armeringen. Dette kan være forklaringen til at prøve P1b-1 viser stor karbonatiseringsdybde og har korrosjon på armeringen.

Ved store variasjoner i overdekning, vil en få noe ujevn strømdistribusjon til armeringen. Dersom realkaliseringsprosessen pågår lenge nok, viser erfaringer at dette har marginal betydning for realkaliseringseffekten. Dette skyldes samme forhold som beskrevet i kapittel 8.3

8.3 Trykkfasthet

Trykkfastheten ble målt på seks borkjerner fra ulike prøveplater. Før prøving ble prøvestykkene saget opp til en lengde på 2 x sylinderdiameteren. Resultatene fra trykkprøvingen framgår av tabell 2. Tre prøver er tatt fra referanseplater og tre fra øvrige prøveplater.

For prøveplatene var midlere trykkfasthet 49.9 MPa - med høyeste og laveste verdi på henholdsvis 63,7 og 30,7 MPa. For referanseplatene var midlere trykkfasthet 35,3 MPa - med høyeste og laveste verdi på henholdsvis 45,5 og 27,0 MPa. Midlere trykkfasthet for samtlige prøver var 42,6 MPa.

Prøve nr.	Trykkfasthet (MPa)	Midlere trykkfasthet (MPa)	Midlere trykkfasthet samtlige prøver (MPa)
R1	45,5	35,3	42,6
R2,1	27		
R2,2	33,5		
P3	55,4	49,9	
P5	63,7		
P6	30,7		

Tabell 2 Resultat trykkfasthetsprøving

Vurdering av måleresultatene
Måleresultatene viste store variasjoner i fasthet, fra 27 MPa til 63,7 MPa. Fastheten var noe høyere på prøveplatene enn på referanseplatene. Fastheten er betydelig høyere enn prosjektert betongkvalitet B iht NS 427, som tilsier en minimum trykkfasthet på 230 kg/cm².

De store variasjonene i trykkfasthet skyldes høyst sannsynlig at betongen ble blandet på stedet. Erfaringer fra andre prosjekt viser store variasjoner i betongkvaliteten ved en slik betongproduksjon. En vil finne store variasjoner i betongkvaliteten for hver blanding og også mellom ulike trillebårlass. I tillegg vil utstøpingen også bidra til varierende trykkfasthet.

De ulike borkjernene som ble benyttet til måling av karbonatiseringsdybden, viste store variasjoner i betongkvalitet. På flere borkjerner var det store variasjoner i fordelingen mellom finstoff og tilslag – noe som påvirker betongkvaliteten og trykkfastheten.

De store variasjonene i trykkfasthet vil medføre store variasjoner i karbonatiseringsdybden, siden karbonatiseringsprosessen først og fremst er avhengig av betongkvaliteten. Dette bekreftes av målingene i 1992 og av målingene på referanseplatene.

Variasjoner i betongkvalitet vil også medføre ulik strømdistribusjon til armeringen, fordi høyere trykkfasthet normalt vil medføre større motstand. Erfaringer har imidlertid vist at dette har marginal betydning, dersom realkaliseringsprosessen får pågå lenge nok. Påført strøm medfører en elektrolyse med dannelse av alkalimetallhydroksider (NaOH, KOH), og tilslutt også portlanditt [$Ca(OH)_2$], hvis strømmengden er stor nok. Etterhvert som konsentrasjonen av disse stoffene øker rundt armeringen, øker også den elektriske motstanden. Når realkaliseringen skrider frem, 'flyttes' strømmen til områder hvor konsentrasjonene fremdeles er lavere. Strømmengden vil da jevne seg ut med behandlingstiden, og det vil etter hvert dannes en beskyttende oksidfilm overalt på den behandlede ståloverflaten.

8.4 Fuktinnhold

Fuktkontrollen ble utført etter at dimensjonskontroll, overdekningsmåling og karbonatiseringsmåling (på saget endeflate) var utført. Fuktigheten ble målt i en dybde på ca 20 mm et stykke inne på platene. Like før nevnte målinger/undersøkelser ble utført, ble plastinnpakkingen på prøveplatene fjernet. Etter dette ble platene eksponert for tørr laboratorieluft. Platene lå uten innpakning i plast over natten før fuktmålingene ble utført.

Den relative fuktigheten i prøvene ble målt ved hjelp av et Vaisala HM31. Måleresultatene er angitt i tabell 3 og 4 sammen med temperaturen.

Prøve nr.	Relativ fuktighet (%)	Temperatur (^oC)
P1A	91,2	19,9
P1A	82,0	19,9
P1B	92,5	19,8
P1B	91,4	19,8
P2A	89,7	20,6
P2A	93,1	20,3
P2B	92,9	21,0
P2B	91,6	20,5
P3A	83,1	18,9
P3A	83,1	18,8
P3B	86,6	19,2
P3B	85,6	19,0
P4A	85,4	17,5
P4A	85,9	17,6
P4B	86,4	17,7
P4B	85,6	17,6
P5A	91,8	19,0
P5A	90,7	19,1
P5B	88,3	19,0
P5B	92,9	18,9
P6A	89,8	18,7
P6A	85,9	18,5
P6B	80,0	18,1
P6B	81,1	18,3

Tabell 3. Måleresultat relativ fuktighet og temperatur for prøveplater

Prøve nr.	Relativ fuktighet (%)	Temperatur (^{o}C)
R1A	88,0	19,4
R1A	85,0	20,6
R1B	83,7	20,4
R1B	89,7	20,0
R2A	91,5	19,1
R2A	89,1	19,5
R2B	88,8	19,6
R2B	89,5	18,5

Tabell 4. Måleresultat relativ fuktighet og temperatur for referanseplater

Vurdering av måleresultatene
Alle målte verdier for relativ fuktighet var i området 80 til 93 %. Middelverdien for de behandlede prøveplatene var 87,8 % og for referanseplatene 88,2 %.

Fuktighetsnivået er som forventet for en utendørs konstruksjon. Med et fuktighetsnivå som vist ovenfor, er forutsetningene for armeringskorrosjon til stede, dersom armeringen ligger i korrosivt miljø.

Ettersom fuktmålingene ble utført mot slutten av målesekvensen, kan en ha fått noe uttørking i yttersjiktet. Effekten av dette har nok vært beskjeden.

8.5 Armeringstilstand

Resultatene av den visuelle kontrollen av armeringstilstanden for frilagte/blottlagte armeringsjern fra borkjernene framgår av tabellen nedenfor, tabell 5.

Prøve nr	Korrosjonsgrad	Overdekning (mm)	Midlere karb.dybde (mm)
Prøveplater (realkalisert)			
P1a-2	A	20	1
P1b-1	C	16	26
P2a-2	B	21	19
P2b-2	A	34	1
P3a-2	A	31	30 (rosa)
P4a-1	A	15	1
P4a-2	A	17	1
P4b-2	A	30	2
P5a-1	A/B	11	2
P5b-1	A	21	1
P6a-2	A	10	2
P6a-3	A	15	1
Referanseplater (ikke realkalisert)			
R1b-1	B	20	6
R2a-1	B	16	2
R2b-1	B	14	17

Tabell 5 Armeringstilstand

Vurdering av resultatene

Av 12 prøver fra prøveplater hvor det var foretatt realkalisering, viste 10 prøver ingen korrosjon på armeringen. Armeringen hadde en svart overflate, riktignok med noen betongrester som enkelte steder kunne inneholde noen rustprodukter. Rustprodukter i betongen vil imidlertid ikke påvirkes av realkalisering.

For prøve P2a-2 var det tegn til overflaterust på armeringen. Karbonatieringsmålingene viste svak rosa fargeutslag på overdekningssjiktet. Dette sammenholdt med overflaterust på armeringen, indikerer at realkaliseringsprosessen ikke har pågått lenge nok til etablering av ny oksidfilm på armeringen.

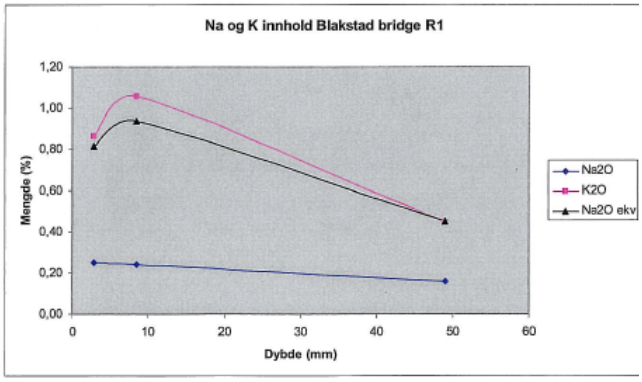
Prøve P1b-1viste kraftig overflatekorrosjon på øvre halvdel av armeringen, se foto 3 i vedlegg 4. Overgangen mellom korrodert flate og uskadet armering er på samme nivå som karbonatiseringsdybden. Dette tyder på at en ikke har oppnådd realkalisering. Dette skyldes antagelig manglende kontinuitet.

For samtlige prøver på referanseplatene var det tegn til overflaterust på armeringen. For en av prøvene, R2b-1, skyldtes dette pågående korrosjon pga at armeringen lå i karbonatisert betong. For de to øvrige prøvene antar vi rustfargen på overflaten stammer fra byggeperioden.

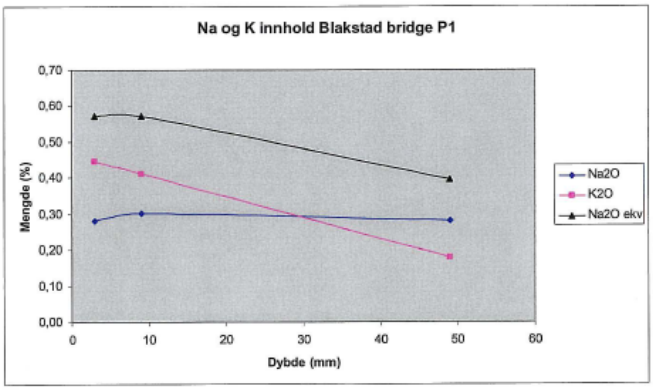
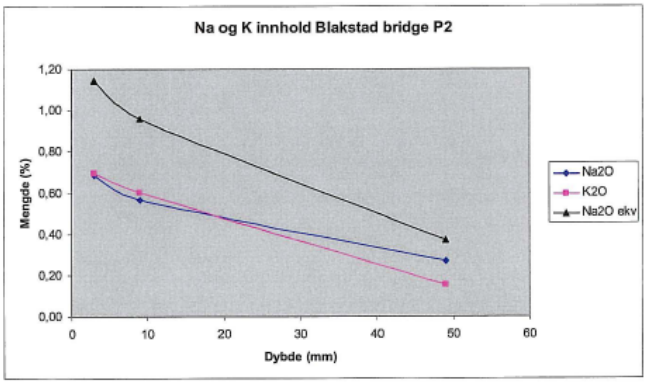
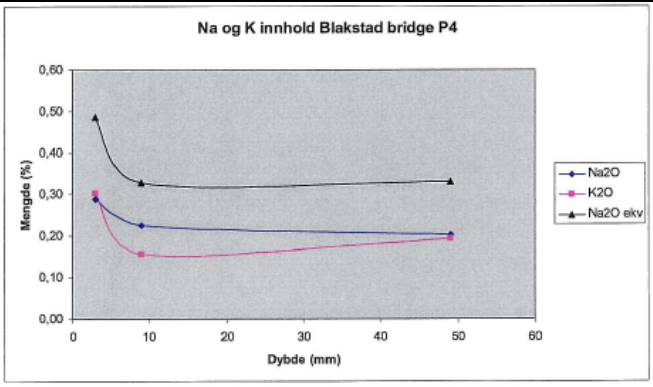
8.6 K/Na-resultat

Borkjerner for analysering av K/Na-innhold ble tatt fra prøveplate P1, P2 og P4 samt referanseplate R1. Prøvene ble sendt til Sintef for analysering. Rapporten fra Sintef er vist i vedlegg 6.

Vi antar at resultatet fra prøvesjiktet 48 til 50 mm er representativt for bakgrunnsverdiene av natrium og kalium i betongprøven og har lagt dette til grunn for vurderingene i rapporten. Resultatene framgår av tabell 6 og 7.

Prøve	Beskrivelse av resultat	Fig fra SINTEF rapport (vedlegg 6)
R1	Natrium- og kaliumverdiene i sjiktene 1,9 til 3,8 mm og 7,6 til 9,5 mm viser både en omfordeling og en økning av ionekonsentrasjonen som neppe er mulig uten elektrokjemisk behandling	

Tabell 6 Resultat K/Na-analyser referanseplate

Prøve	Beskrivelse av resultat	Fig fra SINTEF rapport (vedlegg 6)
P1	Natrium- og kaliumverdiene i sjiktene 2 til 4 mm og 8 til 10 mm viser en omfordeling av ionekonsentrasjonen som sannsynliggjør at en elektrokjemisk behandling har pågått. Økningen av ionekonsentrasjonen er beskjeden.	
P2	Natrium- og kaliumverdiene i sjiktene 2 til 4 mm og 8 til 10 mm viser både en omfordeling og en økning av ionekonsentrasjonen som neppe er mulig uten elektrokjemisk behandling.	
P4	Natrium- og kaliumverdiene i sjiktene 2 til 4 mm og 8 til 10 mm viser beskjeden omfordeling av ionekonsentrasjonen. Økningen av ionekonsentrasjonen er beskjeden.	

Tabell 7 Resultat K/Na-analyser realkaliserte plater.

Vurdering av måleresultatene

Prøver fra referanseplate R1 og prøveplate P2 tyder på at betongen er realkalisert. Prøver fra prøveplatene P1 og P4 indikerer at elektrokjemisk behandling har pågått, men økningen i ionekonsentrasjon er meget beskjeden. Det er mulig at prøvene er tatt for langt vekk fra armeringen eller at armeringskontinuiteten i disse steder har vært dårlig.

Prøvene P1, P2 og P4 er fra plater som er realkalisert, mens prøve R1 er fra plate som ikke er realkalisert. Resultatene tilsier at referanseplate R1 er realkalisert, men dette kan ikke stemme, siden R1 var ubehandlet. En mulig forklaring kan være sammenblanding av prøver eller feilmerking.

I tillegg tilsier overnevnte målinger at prøveplate P2 er realkalisert. Dette er for så vidt riktig, men andre undersøkelser har vist at realkaliseringseffekten har vært dårlig.

For prøveplate P1 og P4 viser K/Na-analysene bare svak indikasjon på at platene er realkalisert. For disse prøvene har andre undersøkelser vist dårlig realkaliseringseffekt i prøvefelt P1 og god effekt i prøvefelt P4.

K/Na-analysene viser resultater som samsvarer dårlig med hvor det faktisk er utført realkalisering og ikke minst med resultatene fra de andre undersøkelsene. Det er svært vanskelig både å forstå og tolke resultatene. Stort sett kan en si at K/Na- analysene kun synes å stemme for prøvefelt P2.

Dersom borkjernene er tatt langt fra et armeringsjern, vil effekten av realkalisering bli dårligere. Det samme vil skje pga dårlig eller manglende armeringskontinuitet. Sett i lys av dette vil måleresultatene antagelig bli usikre. I tillegg er det store variasjoner i betongkvalitet (trykkfasthet) og betongsammensetning. Enkelte mindre områder har bare finstoff uten særlig tilslag, mens andre områder har et langt større innhold av tilslag. Siden analysene utføres på betongstøv fra freste dybdesjikt, vil andelen finstoff og tilslag kunne variere betydelig. Dette vil selvfølgelig også påvirke K/Na-analysene.

Det skal også bemerkes at for den valgte prosedyre for K/Na-analyse, vil en enkel syreløsning uten forhåndsanriking resultere i ekstraksjon av K og Na fra både sementen og aggregatet. Dette vil påvirke resultatene. De stoffer vi er interessert i, er vannløselige. Betongen burde vært ekstrahert med vann – ikke syre, og spesielt ikke saltsyre (HCl). Det hadde vært bedre å regne på K/Na-forholdet i stedet for konsentrasjoner. Dersom dette forholdet er forskjøvet sammenlignet med referanser, vil det klarere si hva som har foregått.

Erfaringer fra andre prosjektet viser at K/Na-analyser ikke er så godt egnet for å dokumentere effekten av realkalisering, noe også resultatene i dette prosjektet viser. Selv på blindprøver er det vanskelig å få riktig resultat. Det finnes heller ikke gode referanseprøver for slike analyser.

Det er stor usikkerhet knyttet til analyseresultatene for en betong med så store variasjoner i kvalitet og sammensetning som i dette tilfelle. Metoden ble vurdert som lite egnet til å dokumentere utført realkalisering. En valgte derfor ikke å fortsette med disse analysene i prosjektet.

8.7 Oksidfilm

8.7.1 Oksidfilmens tykkelse målt med elektronmikroskop

Oksidfilmens tykkelse ble først målt på en armeringsprøve fra behandlet felt og fra referansefelt, henholdsvis prøveplate P4 og referanseplate R2. Undersøkelsen viste at tykkelsen på oksidsjiktet var i størrelsesorden 50-100 µm på prøve P4, mens den var noe tykkere på prøve merket R2, 100-150 µm. Det ble også påvist rester av betong som oksider av Mg, Al, Ca, Fe, samt spor av enkelte andre elementer. Det vises til rapporten fra Elektronmikroskopilaboratoriet ved NTNU i vedlegg 5.

Vurdering av resultatene

Armeringsprøven fra prøveplate P4 (realkalisert), hadde en oksidfilmtykkelse på 50-100 µm. En ubehandlet prøve vil normalt ha en oksidfilmtykkelse i størrelsesorden 10 µm. Ved realkalisering vil strømgjennomgangen medføre at oksidsjiktets tykkelse øker med en faktor på 5 til 10. Måleresultatet viser at prøvefeltet har vært utsatt for realkalisering, og at den elektrokjemiske prosessen har etablert en oksidfilm (korrosjonsbeskyttende film) rundt armeringen.

Armeringsprøven fra referanseplate R2, som ikke var realkalisert, viste en oksidfilmtykkelse i størrelsesorden 100-150 µm. Dette er overraskende, da en slik økning ikke skal være mulig uten strømgjennomgang. En mulig årsak til dette kunne vært at brudekket med referanseplatene var blitt påvirket ved realkalisering av brudekket i nabospennet. Avstanden er så stor fra referansefeltet til brudekket (som er ble realkalisert) at dette ikke skal være mulig. Vi tror heller at dette skyldes forveksling av prøver eller feilmerking.

8.7.2 Oksidfilmens tykkelse målt med optisk mikroskop

Siden måling av oksidfilmens tykkelse med elektronmikroskop både er kostbar og viste resultater som samsvarte dårlig med utført behandling på platene, valgte en i fortsettelsen å måle oksidfilmens tykkelse med optisk mikroskop.

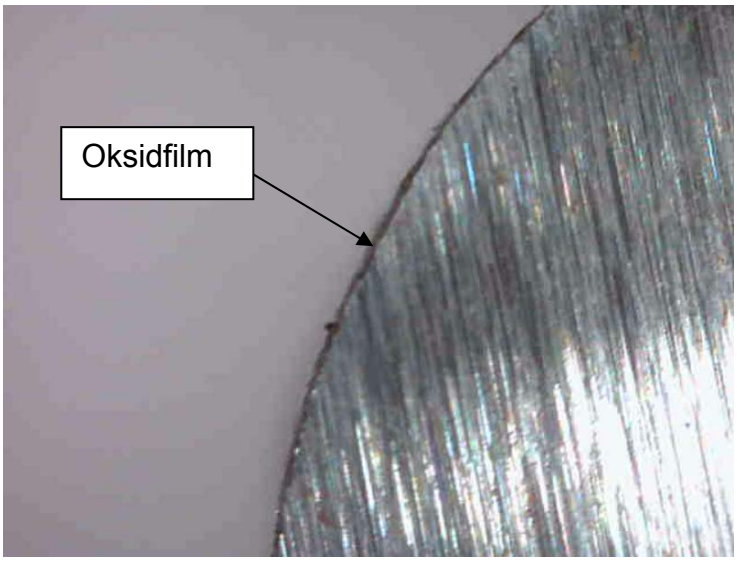
Måling av oksidsjiktets tykkelse ved optisk mikroskop, viste ingen oksidfilm på overflaten av armeringen fra referanseplatene. Alle prøver fra realkaliserte plater hadde en tykkelse på oksidsjiktet fra 0,02 til 0,05 mm. Måleresultatene framgår av tabell 8. Foto 8.3 viser oksidfilmen på prøve P5a-1. For øvrig henvises til rapport fra Millab i vedlegg 7.

Prøve fra	Oksidsjiktets tykkelse (mm)
R1b-1	0
R2a-1	0
P6a-2	0,02
P5a-1	0,03
P4a-1	0,02 – 0,03
P2b-2	0,02 – 0,05

Tabell 8 Oksidsjiktets tykkelse

Foto 8.3

Svart belegg (oksidsjikt) på armeringens overflate – prøve P5a-1. Estimert sjikttykkelse ca 0,03 mm



Vurdering av resultatene

Resultatene viste at armeringsjern fra referansefeltene ikke hadde korrosjonsbeskyttende oksidfilm. Dette kunne en også se visuelt i form av rustbelegg og rustprodukter på armeringsoverflaten.

Samtlige prøver fra realkaliserte flater, der realkaliseringen har fungert, hadde tett svart oksidbelegg på armeringsoverflaten. Dersom vi legger til grunn en oksidsjiktstykkelse på 0,01 mm for armering i ubehandlet og ukarbonatisert betong, viser oksidmålingene en økning av oksidsjiktet med en faktor fra 2 til 5. Dette tyder på at prøvene har vært utsatt for realkalisering, og at realkaliseringen har pågått lenge nok til å få etablert en stabil oksidfilm på armeringens overflate. Realkaliseringen har med andre ord gitt ønsket resultat på disse prøvestedene. Dette samsvarer med måleresultatene i kap 8.1, siden armeringen er tatt fra disse borkjernene.

9 Oppsummering

Resultatene i prosjektet viser at realkalisering av underkant bruplate akse 1-2 over jernbanesporet har fungert og gitt ønsket resultatet. Realkaliseringsprosessen har bidratt både til etablering av korrosjonsbeskyttende oksidfilm på armeringen og til reetablering av det alkaliske miljøet i betongen.

For underkant brudekke akse 2-3, har realkaliseringen ikke fungert som forutsatt. Det er kun på deler av dekket en har oppnådd ønsket resultat. Årsaken er antagelig at realkaliseringsprosessen er avsluttet for tidlig, slik at stabil oksidfilm på armeringen eller reetablering av det basiske miljøet i betongen ikke er oppnådd. I tillegg har undersøkelsen avdekket enkeltpunkter der en ikke har oppnådd noe realkalisering. Dette skyldes antagelig manglende armeringskontinuitet.

Omfanget av malingsavflassing på undersiden av brudekkene må betraktes som beskjeden tatt i betraktning av at det var 12 år siden flatene ble behandlet. Basert på visuell vurdering, har valgt produkt fungert rimelig bra som overflatebehandling på fuktig realkalisert flate.

Referansefeltene viser en ytterligere karbonatisering som samsvarer med teoretisk forventet videreutvikling av karbonatiseringsdybden, dersom vedlikehold ikke hadde blitt utført i 1995.

I dette prosjektet har en fått bekreftet at K/Na-analyser ikke er så egnet til å dokumentere effekt av realkalisering. Det en ønsker ved realkalisering er å få etablert en permanent korrosjonsbeskyttende film på armeringen. Dette krever at realkaliseringsprosessen må pågå lenge nok til å oppnå denne effekten. Total strømmengde Ah/m^2 sammen med andre undersøkelser bør brukes som dokumentasjonskriterier for oppnådd realkalisering.

Erfaringene i dette prosjektet viser at måling av karbonatiseringdsdybde og måling av oksidfilm bør benyttes som dokumentasjon av realkalisering sammen med total strømmengde til armeringen.

10 Anbefalinger

Følgende erfaringer kan trekkes ut av dette prosjektet og benyttes som anbefalinger i forbindelse med bruk av metoden i framtiden:

- Realkalisering kan dokumenteres på splitta borkjerner med påsprøyting av fenolftalein-oppløsning. Det bør fortrinnsvis brukes 1 % fenolftalein-oppløsning, da den vil gi sterk rødfiolett fargeutslag ved pH rundt 11
- Dersom det er vanskelig å tolke fargeutslaget ved bruk av fenolftalein-oppløsning, kan parallellprøving utføres med tymolftalein-oppløsning. En må da være spesielt oppmerksom på at fargeutslaget ved bruk av tymolftalein-oppløsning kan være noe vanskelig å tolke på mørk betongflate
- Intensiteten på fargeutslaget ved bruk av fenolftalein-oppløsning er pH-avhengig
- K/Na-analyser er ikke så egnet for dokumentasjon av realkalisering, selv om denne metoden er foreslått i RIF-veiledningen. Metoden bør tas ut av veiledningen ved neste revisjon.
- Måling av oksidfilmen på armeringen kan være godt egnet for dokumentasjon av oppnådd realkalisering. Dette bør undersøkes nærmere. Bruk av optisk måling i mikroskop er en interessant metode som bør undersøkes nærmere, fordi den er enklere og rimelige enn andre alternative metoder.
- I forbindelse med realkalisering av betong med store variasjoner i betongkvalitet, er det viktig at realkaliseringsprosessen ikke avsluttes for tidlig. I framtiden bør en bruke total strømmengde til armeringen (Ah/m2 armeringsoverflate) som dokumentasjonskriterium slik som angitt i CEN/TS 14038-1. Dette vil bidra til at prosessen får pågå lenge nok til å oppnå ønsket effekt og er enklere å følge opp. For å dokumentere at realkalisering faktisk har funnet sted, bør det i tillegg utføres påvisning av pH på splitta borkjerner og måling av

oksidfilm på armeringens overflate. Dette bør tas inn i den nye revisjonen av RIF-veiledningen
- Det er viktig at all armering er i kontinuitet. Gode rutiner for kontroll av armeringskontinuitet er viktig for at sluttresultatet skal bli bra. Dette er spesielt viktig på eldre konstruksjoner der armeringskontinuiteten kan være svært variabel og mangelfull.

11 Referanser

/1/ Handbook of Chemistry and Physics, 72nd Editition, 1991-1992, CRPC, Boston

/2/ B. Elsener: “Half-cell potential measurements- Potential mapping on reinforced concrete structures” in RILEM TC 154-EMC: 'Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion', Materials and Structures Vol. 36, August-September 2003, pp 461-471

/3/ ASTM C 876-91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.

/4/ F. Wenner, Bulletin of US Bureau of Standards, Science Paper 12, 1916.

/5/ V. Pollet, “Re-alkalisation: specification for the treatment application and acceptance criteria”, Annual progress report 1998-1999, COST 521 workshop, Annecy, 1999

/6/ COST 521, “Corrosion of Steel Embedded in Concrete”, Final report, Ed. Romain Weydert, Luxembourg, 2002

/7/ COST 509, ”Corrosion and Protection of Metals in Contact with concrete, Final report, Brussels 1997

/8/ Trinn 1 inspeksjon utført av Dr.techn. Kristoffer Apeland AS og Østlandskonsult AS, 18.september 1992

/9/ Anbudsgrunnlag del 1, rehabilitering av Blakstad brua, utarbeidet av Dr.techn. Kristoffer Apeland AS, mars 1995

/10/ Opprinnelig armeringstegning

Vedlegg 1

Ferdigbrutegning

Ferdigbrutegning

STATENS VEGVESEN

Blakstad bru	Riks veg	9	226	1951	Arkiv nr.
Arendal - V. Agder gr.		nr.	Byggenr.	Bygd år	68T 9/5
Fylke: A-Agder	Herred: Froland	Klingsetering (beliggende): Vest Nul 75 0.001 km fra Arendal			Tidl. r.v. 390/39

Tverrsnitt M =

Brusystem: Arm. betongbue m/arm. dragere

Konstruksjon (materialer): Arm. betong

Brudekke: Arm. betong Slitedekke: asf. t = 4 cm

Underbygning (materialer): Betong Sidemurer: Steinfylling

Fundamentering:

Spennvidde/~~Lysvidde~~: 15.00 + 76.00 + 14.38 + 14.37 + 6.80 m.

Kurveutv. b = m Gangbaner G = m Føringsavst. F = 5.50 m

Fri bredde over føring: 6.50 m Fri bredde over rekkv.: m Fri høyde over pl.: m Fri høyde @ bru: m Fritt seilløp: m

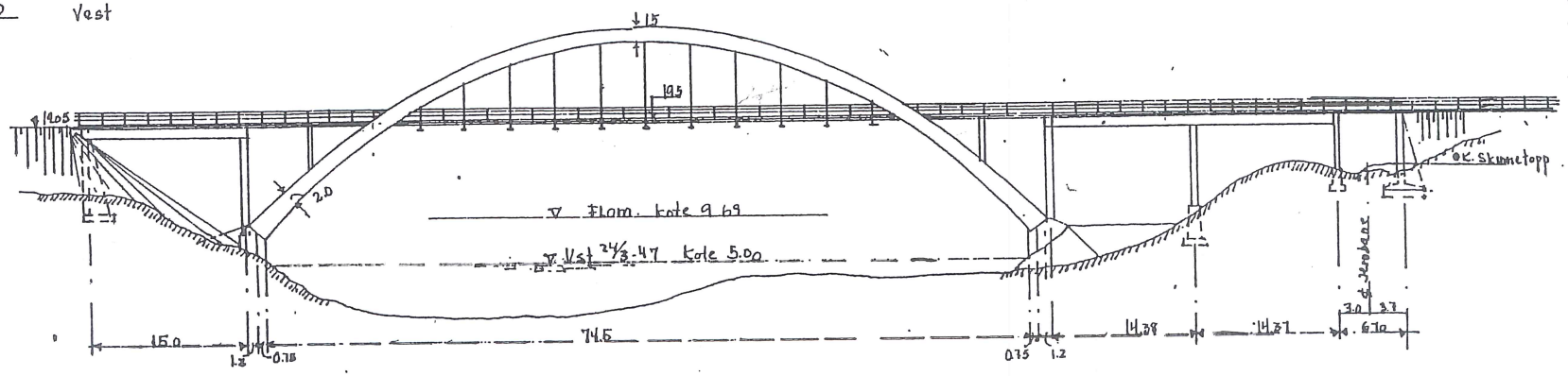
Konstruert for lastkl.: 2/1947
Konstruert for akseltrykk: 10 tonn

Endringer av lastkl./akseltr.: 1966 - 13 tonn

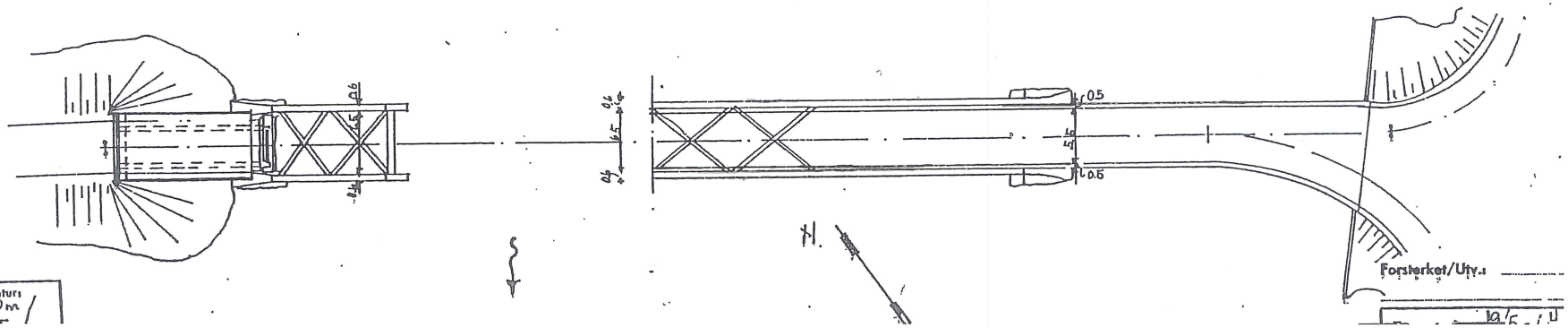
Overbygning:
Konstruert av:
Bygd av:

Underbygning:
Konstruert av:
Bygd av:

Oppriss M = 1:500



Grunnriss M = 1:500



Skisse vegkurvatur: 0m 0m

Forsterket/Utv.:

4000. 12-60.

Vedlegg 2

Brukort

Statens vegvesen

BRUTUS

BYGGVERKSDATA - BRUKORT

Kjørt av: SOLVIA
Dato: 15.10.2010 09:36

Beskrivelse av rapport:

Brukort for bru nr 9-226, Blakstad

Utvalgsparametre	Fra	Til
Fylke		
Distrikt		
Vedlikeholdsansvarlig		
Kommune nr.		
Vegnr.		
Vegnavn		
Hovedparsell		
Meter		
Status		
Vegbeliggenhet		
Kategori		
Største spennvidde		
Ant. spenn		
Lengde		
Type		
Konstruksjonsmat.		
Lastklasse		
Brukslast		
Bruksklasse år		
Byggeår		
Siste ombygn. år		
Museal status		
Klima		
Brunr.		

Identer, administrative data og størrelser:

Nr.:	09-0226	**Navn:**	Blakstad	**Byggeår:**	1951
Kat.:	Vegbru	**Hovedtype:**	Buebru, mellomliggende brudekke	**Status:**	RE/2007
Eier:	Statens vegvesen Aust-Agder	**Konstruktør:**			
Vedl. ansv.:	Ingen/ute av drift	**Entreprenør:**			
Distrikt:	Aust-Agder	**Byggeleder:**			
Kommune:	Froland	**Tot. pris:**			
F. brutegn.:	JA	**Erstatter:**			
Klima:	Innland	**Erstattes av:**	09-1217		
Lastklasse:	SVV 2/47	**Historikk:**			
Brukslast:	Bk 10 **Klass. år:** 1991	**Museal status:**			
Totalvekt:	50,00	**Siste h. insp.:**	1992		
Veggruppe:	A	**Justert HK:**	2,849		
Dispensasjon :					
Vegd. arkiv:	JA	**Org. tegn.:**	E55	**Foto:**	JA
Region arkiv:		**Org. tegn.:**		**Foto:**	
Ark. merk.:					
Lengde:	129,85	**Største spenn :**	74,40	**Areal :**	908,95
Bredde:	7,00	**Antall spenn :**	5	**Skjevhet :**	

Merknad: Brua ble sprengt ned 19/12-2006 / AK

Type / Overbygning:

ID	Type	Statisk system	Akse (fra - til)
	Bjelkebru, plassprodusert, konstant høyde m/samvirke Materiale : Betong	Kontinuerlig	
	Bjelkebru, plassprodusert, konstant høyde m/samvirke Materiale : Betong	Fritt opplagt	
	Platebru, massiv, rektangulært tverrsnitt Materiale : Betong	Fritt opplagt	
•	Buebru, mellomliggende brudekke Materiale : Betong	Uten ledd (buer/hvelv)	

Elementer:

Elementtype			Merknad			Akse (fra - til)	
C1	Landkar					1	1
	Materiale 1:	Betong		Overfl. beh. 1:	Ingen		
	Landk. type:	Vinkellandkar					
C1	Landkar					6	6
	Materiale 1:	Betong		Overfl. beh. 1:	Ingen		
	Landk. type:	Vinkellandkar					
C2	Pilar		Delrehabilitering 1995: 87.41 : Rigg, stillaser og skjerming: 5000,- 87.431: Rengjøring:448,- 87.436: Oppmørtling: 252,- 87.471: Rengjøring betong: 55 x 75,- 87.473:Porefylling: 55 x 110.- 87.476: Overflate:Rescon Redisan:55x110,-			2	2
	Materiale 1:	Betong		Overfl. beh. 1:	Maling, diff. åpent		
	Pilar type:	Firkant u/hulrom (b <= 5t)					
C2	Pilar					3	3
C2	Pilar					4	4
C2	Pilar					5	5
D1	Plate (hovedbæresystem)		Delrehabilitering 1995: 87.41: 10.000,- 87.432 Fjerning betong: 0,281 x 160.000,- 87.432: Rengjøring armering: 6,5 x 40,- 87.436 Oppmørtling: 0,281 x 40.000,- 87.451 Realkalisering: 113 x 750,- 87.471 Rengj. betong: 69 x 75,- 87.472: Slemming; 113 x 90,- 87.473 Porefylling: 12 x 120,-			1	2

Elementer:

Elementtype		Merknad	Akse (fra - til)	
D21	Hovedbjelke	87.521 Rengjøring 210 x 120 kr/m^2 87.522 Rep. underside bjelke: Midlere dybde; < 100mm: 6 x 3401 kr/m Midlere dybde; 100-159mm: 65 x 3613 kr/m Midlere dybde; 150-200mm: 19 x 3670 kr/m 87.523 Rep. andre betongskader; Rep. enkeltstående arm.jern bredde 60-80mm; Midlere dybde; 20-40mm:5 x 320kr/m Midlere dybde; 40-60mm:10 x 410 kr/m Midlere dybde; 60-80mm:10 x 500 kr/m bredde 80-100mm Midlere dybde; 40-60mm:25 x 480 kr/m Midlere dybde; 60-80mm:20 x 600kr/m Rep. hjørneskader Midlere sidekant, < 100mm: 5 x 450 kr/m Midlere sidekant, 100-150mm:15 x 654 kr/m Midlere sidekant, 150-200mm: 5 x 910 kr/m Punktskader: Midlere dybde; 20-40mm : 4 x 350 kr/stk Midlere dybde; 60-80mm : 3 x 570 kr/stk Flateskader: Midlere dybde; 20-40mm : 1 x 900 kr/stk Midlere dybde; 60-80mm : 1 x 1100 kr/stk Rengjøring armering/korrosjonsbeskyttelse: Diameter 12-20mm: 5 x 40 kr/m Diameter 20-35mm: 30 x 40 kr/m 87.529 Impregnering 87.529 Overflatebehandling	2	3
	Materiale 1: Stål	Overfl. beh. 1: Ukjent		
D21	Hovedbjelke		3	4
D21	Hovedbjelke		5	6
D4	Buekonstruksjon	PROSESS 87.442 Reparasjon av betongskader. Hjørneskader: Midlere sidekant(150-200)= 1x910kr/m Midlere sidekant 200-250:0,5x1230kr/m Punktskader: Midlere dybde 60-80mm:3x570kr/STK. Midlere dybde 80-100mm:3x710kr/STK Flateskader: Midlere dybde 60-80mm:0,5x1100kr/m^2 Midlere dybde 80-100mm:1x1400kr/m^2 Midlere dybde 100-120mm: 0,5x1800kr/m^2 PROSESS 87.448 Impregnering: 3 x 43 kr/m^2 PROSESS 87.449 Overflatebehandling: 3 x 54kr/m^2	4	5
	Materiale 1: Betong	Overfl. beh. 1: Hydrofobering (silan-/siloksan-impreg.)		
E1	Brudekke(sek. bæresystem)	Delrehabilitering 1995: 87.41: 10.000,- 87.432 Fjerning betong: 0,281 x 160.000,- 87.432: Rengjøring armering: 6,5 x 40,- 87.436 Oppmørtling: 0,281 x 40.000,- 87.451 Realkalisering: 113 x 750,- 87.471 Rengj. betong: 69 x 75,- 87.472: Slemming; 113 x 90,- 87.473 Porefylling: 12 x 120,- 87.476 Overflatebeh. Rescom Redison: 12 x 1320,-	2	3
E1	Brudekke(sek. bæresystem)		3	4
E1	Brudekke(sek. bæresystem)		4	5
E1	Brudekke(sek. bæresystem)		5	6
E2	Slitelag/fuktisolasjon	Fuktisolert i 1994: Membran; 714 x 130 kr/m² Delrehabilitert i 1995; 87.74 2,1 x 1200,- 87.89 Demont/Remont. rister 5000,-	1	6
	Materiale 1: Betong	Overfl. beh. 1: Ingen		
	Kjørebane			
	Slitelag: A1 Asfaltslitelag			
	Membran: A3-4 Kleber (PmBE 60) og Topeka 4S			
E3	Kantdrager	Rehabilitering 1989: Rengjøring: 160 x 250 kr/m^2 Betongreh.: 95 x 400 kr/m^2 Overflatebeh. Miracote: 160 x 450kr/m^2	1	6

Elementer:

Elementtype		Merknad	Akse (fra - til)	
E3	Kantdrager	Rehabilitering 1989: Rengjøring: 160 x 250 kr/m^2 Betongreh.: 95 x 400 kr/m^2 Overflatebeh. Miracote: 160 x 450kr/m^2 Delrehabilitering 1995: 87.41: 10.000,- 87.432 Fjerning betong: 0,089 x 25 000,- 87.432: Rengjøring armering: 60 x 40,- 87.434 Korosjonsbeskyttelse: 60x45,- 87.436 Oppmørtling: 0,089 x 40.000,- 87.471 Rengjøring m/epoxy 45,5x95,- og m/Miracoat 29,5x75,- 87.473 Porefylling:75 x 120,- 87.476 Overflatebeh. 29,5 x 110,- og 45,5 x 70,-	1	6
	Materiale 1: Betong	Overfl. beh. 1: Maling, diff. åpent		
H11	Lager m/lageravsats	1987: Oppjekking og understøping av opplager: 20.100,-	6	6
H13	Fuge/fugekonstruksjon		6	6
H15	Rekkverk	Delrehabilitering 1995: 87.84 Rive rekkverk 21 x 500,- 17.59 Midlertidig rekkverk; 2500,-	1	6
	Materiale 1: Stål	Overfl. beh. 1: Ukjent		
H16	Vannavløp/drenssystem		1	6

Aksebeskrivelser:

Nr.	Aksetekst	Spennvidde
1	mot Arendal	6,70
2	pilar	14,38
3	pilar	14,40
4	bueende	74,40
5	bueende	15,00
6	mot Evje	

Antall byggverk: 1 Total lengde: 129,85 m Totalt areal: 908,95 m²

Statens vegvesen

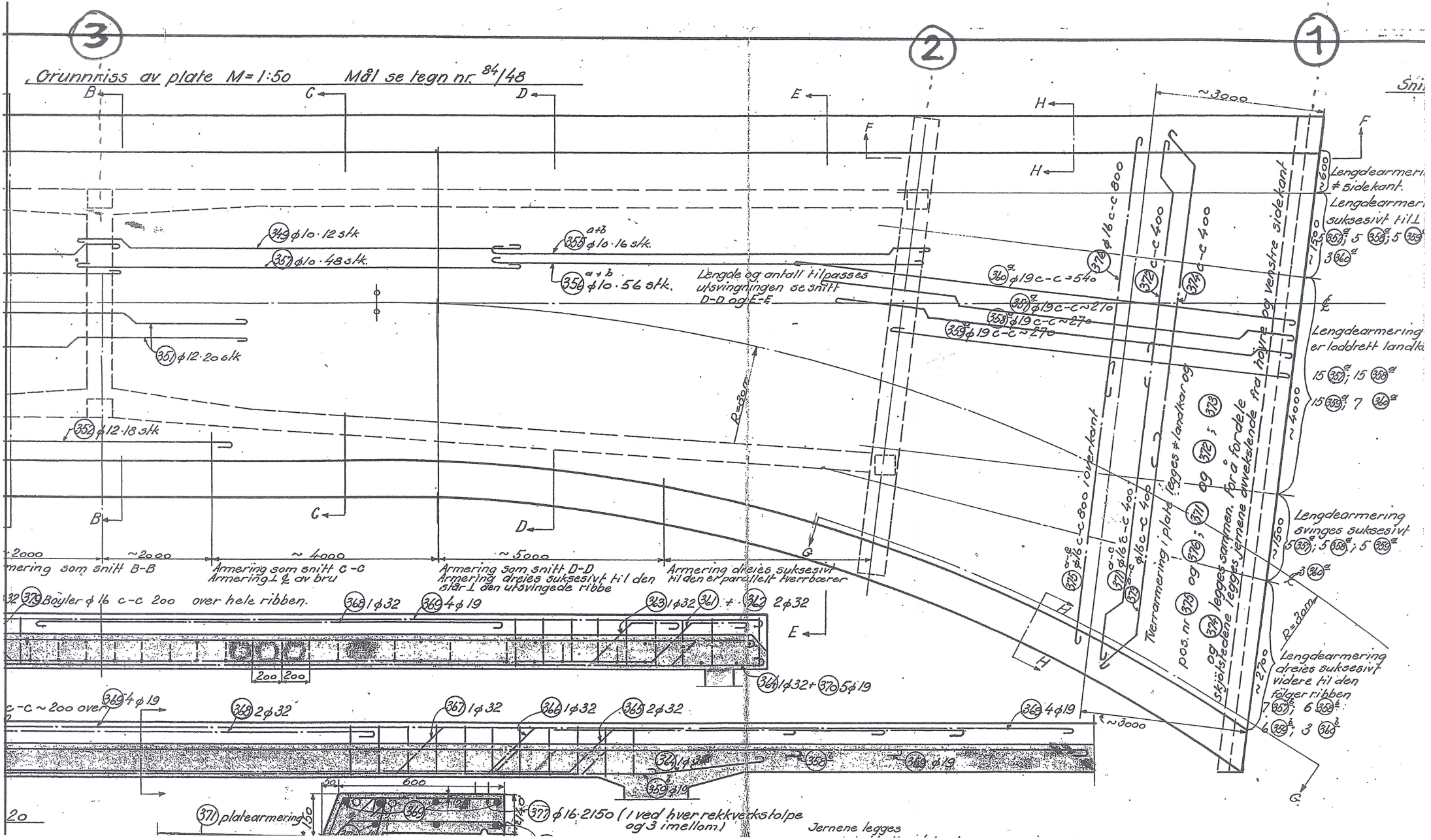
BRUTUS

BYGGVERKSDATA - BRUKORT

Slutt på rapporten

Vedlegg 3

Utsnitt armeringstegning 85/48



Utsnitt fra armeringstegning 85/48

Vedlegg 4

Karbonatiseringsprøver
Måleresultat og fotodokumentasjon

Foto 1
Prøve P1a-1

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 17 til 26 mm, middel 22 mm.

Svakt rosa utslag ytre sjikt i "finsatsdel".

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 17 til 26 mm, middel 22 mm.

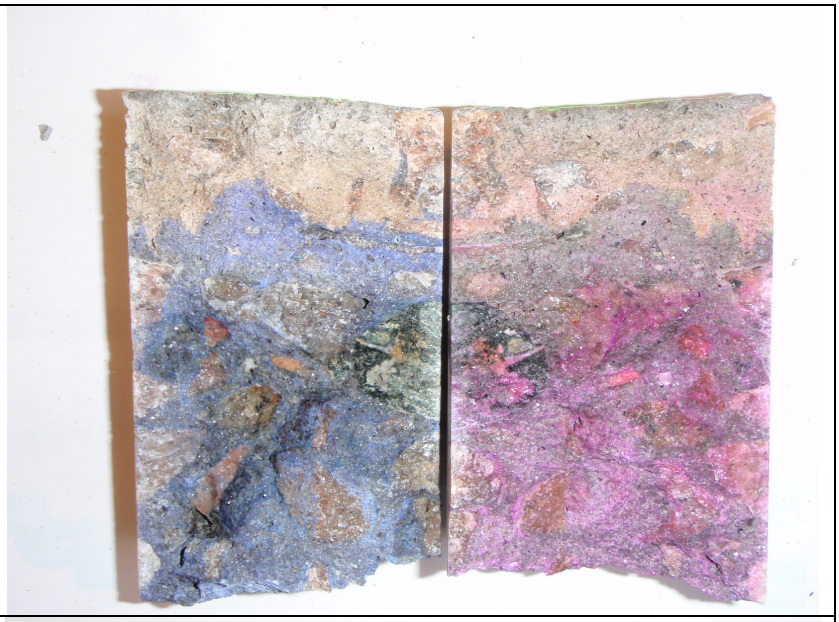


Foto 2
Prøve P1a-2

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 2 mm, middel 1 mm. Svak rosa i overdekningslaget.

Ikke korrosjon på armeringen – korrosjonsgrad A. Overdekning 20 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 5 til 22 mm, middel 10 mm.

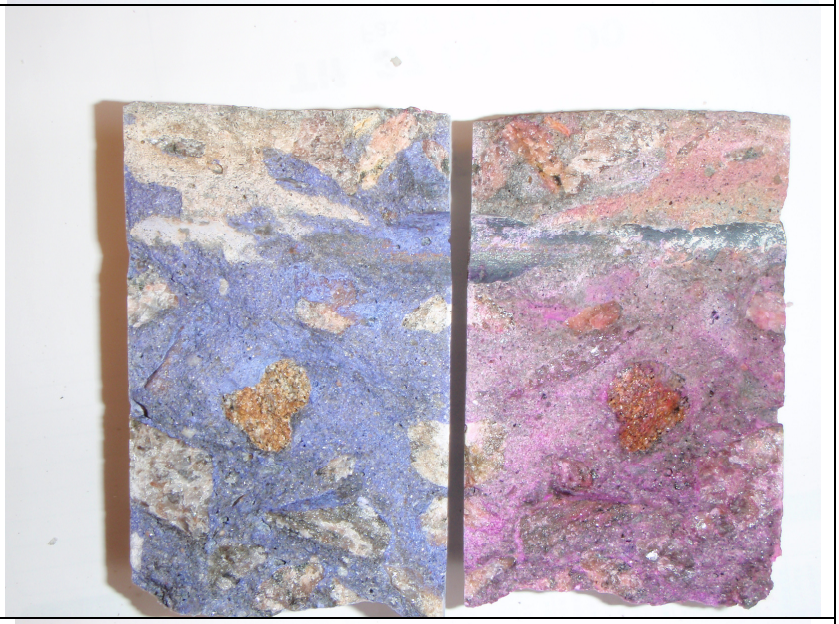


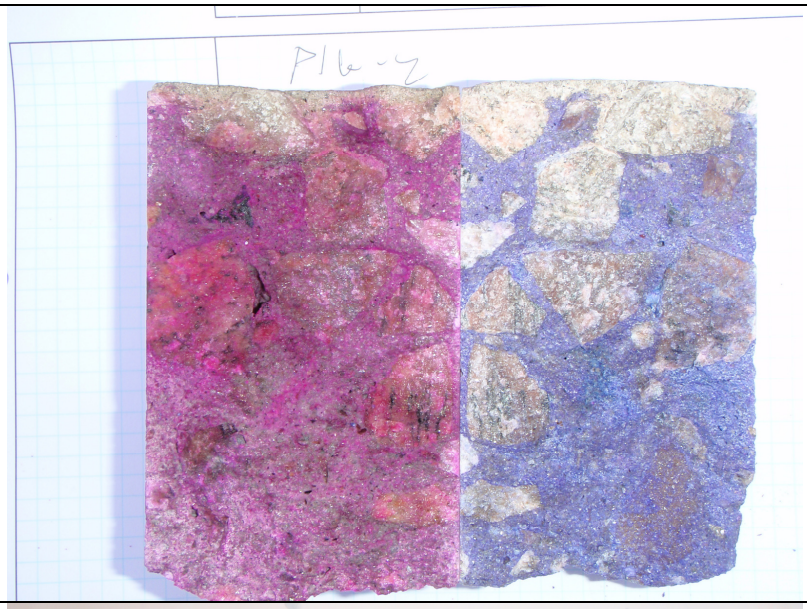
Foto 3
Prøve P1b-1

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 25 til 27 mm, middel 26 mm.

Tykkelse "finsatsdel" 43 mm. Korrosjon på armeringen. Korrosjonsgrad C. Overdekning 16 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 17 til 26 mm, min 22 mm.

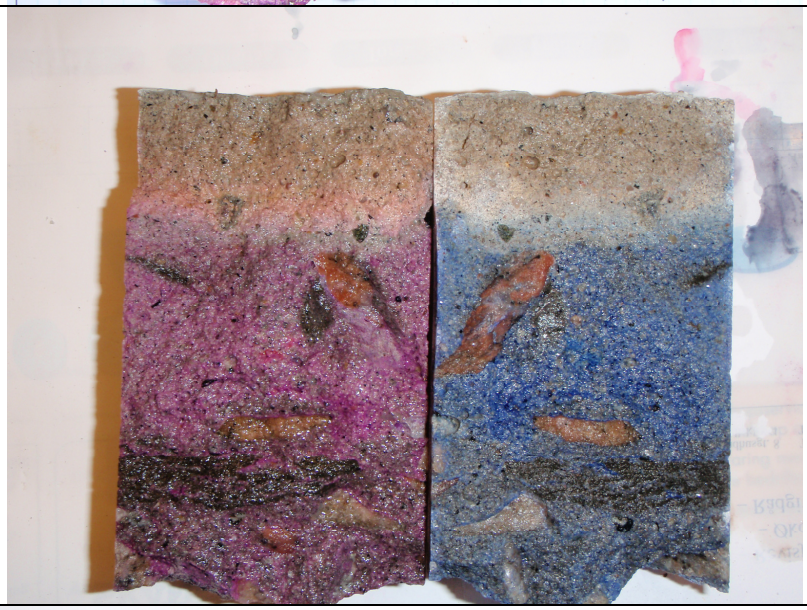
Foto 4
Prøve P1b-2



Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 4 mm, middel 2 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 4 mm, middel 2 mm.

Foto 5
Prøve P2a-1



Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 29 til 33 mm, middel 31 mm. Meget svak rosa i ytre "finsatslaget".

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 29 til 34 mm, middel 31 mm.

Foto 6
Prøve P2a-2

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 15 til 23 mm, middel 19 mm. Svak rosa farge på ytre del.

Noe overflatekorrosjon på armeringen – korrosjonsgrad B. Overdekning 21 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 14 til 26 mm, min 21 mm.

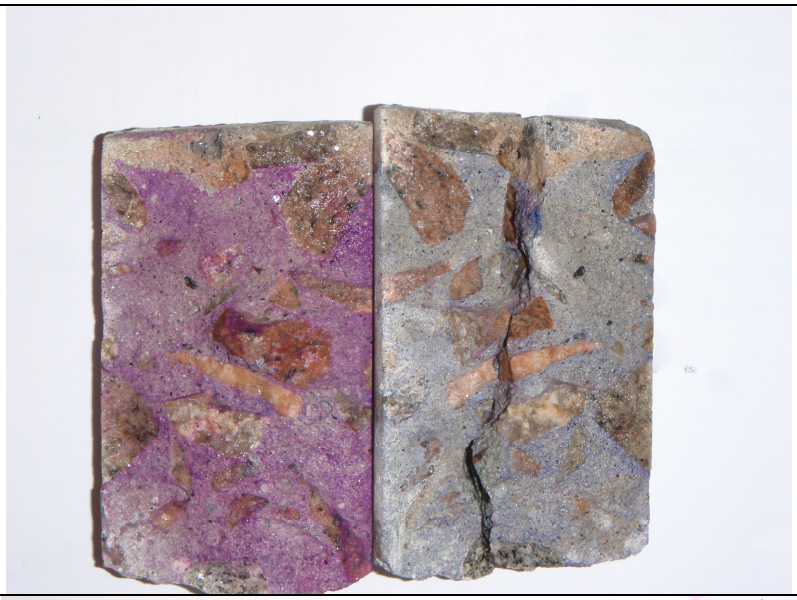
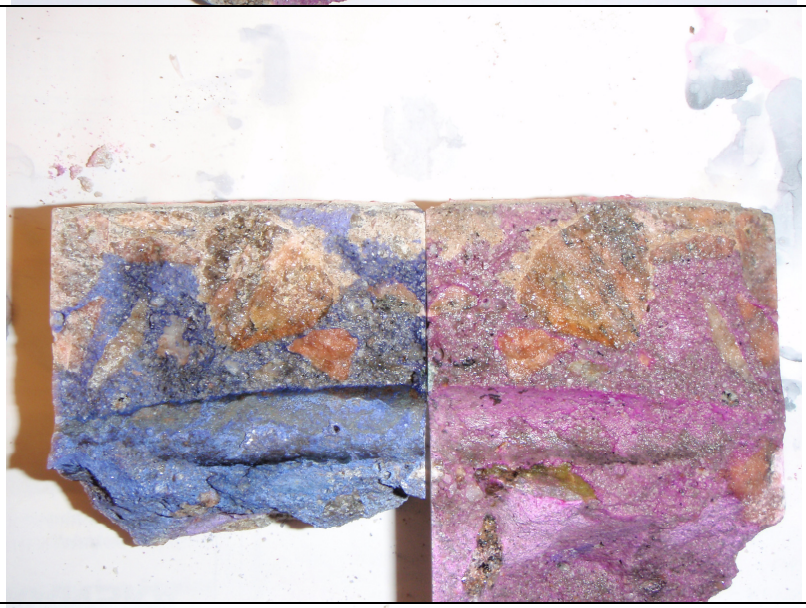
Foto 7 **Prøve P2b-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 3 mm, middel 2 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 3 til 10 mm, middel 5 mm.	
Foto 8 **Prøve P2b-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm, middel 1 mm. Ikke korrosjon på armeringen. Overdekning 34 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 2 mm, middel 1 mm.	
Foto 9 **Prøve P3a-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 17 til 37 mm, middel 30 mm. Svak rosa i ytre del av ”finsatsdelen”. Tykkelse ”finsatsdel” 43 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 17 til 40 mm, min 30 mm.	

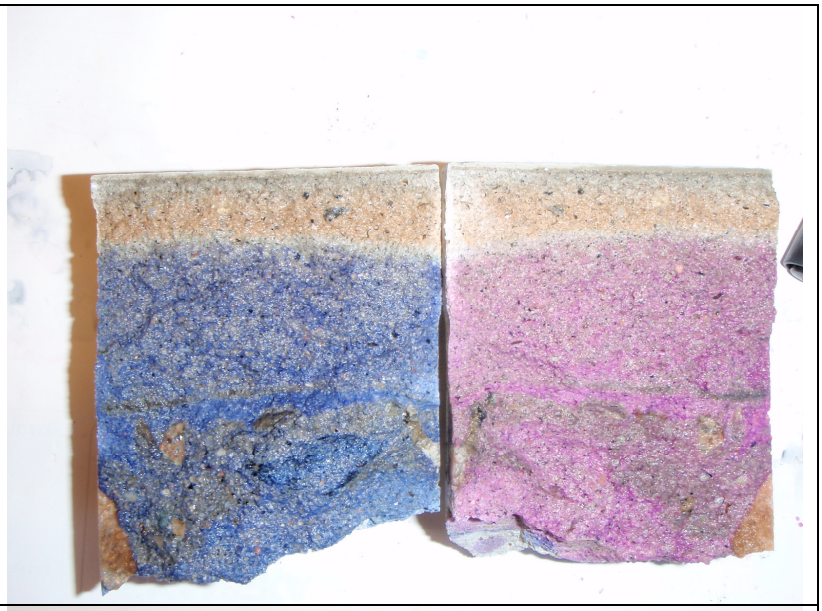
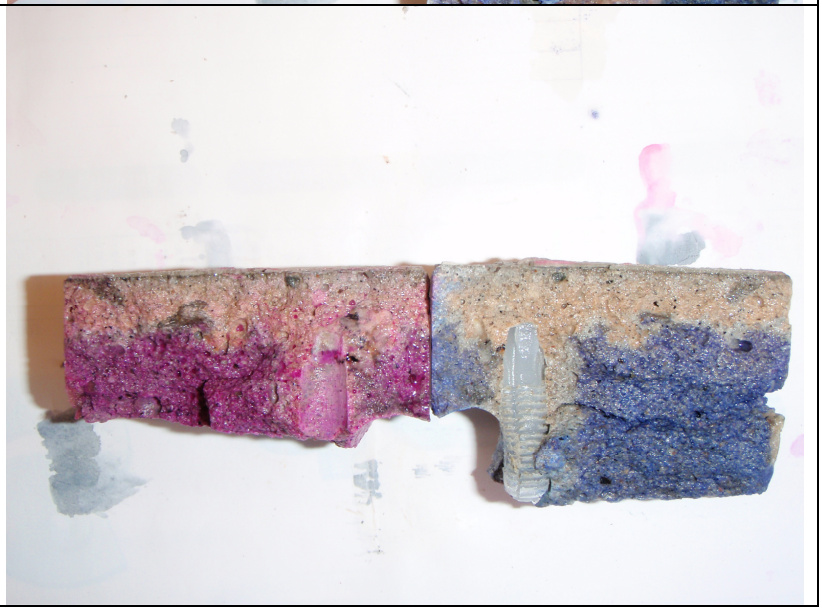
Foto 10 **Prøve P3a-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 13 til 15 mm, middel 14 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 13 til 15 mm, middel 14 mm.	
Foto 11 **Prøve P3b-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 21 til 31 mm, middel 25 mm. Svak rosa i yttersjiktet. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 20 til 32 mm, middel 25 mm.	
Foto 12 **Prøve P3b-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 8 til 15 mm, middel 10 mm. Svak rosa i yttersjiktet. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 9 til 22 mm, middel 13 mm.	

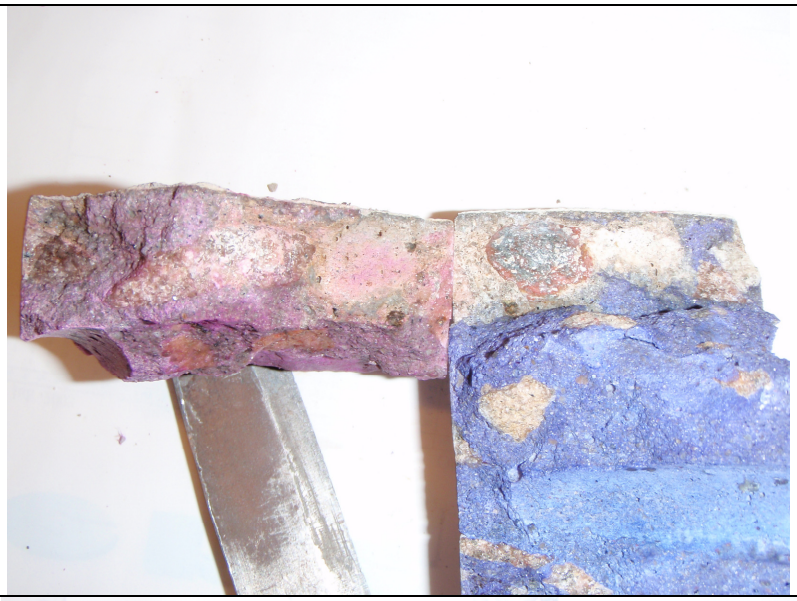
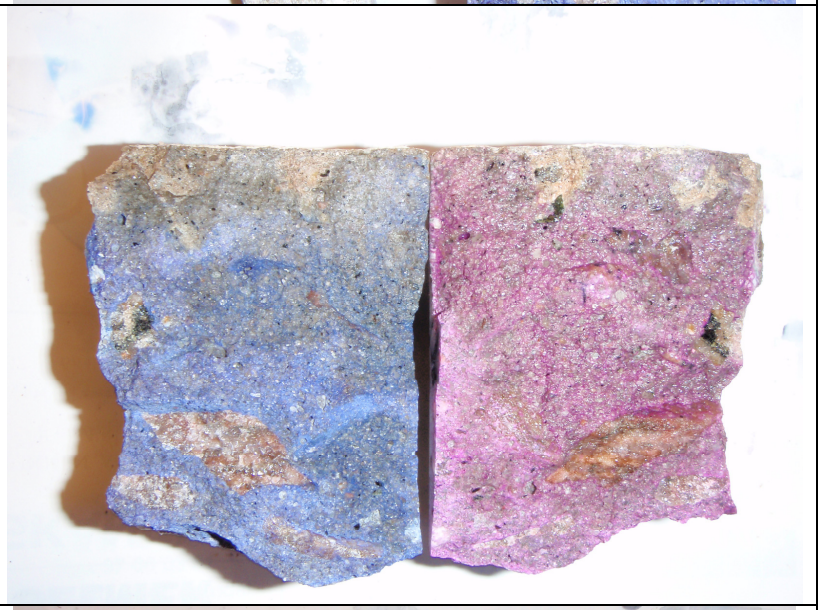
Foto 13 **Prøve P4a-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutmslag) varierende fra 0 til 2 mm, middel 1 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 3 mm, middel 1 mm.	
Foto 14 **Prøve P4a-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm, middel 1 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 10 mm, middel 5 mm.	
Foto 15 **Prøve P4b-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 3 mm, middel 2 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 2 til 7 mm, min 5 mm.	

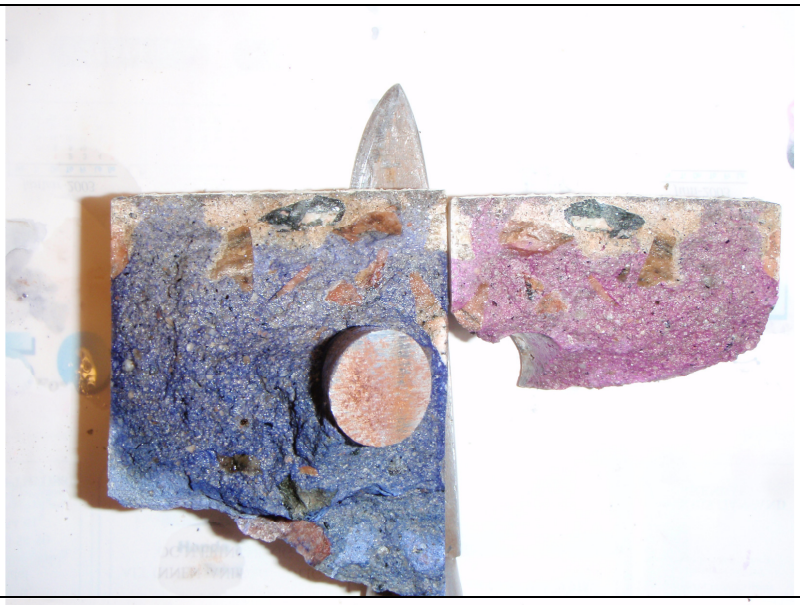
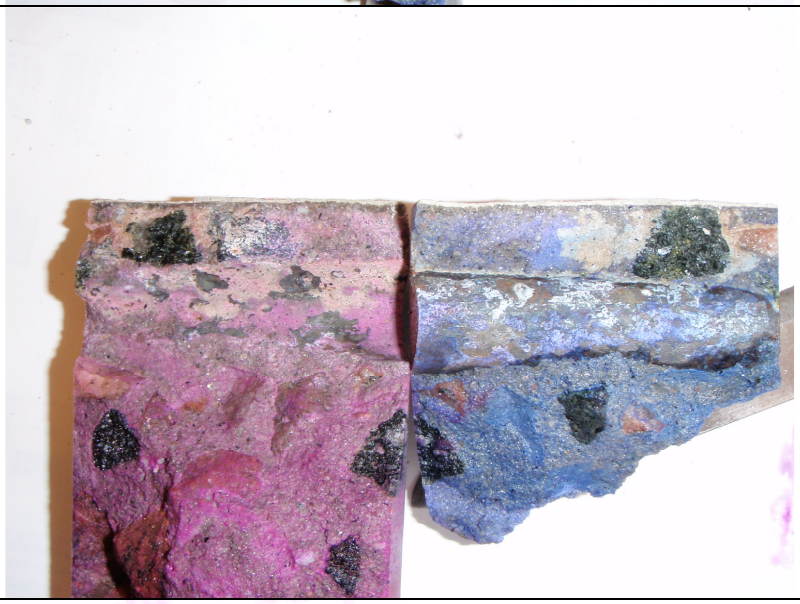
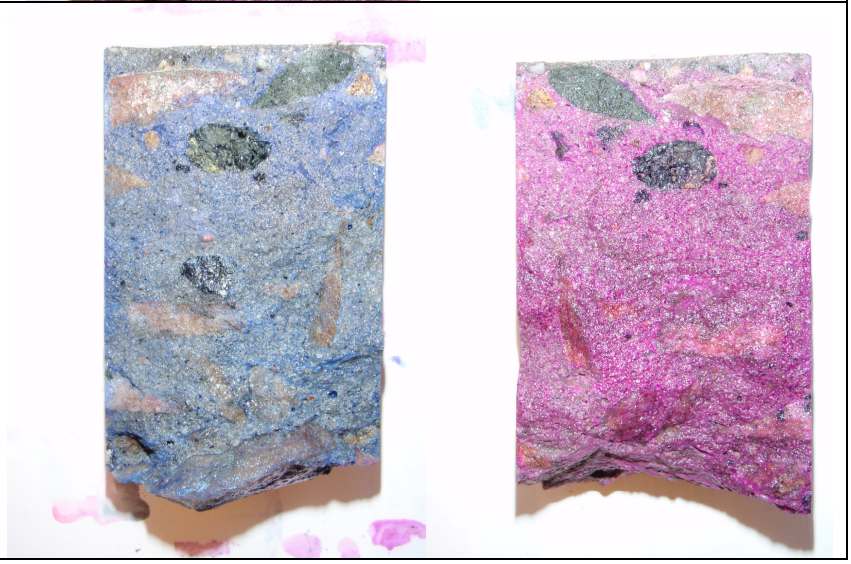
Foto 16 **Prøve P4b-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 8 mm, middel 3 mm. Ikke korrosjon på armeringen. Overdekning 30 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 8 mm, middel 4 mm.	
Foto 17 **Prøve P5a-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm. Overdekning 11 mm. Korrosjonsgrad A/B. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm.	
Foto 18 **Prøve P5a-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 4 mm, middel 1 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1til 4 mm, middel 1 mm.	

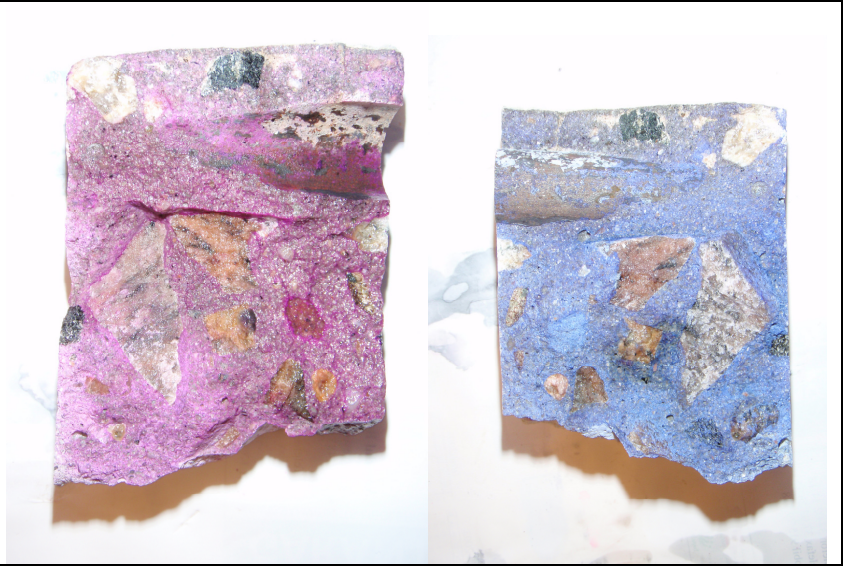
Foto 19 **Prøve P5b-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 3 mm, middel 2 mm. Rustprodukter i betongen – svart stål. Korrosjonsgrad A. Overdekning 21 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 6 mm, middel 3 mm.	
Foto 20 **Prøve P5b-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 3 mm, middel 2 mm. Svakt rosa i overdekningslaget. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 6 mm, middel 3 mm.	
Foto 21 **Prøve P6a-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm, middel 1 mm. Korrosjonsgrad A. Rustprodukter i betongen. Overdekning 10 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm, min 1 mm.	

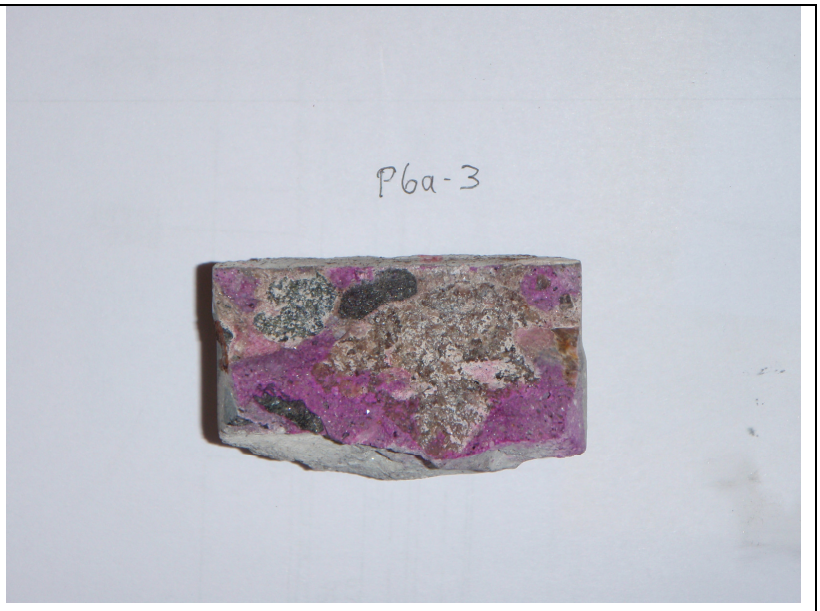
Foto 22 **Prøve P6a-3** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 4 mm, middel 1 mm. Ikke korrosjon på armeringen – korrosjonsgrad A. Overdekning 15 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 4 mm, middel 1 mm.	
Foto 23 **Prøve P6a-4** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 1 mm, middel 1 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 4 mm, middel 2 mm.	

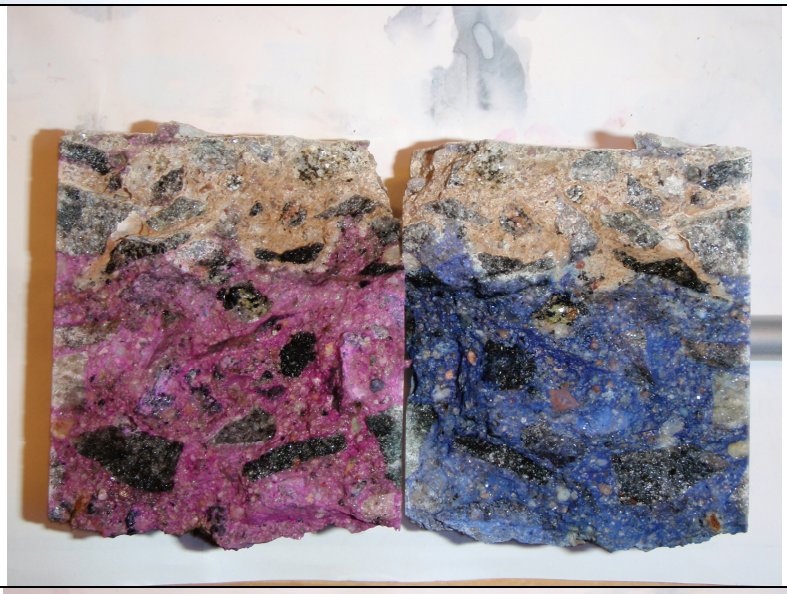
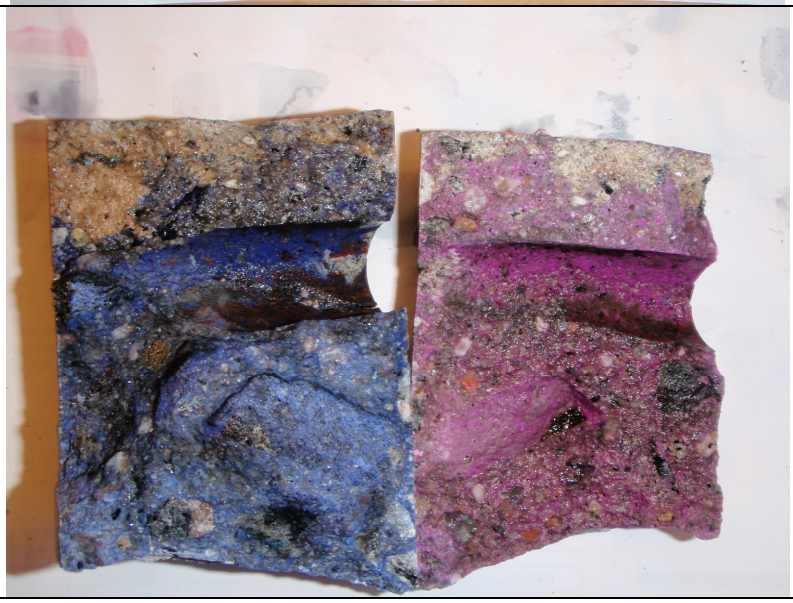
Foto 24. **Referanseprøve R1a-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 9 til 16 mm, middel 13 mm. Korrosjon på armeringen – korrosjonsgrad B. Overdekning 21 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 10 til 17 mm, min 14 mm.	
Foto 25 **Referanseprøve R1a-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 15 til 25 mm, middel 19 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 16 til 26 mm, middel 22 mm.	
Foto 26 **Referanseprøve R1b-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 10 mm, middel 6 mm. Overdekning 20 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 10 mm, middel 6 mm.	

Foto 27
Referanseprøve R1b-2

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) ca 1 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 2 mm, middel 1 mm

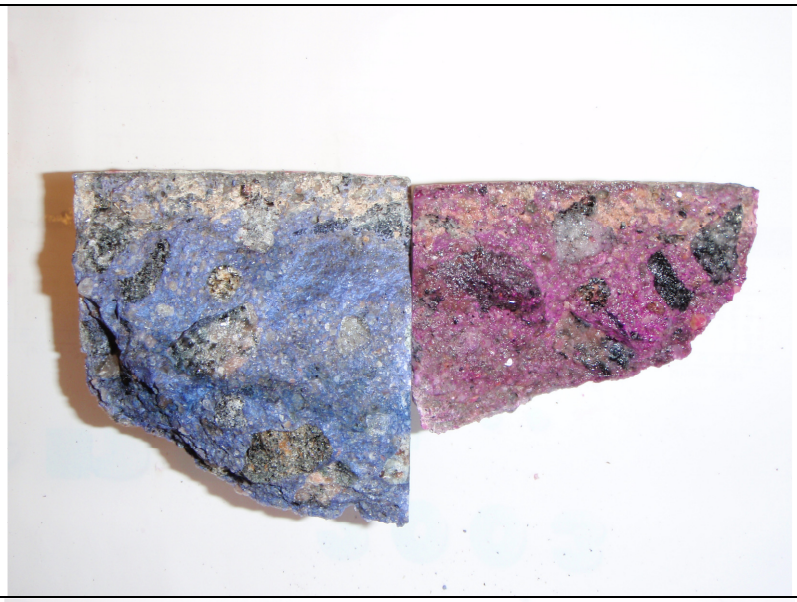


Foto 28
Referanseprøve R2a-1

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 0 til 4 mm, middel 2 mm.

Tegn til overflatekorrosjon på armeringen. Overdekning 16 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 3 til 10 mm, middel 6 mm.

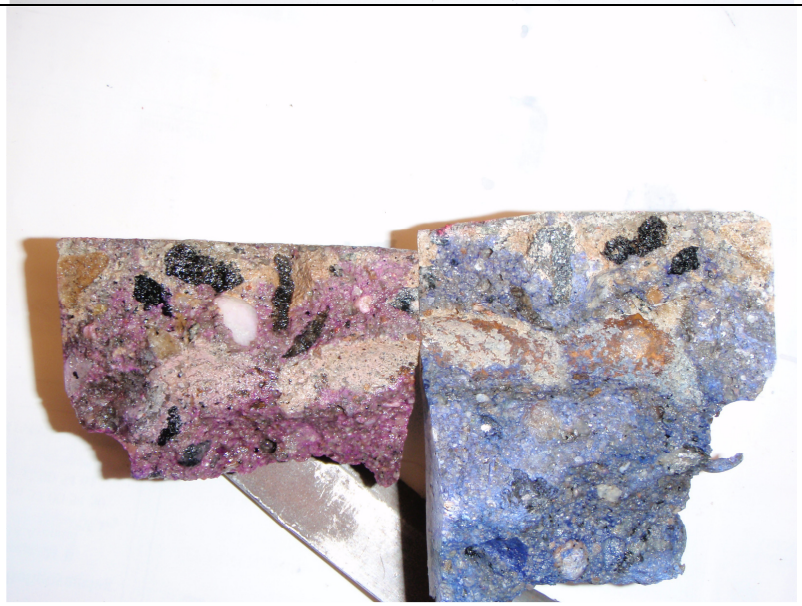


Foto 29
Referanseprøve R2a-2

Fenolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 22 til 30 mm, middel 25 mm.

Tymolftaleinløsning
Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 22 til 32 mm, middel 27 mm.

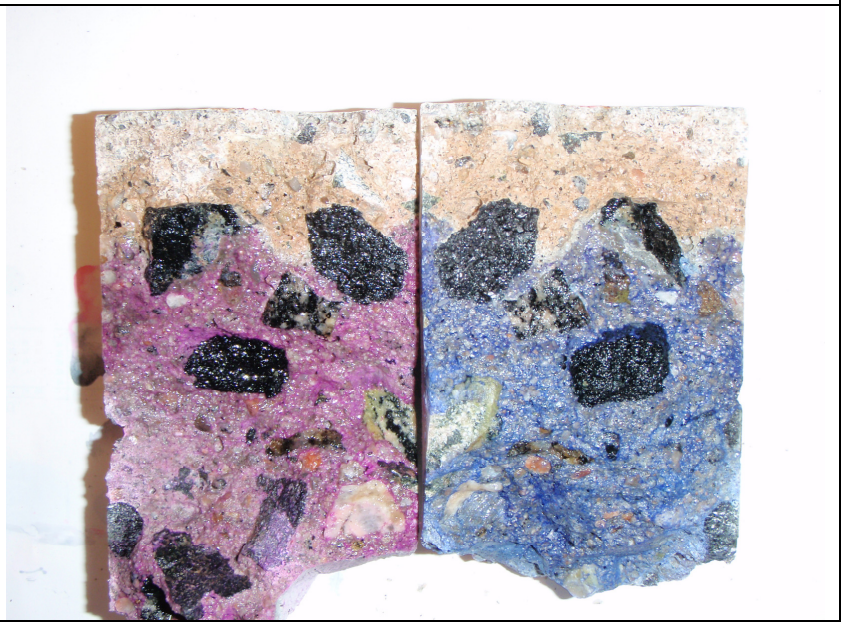
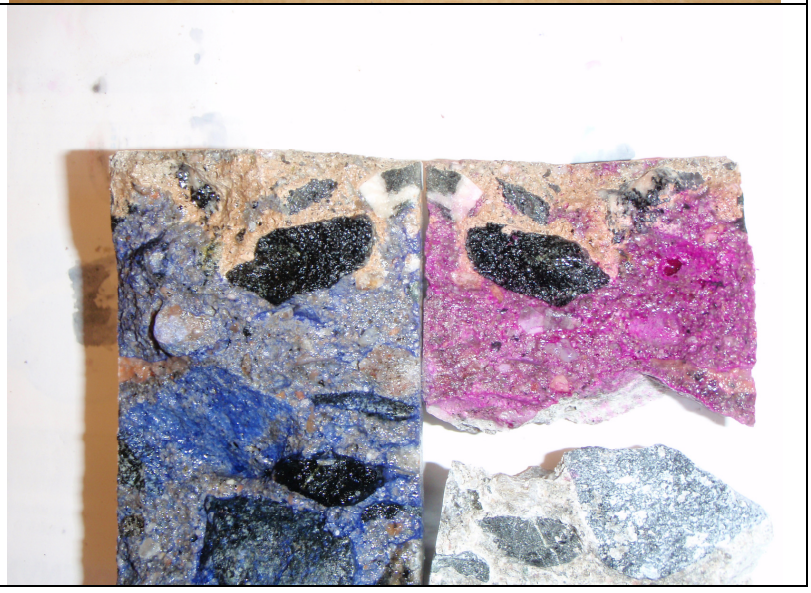


Foto 30 **Referanseprøve R2b-1** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 7 til 24 mm, middel 17 mm. Overdekning 14 mm. Korrosjonsgrad B. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 7 til 28 mm, middel 25 mm.	
Foto 31. **Referanseprøve R2b-2** <u>Fenolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 1 til 20 mm, middel 13 mm. <u>Tymolftaleinløsning</u> Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeutslag) varierende fra 7 til 30 mm, middel 16 mm.	

Vedlegg 5

Rapport fra NTNU
Måling oksidfilmtykkelse

NTNU

Fakultet for naturvitenskap og teknologi
Institutt for materialteknologi

Dato 270907

Referanse Morten Raanes

Notat

Til:	Øystein Vennesland, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU
Kopi til:	
Fra:	Morten Raanes, Elektronmikroskoplaboratoriet, IMT, NTNU
Signatur:	

Materialundersøkelse i mikrosonde (elektronmikroskop).

Det er mottatt 2 stk prøver merket P4 og R2 av jern biter/armeringsjern for undersøkelse i mikrosonde. Jern bitene har vært innstøpt i betong og behandlet med likestrøm.

Før undersøkelsen i mikrosonde, se side 2, er det kappet ut prøvebiter for preparering ved metallografilaboratoriet. Disse prøvebitene er videre innstøpt i plastmateriale og slipt/polert til en "mirror finish" på 1 µm. Videre er prøvebitene pådampet et karbonskikt på 150Å, dette for å gjøre overflaten elektrisk ledende i fob med undersøkelsen i elektronmikroskop.

Prøvene er undersøkt ved at det er tatt opp røntgenbilder av representative områder fra begge prøvene. Det er undersøkt 3 områder fra hver prøve, se bilder merket P4.1-3 og R2.1-3 side 3-8.

Undersøkelsen viser at tykkelsen på oksidsjiktet er i størrelsesorden 50-100um på prøve P4, men kan se noe tykkere ut på prøve merket R2, 100-150um. Det er entydig påvist rester av betong som oksider av Mg, Al, Ca, Fe, samt spor av enkelte andre element.

Postadresse 7491 Trondheim

Org.nr. 974 767 880
E-post:
http://www.material.ntnu.no

Besøksadresse Metallurgi
Alfred Getz vei 2
7034 Trondheim

Telefon + 47 73 55 12 00

Telefaks + 47 73 55 02 03

Tlf: + 47

All korrespondanse som inngår i saksbehandling skal adresseres til saksbehandlende enhet ved NTNU og ikke direkte til enkeltpersoner. Ved henvendelse vennligst oppgi referanse.

JOEL JXA-8500F Electron Probe Micro analyzer (EPMA)

The **JXA-8500F** is a high performance thermal field emission electron probe micro analyzer combining high SEM resolution with high quality X-ray analysis of submicron areas. The JEOL JXA-8500F instrument is equipped with 5 wavelength dispersive X-ray spectrometers (WDS) and an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS). This combination can simultaneously analyse 5 elements WDS + 16 elements EDS plus collect image signals from backscatter and secondary electron detectors.

The use of WDS (wavelength dispersive X-ray spectrometer), high probe current and small probe diameter, the **JXA-8500F** is capable of extreme elemental analysis of sub-micron areas:

- High detection sensitivity for trace elements
- High accuracy of quantitative analysis
- High resolving power for adjacent X-ray spectra
- High accuracy of light elements analysis

The system is highly automated and controlled by a powerful SUN workstation system.

JXA-8500F Hyperprobe

JEOL (SKANDINAVISKA) AB

http://www.jeol.se

Specifications:

- Spectrometers: 5 WDS, 1 EDS
- Acc.Voltage: 1 to 30 kV (0.1 kV steps)
- Magnification: 40 to 300.000X
- Stage speed max: 15 mm/s
- Probe current: $1x10^{-11}$ to $5x10^{-7}$ A
- Current stability: ±0.5%/h (FEG)

- **Detectable element range :**
  - 4^{Be} to 92^{U}
- **Detectable wavelength range :**
  - 0.087 to 9.3 nm

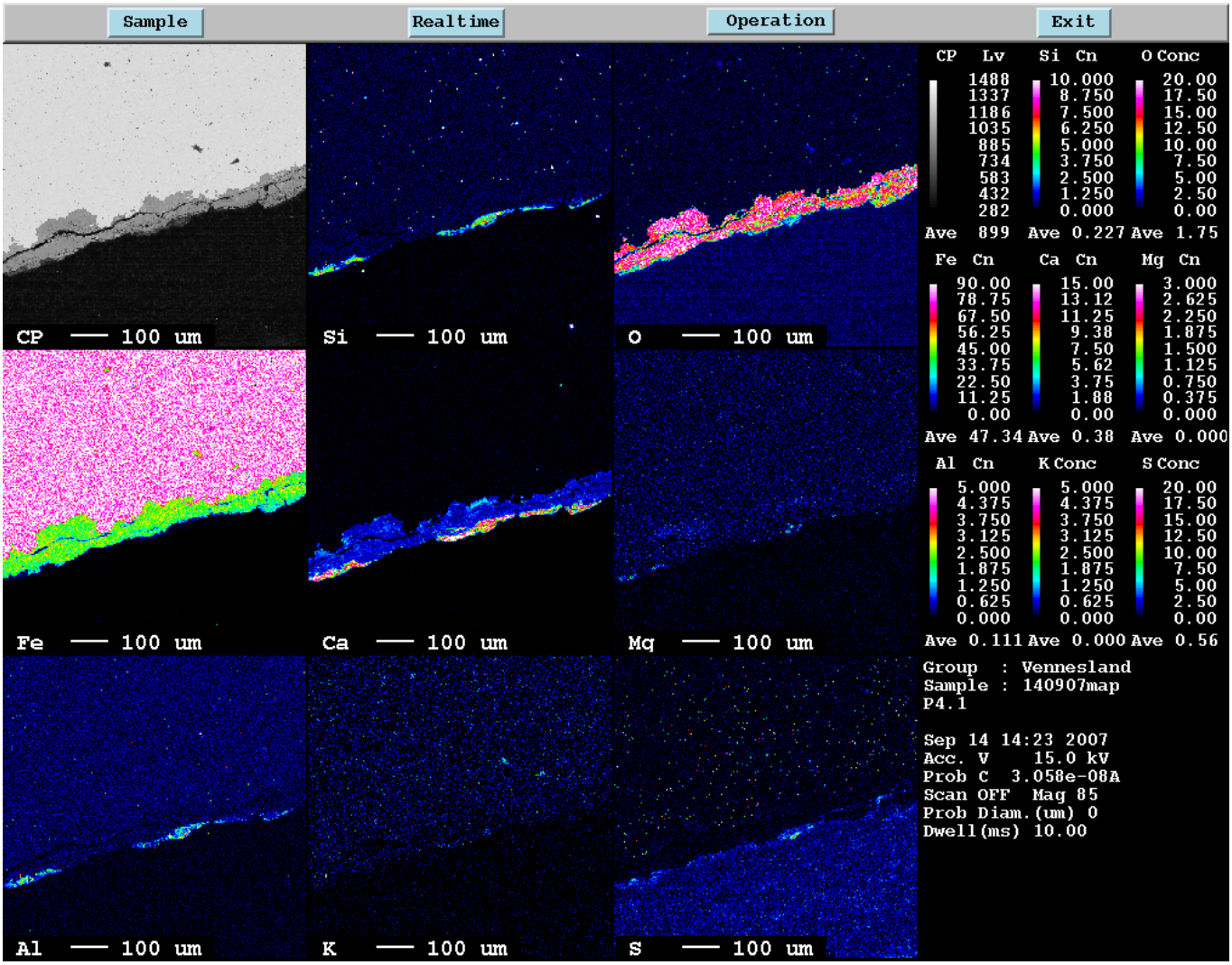
- **Secondary electron image resolution (SEI):** 3.0 nm (WD11mm, 30 kV)

- **Backscattered electron imag (BEI) :** Topo and composition image

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dato 270907

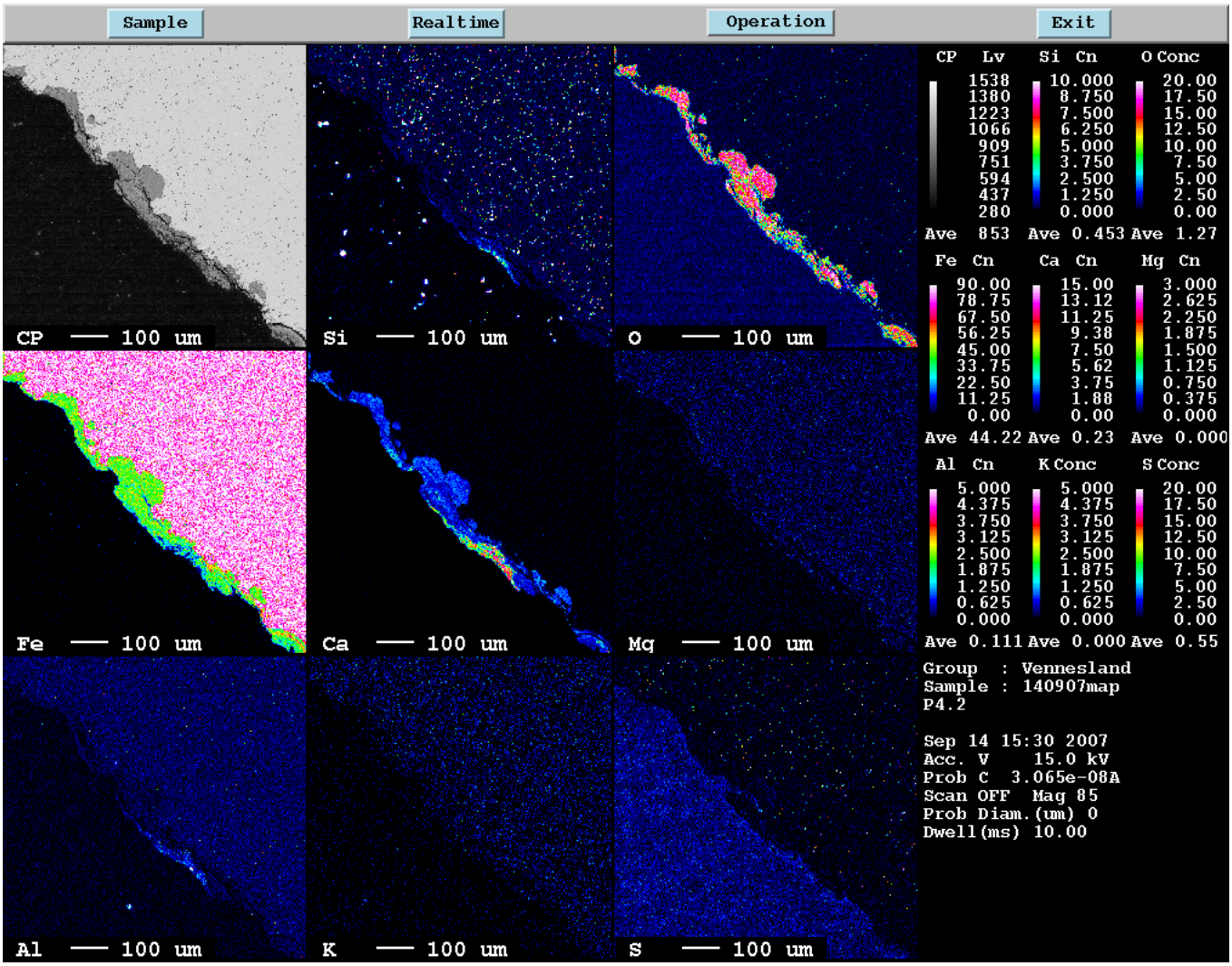
Referanse Morten Raanes



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dato 270907

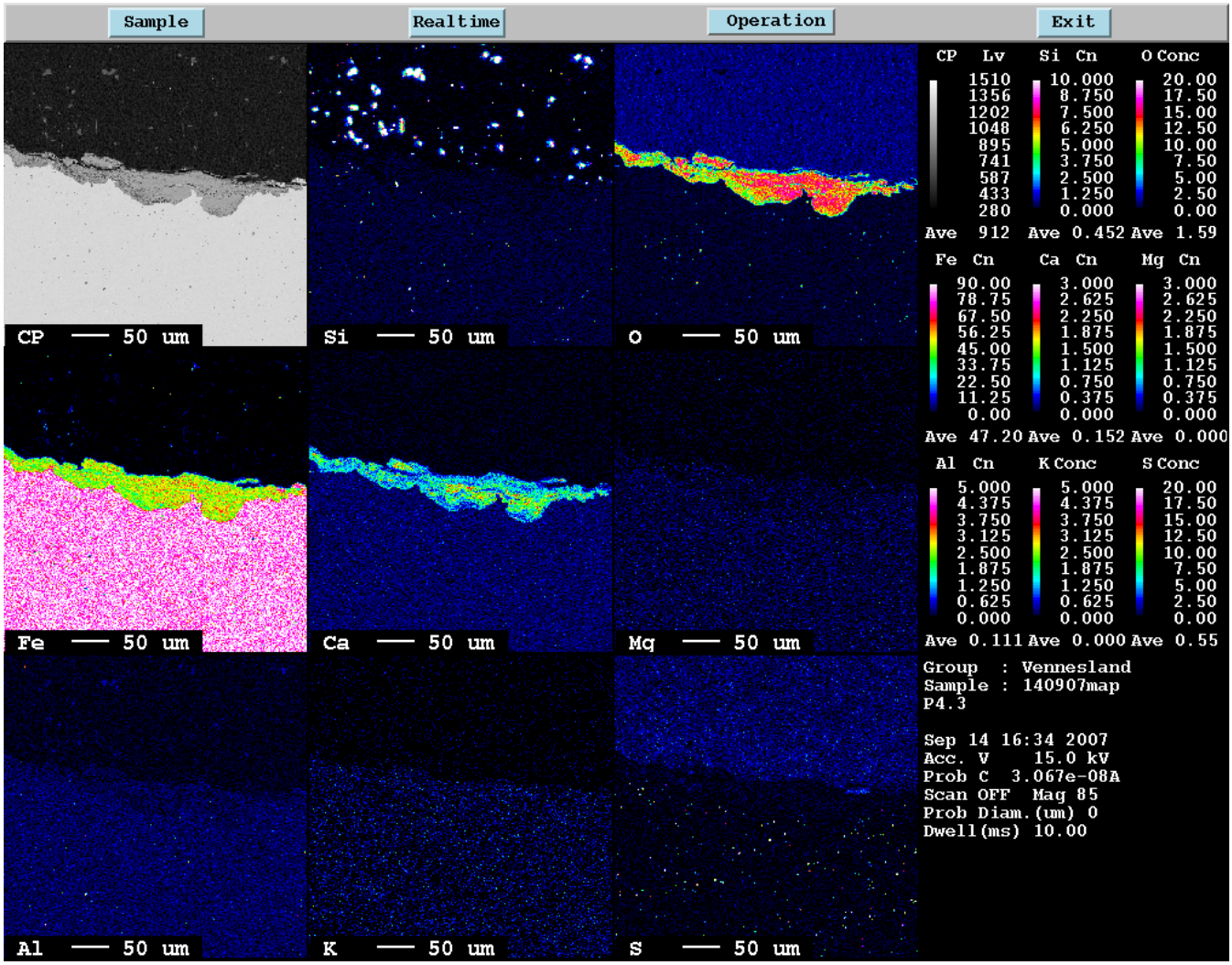
Referanse Morten Raanes



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dato 270907

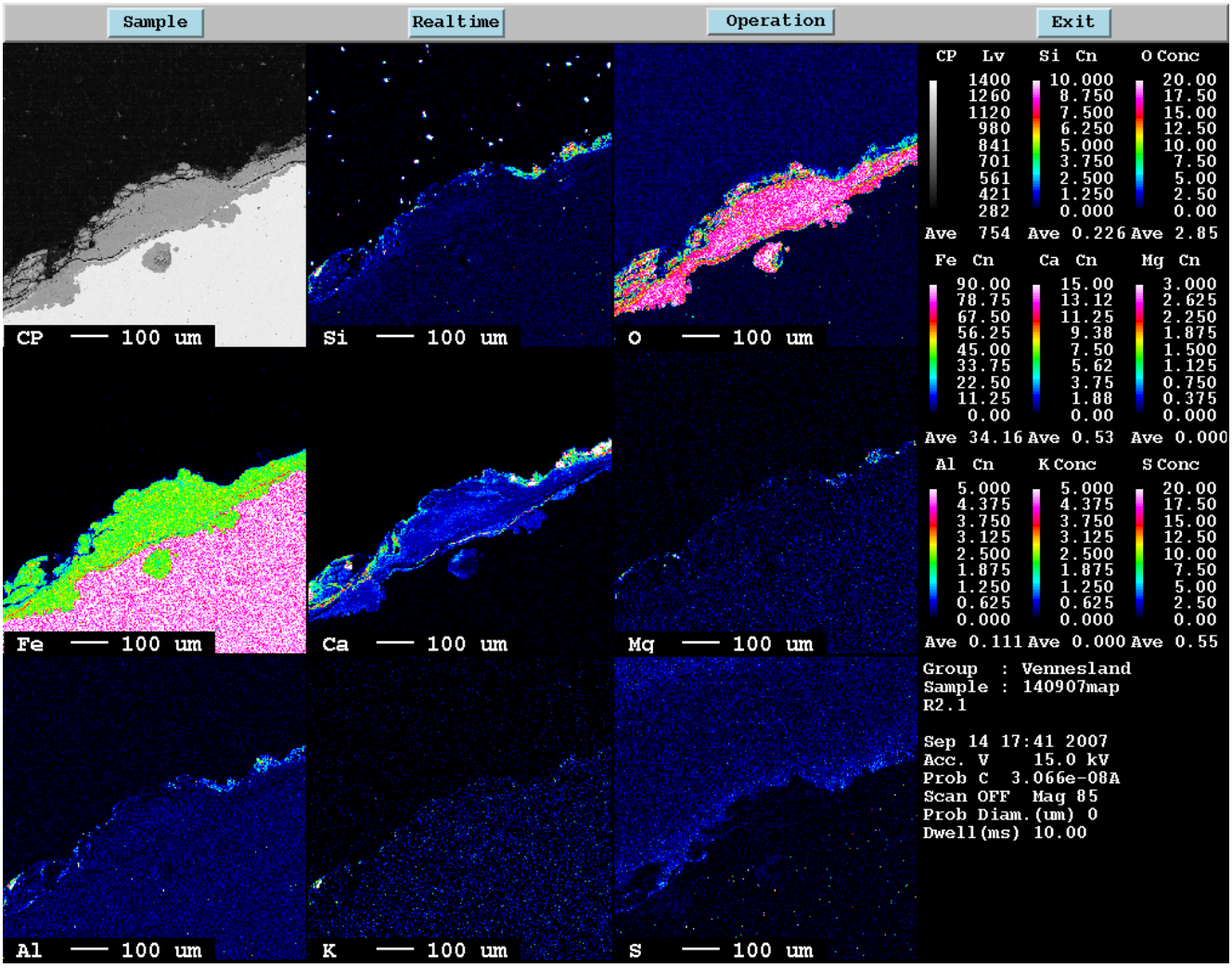
Referanse Morten Raanes



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dato 270907

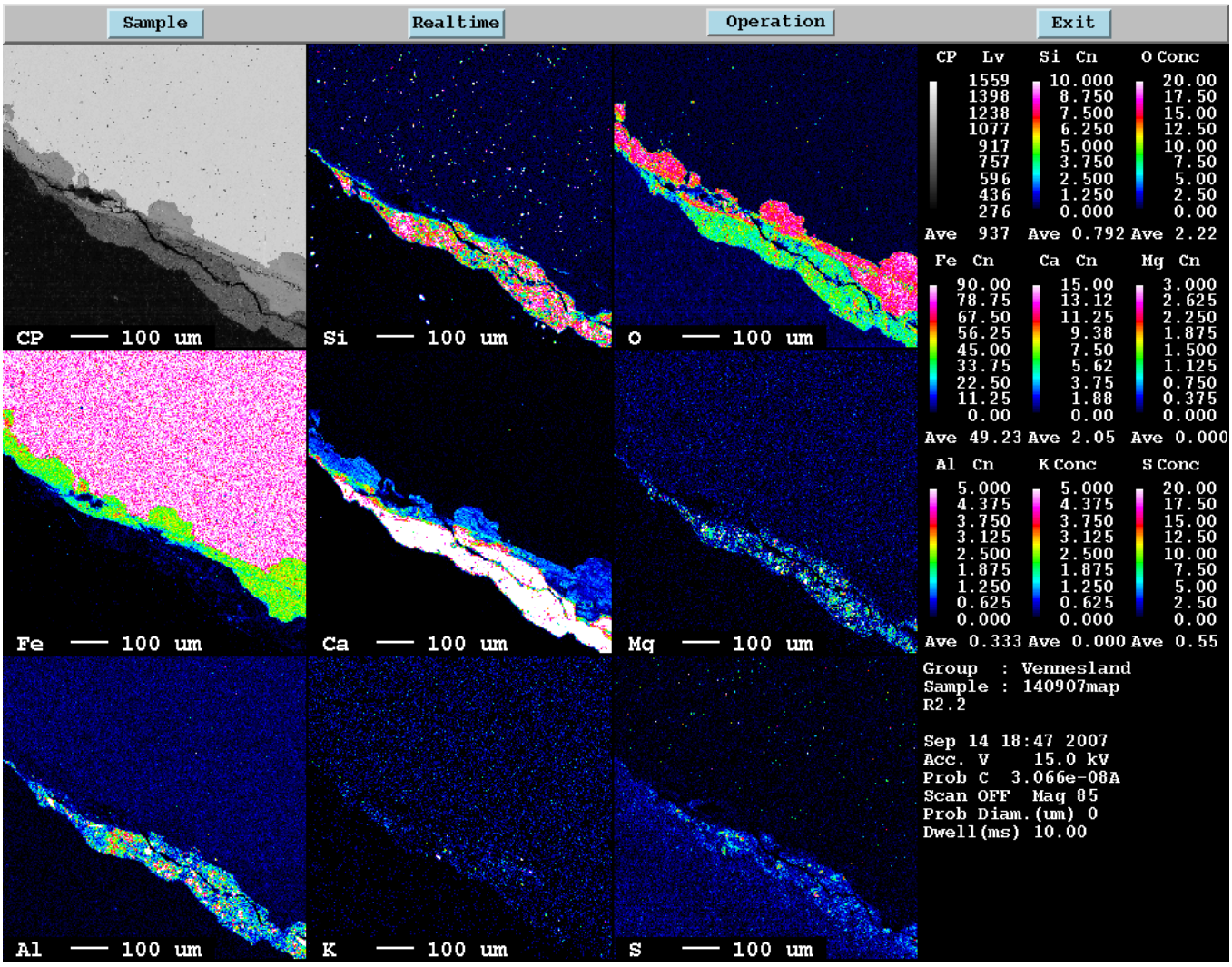
Referanse Morten Raanes



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dato 270907

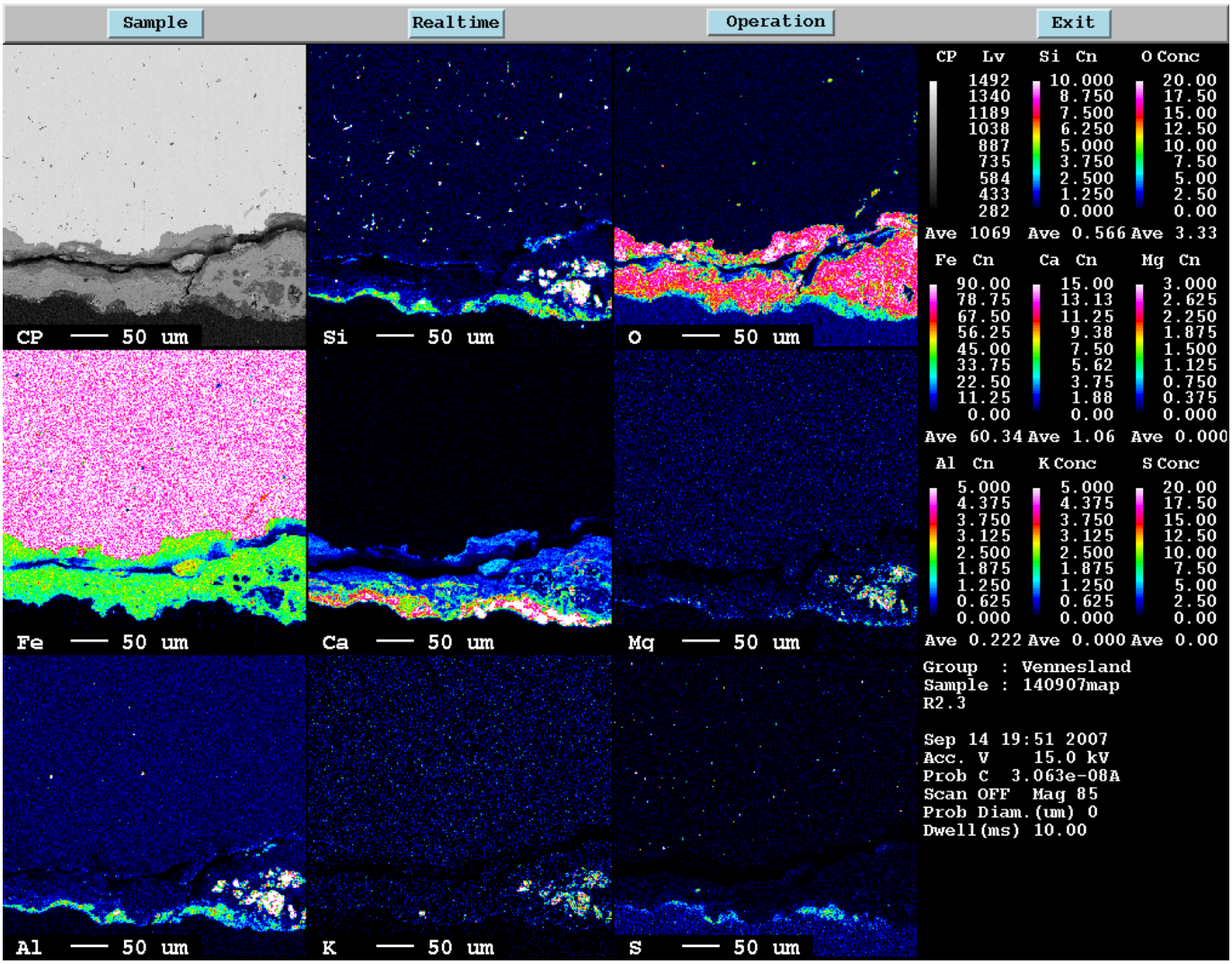
Referanse Morten Raanes



Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dato 270907

Referanse Morten Raanes



Vedlegg 6

Rapport fra Sintef
K/Na-analyser

PRØVINGSRAPPORT

SINTEF Byggforsk
Betong- og natursteinlaboratoriene

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Richard Birkelands vei 3
Telefon: 73 59 52 24
Telefaks: 73 59 71 36

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

Sertifisert prøvingslaboratorium U16
KONTROLLRÅDET

OPPDRAGSGIVER

NTNU
Institutt for konstruksjonsteknikk

BESTILLING / OPPDRAGSGIVERS REF
Øystein Vennesland/e-post av 2007-09-19

OPPDRAGETS ART

Bestemmelse av Na og K i frest betongstøv fra utborede betongkjerner

ARKIVKODE	GRADERING	FAGLIG ANSVARLIG	RAPPORTNUMMER
	Fortrolig		
ELEKTRONISK ARKIVKODE I:/pro/3D0010-Kjemisk analyse/01 Oppdrag/10135/10135 Prøvingsrapport.doc		For Harald Justnes	10135
PROSJEKTNR	DATO	SAKSBEARBEIDER	ANT SIDER/VEDLEGG
3D0010.01	2007-10-17	Tone Østnor	2 + 4 vedlegg

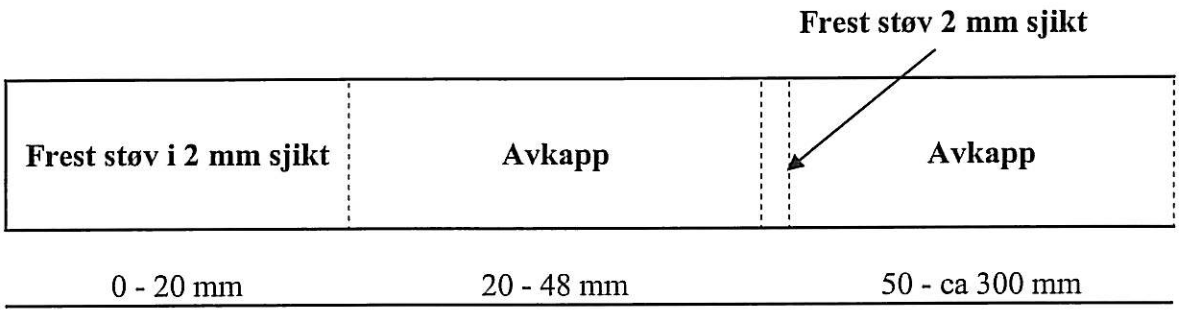
Prøvenes ankomst	2007-09-25
Mengde	4 stk utborede betongkjerner
Emballasje	Kjernene var pakket i plast
Merking	Kjernene var merket "Blakstad bridge R1", "Blakstad bridge P1", "Blakstad bridge P2" og "Blakstad bridge P4"
Dimensjoner	Diameter 70 mm og lengde ca 250 - 310 mm.

Betongkjernene var uttatt uten SINTEF Byggforsks medvirkning.

1 PRØVING OG ANALYSE

Fra hver av betongkjernene ble det frest støv i 2 mm sjikt fra overflaten og inn til dybde 20 mm. Biten fra 20 mm til 48 mm ble splittet av før fresing av sjiktet 48 – 50 mm. Se figur 1 for skisse.

Natrium - og kaliuminnholdet for sjikt 2-4, 8-10 og 48-50 mm ble bestemt ved å veie ut 3,5 g støv for to paralleller av hvert sjikt. Det ble tilsatt 20 ml destillert vann og 10 ml konsentrert HCl. Etter alt var oppløst ble det tilsatt ytterligere 25 ml destillert vann. Løsningen ble varmet opp, avkjølt og fortynnet til 500 ml i en målekolbe. Alle prøvene ble analysert mhp Na og K med et atomabsorpsjonspektrofotometer. Resultatene er presentert i tabell og grafisk fremstilt i vedleggene 1-4.

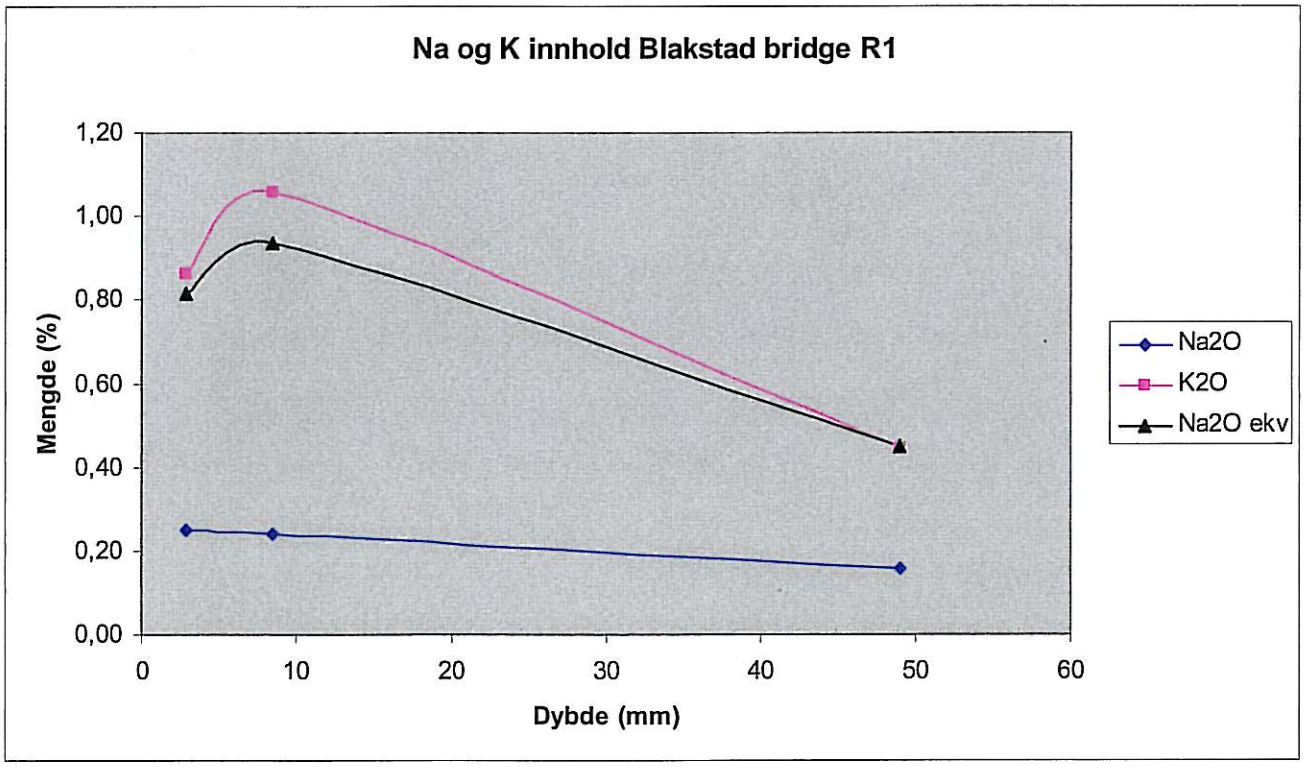


Figur 1: Skisse over freste sjikt

Tabell 1 Na og K innhold i freste sjikt som % av tørr betongvekt Blakstad bridge R1

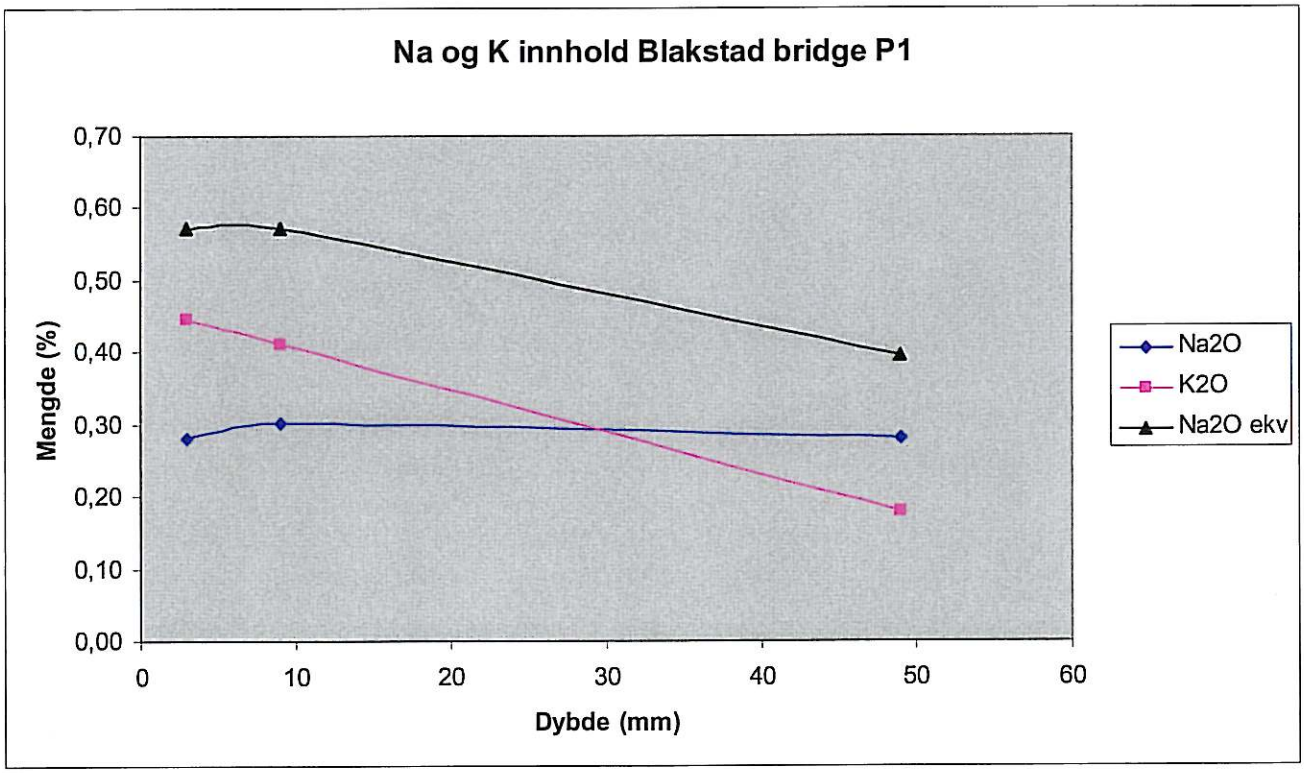
Betongkjerne merket Blakstad bridge R1					
Sjikt* [mm]		Snitt [mm]	Na_2O [%]	K_2O [%]	Na_2O_{ekv} [%]
1,9	3,8	2,9	0,25	0,86	0,82
7,6	9,5	8,6	0,24	1,06	0,94
48	50	49	0,16	0,44	0,45

*Noe avvikende dybder pga armering.



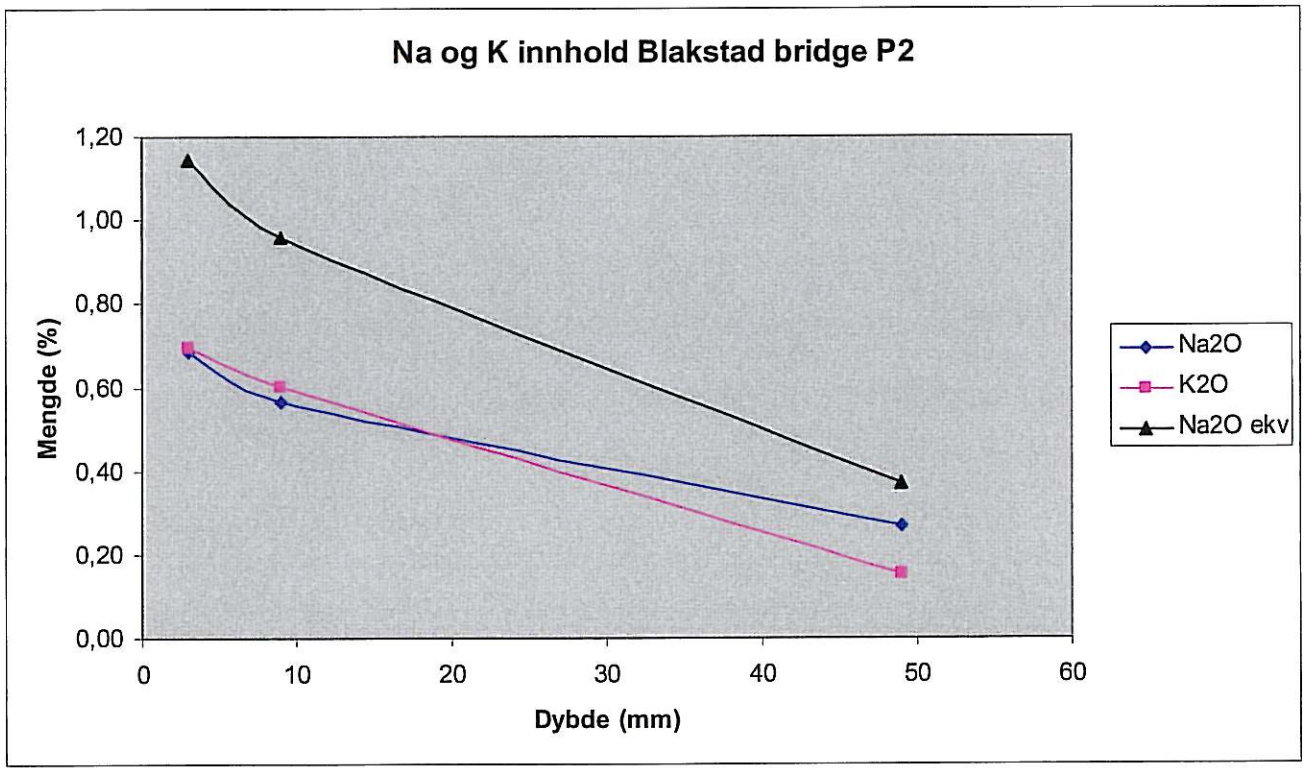
Tabell 2 Na og K innhold i freste sjikt som % av tørr betongvekt Blakstad bridge P1

Betongkjerne merket Blakstad bridge P1					
Sjikt [mm]		Snitt [mm]	Na_2O [%]	K_2O [%]	Na_2O_{ekv} [%]
2	4	3	0,28	0,45	0,57
8	10	9	0,30	0,41	0,57
48	50	49	0,28	0,18	0,40



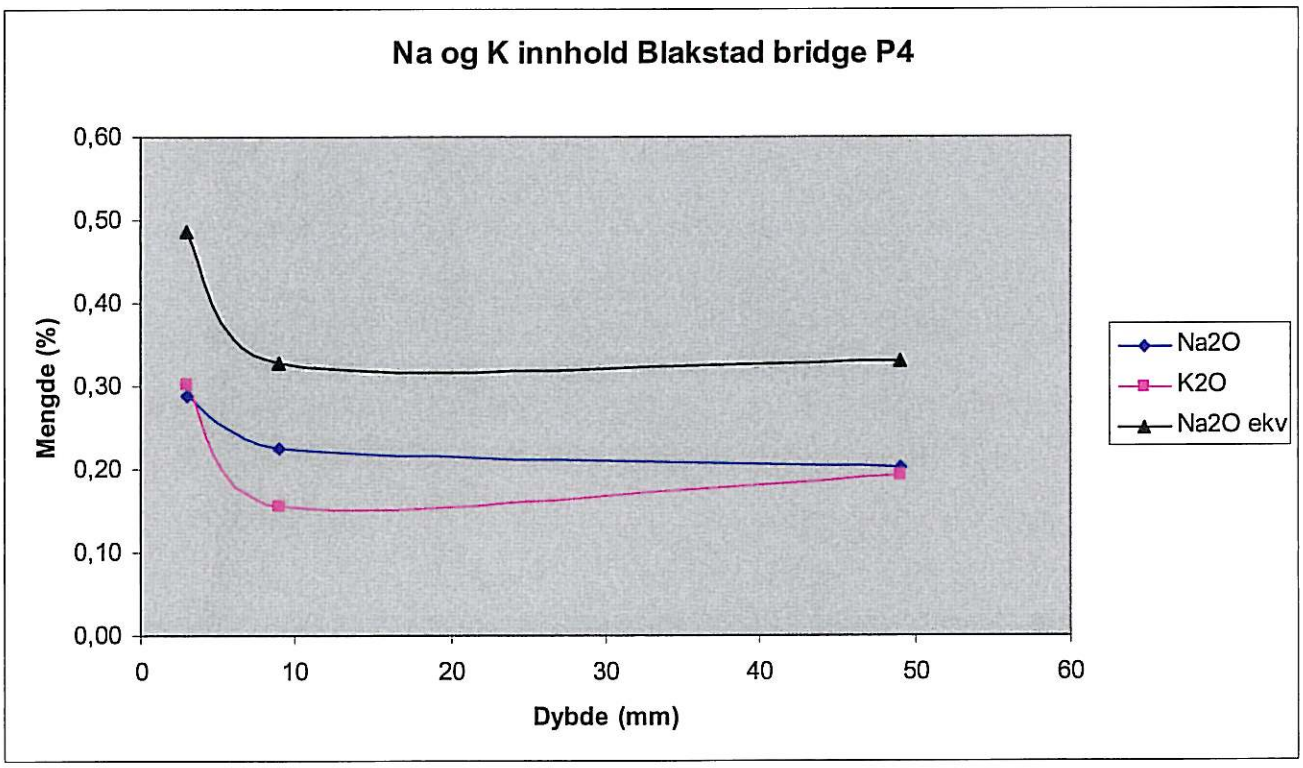
Tabell 3 Na og K innhold av freste sjikt som % av tørr betongvekt Blakstad P2

Betongkjerne merket Blakstad bridge P2					
Sjikt [mm]		Snitt [mm]	Na_2O [%]	K_2O [%]	Na_2O_{ekv} [%]
2	4	3	0,69	0,69	1,14
8	10	9	0,57	0,60	0,96
48	50	49	0,27	0,15	0,37



Tabell 4 Na og K innholdet i freste sjikt som % av tørr betongvekt Blakstad bridge P4

Betongkjerne merket Blakstad bridge P4					
Sjikt [mm]		Snitt [mm]	Na_2O [%]	K_2O [%]	Na_2O_{ekv} [%]
2	4	3	0,29	0,30	0,49
8	10	9	0,23	0,16	0,33
48	50	49	0,20	0,19	0,33



Vedlegg 7

Rapport fra Millab Consult AS
Måling av oksidsjikttykkelse

Blakstad bro
Undersøkelse av tilsendte prøver – i hovedsak ved mikroskopering

1. Innledning

Som ledd i undersøkelsen av langtidseffekten av elektrokjemisk realkalisering har Stærk & Co. ved Jan Lindland besørget uttak av prøver av armeringsstål og betong fra Blakstad bro, mens den var under riving. Prøvene er sendt oss (Millab Consult a.s.) til undersøkelse, i hovedsak for mikroskopering av oksidbeleggene som måtte finnes på ståloverflatene.

Vi har mottatt ialt 7 prøver av armeringsstål og to prøver av betong uten stål.

Prøvene var som vist i tabellen:

Materiale	Merket	Diameter mm	Merknad
Stål	Ref 1A-1	19	Glattstål med rød-brunt usammehengende belegg
Stål	R2a-1	19	Glattstål med rød-brunt usammehengende belegg
Stål	Ps5a-1	19	Glattstål med sort belegg som virker tett
Stål	P6a-2	19	Glattstål med sort belegg som virker tett
Stål	P2b-2	16	Glattstål med sort belegg som virker tett
Stål	4a-1	16	Glattstål med sort belegg som virker tett
Stål	Bj-2	12	Glattstål med sort belegg som virker tett
Betong	P1a-1	65	Halvparten av kløvd sylinder påsprøyet fenolftalin
Betong	P2a-1	65	Halvparten av kløvd sylinder påsprøyet fenolftalin

De sylindriske flatene av prøvene merket Ref 1A-1 og R2a-1 var dekket av et rød-brunt belegg som minnet om alminnelig rust, og som var usammenhengende og virket forholdsvist løst. Dette indikerer at disse prøvene er tatt fra partier som enten ikke er elektrokjemisk behandlet, eller som ikke har fått fullgod behandling.

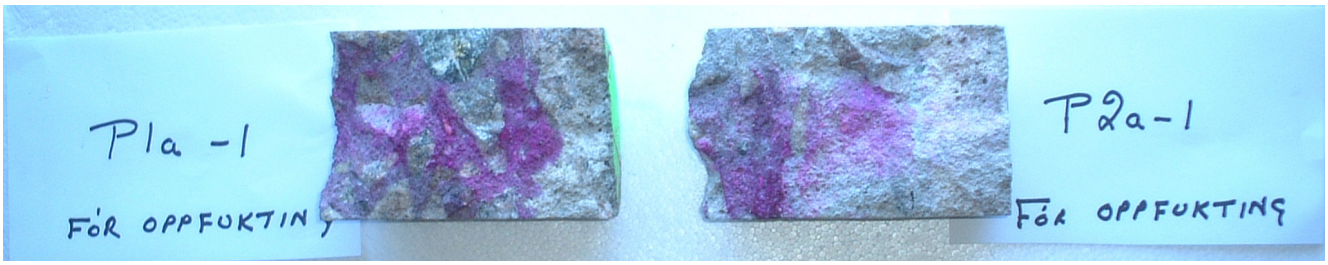
De sylindriske flatene av alle de andre prøvene hadde mørke, nesten sorte, belegg som virket forholdsvis tette og faste. Dette er en sterkt indikasjon på at stålet representrert ved disse prøvene er blitt utsatt for vellykket elektrokjemisk behandling som beskytter det mot korrosjon.

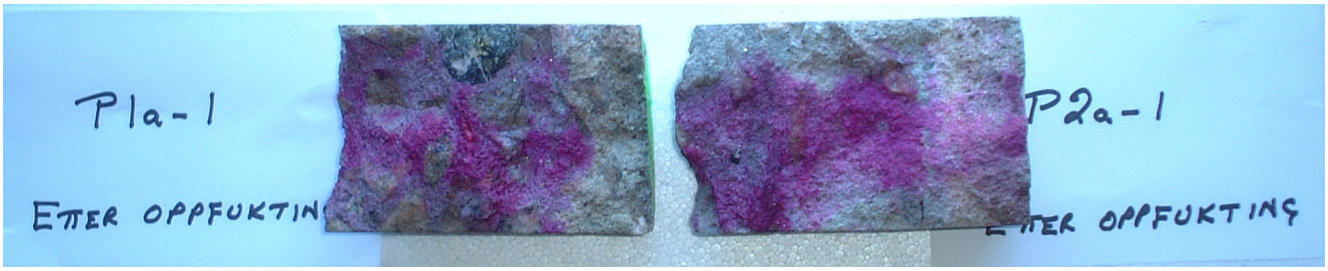
2. Betongprøvene

Begge betongprøver var halvparter av utborede sylindrene som var kløvd på langs, og de hadde vært påsprøytet fenolftalin-løsning til alkalinitetsbedøming.

Prøvene hadde karbonatiserte soner i endene som hadde vendt ut i konstruksjonen. I prøve P1a-1 varierte sonene mellom 15 og 20 mm i tykkelse, mens i prøve P2a-1 var sonen jevnt 30 mm tykk.

I vårt laboratorium ble prøvene overflatefuktet ved vannpåsprøyting til gjenoppfrisking av fargeindikasjonene. Resultatet vises i fotografiene:





Etter oppfukting viser Prøve P2a-1 en sammenhengende farget stripe gjennom hele dens lengden og er således trolig realkalisert tiltross for at det ikke er jern, eller spor etter jern, i prøven.

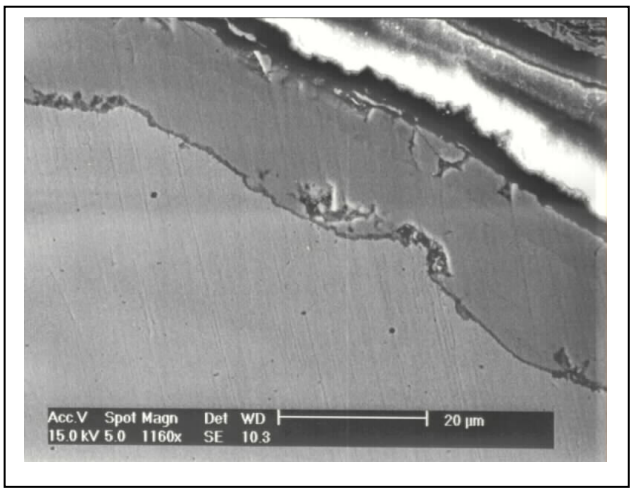
P1a-1 derimot, har en tilnærmet fargeløst 18 – 30 mm tykkt område ytterst under den glatte betongoverflaten. Betongen som denne prøve skal representere kan ikke sees å vært realkalisert, ihvertfall ikke på en vellykket måte.

Det bemerkes at for elektrokjemisk behandling å ha effekt, må det være tilstrekkelig jern i betongen for at den elektriske strømmen skal kunne flyte tilfredsstillende.

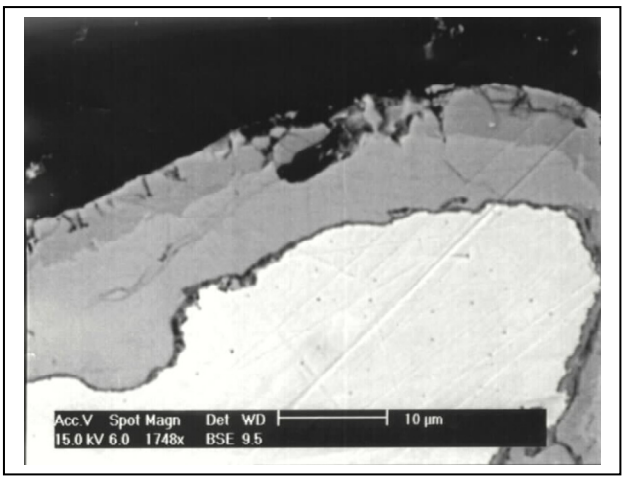
3. Stålprøvene.

Tidligere undersøkelser ved elektonmikroskopering utført i regi av Millab Consult hos Materialinstituttet på Blindern viste at oksidsjiktene, som dannes under elektrokjemisk realkalisering, er svært tykke. Eksempler på disse vises i bildene under:

SEM micrograph of passivation layer on steel after 6 six years in carbonated, realkalised concrete



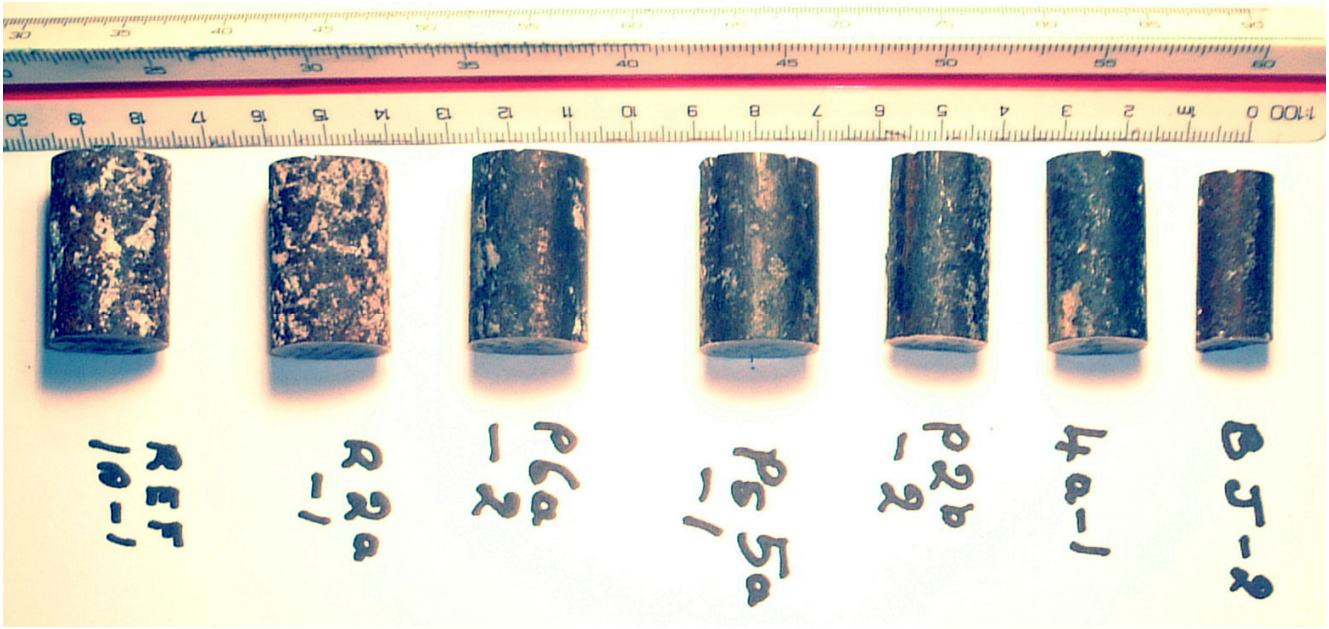
SEM micrograph of passivation layer on steel in uncarbonated, fresh concrete



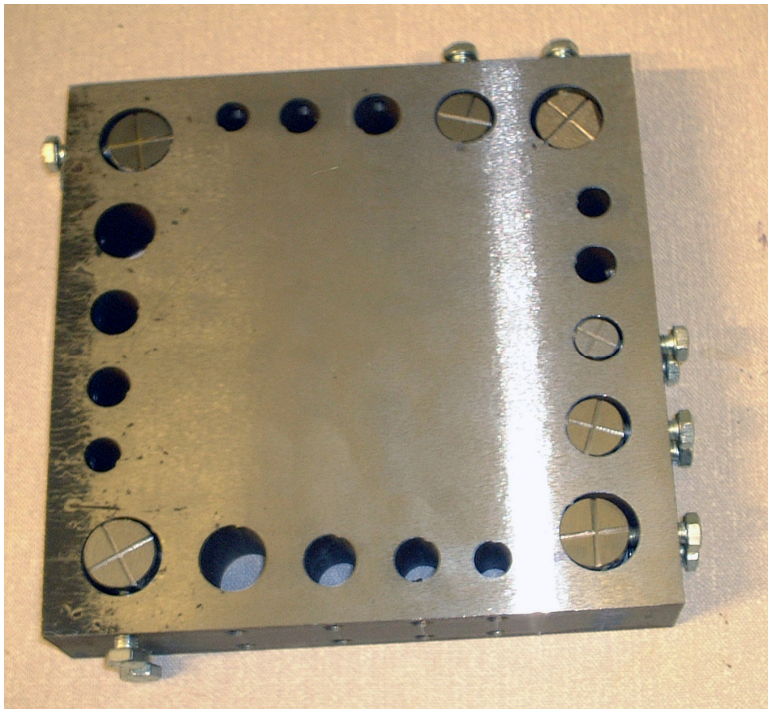
Idet sjiktene viste seg å være mange mikron tykke, synes det unødvendig fordyrende og kompliserende å ty til elektronmikroskopering når sjiktene er tykke nok til å observeres i optisk mikroskop.

På grunn av dette, ble stykker av jernene montert inn i hull i en stålblokk for sliping. Jernstykkene ble kuttet av prøvene ved hjelp av vanlig baufil. Kuttingen forgikk meget sakte for at prøvestykkene ikke skulle bli oppvarmet til over 40°C, som ble kontrollert ved hjelp av en infrarød termomåler. Likeledes ble det sagd krysspor i overflatene for å kontrollere at selve slipingen ikke resulterte i ny oksiddannelser.

Fotografiene under viser stålstykkene etter renskjæring og sliping.:



Stålstykkene, med kryssporene opp, ble montert i hullene i slipeblokken og sendt til Artech a.s. i Oslo til saktegående tørrsliping inntil prøvene var slipt ned i flukt med selve blokken. Arrangementet vises på blidet:



Etter sliping ble de slipte flatene fotografert i et USB-mikroskop som ble montert over hver av de slipte endeflatene. Mikroskopet ble justert for maksimum forstørrelse, som var rundt 200x. Når tykke legemer mikroskoperes på denne måten, må legemet vinkles slik at kantsonen blir så smal som mulig, da man ellers kan ble lurt av at mikroskopet ser et stykke nedover siden av legemet, slik at det fotoner seg som om kantsonene er tykkere enn de virkelig er.

Bildene gjengis i vedleggene.

Bildene indikerer at Ref 1a-1 og R2a-1 ikke har belegg i det hele tatt, mens alle de andre prøvene har forholdsvis tykke belegg. Slipemetoden har ikke gitt noen sidestøtte til kantsonene, og dette har antagelig ført til at det løse belegget på disse to prøver har løsnet og forsvunnet, mens belegget i de andre prøvene har hatt til tilstrekkelig vedheng til å greie slipingen. En viss utflytning av stålet p.g.a. slipingen kan sees.

4. Konklusjon

Prøver Ref 1a-1 og R2a-1 har ikke vært utsatt for vellykket elektrokjemisk realkalisering og er dårlig beskyttet mot fremtidig korrojson. De er allerede delvis anløpne.

Alle de andre prøvene har tette, mørke belegg som tyder på vellykket realkalisering, og er følgeløig beskyttet mot fremtidig korrosjon. De viser heller ingen tegn til korrosjonsdannelse.

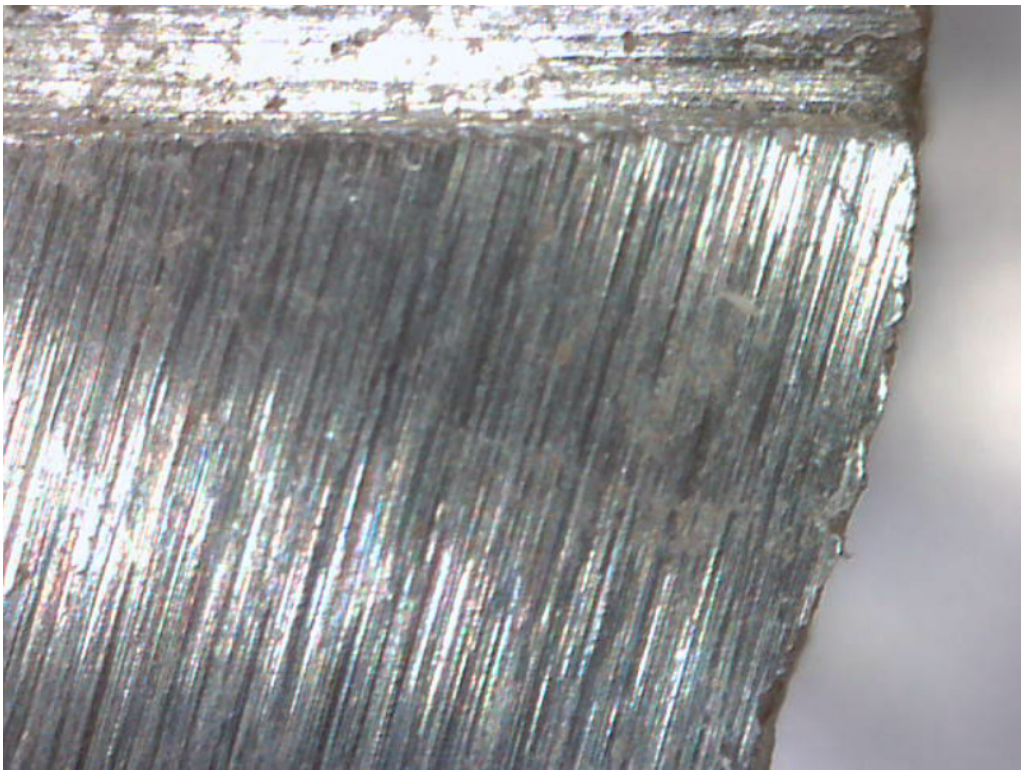
Betong prøve P2a-1 viser en sammenhengende farget stripe gjennom hele dens lengden og er således trolig realkalisert tiltross for at det ikke er jern, eller spor etter jern, i prøven.

Betong P1a-1 derimot, har en tilnærmet fargeløst 18 – 30 mm tykkt område ytterst under den glatte betongoverflaten og kan ikke sees å vært realkalisert.

Oslo, 10. september 2009-09-10

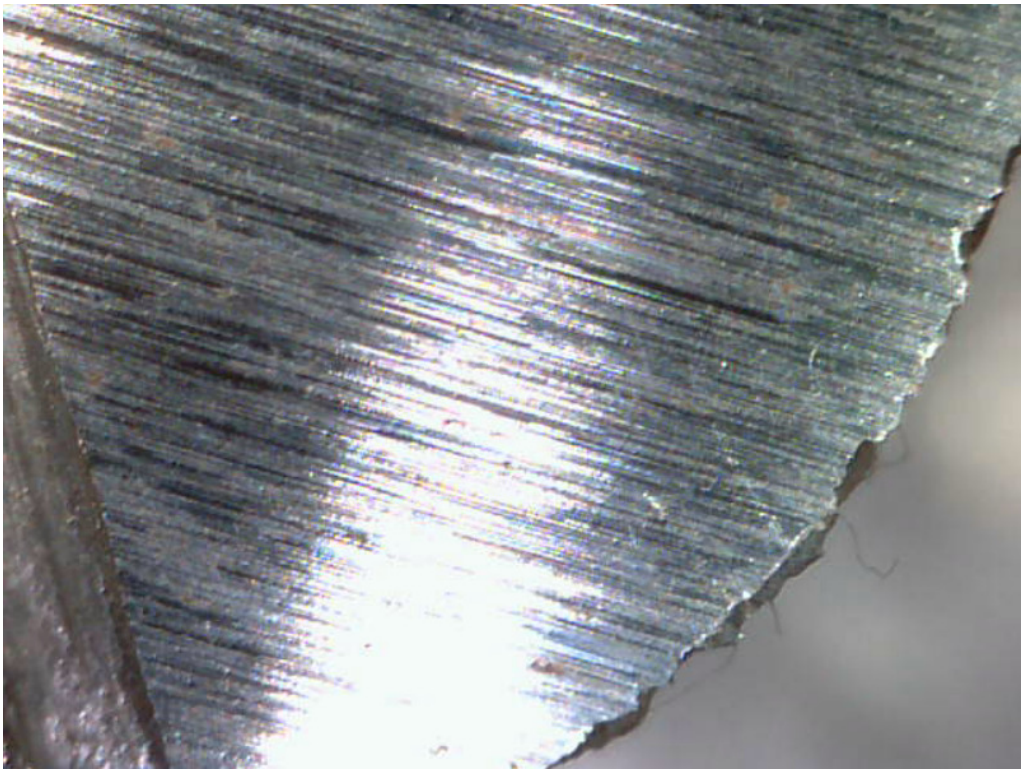
John B. Miller

Bilde av Ref 1A-1: Intet belegg i kanten i kanten av stålet



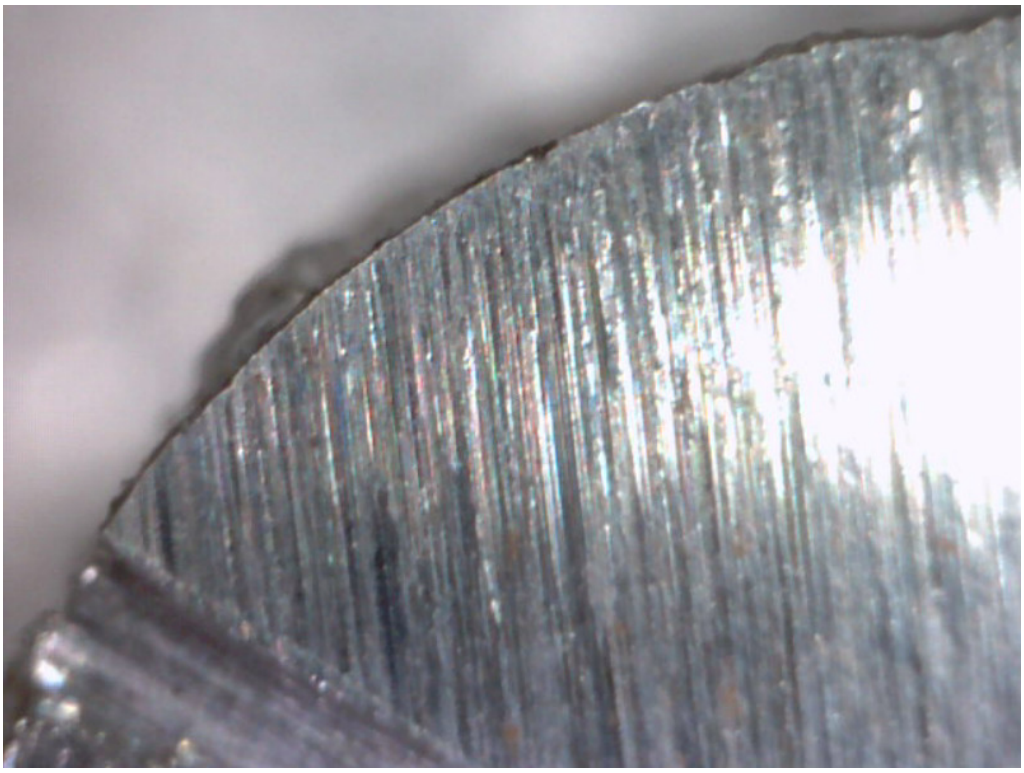
1 mm

Bilde av R2a-1: Intet belegg i kanten av stålet



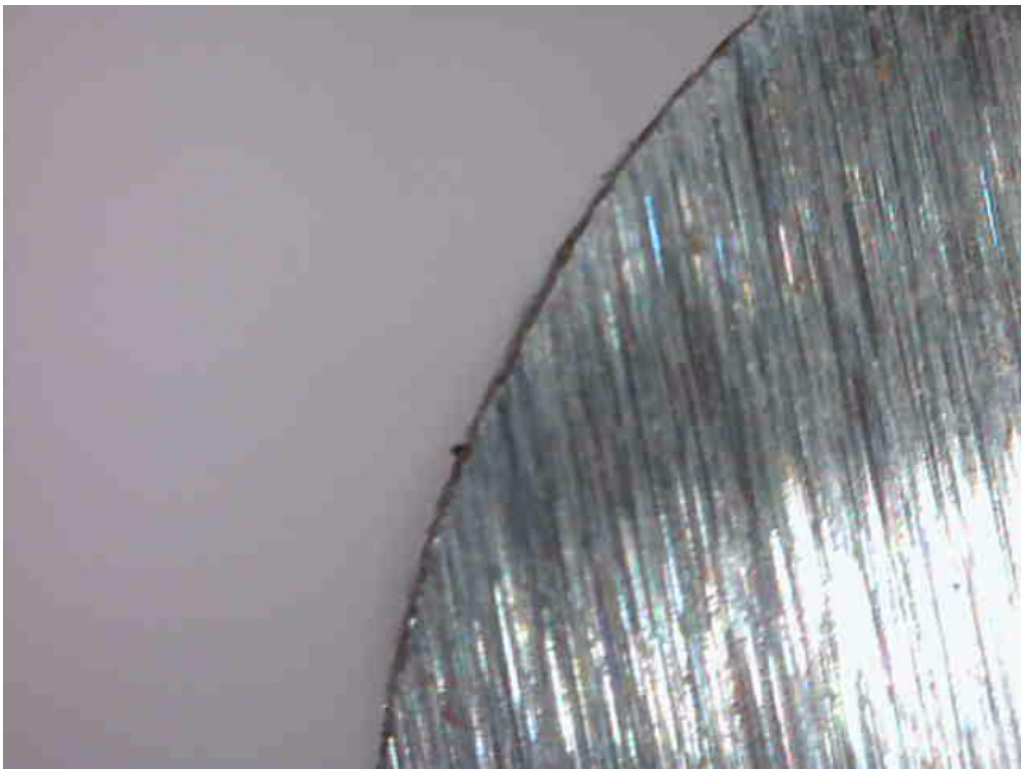
1 mm

Bilde av P2b-2: Belegg i kanten av stålet – Estimert tykkelse 0,02 – 0,05 mm



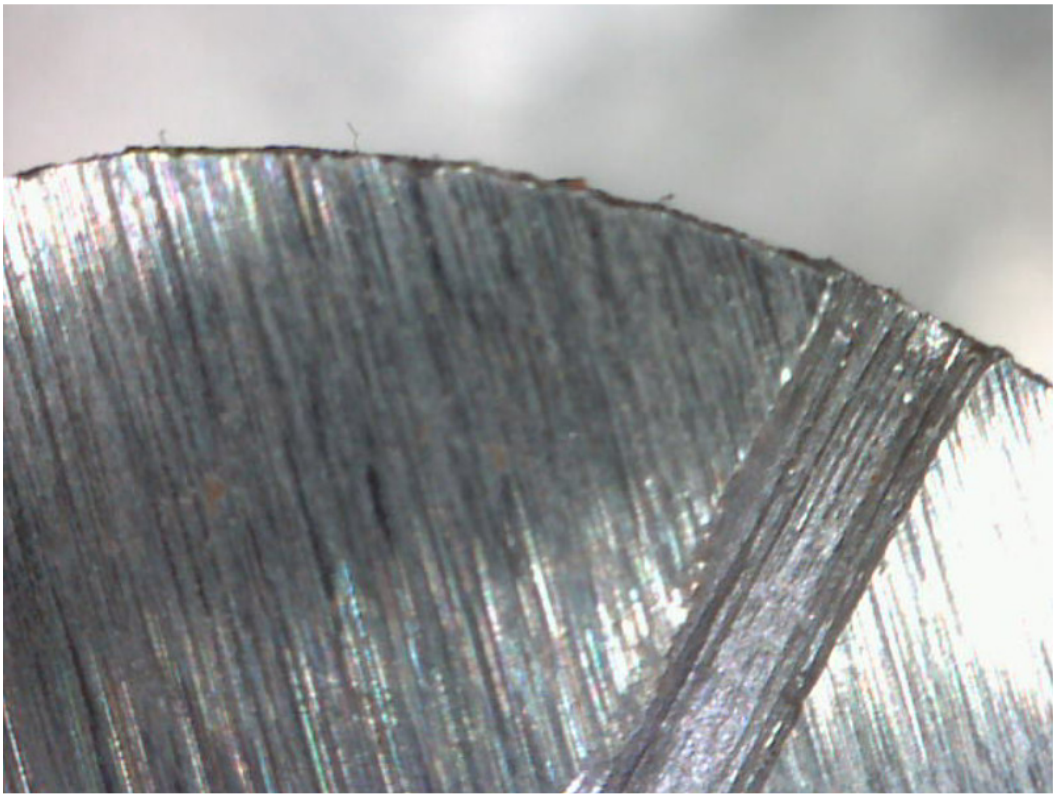
1 mm

Bilde av Ps5a-1: Belgg i kanten av bilde – Estimert tykkelse: 0.03 mm



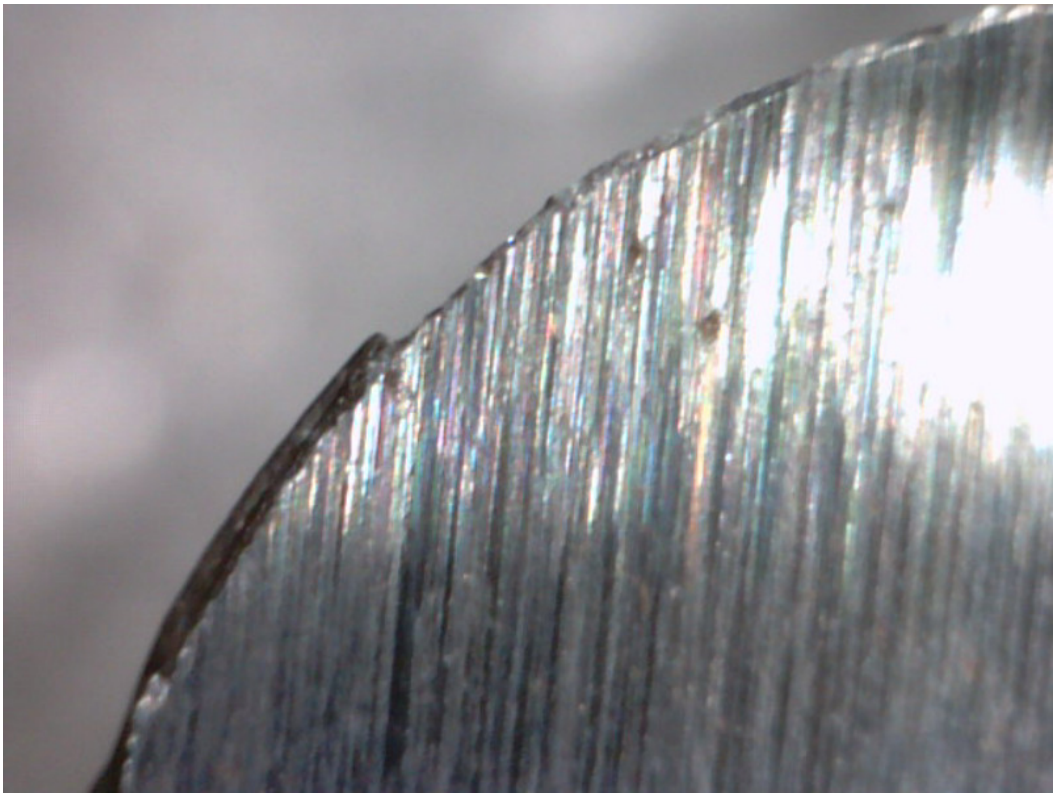
1 mm

Bilde av P6a-2: Belegg i kanten av stålet – Estimert tykkelse: 0,02 mm



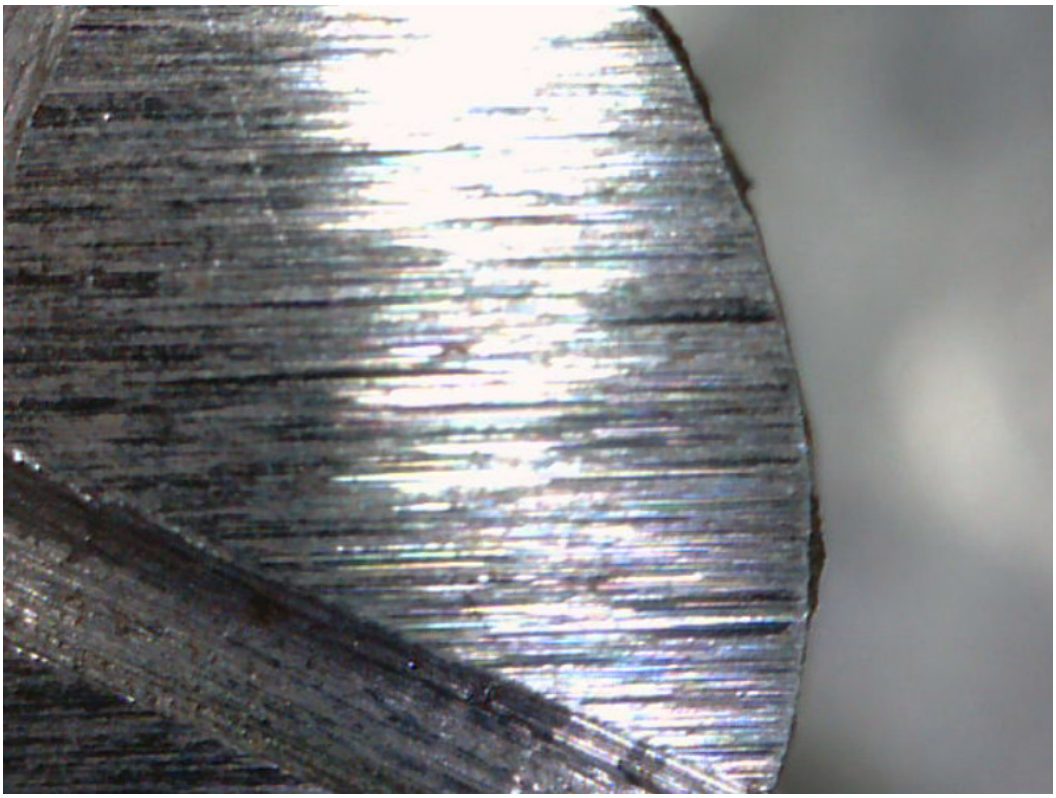
1 mm

Bilde av 4a-1: Belgg i kanten av bildet – Estimert tykkelse: 0,02 – 0.03 mm



1 mm

Bilde av Bj-2: Belegg i kanten av stålet – Estimert tykkelse: 0,01 – 0,02



1 mm