



Statens vegvesen

Bru nr. 09-0266 Blakstad bru Vurdering av langtidseffekt av utført vedlikehold

VD rapport

Vegdirektoratet

Nr. 11



Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Bruseksjonen
07-2011

VD rapport

VD report

Tittel

Bru nr. 09-0266 Blakstad bru
Vurdering av langtidseffekt av utført

Undertittel

Forfatter

Jan Lindland, Stærk og Co

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Seksjon

Bruseksjonen

Prosjektnummer

Rapportnummer

Nr. 11

Prosjektleder

Jan Lindland, Stærk og Co

Godkjent av

Knut Grefstad

Emneord

Sammendrag

I forbindelse med riving av Blakstad bru i 2007, ønsket Statens vegvesen å få undersøkt langtidseffekt av utført vedlikehold på hovedbjelkene. Viktige forhold å vurdere var:

- effekt av karboniseringsbremsende maling
- effekt på karboniseringssonene i underliggende betong etter behandling med pusset sprøytemørtel påført karboniseringsbremsende maling
- kvalitet på utstøping/reparasjon i underkant av bjelken.

Rapporten beskriver tilstanden i 1993, vedlikeholdstiltakene i 1993, undersøkelsene i 2009 samt vurdering av måleresultatene.

Antall sider 36

Dato 07-2011

Title

Subtitle

Author

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Section

Project number

Report number

No.

Project manager

Approved by

Knut Grefstad

Key words

Summary

Pages

Date

Oppdrags giver:	Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Oppdrag:	Bru nr. 09-0266 - Blakstad bru Vurdering av langtidseffekt av utført vedlikehold
Oppdrags givers referanse:	Knut Grefstad/Anders Kivle
Oppdrags nr.:	50740
Sted/dato:	Arendal, 24.januar 2011

Rapport

Bru nr. 09-0266 - Blakstad bru Vurdering av langtidseffekt av utført vedlikehold

Sammen drag:

I forbindelse med riving av Blakstad bru i 2007, ønsket Statens vegvesen å få undersøkt langtidseffekt av utført vedlikehold på hovedbjelkene. Viktige forhold å vurdere var:

- effekt av karbonatiseringsbremsende maling
- effekt på karbonatiseringssonen i underliggende betong etter behandling med pusset sprøytemørtel påført karbonatiseringsbremsende maling
- kvalitet på utstøping/repasjon i underkant av bjelken

Rapporten beskriver tilstanden i 1993, vedlikeholdstiltakene i 1993, undersøkelsene i 2009 samt vurdering av måleresultatene.

16 år etter påføring av karbonatiseringsbremsende maling, indikerer målinger av karbonatiseringsdybder en reduksjon i forhold til resultat av tilsvarende målinger utført i forkant av vedlikeholdsarbeider i 1993. Undersøkelsene viser at den karbonatiseringsbremsende malingen har bidratt til et forhøyet pH-nivå i deler av det karbonatiserte sjiktet i konstruksjonsbetongen.

På flater hvor karbonatisert betong ble påsprøytet et mørtelsjikt som igjen ble dekket med karbonatiseringsbremsende maling, viser målinger 16 år etter utbedring ingen karbonatisering. Karbonatiseringssonen har tilsynelatende blitt "realkalisert".

Resultatene i prosjektet er så interessante at flere betongkonstruksjoner, der tilsvarende vedlikeholdstiltak er utført, bør undersøkes. Dersom den samme effekten kan påvises for et større antall prosjekter, er det mulig å trekke generelle konklusjoner som vil forbedre beslutningsgrunnlag og påvirke metodevalg for hele bransjen.

I forbindelse med reparasjon av underkant bjelke er det oppnådd god utstøping og omstøping av armeringen samt god heft mot underlaget. Dermed blir bæreevnen tilfredsstillende og armeringen beskyttet mot korrosjon. Metoden kan derfor anbefales for fremtidige prosjekt.

Emneord:

Bru Bjelke Karbonatisering Utstøping Overflatebehandling Sprøytemørtel

Utført av: Jan Lindland 	Kontrollert av: Hartvig Angell Johnsen 	Godkjent av: Jan Lindland 
--	--	--

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING.....	3
2.	GRUNNLAGSMATERIALE.....	3
3.	KORT BESKRIVELSE AV BRUA.....	3
4.	BESKRIVELSE AV TILSTANDEN FØR VEDLIKEHOLD I 1993.....	5
5.	BESKRIVELSE AV VEDLIKEHOLDSSARBEIDENE I 1993.....	6
6.	BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSER 2009 - MÅLERESULTAT.....	6
6.1	Prøvestykke.....	6
6.2	Uttak av borkjerner.....	7
6.3	Effekt av karbonatiseringsbremsende maling.....	7
6.4	Effekt av sprøytemørtel og karbonatiseringsbremsende maling.....	8
6.5	Kvalitet på utstøping underkant bjelke.....	8
7.	VURDERING AV RESULTATENE.....	9
7.1	Effekt av karbonatiseringsbremsende maling.....	9
7.2	Effekt av sprøytemørtel påført karbonatiseringsbremsende maling.....	9
7.3	Kvalitet på utstøping underkant bjelke.....	10
8.	OPPSUMMERING/KONKLUSJON.....	10

VEDLEGG:

- Vedlegg A: Lokalisering av prøvesteder
- Vedlegg B: Dokumentasjon måleresultat karbonatisering
- Vedlegg C: Prinsippskisse for utbedring av hovedbjelker i 1993
- Vedlegg D: Rapport fra Noteby
- Vedlegg E: Brukort
- Vedlegg F: Tegninger
- Vedlegg G: Ferdigbrutegning

1. Innledning

I forbindelse med riving av Blakstad bru i 2007, ønsket Statens vegvesen å få undersøkt langtidseffekt av vedlikeholdstiltak som ble utført i 1993.

Viktige forhold å undersøke i denne forbindelsen var:

- effekt av karbonatiseringsbremsende maling på bjelkesidene
- effekt på karbonatiseringssonen i underliggende betong etter behandling med sprøytemørtel påført karbonatiseringsbremsende maling
- kvalitet på utstøping/repasasjon i underkant av bjelken

Med bakgrunn i overnevnte, ble Stærk & Co. a.s engasjert til å utføre undersøkelsene.

2. Grunnlagsmateriale

Følgende arkivmateriale er benyttet som grunnlag for rapporten:

- Opprinnelig armeringstegning for brua (vedlegg F)
- Rapporten "Supplerende undersøkelser av Blakstad bru", utført av Dr.techn. Kristoffer Apeland AS, 6.august 1993
- Anbudsgrunnlag for utbedring av bjelkene, utarbeidet av Dr.techn. Kristoffer Apeland AS, mars 1993
- Prinsippskisse for utbedring av underside bjelke, utarbeidet av Dr.techn. Kristoffer Apeland AS, datert 18.mars 1993 (vedlegg C)

3. Kort beskrivelse av brua

Bru nr 09-0266 Blakstad bru lå ved Blakstad på riksvei 42 like utenfor Arendal og ble revet i 2007. Brua gikk over Nidelva og jernbanesporet til Nelaugbanen.



Foto 3.1 Blakstad bru sett fra nedstrømsside

Brua ble bygd i 1951 som ei buebru med mellomliggende brudekke. Den hadde en samlet lengde på 129,85 m og total bredde på 6,8 m. Brua var i hovedsak utført i plasstøpt, slakkarmert betong med unntak av hengestenger og tverrbærere i stål i buespenet. Betongen ble produsert på stedet med enkle hjelpemidler – håndblanding og transportert med trillebår. Erfaringsmessig medførte dette store variasjoner i betongkvalitet.

Brua besto av fem spenn. Akse 1 ved landkar mot Arendal, og akse 6 ved landkar mot Evje. Overbygningen var kontinuerlig fra akse 1 til akse 6 med følgende hovedbæresystem:

- Akse 1-2: Platespenn (over jernbanen), spennvidde 6,7 m.
- Akse 2-3: Bjelkespenn, spennvidde 14,4 m
- Akse 3-4: Bjelkespenn, spennvidde 14,4 m
- Akse 4-5: Buespenn (over Nidelva), spennvidde 74,5 m
- Akse 5-6: Bjelkespenn, spennvidde 15,0 m

I tillegg vises til ferdigbrutegning i vedlegg G samt brukort i vedlegg E.

Akseinnndelingen for brua framgår av fig 3.1

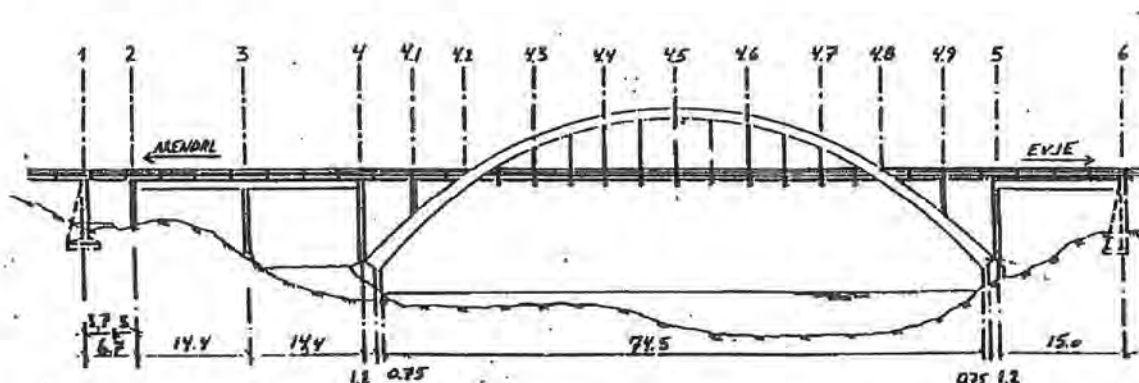


Fig 3.1 Aksessystem for brua sett fra oppstrømsside

Brua var prosjertert med betongkvalitet B iht NS 427, som tilsier en minimum trykkfasthet på 230 kg/cm². Grunnresepten (pr m³ betong) for konstruksjonsbetongen var som følger:

- 1040 kg sand
- 890 kg pukk
- 310 kg sement
- 185 l vann

Betongen var armert med glattstål St37 forankret med endekroker. Hovedbjelkene var kraftig armert med glattstål med diameter på 35 mm i opptil tre lag i lengderetning ute i felt. Deler av underkantarmeringen ble ført opp med 45 graders vinkel til overkant bjelke over støtte i akse 3 eller opp i trykksonen og avsluttet suksessivt inn mot opplegg i akse 2, 4, 5 og 6. I partier hvor lendearmeringen er ført opp i overkant bjelke, fungerer denne som skjærarmering. Behov for bøylearmering var derfor lite, så senteravstanden mellom vertikalbøylene ble derfor stor. Armeringsføring i hovedbjelkene framgår av vedlegg F.

For å sikre god utstøping rundt armeringen i underkant av hovedbjelkene, ble nedre del av bjelkene støpt ut med finsats bestående av vann, sement og sand. Grunnresepten var:

- 1360 kg sand,
- 450 kg sement
- 270 l vann pr m³.

Bruk av finsats framgår av fig 3.2.

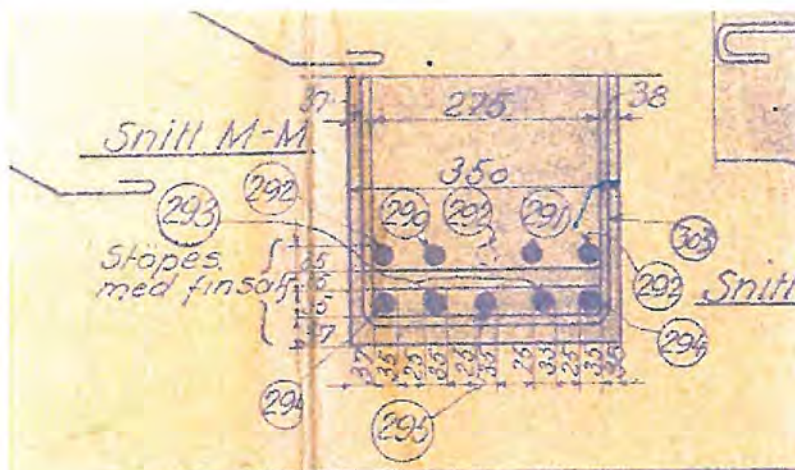


Fig 3.2 Typisk snitt hovedbjelke

4. Beskrivelse av tilstanden før vedlikehold i 1993

Hovedinspeksjonen i 1993 avdekket store skader i form av opprissing, bom, avskallinger og armeringskorrosjon i underkant og nedre del av bjelkesider på hovedbjelkene fra akse 2 til 4 og akse 5 til 6. Undersøkelsene viste pågående korrosjon på omtrent all armering i dette området, og den frilagte armeringen hadde kraftige korrosjonsskader, ref foto 4.1.



Foto 4.1 Typisk skade i underkant hovedbjelke

Fra overkant av hovedarmeringen i underkant av bjelkene og oppover på bjelkesidene var skadeomfanget beskjedent – begrenset til enkelte vertikale riss og punktavskallinger over bøylearmeringen. Rissene var først og fremst opptredende der armeringens overdekning var svært liten.

I 1993 viste målinger svært store karbonatiseringsdybder i nedre del av bjelkene - varierende fra 36 til 50 mm. På øvrig del (over nedre 250 mm) varierte karbonatiseringsdybden fra 7 og 20 mm, med en middelvei på 13 mm.

Hastighet på karbonatiseringsprosessen er først og fremst avhengig av betongens motstand mot inntrengning av karbondioksid fra omgivelsene. Betongkvalitet eller trykkfasthet er et indirekte mål på dette ved at høy fasthet indikerer en tett betong. Årsaken til den store forskjellen i

karbonatiseringsdybde må være at nedre del av bjelkene var støpt med finsats av dårlig kvalitet. Denne var meget porøs og med en fasthet og bestandighet som må ha vært langt dårligere enn den øvrige konstruksjonsbetongen. Det paradoksale er, at det som ble gjort i god hensikt for å sikre god omstøping og beskyttelse av armeringen, ble årsak til dårlig bestandighet, fordi finsatsen bidro til raskere karbonatisering og dermed utvikling av armeringskorrosjon.

5. Beskrivelse av vedlikeholdssarbeidene i 1993

Skadene på hovedbjelkene viste seg å være så omfattende at Statens vegvesen valgte å gjennomføre en større utbedring av bjelkene sommeren 1993. I denne rapporten beskrives ikke dette i detalj utover det som er relevant for å vurdere utførte tiltak med hensyn til bestandighet over tid.

På grunn av omfattende korrosjon på all armering i underkant av hovedbjelkene, var det nødvendig å fjerne hele finsatsen rundt armeringen. Før en kunne gjøre dette, ble betongbjelkene avlastet ved å henge konstruksjonen opp i overliggende stålbjelker som spente mellom oppleggsaksene. Så ble finsatsen fjernet ved vannmeisling, og all hovedarmering i underkant ble frilagt. Meislingsflatene ble gitt en kon, avrundet og skrå form for å unngå luftlommer ved ny utstøping. Deretter ble all armering rengjort ved sandblåsing og påført sementbasert korrosjonsbeskyttelse. Dette framgår av skisse i vedlegg C som viser prinsippet for utbedringen.

For å sikre god heft mellom ny utstøping og opprinnelig betong, ble meislet flate påført epoksyylim, og ny mørtel ble så støpt vått i vått med epoksylimet. Som ekstra sikkerhet ble det lagt inn injeksjonsslanger i bunnen av støpeskjøten for injisering i etterkant.

Umiddelbart etter påføring av epoksy, ble det montert en på forhånd godt tilpasset forskalingskassett på hele undersiden av bjelken. Tidspunkt fra påføring av epoksyylim til avsluttet utstøping var kritisk for sluttresultatet. Dersom epoksyylimet kom for langt i herdeprosessen før utstøping, ville bruk av epoksy virke mot sin hensikt og redusere heften mot underlaget.

For å sikre god utstøping i underkant av bjelkene, ble det benyttet pumpemørtel - Rescon Nonset 400. Etter herding av utstøpingen, ble det foretatt injisering. Forbruket av injiseringsmasse var helt ubetydelig. Dette ble tatt til inntekt for at en sannsynligvis hadde oppnådd full kontaktflate mellom ny og gammel betong med beskrevet utførelse.

På bjelkesidene ble det utført reparasjoner der det var synlige skader eller tegn til armeringskorrosjon. Omfanget var svært begrenset som følge av liten karbonatiseringsdybde og liten armeringstetthet.

Måling av armeringsoverdekningen hadde avdekket at denne konsekvent var allfor liten på den ene bjelkesiden. For å kompensere for dette, ble det påført et pussjikt med sprøytemørtel - Rescon DS i tykkelse på min 10 mm på hele flaten. Sprøytemørtelen ble avrettet, filset og til slutt påført en karbonatiseringsbremsende maling - Rescon Redisan. På den andre bjelkesiden var overdekning til bøylearmeringen tilsvarende langt større. Her ble betongflatene kun rengjort ved sandblåsing og påført karbonatiseringsbremsende maling - Rescon Redisan.

6. Beskrivelse av undersøkelser 2009 - måleresultat

6.1 Prøvestykke

Etter at brua var revet, ble det skåret ut et prøvestykke fra oppstrøms bjelke mellom akse 2 og 3 for nærmere undersøkelser. Det er imidlertid noe usikkerhet knyttet til prøvestykkets nøyaktige lokalisering. Prøvestykket ble transportert til Skarpsnes og lagret utendørs. Prøvestykkets utforming fremgår av skisse i vedlegg A

På prøvestykket var det noen vertikale riss på nedre del av bjelken, ref foto 6.1. Rissene stoppet stort sett ved støpeskjøten mot gammel betong. Rissene skyldes antagelig en kombinasjon av bøyning og svinn i reparasjonsmaterialet.

I tillegg var det et horisontalt riss i nedre del av bjelken i overgangen mellom ny utstøping og gammel betong. Utover dette var det ingen tegn til skader.



Foto 6.1 Typiske riss i underkant og nedre del av hovedbjelken med prøvestykket

6.2 Uttak av borkjerner

Det ble tatt ut åtte borkjerner med diameter 50 mm. Halvparten av kjernene ble boret tvers gjennom bjelken for å kunne vurdere effekten av vedlikeholdstiltakene på begge bjelkesider. Den andre halvparten av borkjernene ble tatt på bjelkesiden med bare karbonatiseringsbremsende maling.

6.3 Effekt av karbonatiseringsbremsende maling

Borkjernene ble splittet. Umiddelbart etter splitting, ble karbonatiseringsdybden målt ved påsprøyting av fenolftaleinløsning på den ene bruddflaten og tymolftaleinløsning på den andre bruddflaten.

Det ble benyttet en fenolftaleinløsning bestående 1 g fenolftaleinpulver blandet i 1 l 50/50 etanol/vann. Fenolftaleinløsningen gir et rødfiolett fargeutslag og har et omslagpunkt for pH fra 8,2 til 10.

Tymolftaleinløsningen besto av 0,4 g tymolftaleinpulver blandet i 1 l 50/50 etanol/vann. Tymolftaleinløsningen gir et blått fargeutslag. Omslagspunktet varierer for en pH-verdi mellom 9,4 og 10,6.

Ved bruk av fenolftaleinløsning viste måleresultatene en midlere karbonatiseringsdybde fra 1 til 7 mm. Ved bruk av tymolftaleinløsning varierte karbonatiseringsdybden fra 1 til 8 mm.

For øvrig henvises til måleresultater og foto i vedlegg B.

6.4 Effekt av sprøytemørtel og karbonatiseringsbremsende maling

Effekt av pussjikt med karbonatiseringsbremsende maling på karbonatiseringssonen i underliggende betong ble vurdert på fire av borkjernene. Umiddelbart etter splitting, ble karbonatiseringsdybden målt ved påsprøyting av fenolftaleinløsning på den ene bruddflaten. Det ble brukt samme fenolftaleinløsning som angitt i kap.6.3.

Samtlige prøver viste tilsynelatende ingen karbonatisering. Det vises til måleresultater og foto i vedlegg B.

Tykkelsen på pussjiktet varierte fra 10 mm til 18 mm. Resultatene framgår av tabellen nedenfor.

Prøve nr.:	Pussjiktets tykkelse (mm)
PP1	18
PP3	10-12
PP4	15
PP5	13

Tabell 6.1 Målt tykkelse på pussjiktet

6.5 Kvalitet på utstøping underkant bjelke

Kvaliteten på utstøpingen i underkant av bjelken er kun vurdert ved visuell inspeksjon av snittflaten i hver ende av det utskårede bjelkestykket.

Den visuelle vurderingen kan oppsummeres som følger:

- God utstøping (100%) rundt all armering
- Omtrent 100 % kontaktflate med epoksyim mellom ny og gammel betong
- Tegn til riss i støpeskjøten helt ut til overflaten, men ellers rissfritt
- Ingen riss i utstøpingstverrsnittet
- Utstøpingen fremstår som svært homogen

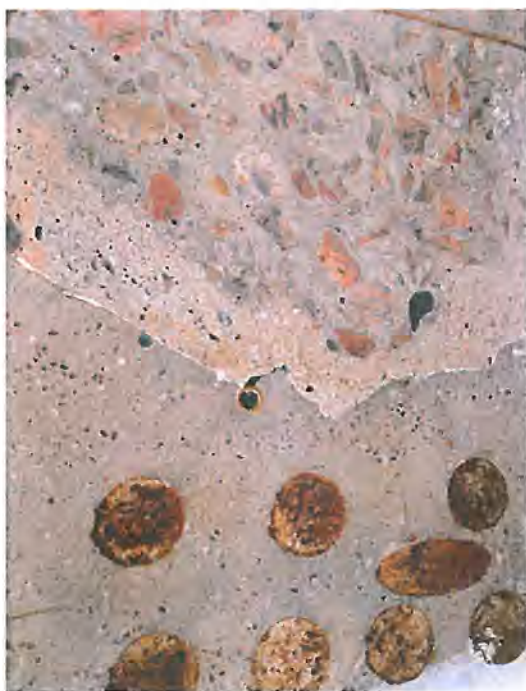


Foto 6.2 Overgangen mellom ny utstøping i underkant bjelke og opprinnelig betong

7. Vurdering av resultatene

7.1 Effekt av karbonatiseringsbremsende maling

Før vedlikehold av bjelkesidene i 1993, varierte karbonatiseringsdybden mellom 7 og 20 mm med en middelværdi på 13 mm. På bjelkesiden som kun var påført en karbonatiseringsbremsende maling, viser målingene 16 år etter påføring en karbonatiseringsdybde som varierer mellom 1 og 7 mm, med andre ord betydelig mindre enn i 1993.

Siden betongen ble produsert ved håndblanding, må en forvente store variasjoner i betongkvalitet og dermed store variasjoner i karbonatiseringsdybder - noe målingene i 1993 også viste.

Tymolftaleinløsningen gir fargeutslag ved en høyere pH enn fenolftaleinløsning. En skulle da forvente noe større karbonatiseringsdybder ved bruk av tymolftaleinløsning. Dette bekreftes delvis av målingene, selv om forskjellen er minimal.

Vi vil være forsiktige med å trekke for bastante konklusjoner, fordi det er store variasjoner i betongkvalitet, prøveomfanget er meget begrenset og prøvene er ikke tatt på samme steder som i 1993. Det synes imidlertid å være liten tvil om at karbonatiseringsdybden er blitt mindre som følge av den preventive overflatebehandlingen. Effekten er muligens ikke så stor som målingene viser, fordi deler av forskjellen kan skyldes variasjoner i betongkvalitet.

Dette er likevel noe overraskende og tyder på at den karbonatiseringsbremsende malingen har ført til en økning av pH-nivået i det karbonatiserte betongsjiktet – med andre ord en form for passiv realkalisering. Overflatebehandlingen kan ikke reversere karbonatiseringen, men målingene viser likevel at pH-nivået har økt pga tilførte alkalier, som bare kan ha kommet fra underliggende ukarbonisert betong. Dette underbygges av en undersøkelse Noteby AS gjorde for samme produkt allerede i 1989, der det viste seg at sjikt som var karbonisert fikk en høyere pH ved bruk av Rescon Redisan, ref rapporten i vedlegg D

Et forhøyet pH-nivå i karbonisert betong vil bidra til bevaring av opprinnelig passivfilm på armeringen, men vil neppe gi repassivering av korroderende armering som har lagt i karbonisert betong. Dette fordi pH-nivået antagelig ikke blir høyt nok.

7.2 Effekt av sprøytemørtel påført karbonatiseringsbremsende maling

For bjelkesiden som ble påført sprøytemørtel og samme karbonatiseringsbremsende maling som på motsatt side, viste målingene 16 år etter utbedring tilsynelatende ingen karbonatisering. Dette skyldes antagelig at en har fått transport av alkalier inn i den karboniserte sonen fra to sider, både fra underbetongen og fra den høyalkaliske pussen. Overflatebehandlingen har nok også vært medvirkende ved at den har forhindret rask uttørking, slik at en har hatt nok fuktighet i konstruksjonen til å oppnå vandrings av alkalier.

Vi skal også her være forsiktige med å trekke for bastante konklusjoner, fordi grunnlaget er meget begrenset og prøvene er ikke tatt på samme steder som i 1993. Måleresultatene i 2009 er likevel interessante, fordi de viser tilsynelatende ingen karbonatisering. En har med andre ord oppnådd en passiv realkalisering av hele det karboniserte betongsjiktet, slik at opprinnelig karbonisert betong har fått forhøyet pH-nivå. Dette er vist på fig 7.1.

Vi antar at den "nye" pH-verdien ikke er høy nok til å reetablere en stabil oksidfilm på korroderende armering, men likevel positiv, fordi dette vil retardere videre skadeutvikling som følge av karbonatiseringen.


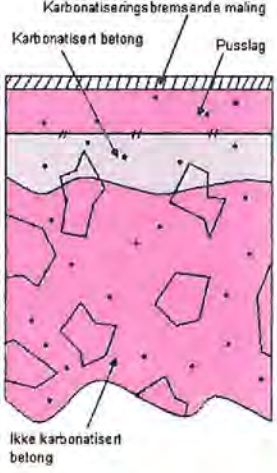

Tilstand våren 1993	Påføring av sprøytemørtel og karbonatiseringsbremsende maling i 1993	Tilstand høsten 2009
		
<p>Variierende karbonatiseringsdybde</p>	<p>Karbonatiseringssone under pussen lik tilstanden fra 1993</p>	<p>Ingen karbonatisering etter 16 år</p>

Fig 7.1 Effekt av sprøytemørtel dekket med karbonatiseringsbremsende maling

7.3 Kvalitet på utstøping underkant bjelke

Den visuelle kontrollen av "bjelkestykket" viser at utstøpingen i underkant bjelke har fungert som forutsatt. En har oppnådd god utstøping og dermed god beskyttelse av armeringen med en god mørtelkvalitet. I tillegg har en oppnådd samvirke mot underliggende betong, slik at bjelketverrsnittet kan fungere som forutsatt. Riss i overgangssonen ut mot bjelkesiden kan skyldes manglende heft eller skade i forbindelse med nedfall av bruspenet under rivingen.

8. Oppsummering/konklusjon

For flater med karbonatiseringsbremsende maling viser målinger 16 år etter utbedring mindre karbonatisering enn før utbedring. Mye tyder på at den preventive overflatebehandlingen har bidratt til et forhøyet pH-nivå i karbonisert betong - en "passiv realkalisering".

Ved påsprøyting av mørtelsjikt på karbonisert betong kombinert med preventiv overflatebehandling (karbonatiseringsbremsende maling), viser målinger 16 år etter utbedring tilsynelatende ingen karbonatisering. Karbonatiseringssonen er blitt "realkalisert".

Forhøyet pH-nivå er antagelig ikke tilstrekkelig til å reetablere en stabil oksidfilm på armeringen, men en vil oppnå en retardert skadeutvikling som følge av karbonatiseringsprosessen.

Dersom det viser seg at en kan oppnå en passiv realkalisering ved påføring av karbonatiseringsbremsende overflatebehandling med eller uten puss/sprøytemørtel, betyr det at effekten av denne type behandling er langt større enn tidligere antatt. Undersøkelsen viser at effekten er større med sprøytemørtel enn uten, fordi en da antagelig får transport av alkalier inn i karbonisert sone fra to sider. Siden en antar at forhøyet pH-nivå ikke vil kunne reetablere en stabil oksidfilm på armeringen, vil metoden først og fremst være egnet for betongflater der karboniseringsfronten er i ferd med å nå inn til armeringen.

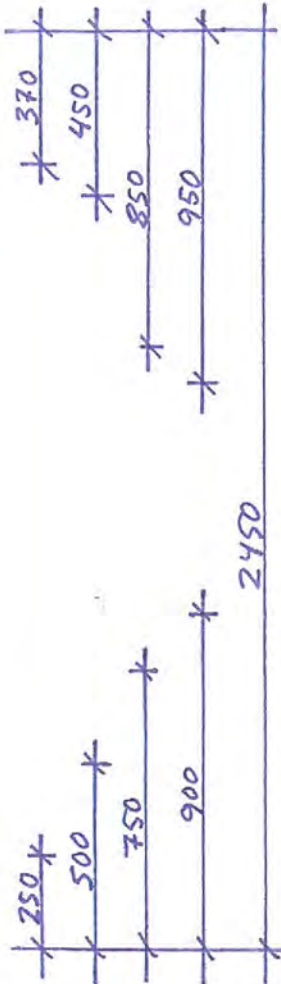
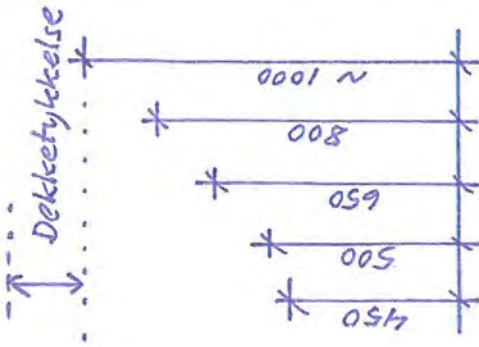
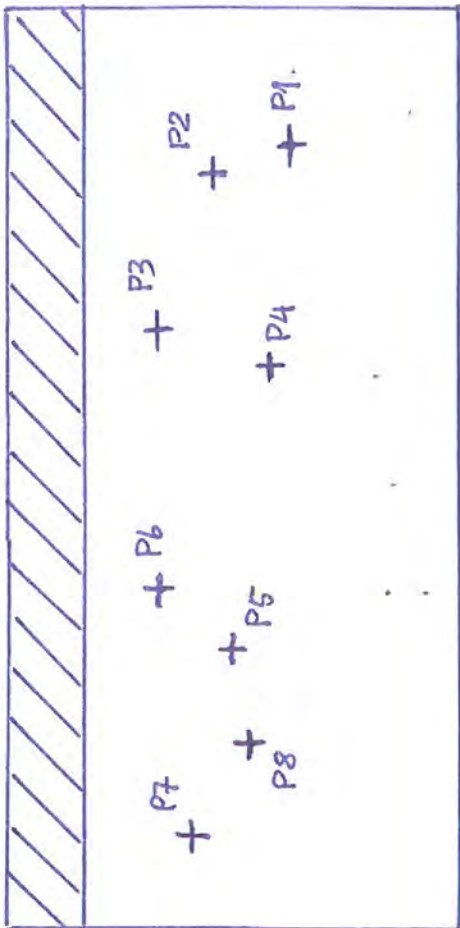
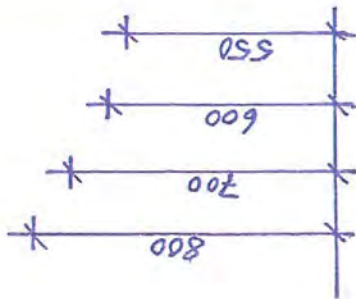
Resultatene i prosjektet viser at effekten av denne type vedlikehold kan være langt mer effektiv enn tidligere antatt. Prøveomfanget er imidlertid meget begrenset, så en skal være svært forsiktig med å trekke for bastante konklusjoner. Dette er likevel så interessant at flere betongkonstruksjoner, der tilsvarende vedlikeholdstiltak er utført, bør undersøkelses målrettet for å utvide erfaringsgrunnlaget. Dersom effekten som er avdekket på prøvestykket fra Blakstad bru viser seg å være av generell karakter, vil dette gi et verdifullt bidrag til vår kunnskap om vedlikehold av betongkonstruksjoner. Skader i form av armeringskorrosjon og avskallinger er et stort problem for mange eiere av eldre bygg og konstruksjoner oppført i betong. Økt forståelse om effekt av vedlikehold vil derfor ha samfunnsøkonomisk betydning.

Passiv realkalisering er en kjent vedlikeholdsmetode. En har først og fremst erfaring med metoden der det er påført tette belegg på betongflater som blir tilført fuktighet fra/gjennom bakenforliggende betong. Det oppsiktsvekkende i dette prosjektet er at en har oppnådd passiv realkalisering på betongflater som ikke blir tilført fuktighet på annen måte enn ved at betongkonstruksjonen er eksponert for atmosfærisk miljø.

Utstøpingen i underkant bjelke har fungert som forutsatt. En har oppnådd god utstøping og dermed god beskyttelse av armeringen. I tillegg har en oppnådd samvirke mot underliggende betong. Utbedringsprosedyren har fungert som forutsatt, og metoden kan derfor anbefales for fremtidige prosjekt.

Vedlegg A

Lokalisering prøvesteder



Alle mål i mm

Føll-prosjektet Blakstad bru
Prøvesteder på prøvestykke fra
hovredbjelke akse 2-3.

Skisse nr.:

A

Oppdrag:

NFO-prosjektet

Sak: Prøvefelt bjelke

Utført/dato:

12/6-09

Kontr./dato:

12/11-09

Godkj./dato:

12/11-09

Vedlegg B

Dokumentasjon måleresultat karbonatisering

Prøve P1

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde ca 1 mm.

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde ca 1 mm.



Prøve P2

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 1 til 7 mm, middel 5 mm.

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 4 til 8 mm, middel 5 mm.



Prøve P3

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 0 til 6 mm, middel 1 mm.

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 0 til 6 mm, middel 1 mm.



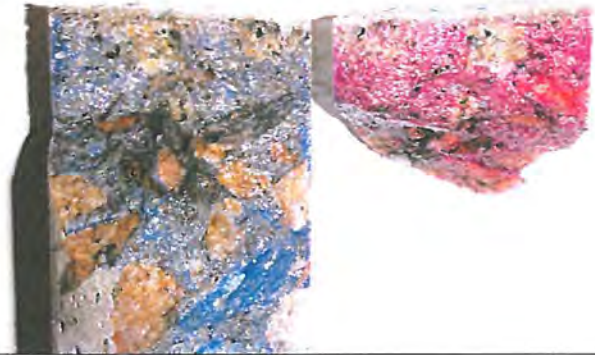
Prøve P4

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 1 til 2 mm.

Tymolftaleinløsning

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



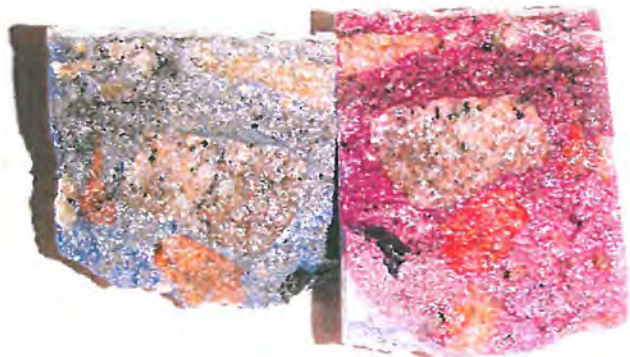
Prøve P5

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde ca 1 mm

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde ca 1 mm



Prøve P6

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 5 til 6 mm, middel 5 mm.

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 6 til 8 mm, middel 7 mm.



Prøve P7

Fenolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 1 til 3 mm, middel 2 mm.

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 1 til 6 mm, middel 2 mm.



Prøve P8

Fenolftaleinløsning

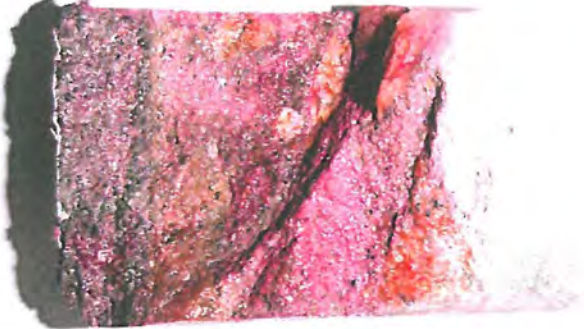


Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 2 til 4 mm, middel 2 mm.

Tymolftaleinløsning

Karbonatiseringsdybde (sterkt fargeomslag) varierende fra 2 til 6 mm, middel 4 mm.

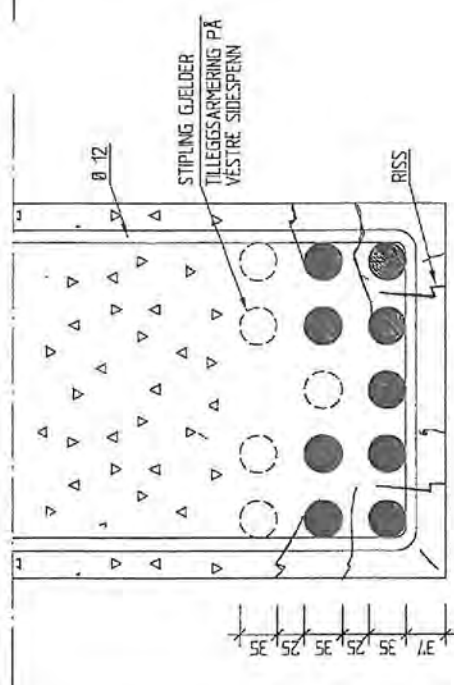


Karbonatiseringsprøve på bjelkeside med sprøytemørtel

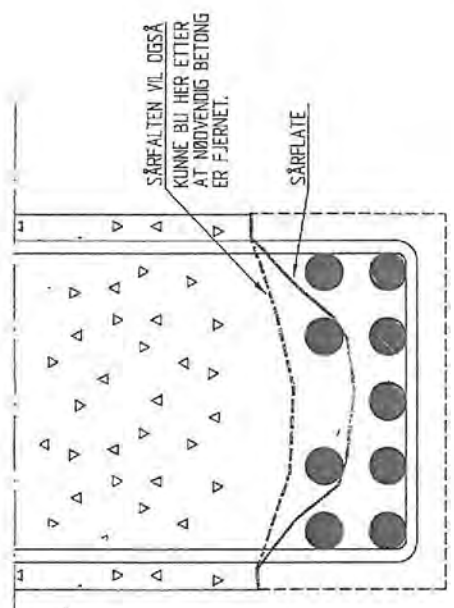
	
<p>Prøve PP1 Ingen karbonatisering</p>	<p>Prøve PP3 Ingen karbonatisering</p>
	
<p>Prøve PP4 Ingen karbonatisering</p>	<p>Prøve PP5 Ingen karbonatisering</p>

Vedlegg C

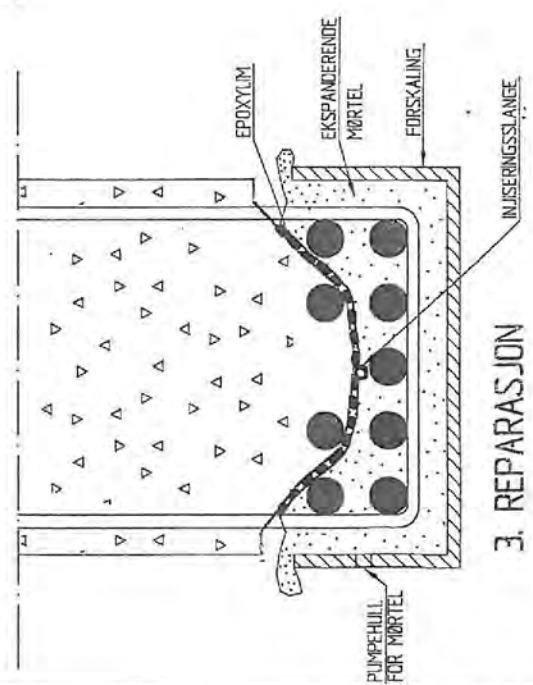
Prinsippskisse for utbedring av hovedbjelker i 1993



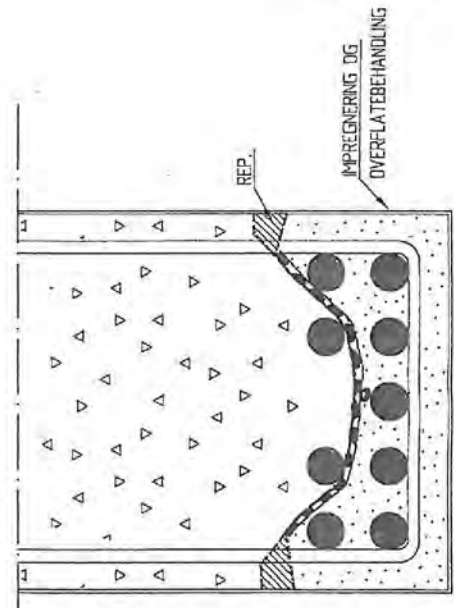
1. STATUS I DAG



2. FJERNING AV BETONG



3. REPARASJON



4. SLUTTREPARASJON OG OVERFLATEBEHANDLING

NBI
 UTBEDRING AV UNDERSIDE BJELKE
 KAN FØRST PÅBEGYNNES NÅR
 MIDLERTIDIG AVLASTNING ER ETABLERT.

REVIJERT DATO / SIGN.	15
MALESTORIK	
DATE	18.03.93 / T.O.
TEGN	
PROSJELEDER	
J.L.	
SAKSRERH.	
DATO	/ KONTR.
ODD:ERT	
 STATENS VEGVESEN AUST - AGDER	
BLAKSTAD BRU PRINSIPP FOR UTBEDRING - UNDERSIDE BJELKE	
DR. TECHN. KRISTOFFER APELAND A/S	TEGN.NR. 02
REV.	

Vedlegg D

Rapport fra Noteby

Fagområde:		Betong- og materialteknologi
Stikkord:		Karbonatisering, Overflatebehandling, Laboratorieforsøk
Oppdragsnr.:	4 6 6 4 3	
Rapportnr.:	2	
Oppdrags- giver:	RESCON A/S	
Oppdrag/ rapport:	PRØVNINGSRAPPORT - KARBONATISERINGSFORSØK MED REDISAN BETONGMALING	
Dato:	10. januar 1989	
Rapport-utdrag:		
<p>NOTEBY A/S har etter oppdrag fra Rescon A/S sammenlignet karbonatiseringshastighet i betong påført Redisan Betongmaling og ubehandlet betong. Det ble benyttet MP 30 sement til fremstilling av betongen, og fasthetsklassen tilsvarte C 25.</p> <p>Karbonatiseringsforsøkene ble utført under akselererte betingelser i NOTEBY's klimarom ved 20°C, 65 % relativ fuktighet og ved 3 % CO₂-konsentrasjon. Måling av karbonatiseringsdybden ble utført etter 54, 78 og 100 døgn.</p> <p>I løpet av forsøket ble betongprøvene som var påført Redisan Betongmaling ikke karbonatisert, mens prøvene som var ubehandlet fikk 16-17 mm karbonatiseringsdybde.</p>		
Land/Fylke:	Generelt	Oppdragsansvarlig:
Kommune:		Øystein Vennesland
Sted:		Saksbehandler:
Kartblad:		Olav Sæhl Ødegård/EBy
		UTM-koordinater:

PRØVEPREPARERING

Det ble laget 4 stk. betongprøver med størrelse (30x30x5)cm. Prøvene ble støpt i plastbelagte former, avrettet, glattet og lagret i 7 døgn under plast.

Etter avforming ble hellene plassert i klimarom med temperatur $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, relativ fuktighet (RH) ca 75 % og normal luftsammensetning.

Etter 150 døgn var initiell karbonatiseringsdybde 2-3 mm. På dette tidspunkt ble to av betongprøvene påført Redisan betongmaling på ubehandlet overflate, mens 2 prøver ble beholdt som referanseprøver. Side- og underkant på alle prøver ble forseglet med epoxy for å hindre forstyrrende karbonatisering.

AKSELERERT KARBONATISERINGSFORSØK

Betonghellene ble plassert i klimarom under følgende betingelser:

Temperatur: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
Relativ fuktighet: 65 %
CO₂-konsentrasjon: 3 %

Denne CO₂-konsentrasjon tilsvarer ca. 100 ganger det innholdet som luften har idag.

RESULTATER

Etter 54, 87 og 100 døgn i klimarom, ble det målt karbonatiseringsdybder ved å brette av strimler av betonghellene, og bruddflaten ble påsprøytet pH-indikator. Målingene ble tatt på 4 punkter på hver prøve.

Resultater, midlere karbonatiseringsdybde i mm.

Eksponeeringstid i klimarom - døgn	Redisan Betongmaling	Ref.prøver
54	- 0.8 *	11.8
87	- 1.1	15.3
100	- 1.3	16.3

* De negative verdiene skyldes at den initielle karbonatiseringsdybde er fratrukket i resultatene. Dette viser at halvparten av sjiktet som på forhånd var karbonatisert, har fått tilbake en høyere pH-verdi i løpet av forsøket.

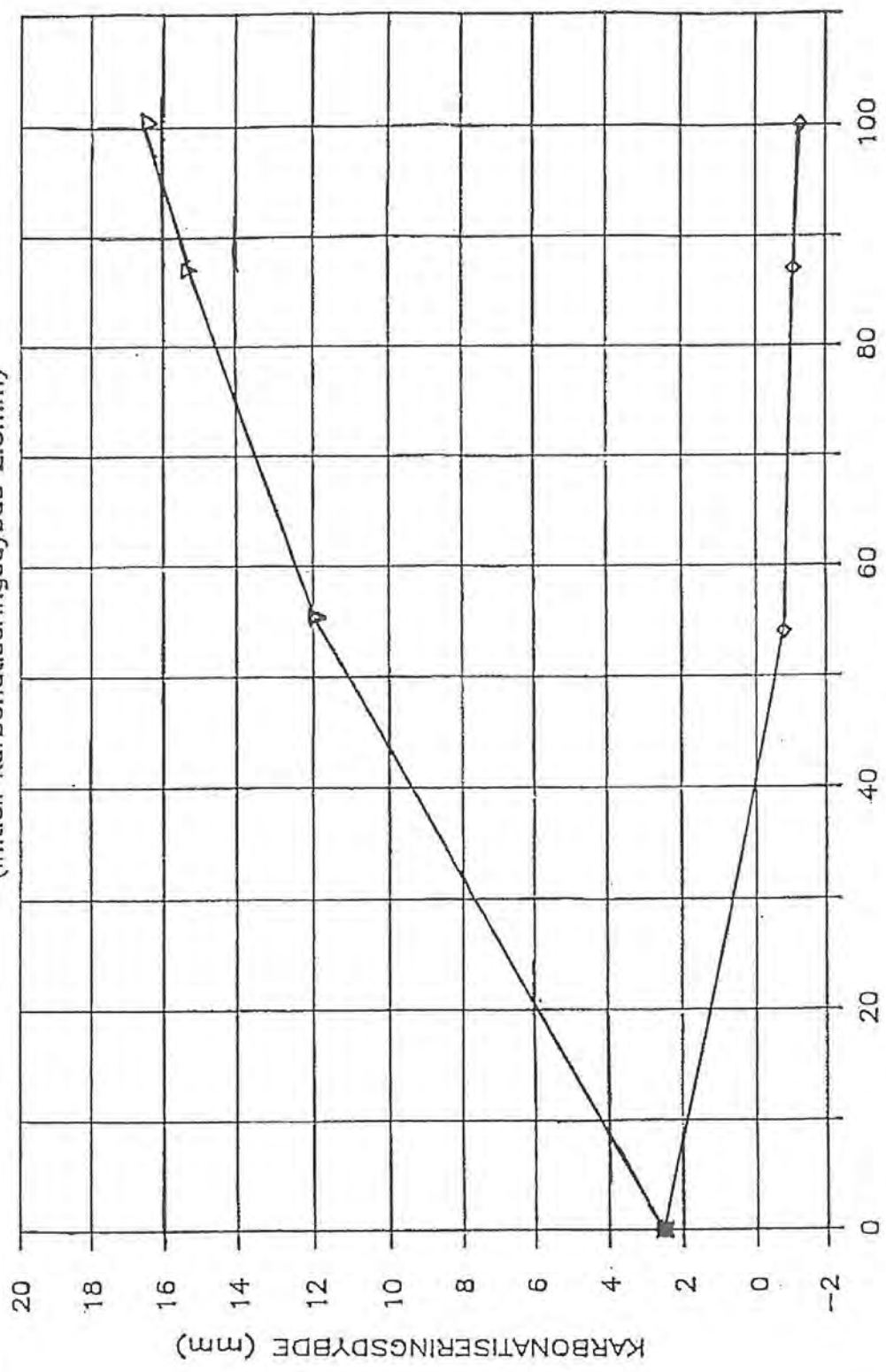
NOTEBY
NORSK TEKNISK BYGGEKONTROLL A/S

Oystein Vennesland
Oystein Vennesland

Olav S. Ødegård
Olav Sæhl Ødegård

RESULTATER FRA KARBONATISERINGSFORSØK

(Initiell karbonatiseringsdybde 2.5mm)



◇ REDISAN BETONGMALING
▽ REFERANSEPRØVE

TID I KARBONATISERINGSKAMMER (døgn)

KARBONATISERINGSDYBDE (mm)

KARBONATISERINGSFORSØK AV BELEGG	MÅLESTOKK	TEGNET	REV.
		KONTR.	
RESCON A/S		DATO	DATO
		14.11.88	
OPPDRAK NR.	TEGN. NR.	REV.	SIDE
46543	700		



Stærk.

Statens vegvesen
Bru nr. 09-0266 - Blakstad bru
Vurdering av langtidseffekt av utført vedlikehold

Vedlegg E

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

Bruklast

Bruksklasse år

Byggeår

Siste ombyggn. år

Museal status

Klima

Brunnr.



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	Museal status:			
Totalvekt:	50,00	Siste h. insp.:	1992		
Vegggruppe:	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	Kontinuerlig	
	Materiale : Betong		
	Bjelkebru, plassprodusert, konstant høyde m/samvirke	Fritt opplagt	
	Materiale : Betong		
	Platebru, massiv, rektangulært tverrsnitt	Fritt opplagt	
	Materiale : Betong		
■	Buebru, mellomliggende brudekke	Uten ledd (buer/hvelv)	
	Materiale : Betong		

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	Fuktsolert i 1994: Membran; 714 x 130 kr/m ² 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 Korrosjonsbeskyttelse: 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,- Overfl. beh. 1: Ukjent	1	6
Materiale 1: Stål			
H16 Vannavløp/drenssystem		1	6

Aksebeskrivelser:

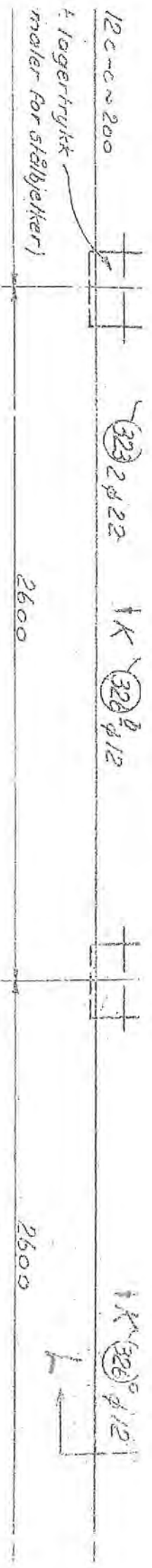
Nr.	Aksetekst	Spennvidde			
1	mot Arendal	6,70			
2	pilar	14,38			
3	pilar	14,40			
4	bueende	74,40			
5	bueende	15,00			
6	mot Evje				
Antall byggverk:	1	Total lengde:	129,85 m	Totalt areal:	908,95 m ²

Stærk.

Statens vegvesen
Bru nr. 09-0266 - Blakstad bru
Vurdering av langtidseffekt av utført vedlikehold

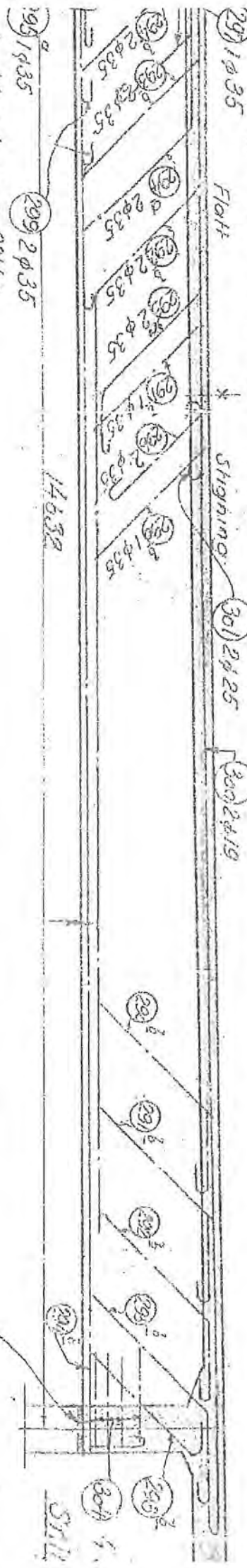
Vedlegg F

Tegninger



Bøjer som til 1 bølge mer på midtpartiet

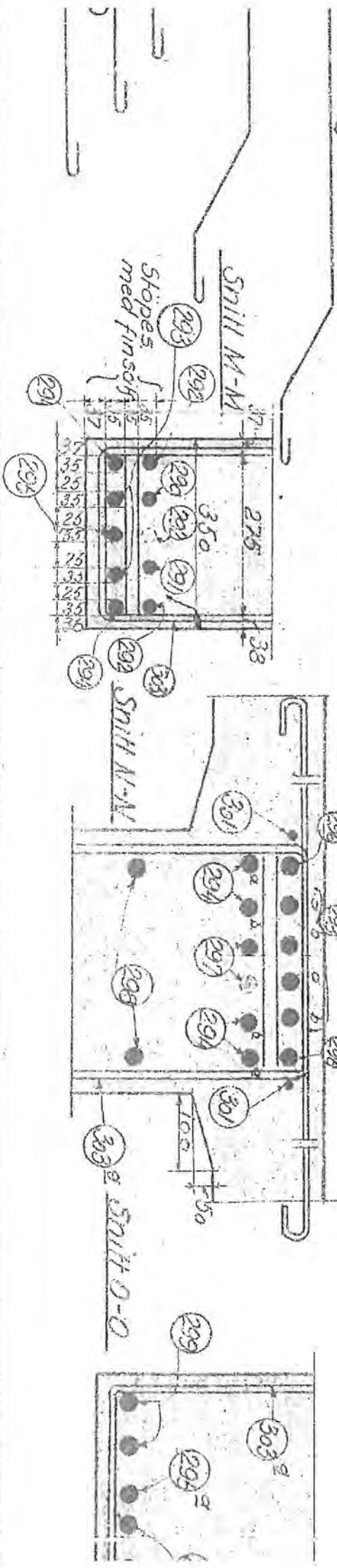
Smitt D-D. M=1:20



299 1435
299 2435
Ledd se tegn. nr 8314B
Tverrbærer se detalj

Ledd se tegn. nr
Tverrbærer se 031

Armeringen i disse spenn er ulike. På grunn av forskjellen i spennvidde er alle pos nr. noe forskjellige og merket med Bnr



Lttsnitt fra tegn. 89/47

Vedlegg G

Ferdigbrutegning

Ferdigbrutegning

STATENS VEGVESEN

14000. 12-02

Blakstad
 Arendal - Vagder og
 Hærad
 A-Agder
 Froland
 bru | Riks veg nr. 9
 Byggesk. 226
 1951
 Byggetid 687 915
 Prosjekt nr. 390/39
 Vedl. nr. 390/39
 Arendal

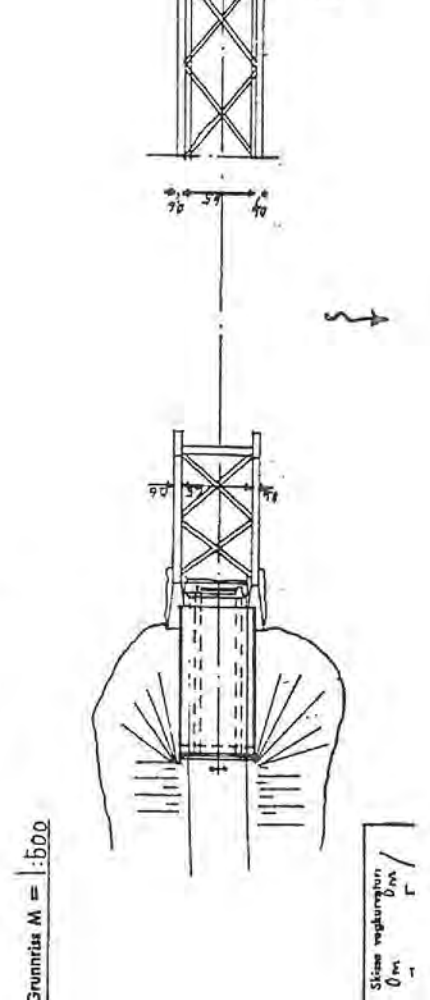
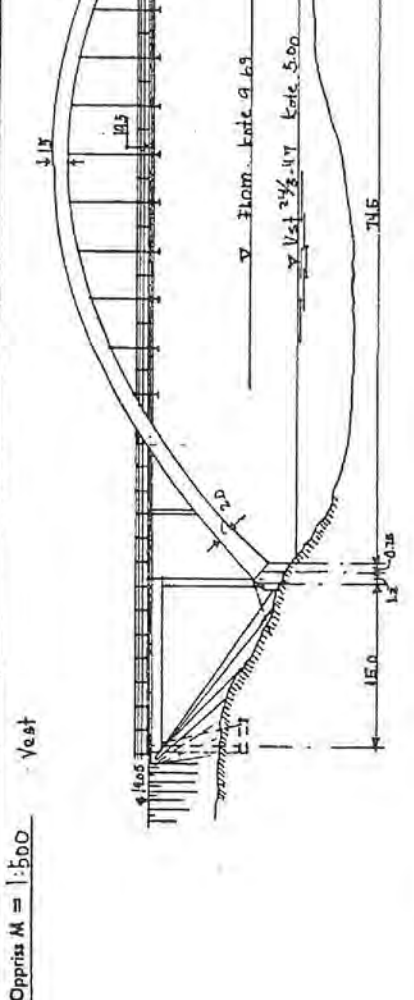
Bruystem: Arm, betongbuss, m/arma draagere
 Konstruksjon (materisler): Arm, betong
 Brudekke: Arm, betong
 Underbygning (materisler): Betong sidemuller; steinfylling
 Fundamentering:

Spennvidde/kyrvidde 15.00 + 7.60 + 14.38 + 14.37 + 6.80 m.

Kurvev. b =	Gangbaner G =	Fysingsavst. F =	m
6.50		5.50	
Fri bredde over fering	Fri bredde over rekkv.	Fri høyde over pl.	Fritt seilfop

Konstruert for lastkl. 2/1437
 Konstruert for aksellykkt. 10 tonn
 Endringer av lastkl./absalt. 1966 - 13 tonn

Overbygning:
 Konstruert av:
 Bygd av:
 Oppriss M = 1:500 Vest



Grunnris M = 1:500

Skisse vegkryssing
 0 m / 1 m

Øst

Tverrsnitt M =

Aukr. nr.





Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Boks 8142 Dep.
N-0033 Oslo
Tlf. (+47 915)02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN: 1892-3844