

**Intern rapport  
nr. 1608**

Foreløpig rapport fra korrosjonsforsøk på  
bolter i Vardøtunnelen

Mai 1993

**Veglaboratoriet**

# Intern rapport nr. 1608

## Foreløpig rapport fra korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen

### Sammendrag

I 1980 ble det i pumpebrønnen i Vardøtunnelen satt inn 8 stk fjellbolter med henblikk på en studie av korrosjonsutviklingen på denne type sikringsmateriell.

To stk. bolter forsvant i 1988 slik at forsøket er blitt noe amputert.

Resultatene så langt har vist at rustfritt stål bør ha høyt molybdeninnhold (ca. 5 %) for at det skal være bestandig

Varmforsinket stål har vist god motstandsevne i perioden 1980-1992 (12 år), men sinkbelegget begynner nå å minke (< 40  $\mu\text{m}$ ) slik at selve stålet nå kan bli angrepet.

Forsøket fortsetter.

Emneord: *Fjellbolter, korrosjon, vegtunneler-undersjøiske*

Seksjon: 46-Geologisk  
Saksbehandler: K. B. Pedersen  
Dato: Mai 1993

/HF

---

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Veglaboratoriet  
Postboks 8142 Dep, 0033 OSLO  
Telefon: 22 63 99 00 Telefax: 22 46 74 21

## **INNHold:**

Forord  
Resultater

## **VEDLEGG:**

- I Oversiktskjema korrosjonsforsøk Vardø
- II Pakkseddel, Ørsta Stålinndustri A/S  
Forsendelse av bolter
- III Kåre Johan Eikrem:  
Kontroll av korrosjon på bergbolter i  
Vardøtunnelen.
- IV Vedlegg analyse av sjøvann NIVA.

## FORORD.

Etter at Vardøtunnelen ble åpnet i 1980 ble det besluttet å foreta et korrosjonsforsøk i pumpebrønnen.

Det ble boret hull i veggen over høyeste vannstand slik at boltene ble utsatt for saltholdig lekkasjevann i boltehullene.

Saltkonsentrasjonen i lekkasjevannet ble analysert av NIVA for å fastlegge hvor rent sjøvann som lekket inn, se vedlegg. Analyseresultatene fra NIVA viser at lekkasjevannet er praktisk talt rent sjøvann. (man ville få samme resultat ved å ta prøven ved strandkanten).

I alt ble det satt inn 8 bolter til forsøket i pumpebrønnen. Hullene var boret slik at de drenerte lekkasjevann og boltene ble bare festet med treplugg. Boltene ble undersøkt sommeren 1988, 1989 og høsten 1992.

## RESULTATER

Sommeren 1988 ble boltene observert visuelt samt veid med henblikk på vekttap. Kun bolt nr. 2 hadde et betydelig vekttap (billig syrefast kvalitet).

Vekttap	1980	1988	$\Delta$ Dif.
bolt nr. 2	2431 g	2428 g	3 g

Bolt nr. 1 var fullstendig rustfri, mens boltene 3 og 4 hadde lett rustangrep i gjengepartiet. På bolt nr. 3 ble det også observert noe rust på selve bolten. Boltene 5,6 og 7 som var påstrøket epoxy maling var alle korrosjonsfrie bortsett fra litt rust i gjengepartiet. Ved siden av bolt nr. 1 (høyverdig syrefast stål) kom bolt nr. 8 (vanlig varmforsinket) best ut.

Ørsta Stålinindustrier inspiserer boltene høsten 1989 og høsten 1992.

Resultater fra disse undersøkelsene er vedlagt.

Boltene nummerert fra 1-4 var syrefaste stålkaliteter med ulik kjemisk sammensetning, se vedlegg. Boltene fra 5-8 var kamstålbolter. De 3 første var påstrøket epoxy maling, mens bolt nr. 8 bare var varmforsinket.

I rapporten fra Ørsta Stålinindustrier A/S har man brukt en annen nummerering, se vedlegg. Dette har sammenheng med at boltene 3 og 4 forsvant i 1988.

Konklusjonen så langt må bli at korrosjonshastigheten på bolten som bare er varmforsinket stort sett følger de teorier som tidligere er utarbeidet. En fullstendig rustfri stålkalitet bør antagelig ha et molybdeninnhold som ikke ligger særlig under 5 %.

# Korrosjonsforsøk i Vardpennelen

Leverandør	Standard	Merket	Vekt (g)	Diam (cm)	C% Si	Mn% Mn	P% P	S% S	Cr% Cr	Mo% Mo	Ni% Ni	Merknader
Farex Fabrikker A/S		1	3644	1.6					18.0	>2.5	12.0	Rustfritt stål
— 11 —		2	2431	1.6	0.10	0.64	5.60		16.88	1.11	6.30	"Lav kvalitet" av rustfritt stål
Ørsta Ståindustrier A/S	SIS 2324	3	2329	1.6	≤0.04				26.0	1.5	5.0	} Forsvunnet etter 1988
— 11 —	SIS 2343	4	2379	1.6	0.38	0.43	1.58	0.03	17.25	2.68	11.00	
— 11 —		5 (3)	3315	2.0								Varmforsinket belagt med 1 strøk blank epoxy (mutter syrefest)
— 11 —		6 (5)	3305	2.0								Varmforsinket belagt med 1 strøk grå epoxy
— 11 —		7 (4)	3324	2.0								Varmforsinket belagt med 2 strøk epoxy
— 11 —		8 (6)		2.0								Varmforsinket tykkelse ~ 80 µm

PAKKET	
Dato: 23/11-81	
Sign.:	
Antall kolli	
Kasser	Bunter
Pakker	Stk.
Sum kolli	

Vegkontoret : Finmark  
 Moving. Lund  
9550 Vardø

Vareadresse

Samme, merkes: korrosjonsprøver  
 Vardø tunnelanlegg

ØRSTA, den 20/11-81

Vilkår



Sendt pr.

Post

Mrk.

Antall	Lev.	Rest	Type nr.	Vare
1stk	/			M20 x 1500 Varmforz. Kamstålbolt m/sf. skive og halokule som er belagt med <u>1 strøk</u> blank epoxy. Mutter i syrefast stål Vekt bolt $\bar{u}$ /mutter = <u>3315 ± 2 gr.</u> Merket nr. 5 (i gjengender)
1stk	/			Ditto, belagt med <u>1 strøk</u> grå epoxy Mutter i syrefast stål Vekt bolt $\bar{u}$ /mutter = <u>3305 ± 2 gr.</u> Merket nr. 6 (i gjengender)
1stk	/			Ditto, belagt med <u>2 strøk</u> epoxy Mutter i syrefast stål Vekt bolt $\bar{u}$ /mutter = <u>3324 ± 2 gr.</u> Merket nr. 7 (i gjengender)

# RAPPORT

TITTEL

KONTROLL AV KORROSJON PÅ  
BERGBOLTER I VARDØTUNNELEN

FORFATTER

KÅRE JOHAN EIKREM

OPPDRAGSGIVER

VEGLABORATORIET

DATO

08.01.93

SIGN

  
KÅRE JOHAN EIKREM

ØRSTA STÅLINDUSTRI AS, 6150 ØRSTA  
TELEFON 070 66550, FAX 070 68742

INNHOLDSFORTEGNELSE	Side
1 INNLEDNING	2-3
2 VISUELL KONTROLL-KOMMENTARER	4-5
3 MÅLERESULTAT-KOMMENTARER	6-7
4 RAPPORT FRA SI	8-14



## 1 INNLEDNING

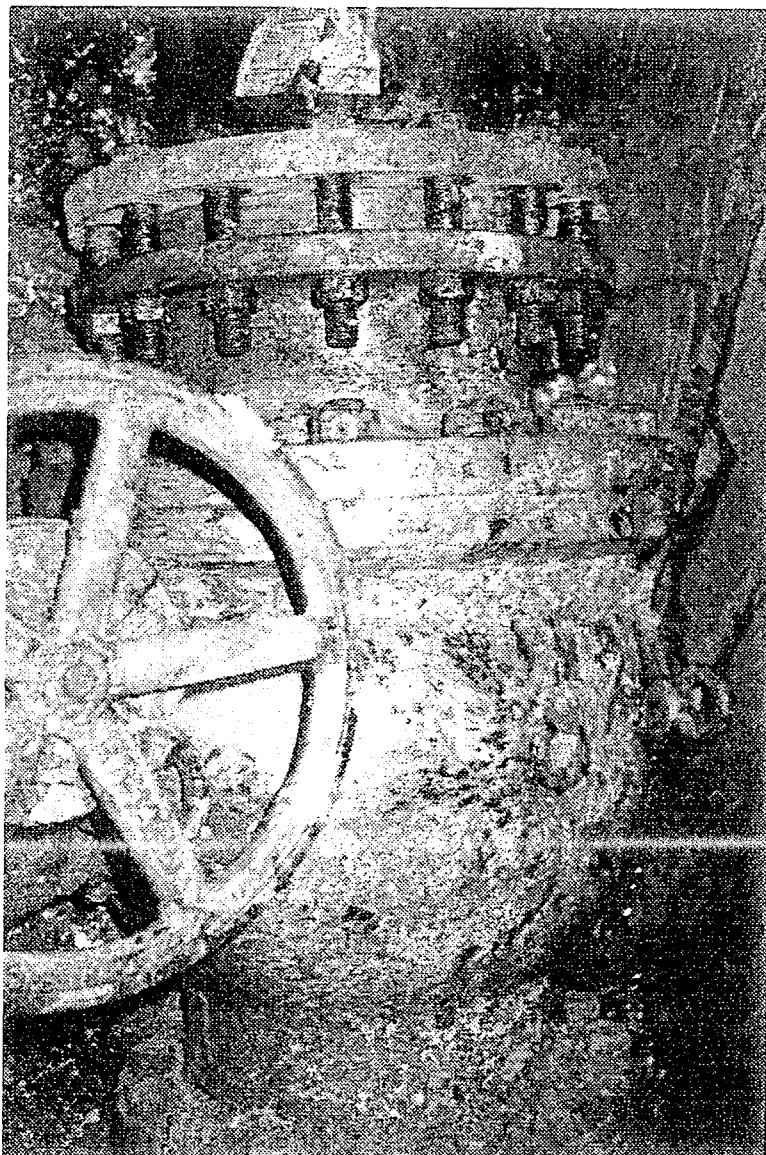
For å vurdere korrosjonsutviklingen på bergbolter i Vardøtunnelen er det utført visuell kontroll i tunnelen og målinger i lysmikroskop ved SI.

Vardøtunnelen er en undersjøisk vegtunnel med lengde ca 2600 m og ble åpnet for trafikk i desember 1982.

Ved brønn i pumpestasjon ble det i samband med bygging av tunnelen innstalert bolter med varierende korrosjonsbeskyttelse. Disse boltene ble innstallert i horisontale hull ca 1.0 m over vann-nivå. Boltene er ikke forankret og kan taes ut for innspeksjon.



Miljøet i tunnelen er meget korrosivt p.g.a. saltvann og kloridrik luft.  
Bildet viser detalj av pumpeledning ved pumpestasjon.



## 2 VISUELL KONTROLL-KOMMENTARER

### Bolt nr 1.

Ø16 mm rundstål i rustfritt stål.

Det ble ikke observert korrosjonsangrep på denne bolten. ✓

### Bolt nr 2.

Ø16 mm rundstål i rustfritt stål.

Bolten er sterkt korrodert på ene halvdel og i økende grad mot enden der det er tildels groptøring. Andre halvdel av bolten har en hel overflate unntatt helt i enden av bolten som har kraftig groptøring. Den halvdel som er mest korrodert var plassert innerst i borchullet. ✓

Bolt nr 1 og 2 er begge av et rustfritt materiale, men med helt ulike resultat. Materialspesifikasjoner finnes ikke, men en naturlig forklaring på at den ene er kraftig korrodert, mens den andre er uten korrosjon kan være ulike kvaliteter på stålet.

Bolt nr 1 er truleg i en syrefast kvalitet med et forholdsvis høgt molybdeninnhold, mens bolt nr 2 er i en vanleg rustfri kvalitet.

### Bolt nr 3 og 4.

Ø20 mm kamstål malt med lys grå maling. (malingskval. ukjent). 1 Aug 1987

Rustgjennomslag på store deler av boltene og med kraftig angrep på gjengeparti. 17-87

### Bolt nr 5.

Ø20 mm kamstål malt med mørk grå maling. (malingskval. ukjent). 2. 1987

Sammenlignet med bolt nr 3 og 4 har denne bolten en forholdsvis hel malingsfilm unntatt gjengeenden som er kraftig korrodert. 17-87

5

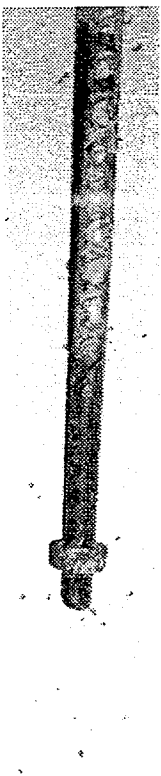
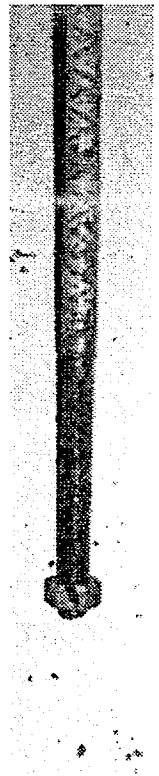
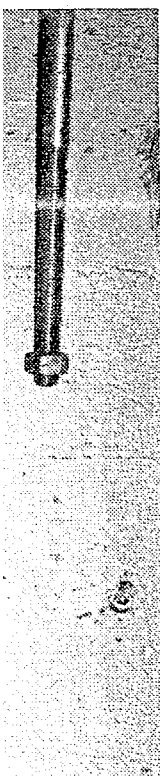
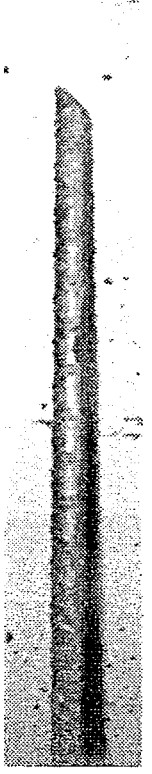
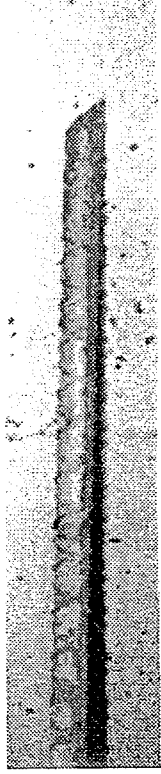
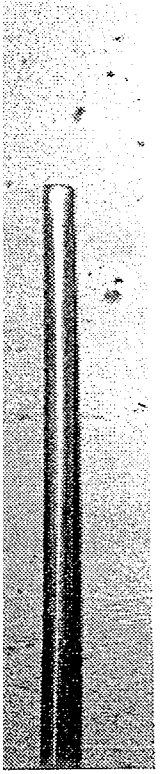
1

2

3

4

5



### 3 MÅLERESULTAT-KOMENTARER

Bolt nr 6.

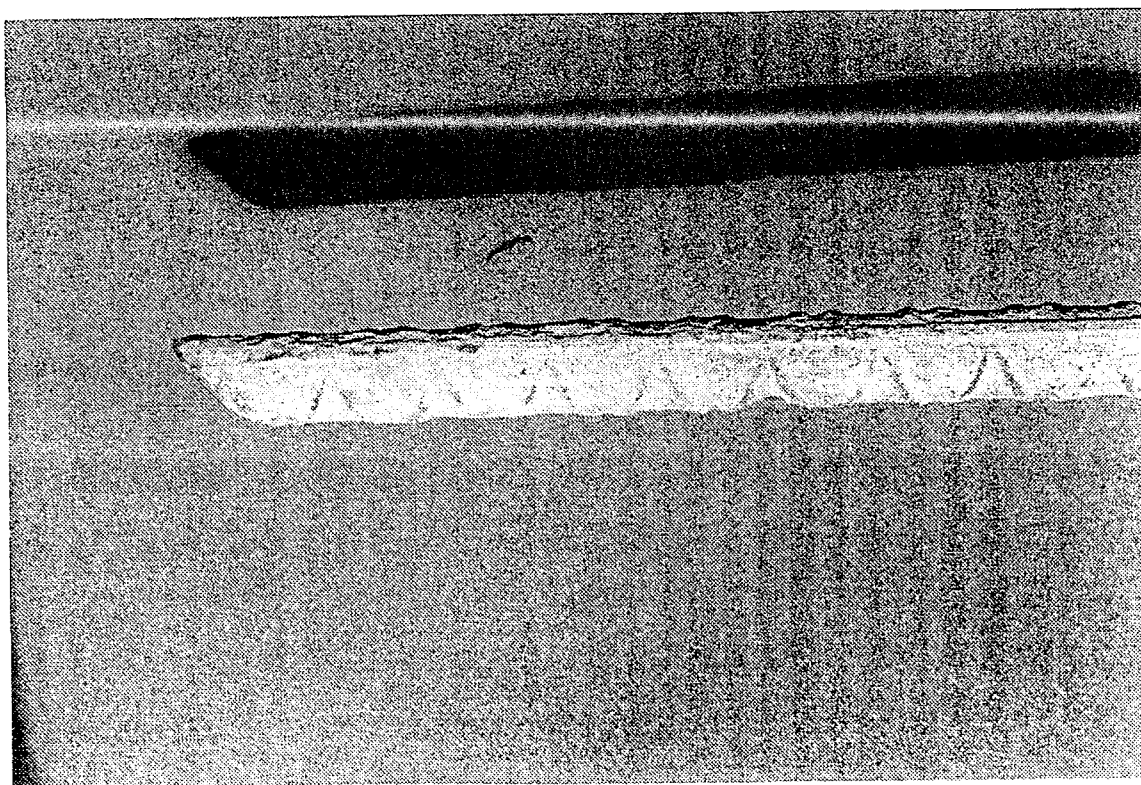
Ø20 mm kamstål varmforsinket.

Bolten har et tykt lag av korrosjonsprodukt og har punktvis rustgjennomslag på ene enden d.v.s. den enden som har stått lengst inn i borhullet.

Det ble gjort forsøk på å fjerne korrosjonsproduktene med en amoniumkloridløsning, men dette ga et dårlig resultat og korrosjonsproduktene ble derfor fjernet mekanisk. Målingene ble utført med et delta-scope der måleresultatene varierte fra 8-42  $\mu\text{m}$ . Totalt ble det tatt 9 målepunkt fordelt tilfeldig på boltens lengde.

Måleresultat:	Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\mu\text{m}$	8	37	42	33	29	21	15	38	43

Da måleresultatene var noe usikre p.g.a. at korrosjonsproduktene delvis ble mekanisk fjernet ble det kappet en ende av bolten for videre kontroll. Avkappet ble sendt til SI som har utført målinger av sinksjiktet i enkelt-tverrsnitt med mikroskopering. Resultatene fra SI vedlegges som egen rapport.



Kommentar til måleresultat fra SI:

Det ble utført målinger på 4 tilfeldige snittflater der målingene varierte fra 0-70  $\mu\text{m}$ .

På prøve nr 2 er det utført målinger på to snittflater der sinktykkelsen varierer fra 0-60  $\mu\text{m}$  og gjennomsnittlig sinktykkelse er målt til 39  $\mu\text{m}$ .

Prøve nr 2a er tatt fra det området på bolten der det visuelt kunne sees rustgjennomslag. Sinktykkelsen var lik 0 på store deler av denne snittflaten og på enkelte steder en sinktykkelse på 30-40  $\mu\text{m}$ . På grunn av ekstremt ujevnt zinkbelegg på denne snittflaten ble det ikke gjort målinger for å finne gjennomsnittet.

På prøve nr 2b er det gjort 22 tilfeldige tykkelsemålinger der sjikttykkelsen varierer fra 20-70  $\mu\text{m}$  og gjennomsnittlig sinktykkelse er 39  $\mu\text{m}$ .

Generelle kommentarer til bolt nr 6.

Det ble i november 1989 utført korrosjonsmålinger på bolt nr 6 der måleresultatene varierte fra 25-35  $\mu\text{m}$ . Målingene ble utført med delta-scope etter at korrosjonsproduktene var fjernet.

Når vi sammenligner målinger utført i desember 1992 med målinger i november 1989 ser vi at gjennomsnittet på begge målingene er tilnærmet like. Vi ser også at målinger utført i 1992 har større spredning enn målinger i 1989. Måleresultater fra SI bekrefter også store avvik på sinksjiktet der det på enkeltparti ikke kan registreres sink i det hele tatt.

Da sinktykkelsen har så store variasjoner er det vanskelig å gi en konklusjon på snittet for hele bolten. Langtidserfaringer viser at tilsvarende miljø har en korrosjonshastighet på 4-6  $\mu\text{m}$  pr. år. Dersom vi antar at den gjennomsnittlige korrosjonshastigheten de første 10 år er 4-4,5  $\mu\text{m}$  og at sinktykkelsen i utgangspunktet var ca 70  $\mu\text{m}$  vil dette gi et gjennomsnittlig sinksjikt på 25-30  $\mu\text{m}$ .

Korrosjonshastigheten er normalt størst de første årene og vil avta gradvis etter hvert som korrosjonsproduktene bygges opp.

Jostein Digernes  
Ørsta Stålinndustri as  
6150 ØRSTA

## Rapport

Deres ref.	Vår ref.	Direkte innvalg	Dato
	IFU	02/452568	30 november 1992
Oppdragets tittel			Oppdrag nr
Uorganiske analyser			115205-025

Det er mottatt 2 prøver:

Prøve 1 var en kraftig korrodert stålbolt.

Prøve 2 var en varmforsinket kamstålbolt som har vært innstøpt i betong.

Begge prøvene ble støpt inn, slipt og polert. Prøve 1 ble i tillegg dampet på karbon for mikrosondeanalyse.

### Undersøkelse av prøve 1:

Det ble utført en kvalitativ mikrosondeanalyse for å finne ut om det var spor etter sinkoksid igjen i prøven.

### Resultat:

Det ble ikke funnet spor etter sinkoksid i prøve 1.

### Diskusjon:

Fig. 1 viser de forskjellige skiktene på stålbolten tatt med tilbakespredte elektroner. (Viser variasjoner i midlere atomnummer. Dvs. tyngre elementer blir lyse, mens lettere elementer blir mørke på bildet). Det innerste lyse området er stål. Det tykke mørke skiktet består av ulike typer jernoksider. Ytterst er et tynt lag rikt på kalsium (betong?). Det beviser at et eventuelt tilstedeværende sinkoksid ikke kan ha skallet av.

### Undersøkelse av prøve 2:

Det ble tatt ut to tverrsnitt av prøven for å måle sinktykkelsen. ISO 1463 ble ikke benyttet da denne metoden ble funnet uegnet til denne målingen siden skikthykkelsen var så forskjellig.

På fig. 2 er et eksempel på variasjoner i sinktykkelsen vist. (Se det lyse området avmerket med pil 1 og 2)

Det ble gjort 17 tilfeldige målinger i lysmikroskop på sinktykkelsen på hver av de to snittene.



**Resultat:**

Sinktykkelsene varierer mellom tilnærmet lik 0 og opp til 60  $\mu\text{m}$  på begge snittene. De ekstreme variasjonene ble bare påvist enkelte steder på prøven. Den gjennomsnittlige tykkelsen ble målt til 39  $\mu\text{m}$  på begge prøvene. Det ble ikke funnet spor etter angrep på stålet.

**KONKLUSJON:**

Prøve 1 har ikke vært varmforsinket da det ikke er spor etter sink i prøven.

Prøve 2 har en varierende sinktykkelse på mellom tilnærmet lik 0 og opp til 60  $\mu\text{m}$ . Den gjennomsnittlige sinktykkelsen ble målt til 39  $\mu\text{m}$ .

Med hilsen

Senter for industriforskning

*Irene Furulund Sveen*

Irene Furulund Sveen

Ingeniør

Vedlegg: 2 figurer.





Fig. 1:  
 Probe 1 fotografert  
 med tilbakestrødte  
 elektroner. Forstørrelse 100x

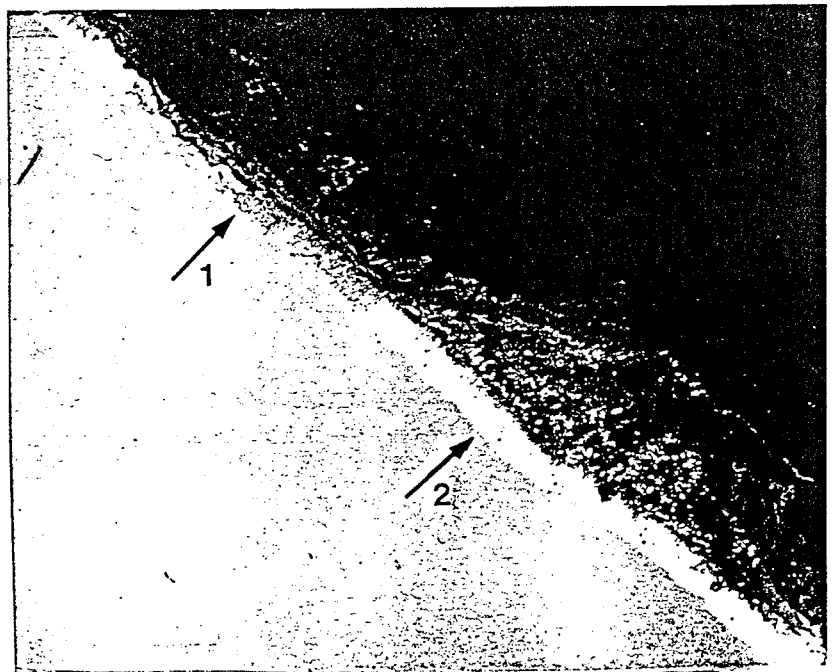


Fig 2:  
 Probe 2 fotografert med tilbake-  
 strødte elektroner. Det lyse  
 området viser at det er  
 ammonium i sinktykkelsen.  
 Forstørrelse: 100x

## Rapport

Deres ref.	Vår ref. IFU	Direkte innvalg 02-452568	Dato 18. desember 1992
Oppdragets tittel Uorganiske analyser, del 2			Oppdrag nr 115205-028

Det er tatt ut to tverrsnitt fra den varmforsinkede stålbolten:

Prøve 2a. ble tatt ut der det visuelt kunne sees korrosjonsangrep på stålbolten.  
 Prøve 2b. ble tatt ut et tilfeldig sted på bolten.

Begge snittprøvene ble støpt inn, slipt og polert for mikroskopering.

### Undersøkelse av prøve 2a:

Det ble målt tykkelse på sinkbelegget enkelte steder på prøven.

### Resultat:

Sinktykkelsen var lik 0 på store deler av prøven. På enkelte steder på prøven var det en jevn sjiktskykkelse som varierte mellom 30-40  $\mu\text{m}$  (Se fig. 1, der den lyse stripen er sinkbelegget, det mørke sjiktet er korrosjonsprodukter og det lyse området er stålet.) Andre steder på prøven var det et ujevnt korrosjonsangrep. (Se fig. 2) På fig. 2 er sjiktskykkelsen på det angitte stedet 35  $\mu\text{m}$ .

### Diskusjon:

På grunn av den ekstremt ujevne sjiktskykkelsen ble det ikke tatt en serie med målinger som tidligere.  
 Sinkbelegget er tykkere i de avrundede hjørnene på stålbolten, se fig. 3.

### Undersøkelse av prøve 2b:

Det ble gjort 22 tilfeldige tykkelsesmålinger på prøven.

### Resultat:

Den gjennomsnittlige tykkelsen ble målt til 39  $\mu\text{m}$ . Sjiktskykkelsen varierte fra 20-70  $\mu\text{m}$  i de 22 målingene og er gjengitt i følgende tabell:

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$\mu\text{m}$	30	35	37	35	40	40	37	40	40	20	35	40	35	40	40	40	70	35	45	40	40	42



**Diskusjon:**

Det var et forholdsvis jevnt sinksjikt rundt hele prøve 2b ( Se fig. 4)

**KONKLUSJON:**

På store deler av prøve 2a finnes det ikke antydning til sinkbelegg. På enkelte steder kan det observeres sinkbelegg som varierer fra tilnærmet lik 0 til 55  $\mu\text{m}$  i tykkelse.

Prøve 2b. har et jevnere sinkbelegg med en gjennomsnittlig sjikttykkelse på 39  $\mu\text{m}$ .

Med hilsen

Senter for industriforskning

*Irene Furulund Sveen*

Irene Furulund Sveen

Ingeniør

Vedlegg: 4 figurer.

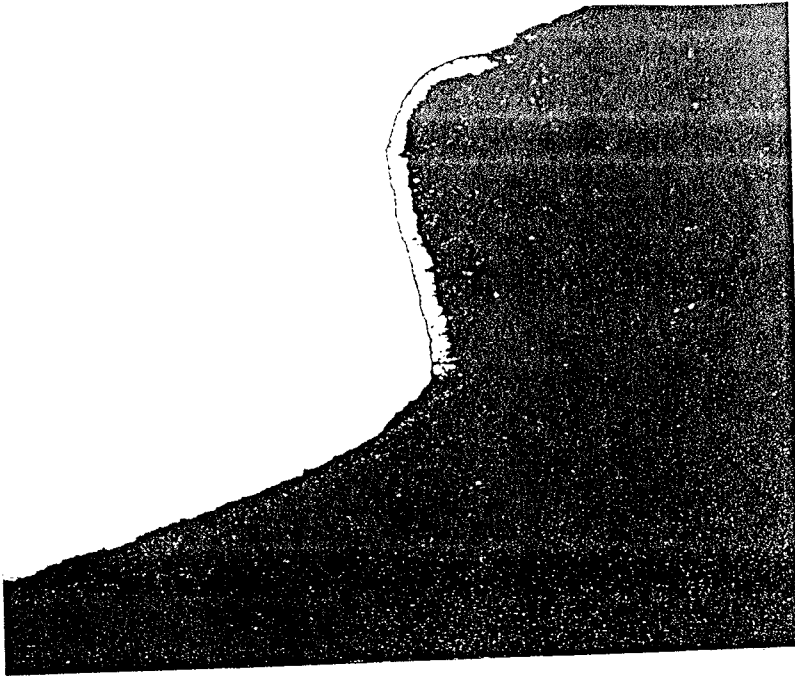


Fig. 1 :  
Prøve 2a fotografert i lysmikroskop.  
Det lyse sjiktet er sink og har en tykkelse på 30-40  $\mu\text{m}$ .  
Forstørrelse: 80 x.

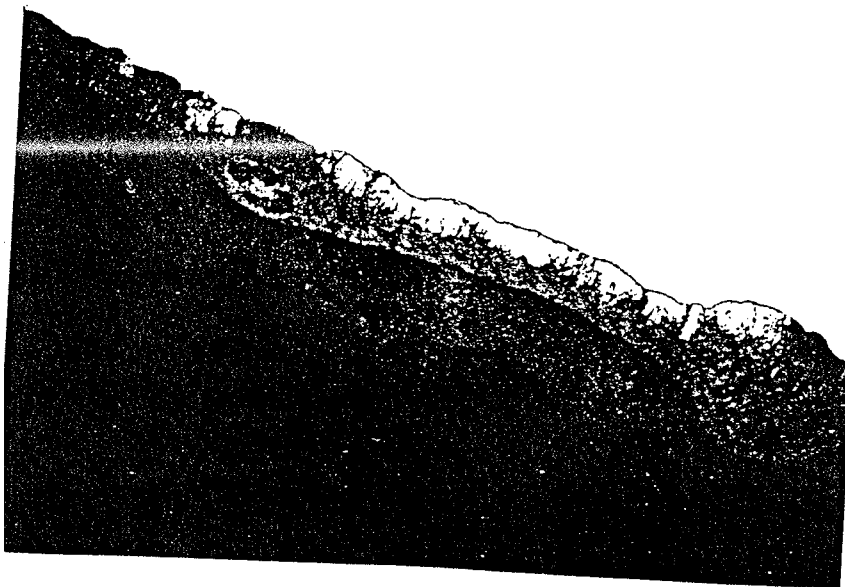


Fig. 2 :  
Prøve 2a. fotografert i lysmikroskop.  
Sinksjiktet angitt med pil er 35  $\mu\text{m}$ .  
Forstørrelse: 160 x.

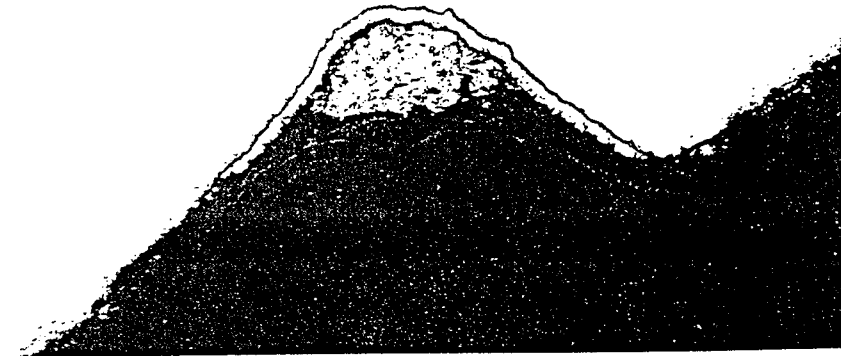


Fig.3 :  
Prøve 2a. fotografert i lysmikroskop.  
Bildet viser at sinkbelegget er tykkere i de  
avrundede hjørnene.  
Forstørrelse: 50 x.



Fig. 4 :  
Prøve 2b. fotografert i lysmikroskop.  
Forstørrelse: 200 x.

# Analyseresultater

Norsk institutt for vannforskning



Vedlegg IV  
NIVA

ANALYSEDIVISJONEN  
Postboks 333, Blindern  
Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80

Navn: Veglaboratoriet  
Adresse: Gaustadalleen 25  
Oslo 3

Oppdragsnr.: E8020-223  
Dato: 22.8.88  
Prøve tatt:  
Prøve mottatt NIVA: 5.7.88

	1	2	3				
Surhetsgrad . . . . . pH				1. Pumpebrønn, Vardt			
Konduktivitet, 25°C . . . . . mS/m				2. " Svartnes			
Fargetall, ufiltrert prøve . . . . . mg Pt/l				3. Slamprøve, pumpebrønn			
Fargetall, filtrert prøve . . . . . mg Pt/l							
Turbiditet . . . . . FTU							
Kjem. oksygenforbr. (KOF <sub>perm.</sub> ) . . . . . mg O/l							
Totalt organisk karbon . . . . . mg C/l							
Suspendert tørrstoff . . . . . mg/l							
Suspendert gløderest . . . . . mg/l							
Alkalitet (pH 4,5) . . . . . m mol/l							
Sulfat . . . . . mg SO <sub>4</sub> /l							
Klorid . . . . . mg Cl/l							
Fluorid . . . . . mg F/l							
Silisium . . . . . mg SiO <sub>2</sub> /l							
Kalsium . . . . . mg Ca/l							
Magnesium . . . . . mg Mg/l	0.33	1210	1050				
Natrium . . . . . mg Na/l							
Kalium . . . . . mg K/l							
Aluminium . . . . . mg/l Al	0.034	0.039	81.3				
Totalfosfor . . . . . µg P/l							
Ortofosfat . . . . . µg P/l							
Totalnitrogen . . . . . µg N/l							
Nitrat + nitritt . . . . . µg N/l							
Ammonium . . . . . µg N/l							
Jern . . . . . mg Fe/l	0.051	0.073	661				
Mangan . . . . . mg Mn/l	0.27	0.31	51.9				
Kobber . . . . . µg Cu/l							
Sink . . . . . µg Zn/l							
Bly . . . . . µg Pb/l							
Kadmium . . . . . µg Cd/l							

Ferskvann  
Sigvann  
—

1 mg = 1000 µg

J. Bergmann-Paulsen.

Sign.