



Korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 464



Tittel

Korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen

Undertittel

Forfatter

Karen Klemetsrud

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 464

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Alf Kveen

Godkjent av

Synnøve A. Myren

Emneord

Varige konstruksjoner, tilstandsutvikling tunnel, tunnel, rock bolt, korrosjonsutvikling

Sammendrag

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra Statens vegvesens etatsprogram Varige konstruksjoner, 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine bruer og tunneler. Rapporten omhandler et testfelt for bolt som ble etablert i Vardøtunnelen før åpning i 1982. Hensikten med feltet var å undersøke korrosjonsutviklingen til 8 testbolter over tid. I løpet av testperioden har 5 av de 8 originale boltene forsvunnet, og feltforsøket har derfor blitt sterkt redusert i forhold til det som var utgangspunktet. Av de gjenværende boltene er to varmforsinkede og pulverlakkerte kamstålbolter og en er av rustfri kvalitet. Etter 30 år eksponering i det som kan betegnes som et svært korrosivt miljø, så har de tre gjenværende boltene klart seg relativt bra og styrken til disse er antakelig i liten grad redusert. I 2013 ble testfeltet videreført med installasjon av 5 supplerende bolter.

Antall sider 12 + 3 vedlegg

Dato Mai 2016

Title

Corrosion test on rock bolts in the Vardø tunnel

Subtitle

Author

Karen Klemetsrud

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel og betong

Project number

603242

Report number

No. 464

Project manager

Synnøve A. Myren / Alf Kveen

Approved by

Synnøve A. Myren

Key words

Durable structures, tunnel, rock bolt, corrosion condition

Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D-programme Durable structures 2012-2015, carried out by the Norwegian Public Roads Administration. The purpose of the programme is to ensure that the right materials and products are used correctly in NPRAs bridges and tunnels.

A test field of rock bolts was established in the Vardø subsea tunnel prior to its opening in 1982. The purpose of this test field was to study the corrosion performance of 8 test bolts over time. The scope of this study however, has been greatly reduced because during the testing period 5 out of the 8 original rock bolts have disappeared. Of the remaining rock bolts, two are hot-dip galvanized, powder coated rebar bolts, and one is of stainless steel. After 30 years of exposure in what can be described as a highly corrosive environment, the remaining three rock bolts are in relatively good condition and their overall holding capacity are probably only slightly reduced. In 2013 the test field continued with the installation of 5 additional rock bolts.

Pages 12 + 3 appendices

Date May 2016

Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012–2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler** som ledes av Alf Kveen. Prosjektet vil skaffe kunnskap om den tekniske tilstanden på tunnelers konstruksjon og utrustning og øke kunnskapen om nedbrytningsmekanismer. Formålet med prosjektet er å utvikle bedre verktøy for tilstandsutvikling, noe som er viktig både for planlegging av drift og vedlikehold av eksisterende tunneler. Prosjektet vil også etablere kunnskap som kan bidra til at fremtidige tunneler bygges og innredes slik at ønsket kvalitet og levetid oppnås.

Rapporten er utarbeidet av Karen Klemetsrud, Statens vegvesen

Innhold

1	Innledning	2
2	Etablering av testfelt for bolt	2
2.1	Utforming av testfeltet.....	2
2.2	Utplasserte bolter	2
2.3	Miljø i testfeltet	3
3	Oppfølging av testfelt for bolt	3
3.1	Utplasserte bolter	4
3.2	Visuelle observasjoner	4
3.3	Vektreduksjon	7
3.4	Belegtykkelse.....	7
3.5	Diskusjon	9
4	Videreføring av testfelt for bolt	10
4.1	Utforming av testfeltet.....	10
4.2	Utplasserte bolter	10
5	Videre oppfølging av testfelt for bolt.....	11
6	Konklusjon	12
7	Referanser.....	12

Vedlegg

Vedlegg I Foto fra inspeksjon i 2011

Vedlegg II Dokumentasjon testbolter

Vedlegg III MANNVIT-rapport: Corrosion test in the Varötunnel, Norway (2012)

1 Innledning

Vardøtunnelen er en undersjøisk tunnel som ligger på Europaveg 75 i Finnmark. Før åpning mot slutten av 1982 ble det etablert et testfelt for bolter i en av tunnelens pumpebrønner. Hensikten med testfeltet var å undersøke korrosjonsutviklingen for åtte utplasserte bolter over tid.

Det er tidligere utarbeidet to rapporter som omhandler testfeltet; *Foreløpig rapport fra korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen* [1] fra 1993 og *Corrosion test in the Varötunnel, Norway* [2] fra 2012. Denne rapporten oppsummerer disse to rapportene og omfatter etablering og oppbygging av testfeltet og oppfølging av testfeltet som inkluderer visuelle observasjoner, veiing av bolter og måling av belegtykkelser.

Rapporten omhandler i tillegg videreføring av testfeltet, hvor det i 2013 ble plassert ut supplerende bolter.

2 Etablering av testfelt for bolt

Testfeltet er plassert i pumpebrønnen nær lavbrekket i Vardøtunnelen, og befinner seg i saltvannssonen. Nøyaktig tidspunkt for etablering av testfeltet er ikke kjent, men det antas like etter november 1981 da dette var tidspunkt for levering av tre av testboltene. Åtte bolter med ulik materialsammensetning og geometri ble plassert ut i testfeltet, som antas å være i et aggressivt miljø med lekkasjevann tilnærmet lik sjøvann.

2.1 Utforming av testfeltet

Det er boret ut åtte boltehull over høyeste vannstand i pumpebrønnen. Disse er boret ut med en svak stigning for å drenere ut eventuelt lekkasjevann. De utplasserte boltene var merket i gjengeenden og festet i boltehullene med treplugg. Det er montert en flytebrygge under feltet som kan brukes ved inspeksjon av boltene, gitt at vannstanden er lav nok. Se også bilder fra testfeltet fra 2011 i Vedlegg I.

2.2 Utplasserte bolter

Av de åtte utplasserte boltene var fire bolter av rustfritt rundstål og fire var korrosjonsbeskyttede kamstålbolter (karbonstål). Materialsammensetningene til de rustfrie bolene er gjengitt i Tabell 1, og korrosjonsbeskyttelsen til kamstålbolene er beskrevet i Tabell 2

Tabell 1 Materialsammensetning til de rustfrie testboltene

Bolt nr.	Standard benevnelse	Type	Kjemisk sammensetning (%)					
			C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
1	*	Syrefast				18	>2,5	12
2		Rustfritt	0,1	0,64	5,6	16,88	1,11	6,3
3	SIS 2324 / EN 1.4460	Sjøvannsbestandig Duplex	≤ 0,05	<1,00	<2,00	25,0-28,0	1,30-2,00	4,5-6,5
4	SIS 2343 / EN 1.4404	Syrefast	<0,030	<1,00	<2,00	16,5-18,5	2,00-2,50	10,0-13,0

* Den kjemiske sammensetningen sammenfaller med stålqualität EN 1.4404.

Tabell 2 Type korrosjonsbeskyttelse på testboltene av kamstål

Bolt nr.	Type korrosjonsbeskyttelse
5	Varmforsinket (VF) og belagt med ett strøk blank epoksy
6	VF og belagt med ett strøk grå epoksy
7	VF og belagt med to strøk epoksy
8	VF, 80 µm nominell tykkelse

De rustfrie rundstålboltene hadde en diameter på 16 mm, mens kamstålboltene hadde en diameter på 20 mm. Opprinnelig lengde antas å være 1,5 m for alle bolter med unntak av bolt nr. 1. Ut fra rapportert vekt er det sannsynlig at denne boltene kan ha hatt en lengde på over 2 m. Enkelte av boltene (mulig alle) var påmontert en syrefast mutter av ukjent stålqualität.

2.3 Miljø i testfeltet

Miljøet i testfeltet antas å være aggressivt med lekkasjevann tilnærmet lik sjøvann. Konsentrasjonen av magnesium (1,21 g/l) i en vannprøve tatt fra pumpebrønnen hvor testfeltet er plassert i 1988 støtter dette.

Under inspeksjon i 2011 ble det ikke observert rennende vann i testfeltet og den relative fuktigheten opplevdes som lavere enn hva en typisk finner bak hvelv i tunneler. Det ble videre opplyst av driftsentreprenøren at det gradvis har blitt mindre innlekkasje i tunnelen siden åpning i 1982.

3 Oppfølging av testfelt for bolt

Etter etablering har boltene i testfeltet blitt fulgt opp ved flere anledninger. Feltet ble inspisert sommeren 1988, høsten 1989, høsten 1992 og september 2011. Det er gjort visuelle observasjoner, boltene er veid og beleggykkelser er målt. For en mer detaljert beskrivelse se [1] og [2]. Merk at det er annen nummerering av boltene i vedlegg III i [1].

I perioden fra etablering og frem til 2011 har fem av åtte bolter forsvunnet av ukjent grunn. Omfanget av testfeltet har derfor blitt sterkt redusert i forhold til det som var utgangspunktet.

3.1 Ut plasserte bolter

En gang etter inspeksjonen i 1988 forsvant to bolter fra testfeltet. Dette var bolt nr. 3 og 4 som begge var av rustfritt stål. Da testfeltet ble inspisert i 2011 var ytterligere tre bolter forsvunnet. Dette var bolt nr. 1 som var av rustfritt stål og bolt nr. 7 og 8 som var kamstålbolter med hhv. varmforsinking + to strøk epoksy og kun varmforsinking. I tillegg var det en ny bolt i feltet som tilsynelatende var plassert der ved en tilfeldighet, se Figur 2 i Vedlegg I. Det kan per dags dato kun redegjøres for tre av de åtte originale boltene.

Ved etablering av testfeltet ble boltene merket i gjengeenden. Det var ikke spor av denne merkingen var i 2011. Identifikasjon av de tre gjenværende boltene er gjort på bakgrunn av visuell inspeksjon og mikroskopering av epoksybelegg [2].

3.2 Visuelle observasjoner

En oppsummering av de visuelle observasjonene fra 1988, 1992 og 2011 er gjengitt i Tabell 3. Dette er etter hhv. 7, 11 og 30 års eksponering. Figur 1 viser foto av gjenværende testbolter i 1992 og 2011.

Tabell 3 Visuelle observasjoner i 1988, 1992 og 2011

Bolt nr.		Inspeksjoner		
		1988	1992	2011
1	Rustfritt rundstål	Ingen korrosjon.	Ingen korrosjon.	-
2			Sterkt korrodert. Kraftig korrosjon på en halvdel - økende grad mot enden av boltehull. Kraftig korrosjon/groptæring i begge bolteender.	Sterkt korrodert. Tilsynelatende lite forandring fra 1992.
3		Noe korrosjon på boltestamme og i gjengepartiet.	-	-
4		Noe korrosjon i gjengepartiet.	-	-

Bolt nr.		Inspeksjoner		
		1988	1992	2011
5	Kamstål (karbonstål)	Noe korrosjon i gjengepartiet.	Kraftig korrosjon i gjengepartiet. Korrosjon på boltestamme.	I gjengepartiet er ca. 50 % av epoksyen borte og overflatekorrosjon der epoksyen mangler. På boltestammen er ca. 40 % av epoksyen intakt. I områder uten epoksy er det ca. 80 % lett rust og 20 % uten synlig korrosjon.
6		Noe korrosjon i gjengepartiet.	Kraftig korrosjon i gjengepartiet. Epoksybelegg er forholdsvis intakt.	I gjengepartiet er ca. 90 % av epoksyen borte og overflatekorrosjon der epoksyen mangler. Dette er med unntak av ett området nær mutter hvor det er vesentlig korrosjon. På boltestammen er ca. 25 % av epoksyen intakt. I områder uten epoksy er det ca. 25 % lett rust og 75 % rød til kraftig rød rust. Korrosjonen kan karakteriseres som overflatekorrosjon med unntak av to områder med groptæring, men uten betydelig materialreduksjon.
7		Noe korrosjon i gjengepartiet.	Kraftig korrosjon i gjengepartiet. Korrosjon boltestamme.	-
8		Ingen/veldig lite korrosjon.	Tykt lag korrosjonsprodukt på bolt og punktvis korrosjon på enden som har stått innerst i boltehull	-



Figur 1 Bolt nr. 1, 2 (rustfrie kvaliteter) og 5-7 (kamstålbolter) i 1992 t.v. [1], bolt nr. 2, 5 og 6 i 2011 t.h.

3.3 Vektreduksjon

Boltene ble veid før utplassering i testfeltet i 1981, i 1988 og i 2011, se Tabell 4. Det er usikkert om boltene ble rengjort før veiing i 1988. I 2011 ble boltene rengjort med høytrykksspyling som fjernet noe løs epoksy, men ikke alle korrosjonsproduktene.

I 1988, dvs. etter en testperiode på ca. 7 år, hadde den rustfrie boltene en vektreduksjon på 3 gram. Etter de neste 23 årene var vektreduksjonen på 134 gram. Den gjennomsnittlige korrosjonshastigheten endret seg dermed fra 0,4 gram per år til 5,8 gram per år. Totalt var den gjennomsnittlige korrosjonshastigheten 4,6 gram per år og gjennomsnittlig tverrsnittsreduksjon var 15,2 μm pr år.

I 1988 ble vektreduksjonen til kamstålboltene rapportert som ubetydelig. I 2011 ble kamstålboltene veid med mutter for ikke å ødelegge belegget på boltene, mens de i 1981 og 1988 er veid uten mutter. Det er derfor vanskelig å sammenligne disse vektene direkte. En tilsvarende mutter som er montert på boltene veier typisk rundt 55 gram. Ved å anta at dette er vekten på mutteren, så blir vektreduksjonen kun få gram for begge kamstålboltene.

Tabell 4 Rapporterte vektter på boltene

Beskrivelse bolt	Vekt (uten mutter) i 1981 (g)	Vekt (uten mutter) i 1988 (g)	Vekt etter rengjøring i 2011 (g)
Rustfri (nr. 2)	2431	2428	2294*
VF + blank epoksy (nr. 5)	3315	3315	3369**
VF + grå epoksy (nr. 6)	3305	3305	3356**

* uten mutter

** med mutter

3.4 Beleggtykkelse

Sinktykkelse ble målt på bolt nr. 8 (VF) i 1998 og i 1992 etter rengjøring av boltene. I 1992 ble det brukt en ammoniumkloridløsning og mekanisk rengjøring, og det er sannsynlig at korrosjonsproduktene ble forsøkt fjernet på tilsvarende måte i 1998. Sinktykkelse og total beleggtykkelse (sink og epoksy) ble målt på bolt nr. 5 og 6 (begge VF + ett lag epoksy) i 2011. Boltene ble rengjort i forkant, se kap. 3.3.

De målte beleggtykkelsene for bolt nr. 8 er oppsummert i Tabell 5. Nominell sinktykkelse for boltene var 80 μm .

Tabell 5 Målte sinktykkelser for bolt nr. 8 etter ca. 8 og 11 års eksponering

	1989*	1992*	1992**
Gj.snitt (μm)	≈ 30	30	39
Min. (μm)	25	8	0
Maks (μm)	35	42	70

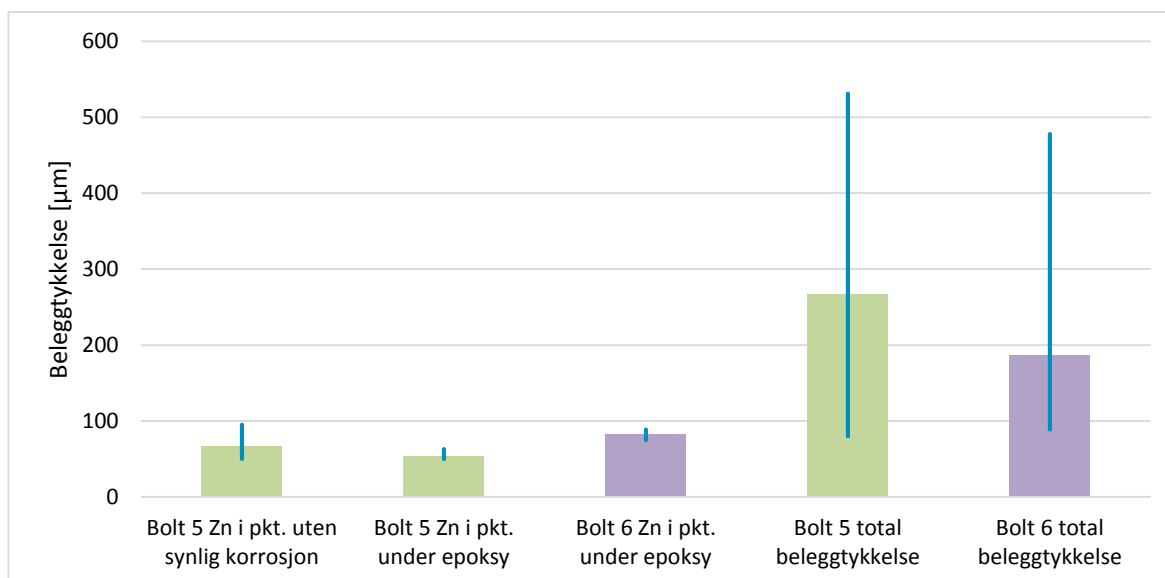
* målt med Delta-scope

** mikroskopi i tre snitt uten synlig korrosjon

Resultatene fra tykkelsesmåling med Delta-scope i 1992 er fra ni målepunkter fordelt tilfeldig på boltens lengde. Det ble samme år også utført mikroskopi på en avkappet bolteende i fire sjikt, der resultatene for tre av sjiktene er gjengitt i Tabell 5. Det fjerde sjiktet ble tatt ut i et området der korrosjonsangrep kunne observeres visuelt. Her var det ingen antydning til sinkbelegg på store deler av prøven. Der det var sink, varierte tykkelsen fra tilnærmet 0 til 55 μm .

Målte beleggetykkelser for boltestammene til bolt nr. 5 og 6 er angitt i Figur 2. Sinktykkelsen er målt i punkter der løs epoksy ble fjernet og for bolt 5 ble sinktykkelsen også målt i områder uten synlig korrosjon. Dette ble ikke gjort for bolt 6 da den ikke hadde områder uten synlig korrosjon. Total beleggetykkelse er målt systematisk langs hele boltestammen. Det er ingen målinger av beleggetykkelse fra boltenes gjengepartier.

Søylene i figuren angir gjennomsnittlig tykkelse, mens linjene gir spredningen.



	Bolt nr. 5				Bolt nr. 6			
	Antall pkt.	Min (μm)	Maks (μm)	Gj.snitt (μm)	Antall pkt.	Min (μm)	Maks (μm)	Gj.snitt (μm)
Sinktykkelse* (i punkter uten synlig korrosjon)	10	50	95	67				
Sinktykkelse* (epoksy fjernet)	3	50	63	54	2	75	89	82
Total tykkelse* (sink + epoksy)	33	80	531	267	24	89	478	187

* målt med Elcometer 355

Figur 2 Målte beleggetykkelser på bolt nr. 5 (VF+1 strøk blank epoksy) og 6 (VF+1 strøk grå epoksy) etter 30 års eksponering

I tillegg til resultatene gjengitt i Figur 2 ble det i 2011 målt sinktykkelse i områder med synlig korrosjon og tykkelse på avflassede epoksyflak. Det er knyttet stor usikkerhet til disse resultatene og de er derfor ikke gjengitt her.

3.5 Diskusjon

Omfanget av dette feltforsøket har blitt sterkt redusert i og med at fem av de åtte originale boltene har forsvunnet. Grunnen til forsvinningene forblir et mysterium, men ut fra korrosjonsforløpet til de gjenværende boltene er det liten grunn til å tro at boltene er korrodert helt bort.

Av de rustfrie boltene er det kun én igjen, bolt nr. 2. Det er ingen visuell beskrivelse av bolten før etter 11 år, men da er den beskrevet som sterkt korrodert og det ser man også fra foto (Figur 1). Denne bolten var den første i testfeltet som viste en reduksjon i vekt. Ut fra rapportert vekt ser man en voldsom endring i korrosjonshastigheten fra de første syv årene til de neste 23 årene. Fra 0,4 gram per år til nesten 6 gram per år. Det er mulig at bolten ikke ble tilstrekkelig rengjort før veiing i 1988 og at den reelle vektreduksjonen var større de første 7 årene. Visuelt ser boltene veldig like ut i 1992 som i 2011, noe som kan tyde på at det har vært lite korrosjon de siste 19 årene.

Alle testboltene av kamstål er fra samme leverandør, så det er nærliggende å tro at de i utgangspunktet hadde relativt lik kvalitet og tykkelse på varmforsinkingen. Nominell tykkelse for bolten som kun var varmforsinket (nr. 8) var 80 µm, men hva faktisk tykkelse var i utgangspunktet er usikkert.

For den varmforsinkede bolten (nr. 8) ble det etter ca. 11 års eksponering funnet punkter der sinken er korrodert helt bort og undersøkelse av områder uten synlig korrosjon viser en gjennomsnittstykkelse på rundt 30–40 µm. Dette tyder på at bolten er eksponert for svært korrosivt miljø. Bolten forsvant en gang etter 1992, så vi vet ikke hvordan den videre utviklingen har vært.

To av de gjenværende boltene er kamstålbolter som er varmforsinket og belagt med epoksy. Etter syv års eksponering er det rapportert korrosjon i gjengepartiene og etter 11 år også på boltestammene. Boltene har ulik farge og tykkelse på epoksyen. Bolten med den tykkeste epoksyen (nr. 5) har etter 30 års eksponering nesten dobbelt så mye intakt pulverlakk og vesentlig mindre korrosjon i forhold til bolt nr. 6. Det kan se ut som at bolt nr. 5 har mindre sink i områder uten synlig korrosjon, men det for få målinger til å kunne trekke noen konklusjon. I områder med synlig korrosjon er sinken antakelig korrodert helt bort i partier. Det er tendens til påbegynt groptæring på bolt nr. 6, men ellers kan korrosjonen karakteriseres som overflatekorrosjon. Vekttapet, og dermed tap av gods, har vært minimalt for begge boltene.

Ut fra tykkelsesmålinger på sinken ser man at boltene som er varmforsinket og belagt med epoksy høyst sannsynlig får forlenget levetid i forhold til bolten som kun var varmforsinket. Tykkelsen på epoksyen synes å spille inn på korrosjonsbeskyttelsen. Av de to epoksy-beleggene er det det tykkeste laget som har hatt lengst levetid, og det har dermed beskyttet bolten bedre.

4 Videreføring av testfelt for bolt

I mai 2013 ble de tre gjenværende originale boltene og fem nye bolter plassert ut i testfeltet. De originale boltene hadde dermed hatt ett opphold fra eksponering på ca. 1 ½ år. En sammenstilling av boltene er gjengitt i Tabell 7. Utforming av testfeltet er som ved første etablering, med unntak av merking av bolter som nå er utført med plastskiver.

4.1 Utforming av testfeltet

Det er ikke gjort noen endringer i pumpebrønnen mht. boring av bolthull e.l. i forbindelse med utplassering av nye bolter. Boltene er festet i boltehullene på tilsvarende måte som ved etablering av feltet, med treplugger. Dette gjør boltene lett tilgjengelige for inspeksjon, men med tid vil pluggene forsvinne og det er derfor viktig at feltet følges opp med jevne mellomrom. Merking av boltene er gjort ved hjelp av påstripsede plastskiver hvor boltenummer er hullet ut. Disse antas å ha lengre levetid enn boltene.

Plassering av boltene er i henhold til Tabell 6 hvor boltehull nr. 1 er lengst bort fra inngang til pumpebrønn og boltehull nr. 8 er nærmest. De tre originale boltene er plassert ut i samme boltehull som de ble funnet i i 2011. De nye boltene, som er beskrevet i kap. 4.2, er plassert ut tilfeldig.

Tabell 6 Plassering av bolter i testfeltet

Boltenr.	2	5	6	9	10	11	12	13
Boltehull	5	4	1	2	3	6	7	8

4.2 Utplasserte bolter

Av de åtte utplasserte boltene er to bolter av rustfritt stål og seks er kamstålbolter av karbonstål. Én rustfri bolt og to kamstålbolter er av de originale boltene og de er beskrevet i kap. 2.2.

Den nye rustfrie boltene er en gjengestang av syrefast kvalitet av typen EN 1.4404 (AISI 316L). Dette materialet er ikke regnet som sjøvannsbestandig og er ikke anbefalt brukt i under-sjøiske tunneler [3]. Stålkvaliteter blir først regnet som sjøvannsbestandige med en PRE-faktor (Pitting Ristance equivalent) på 40 eller mer. Stålet i denne boltene har en PRE-faktor på 31.

De fire nye kamstålboltene er alle av B500NC etter NS 3576 [4] og har følgende korrosjonsbeskyttelse:

- Ubehandlet karbonstål
- Varmforsinket (VF) iht. NS-EN ISO 1461 [5]. Spesifisert tykkelse på sinklaget er 65 µm. Faktisk tykkelsen er ikke målt. Bolteenden er kappet og påført kald sink.
- Varmforsinket som i punktet over og pulverlakkert med epoksy iht. NS-EN 13438 [6]. Spesifisert tykkelse på epoksyen er 60 µm og 90 µm. Faktiske tykkelser er ikke målt.

Gjengestangen og gjengepartiene på kamstålboltene uten korrosjonsbeskyttelse er dekket med olje. Det opplyses fra leverandør at dette antakelig er skjæreolje brukt under produksjon. Utførelsen av pulverlakken på testboltene synes generelt å ikke være spesielt god. Det var urenheter og porer i lakken og etter normal håndtering ble det observert ripeskader i belegget. Dette er på en side uheldig, men samtidig antakelig representativt for mye av boltene som brukes i Statens vegvesen sine anlegg.

Alle de nye boltene har en diameter på 20 mm og en lengde på 1,5 m. Se Vedlegg II for tilhørende dokumentasjon til de fem nye boltene. Tabell 7 gir en sammenstillingen uplasserte testbolter i 2013.

Tabell 7 Utplasserte bolter i testfelt i 2013

Bolt nr.	Overflate-geometri	Stålkvalitet	Korrosjonsbeskyttelse	Merknad
2	Rundstål	Rustfritt stål		Original bolt
5	Kamstål	Karbonstål	VF+1 strøk blank epoksy	Original bolt
6			VF+1 strøk grå epoksy	Original bolt
9	Gjenge-stang	EN 1.14404 (AISI 316L)		
10	Kamstål	Svartstål, iht. NS 3576-3	Ubehandlet	
11			VF	
12			VF+60 µm epoksy	
13			VF+90 µm epoksy	

5 Videre oppfølging av testfelt for bolt

Videre oppfølging av testfeltet kan bestå i tilsvarende undersøkelser som tidligere er utført; visuell inspeksjon, måling av beleggykkelser og eventuelt veiing. Det ble i 2013 etablert et tilsvarende testfelt for bolter i Oslofjordtunnelen, se Statens vegvesen rapport nr. 466 [7]. Dette feltet inkluderer paralleller til alle de nye boltene i Vardøtunnelen. Det vil derfor være naturlig å utføre tilsvarende oppfølging av dette feltet og sammenligne boltene med hverandre.

For å verifisere den kjemiske sammensetningen på den originale rustfrie boltene, kan det utføres en kjemisk analyse av materialet. Når man har mer informasjon om den kjemiske sammensetningen er det mulig å beregne stålets PRE-faktor (Pitting Ristance equivalent). Denne faktoren sier noe om hvor korrosjonsbestandig materialet er.

Klassifisering av miljøet boltene er utsatt for kan gjøres iht. NS-EN ISO 12944 [8] og NS-EN ISO 9226 [9]. Korrosjonskategori bestemmes ut fra vekttap på standard prøvestykker (kuponger) som er eksponert i ett år. Dette blir spesielt interessant hvis tilsvarende målinger blir gjort i flere tunneler.

6 Konklusjon

Hensikten med testfeltet var å undersøke korrosjonsutviklingen for de utplasserte boltene over tid. Etter 30 års eksponering i det som kan betegnes som et svært korrosivt miljø, så har de tre gjenværende originale boltene klart seg relativt bra og styrken til disse boltene er antakelig i liten grad redusert.

Epoksybelegget til kamstålboltene har nå liten beskyttende effekt igjen og sinken har begynt å korrodere bort. Det er også en tendens til påbegynt groptæring på en av boltene. Den rustfrie bolten har opplevd et vesentlig materialtap, men det meste av korrosjonen synes å ha tatt sted de første 11 årene. Boltene vil antakelig beholde sin funksjon i lang tid, men hvor lenge er vanskelig å si med sikkerhet.

7 Referanser

- 1) Pedersen, K. B.: [Foreløpig rapport fra korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen. Intern rapport 1608, Statens vegvesen](#), 1993
- 2) Einarsson, Á og Guðmundsson G.: Corrosion test in the Varötunnel, Norway. Mannvit rapport MV 2012–13. Mannvit, Reykjavík, Island, 2012. Ligger som Vedlegg III i denne rapporten.
- 3) Knudsen, O. Ø.: [Korrosjonsbeskyttelse i tunneler. SINTEF rapport A27011 \(Statens vegvesen rapport nr. 410\)](#), 2015
- 4) NS 3576–3 (2012): Armeringsstål – Mål og egenskaper – Del 3: Kamstål B500NC
- 5) NS–EN ISO 1461 (2009): Varmforsinkede belegg på fabrikkerte jern- og stålprodukter – Spesifikasjoner og prøvingsmetoder
- 6) NS–EN 13438 (2006): Maling og lakk – Organisk pulverbelegg for galvaniserte og sherardiserte stålprodukter for konstruksjonsformål
- 7) Klemetsrud, K: Korrosjonsforsøk på bolter i Oslofjordtunnelen, Statens vegvesen rapport nr. 466, 2016.
- 8) NS–EN ISO 12944 (1998) Maling og lakk – Korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner med beskyttende malingsystemer – Del 1: Generell introduksjon
- 9) NS–EN ISO 9226 Korrosjon av metaller og legeringer – Atmosfærisk korrosivitet – Bestemmelse av korrosjonshastighet til standardprøve for vurdering av korrosivitet

Vedlegg I Foto fra inspeksjon i 2011



Figur 1 Boltehull nr. 1 (lengst fra inngang pumpebrønn) med bolt nr. 6 (kamstål) og boltehull nr. 2 og 3 som er tomme



Figur 2 Boltehull nr. 4 med bolt nr. 5 (kamstål), boltehull nr. 5 med bolt nr. 2 (rustfri) og boltehull nr. 6 med «ny» ukjent bolt som ikke tilhører testfeltet.



Figur 3 Kamstålbolt, nr. 6 (i boltehull nr. 1)



Figur 4 Kamstålbolt, nr. 5 (i boltehull nr. 4)



Figur 5 Rustfri bolt, nr. 2 (i boltehull nr. 5)

Vedlegg II Dokumentasjon testbolter

Bolt nr.	Overflate	Stålkvalitet	Dimensjon [mm]	Dokumentasjon
2	Se Intern rapport 1608 [1]			
5				
6				
9	Gjengestang iht. DIN 976	EN 1.14404 (AISI 316L)	ø20x 1500	<ul style="list-style-type: none"> • 3.1-sertifikat utstedt av Eure Inox
10	Kamstål iht. B500NC	B500NC	ø20x 1500	<ul style="list-style-type: none"> • Utforming med utgangspunkt i tegning PTC-167 • Produktdatablad for kamstålbolt • Generelt 3.1-sertifikat utstedt av Zhejiang Pretec Metal Products Co.
11	Kamstål iht. B500NC	B500NC, Varm-forsinket	ø20x 1500	<ul style="list-style-type: none"> • Utforming med utgangspunkt i tegning PTC-117 • Produktdatablad for kamstålbolt • Generelt 3.1-sertifikat utstedt av Zhejiang Pretec Metal Products Co.
12	Kamstål iht. B500NC	B500NC Varm-forsinket + dupleks-belegg	ø20x 1500	<ul style="list-style-type: none"> • Utforming med utgangspunkt i tegning PTC-117 • Produktdatablad for kamstålbolt. • Generelt 3.1-sertifikat utstedt av Zhejiang Pretec Metal Products Co. • Produktdatablad for Pc-coat
13	Kamstål iht. B500NC	B500NC Varm-forsinket + tykt dupleks-belegg	ø20x 1500	<ul style="list-style-type: none"> • Utforming med utgangspunkt i tegning PTC-117 • Produktdatablad for kamstålbolt. • Generelt 3.1-sertifikat utstedt av Zhejiang Pretec Metal Products Co. • Produktdatablad for Pc-coat



Eure Inox

Eure Inox s.r.l.
 Via L. Da Vinci, 2/4 • 20068 Peschiera Borromeo (MI)
 tel. +39.02.55305606 ra. • fax +39.02.55305240
 info@eureinox.it • www.eureinox.it
 c.f./piva IT12193360158 • c.ciaa 1539337
 trib. Milano 268339/1997 • cap. sociale € 1.000.000,00

N.ro Certificato Inspection Certificate Number	2011/10311	Data Date	1.12.2011
Ddt N.ro Delivery Note	2011/05691	Data Date	1.12.2011
Cliente Customer	INOX A/S		

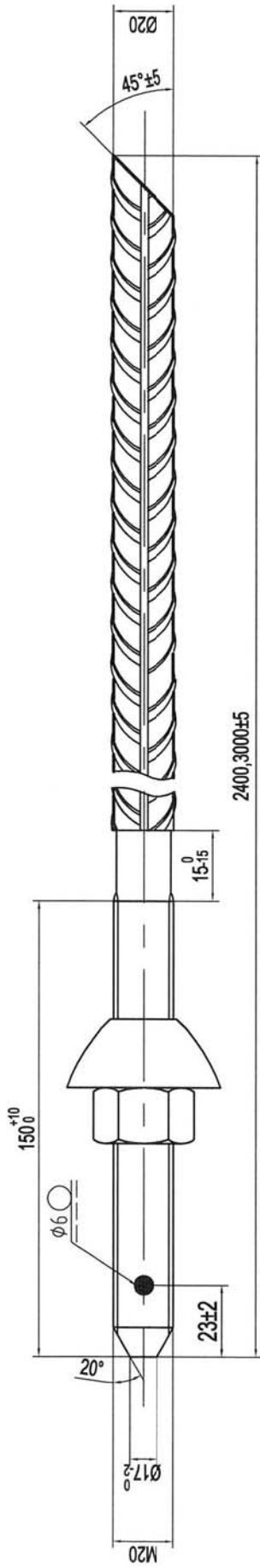
Materiale Material	X 2 CENIMO 17 12 ACCIAIO INOX 4404 AISI 316L Lavorabilità migliorata Eure+	N.ro Ordine Order Number	2011/06229	Vs Riferimento Customer Reference	INO4789-1	Data Date	29.11.2011
Prodotto Product	cold drawn annealed in bars da mm. 6000	Dimensioni Dimensions	Fondo 18.30	Tolleranza Tolerance	h9	Certificate According to EN10204-3.1 / The chemical analysis results are true and correct copy of the raw material supplier's certificate	

Peso Weight	715 765	Osservazioni Observation	
-----------------------	------------	------------------------------------	--

Data: 22.12.2011
 Iniziale: SLG
 RH
 AV
 17
 KVAL
 BATCH

Composizione Chimica % / Chemical Composition		C	P	S	SI	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	N	Cu	Nb
Colata Cast N°		0,0150	0,0270	0,0300	0,3510	1,4171	17,2630	10,6480	2,0150	0,0040	0,0450	0,0730	
Z11N1													
Valori Richiesti Required Values		0,0300	0,0450	0,0300	1,0000	2,0000	16,0000 18,5000	10,0000 13,0000	2,0000 2,5000		0,1100		

Caratteristiche Meccaniche / Mechanical Properties		Rm N/mm2	RP 0,2 N/mm2	RP 1,0 N/mm2	Z	A5%	HB
Colata Cast N°		722	508	698		36	
Z11N1							
Valori Richiesti Required Values		> 700	> 450	> 640			



Material B500NC acc. To NS 3576-3:2009 (English edition)

Rebar bolt M20:

Thread acc. to DIN 267 Teil 10

Inner diameter: 16.715 (16.89-16.54)

Middle diameter: 18.245 (18.33 - 18.16)

Outer diameter: 19.775 (19.95 - 19.60)

Nut: M20 DIN 934-8, Plain


Halfball Compact: M20 acc.to PTC-124-1, Plain

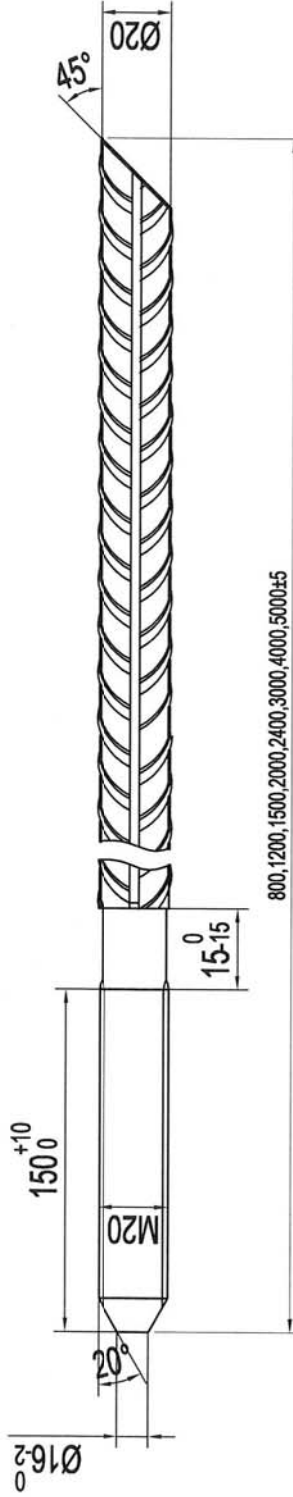
Lock welding: The 20 mm bolts are made with a welded spot on the thread, 20 mm from the end of the bolt. The height of the welded spot must be at least 2 mm and the length 6 mm. This spot is used as a locker for the nut when the bolt is rotated (counterclockwise) to mix the resin grout.

The nut and half ball must be mounted on the bolt before welding.

Lock welding option: "Pressing".

Free thread length 20mm used for screwing on M20 DIN 582.

Version	2					Part:	Rock support M20
Mark	Edit	Amendment	Name	Date		Material:	B500NC
Drawn:	S J		Weight:			Drawing No:	PTC-167
Inspected:	EAK		Scale:	1/1		Pretec China Tel: 0086 573 87878119 Fax: 0086 573 87878229 www.chinapretec.com	
Released:	Feb.28.2012		Page:	1/1			



Material B500NC acc. To NS 3576-3:2009 (English edition)

Rebar bolt M20, Undersized:

Inner diameter: 16.233 (16.058-16.408)

Middle diameter: 17.766 (17.681 - 17.851)

Outer diameter: 19.170 (19.000 - 19.330)

Nut: M20 +2/10 H=20mm ISO 4032-8 Pc-Coat

Execution: Pc-Coat

HDG minimum medium thickness 65my acc. To EN ISO 1461 - After HDG: ISO M

Epoxy powder coating, minimum medium thickness 55my acc. To NS EN 13438, Color grey RAL 7038

No spray or painting is permitted for repairing HDG surface.

Specified chamfering is valid and done before roll threading.

Straightness tolerances:

Length: 800: 5, Length: 1200/1500: 6, Length: 2000/2400/3000: 7, Length: 4000/5000: 8.

Version	2					Part:	M20 Rebar Bolt
Mark	Edit	Amendment	Name	Date		Material:	PTC-117
Drawn:	S J		Weight:			Drawing No:	
Inspected:	EAK		Scale:	1/1			
Released:	Jun.20.2012		Page:	1/1			



Pretec China
Tel: 0086 573 87878119
Fax: 0086 573 87878229
www.chinapretec.com

Kamstålbolt Ø20/M20 / Sikringsbolt



Bolt for fjellsikring. Boltene er skråkappet i enden for bedre blanding av polyestere. Benyttes også som fullt innstøpt. Bolten kan benyttes både som permanent- og arbeids-sikring i vegtunneler. Boltene leveres med stor fas på gjenge enden.

Lagerprogram:

M20x1500	M20x4000
M20x2000	M20x5000
M20x2400	M20x6000
M20x3000	

Teknisk informasjon:

Bolt: Kamstålbolt Ø20 B500NC, iht. NS 3576-3:2009

Gjengelengde: 150 mm (gjengene er kaldvalset)

Boltende skråkappet 45°

Vekt: 2,47 kg/m

Spesifikasjoner:

Ref. tegn. PTC-117

Gjenge i.h.t. ISO 898

Dimensjon	Spenningsareal mm ² , A _s gjenge: stamme:		Flyt, Rp 0,2 N/mm ² Min.	Brudd, Rm N/mm ² f _u	Duktilitet, Agt % Min.
M20x2,5	245	314	500	600-650	8

Ved maskinering i tempcore materiale så må det beregnes 20% reduksjon i flytlast ved strekkbelastning.

Bruddlast gjenge $f_{sd} = 0,8 \times R_{p0,2} / \gamma_{M2} \times A_s \times 10^{-3} = 0,8 \times 500 / 1,15 \times 245 \times 10^{-3} = 85 \text{ kN}$

Bruddlast stamme $f_{sd} = R_{p0,2} / \gamma_{M2} \times A_s \times 10^{-3} = 500 / 1,15 \times 314 \times 10^{-3} = 137 \text{ kN}$

Mutter: M20 +2/10, h=20 i.h.t. ISO 4032-8, Pc-Coat

Tiltreknings moment

Forspenning 50kN : 180-200Nm

Korrosjonsbeskyttelse / Pc-Coat

Varmforzinket i.h.t. NS-EN-ISO 1461, midlere belegg tykkelse min. 65 µm.

Gjenge etter varmforsinking: ISO M fitting

Epoxy pulverlakk i.h.t NS-EN 13438 min. 55 µm. Farge cement grå, RAL 7038

For detalj informasjon om Pc-Coat, se produktdatablad for Pc-Coat og tilhørende FDV dokumentasjon

Passende polyester patroner

Ø23x400, Ø28x370

Se eget produktdatablad for bruk av polyester.

Borhull

Anbefalt borehull: 27mm - 34mm ved bruk av polyester.

Tilbehør

Sfærisk skiver Ø150, Ø200, trekantplate 400x500, halvkule og mutter. Alt i Pc-Coat.

INSPECTION CERTIFICATE

In accordance with En 10 204: 3.1



Customer: **PRETEC AS**

Purchasing order No: **EX2012056/110996**

Pallet No: **21-24**

Invoice No: **H20120514**

Invoice Quantity: **1200pcs**

Part Name: **M20 rebar bolt L=1500**

Material: **B500NC acc.to NS 3576-3:2009/HRB 500**

Finishing: **Pc-coat**

Article No: **1783201503**

Drawing NO: **PTC-117 of Jun.29.2011**

No. 1-1, Danmei Rd,
Zhejiang Pro. - China
www.chinapretec.com

Certificate No: **11766**

Date: **2012-05-24**

Chemical composition analysis for material/ %,ref certificate from mill:YX2011-03-0004-01

Batch No.	11Y3-02434	C	0.24	Si	0.65	Mn	1.70	P	0.055	S	0.055	CEV	0.52
Requirements	Max	0.24	0.65	1.70	0.055	0.055	0.52						
	Min	/	/	/	/	/	/						
Test Report	/	0.22	0.54	1.4	0.017	0.026	0.48						

Mechanical Tests for Material,ref certificate from mill:YX2011-03-0004-01

Batch No.	11Y3-02434	Yield Rp0.2(MPa)	500	Tensile Rm(MPa)	600	Agt %	8
Requirements	Min	500	600	8			
	Max	650	/	/			
Average	/	555	700	9.78			

Inspection of mechanical properties:

DIM.	Yield Strength Rp0.2 (MPa)	Tensile Strength Rm (MPa)
Standard	500-650	≥600
1	582	695
2	530	645

Tension area for thread: **245mm²**

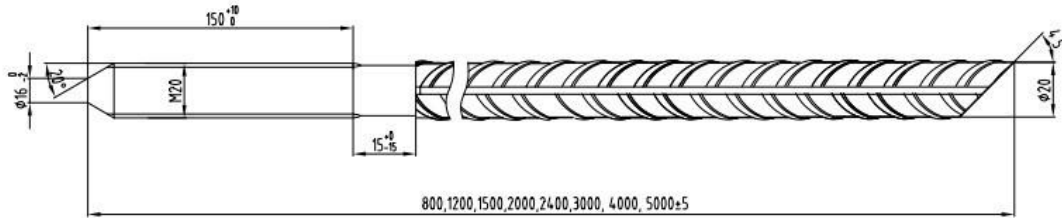
Zhejiang Pretec Metal Products Co., Ltd.

TEL: +86-573-87878119/80700633 FAX: +86-573-87878229

Inspection of execution:

DIM.	Middle Dia	Length	Straightness	Thread L	Chamfering	HDG Thickness	Epoxy Coating Thickness
Spec/mm	17.681-17.851	L=1500±5	6	150 +10/-0	Ø14+0/-2	≥65my	≥55my
1	17.79	1500	5	154	13.1	68	56
2	17.80	1501	6	154	13.2	78	72
3	17.81	1501	5	155	13.4	81	60
4	17.82	1502	4	156	13.5	82	86
5	17.83	1503	6	156	13.3	75	75

- General appearance: approved not approved
 Inspected 45°cut: approved not approved
 HDG according to ISO 1461: approved not approved
 Epoxy powder coating according to NS EN 13438 RAL 7038:
 approved not approved

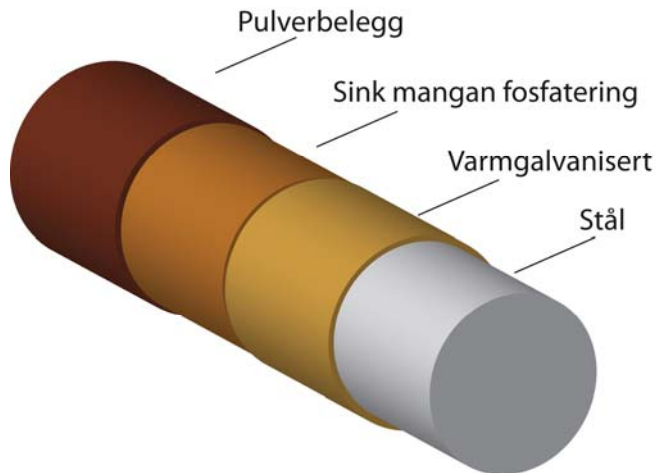


- After surface treatment,easy mounting of gauge/nut +3/10:
 approved not approved

All the data on the above form is real and valid.
 Conclusion : Yes No

Works inspector:Elaine Hu
Checked by:
Date:2012-05-24

Produktdatablad



Pc-coat

(stål, varmforsinkning, sink & mangan fosfat, epoxy eller polyester pulverlakk)

Beskrivelse

Pc-coat er Pretec Group sitt Trademark navn på dette Duplex systemet som er en kombinasjon av varmforsinkning og pulverlakkering. Kombinasjonen er av de mest optimale konsepter for beskyttelse og slitasje av utendørs produkter. Holdbarheten er unik og gir produktene en meget lang levetid.

Program

Pulver lakken kan leveres i polyester for utendørs bruk eller epoxy for innendørs bruk. Fargeutvalget er enormt og leveres normalt etter RAL eller NCS koder.

Teknisk informasjon

Varmforsinkningen utføres etter EN ISO 1461 eller spesifiserte krav.

Sink & Mangan fosfateringen er den mest optimale fosfaten for lengst levetid av utendørs produkter, kombinert med underlag som varmsink og etterfulgt av pulverlakk.

Holdbarheten er den beste og kan etterleve standarder som NS-EN 13438.

Kvalitet

Hele prosessen, fra inngangs kontroll på stål til varmsink og mekanisk arbeid, kjemiprosess etter fulgt av pulverlakk blir nøye fulgt av vårt kvalitets team og tester utføres på eget laboratorium.

Bedriften er sertifisert etter ISO 9001:2008

Pretec AS
Sarpsborg
Foretaksnummer
NO 980 429 245

Postadresse:
Postal address:
Postboks 102
N-1740 Borgenhaugen

Forretningsadresse:
Office/warehouse adress:
Jellestadveien 35
N-1739 Borgenhaugen

Telefon:
Phone:
(+47) 69102460
E-mail: post@pretec.no

Fax:
(+47) 69167141
Web: www.pretec.no

**Vedlegg III MANNVIT-rapport: Corrosion test in the Varötunnel, Norway
(2012)**



MANNVIT

Corrosion test in the Vardötunnel, Norway

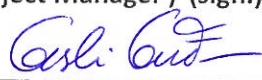
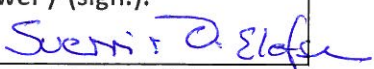
Norwegian Public Roads Administration

Avrop 8

Final

21.05 April 2012

KEY PAGE

Report no: MV 2012-13	Revision no: 2	Date: 21.05.2012	Project Number: 7-920-216
Title / Main- and subtitle: Corrosion test in the Vardötunnel, Norway		Number printed: 1	
		Number of pages: 31	
Author / s: Ásbjörn Einarsson, chemical engineer, M.Sc., Ph.D. Gísli Guðmundsson, geochemist, M.Sc., Ph.D.		Project Manager / (sign.): GG 	
		Reviewer / (sign.): SvÓE 	
Client: Statens vegvesen Vegdirektorate, Norway		Client's contact: Karen Klemestrud	
Co-workers: None			
Abstract: <p>Stainless steel bolt nr. 2 shows severe corrosion but most of the corrosion appears to have occurred before the 1992/93 inspection. The environmental conditions, therefore, appear to have been less severe from 1993. It would be interesting to test more corrosion resistant stainless steel bolts in the presence of sea water, such as 254SMO (EN 1,4547 - 20% Cr, 18% Ni, 6,1% Mo) or other types with a similar corrosion resistance.</p> <p>The clear epoxy coating on bolt nr. 5 appears to have been applied in one very thick layer. The average thickness of the coating is about 270 microns which corresponds more to a normally applied two or three layers coating. The variation in the thickness of the epoxy coating ranges from about 80 microns up to almost 1 mm, therefore the coating has been applied very unevenly to the bar. It is common to see the coating flaking of the bolt and it seems that the adhesion of the epoxy coating has been drastically reduced.</p> <p>The galvanized coating under the clear epoxy in non-corroded areas is on the average about 70 microns thick. This is a normal thickness for this type of a bolt and corresponds to the estimate of the original thickness in "Intern rapport nr. 1608". The thickness of the galvanized coating in the corroded areas is generally about the same as in the non-corroded areas for bolt nr. 5. This underlines that fact that the present degree of corrosion is just superficial on this bolt.</p> <p>The gray epoxy coating on bolt nr. 6 is about 100 microns thick on the average and the galvanized coating is about 80 microns thick. This film thickness of the epoxy can be considered normal for a single layer coating and the galvanizing corresponds to the original thickness. In the corroded areas the galvanized coating is down to about 11 microns or less. It has disappeared completely in isolated spots. Bolt nr. 6 shows somewhat more intense surface corrosion than the bolt nr. 5 as can be expected considering the difference in the thickness of the epoxy film. On the other hand, the reduction in adhesion seems to be somewhat greater for the thicker coating on bolt nr. 5.</p>			
Keywords: Tunnels, corrosion test, galvanizing, epoxy coating, stainless steel.			

Distribution:

Open for all employees No distribution without client's permission**Document history:**

2	21.05.2012	Final	ÁE, GG	SvÓE
1	26.04.2012	Final	ÁE, GG	SvÓE
Rev. no.	Date	Changes	Author	Reviewer

Table of contents

Introduction	1
Original identification number of bolts	1
<i>Stainless steel bolt</i>	1
<i>Epoxy coated bolts</i>	1
Description of the bolts before cleaning	2
<i>Bolt nr. 2 Stainless steel</i>	2
<i>Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy</i>	3
<i>Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of gray epoxy</i>	3
Cleaning with up to 130 bar water jet.....	3
Description and measurements on the bolts after cleaning	4
<i>Bolt nr. 2 Stainless Steel</i>	4
<i>Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy</i>	5
<i>Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of clear epoxy</i>	9
Comparison with Report 1608	12
<i>Bolt nr. 2 Stainless Steel</i>	12
<i>Bolts nr. 5 and 6</i>	12
Conclusions	13
Appendix A – Description of bolts.....	14
Appendix B - Photos of bolts.....	20
Appendix C – Elcometer 355 data sheet.....	30

List of figures

Figure 1. Stainless steel bolt. The pointed corroded end.....	2
Figure 2. Stainless steel bolt. The hollow corroded end.....	3
Figure 3. Bolt nr. 5. Photomicrograph of the epoxy coating. The black dots mark the outer surface of the clear epoxy coating and the red dots mark the epoxy coating/steel bar interface.	9
Figure 4. Bolt nr. 5. Identification mark.	9
Figure 5. Bolt nr. 6. Surface corrosion and pitting.....	10
Figure 6. Bolt nr. 6. Identification marks.	12
Figure 7. Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy before cleaning.....	20
Figure 8. Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of gray epoxy before cleaning.....	20
Figure 9. Bolt nr. 2 Stainless steel bolt after cleaning.	21
Figure 10. Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy after cleaning.....	25
Figure 11. Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of gray epoxy after cleaning.	29

List of tables

Table 1. Weight of bolts, g	4
Table 2. Bolt nr. 5. Clear epoxy. Combined thickness of paint and galvanized coatings in non-corroded areas, micrometers.	6
Table 3. Bolt nr. 5. Combined thickness of coatings and thickness of galvanized coatings in non-corroded areas, micrometers.	7
Table 4. Bolt nr. 5. Thickness of galvanized coatings, micrometers.....	7
Table 5. Bolt nr. 5. Thickness of peeled off epoxy painting, micrometers.	8
Table 6. Bolt nr. 6. Gray epoxy. Combined thickness of paint and galvanized coatings in non-corroded areas, micrometers.	11
Table 7. Bolt nr. 6. Thickness of the galvanized coating, micrometers.	11
Table 8. Description of bolt nr. 5 with clear epoxy coating. The description starts after the threads at the threaded end and ends at the inclined end.....	14
Table 9. Description of bolt nr. 6 with grey epoxy coating. The description starts after the threads at the threaded end and ends at the inclined end.....	17

Corrosion test in the Vardötunnel, Norway

Introduction

On site corrosion test was started in the Vardötunnel, Norway, in 1980. Sea water leaks into the tunnel. Eight bolts of different steel types and with different surface coatings were tested in this environment. In 1993 an internal report was published, dealing with the interim status of the bolts. This is report “Intern rapport nr. 1608”, here referred to as Report 1608, which was delivered to Mannvit by the Norwegian Public Roads Administration (NPRA).

In 2011 three bolts were removed from the tunnel by the NPRA. The purpose of this work is to analyse these bolts based on the following project description:

- Photos and description before cleaning
- Weight of bolts before cleaning
- Photos and description after cleaning
- Weight of bolts after cleaning
- Measurements of thicknesses of coatings
- Mapping of corrosion
- Find out which type of coatings was applied to two bolts
- Comparison with the observation in Report 1608
- Future references for continued testing of the bolts

This work is carried out for the NPRA as Avrop 8: Korrosjon på bergbolter i Vardötunnelen.

Original identification number of bolts

The three bolts which were the focuses of this study, one was made from stainless steel and two were epoxy coated and galvanized steel bolts. All initial labels and/or markings had been worn off the bolts, therefore it was not clear which bolt was which. One of the purposes of this work was to identify the bolts.

Stainless steel bolt

The photos in the Report 1608 show almost exactly the same and somewhat unusual corrosion pattern on bolt no. 2 as found on the stainless steel bolt in this investigation. Stainless steel bolts no. 3 and 4 had disappeared before 1992 and bolt no. 1 showed no corrosion in the 1992 inspection. Therefore, it was concluded that the stainless steel bolt was indeed bolt no. 2, stainless steel containing 16.9% Cr, 6.3% Ni, 5.6% Mn and 1.1% Mo.

Epoxy coated bolts

The bolts had different colour epoxy coating, one had a clear epoxy coating and the other had a gray epoxy coating. According to the Report 1608, there are three possibilities of coatings to choose from:

- Bolt 5, with one layer of clear epoxy
- Bolt 6, with one layer of gray epoxy
- Bolt 7, with two layers of epoxy, the colour of the epoxy coating is unknown

The thickness of the clear epoxy coating is relatively high, suggesting that the bolt is bolt nr. 7. However, cross section of the epoxy coating shows that the coating is only made from one layer, therefore it is assumed that the bolt with the clear epoxy coat is bolt nr. 5 but with an unusually thick coating layer.

The thickness of the coating was used to determine if the gray epoxy coated bolt was bolt number 6 or 7. It was concluded that the bolt with the gray coating is bolt nr. 6.

Description of the bolts before cleaning

The weight of the bolts was measured before the bolts were cleaned. The results are given in Table 1.

Bolt nr. 2 Stainless steel

The bolt is about 149.5 cm long. Both ends of the bolt are corroded. The pointed end shown in Figure 1 is about a 15.5 cm long and with severe corrosion. Corroded areas are also found along the entire length of the bolt to the other end. At that end the bolt is hollow, presumably due to corrosion, see Figure 2. It should be noted that there is no sign of a threaded area on this bolt. According to Report 1608, inspection in 1992, the pointed end was inside the rock hole but the corroded area at that end has practically the same length as the threaded area on the other bolts. Judging from the figures in Report 1608 the corrosion damage observed now on this bolt is similar to the corrosion seen in 1992. The corrosion process has, therefore, not been very intense from 1992.



Figure 1. Stainless steel bolt. The pointed corroded end.



Figure 2. Stainless steel bolt. The hollow corroded end.

Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy

The bolt is about 149.5 cm long, with about 15 cm long threads and a nut at one end and sloped face on the other end. The stainless steel nut is not corroded. The threads are corroded and along the entire length of the bolt, rust coloured areas can be found. Figure 7 shows the bolt as received by Mannvit, before it was cleaned.

Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of gray epoxy

The bolt is about 150 cm long, with about 15 cm long threads and a nut at one end and sloped face on the other end. The stainless steel nut is not corroded. The threaded stem has surface corrosion. The rest of the bolt is probably not seriously corroded, but more surface corrosion is clearly visible on this bolt than on bolt nr. 5. Figure 8 shows the bolt as received by Mannvit, before it was cleaned.

Cleaning with up to 130 bar water jet

The bolts were cleaned with up to 130 bar water jet. This procedure cleaned the surface of loose rust and other dusty material which was present on the bolts, but it was not sufficient to clean all the rust from the bolts. Furthermore, it removed some of the epoxy coating that was already poorly bonded to the steel due to underlying corrosion.

Since the corrosion test of the bolts will continue after this study, it was decided not to clean all the surface corrosion from the bolts because it will affect the corrosion rate of the bolts in the continuing test. Also, the epoxy coating was left on the bolts as far as possible. NPRA was consulted on this decision.

The initial weight of the bolts taken from Report 1608 is given in Table 1. The weights are without the nuts.

After the water jet cleaning, the weight of each bolt was measured, and the results are given in Table 1. The weight of the epoxy coated bolts is with the nuts. Unfortunately, it was not clear to

Mannvit that the initial weight was taken without the nuts. However, it would have been difficult to remove the nuts from the bolts, without damaging the coatings on the bolts. Due to this, the weight change cannot be used to determine the corrosion rate of the bolts.

Table 1. Weight of bolts, g

	1988 weight, g	Before cleaning, g	After cleaning with up to 130 bars, g
Nr. 2. Stainless steel	2431	2296	2294
Nr. 5. Galvanized with one layer of clear epoxy.	3315	3378	3369
Nr. 6. Galvanized with one layer of gray epoxy.	3305	3369	3356

It seems that the stainless steel bolt has lost about 137 g during the corrosion test, which has lasted for about 32 years. This weight reduction is equivalent to an average corrosion rate of about 7 $\mu\text{m}/\text{year}$. Also, the total corrosion can be visualized as corresponding to about 15 cm length of the bolt.

Description and measurements on the bolts after cleaning

The thickness of the epoxy and galvanized coatings on the bolts was measured with an Elcometer 355 coating thickness gauge equipped with a ferrous probe, see Appendix C. First the combined thickness of the epoxy and the galvanized coatings was measured and then the thickness of the galvanized coating was measured in areas where the painting had peeled off. The thickness of the peeled off epoxy coating were also measured with the Elcometer 355 equipped with a nonferrous probe as well as a micrometer (Preisser IP54). Both the instruments were calibrated with plates of known thicknesses.

Photos were taken along the entire length of the bolts all around with 60 ° rotation. The photos were assembled in Photoshop, each 60 ° rotation is shown in Figure 10 and Figure 11. The original .psb and .jpg files are copied on a memory stick, which is attached to this report.

The surface of the bolts was analysed in a stereoscope with up 50x magnification. Description of each of the coated bolts is given in

Table 8 and Table 9. The corrosion was classified with increasing intensity as: no surface corrosion, light red dust, red rust and heavy red rust.

Bolt nr. 2 Stainless Steel

Figure 9 shows the bar after it was cleaned with the water jet. No new corrosion features were observed after the cleaning.

Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy

The description of one side of the bolt is given in Table 8. Each area between V-shaped ribs was described for one side of the bolt, a total of 113 areas. The V-shaped ribs which were described are seen in line 2, 3 and 4 (counted from top) in Figure 10.

The nut is not corroded, but the threads next to the nut show some corrosion, especially the ribs on the threads. However, some tar-like material covers the grooves next to the threads and protects the steel in the grooves from corroding. The tar-like material is presumably leftovers of grease which was applied to the nut and the threads, when the bolt and the nut were assembled. The epoxy coating on threaded stem has been damaged and about 50 % of the coating has disappeared. The area where the epoxy has been removed shows some surface corrosion and presumably the area under the remaining epoxy has also started to corrode in the threaded area. The degree of corrosion is very limited, only next to the nut some appreciable corrosion has taken place.

The area of the main bolt, next to the threaded stem does not have any epoxy coatings and the surface shows minor corrosion. It seems that the galvanized coating still exists in most of the corroded areas, except possibly for the most corroded spots. The galvanized coating consists of different layers, with the inner layers containing iron in the zinc. Therefore, rust colour can often be seen on the galvanized surface, before the coating disappears completely.

Further away from the threads the epoxy paint starts to cover the bolt, either partially or entirely. Most of the bolt from V-shaped area 10 to the end of the bolt is mainly partially covered with the epoxy coating and shows little surface corrosion. From V-shaped area 80 and to the end of the bolt, little to no corrosion has taken place.

In general, the epoxy coating does not adhere well to the steel after the 32 years testing and it can easily be removed from the bolt in most areas.

The corrosion starts under the epoxy, normally it starts as a grey spot which becomes brown as the corrosion progresses. At that stage the epoxy coating is damaged and the corrosion can continue along the interface underneath the epoxy film.

The combined thickness of the epoxy and the galvanized coatings in non-corroded areas is given in Table 2. The thickness was measured along the length of the un-threaded bar every 10 cm, measured from the end of the threaded part, and 1 to 3 measurements were taken around the bar. The thickness of the coatings ranges from about 80 microns to about 530 microns with an average of 270 microns. It was not possible to measure the thickness of the coatings on the threaded part of the bolt without permanent damage with respect to the continued testing of the bolts.

Table 2. Bolt nr. 5. Clear epoxy. Combined thickness of paint and galvanized coatings in non-corroded areas, micrometers.

Length of bar, cm	Measurement #1, μm	Measurement #2, μm	Measurement #3, μm	Average, μm
10	300	366		333
20	297	443	531	423
30	286	429	443	386
40	284	323		304
50	295			295
60	406	344	281	344
70	327	229	115	224
80	323	179	159	220
90	81	80	179	113
95	349			349
100	271	281	172	241
110	147	163	148	153
120	231	148		190
130	212			212
Average	272	272	254	268
Min.	82	81	116	81
Max.	406	443	531	531

Table 3 gives the thickness of the different coatings in non-corroded areas, first the combined thickness, then the loose epoxy paint was peeled off and the galvanized coating measured. The thickness of the galvanized coating was measured around 50-60 microns and the thickness of the epoxy coating was about 400 to 450 microns. In Report 1608 the original thickness of the galvanizing was estimated to be about 70 microns which is of a similar magnitude. This seems reasonable considering the slight corrosion of the galvanizing.

Table 3. Bolt nr. 5. Combined thickness of coatings and thickness of galvanized coatings in non-corroded areas, micrometers.

	Thickness, μm
1. Epoxy + galvanized	440
2. Galvanizing	50
Epoxy painting (= 1-2)	390
1. Epoxy + galvanizing	510
2. Galvanizing	63
Epoxy painting (= 1-2)	447
1. Epoxy + galvanized	451
2. Galvanizing	50
Epoxy painting (= 1-2)	401

Table 4 shows the thickness of the galvanized coatings in non-corroded and corroded areas. In the non-corroded areas the average thickness is about 67 microns, while in corroded areas the average thickness of the galvanized coatings is about the same or about 70 microns. This shows that the surface corrosion has not progressed far and the galvanized coating is mostly undamaged even though some rust colour is observed.

Table 4. Bolt nr. 5. Thickness of galvanized coatings, micrometers.

	Non-corroded areas, μm	Corroded areas, μm
	73	57
	84	47
	89	81
	95	63
	50	85
	63	71
	50	87
	50	
	63	
	50	
Average	67	70
Min.	50	48
Max.	95	87

Finally, thickness of pieces of the peeled off epoxy coating was measured and the results are given in Table 5. The average thickness was about 550 microns.

Table 5. Bolt nr. 5. Thickness of peeled off epoxy painting, micrometers.

	Epoxy paint (Elcometer 355), μm	Epoxy paint (IP54), μm
	400	523
	500	486
	337	480
	552	502
	588	604
	762	547
		957
		551
		570
		660
		749
		763
		478
		378
		538
Average	523	586
Min.	337	379
Max.	762	958

One can see that the thickness of the epoxy paint varies a lot. This can also clearly be seen with the naked eye. The coating was unevenly painted on the bolt. This epoxy layer is relatively thick, normally a single layer epoxy coating is about 100 microns thick or possibly up to 200 microns. The question, therefore, arises if this is bolt nr. 5 with one epoxy layer or bolt nr. 7 with two layers.

Looking at a cross section of the epoxy layer it seems clear that this coating was applied to the bolt in one layer. Figure 3 shows a cross section of the coating taken in a stereoscope. The distribution of air bubbles in the coating is even throughout the entire layer, which indicates that the coating was applied in one layer. In addition, no clear boundaries are seen within the layer. Therefore, it is assumed that this is bolt nr. 5 in Report 1608, which has one coat of clear epoxy. The thickness of the epoxy layer is, however, more in line with a normally applied 2-3 layer coating thickness. The ribs on the bolt facilitate the application of the paint in such a thick single layer.

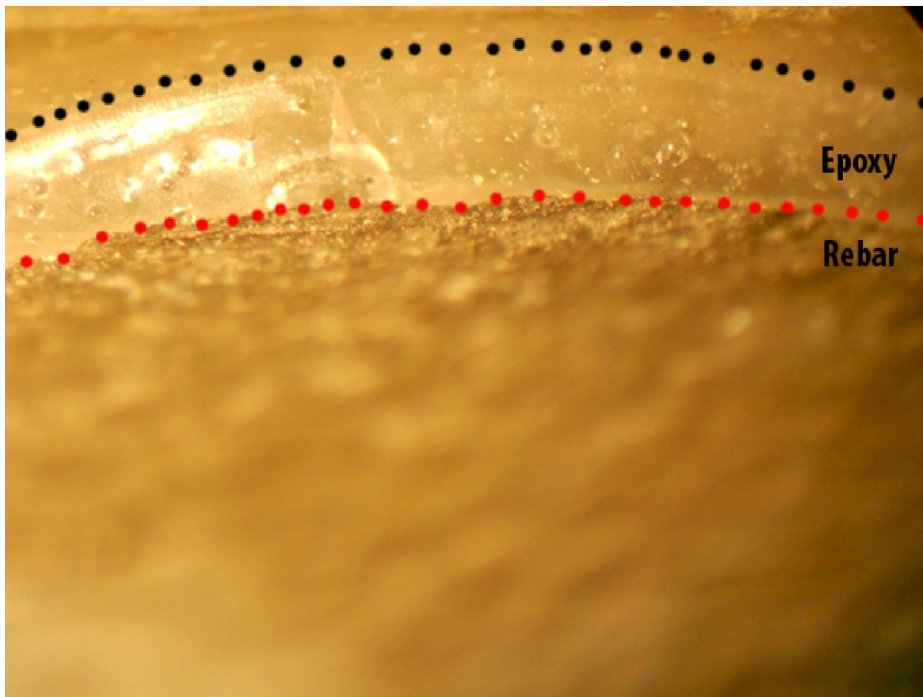


Figure 3. Bolt nr. 5. Photomicrograph of the epoxy coating. The black dots mark the outer surface of the clear epoxy coating and the red dots mark the epoxy coating/steel bar interface.

After the inspection the bolt was identified, for future reference, with one indent dot in every other face of the stainless steel nut, see Figure 4.



Figure 4. Bolt nr. 5. Identification mark.

Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of clear epoxy

The description of one side of the bolt is given in Table 9. Each area between the V-shaped ribs was described on one side of the bolt, in a total of 113 areas. The V-shaped ribs which were described are seen in line 2, 3 and 4 (counted from top) in Figure 11. Generally, the bolt suffers only from relatively even surface corrosion, pitting with serious material reductions was not found.

The nut is not corroded, but the threads next to the nut show corrosion, especially the ribs of the threads. However, some tar-like material covers the grooves next to the threads and protects the steel from corroding. The tar-like material is presumably leftovers of grease which was applied to the nut and the threads, when the bolt and the nut were assembled. The grey epoxy coating on threaded stem has been damaged and about 90 % of the epoxy has been removed. The degree of corrosion is very limited, only next to the nut some appreciable corrosion has taken place.

The entire area of the bolt, has some surface corrosion. The surface corrosion is intense from V-shaped area no. 22 to no. 42. The area between no. 34 and 38 has pitting in one of the longitudinal ribs of the bolt, see Figure 5. Another corroded area lies between V-shaped areas 80 and 89. The depth of the pits was measured. The maximum depth was only about 500 microns.



Figure 5. Bolt nr. 6. Surface corrosion and pitting.

In general, the grey epoxy coating adheres better to the steel than the clear epoxy coating, but never the less the corrosion is more intense on the grey coated bolt.

The combined thickness of the epoxy and the galvanized coatings in non-corroded areas on the un-threaded bolt, is given in Table 6. The thickness was measured along the length of the bar every 10 cm, measured from the end of the threaded part, and 1 to 3 measurements were taken around the bar. The thickness of the coatings ranges from about 90 microns to about 480 microns with an average thickness of about 190 microns. It was not possible to measure the thickness of the coatings on the threaded part of the bolt.

Table 6. Bolt nr. 6. Gray epoxy. Combined thickness of paint and galvanized coatings in non-corroded areas, micrometers.

Length of bar, cm	Measurement #1, μm	Measurement #2, μm	Measurement #3, μm	Average, μm
10	235	108		172
20	126	159	131	139
30	109	111	225	149
40	185			185
50	137	107		122
60	128	89		108
70	115	175		145
80	214	215	200	210
90	188	478	251	306
100	292	294		293
110	225			225
Average	178	193	202	187
Min.	110	89	131	89
Max.	292	478	251	478

Table 7 shows the thickness of the galvanized coating in non-corroded and corroded areas. In the non-corroded areas the average thickness is about 80 microns, which is similar to the results for bolt no. 5. Only two measurements were taken since it was decided not to remove any more paint than necessary. In corroded areas the average thickness of the galvanized coatings is about 93 microns. The corroded areas are only the surface rusted areas. However, the thickness of the galvanized coatings goes down to about 10 microns in these corroded areas. The increased thickness of the galvanized coating in the corroded areas is most likely due to a build-up of a scale of corrosion products.

Table 7. Bolt nr. 6. Thickness of the galvanized coating, micrometers.

	Non-corroded areas, μm	Corroded areas, μm
	89	170
	75	192
		35
		11
		16
		188
		197
		46
		35
		41
Average	82	93
Min.	75	11
Max.	89	197

The measured thickness of the galvanized coating is slightly higher on this bolt than the 70 microns estimated as the original thickness in Report 1608. The average thickness of the grey epoxy coating is about 100 microns which can be considered normal for a single layer epoxy coat.

After the inspection the bolt was identified, for future reference, with two indent dots in every other face of the stainless steel nut, see Figure 6.



Figure 6. Bolt nr. 6. Identification marks.

Comparison with Report 1608

Bolt nr. 2 Stainless Steel

This bolt was the first stainless steel bolt to show signs of corrosion in the test. In the 1988 inspection a slight reduction in weight was observed. Then it was severely corroded at both ends four years later in the 1992/93 inspection. Since then the corrosion appears not to have increased appreciably by comparing photographs of the bolt. The environmental conditions, therefore, appear to have been much less severe from 1993 up to date than between 1988 and 1992. Unfortunately, the weight loss in 1992/93 is not reported. It is surprising that this bolt is the only remaining stainless steel bolt, indicating that the other bolts have not disappeared by corrosion.

Bolts nr. 5 and 6

The coated bolts are identified as the bolt nr. 5 “Galvanized with one layer of clear epoxy” and the bolt nr. 6 “Galvanized with one layer of gray epoxy”. The thickness of the clear epoxy coating is, however, abnormally thick for a single layer coating and should be considered more representative of a two layer or even a three layer paint coating.

The thickness of the galvanizing is mostly similar to the estimated original thickness in Report 1608. It has only disappeared completely in isolated spots on bolt nr. 6. This thickness seems reasonable as the estimated original thickness of the galvanizing.

It should be noted that there is a little difference between corrosion observed on the galvanized and the epoxy coated bolts in 1992 and the current observation. This may again indicate that the environmental conditions have not been very severe since 1992.

It should be noted that the numbering of the painted bolts in the 1992 inspection does not agree with the present conclusions, if the position of the nuts is considered. It is unlikely that the nuts have been moved so that this adds questions about the numbering which cannot be resolved here. However, the important fact is that the bolts in this study have an epoxy coating of a different thickness and the results can be related to that difference.

Conclusions

Stainless steel bolt nr. 2 shows severe corrosion but most of the corrosion appears to have occurred before the 1992/93 inspection. It is unfortunate that the other stainless steel bolts disappeared before their long term corrosion resistance could be obtained. It would also be interesting to test a more corrosion resistant stainless steel bolts under these conditions, such as 254SMO (EN 1,4547 - 20% Cr, 18% Ni, 6,1% Mo) or other types with a similar corrosion resistance in sea water.

The clear epoxy coating on bolt nr. 5 appears to have been applied in one very thick layer. The average thickness of the coating is about 270 microns which corresponds more to a normally applied two or three layers coating. The variation in the thickness of the epoxy coating ranges from about 80 microns up to almost 1 mm, therefore the coating has been applied very unevenly to the bar. It is common to see the coating flaking of the bolt and it seems that the adhesion of the epoxy coating has been drastically reduced.

The galvanized coating under the clear epoxy in non-corroded areas is on the average about 70 microns thick. This is a normal thickness for this type of a bolt and corresponds to the estimate of the original thickness in Report 1608. The thickness of the galvanized coating in the corroded areas is generally about the same as in the non-corroded areas for bolt nr. 5. This underlines that fact that the present degree of corrosion is just superficial on this bolt.

The gray epoxy coating on bolt nr. 6 is about 100 microns thick on the average and the galvanized coating is about 80 microns thick. This film thickness of the epoxy can be considered normal for a single layer coating and the galvanizing corresponds to the original thickness. In the corroded areas the galvanized coatings is down to about 11 microns or less. It has disappeared completely in isolated spots. Bolt nr. 6 shows somewhat more intense surface corrosion than the bolt nr. 5 as can be expected considering the difference in the thickness of the epoxy film. On the other hand, the reduction in adhesion seems to be somewhat greater for the thicker coating on bolt nr. 5.

These tests have been carried out for about 32 years. The loss of material from both the coated bolts has only been minimal and has probably not caused any reduction in strength of the bolts. However, the epoxy coating has now mostly lost its protective properties on both bolts and the thickness of the galvanizing has been reduced in some places and the coating has even disappeared in small areas on bolt nr. 6. It will be interesting to see how the bolts will withstand these environmental conditions if the test is continued as planned and to compare that to the original galvanized steel bolt nr. 8 in this test program.

Appendix A – Description of bolts

Table 8. Description of bolt nr. 5 with clear epoxy coating. The description starts after the threads at the threaded end and ends at the inclined end.

Description of area between V-shaped ribs, one sided.		
	Corrosion	Coatings
1	Light red rust	Epoxy missing
2	Light red rust	Epoxy missing
3	Light red rust	Epoxy missing
4	Light red rust	Epoxy missing
5	Light red rust	Epoxy flaking
6	Light red rust	Epoxy flaking
7	Light red rust	Epoxy flaking
8	Light red rust	Epoxy flaking
9	Light red rust	Epoxy flaking
10	Light red rust	Epoxy intact
11	Light red rust	Epoxy intact
12	Light red rust	Epoxy intact
13	Light red rust	Epoxy flaking
14	Light red rust	Epoxy intact
15	Light red rust	Epoxy flaking
16	Light red rust	Epoxy intact
17	Light red rust	Epoxy flaking
18	Light red rust	Epoxy intact
19	Light red rust	Epoxy intact
20	Light red rust	Epoxy flaking
21	Light red rust	Epoxy intact
22	Light red rust	Epoxy flaking
23	Light red rust	Epoxy flaking
24	Light red rust	Epoxy intact
25	Light red rust	Epoxy flaking
26	Light red rust	Epoxy intact
27	Light red rust	Epoxy intact
28	Light red rust	Epoxy flaking
29	Light red rust	Epoxy flaking
30	Light red rust	Epoxy flaking
31	Light red rust	Epoxy flaking
32	Light red rust	Epoxy flaking
33	Light red rust	Epoxy flaking
34	Light red rust	Epoxy flaking
35	Light red rust	Epoxy flaking

36	Light red rust	Epoxy flaking
37	Light red rust	Epoxy flaking
38	Light red rust	Epoxy intact
39	Light red rust	Epoxy flaking
40	Light red rust	Epoxy flaking
41	Light red rust	Epoxy flaking
42	Light red rust	Epoxy flaking
43	Light red rust	Epoxy flaking
44	Light red rust	Epoxy flaking
45	Light red rust	Epoxy flaking
46	Light red rust	Epoxy intact
47	Light red rust	Epoxy intact
48	Light red rust	Epoxy flaking
49	Light red rust	Epoxy intact
50	Light red rust	Epoxy flaking
51	Light red rust	Epoxy flaking
52	Light red rust	Epoxy intact
53	Light red rust	Epoxy flaking
54	Light red rust	Epoxy intact
55	Light red rust	Epoxy flaking
56	Light red rust	Epoxy flaking
57	Light red rust	Epoxy flaking
58	Light red rust	Epoxy flaking
59	Light red rust	No epoxy
60	Light red rust	Epoxy flaking
61	Light red rust	Epoxy flaking
62	Light red rust	Epoxy flaking
63	Light red rust	Epoxy flaking
64	Light red rust	Epoxy flaking
65	Light red rust	Epoxy flaking
66	Light red rust	Epoxy flaking
67	Light red rust	Epoxy flaking
68	Light red rust	Epoxy flaking
69	Light red rust	Epoxy flaking
70	No surface corrosion	Epoxy flaking
71	Light red rust	Epoxy flaking
72	Light red rust	Epoxy flaking
73	Light red rust	Epoxy intact
74	Light red rust	Epoxy flaking
75	Light red rust	Epoxy flaking
76	Light red rust	Epoxy intact
77	Light red rust	Epoxy intact
78	No surface corrosion	Epoxy intact
79	No surface corrosion	Epoxy intact
80	Light red rust	Epoxy intact



81	No surface corrosion	Epoxy intact
82	Light red rust	Epoxy intact
83	No surface corrosion	Epoxy intact
84	No surface corrosion	Epoxy intact
85	No surface corrosion	Epoxy intact
86	No surface corrosion	Epoxy intact
87	No surface corrosion	Epoxy intact
88	No surface corrosion	Epoxy intact
89	No surface corrosion	Epoxy intact
90	No surface corrosion	Epoxy intact
91	No surface corrosion	Epoxy intact
92	Light red rust	Epoxy flaking
93	Light red rust	Epoxy intact
94	Light red rust	Epoxy intact
95	No surface corrosion	Epoxy intact
96	No surface corrosion	Epoxy intact
97	No surface corrosion	Epoxy intact
98	No surface corrosion	Epoxy intact
99	No surface corrosion	Epoxy intact
100	No surface corrosion	Epoxy intact
101	Light red rust	Epoxy intact
102	No surface corrosion	Epoxy flaking
103	No surface corrosion	Epoxy flaking
104	No surface corrosion	Epoxy flaking
105	No surface corrosion	Epoxy flaking
106	No surface corrosion	Epoxy flaking
107	Light red rust	Epoxy flaking
108	Light red rust	Epoxy flaking
109	Light red rust	Epoxy flaking
110	Light red rust	Epoxy flaking
111	Light red rust	Epoxy flaking
112	Light red rust	Epoxy flaking
113	Light red rust	Epoxy flaking

Table 9. Description of bolt nr. 6 with grey epoxy coating. The description starts after the threads at the threaded end and ends at the inclined end.

Description of area between V-shaped ribs, one sided.		
	Corrosion	Coatings
1	Red rust, starting of pitting	Epoxy flaking
2	Red rust, starting of pitting	Epoxy flaking
3	Light red rust	Epoxy flaking
4	Light red rust	Epoxy flaking
5	Red rust	Epoxy flaking
6	Red rust	Epoxy flaking
7	Red rust	Epoxy flaking
8	Red rust	Epoxy flaking
9	Red rust	Epoxy flaking
10	Red rust	Epoxy flaking
11	Light red rust	Epoxy intact
12	Light red rust	Epoxy intact
13	Light red rust	Epoxy flaking
14	Red rust	Epoxy flaking
15	Red rust	Epoxy flaking
16	Light red rust	Epoxy intact
17	Red rust	Epoxy flaking
18	Red rust	Epoxy flaking
19	Red rust	Epoxy flaking
20	Red rust	Epoxy flaking
21	Red rust	Epoxy flaking
22	Heavy red rust	Epoxy flaking
23	Heavy red rust	Epoxy flaking
24	Heavy red rust	Epoxy flaking
25	Heavy red rust	Epoxy flaking
26	Heavy red rust	Epoxy flaking
27	Heavy red rust	Epoxy flaking
28	Heavy red rust	Epoxy flaking
29	Heavy red rust	Epoxy flaking
30	Heavy red rust	Epoxy flaking
31	Heavy red rust	Epoxy flaking
32	Heavy red rust	Epoxy flaking
33	Heavy red rust	Epoxy flaking
34	Heavy red rust, corrosion pits on long rib	Epoxy flaking
35	Heavy red rust, corrosion pits on long	Epoxy flaking



	rib	
36	Heavy red rust, corrosion pits on long rib	Epoxy flaking
37	Heavy red rust Partially coated, intense surface, corrosion pits on long rib	Epoxy flaking
38	Heavy red rust, corrosion pits on long rib	Epoxy flaking
39	Heavy red rust	Epoxy flaking
40	Heavy red rust	Epoxy flaking
41	Heavy red rust	Epoxy flaking
42	Heavy red rust	Epoxy flaking
43	Red rust	Epoxy flaking
44	Red rust	Epoxy flaking
45	Red rust	Epoxy flaking
46	Red rust	Epoxy flaking
47	Light red rust	Epoxy intact
48	Light red rust	Epoxy intact
49	Light red rust	Epoxy intact
50	Red rust	Epoxy flaking
51	Light red rust	Epoxy intact
52	Red rust	Epoxy flaking
53	Red rust	Epoxy flaking
54	Red rust	Epoxy flaking
55	Red rust	Epoxy flaking
56	Red rust	Epoxy flaking
57	Red rust	Epoxy flaking
58	Red rust	Epoxy flaking
59	Red rust	Epoxy flaking
60	Red rust	Epoxy flaking
61	Light red rust	Epoxy intact
62	Red rust	Epoxy flaking
63	Red rust	Epoxy flaking
64	Red rust	Epoxy flaking
65	Red rust	Epoxy flaking
66	Light red rust	Epoxy intact
67	Light red rust	Epoxy intact
68	Red rust	Epoxy flaking
69	Light red rust	Epoxy intact
70	Red rust	Epoxy flaking
71	Red rust	Epoxy flaking
72	Red rust	Epoxy flaking

73	Red rust	Epoxy flaking
74	Red rust	Epoxy flaking
75	Red rust	Epoxy flaking
76	Red rust	Epoxy flaking
77	Red rust	Epoxy flaking
78	Red rust	Epoxy flaking
79	Red rust	Epoxy flaking
80	Heavy red rust	Epoxy flaking
81	Heavy red rust	Epoxy flaking
82	Heavy red rust	Epoxy flaking
83	Heavy red rust	Epoxy flaking
84	Heavy red rust	Epoxy flaking
85	Heavy red rust	Epoxy flaking
86	Heavy red rust	Epoxy flaking
87	Heavy red rust	Epoxy flaking
88	Heavy red rust	Epoxy flaking
89	Light red rust	Epoxy intact
90	Light red rust	Epoxy flaking
91	Heavy red rust	Epoxy flaking
92	Red rust	Epoxy flaking
93	Red rust	Epoxy flaking
94	Red rust	Epoxy flaking
95	Red rust	Epoxy flaking
96	Red rust	Epoxy flaking
97	Light red rust	Epoxy intact
98	Light red rust	Epoxy intact
99	Light red rust	Epoxy intact
100	Light red rust	Epoxy intact
101	Light red rust	Epoxy intact
102	Light red rust	Epoxy intact
103	Light red rust	Epoxy intact
104	Heavy red rust	Epoxy flaking
105	Heavy red rust	Epoxy flaking
106	Heavy red rust	Epoxy flaking
107	Heavy red rust	Epoxy flaking
108	Heavy red rust	Epoxy flaking
109	Light red rust	Epoxy intact
110	Light red rust	Epoxy intact
111	Light red rust	Epoxy intact
112	Light red rust	Epoxy intact
113	Light red rust	Epoxy intact

Appendix B - Photos of bolts

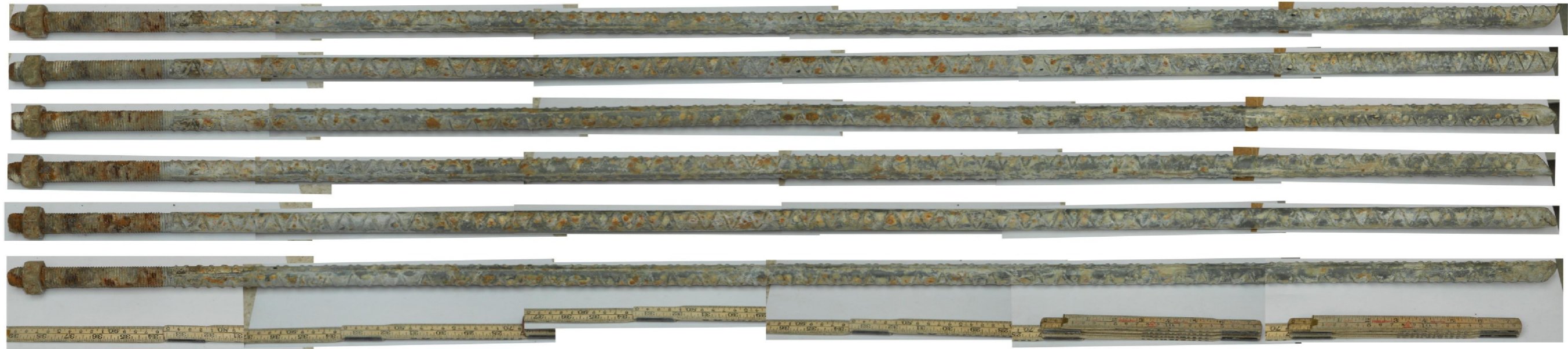


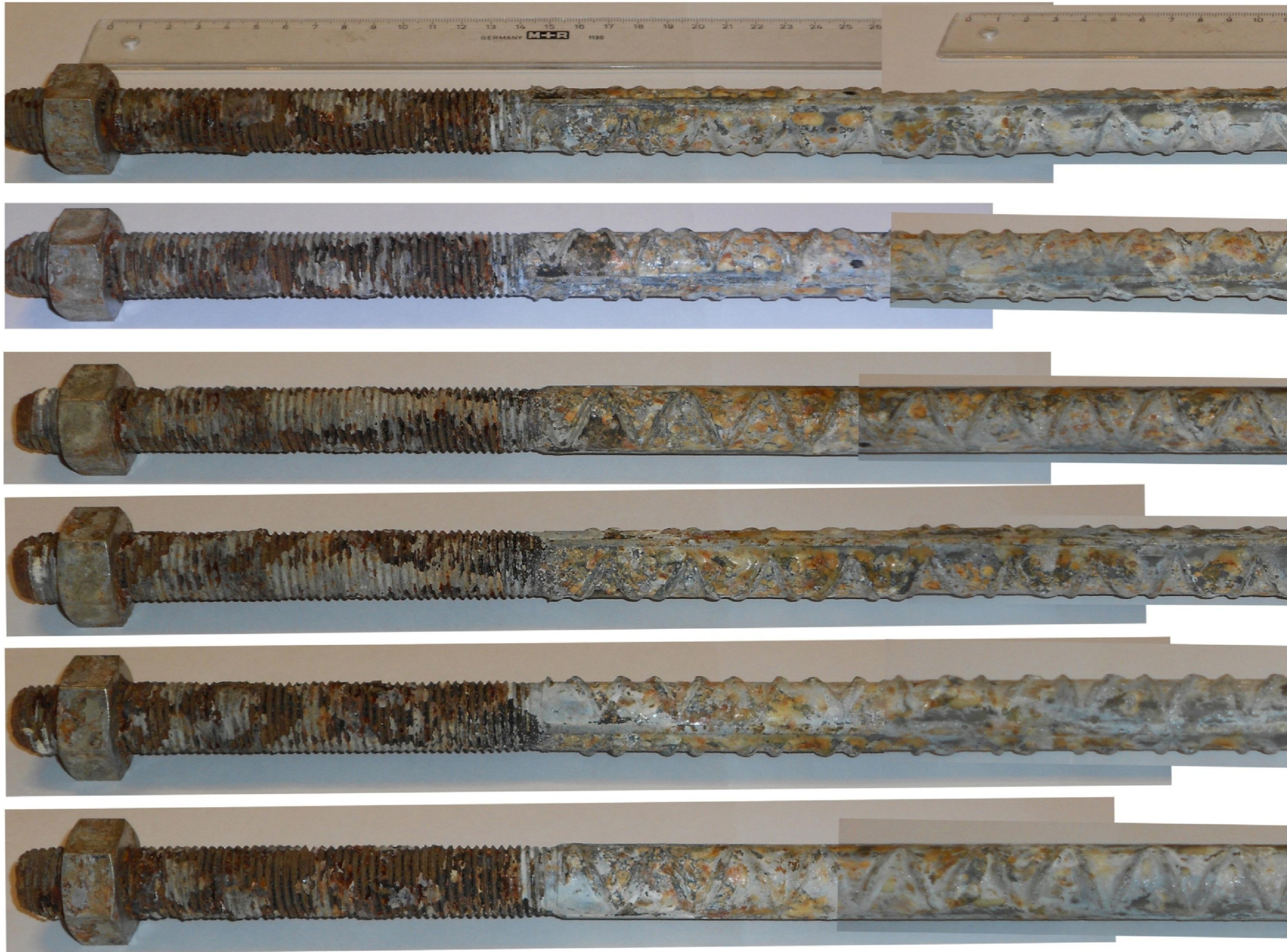
Figure 7. Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy before cleaning.



Figure 8. Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of gray epoxy before cleaning.



Figure 9. Bolt nr. 2 Stainless steel bolt after cleaning.



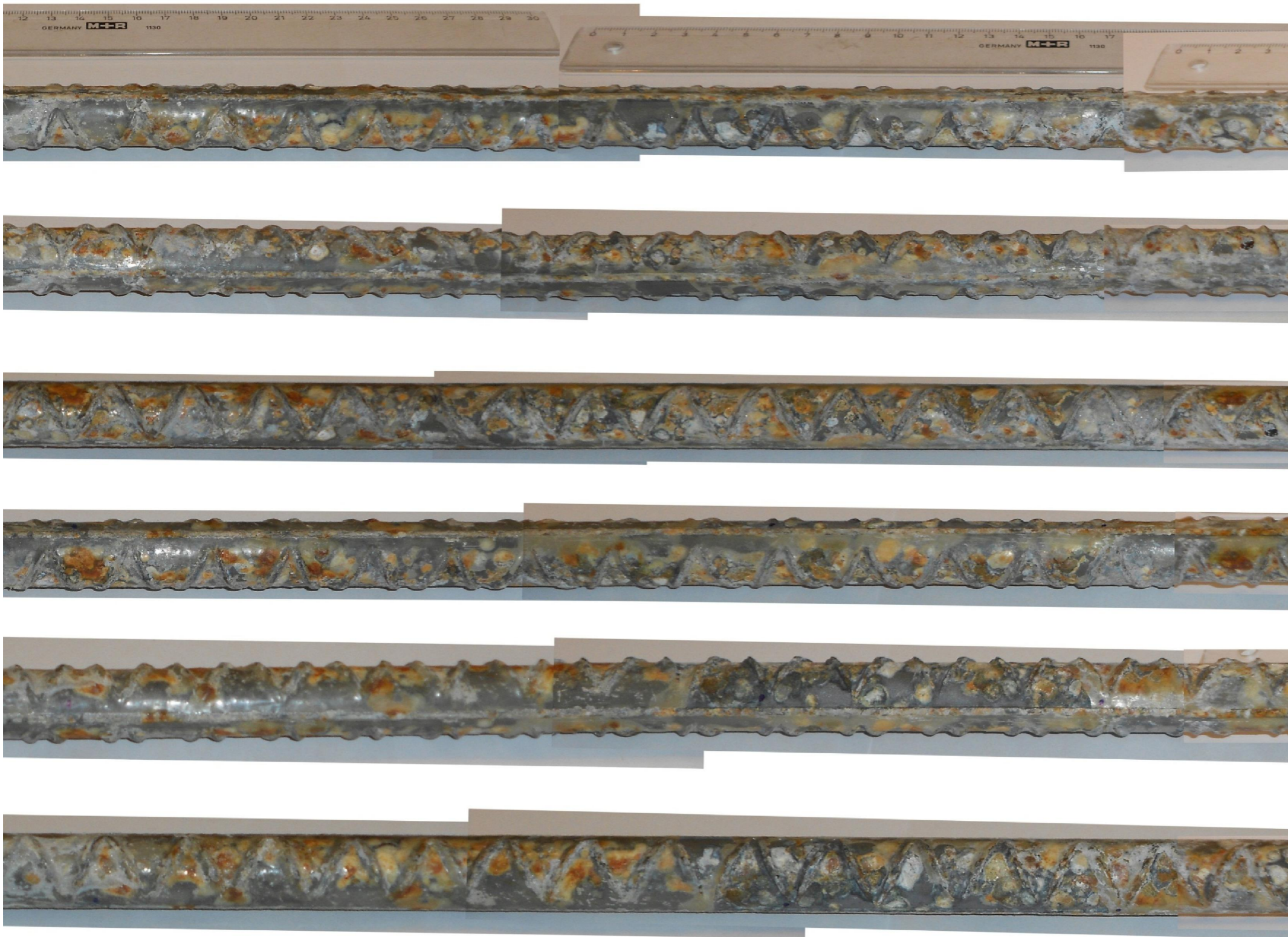
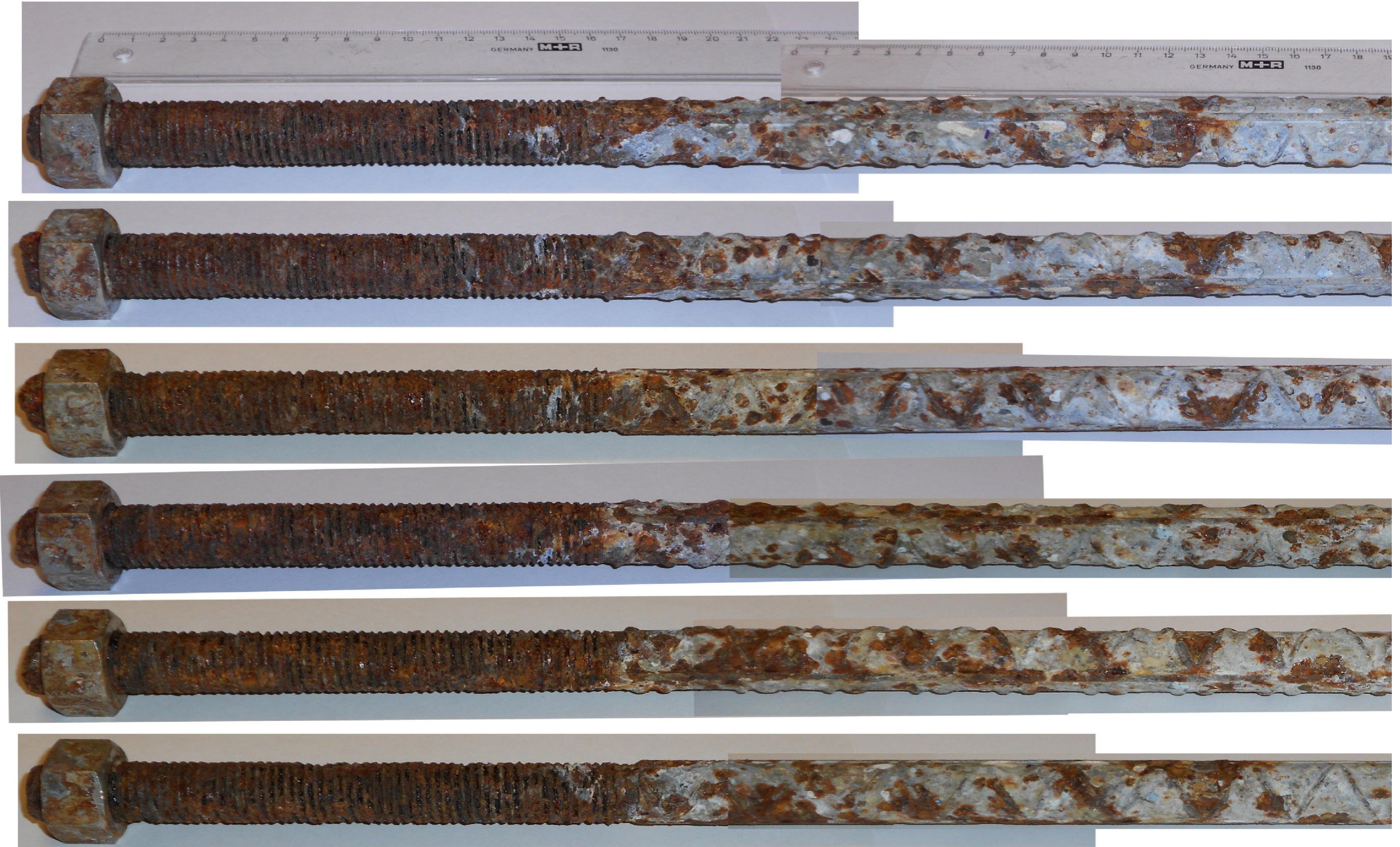
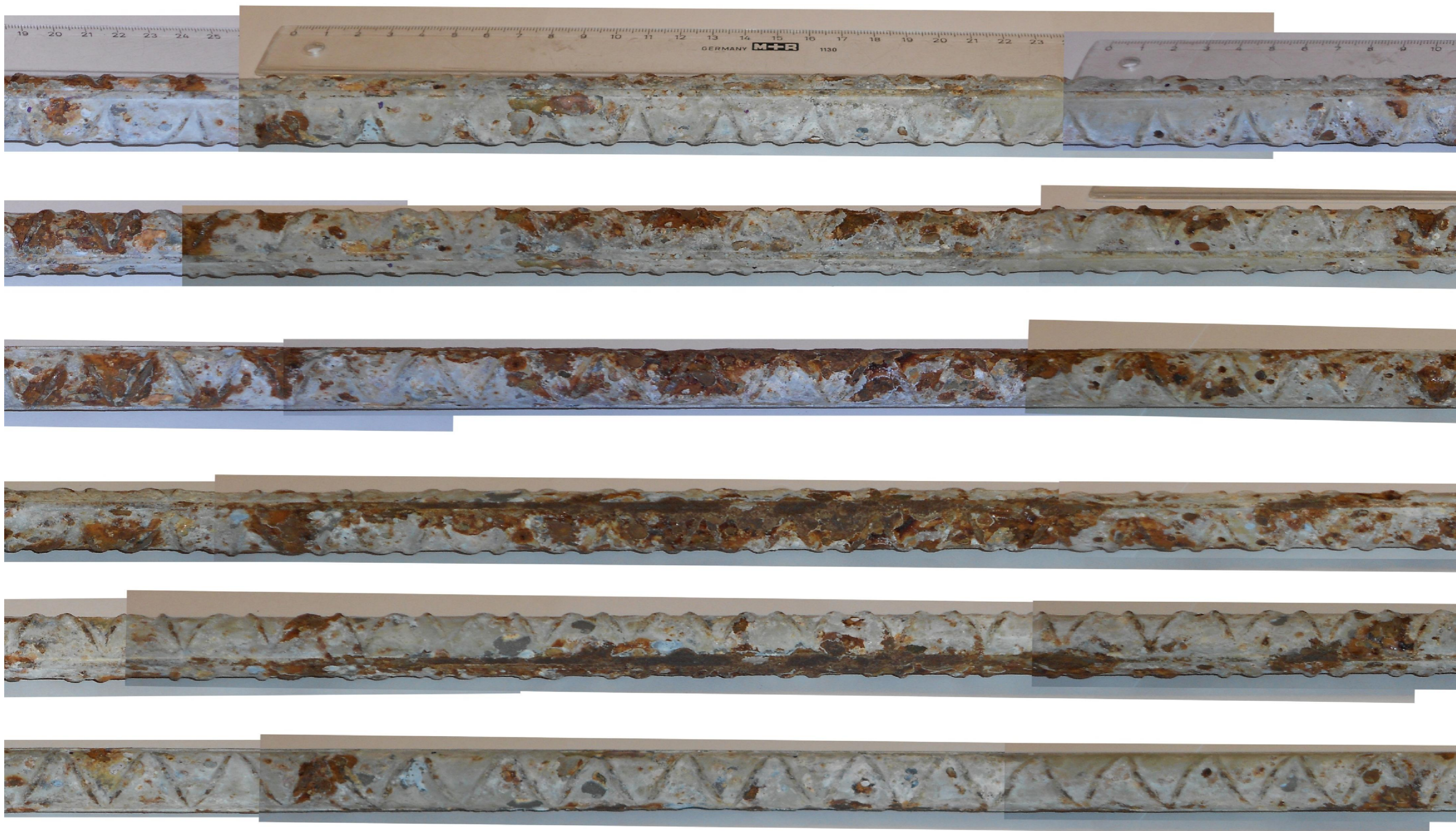


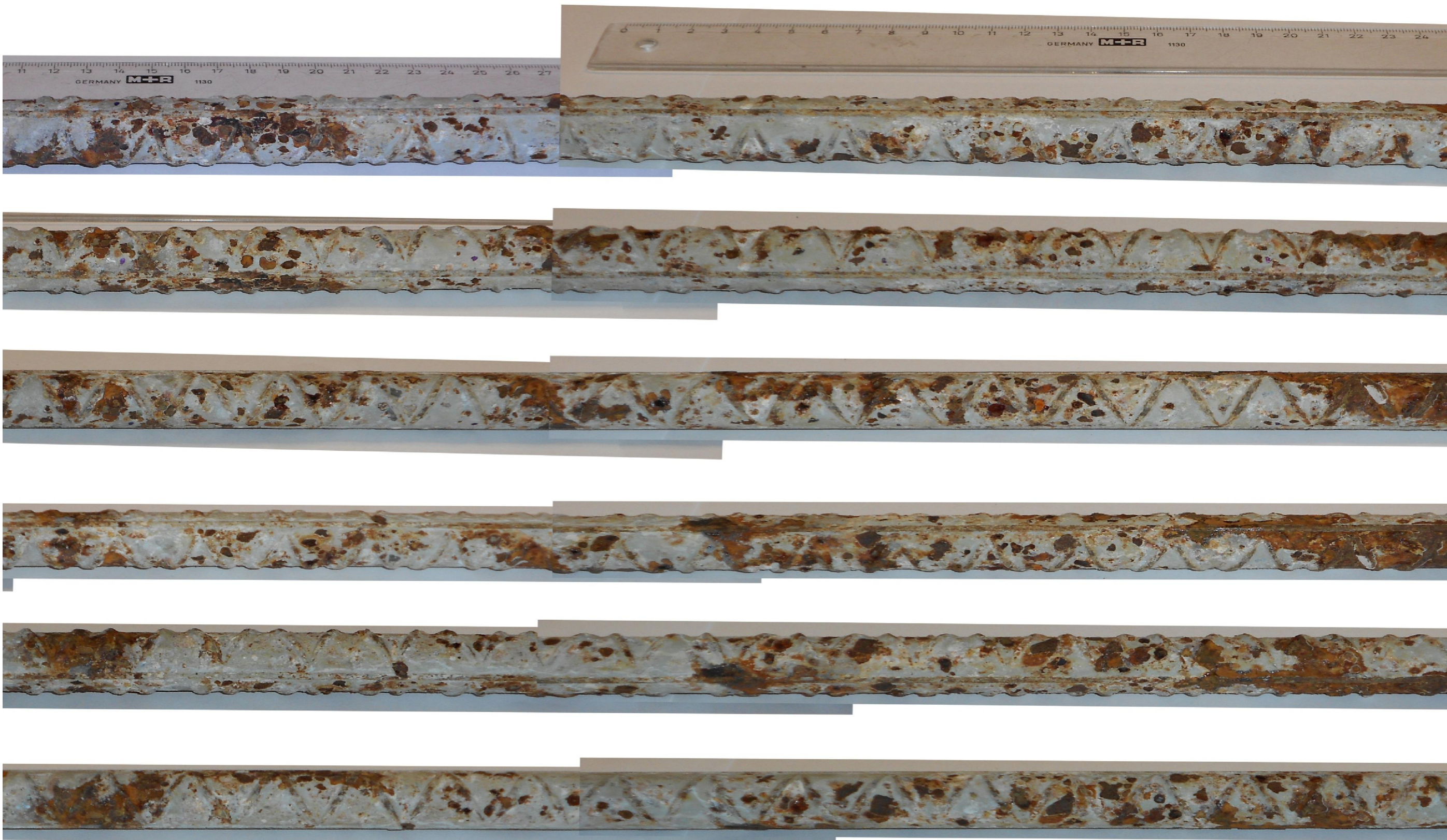




Figure 10. Bolt nr. 5 Galvanized with one layer of clear epoxy after cleaning.







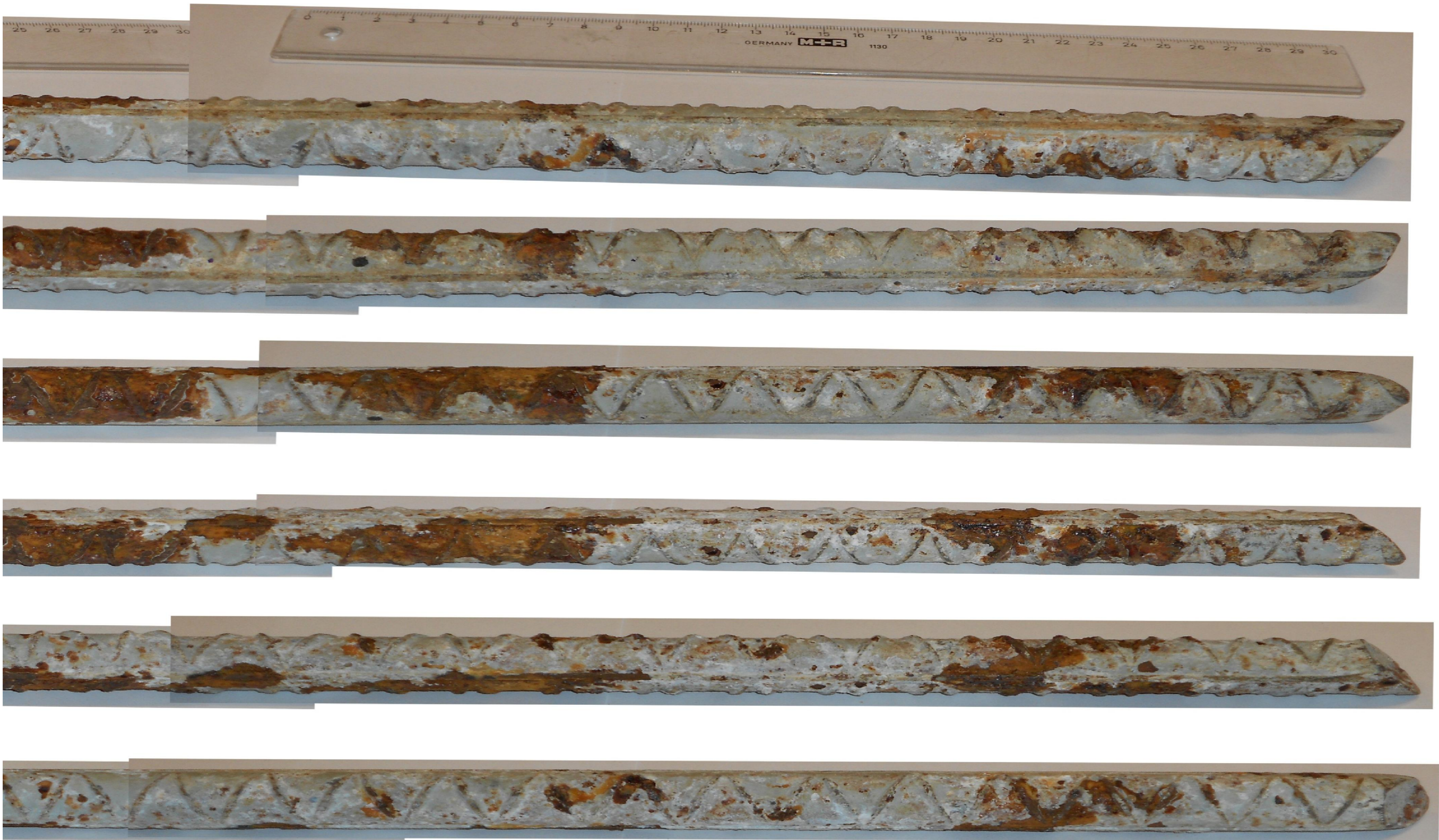


Figure 11. Bolt nr. 6 Galvanized with one layer of gray epoxy after cleaning.

Appendix C – Elcometer 355 data sheet

data sheet



Elcometer 355 Coating Thickness Gauge



Elcometer 355 Coating Thickness Gauge

The Elcometer 355's watchwords are accuracy, simplicity, versatility and durability making this a true state of the art hand held measuring system packed with time-saving and cost-cutting features.

Available as a standard and top model, the unit's large memory stores up to 10,000 readings in batches and data can be output to PC, datalogger or printer as required.

With a comprehensive range of Probe Modules available, simply select the most appropriate for the application. All modules are supplied with calibration foils.

Each gauge is supplied without a probe allowing the choice of the correct probe for the relevant applications.

- $\pm 1\%$ or $1\mu\text{m}$, whichever is the greater, accuracy
- Rugged aluminium case designed for the toughest environments
- ElcoMaster™ software supplied
- Full statistical analysis - mean standard deviation, number of readings, highest and lowest value
- RS232 output
- Date and time stamp

Dry Film Thickness

Dry Film Thickness is probably the most critical measurement in the coatings industry. It provides vital information as to the expected life of the substrate, the product's fitness for purpose, its appearance and ensures compliance with a host of International Standards.

In 1947, before the introduction of consumer electronics, Elcometer launched one of the world's first non-destructive coating thickness gauges, the Elcometer 101.

For more than 6 decades, the design and production qualities of this rugged and reliable instrument have been the watchwords of all our products and these philosophies are still held today.

Dry Film Coating Thickness is a critical measurement in all industry sectors and can be categorised as follows:

Digital: The most widely used as it is generally the most accurate and can be used to measure the coating on almost any substrate, whether ferrous or non-ferrous.

Mechanical: Still widely used, particularly in areas where no electrical instruments are permitted or high temperatures prevail.

Destructive: Used primarily in multi-coat procedures and non-metallic substrates.

TECHNICAL SPECIFICATION	
Operating Temperature	0°C to 50°C (32°F to 120°F)
Storage Temperature	-10°C to 60°C (14°F to 140°F)
Reading Speed	40 readings per minute
Data Output	RS232C Serial or Parallel Output via D25 Type Connector (Female)
Memory	Standard: 5,000 reading memory in 25 pre-set batches Top: 10,000 reading memory in up to 200 batches (individually calibrated)
Battery Type	3 x 1.5V AA Cells (Alkaline) or 3 x 1.5V Nickel Metal Hydride rechargeable cells
Battery Life	Minimum: 40 hours with alkaline batteries, 20 hours with rechargeable batteries
Dimensions	175 x 83 x 42mm (6.9 x 3.3 x 1.6")
Weight	650g (1.43lb)
Part Number	A355----S Elcometer 355 Standard Coating Thickness Gauge A355----T Elcometer 355 Top Coating Thickness Gauge
Packing List	Elcometer 355 Top or Standard Gauge, leather carry case, 3 x AA batteries, ElcoMaster™ software, PC cable and operating instructions

Elcometer 355 Ferrous and Non-Ferrous Probes

Unique probe modules allow the Elcometer 355 Coating Thickness Gauges to be versatile and flexible for any measurement application.

Probe modules can be freely interchanged as required for both ferrous (F) and non-ferrous (N) metal substrates.

Most probe modules are capable of an accuracy of $\pm 1\%$ of the reading on a variety of coatings and surfaces.



Telescopic probes extend from 410mm (16") to 1100mm (43").

TECHNICAL SPECIFICATION					
Part Number	Description	Measuring Range	Accuracy	Range Steps	Resolution
T35511952	F1 Standard	0-1500µm (0-60mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 1\mu\text{m}$ ($\pm 0.04\text{mil}$)	0-200µm (0-8mils) 200-500µm (8-20mils) 500-1500µm (20-60mils)	0.1µm (0.005mil) 0.5µm (0.02mil) 1.0µm (0.05mil)
T35511953	F1 Right Angle				
T35511959	F1 Telescopic				
T35512400	F1A (Automotive)				
T35511954	F2 Standard	0-5mm (0-200mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 5\mu\text{m}$ ($\pm 0.2\text{mil}$)	0-500µm (0-20mils) 500-5000µm (20-200mils)	2µm (0.1mil) 5µm (0.2mil)
T35511955	F2 Right Angle				
T35511960	F2 Telescopic				
T35511956	F3 Standard	0-13mm (0-500mils)	$\pm 2\%$ or $\pm 30\mu\text{m}$ ($\pm 1\text{mil}$)	0-1000µm (0-40mils) 1-13000µm (40-1500mils)	5µm (0.2mil) 10µm (0.5mil)
T35511950	F4 Standard	0-250µm (0-10mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 1\mu\text{m}$ ($\pm 0.04\text{mil}$)	0-250µm (0-10mils)	0.1µm (0.005mil)
T35511951	F4 Right Angle (long)				
T35513511	F4 Right Angle (short)				
T35511962	F5 (Rebar)	0-800µm (0-32mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 2\mu\text{m}$ ($\pm 0.08\text{mil}$)	0-800µm (0-32mils)	1µm (0.1mil)
T35511964	F6 Standard	0-25mm (0-1000mil)	$\pm 2\%$ or $\pm 100\mu\text{m}$ ($\pm 4\text{mils}$)	0-500µm (0-200mils) 5000-25000µm (200-1000mils)	10µm (0.5mil) 50µm (2mil)
T35511982	N1 Standard	0-1500µm (0-60mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 1\mu\text{m}$ ($\pm 0.04\text{mil}$)	0-200µm (0-8mils) 200-500µm (8-20mils) 500-1500µm (20-60mils)	0.1µm (0.005mil) 0.5µm (0.02mil) 1.0µm (0.05mil)
T35511983	N1 Right Angle				
T35511984	N2 Standard	0-5mm (0-200mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 15\mu\text{m}$ ($\pm 0.6\text{mil}$)	0-500µm (0-20mils) 500-5000µm (0-200mils)	2µm (0.1mil) 5µm (0.2mil)
T35511980	N4 Standard	0-250µm (0-10mils)	$\pm 1\%$ or $\pm 1\mu\text{m}$ ($\pm 0.04\text{mil}$)	0-250µm (0-10mils)	0.1µm (0.005mil)



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen