

SIVILINGENIØR PER A. MADSHUS

RÅDGIVENDE INGENIØR - GEOTEKNIKK

MEDLEM AV RÅDGIVENDE INGENIØRERS FORENING

NORGES STATSBANERUNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON - VENSTRE SPORBRUKORROSJONSFORHOLD FOR STÅLPELERINNLEDNING

Av Norges Statsbaner, Hovedstyret, ble vi i juli 1956 anmodet om å gi anvisninger på anordninger for eventuell senere etablering av katodisk beskyttelse av stålpelene i brofundamentene ved ovenstående anlegg, samt å foreta de for bedømmelsen av korrosjonshastigheten nødvendige målinger.

I oktober 1962 ble vi anmodet om å foreta en inspeksjon med måling av godstykkelsen for prøvestenger som i 1957 ble rammet ned ved broen, og som nå skulle trekkes opp, for at man skulle få en støtte for vurderingen av korrosjonsforholdene.

I nærværende rapport er samlet resultatene av samtlige utførte undersøkelser.

Det er av Norges Statsbaner, Geoteknisk kontor, foretatt grunnundersøkelser som viser at jordmassene øverst består av ren

og middels fast leire, som dypere ned går over i sandig leire med lag av grus. Mot fjellet er massene sterkt grusholdige. Dybdene til fjell varierer mellom 10 og 18 m med steile fjellformasjoner, og fjellet når opp i dagen ca. 2 m nord for begrensningen av vestre landkar.

Som peler er anvendt DIP 20 og DIP 24. Det er rammet i alt 37 peler med en samlet lengde på 390 m. For senere lett å kunne etablere katodisk beskyttelse, er pelene sammenbundet elektrisk med et ledningsnett av \varnothing 19 mm armeringsstål, og det er også lagt inn elektrikerrør og koblingsbokser for den nødvendige strømforsyning.

BESKRIVELSE AV KORROSJONSPROSESSENE

Korrosjon av stål i jord oppfattes i dag som en i alt vesentlig ren elektrokjemisk prosess. Av jordens to hovedkomponenter, mineralkorn og elektrolytt, er det elektrolytten som i denne forbindelse er den primært aktive, og man kan derfor i alle fall som en god tilnærmelse betrakte denne prosess som en korrosjonsprosess av stål i en elektrolytt. På ståloverflaten danner det seg anodiske og katodiske partier; ved anoden går stålet i oppløsning ved at jernioner vandrer ut i elektrolytten, og et tilsvarende antall fri elektroner strømmer over til katoden gjennom stålet. Ved katoden hindrer et elektronoverskudd jernioner i å gå i oppløsning. Hvis elektronene akkumuleres på katoden, vil korrosjonsprosessen stanse. Systemet er da katodisk polarisert, og mengden eller tilførselshastigheten av stoffer som motvirker slik polarisasjon (i jord vesentlig oksydasjonsmidler), er av avgjørende betydning for korrosjonshastigheten.

En viktig årsak til dannelsen av anodiske og katodiske partier er inhomogeniteter i ståloverflaten og elektrolytten. Inhomogeniteter i ståloverflaten henger sammen med en rekke forhold, et av de vesentligste er den partielle tildekking som en oppsprukket valsehud gir, idet man herved får avvekslende valsehud og bart stål i kontakt med den omgivende elektrolytten. Inhomogenitetene i elektrolytten refererer seg dels til led-

ningsevnen (saltinnholdet), dels til oksygeninnholdet (eller innholdet av andre oksydasjonsmidler).

Den mengde jernioner som går i oppløsning pr. tidsenhet (korrosjonshastigheten), er direkte proporsjonal med den strøm som flyter mellom anode og katode, og strømmen er igjen avhengig av elektrolyttens ledningsevne.

For å få opplysning om korrosjonsforholdene kan det utføres en korrosjonssondering. Ved denne føres en kunstig korrosjonsselle, jernrør med magnesiumspiss, ned i jorden, og sellens elektromotoriske kraft og jordens spesifikke elektriske motstand måles. Den elektromotoriske kraft er hovedsakelig avhengig av polarisasjonen, og ved å sammenholde de målte verdier for denne størrelse med verdier målt i et miljø med minimal polarisasjon (mettet med oksydasjonsmidler) får man et uttrykk for depolarisasjonsgraden, gitt som forholdet mellom de to verdiene. De verdier man måler med sonden, gjelder det lokale parti av jorden nærmest inntil sellen, og de inhomogeniteter som innvirker på depolarisasjonsgrad og spesifikk motstand i jordens elektrolytt, kommer derfor godt frem.

Ved disse målingene får man opplysninger om tre av de viktigste faktorer som bestemmer korrosjonshastigheten: Depolarisasjonsgraden i elektrolytten, elektrolyttens ledningsevne og variasjonene i disse verdier langs ståloverflatene. Sammenholdt med verdier fra kjente korrosjonsmiljøer (hvor man har hatt anledning til å inspisere stål som har ligget i jorden en tid), gir de et vesentlig grunnlag for bestemmelse av korrosjonshastigheten (i den utstrekning de beror på forholdene i jorden).

De størrelser man måler med korrosjonssonden gir bare uttrykk for korrosjonshastigheten i det øyeblikk målingen foretaes, og det er derfor også nødvendig å ta hensyn til de faktorer som bestemmer forholdet mellom denne momentanverdi for korrosjonshastigheten og den gjennomsnittlige korrosjonshastighet over lang tid. En vesentlig faktor i denne forbindelse er tilførselen av depolariserende stoffer, som igjen er avhengig av bevegelsen av jordens elektrolytt, eventuelt diffusjonshastig-

heten (i finkornige jordarter).

Foruten ovennevnte forhold er også tilstedeværelsen av visse mikrobiologiske organismer i jorden (sulfatreduserende bakterier) av betydning for korrosjonshastigheten. Disse bakterier utvikles bare i oksygenfritt, fuktig og sulfatrikt miljø, hvor man har organisk assimilerbare komponenter. Bakteriene reduserer sulfater til sulfider og oksyderer hydrogen, hvorved metalloverflaten depolariseres, noe som forårsaker at jernet går i oppløsning.

Ståls bestandighet i jord er foruten av jordens korrosivitet også avhengig av eventuelle vagabonderende strømmer. Hvis det eksisterer et felt i jorden langs en pel eller mellom peler som har metallisk kontakt, vil en komponent av strømmen følge pelen. Komponentens størrelse vil være avhengig av pelens (eller det metallisk sammenhengende systems) orientering i feltet, av motstanden i jorden, overgangsmotstanden mellom jord og stål, og motstanden i selve pelen (eller pelesystemet). Der hvor strømmen forlater pelen (når strømretningen regnes fra pluss til minus), vil jernet gå i oppløsning; den mengde som oppløses pr. tidsenhet er direkte proporsjonal med den strømmen som flyter ut av pelen. Særlig uheldig stiller dette seg når forholdene er slik at det taes opp strømmer langs en stor flate og disse avgies over en liten flate, idet dette vil føre til at den mengde oppløst jern som svarer til den overførte strøm, konsentrerer seg over en liten flate, og man derved får en dyp tæring på en pel. Korrosjon skjer først og fremst ved likestrøm, men også i noen grad ved vekselstrøm, i det en viss komponent av denne likerettes i jord.

UTFØRTE UNDERSØKELSER

Det er utført korrosjonssondering etter den foran beskrevne metode i de i bilag 11 viste 4 hull. I hull 3 lykkedes det bare å trenge ned til en dybde av ca. 6,5 m, mens man i hull 1, 2 og 4 kom ned til ca. 11,0 m. Resultatene av sonderingene er oppstillet i tabell i bilag 1 og 2 og opptegnet grafisk i bilag 3, 4, 5 og 6.

Det er utført målinger for å bestemme potensialdifferenser på grunn av vagabonderende likestrømmer i området. Undersøkelsene omfatter målinger mellom i alt 3 punkter, hvis beliggenhet er vist i bilag 11. Resultatene av målingene er oppstillet i tabell i bilag 3.

Til støtte for bedømmelse av korrosjonsforholdene ble det etter oppførelsen av broen (høsten 1957) på sydsiden av den rammet ned 12 stk. ca. 11,5 m lange armeringsstål \varnothing 19 mm. Stengenes plasering er vist i bilag 11. Diameteren av stengene ble målt i en rekke snitt før nedrammingen. Fire av stålstengene ble, som et ledd i undersøkelsene, trukket opp igjen oktober 1962. Det er foretatt en visuell inspeksjon av stengene, og diameteren er målt i de samme snitt som før rammingen. I bilag 7 - 10 er vist lengdesnitt av stengene, hvor resultatene av disse undersøkelser er angitt.

RESULTATER AV UNDERSØKELSENE

Resultatene av undersøkelsene fremgår av de under beskrivelsen av disse nevnte bilag.

Korrosjonssonderingen viser at depolarisasjonsgraden ligger mellom 0,23 og 0,90, spesifikk jordmotstand mellom 4 000 og 15 000 ohm cm. Forholdene er relativt uensartete i de fire målehull. De ugunstigste korrosjonsforhold finner man i målehull 1, hvor nominell korrosjonshastighet er $15-40 \cdot 10^{-6}$ m/år, mens den i målehull 2-4 er $1-5 \cdot 10^{-6}$ m/år.

Maksimal korrosjonshastighet må regnes å bli noe høyere enn den maksimalt målte nominelle korrosjonshastighet, og denne bør multipliseres med en faktor bestemt av nedenstående forhold:

1. Noen av de faktorer som er nevnt under beskrivelsen av korrosjonsprosessene, kommer ikke til uttrykk ved korrosjonssonderingen.
2. Den spredte sonderingen og uensartetheten gjør at man må regne med at maksimal korrosjonshastighet er større

enn den som er målt.

3. Det bør legges en alminnelig sikkerhet på de målte verdier.

Under de givne forhold bør det anvendes en faktor på 2, og man kommer da frem til en maksimal korrosjonshastighet for det undersøkte miljø på $80 \cdot 10^{-6}$ m/år.

Måling av vagabonderende strømmer viste en maksimal potensialdifferens på 128 mV over 24 m elektrodeavstand tilsvarende en feltstyrke på 5,3 mV/m.

Den utførte korrosjonsinspeksjon av prøvestengene viser en maksimal diameterreduksjon på 0,4 mm, som tilsvarende en korrosjonshastighet på $40 \cdot 10^{-6}$ m/år. Ved vurdering av korrosjonsforholdene for pelene må det tas hensyn til at korrosjonshastigheten vil vise en viss spredning, og at de sterkeste angrepene derfor vil være noe større enn den verdi som er funnet for prøvestengene. Det må dessuten tas hensyn til at korrosjonshastigheten den første tiden etter at stengene er kommet i kontakt med elektrolytten, vil være relativt liten, og at målingene av prøvestengene gjennom den relativt korte tiden disse har stått i bakken, derfor gir en noe for liten verdi for den gjennomsnittlige korrosjonshastigheten over lengre tid. Det må derfor ansees å være god overensstemmelse mellom den observerte verdi og den som er bestemt ved korrosjonssonderingen.

KONKLUSJON

På grunnlag av foranstående mener vi at man må regne med en største korrosjonshastighet for de ugunstigst stillede pelene på ca. 0,1 mm/år. Steget på de anvendte peler har en tykkelse på 10-11 mm, og det skulle således, hvis profilene ikke var korrodert da pelene ble slått ned, ta ca. 25 år før godstykkelsen her er redusert til det halve. På grunn av korrosjonen vil det imidlertid i tillegg til tverrsnittreduksjonen kunne skje en reduksjon av materialfastheten. De målte

feltstyrker forårsaket av vagabonderende likestrømmer i området, er relativt store, og det må regnes med at disse vil bidra til korrosjon på pelene. Hvorvidt dette forhold vil stille seg ugunstigere for pelene enn for prøvestengene, kan det imidlertid ikke sies noe om.

Vi vil ut fra ovenstående anbefale at det katodiske beskyttelsesanlegget blir fullført og satt i drift, slik at ytterligere tverrsnittsreduksjon og nedsettelse av materialfastheten kan unngås.

Ved prosjektering av beskyttelsesanlegget må det taes hensyn til tanker, rør og kabler i bakken, slik at disse ikke skades av de jordstrømmer som beskyttelsesanlegget fører med seg.

Oslo, den 8. juni 1964


Per A. Madshus

NORGES STATSBANERUNDERGANG VED SLEPENDEN STASJONKorrosjonsundersøkelse

Apparatur: Strømmåling : AVO-meter
 Motstandsmåling: NORMA-meter
 Korrosjonssond : M.C.

Målinger utført: 4.-6.6. og 11.6.1957

Målehull: 1 Terrengekote ca. +26.0

Dybde	Kote	EMK	Depolari- sasjons- grad	Spesifikk jordmot- stand	Nominell korro- sjons- hastighet
m	m	mV		ohm cm	10^{-6} m/år
5.5	+20.5	948	0.79	4 700	25
6.0	+20.0	960	0.80	4 700	25
7.0	+19.0	1 040	0.87	4 800	45
8.0	+18.0	1 072	0.90	8 200	40
9.0	+17.0	1 020	0.85	5 700	35
10.0	+16.0	1 050	0.88	9 000	35
10.6	+15.4	978	0.81	15 000	15

$220 : 7 = 31$
 21
 10

Målehull: 2 Terrengekote ca. +27.5

Dybde	Kote	EMK	Depolari- sasjons- grad	Spesifikk jordmot- stand	Nominell korro- sjons- hastighet
m	m	mV		ohm cm	10^{-6} m/år
5.0	+22.5	496	0.41	3 700	1
6.0	+21.5	667	0.55	4 400	1
7.0	+20.5	671	0.56	8 100	1
8.0	+19.5	713	0.60	4 800	2
9.0	+18.5	731	0.61	5 600	2
10.0	+17.5	692	0.58	6 300	1
10.9	+16.6	430	0.38	12 000	1

Målehull: 3

Terrengkote ca. +27.5

Dybde	Kote	EMK	Depolari- sasjons- grad	Spesifikk jordmot- stand	Nominell korro- sjons- hastighet
m	m	mV		ohm cm	10^{-6} m/år
6.0	+21.5	629	0.52	6 000	1
6.7	+20.8	422	0.35	13 000	1

Målehull: 4

Terrengkote ca. +28.5

Dybde	Kote	EMK	Depolari- sasjons- grad	Spesifikk jordmot- stand	Nominell korro- sjons- hastighet
m	m	mV		ohm cm	10^{-6} m/år
5.0	+23.5	275	0.23	4 300	1
6.0	+22.5	547	0.46	4 400	1
7.0	+21.5	780	0.65	5 200	3
8.0	+20.5	800	0.67	5 200	5
9.0	+19.5	693	0.58	11 600	1
10.0	+18.5	731	0.61	5 600	2
11.0	+17.5	450	0.38	9 700	1

NORGES STATSBAKERUNDERGANG VED SLEPENDEN STASJONMåling av vagabonderende strømmer

Apparatur: Potensialmåling: Instrument: Cambridge Corrosion
Meter, kompensasjons-
sjaltet

Elektroder: Cu-CuSO₄ halvceller

Målinger utført: 26.5.1964

Måle- hull	Måle- hull	Hullav- stand	Potensial- differens	Felt- styrke	1)
nr.	nr.	m	mV	mV/m	
4	5	24	+128	+5.3	
4	6	63	- 30	-0.5	
5	6	50	+164	+3.2	

1) Målingen ble utført mens tog passerte, og potensialene pulserte herunder 20 mV.

Under alle målingene vibrerte instrumentnålen, hvilket tyder på at det også eksisterte vagabonderende vekselstrømmer (antakelig $16\frac{2}{3}$ l/s fra jernbanens nett).

KORROSJONSSONDERING
ANLEGG: NORGES STATS BANER
UNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON

Sonderhull nr: 1
Terreng kote:
Grunnv.st kote:
Fjell kote:

Bilag nr: 4
Undersøkt
Dato: 4.6.57
Kl:

Dybde

DEPOLARISASJON

SPECIFIKK JORDMOTSTAND
ohm cm

Korro-
sivi-
tet

0 30 40 50 60 70 80 90

100 1000 10000

5



KORROSIJONSSØNDERING

ANLEGG: NORGES STATSBANER
UNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON

Sonderhull nr: 2

Terreng kote:

Grunnv.st kote:

Fjell kote:

Bilag nr: 5

Undersøkt

Dato: 4.6.57

Kl:

Dybde

DEPOLARISASJON

SPESIFIKK JORDMOTSTAND

ohm cm

Korro-
sivi-
tet

0

30

40

50

60

70

80

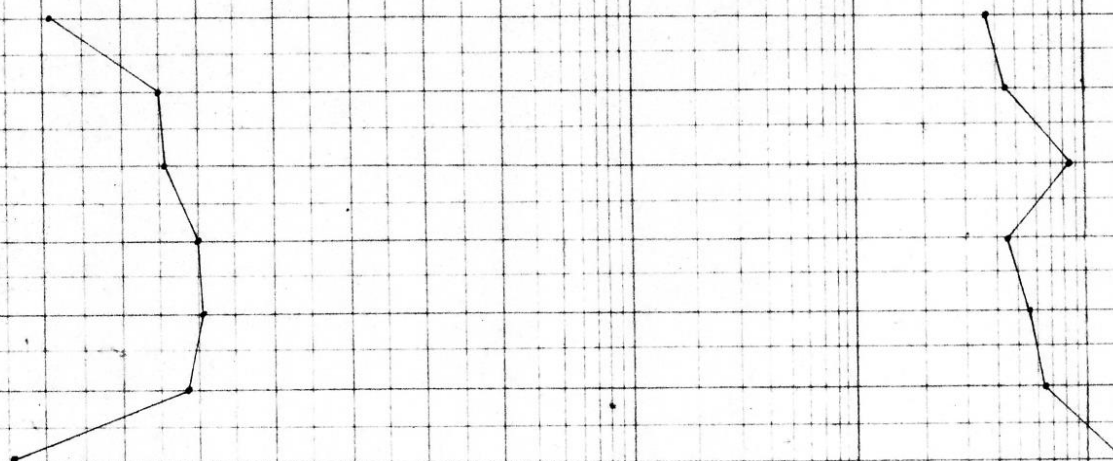
90

100

1000

10000

5



KORROSJONSSONDERING

ANLEGG: NORGES STATSBANER

UNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON

Sonderhull nr: 3

Terreng kote:

Grunnv.st kote:

Fjell kote:

Bilag nr: 6

Undersøkt

Dato: 5.6.57

Kl:

Dybde

DEPOLARISASJON

SPESIFIKK JORDMOTSTAND

ohm cm

Korro-
sivi-
tet

0

30

40

50

60

70

80

90

100

1000

10000

5

10

KORROSJONSSONDERING

ANLEGG: NORGES STATS BANER
UNDERGANG VED SLEPEN DEN STASJON

Sonderhull nr: 4

Terreng kote:

Grunnv.st kote:

Fjell kote:

Bilag nr: 7

Undersøkt

Dato: 11.6.57

Kl:

Dybde

DEPOLARISASJON

%

SPESIFIKK JORDMOTSTAND

ohm cm

Korro-
sivi-
tet

0 30 40 50 60 70 80 90

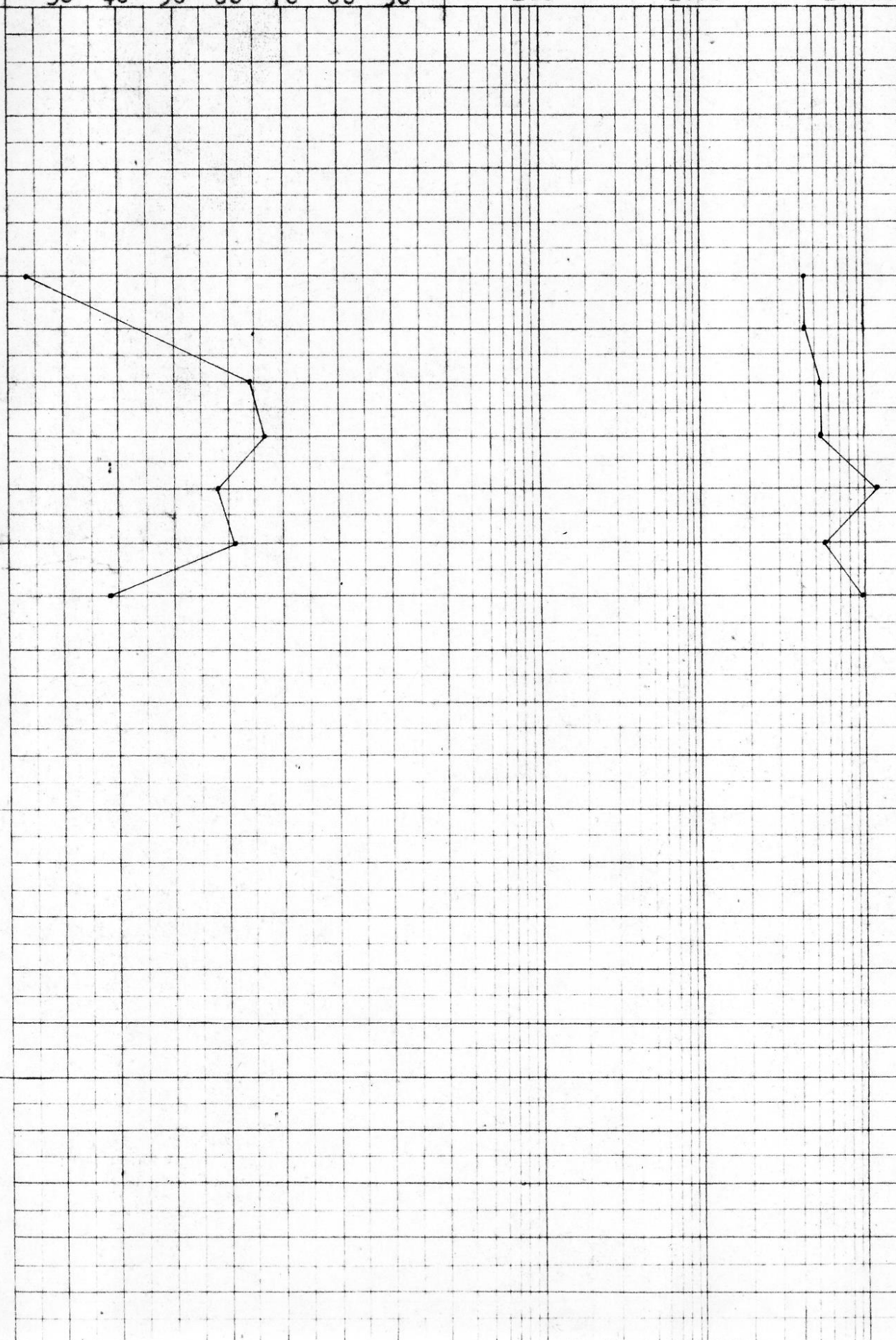
100


1000

10000

5

10



Kote	Reduksjon i stangdiameter		
m	mm		
27.9 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.10$		Kalkaktig, hvitt belegg Katodisk parti
27.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Svakt rødbrunt belegg Anodisk parti Kraftig rødbrunt belegg Tendens til gropdannelse
26.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.00$		Svakt rødbrunt belegg
25.0 -	$d_1 = 0.40$ $d_2 = 0.10$		Gråhvitt belegg Katodisk parti Kalkaktig, hvitt belegg
24.0 -	$d_1 = 0.30$ $d_2 = 0.20$		Grått belegg
23.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.20$		Sveis Svakt grått belegg
22.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.00$		
21.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Tynt grått belegg
20.0 -	$d_1 = 0.30$ $d_2 = 0.00$		
19.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Tendens til gropdannelse Anodisk parti Svakt grått belegg
18.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.10$		Kraftig gråhvitt parti Katodisk parti Svakt grått belegg
17.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Svakt brunt belegg Anodisk parti


d_1 - målt diameterreduksjon i det angitte snitt

d_2 - den på d_1 vinkelrett målte diameterreduksjon

N.S.B. - UNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON

PRØVESTANG NR. 6

RESULTATER AV KORROSJONSINSPEKSJON

Kote	Reduksjon i stangdiameter			
m	mm			
26.9 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Mørkt brunt parti	Anodisk parti
26.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.30$			
25.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.00$		Sterkt rødbrunt parti m/ gropdannelser	Sterkt anodisk parti
24.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.00$		Gråbrunt belegg m/ "utvekster"	Anodisk parti
23.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.20$		Gråhvitt belegg	Katodisk parti
			Kalkaktig, hvitt belegg	
22.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Gråhvitt belegg	
21.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.10$		Sveis Grått belegg	
20.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.30$			
19.0 -	$d_1 = 0.30$ $d_2 = 0.10$		Sort parti	
18.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.20$		Rødbrunt, flekkete belegg	Anodisk parti
17.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.20$		Svakt rødbrunt belegg Kraftig rødbrunt belegg	Sterkt anodisk parti
16.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.10$		Svakt brunt belegg	Svakt anodisk parti
15.0 -	$d_1 = 0.30$ $d_2 = 0.30$		d_1 - målt diameterreduksjon i det angitte snitt d_2 - den på d_1 vinkelrett målte diameterreduksjon	

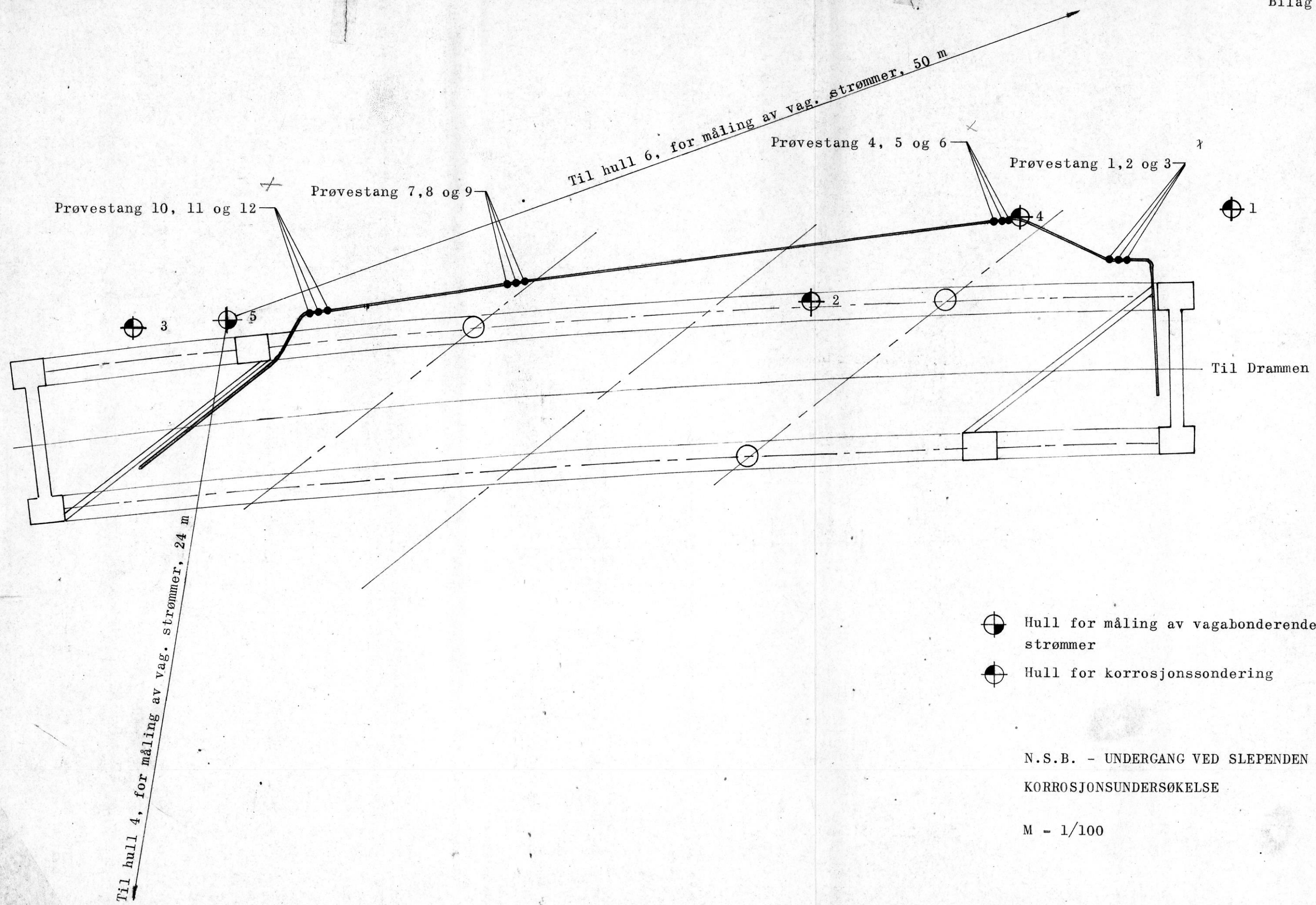
N.S.B. - UNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON
 PRØVESTANG NR. 9
 RESULTATER AV KORROSJONSINSPEKSJON

Kote	Reduksjon i stangdiameter		
m	mm		
27.5			
27.0 -	$d_1 = 0.30$ $d_2 = 0.30$	Lysere grå felter Brunfarvet belegg m/ små "utvekster" Gropdannelser	Lokale anodiske og katodiske partier
26.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.30$	Kraftig rødbrunt belegg	Sterkt anodisk parti
25.0 -	$d_1 = 0.20$ $d_2 = 0.20$	Gråbrunt belegg	
24.0 -	$d_1 = 0.00$ $d_2 = 0.20$		
23.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.10$	Svakt rødbrunt belegg	Svakt anodisk parti
22.0 -	$d_1 = 0.00$ $d_2 = 0.30$	Brunfarvet belegg m/ lyse grå flekker Sveis	Lokale anodiske og katodiske partier
21.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.00$		
20.0 -	$d_1 = 0.00$ $d_2 = 0.10$	Svakt brunfarvet belegg Felter med lyst, grått belegg	
19.0 -	$d_1 = 0.00$ $d_2 = 0.10$	Lyst grått belegg Mørkt brunt belegg	Katodisk parti, Anodisk parti
18.0 -	$d_1 = 0.30$ $d_2 = 0.00$	Gråhvitt belegg m/ mindre brune flekker	Katodisk parti
17.0 -	$d_1 = 0.10$ $d_2 = 0.10$		
16.0 -	$d_1 = 0.40$ $d_2 = 0.10$	Sterkt rødbrunt belegg Rødbrunt belegg	Sterkt anodisk parti Svakt anodisk parti

d_1 = målt diameterreduksjon i det angitte snitt

d_2 = den på d_1 vinkelrett målte diameterreduksjon

N.S.B. - UNDERGANG VED SLEPENDEN STASJON
PRØVESTANG NR. 12
RESULTATER AV KORROSJONSINSPEKSJON



- ⊙ Hull for måling av vagabonderende strømmer
- ⊙ Hull for korrosjonssondering