

Elektrokemisk potentialemåling til undersøgelse af korrosion i vandinstallationer



SBI-MEDDELELSE 124 • STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1999



Elektrokemisk potentialemåling til undersøgelse af korrosion i vandinstallationer

Hans Kaaris



SBI-meddelelser er foreløbige rapporteringer og beretninger om forundersøgelser, konferencer, symposier mv.
Denne meddelelse kan frit læses og downloades fra SBI's hjemmeside: www.sbi.dk.

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne kan købes gennem boghandlen eller via et SBI-abonnement.

SBI-abonnement er en rabatorrdning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere, eller slå op på SBI's hjemmeside: www.sbi.dk.

ISBN 87-563-1035-8.

ISSN 1399-8447.

Pris: Kr. 50,00 inkl. 25 pct. moms.

Omslag: Finn Gattmann

Statens Byggeforskningsinstitut

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Tlf. 45 86 55 33.

Eftertryk i uddrag er tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-meddelelse 124: Elektrokemisk potentiale måling til undersøgelse af korrosion i vandinstallationer.

Indhold

Forord.....	4
Baggrund	5
Udviklingsprojektet	5
Måleprincip, udstyr og metode.....	6
Indskylningsudstyr	6
Målekabel.....	7
Målepunkters lokalisering.....	8
Sammenligning af elektroder.....	8
Grænser for indskylning og udtrækning	10
Måling i SBI's koldtvandsrør	11
Måling i boligblok i Rødbyhavn	12
Resultater fra feltforsøgene	13
Reproducerbarhed af målinger.....	13
Destruktiv korrosionsundersøgelse.....	15
Sammenligning af EKP-målinger og korrosion	17
Laboratorieundersøgelser af varmtvandsrør fra Rødbyhavn	17
Måling af differenspotentialer	17
Endoskopundersøgelse.....	18
Konklusion	19
Referencer	19
Summary.....	20

Forord

I denne SBI-meddelelse beskrives den udvikling og afprøvning, der er foregået på SBI, af en metode og et prøvningsudstyr til elektrokemisk potentialmåling (EKP-måling) i vandfyldte metalrør med henblik på lokalisering af igangværende korrosionsangreb.

EKP-metoden er udviklet til brug i vandinstallationer og afprøvet i praksis i to bygninger med galvaniserede stålør med godt resultat. Afprøvningen viste reproducerbare målinger, med et detaljeret kurvebillede af potentialniveau og potentialegradienter i lange målestrækninger, og god overensstemmelse med de tæring og belægninger der blev fundet efter opskæring af rørene.

EKP-metoden kan også benyttes til at lokalisere elektrokemiske potentialegradienter i rustfri stålør og kobberør i brugsvandsinstallationer, men metoden kan ikke afsløre turbulenskorrosion i kobberør.

Med den fornødne erfaring i tolkning af det registrerede kurvebillede af de øjeblikkelige galvaniske differenspotentialer langs rørene vil man have et bedre grundlag end hidtil for at give en tilstandsvurdering. Om metoden vil kunne benyttes alene, eller må suppleres med destruktive korrosionsundersøgelser, vil først kunne vurderes efter flere afprøvninger af metoden i forskellige installationer.

SBI-meddelelsen sammenfatter de vigtigste resultater fra projektet der er dokumenteret i en intern SBI-forsøgsrapport. Interesserede kan rekvirere forsøgsrapporten for nøjere at vurdere metodens muligheder - og overveje deltagelse i et samarbejde om at indsamle mere dækkende erfaringer med metodens anvendelighed og videreudvikling af måleudstyret.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Byggeteknik og Produktivitet
Jørgen Nielsen, forskningschef, november 1999

Baggrund

Korrosionsangreb i kobber- og stålrør i brugsvandsanlæg forekommer ofte, men i de fleste tilfælde registreres angreb først efter at der er sket gennemtæring af rørene. I forbindelse med 5-års eftersynene i beboelsesejendomme har Byggeskadefonden derfor ønsket, at der kunne foretages en tilstandsregistrering og en holdbarhedsvurdering af kobber- og stålrørinstallationer inden der kommer synlige tegn på gennemtæring.

Der har ikke tidligere eksisteret en overkommelig og billig ikke-destruktiv metode til registrering af korrosionstilstanden i vandrør. Derfor satte SBI's Laboratorium og Kvalitetsmålestation sig for at udvikle og afprøve en variant af elektrokemisk potentiale måling (EKP-måling) til registrering af indvendig korrosionsaktivitet i vandrør af metal. EKP-måling har hidtil hovedsageligt været benyttet som metode til lokalisering af igangværende korrosion af armeringsjern i beton.

Udviklingsprojektet

Opgaven var at udvikle en praktisk ikke-destruktiv metode til EKP-måling af det øjeblikkelige galvaniske potentiale til anvendelse på stedet langs vandrør under fuldt vandtryk.

I et vandfyldt rør udstråler korrosionsstrømmene et potentiale i vandet. Antagelsen var, at det ud fra kendskab til det aktuelle potentialebillede langs et rør skulle være muligt at identificere igangværende korrosionsaktivitet ud fra variationer/kurvegradienter i dette potentiale.

Det kan ikke lade sig gøre at lave potentiale målinger i en vandinstallation udefra. Det er nødvendigt at føre en måleelektrode (en galvanisk halvcelle), for enden af en isoleret ledning frem og tilbage inde i røret, medens det er under vandtryk. Måleelektroden skal være i kontakt med vandet, men må ikke kortslutte til røret, og ledningsforbindelsen skal kunne aftastes uden for vandrøret. Måleelektroden indføres i røret ved indskylning og trækkes ud.

Den parameter der er knyttet til korrosionen, er potentialendifferensen (mV) mellem måleelektrodens konstante elektrokemiske potentiale og midelværdien af rørvæggens elektrokemiske potentiale i et tværsnit ud for elektroden. Den kan registreres kontinuert på en potentialeskriver forbundet til røret og til ledningen fra måleelektroden.

Forsøgsrapporten beskriver en række laboratorieundersøgelser og enkelte feltundersøgelser, dels i SBI's egne vandinstallationer og dels i en boligblok i Rødbyhavn. Undersøgelserne belyser sammenhængen mellem aktuelt potentialeniveau, især lokale kurvegradienter, og konstaterbar korrosion efter prøveudtagning.

Der blev udført:

- laboratorieforsøg med et udviklet indskylningsudstyr og et målekabel for at optimere kabeludformningen og finde de praktiske begrænsninger for indskylning og udtrækning
- prøvning af kablets trækstyrke og brudforlængelse, samt måling af forekommende udtrækningskræfter
- sammenlignende laboratorieforsøg med forskellige elektrodemetaller
- feltmålinger af differenspotentialer i galvaniserede koldt vandrør i en boligblok i Rødbyhavn

- laboratoriemålinger af potentialet i det reablerede koldtvandssystem fra Rødbyhavn og destruktive undersøgelser af rørenes korrosionstilstand til sammenligning
- laboratoriemålinger af potentialet i reablerede galvaniserede varmtvandsrør nedtaget fra Rødbyhavn og endoskopundersøgelser af de adskilte rør til sammenligning.

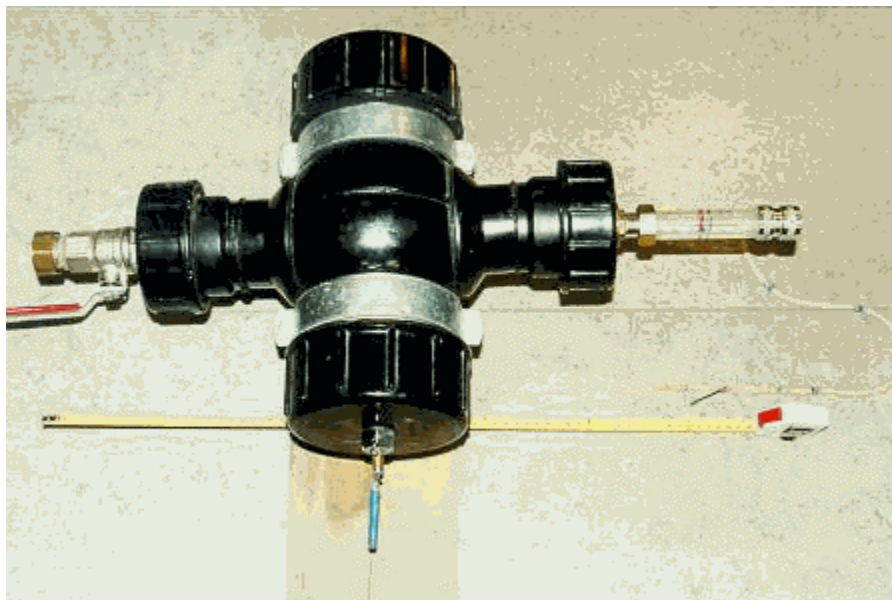
Måleprincip, udstyr og metode

Med et *indskylningsapparat* skylles et *målekabel* under normalt vandtryk langsomt gennem røret frem mod et etableret udløb. Målekablet består af en fleksibel elledning med *måleelektroden* i forenden, indesluttet i en beskyttelsesstrømpe af flettet tovværk. Den anden ende af ledningen føres ud af indskylningsapparatet via akslen på kabeltromlen og forbindes til minuspolen på en potentialeskriver. Pluspolen på skriveren forbindes til jord og til ydersiden af det vandfyldte rørsystem der skal undersøges. Tilkoblingen til plus- og minuspol på voltmeter/potentialeskriver følger den konvention der er foreskrevet for EKP-måling i (1) og (2).

Da måleelektrodens halv-celle potentiale tilnærmelsesvis er konstant under forsøget, hvorimod halv-celle potentialet langs rørvæggen varierer med korrosionsbetingelserne, er den målte potentialedifferens udtryk for størrelsen af det galvaniske potentiale i røret ud for elektroden.

Indskylningsudstyr

Der er udviklet en prototype på et indskylningsapparat med håndbetjent kabeltromle. En forudsætning for at kunne benytte indskylningsmetoden er, at det disponible vandværkstryk på stedet kan opretholde en nødvendig mindste vandhastighed, også i den største rørdimension. Det lægger ikke begrænsninger på hvor lang en rørstrækning man kan måle af gangen, men på hvor stor forskel der kan være på rørdimension ved indføringspunkt og udløb, samt hvor stor modstand der kan tillades i indføringspunkt, koblingsslange og indskylningsudstyr. Før kablet skylles ind, skal man derfor altid kontrolmåle det opnåelige flow/vandhastighed med et flowmeter foran indskylningsapparatet eller med en tapningsmåling ved udløbet.



Figur 1: Indskylningsapparat for målekablet. Apparatet består af:

- *et afløbskryds i svejsbart PEH med to 110 mm og to 75 mm gevindstudse med skruedæksler og pakningsringe*
- *en messingaksel med påstiftet håndsving og teflontrisse til kablet, monteret med o-ringtætning på det ene 110 mm dæksel. Kablets leder er forbundet elektrisk til akslen med en messingskrue*
- *en akselgennemføring med o-ring og fast aftastningsfjeder i det andet 110 mm dæksel for tilslutning til voltmeter eller skriver*
- *en skyllevandstilslutning med en 20 mm kuglehane med omløber eller lynkobling monteret i det ene 75 mm dæksel. Flow/vandhastighed reguleres med kuglehane.*
- *en afgangsstuds med omløber monteret i det andet 75 mm dæksel, et 25 mm plexiglasrør til observation af kablets udrulningslængde og en lynkobling. I lynkoblingen tilsluttes koblingsslange til indskylningspunktet, lavet af bøjeligt men trykstærkt 18 mm PEX-rør.*

Erfaringerne med indskylningsapparatet var gode ved indskylning i 25 mm rør, ved et disponibelt vandværkstryk på 3 - 4 bar. Ved større rørdimensioner end 25 mm bliver modstanden gennem indskylningsudstyret kritisk, og kræver større kuglehane- og slangedimensioner mv. Alternativt må man supplere vandstrømmen gennem apparatet med vand direkte fra tilgangen til målestrækningen. Den enkle indføring og udtrækning med håndsving og den visuelle kontrol af kablets indføringshastighed i plexiglasrøret giver god føling med trækket i kablet, men det giver let en ujævn indskylnings- og udtrækningshastighed og en uensartet afstandsmarkering på kurvebladet af elektrodens aktuelle placering i røret. Det er derfor ønskeligt at få videreudviklet udstyret med en motordrevet, indbygget fremføringsrulle.

Målekabel

Målekablet, som er vist i figur 2, er opbygget af en fleksibel tynd elledning med siliconeisolering til overføring af signalet fra måleelektroden. Uden omledningen er der trukket en beskyttende strømpesnor. Måleelektroden ligger beskyttet mod kortslutning til rørvæggen inde i strømpen og består af et lille stykke afisoleret kobberleder. Den flettede strømpesnor beskytter ledningen mod slid, den har stor trækstyrke, og strømpens overfladeruhed gør at vandet kan skylle kablet frem i røret. Til forenden af kablet er der surret en 20-30

cm lang trækduk, af ca. 50 stk. 1x0,1 mm PE-trevler, som leder og trækker kablets forreste del rundt om hjørner og ind i afgreninger.

Kablet fungerede godt under indskylning, men hvis kablet satte sig fast, og derfor måtte trækkes fri med størst mulig håndkraft, opstod problemer med udtrædning af ledningen gennem strømpen og brud på ledningen. Den flettede strømpesnør er lavet af 4 mm tovværk af materialet Aramid/Kevlar (type: Technora, fabrikat: ROBLON, Frederikshavn).

Efter forsøgene målt den slidte *strømpesnørs trækstyrke* til 2,7 kN med en brudforlængelse på 8 %.

En måling af største *trækkraft* under udtrækning med håndsving viste 245 N. Ved direkte træk med hånden i kablet målt kraften til 290 N. Det viser at strømpesnoren ikke kan trækkes i stykker.

Den benyttede siliconeledning med 0,25 mm² kobberleder havde en trækstyrke på 73 ± 5 N. Den samme type ledning med 0,5 mm² kobberleder er lidt mindre smidig og tungere, men har en trækstyrke på 189 ± 5 N.

Det viser at 0,25 mm²-ledningen let kan forstrækkes og trækkes over hvis kablet sætter sig fast og må frigøres med et kraftigt træk.

Målepunkters lokalisering

Der er fire fejlkilder til unøjagtigheder i angivelsen af elektrodens lokalisering i røret:

- Strømpesnoren strækkes langs kablet. Denne strækning kan falde forskelligt ud.
- Hver gang et 10 cm-mærke på kablet passerer udgangstregen i plexiglasvinduet, skal indskylningslængden markeres på kurveudskriften af operatøren.
- Der kan optræde mindre længdeændringer som følge af de udtrækningskræfter der har været anvendt.
- Ved længdeidentifikation af rørstykker udtaget til undersøgelse af korrosion spiller usikkerheden på længdemarkeringen uden på det målte rør også ind.

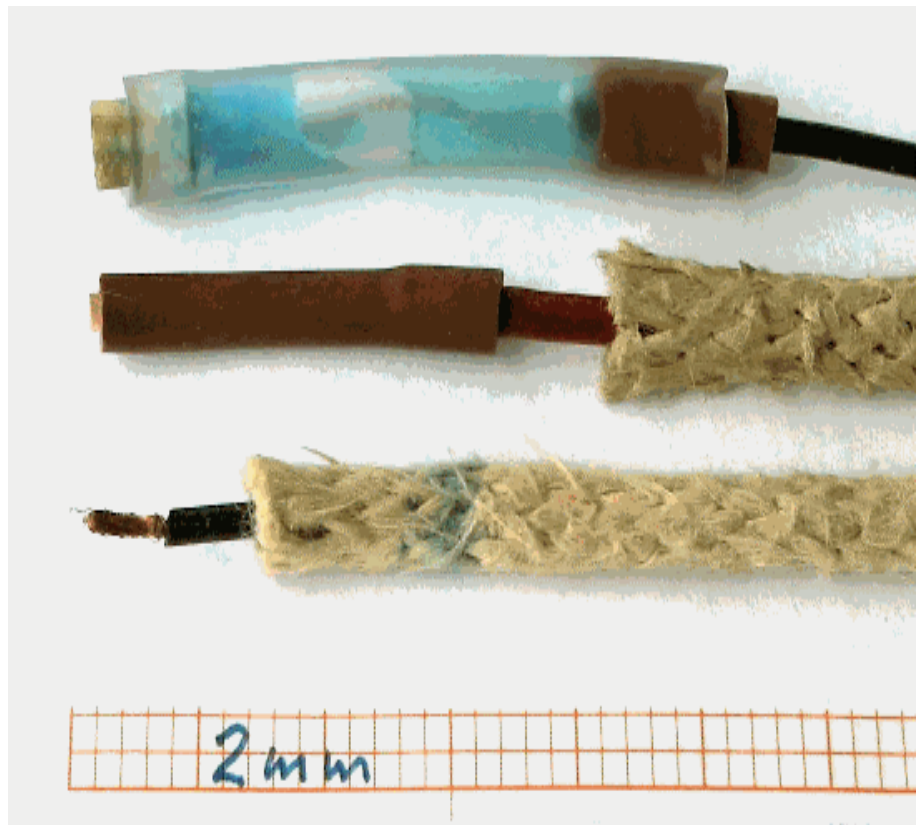
Feltmålingerne havde en usikkerhed på længdelokaliseringen i forhold til rørmærkerne på ± 10 cm. For laboratoriemålingerne var usikkerheden på længdelokalisering ± 3 cm.

Sammenligning af elektroder

Som måleelektrode til måling i galvaniserede koldtvandsrør er der som nævnt benyttet en afisoleret kobberleder, hvis potentiale i vand ikke var kendt.

Kobberelektrodens differenspotentiale i et nyt galvaniseret stålrør er derfor blevet sammenlignet med en stabil kobber/kobbersulfat referenceelektrode, med et grundpotentiale på -316 mV (målt ved 22° C overfor en standard hydrogenelektrode). Kobber/kobbersulfat referenceelektroden er beskrevet i (1).

I dette forsøg består kobber/kobbersulfat referenceelektroden af ledningens afisolerede kobberleder i mættet kobbersulfat inde i en kort fleksibel plastslange, der er lukket med en lille porøs træprop, som vist øverst i figur 2.



Figur 2. Fotografi af den kobber/kobbersulfat referenceelektrode (øverst) der er sammenlignet med den benyttede målelektrode af kobber (nederst). I midten ses et billede af en kobber/kobbersulfat referenceelektrode, med en størrelse og fleksibilitet, der skulle kunne bruges til indskylning. Størrelsesforholdet fremgår af målestokken med 2 mm tern.

Ved forsøg med skiftevis stillestående og strømmende vand i et nyt galvaniseret stålrør blev der, på samme sted, målt differenspotentialer mellem referenceelektroden af kobber/kobbersulfat og rørvæg - og mellem referenceelektroden og målelektroden af kobber.

Forsøget viste følgende:

- I *strømmende* vand har målelektroden af kobber et differenspotentialer over for rørvæggen, der efter tre minutter er stabilt ca. 85 mV mindre negativt end det tilsvarende differenspotentialer målt med referenceelektroden.
- I *stillestående* vand har målelektroden af kobber et differenspotentialer over for rørvæggen, der efter 20 minutter er stabilt ca. 60 mV mindre negativt end det tilsvarende differenspotentialer målt med referenceelektroden.
- Den benyttede kobberlektrode har således, efter de nævnte ventetider, et lige så stabilt halv-celle potentialer i 22 grader brugsvand som referenceelektroden.
- Målinger af differenspotentialer mellem referenceelektroden og det galvaniserede rør viste at *rørvæggens* halv-celle potentialer er ca. 20 minutter om at stabilisere sig ved skift mellem strømmende og stillestående vand, og rørvæggens potentialer er ca. 60 mV mere negativt i stillestående end i strømmende vand. Man kan derfor ikke forvente at måle samme potentialniveau i en rørstrækning under indskylning og under udtrækning i stillestående vand.

Potentialerne i dette forsøg er målt med en skriver med 1 G Ω indgangsmodstand i 1 V området, hvor (1) foreskriver mindst 10 M Ω . Ved samtlige øvrige målinger med indskylningsudstyret er der benyttet skrivere med en for lille indgangsmodstand på 1 M Ω . Det kan have bevirket, at den svage elektriske strøm i målekredsen har polariseret måleelektroden mærkbart, så dens halvcelle potentiale ikke er konstant over tiden.

En foreløbig konklusion, der kun bygger på få forsøg, er:

- at der, for sammenlignelighedens skyld, skal benyttes samme elektrodemateriale i fremtidige praktiske undersøgelser
- at kobber er velegnet i alle de tre normale rørtyper - galvaniseret stål, kobber og rustfrit stål - hvis man venter med måling til elektroden har opholdt sig mindst 20 min. i strømmende vand i røret med skriveren tændt, og hvis man før hver måleserie renser elektroden for ir med fortyndet saltsyre
- at en indskyllelig, fleksibel minielektrode, udformet som kobber/kobbersulfat elektrode, vil være mere stabil end kobberelektroden.

Grænser for indskylning og udtrækning

Der er udført laboratorieforsøg med det beskrevne indskylningsudstyr og målekabel for at finde de praktiske begrænsninger for indskylning og udtrækning.

Hvis kablet sætter sig fast et ukendt sted inde i rørsystemet, og ikke kan trækkes eller skylles ud, risikerer man en dyr og langvarig operation med adskillelse og gennemskylning af en større del af anlægget. Det vil i givet fald være uforsvarligt at benytte metoden.

En hygiejnisk og sikker *indskylning* forudsætter både en vandhastighed på mindst 1 m/s i den største rørdimension og en dertil passende lav indføringshastighed, af størrelsesordenen 2 cm/s, så kablet holdes udstrakt og ikke danner knuder. Overholdes disse to kriterier, er det i praksis kun kablets længde der bestemmer, hvor langt det kan skylles ind.

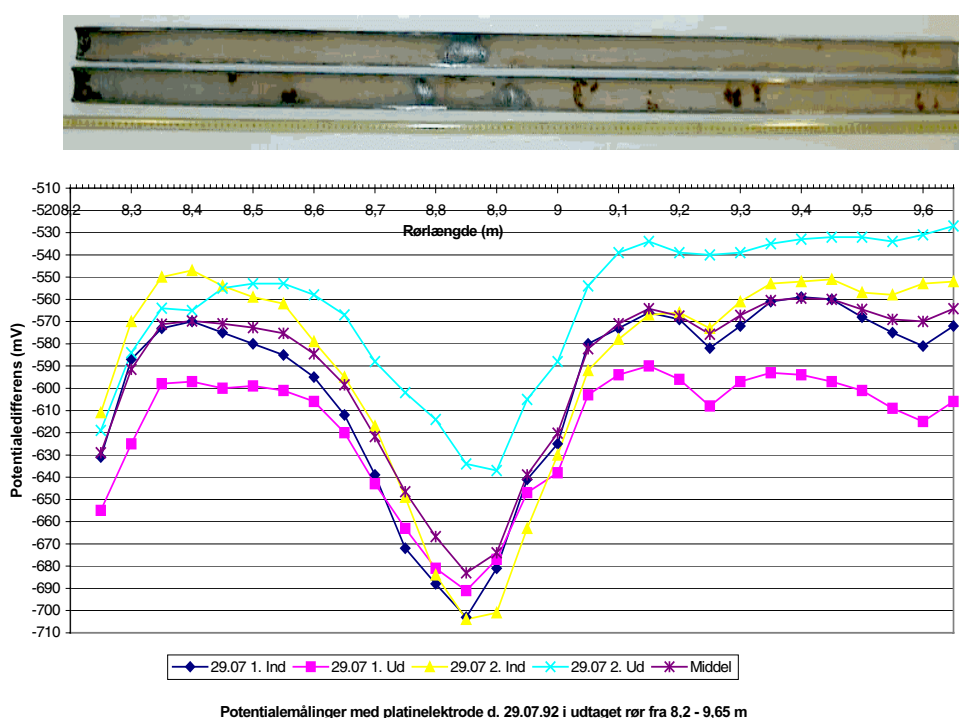
Det er derfor mulighederne for at kunne trække hele kablet uskadt ud igen med håndsvinget på kabeltromlen - eller med en elmotor - der afgør hvor mange retningsændringer målestrækningen kan have.

Erfaringerne fra *udtrækningsforsøg* med det beskrevne udstyr var:

- Udtrækning med håndsving *under fuld vandstrøm* er kun mulig efter *højest 4 retningsændringer*.
- Udtrækning af kablet med håndsving *i stillestående vand, eller i vand med højest 0,3 m/s*, er kun mulig efter *højest 7 retningsændringer*.
- Udtrækning *med direkte træk i kablet* ved indskylningspunktet er kun mulig efter *højest 8 retningsændringer*, men det kræver adskillelse i en lynkobling. Under praktiske forhold vil operationen medføre tømning af den undersøgte rørsektion, og hvis kablet fx kommer i kontakt med et snavset kældergulv, er der risiko for forurening af kablet.
- Kablet har tilbøjelighed til at kile sig fast på trissen, når der trækkes ud med størst mulig kraft med håndsvinget, hvorefter kablet ved næste forsøg ikke kan trækkes ind af vandstrømmen uden at være hjulpet fri af kabeltromlen med håndkraft.

Måling i SBI's koldtvandsrør

Før indskylningsudstyret blev udviklet, blev der på SBI udført EKP-målinger i en 20 år gammel, 25 mm galvaniseret vandret koldtvandsledning, der forsyner en række lidet benyttede baderum og toiletter. Målingerne blev foretaget med en platinbelagt måleelektrode der blev skubbet ind i det vandfyldte rør, og potentialet blev målt med voltmeter for hver 5 cm. Her fandt man et stykke inde en strækning med en enkelt stort negativt potentiale omgivet af markante kurvegradierter. Dette stykke blev udtaget, målt igen i laboratoriet og derefter opskåret og undersøgt for belægninger og tæringer. Opskæringen viste en tynd kalkbelægning uden korrosion overhovedet, men med spredte tæringer dækket af porøse rustaflejringer hvor kurven lokalt har størst negativt potentiale. Inden for det største negative kurveudslag fandtes tre isolerede kraftige grubetæringer på 1,5 til 2 mm med aktiv korrosionen. Rørstykket har punktvis kun ca. 1 mm godstykkelse tilbage og burde straks udskiftes. Sammenstillingen af potentialebilledet og det opskårne rør med korrosion er vist nedenfor i figur 3 og 4.



Figur 3. Øverst ses det opskårne rør med tynd kalkbelægning og spredte korrosionsangreb. Nederst ses potentialekurverne, med det største negative potentiale hvor korrosionsangrebet er størst med tre grubetæringer fra 8,72 - 8,93 m (se foto i figur 4).



Figur 4. Forstørret billede af den del af røret, fra 8,72 - 9,93 m, der har størst negativt potentiale. Øverst ses de porøse rødlige rustbelæggninger, og nederst er belæggningerne fjernet, så man kan se tre dybe grubetæringer i afstanden 8,75, 8,79 og 8,89 m.

Måling i boligblok i Rødbyhavn

Den udviklede prototype af indskylningsudstyret blev afprøvet under normale feltforhold i en fire etagers boligblok fra 1962 i Rødbyhavn. Den målte koldtvandsstrækning og den tilliggende varmtvandsstrækning blev nedtaget for efterfølgende laboratiormålinger af potentialedifferens og sammenlignende destruktive undersøgelser af korrosionstilstanden.

Som indskylningspunkt benyttedes en 15 mm aftapningsstuds (med påskruet kuglehane og lynkobling) placeret lige efter afspærringsventilen til den undersøgte koldtvandsstigstreng.

Som udskylningspunkter benyttedes på hver etage den sidste 15 mm vinkel før opføringen til blandingsbatteriet for bruser og håndvask. Armaturet blev fjernet for at få størst mulig vandhastighed.

Før målingerne begyndte blev der tegnet et rørdiagram med opmålte længder. Under indskylningen er det vigtigt at kende afstanden fra plexiglasrørets udgangsmærke til alle afgreningspunkter, hvor kablets trækdisk har sværest ved at lede kablet ind i sidegrenene. Måleelektroden skulle kun passere fem retningsændringer frem til udskylning i badeværelserne, hvor laboratorieforsøgene viste at udtrækning skulle være mulig forbi syv retningsændringer.

Før indskylningen begyndte lukkedes strengventilen før indskylningspunktet samt alle udløb, med undtagelse af det ene hvortil elektroden ønskes skyllet frem. Vand til indskylning blev taget fra en koldtvandsstigstreng i nærheden.

Derefter åbnedes ventilen på koldt vandstilgangen til flowmeter og indfø-
ringsudstyret helt, og det opnåelige flow noteredes.

I de foreliggende målinger varierede vandhastigheden i det største 25 mm
rør mellem 0,75 og 0,85 m/s, hvilket var mindre end den hastighed på ca. 1
m/s der tidligere er fundet giver sikkerhed for indskylning af kablet. Det
havde været muligt at øge vandhastigheden ved supplerende at åbne for
strengventilen før indskylningspunktet, men denne mulighed blev desværre
ikke forsøgt i de foreliggende undersøgelser.

Under indskylningen prioriteredes en sikker indføring højere end en
jævn indføringshastighed og markering ved samtlige afstandsmærker.

Under udtrækningen var der lukket for vandet, og der blev forsøgt op-
retholdt en jævn udtrækningshastighed med markering af elektrodens pla-
cering for hver 20 cm.

Resultater fra feltforsøgene

Indskylning frem til bad på 2. sal lykkedes ved hjælp af korte tilbagetræk-
ninger, men vandhastigheden på ca. 0,8 m/s burde, som tidligere erfaret,
have været mindst 1 m/s i den største rørdimension. Også indføringshastig-
heden på ca. 5 cm/s var for høj og for ujævn, hvor den burde have været
2 cm/s.

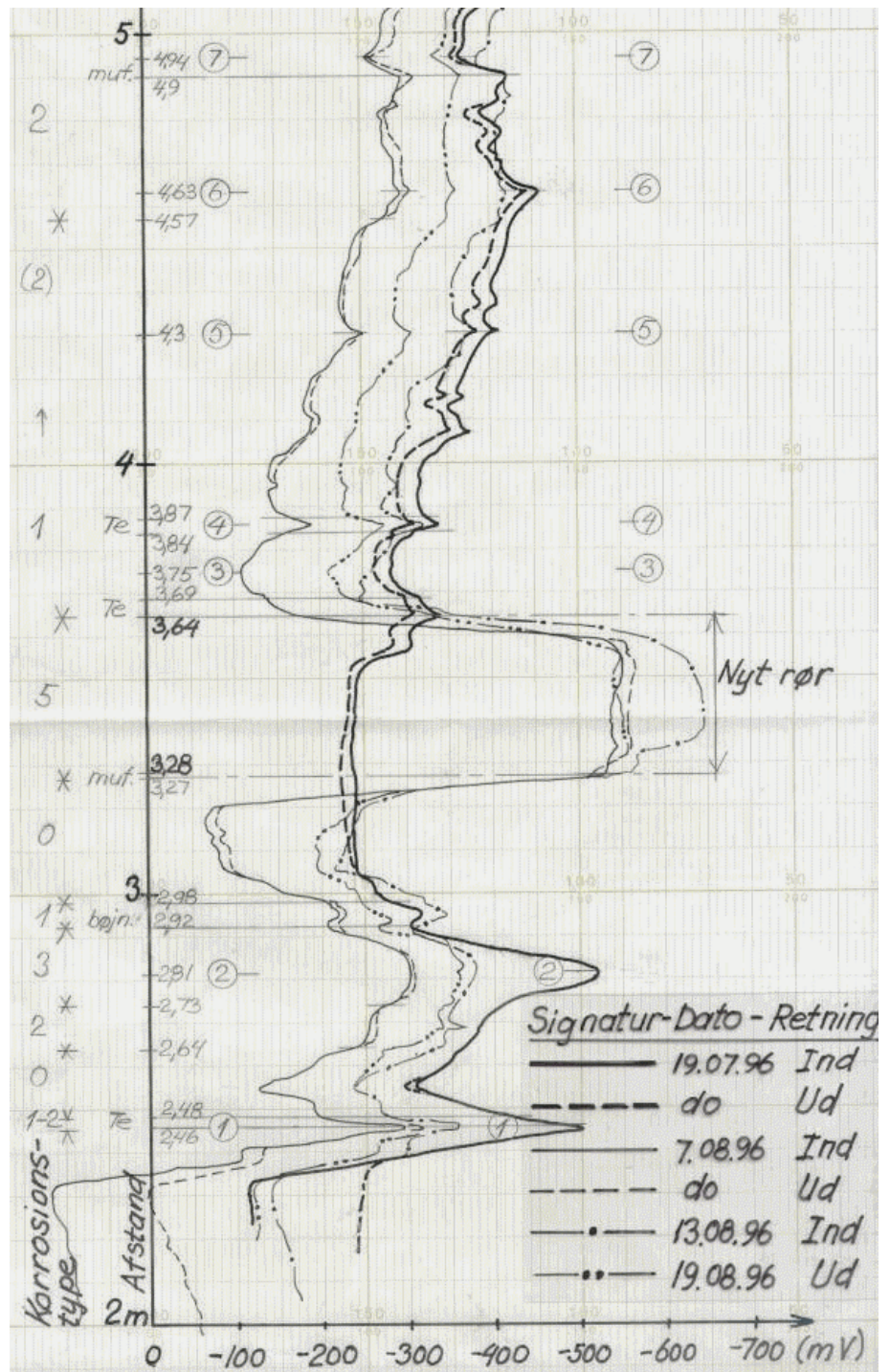
Indskylningsoperationen kunne kontrolleres ved at observere om poten-
tialekurven og fald i flowet viste tegn på fastsiddende og opskudt måleka-
bel. Ved at sammenligne kurveformerne for indskylning og udtrækning,
kunne det på stedet straks kontrolleres om målingen var lykkedes.

De gentagne målinger af samme strækning på stigstrengen viste at må-
lemetoden er repeterbar. Målekurverne viste både strækninger med store
gradienter og relativt store niveauforskelle. Den afsluttende destruktive
undersøgelse skulle vise om der her var aktive korrosionsangreb, eller om
strækninger med store negative potentialer kunne skyldes passiverede
zinklag.

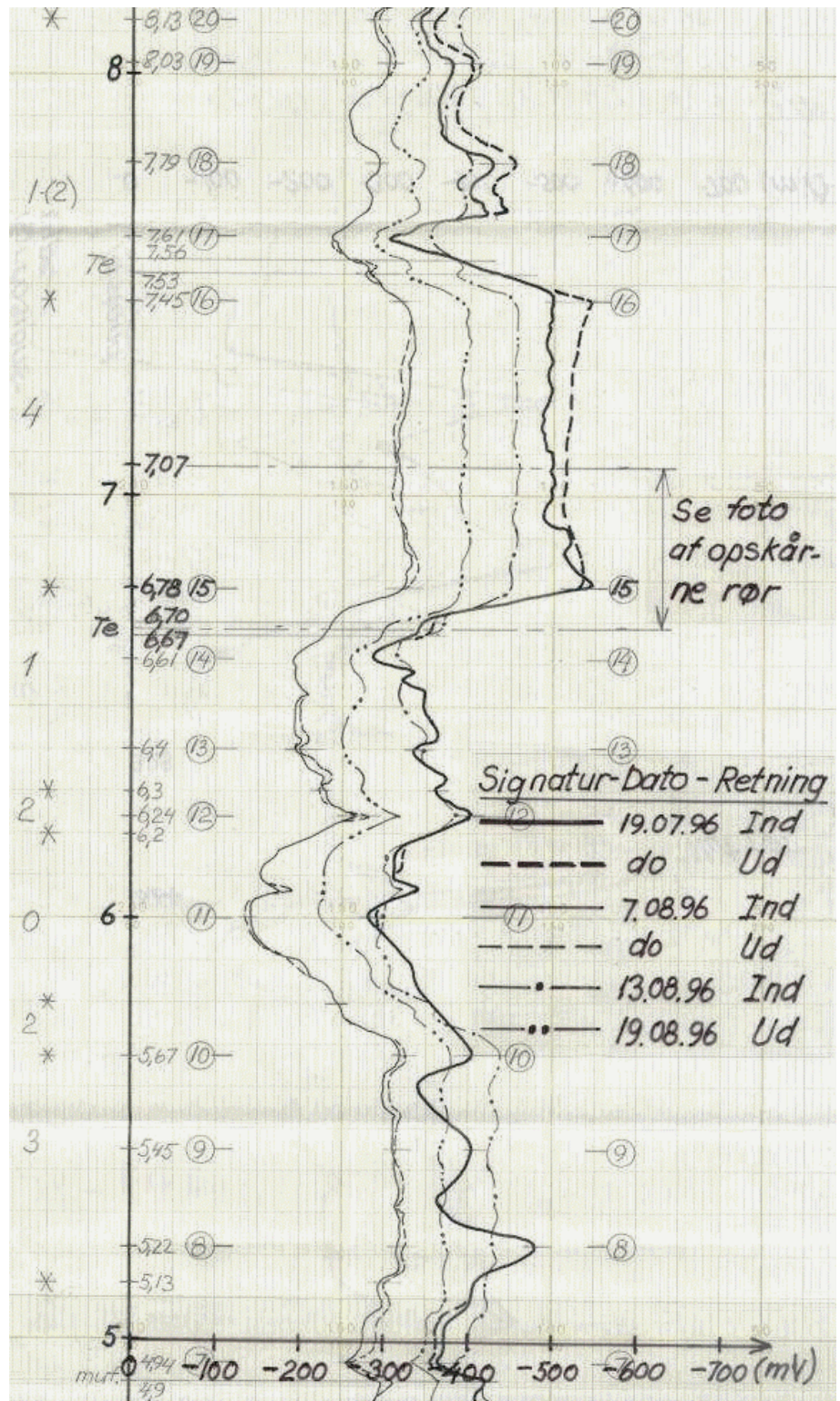
Reproducerbarhed af målinger

Målemetodens reproducerbarhed og udviklingen i rørenes korrosionsakti-
vitets over tid blev undersøgt gennem en serie laboratoriemålinger af diffe-
renspotentialet i det retablerede koldt vandssystem. Til sammenligning er
feltmålingen den 19.07 af stigstrengen frem til 2.sal, sammen med laborato-
riemålinger den 17., 13. og 19.08, overført til samme kurveblad, som vist
neden for på figur 5 og 6.

De gentagne målinger viser at målingerne i felten og i laboratoriet giver
samme kurveform, med undtagelse af et udskiftet rørstykke fra 3,28 - 3,64 m
(figur 5) og pkt. 8 i afstand 5,22 m (figur 6), men målekurverne er parallel-
forskudt på en usystematisk måde. I den forstand vurderes målemetoden at
være reproducerbar.



Figur 5. Udsnit af potentialledifferenskurver i koldtvandsstigstreng fra indskylningspunkt i kælder (afstand 2,46 m) til afstand 5 m. Et nyt galvaniseret rør, fra 3,28 - 3,64 m, er indsat til erstatning mellem den 19.07 og 7.08.96. Som forventeligt findes det største negative potentiale her.

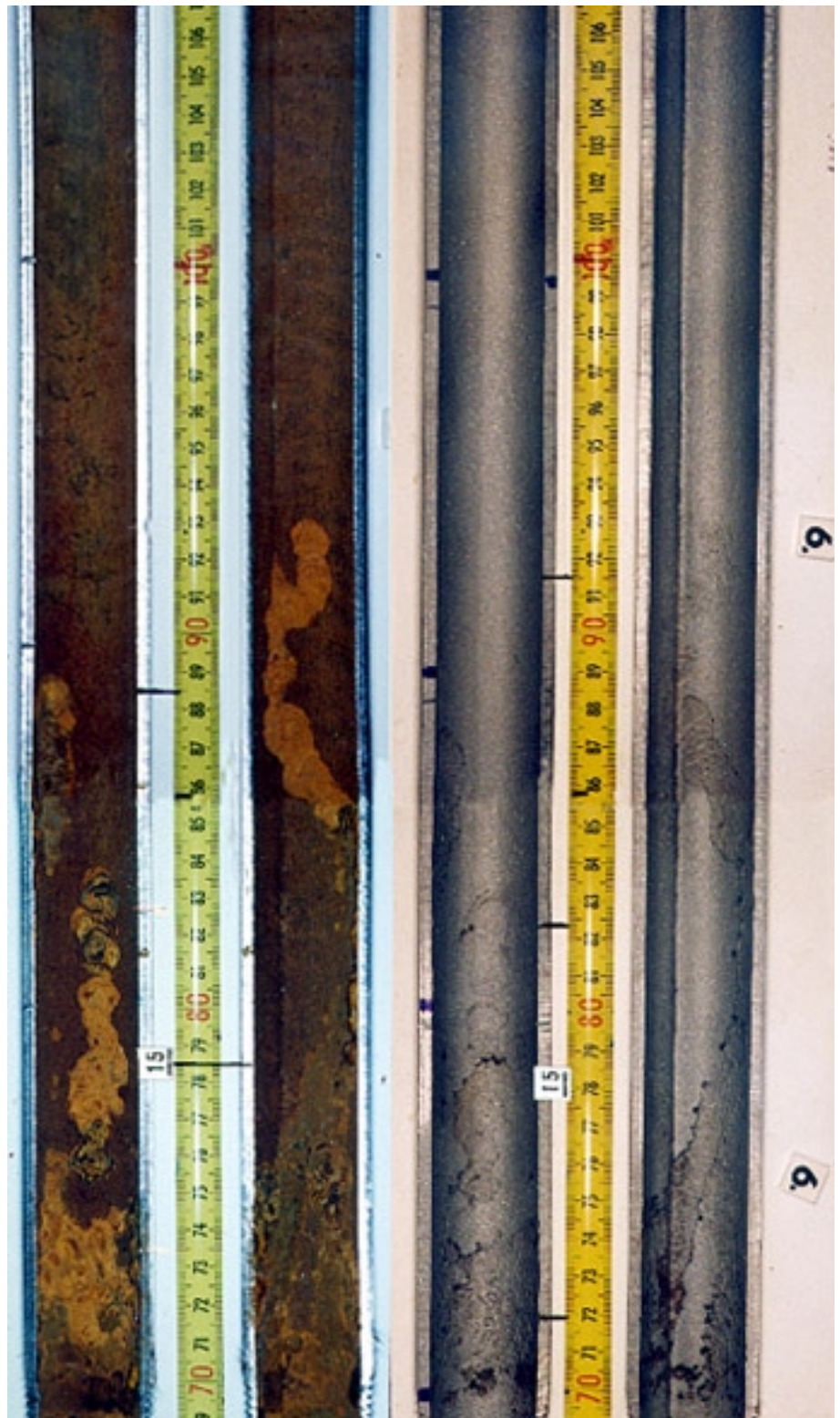


Figur 6. Udsnit af potentialedifferenskurver i koldtandsstigstreng for afstand 5 - 8 m. På strækningen fra 6,78 - 7,45 m har alle kurverne et ensartet stort negativt potentiale. På kurven er markeret den overgangsstrækning fra 6,79 - 7,07 m, med den største potentialegradi- ent, der er vist opskåret i figur 7.

Destruktiv korrosionsundersøgelse

Efter afslutning af potentialemålingerne blev samtlige koldtandsrør fra Rødbyhavn skåret op på langs, og belægningerne blev fotograferet og vurderet. For at se tæringerne i rørene, opstået i løbet af 34 års drift, blev rørene sandblæst og fotograferet igen.

I figur 7 vises et sammensat fotografi af rørstrækningen, fra 6,69 til 7,07 m, indeholdende punkt 15, hvor kraftig, lys belægning med udbredt underliggende gammel tæring af ringe dybde afløses af en 70 cm lang strækning med tynd, mørk belægning uden tæringsangreb, men med ensartet differenspotentialer der er ca. 200 mV mere negativt end nabostrækningerne.



Figur 7. Fotografi af opskårne rør fra 6,69 m til 7,07 m før og efter sandblæsning.

Sammenligning af EKP-målinger og korrosion

En sammenligning af samtlige felt- og laboratoriemålte potentialedifferenskurver for strækningen frem til udskylningspunkt på 2. sal viser at:

- Kurveformen er den samme for samtlige målinger, mere eller mindre udjævnet.
- Det generelle niveau for kurverne varierer usystematisk over tid, med feltmålingens potentiale som det mest negative og den første laboratoriemåling som den mindst negative.
- De mindst negative potentialer findes hvor der tidligere har været mest udbredt tæring, men hvor de tætte belægninger nu beskytter rørvæggen mod yderligere tæring.
- De mest negative potentialer med de største potentialegradier i røret er de steder hvor det er mest sandsynligt at finde aktive korrosionsangreb. Sådanne områder findes ved pkt. 2 i 2,81 m (figur 5), pkt. 15 i 6,78 m og ved pkt. 16 i 7,45 m (figur 6). Først efter udtagning og opskæring kunne det ses (figur 7) at der her, efter 34 år, stadig er områder tilbage med et passiveret zinklag der virker som offeranode med højt negativt potentiale. Det samme forhold fandtes i det yderste af sidegrenene, hvor belægningen var særlig tynd og uden rust.
- Sammenfattende kan det konstateres om dette anlæg, at selv om potentialekurverne tydede på igangværende korrosion, så viste de destruktive undersøgelser, at korrosionen sker så langsomt, at rørsystemet må vurderes som holdbart i endnu mange år.

Laboratorieundersøgelser af varmtvandsrør fra Rødbyhavn

Der er udført laboratoriemålinger af differenspotentialer i de retablerede galv. varmtvandsrør nedtaget fra Rødbyhavn, og til sammenligning er der lavet endoskopundersøgelser af de adskilte rør.

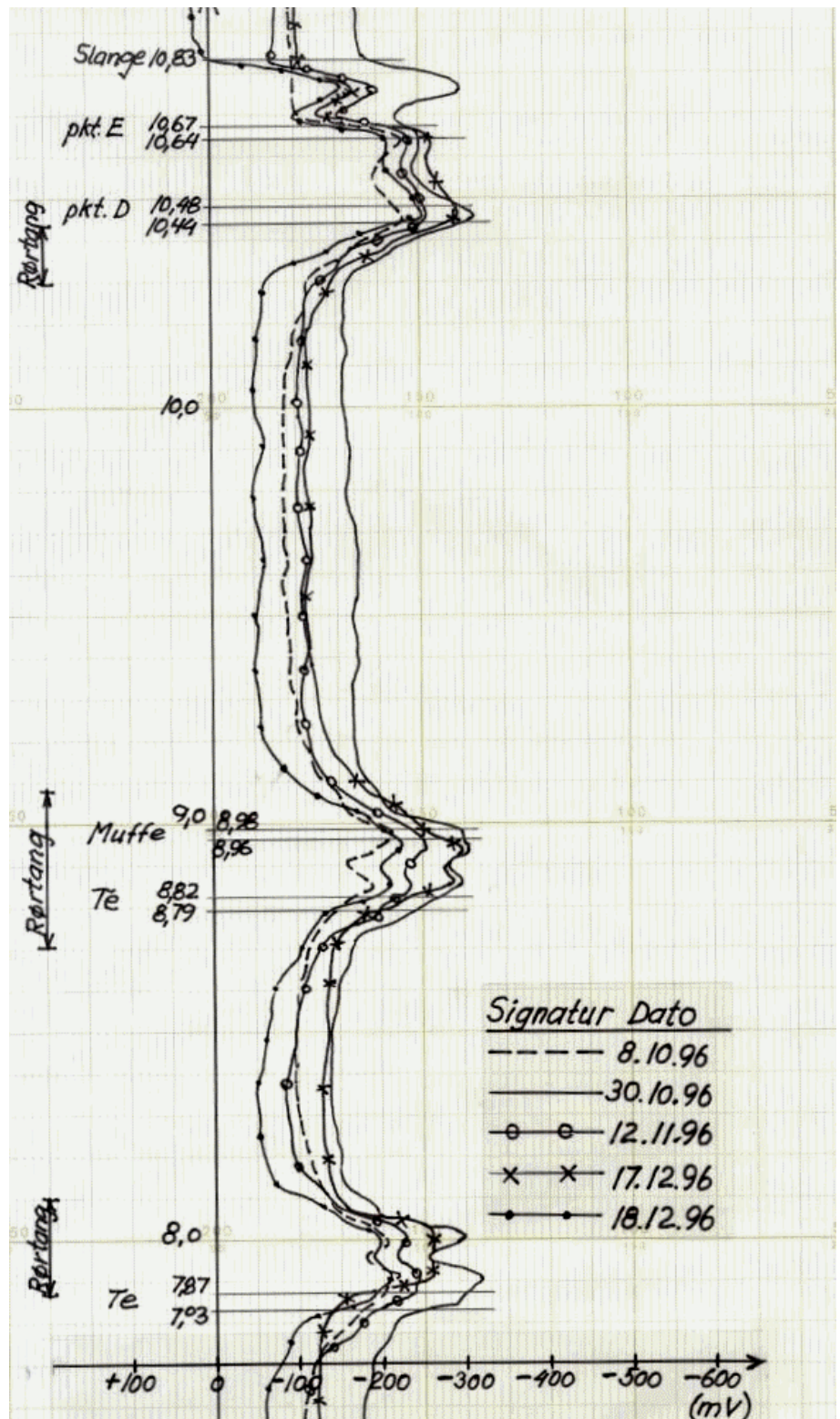
Formålet med undersøgelserne var at få et indtryk af potentialebilledet i et gammelt varmtvandssystem der altid har været beskyttet med elektrolyse.

Måling af differenspotentialer

På figur 8 ses stigstrengens potentialedifferenser, fra 1. sal til udløb efter 2. sal. Som måleelektrode benyttedes et lille guldbelagt el-stik loddet til kablets leder. Denne elektrode har et halv-celle potentiale der er ca. 50 mV mindre negativt end kobberelektrodens.

Da varmtvandsrørene i hele deres levetid har været beskyttet med elektrolyse, viser potentialekurverne generelt et ensartet lavt negativt niveau, med undtagelse af de steder hvor beskyttelseslaget inde i rørene er skallet af på grund af klemning med rørtang og bukning under nedtagningen. Til venstre på kurvebladet er markeret hvor der udvendigt var kraftige mærker efter rørtang og deformationer fra nedtagning og retablering. Rørene har været tømt og udtørret i pauserne mellem forsøgene

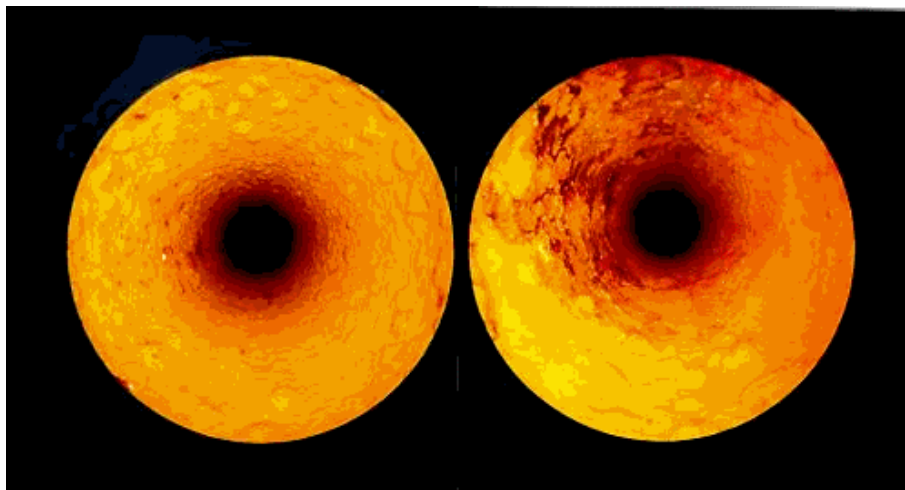
Kurveformerne er de samme for de gentagne forsøg, men niveauet varierer usystematisk.



Figur 8. Flere potentialemålinger i varmtvandsstigning vist på samme kurveblad

Endoskopundersøgelse

Ved en endoskopundersøgelse konstateredes tydelig afskalning samtlige steder hvor det kunne forventes iflg. kurverne på figur 8 og de udvendige mærker fra rørtangen.



Figur 9. To endoskopfotografier optaget fra afstand 10,3 m (tv.) og 10,4 m (th.) i retning mod 10 m. Tv. ses den uforstyrrede belægning og th. afskalningerne, der har bevirket de lokalt mere negative differenspotentialer, jf. figur 8.

Konklusion

De udførte laboratorieforsøg og undersøgelsen af potentialer og korrosion i koldt- og varmtvandssystemerne fra en boligblok i Rødbyhavn har vist at EKP-målemetoden, med indskylning under drift af et langt kabel med en måleelektrode af kobber, er praktisk mulig med overholdelse af nogle få forsigtighedsregler og at der opnås reproducerbare resultater. Metoden er velegnet til at indkredse kritiske rørstrækninger i et rørsystem. Dermed bliver der mulighed for at udpege de rørprøver der skal udtages til nærmere analyse af korrosionstilstanden. Det vil give en øget pålidelighed ved vurdering af hele systemets tilstand.

På den anden side står det klart at indskylningsudstyret skal forbedres med henblik på opnåelse af en jævn hastighed af kablet, og de opnåede praktiske forsøgsresultater er trods alt begrænsede.

Erfaringerne med potentialer og måling bør udvides ved undersøgelser i flere anlæg, udført og analyseret af specialister, for at lære at lokalisere og diagnosticere korrosionstilstande på et bredt erfaringsgrundlag. Før en sådan opfølgende undersøgelse er udført og rapporteret, er det for tidligt at anbefale en almindelig anvendelse af elektrokemiske potentialmålinger til eftersyn af vandinstallationers korrosionstilstand og holdbarhed.

Referencer

- (1) ASTM Standard C876 - 91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- (2) ASTM Standard G3 - 89 (1994): Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.

Summary

SBI Bulletin 333: *Electrochemical potential measurements for corrosion testing of water supply installations*

This bulletin describes the development and testing performed by SBI of a method and test equipment for electrochemical potential measurement, ECP measurement, in metal tubes filled with water in order to localise corrosion attacks in progress.

The ECP method was developed for use in water supply installations and tested in practice with good results in two buildings with galvanised steel tubes. The test showed reproducible measurements with a detailed contour map of potential level and potential gradients in long measurements sections, and good correspondence with the corrossions and coatings that were found after cutting up the tubes.

The ECP method can also be used for localising electrochemical potential gradients in stainless steel tubes and copper tubes in domestic water installations, but the method cannot detect turbulence corrosion in copper tubes.

The requisite experience in interpreting registered contour maps of immediate galvanic difference potentials along tubes will provide an improved basis for performing condition surveys. Only after further tests of the method in different installations will it be possible to assess whether the method can be used alone or if it will have to be supplemented with destructive investigations of corrosion.

The bulletin compiles the most important results of the project documented in an internal SBI test report. Interested parties may order the test report for closer assessment of the possibilities of the method - and may consider participating in a collaboration to gather more adequate experience about the applicability of the method and further development of the measuring equipment.

Korrosionsangreb i kobber- og stålør i brugsvandsanlæg forekommer ofte, men i de fleste tilfælde registreres angreb først efter, at der er sket gennemtæring af rørene.

I denne meddelelse beskrives SBI's udvikling og afprøvning af en metode og et prøvningsudstyr til elektrokemisk potentialemåling (EKP-måling) i vandfyldte metalør med henblik på lokalisering af igangværende korrosionsangreb.

EKP-metoden er udviklet til brug i vandinstallationer og afprøvet i praksis i to bygninger med galvaniserede stålør med godt resultat.