

**Rapport**

**R 23:1971**

**Erosionskorrosion  
i vattenledningar  
av kopparör**

**Lage Knutsson**

**Einar Mattsson**

**Bengt-Eric Ramberg**

**Byggforskningen**

# Erosionskorrosion i vattenledningar av kopparrör

Lage Knutsson, Einar Mattsson & Bengt-Eric Ramberg

Sambandet mellan erosionskorrosion i kopparrör för vattenledningar och olika drifts- och installationsförhållanden är för närvarande ofullständigt känt.

Enligt nuvarande dimensioneringsregler anges, vid tekniskt lämplig utformning, 1,5 m/s som högsta tillåtna hastighet vid varaktig strömning i kopparrör. För intermittert strömning finns ännu inga riktvärden. Det påvisas i rapporten att man i många fall, där vattenkvalitet och strömningshastighet är kända, kan utnyttja avsevärt högre vattenhastigheter än vad man tidigare ansett vara möjligt.

Undersökningen redovisar resultat från försök med både varaktig och intermittert strömning vid olika rördimensioner, pH-värden, temperaturer

och syreförhållanden. Resultaten torde kunna läggas till grund för dimensioneringsregler.

Vattenledningar av kopparrör kännetecknas i allmänhet av god korrosionshårdighet. Under ogynnsamma driftsförhållanden kan emellertid, på grund av för hög strömningshastighet hos vattnet, erosionskorrosion uppkomma med genomfrätning som följd. Frätgropar som bildats genom erosionskorrosion är ofta underskurna i strömningens riktning (se FIG. 1). Angreppen är företrädesvis lokaliserade till sådana ställen där strömningen är störd, såsom vid olämpligt utförda påstick, kopplingar eller böjar.

Undersökningen har utförts i spe-

## Byggforskningen Sammanfattningar

R23:1971

Nyckelord:

erosionskorrosion, kopparrör, vattenlaboratorieprov (vatten), varaktig strömning, intermittert strömning, rördimension, pH-värde, temperatur, syrehalt

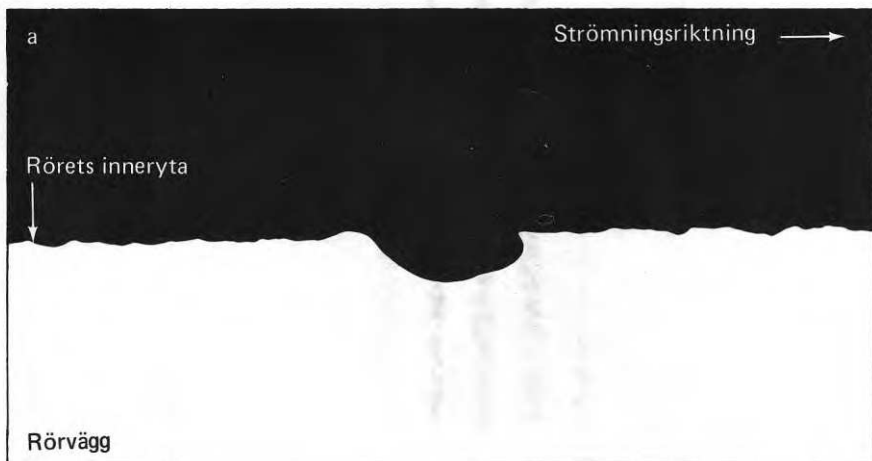


FIG. 1. Tvärsnitt genom erosionskorrosionsangrepp i prov av dimensionen 6/4 mm exponerat för luftmättat vatten med strömningshastigheten 12 m/s, 65°C och kontinuerlig strömning a) pH 8, b) pH 6,5. Förstoring 100 gånger.

Rapport R23:1971 avser anslag D 455 från Statens råd för byggnadsforskning till docent Einar Mattson, Gränges Essem, Finspång.

UDK 620.193.1  
696.11  
621.643.24  
SfB Ih5

Sammanfattning av:

Knutsson L, Mattsson E, & Ramberg B-E, 1971, *Erosionskorrosion i vattenledningar av kopparrör*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R23:1971, 29 s., ill. 10 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60

Abonnemangsgrupp

(i) installationer

ciellt tillverkade provningskretsar av konventionella VVS-rör i SIS 145015. För klarläggande av rördimensionens inverkan har tre olika dimensioner, 6/4, 16/14 och 28/25 mm, ingått i undersökningen. Inverkan av vattenströmningens varaktighet har studerats vid strömning som varat 100 %, 74 %, 25 % resp. 1 % av den totala försökstiden som var ett år. Den högsta provade strömningshastigheten hos vattnet var 12 m/s och den lägsta 0,5 m/s. Två olika vattentyper har använts, dels ett vatten med relativt högt pH-värde (pH 8), dels ett med relativt lågt (pH 6,5). Vattentemperaturens inverkan undersöktes vid temperaturerna 30°, 65° och 90°C. För klarläggande av betydelsen av vattnets syrehalt utfördes försök dels med luftmättat vatten, dels med avluftat vatten.

Vid bedömningen av resultaten har som högsta tillåtna hastighet angivits

den hastighet vid vilken inga tydliga angrepp av typ erosionskorrosion iakttagits efter provning under ett år vid väldefinierade laboratorieförhållanden. Vid installation i praktiken skall en lämplig säkerhetsfaktor införas. Mot bakgrund av detta kriterium medger undersökningen följande slutsatser:

– I syrehaltigt vatten med måttlig korrosivitet (pH 8) och varaktig strömning var den högsta hastighet som ej gav erosionskorrosion i klena rör (6/4 mm), 3 m/s vid 65°C och 6 m/s vid 30°C.

– Vid intermittert strömning (< 25 % av totala tiden) av nämnda vatten uppkom ingen erosionskorrosion (oberoende av temperatur) vid en så hög hastighet som 12 m/s.

– För syrehaltigt vatten med högre korrosivitet (pH 6,5) och varaktig

strömning måste hastigheten hållas lägre, för hastigheter över 1 m/s erhöles angrepp vid 65°C.

– För syrefattigt vatten, t.ex. i värmeledningssystem kan i klena rör (6/4 mm) accepteras högre strömningshastighet, sålunda erhöles inga angrepp vid 12 m/s och pH 8.

– Klana rör (6/4 mm) medger något högre strömningshastighet än grövre ( $\geq$  16/14 mm).

– Ingen skillnad har kunnat fastställas i fråga om erosionskorrosionshårdigheten mellan glödgat och helhårt material.

– Skarvar av typ uppdownat rör medför vid hög strömningshastighet mycket större erosionskorrosionsrisk än kapillärlödskarvar.

# Erosion corrosion in copper water tubing

Lage Knutsson, Einar Mattsson  
& Bengt-Eric Ramberg

## National Swedish Building Research Summaries

R23:1971

The relationship between erosion corrosion in copper tubes for water service and various types of operating and installation conditions is at present insufficiently known.

Present dimensioning rules state, at technically suitable designs, 1.5 m/s as the highest permitted velocity at a continuous flow in copper tubes. For intermittent flow there are not yet any guiding values. It is shown in the report that in many cases, where the quality of the water and the flow velocity are known, considerably higher flow velocities can be used than has been considered possible earlier.

The investigation accounts for results of tests with both continuous and intermittent flows at various tube dimensions,

pH-values, temperatures and oxygen conditions, which ought to be able to form a basis for dimensioning rules.

Water-pipes of copper are usually characterized by good corrosion resistance. Under unfavourable running conditions, however, erosion corrosion may appear with the result of a through corrosion because of a too high flow velocity of the water. Corrosion cavities caused by erosion corrosion are often undercut in the direction of the flow (see FIG. 1). The attacks are especially located to such places where the flow is disturbed, such as inappropriately done arborization, couplings or bends.

The investigation has been done in specially manufactured testing circuits

Key words:

erosion corrosion, copper tube, water laboratory experiment (water), continuous flow, intermittent flow, dimension of tube, pH-value, temperature, oxygen content

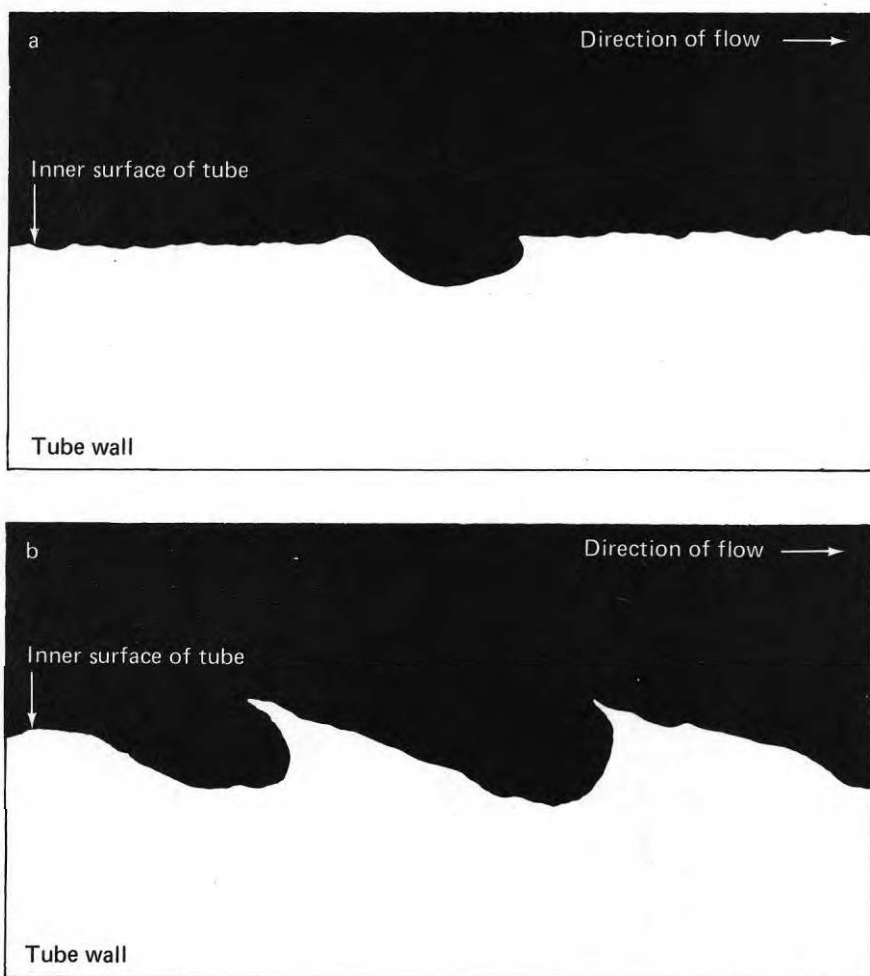


FIG. 1. Cross cut of erosion corrosion attack on test of the dimension 6/4 mm, exposed to aerated water with a flow velocity of 12 m/s, 65°C and continuous flow a) pH 8, b) pH 6,5. Magnified 100 times the size.

Report R23:1971 was supported by Grant D 455 from the Swedish Council for Building Research to Einar Mattsson, Gränges Essem, Finspång.

UDC 620.193.1  
696.11  
621.643.24  
SfB Ih5

Summary of:

Knutsson L, Mattsson E, & Ramberg B-E, 1971, *Erosionskorrosion i vattenledning av kopparrör*. Erosion corrosion in copper water tubing. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R23:1971, 29 p., ill. 10 Sw. Kr. The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

made by conventional heating, water and sanitation tubes, SIS 14 50 15. For the clarification of the influence of the dimensions of the tubes, three different dimensions 6/4, 16/14 and 28/25 mm have been included in the investigation. The influence of the duration of the water flow has been studied at flows with a duration of 100%, 74%, 25%, respectively 1% of the total time of the investigation which amounted to one year. The highest flow velocity of the water tested was 12 m/s and the lowest 0,5 m/s. Two different types of water have been used, partly water with a relatively high pH-value (pH 8), partly with a relatively low pH-value (pH 6.5). The influence of the water temperature was investigated at the temperatures 30°C, 65°C and 90°C. For a clarification of the importance of the oxygen proportion of the water, tests were made partly with aerated water and partly with water poor in oxygen.

In judging the results, the highest velocity at which no evident erosion corrosion attack has been observed after testing for one year in welldefined laboratory condition, is given as the highest allowable velocity. For installation in practice, a proper safety margin should be introduced. With this criterion in mind the investigation admits these conclusions:

— For aerated water with moderate corrosivity (pH 8) and continuous flow, the maximum flow velocity not giving erosion corrosion was 3 m/s at 65°C and 6 m/s at 30°C in small diameter tubes (6/4 mm).

— At intermittent flow (< 25% of the total time) of the water mentioned above, a flow velocity as high as 12 m/s did not give erosion corrosion (independent of temperature).

— For aerated water with a higher corrosivity (pH 6.5) and continuous flow, the velocity must be kept lower, for velocities over 1 m/s attack was obtained at 65°C.

— For water poor in oxygen, e.g. in central heating systems, higher flow velocities can be acceptable, thus 12 m/s did not cause attack in small diameter tubes (6/4 mm) at pH 8.

— Small diameter tubes (6/4 mm) admit higher flow velocity than larger ( $\geq$  16/14 mm).

— No difference in erosion corrosion resistance between annealed and hard-drawn copper tubes has been observed.

— Flare joints are much more liable to cause erosion corrosion at high water flow velocities than joints with capillary fittings.

Rapport R23:1971

EROSIONSKORROSION I VATTENLEDNINGAR AV KOPPARRÖR

EROSION CORROSION IN COPPER WATER TUBING

av Lage Knutsson, Einar Mattsson & Bengt-Eric Ramberg

Denna rapport avser anslag D 455 från Statens råd för byggnadsforskning till docent Einar Mattsson, Gränges Essem, Finspång. Författare är Lage Knutsson, Einar Mattsson & Bengt-Eric Ramberg. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.





## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

CAPTIONS . . . . .	4
INLEDNING . . . . .	5
1 BAKGRUND . . . . .	6
2 FÖRSÖKSPLAN . . . . .	7
3 UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE . . . . .	9
3.1 Provmaterial . . . . .	9
3.2 Provanordningar . . . . .	9
3.3 Vattentyper . . . . .	11
3.4 Kontroll av driftsbetingelser . . . . .	11
3.4.1 Vattnets strömningshastighet . . . . .	11
3.4.2 Vattentemperatur . . . . .	14
3.4.3 Vattenkvalitet . . . . .	14
4 UNDERSÖKNINGSRESULTAT . . . . .	17
5 DISKUSSION . . . . .	24
5.1 Samband mellan erosionskorrosion och vattnets pH-värde	24
5.2 Samband mellan erosionskorrosion och vattentemperatur	24
5.3 Samband mellan erosionskorrosion och vattnets syrehalt	24
5.4 Samband mellan erosionskorrosion och strömningens varaktighet . . . . .	25
5.5 Samband mellan erosionskorrosion och rördimension . .	25
5.6 Samband mellan erosionskorrosion och rörmaterialets hårdhetstillstånd . . . . .	25
5.7 Samband mellan erosionskorrosion och installationsförhållande . . . . .	27
6. SLUTSATSER . . . . .	28



## CAPTIONS.

FIG 1. Carrying out the investigation of tubes.


FIG 2. Principle outline of testing circuit.  tube test.

FIG 3. Rotameter stand for calibration of the flow velocity of the water.

FIG 4. Calibration of the flow velocity of the water. Rotameter stand connected to a test circuit.

FIG 5. Variation of oxygen in nitrogene treated curculation water.

FIG 6. Variation of oxygen in aerated circulation water at various temperatures.

FIG 7. Cross section of erosion corrosion attack on test specimen of the dimension 6/4 exposed to aerated water with a flow velocity of 12 m/s, pH 8, 65°C and a continuous flow.

FIG 8. Cross section of erosion corrosion attack on test specimen of the dimension 6/4 mm exposed to aerated water with a flow velocity of 12 m/s, pH 6.5, 65°C and a continuous flow.

FIG 9. Reynold's numeral (Re) at various inner tube diameters at 65°C.

## INLEDNING.

Vattenledningar av kopparrör kännetecknas i allmänhet av god korrosionshärdighet. Under ogynnsamma driftsförhållanden kan emellertid på grund av för hög strömningshastighet hos vattnet erosionskorrosion inträffa med genomfrätning som följd. För undvikande av sådana skador är man för närvarande hänvisad till vissa allmänt hållna regler. Föreliggande undersökning omfattar studier av sambandet mellan erosionskorrosion och olika installations- och driftsförhållanden.

Undersökningen har utförts vid Svenska Metallverkens forskningslaboratorium i Finspång.

## 1 BAKGRUND.

Erosionskorrosion uppkommer genom samtidig nötning och korrosion vid inverkan av en hastigt strömmande vätska. Angreppet har samband med turbulensgraden hos den strömmande vätskan. Korrosionstypen kallas därför också turbulenskorrosion. Frätgropar som bildas till följd av erosionskorrosion har i regel blanka ytor fria från korrosionsprodukter. Ofta har de en karakteristisk hästskoform med skänklarna i strömningsriktningen. I tvärsnitt är frätgroparna vanligen underskurna i strömningsriktningen.

Erosionskorrosion (turbulenskorrosion) kan förekomma i vattenledningar där strömningshastigheten är hög och då företrädesvis lokaliserad till ställen, där strömningen är störd, såsom vid olämpligt utförda påstick, kopplingar eller böjar. Gasblåsor eller fasta partiklar i det strömmande vattnet påskyndar korrosionsförloppet. I vattenledningar av kopparrör med en strömningstekniskt lämplig utformning anges nu som riktvärde 1,5 m/s som högsta tillåtna hastighet vid varaktig strömning. Vilka hastigheter som kan tillåtas vid intermitterent strömning är ej klarlagt.

## 2 FÖRSÖKSPLAN.

Vid utformning av försöksplanen bedömdes ett studium av följande faktorerers inverkan på korrosionsförloppet vara av intresse:

- vattnets strömningshastighet; 0,5, 1,0, 1,5, 3,0, 6,0 och 12,0 m/s
- vattnets pH-värde; 6,5 och 8
- vattnets temperatur; 30, 65 och 90°C
- strömningens varaktighet; 1, 25, 74 och 100% av tiden
- vattnets syrehalt; låg och hög
- rördimensionen; 6/4, 16/14 och 28/25 mm
- rörmateriallets hårdhetstillstånd; glödgat och helhårt.

Av TAB. 1 framgår hur ovanstående faktorer varierats.

TAB.1. Schema över provningsförhållanden.

Krets nr.	Strömningshastighet, m/s			Rördimension, mm			Varaktighet, %				Temp., °C			pH	Syrehalt låg hög	Hårdhetstillst. G H			
	0,5	1,0	1,5	3,0	6,0	12,0	6/4	16/14	28/25	1	25	74	100				30	65	90
1	x	x	x	x	x	x	x					x <sup>3</sup>			x	x	x	x	
2	x	x	x	x	x	x	x <sup>1</sup>		x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>		x <sup>3</sup>		x <sup>4</sup>	x <sup>5</sup>	x	x	
3	x	x	x	x	x	x	x						x <sup>3</sup>		x	x	x	x	
4	x	x	x	x	x	x	x								x	x <sup>5</sup>		x	
5	x	x	x	x	x	x	x <sup>1</sup>										x	x	
6	x	x	x	x	x	x		x <sup>1</sup>									x	x	
7	x	x	x	x	x	x	x										x <sup>4</sup>	x	x

- 1 Samband mellan erosionskorrosion och rördimension i varmt, syrehaltigt vatten med pH 8 vid kontinuerlig strömning i glödgade och helhårda rör.
- 2 Samband mellan erosionskorrosion och intermittent drift, i varmt, syrehaltigt vatten med pH 8 i glödgade och helhårda 6/4-rör.
- 3 Samband mellan erosionskorrosion och temperatur i syrehaltigt vatten med pH 8 vid kontinuerlig strömning i glödgade och helhårda 6/4-rör.
- 4 Samband mellan erosionskorrosion och pH-värde i varmt, syrehaltigt vatten vid kontinuerlig strömning i glödgade och helhårda 6/4-rör.
- 5 Samband mellan erosionskorrosion och vattnets syrehalt i varmt vatten med pH 8 vid kontinuerlig strömning i glödgade och helhårda 6/4-rör.

### 3 UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE.

#### 3.1 Provmaterial.

Provmaterialet har utgjorts av hårddragna och glödgade fosfordesoxiderade kopparrör, vars nominella sammansättning motsvarar SIS 14 50 15 (Cu min 99,8%, P 0,03%).

#### 3.2 Provanordningar.

Då angrepp av typ erosionskorrosion ofta uppträder i rörböjar krävs provkretsar innehållande ett stort antal böjar. De i undersökningen ingående rörprovens böjar har givits krökningsradien  $4d$  ( $d$  = rörets diameter). Avgörande för val av krökningsradie har varit risken för sprickbildning i böjen vid rörets bockning om alltför snäva radier tillämpas. Stor omsorg har nedlagts vid själva bockningen så att väl utformade böjar erhållits. Rörprovens utseende framgår av FIG. 1.

Rörproven med böjar skarvades vid varandra med kapillärrördelar och mjuklödning. Monteringens gjordes sedan på sådant sätt, att varje krets kom att utgöra ett cirkulationssystem, som förutom rör bestod av vattenbehållare med uppvärmningsanordning, avgasningskärl och cirkulationspump, FIG. 2. Det cirkulerande vattnet ledades in i rörproven via en strömningsfördelare. Fördelningsanordningen infogades därvid på ett sådant sätt, att den vid behov kunde bortmonteras.

I praktiken uppträder ofta erosionskorrosionsskador vid skarvar med uppornat rör. Med anledning härav utfördes en sådan skarv-



FIG. 1. Rörprovns utformning.

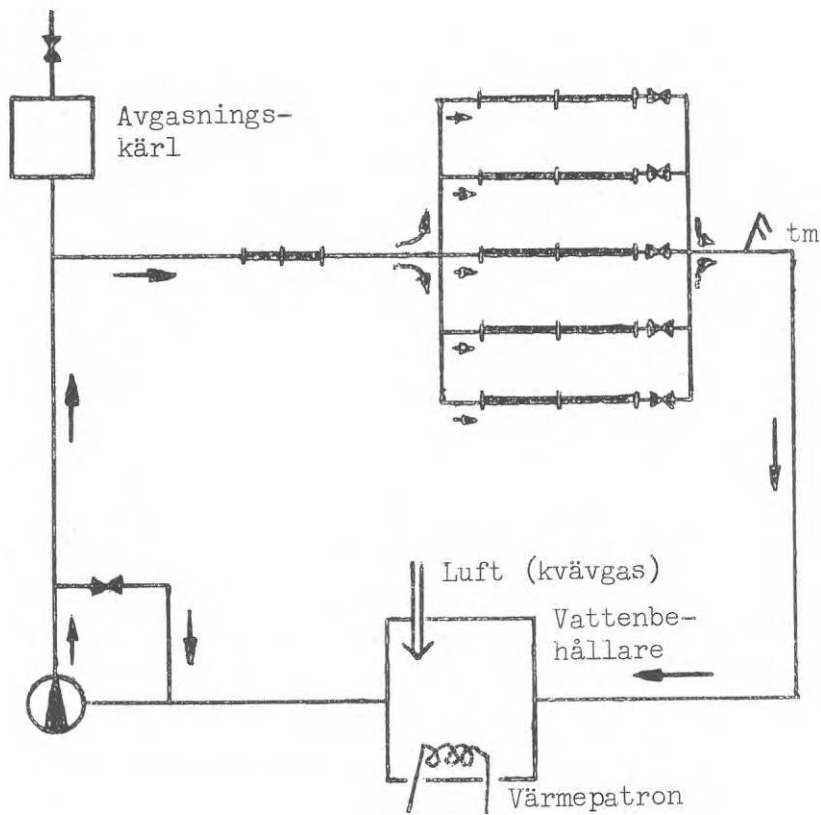


FIG. 2. Principskiss över provkrets. — rörprov.



ning på ett rörprov för var och en av strömningshastigheterna 0,5, 1,0, 1,5 och 3,0 m/s hos varje krets. Förändringen gjordes i samband med inspektionen sex månader efter igångsättandet.

### 3.3 Vattentyper.

Två olika vattentyper har använts, dels ett vatten med relativt lågt pH-värde, dels ett med högre pH-värde. Vattnet med högt pH-värde har tagits från tappkran och utgörs av vatten från Finspångs köpings vattenverk. Genom sänkning av detta vattens pH-värde genom tillsats av svavelsyra har den andra vattentypen erhållits. Sammansättningen hos vattnet från vattenverket framgår av TAB. 2.

Det i kretsarna cirkulerande vattnets syrehalt har hållits konstant med hjälp av kvävgas respektive luft, vilka finfördelats i gasfördelningsfilter i vattenbehållarna.

### 3.4 Kontroll av driftsbetingelser.

#### 3.4.1 Vattnets strömningshastighet.

Samtliga provkretsar hade på inloppsledningen en rotameter fast inmonterad. Hos kretsarna 1-4 och 7 (dvs. kretsarna med klena kopparrör) var en strömningsfördelare utförd så att den vid behov kunde ersättas med en motsvarande anordning med rotametrar, FIG. 3, 4. Kontroll och eventuell justering utfördes en gång per vecka. Kretsarna 5 och 6 (kretsarna för de grövre kopparrören) har haft fast inmonterade rotametrar för varje strömningshastighet.

TAB. 2. Sammansättning hos vatten från Finspångs köpings vattenverk under 1969.

	April	September	December
pH	8,5	8,8	8,3
Kalcium, Ca, mg/l	12,6	11,0	6,3
Magnesium, Mg, mg/l	2,0	2,0	2,0
Totalhårdhet, °dH	2,2	2,0	1,8
Bikarbonat, HCO <sub>3</sub> , mg/l	36	26	21
Klorid, Cl, mg/l	5,0	7,0	5,0
Sulfat, SO <sub>4</sub> , mg/l	14,0	16,0	20,0
Permanganatförbrukning, KMnO <sub>4</sub> , mg/l	20	21	18

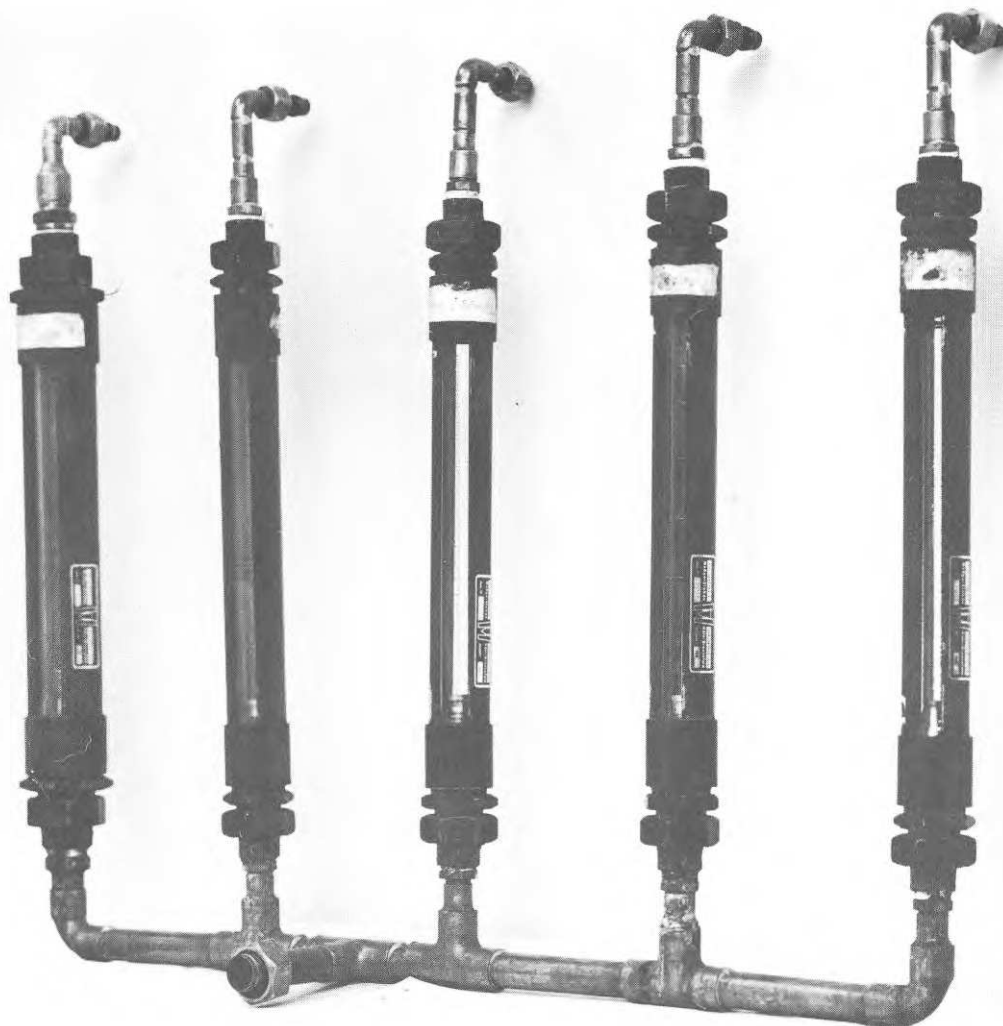


FIG. 3. Rotameterställ för kalibrering av vattnets strömnings-hastighet.

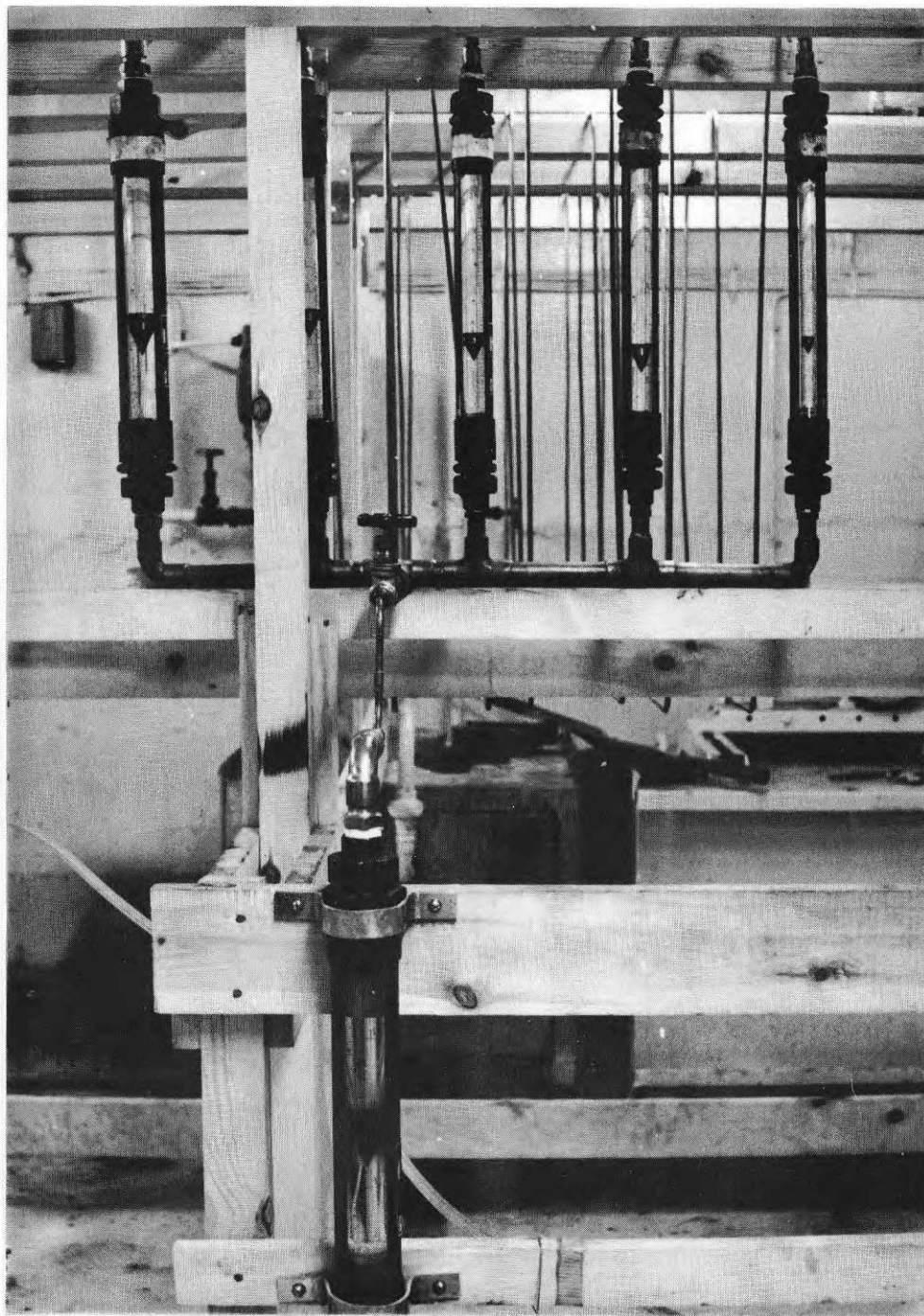


FIG. 4. Kalibrering av vattnets strömningshastighet. Rotameterstället anslutet till en provkrets.

### 3.4.2 Vattentemperatur.

Vattentemperaturen har hållits vid önskade värden med hjälp av i vattenbehållarna inmonterade elektriska värmepatroner och i kretsen för kallt cirkulationsvatten med inlagd kylspiral. Värmepatronerna var försedda med termostat, vars noggrannhet var  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . På kretsarnas retursida kontrollerades temperaturen med en inmonterad termometer. Kontroll och eventuell justering av vattnets temperatur har utförts varje dag.

### 3.4.3 Vattenkvalitet.

Den kemiska sammansättningen hos vattnet från vattenverket har bestämts tre gånger: under våren, sommaren och vintern.

Cirkulationsvattnets syrehalt har kontrollerats var fjärde vecka. Härvid har ett prov uttagits från kretsen med vatten som erhållit tillsats av kvävgas samt ett prov för varje temperatur från övriga kretsar, FIG. 5, 6.

Det surgjorda vattnet i krets 7 har kontrollerats varje dag med avseende på pH-värde. Eventuell justering har gjorts genom tillsats av svavelsyra.

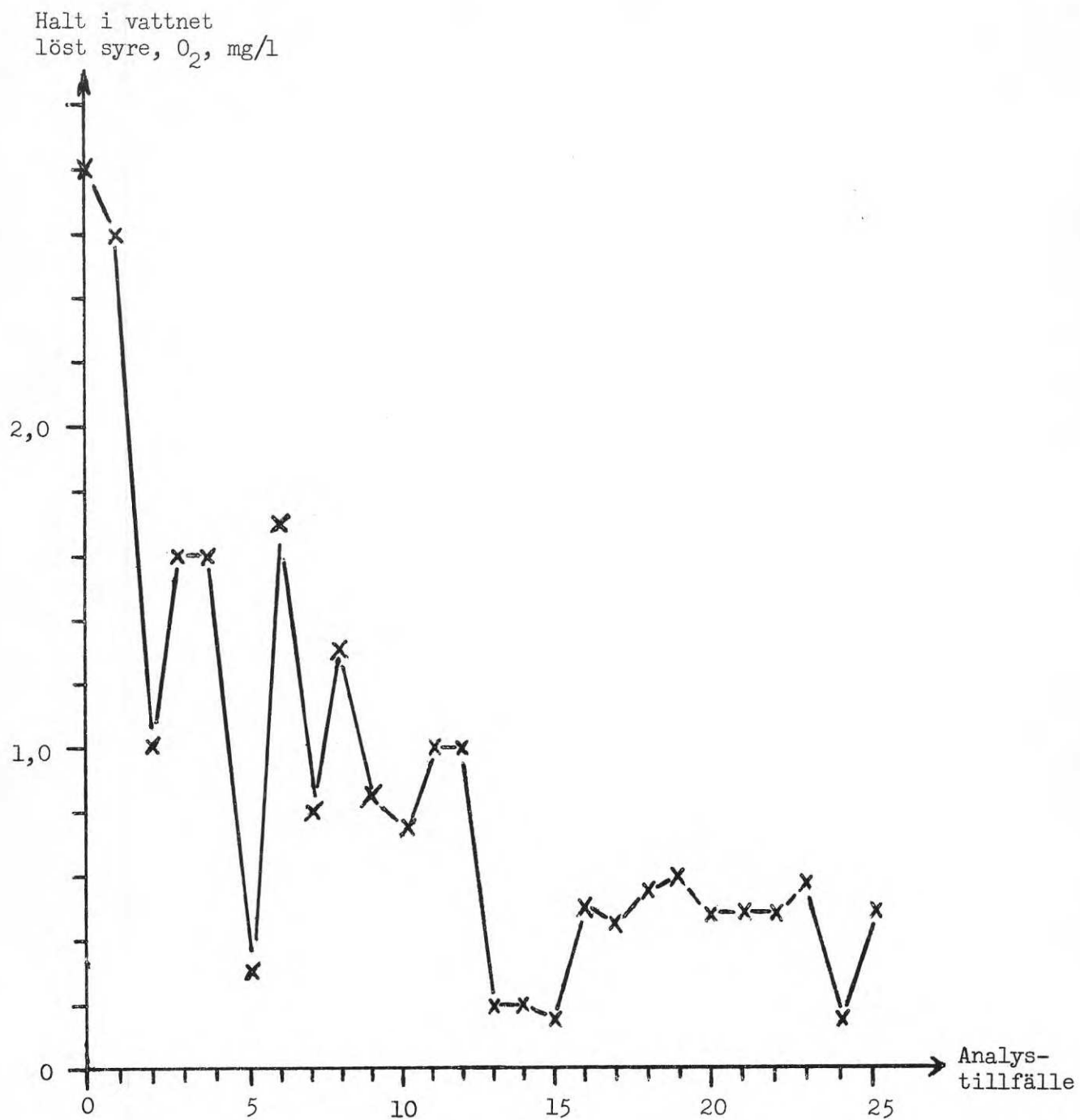
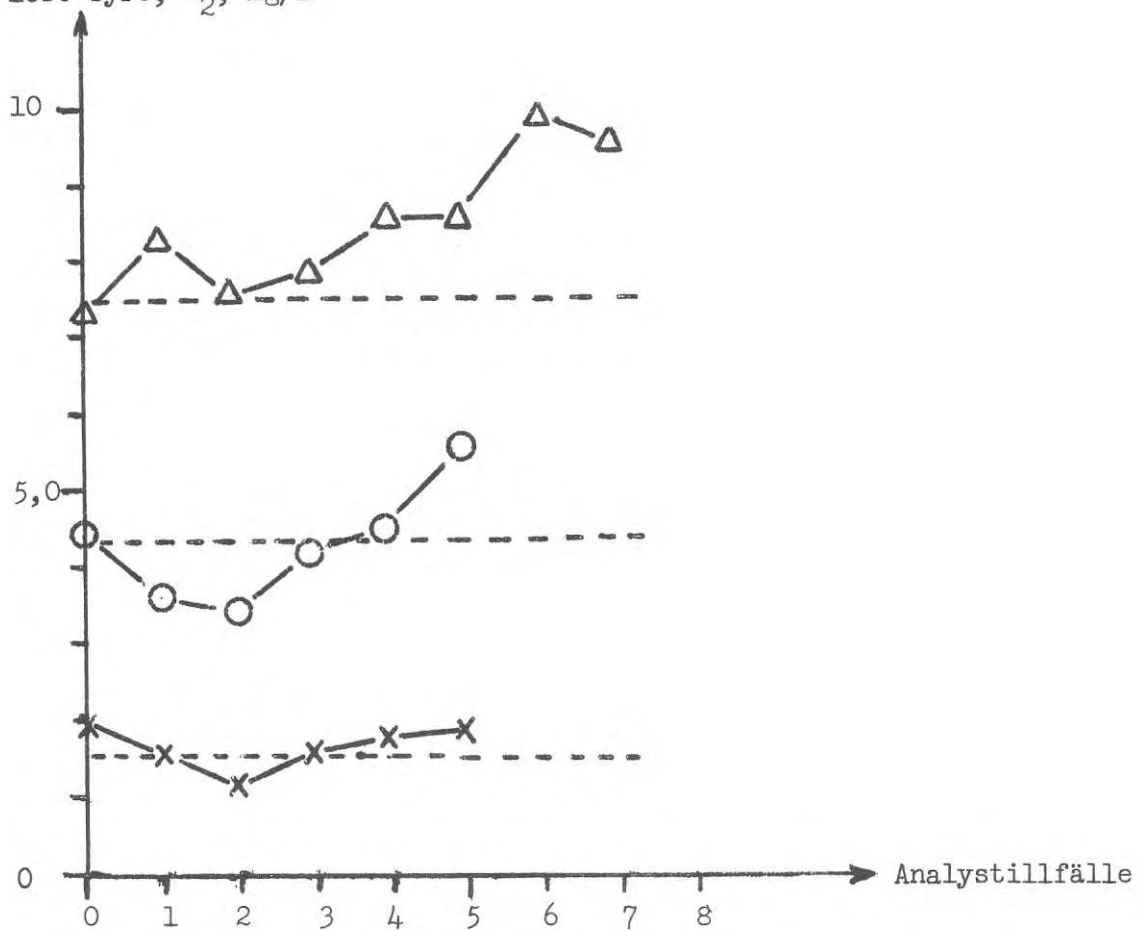


FIG. 5. Syrehaltens variation i kvävgasbehandlat cirkulationsvatten.

Halt i vattnet  
löst syre, O<sub>2</sub>, mg/l



△ - △ - △ - 30°C

○ - ○ - ○ - 65°C

× - × - × - 90°C

----- Löslighet av luftsyre i vatten vid resp. temperaturer.

FIG. 6. Syrehaltens variation hos luftmättat cirkulationsvatten vid olika temperaturer.

#### 4 UNDERSÖKNINGSRESULTAT.

Efter ett års (i vissa fall  $\frac{1}{2}$  års) exponering uppsågades rörproven, så att längdsnitt erhöles. Dessa synades invändigt. Syningsresultatet framgår av TAB. 3.



TAB.3. Resultat av syning.

Krets nr.	Strömningshastighet, m/s	3,0 (H)	1,5 (H,G)	1,0 (H,G)	0,5 (H,G)
1	Luftmätat vatten, pH 8, 30°C, 6/4 mm 100% av tiden	6,0 (H)	Proven uppvisade inga korrosionsskador		
2	100 % av tiden. Luftmättat vatten, pH 8, 65°C, 6/4 mm				

Innerytan uppvisade tunn, gråbrun beläggning utom i böjarnas yttersväng. Ytan under beläggningen hade ett svart oxidskikt. Erosionskorrosionsangrepp med litet djup (<30 µm) och utbredning i böjens yttersväng. Böjens inner-sväng uppvisade inga angrepp.

Innerytan uppvisade en ställvis förekommande gråbrun beläggning som uppörde framför böjen. Ytan under beläggningen var svartoxiderad. Långa, smala erosionskorrosionsangrepp, ca 70 µm djupa, kunde iakttagas.

Fläckvis förekom en fastsittande gråbrun beläggning. Entydiga korrosionsangrepp svåra att iaktta. Efter lätt betning i 10 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kunde grunda, långsgående skador iakttagas.

Proven uppvisade inga korrosionsskador

TAB.3. forts.

Krets nr.	Strömningshastighet, m/s	3,0 (H)	1,5 (H,G)	1,0 (H,G)	0,5 (H,G)
	12,0 (G)	6,0 (H)			

FIG. 7, sid 25.  
Särskilt rikligt förekommande mitt i böjen och i slutet av denna. Få angrepp i böjens innervägg.

2 74 % av tiden. Luftmättat vatten, 65°C, pH 8, 6/4 mm. Fläckvis uppvisade inga korrosionsskador. Proven uppvisade inga korrosionsskador. Erosionskorrosionsangrepp särskilt omfattande i böjen närmast utloppet. Angrepps- djup ca 70 µm. "Innersvängarnas" insidor uppvisade inga korrosionsangrepp.

2 25 % av tiden. Luftmättat vatten, 65°C, pH 8, 6/4 mm. Proven uppvisade inga korrosionsskador. Proven uppvisade inga korrosionsskador.

Krets nr.	Strömningshastighet, m/s	3,0 (H)	1,5 (H,G)	1,0 (H,G)	0,5 (H,G)
	12,0 (G)	6,0 (H)			

2 Proven uppvisade inga korrosionsskador.

1 % av tiden.  
Luftmättat vatten, pH 8, 65°C, 6/4 mm.

3 Fläckvis fanns en tunn brun beläggning, vilken även fanns i böjarna. Erosionsangrepp fanns i böjarnas "yttersvängar" och särskilt omfattande i böjen närmast utloppet. Angreppsdjupet var ca 70 µm. Inga korrosionsangrepp i böjarnas "innersvängar".

Provet uppvisade inga korrosionsskador.  
Däremot hade låta angrepp utkommit vid områdena efter den utförda skarven med uppborrat rör.

Proven uppvisade inga korrosionsskador.

4 Kvävgasbehandlat vatten, pH 8, 65°C, 6/4 mm. 100% av tiden

Proven uppvisade inga korrosionsskador.

Proven uppvisade inga korrosionsskador.

TAB.3. forts.

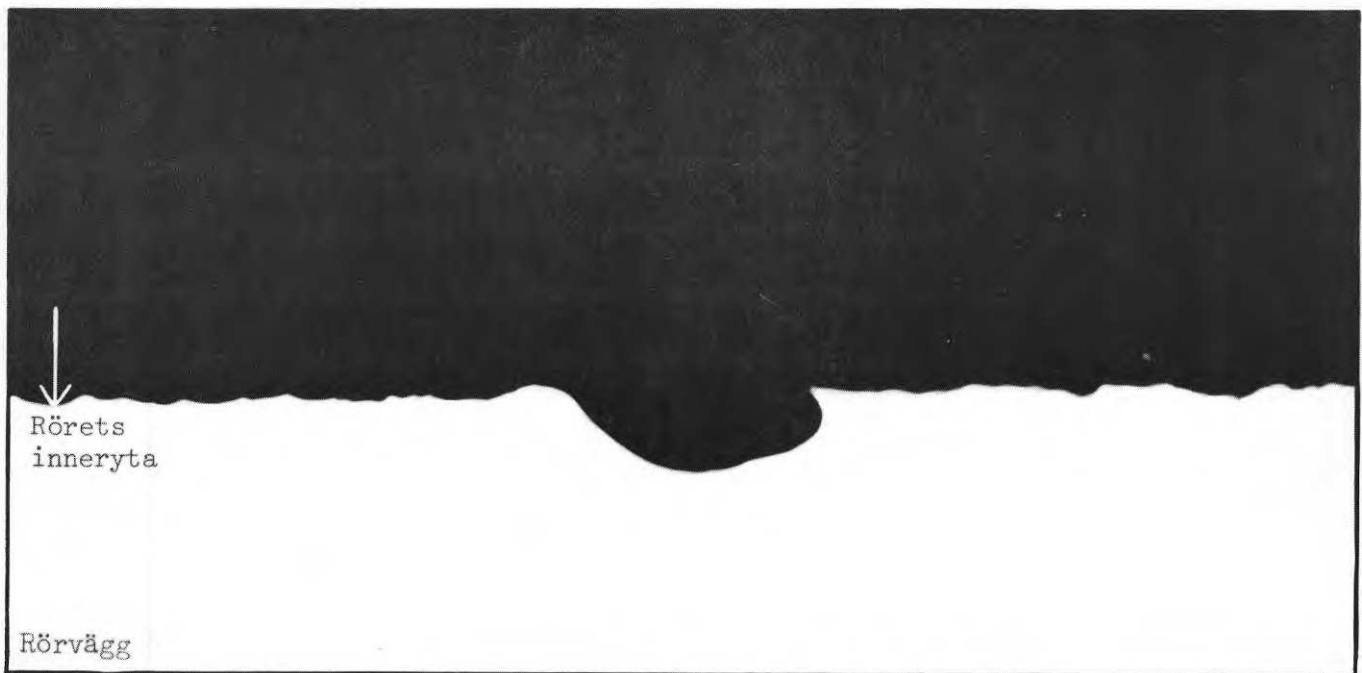
Krets nr.	Strömningshastighet, m/s 12,0 (G)	6,0 (H)	3,0 (H)	1,5 (H,G)	1,0 (H,G)	0,5 (H,G)
5	(Inga prov - - - - -)	(Inga prov - - - - -)	Beläggningen i rörproven var rostbrun och mycket tunn. Helhårt och helhårt svetsat prov uppvisade inga korrosionsskador. I glödgat prov fanns ett fåtal skador med metallblank botten. Angrepps- djupet bedömt till <15 µm.	Proven uppvisade inga korrosionsskador.		
Luftmättat vatten, 65°C, 16/14 mm. 100% av tiden						
6 <sup>x</sup>	(Inga prov - - - - -)	(Inga prov - - - - -)	Innerytorna uppvisade en tät svart oxidfilm, Två av tio parallellprov har erhållit korrosionsskador. På båda proven har förekommit strömningsstörningar orsakade av skarvar och intryckningar. Angreppen uppträder dels vid störningsstället,	Proven uppvisade inga korrosionsskador		
Luftmättat vatten, 65°C, 28/25 mm. 100% av tiden						

<sup>x</sup>I krets 6 ingår endast mjukglödgade prov.

TAB.3. forts.

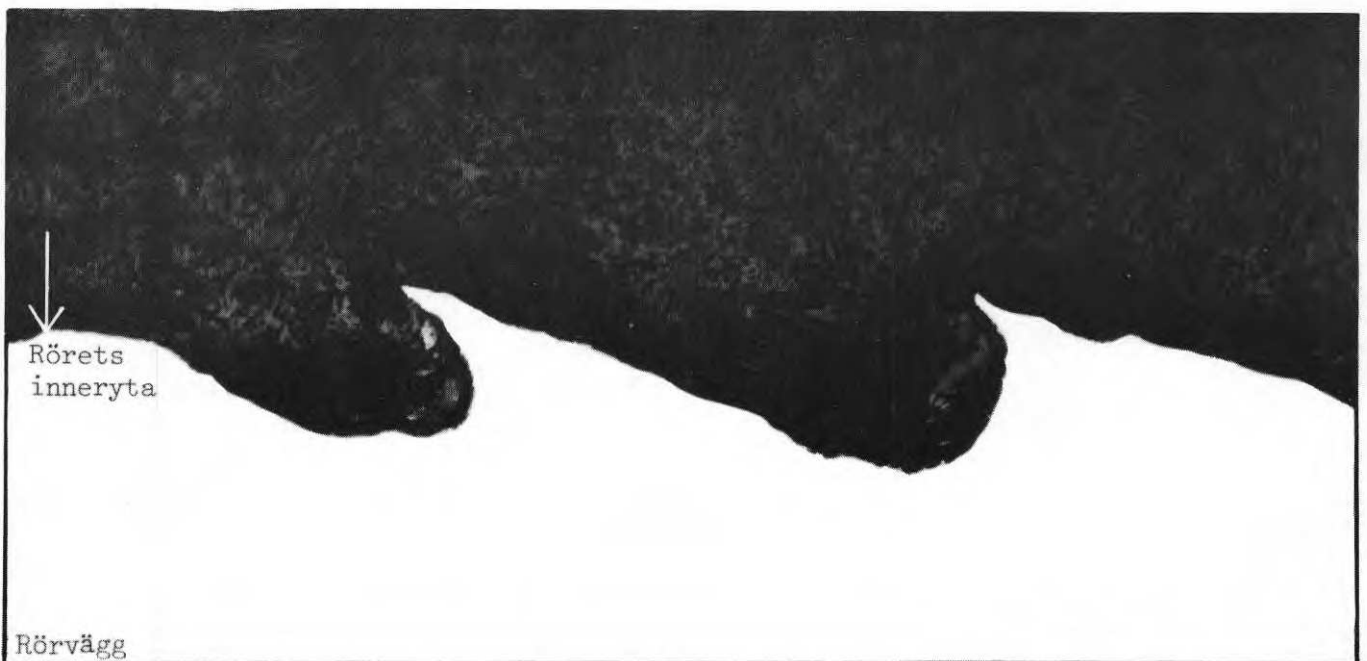
Krets nr.	Strömningshastighet, m/s 12,0 (G)	3,0 (H)	1,5 (H,G)	1,0 (H,G)	0,5 (H,G)	
7	Luftmättat vatten, pH 6,5, 65°C, 6/4 mm.	<p>Provet hade en rostbrun beläggning. I "ytter-sväng" hade omfattande erosionskorrosions-skador uppkommit. I böjarnas "innersväng" fanns endast enstaka angrepp. Korrosionsangreppen slutar abrupt. Angreppsdjupet bedömt till 50-70 µm, FIG. 8</p>	<p>Innerytan hade en rostbrun beläggning, vilken även fanns i böjarna. Provet uppvisade talrika erosionskorrosions-skador uppkommit. I området kring skarvstället fanns enstaka angrepp, vars djup bedömts till &lt;50 µm.</p>	<p>Belägningen på innerytorna var rostbrun. Endast i en böj iaktogs erosionskorrosionsangrepp, vars djup bedömts till &lt;30 µm. I området kring skarvstället fanns enstaka angrepp, vars djup bedömts till &lt;30 µm.</p>	<p>Belägningen på innerytorna var rostbrun. Hos båda <u>glöd</u>gat prov kunde ett litet antal erosionskorrosionsangrepp iaktas, vars djup bedömts till &lt;30 µm.</p>	<p>Proven uppvisade inga korrosionsskador.</p>
		<p>dels efter störningsstället. Angreppsdjupet bedömt till &lt;30µm. Erosionskorrosions-skadorna har uppkommit vid provning under sex månader.</p>				

H anger hårddraget rör.  
G anger mjukglödgat rör.



→  
Strömningsriktning

FIG. 7. Tvärsnitt genom erosionskorrosionsangrepp i prov av dimensionerna 6/4 mm exponerat för luftmättat vatten med strömningshastigheten 12 m/s, pH 8, 65°C och kontinuerlig strömning. Förstoring 200x.



→  
Strömningsriktning

FIG. 8. Tvärsnitt genom erosionskorrosionsangrepp i prov av dimensionerna 6/4 mm exponerat för luftmättat vatten med strömningshastigheten 12 m/s, pH 6,5, 65°C och kontinuerlig strömning. Förstoring 200x.

## 5 DISKUSSION.

### 5.1 Samband mellan erosionskorrosion och vattnets pH-värde.

Mellan erosionskorrosionsförloppet och vattnets pH-värde synes råda ett klart samband. Vid jämförelse av syningsresultaten från kretsarna 2 (kontinuerlig strömning, 65°C, pH 8) och 7 (kontinuerlig strömning, 65°C, pH 6,5) framgår att erosionskorrosionsangreppen dels är mer omfattande, dels uppträder vid lägre strömningshastigheter om vattnet är surgjort, se FIG 7, 8 föregående sida.

### 5.2 Samband mellan erosionskorrosion och vattentemperatur.

Samband synes även råda mellan erosionskorrosionsförloppet och vattentemperaturen. Således uppvisar prov exponerade för syrehaltigt vatten med temperaturen 30°C mindre omfattande korrosionsangrepp än prov exponerade för motsvarande vatten vid 65°C, vilka i sin tur är mindre angripna än prov exponerade för 90°C. Härav framgår att risken för erosionskorrosion ökar med stigande temperatur.

### 5.3 Samband mellan erosionskorrosion och vattnets syrehalt.

Syrehaltens inverkan på korrosionsförloppet framgår vid jämförelse av syningsresultaten mellan kretsarna 2 (luftmättat vatten) och 4 (tillsats av kvävgas till vattnet). Erosionskorrosion konstaterades hos prov exponerade för luftmättat vatten, medan prov exponerade för med kvävgas avluftat vatten inte uppvisar några korrosionsangrepp.



#### 5.4 Samband mellan erosionskorrosion och strömnings varaktighet.

Undersökningen visar att erosionskorrosionsförloppet i hög grad beror på strömnings varaktighet. Således minskar erosionskorrosionsangreppens omfattning succesivt ju kortare andel av tiden strömning sker.

#### 5.5 Samband mellan erosionskorrosion och rördimension.

Samband synes även föreligga mellan erosionskorrosionsförloppet och rördimensionen. Vid jämförelse av syningsresultaten för prov av dimensionerna 6/4 mm, 16/14 mm och 28/25 mm exponerade för luftmättat vatten, 65°C, framgår att erosionskorrosionsangrepp uppträder vid strömningshastigheten 3 m/s endast hos de grövre rören (16/14 resp. 28/25 mm). Orsaken härtill bedöms vara att turbulensgraden vid viss linjär medelströmningshastighet ökar med ökande rördiameter. Sålunda är Reynolds tal vid 65°C och strömningshastigheten 3 m/s för rör av dimensionen 6/4 mm  $2,7 \times 10^4$  och för rör av dimensionen 28/25 mm  $17 \times 10^4$ , FIG. 9.

#### 5.6 Samband mellan erosionskorrosion och rormaterialets hårdhetstillstånd.

Någon väsentlig skillnad i erosionskorrosionshårdighet mellan glödgade och hårda rör har inte framkommit.

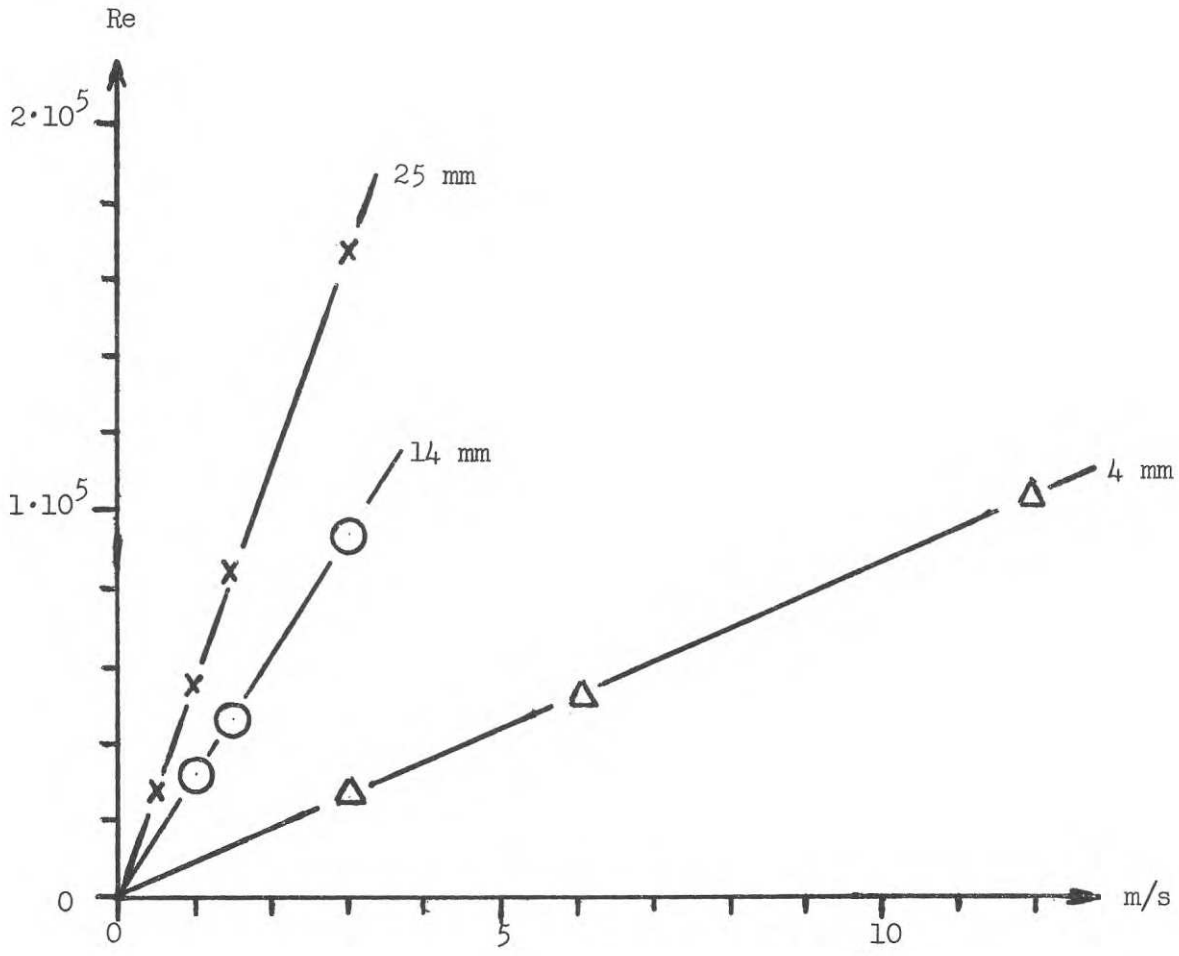


FIG. 9. Reynolds tal (Re) vid olika invändig rördiameter och  $65^{\circ}\text{C}$ .

### 5.7 Samband mellan erosionskorrosion och installationsförhållande.

Hos rörprov med skarv av typ uppdownat rör som hårdlötts synes risken för erosionskorrosion vara stor vid skarvstället. Kapillär-rördelarna synes vara avsevärt bättre. Detta är också i överensstämmelse med praktisk erfarenhet.

Inverkan av rörböjarnas utformning har ej studerats. Vid jämförelse mellan resultat från denna undersökning och skadefall uppkomna vid praktisk drift framgår att väl utformade böjar medför avsevärt minskad risk för erosionskorrosion.

## 6 SLUTSATSER.

Vid bedömning av resultaten har som högsta tillåtna hastighet angivits den hastighet vid vilken inga tydliga angrepp av typ erosionskorrosion iakttagits efter provning under ett år vid väldefinierade laboratorieförhållanden. Vid installation i praktiken skall en lämplig säkerhetsfaktor införas. Mot bakgrund av detta kriterium medger undersökningen följande slutsatser:

- I syrehaltigt vatten med måttlig korrosivitet (pH 8) och varaktig strömning var den högsta hastighet som ej gav erosionskorrosion i klana rör (6/4 mm), 3 m/s vid 65°C och 6 m/s vid 30°C.
- Vid intermittent strömning av nämnda vatten (< 25% av totala tiden) medförde en så hög strömningshastighet som 12 m/s ingen erosionskorrosion i klana rör (6/4 mm), detta även för varmvatten.
- För syrehaltigt vatten med högre korrosivitet (pH 6,5) och varaktig strömning måste hastigheten hållas lägre, över 1 m/s erhöles angrepp vid 65°C.
- För syrefattigt vatten, t.ex. i värmeledningssystem kan i klana rör (6/4 mm) accepteras högre strömningshastighet, sålunda erhöles inga angrepp vid 12 m/s för ovannämnda vatten med pH 8.
- Klana rör (6/4 mm) medger något högre strömningshastighet än grövre (≥ 16/14 mm).

- Ingen skillnad har kunnat fastställas i fråga om erosionskorrosionshärdigheten mellan glödgat och helhårt material.
- Skarvar av typ uppdornat rör medför vid hög strömningshastighet mycket större erosionskorrosionsrisk än kapillärlödskarvar.









**R23:1971**

**Denna rapport avser anslag nr D 455 från Statens råd för  
byggnadsforskning till Einar Mattsson, Gränges Essem,  
Finspång**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Abonnemangsgrupp: i (installation)**

**Pris: 10 kronor**