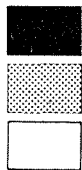


LITTERATURSTUDIE OCH ERFARENHETS-  
INSAMLING GÄLLANDE OLIKA GJUTJÄRNS  
HÄRDIGHET I HAVSVATTEN

Sven Brennert



**Korrosionsinstitutet**  
Swedish Corrosion Institute

Postadress: Box 5607  
114 86 Stockholm  
Telefon: 08 - 22 25 40  
Besök: **Kontoret**  
Drottning Kristinas väg 47 D  
**Laboratoriet**  
Drottning Kristinas väg 48

Ärende The corrosion resistance of cast irons  
in sea water - literature and experience

Uppdragsgivare: Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning  
c/o Owe Strandberg  
Studsvik Energiteknik AB  
611 82 NYKÖPING

Utskrivet av: UN

Handläggare: Sven Brennert

Godkänt Mats Linder *ML*

Reg nr: 51 455

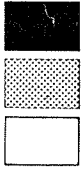
Datum 1981-09-02

#### SUMMARY

It is a common opinion that the nickel alloyed austenitic cast irons called Ni-Resist are much more corrosion resistant in e.g. sea water than ordinary unalloyed cast irons. In spite of this Ni-Resist is used to a very small extent, at least in Sweden, for sea water applications. The purpose of this investigation has been to find out the reason for this discrepancy by comparing at first hand Ni-Resist with grey cast irons from the corrosion point of view. Also economical aspects have been considered.

The result can be summarized as follows:

- The corrosion rate of Ni-Resist is lower than that of grey cast iron in sea water, especially at high water velocity.
- In the galvanic series Ni-Resist is located between grey cast iron and the copper alloys. Ni-Resist prevents corrosion on copper alloys and stainless steels by cathodic protection but is probably less sensible than grey cast iron to galvanic corrosion.
- Before selecting Ni-Resist for a sea water application one must make sure that it is a realistic choice from the economical point of view. It will often appear that Ni-Resist in the long run will be more expensive than e.g. rubber coated grey cast iron or rubber coated ductile cast iron or "bronze".



**Korrosionsinstitutet**  
Swedish Corrosion Institute

Postadress: Box 5607  
114 86 Stockholm  
Telefon: 08 - 22 25 40  
Besök: **Kontoret**  
Drottning Kristinas väg 47 D  
**Laboratoriet**  
Drottning Kristinas väg 48

Ärende Litteraturstudie och erfarenhetsinsamling  
gällande olika gjutjärns hårdighet i havs-  
vatten

Uppdragsgivare: Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning  
Att: Owe Strandberg  
Studsvik Energiteknik AB  
611 82 NYKÖPING

Utskrivet av: UN

Handläggare: Sven Brennert

Godkänt Mats Linder

Reg nr: 51 455

Datum 1981-06-10

## 1. INLEDNING

Syftet med föreliggande undersökning har varit att komma till rätta med en viss oklarhet som rått beträffande användning av olika gjutjärn i havsvatten. Som exempel på denna oklarhet kan man nämna att Ni-Resist är ett material som uppges ha god korrosionshårdighet i havsvatten. Trots det används det i tämligen ringa utsträckning i Sverige jämfört med i USA (18). Huvudvikten har lagts vid jämförelse mellan Ni-Resist och olegerat gjutjärn.

Underlag för litteraturstudien:

- Vanliga handböcker.
- Litteratur tillhandahållen av S Henrikson.
- Datorsökning.
- Litteraturhänvisningar från läst litteratur.

Litteraturreferat:

Bilaga 1: Korta referat av den litteratur (1-31) som har studerats. Av praktiska skäl ingår också några telefonsamtal.

Bilaga 2: Samling bilder (BILD 1 - BILD 12) av speciellt intresse.

## 2. SAMMANFATTNING AV LITTERATURREFERATEN - DISKUSSION

### 2.1 Allmänt

Sammansättning och struktur. Ni-Resist är samlingsnamnet på ett antal gjutjärn med höga nickelhalter, rätt låga kromhalter och i två fall rätt höga kopparhalter, BILD 1. (Nicrosilal ingår inte i Ni-Resist-gruppen). Strukturen är austenitisk vilket beror på den höga nickelhalten.

Det finns i princip två typer av Ni-Resist, nämligen järn med fjällgrafit och järn med sfäroidiserad (kul-) grafrit. Det förstnämnda är det ursprungliga materialet, det senare har tillkommit på ett senare stadium.

Vid järn med sfäroidiserad grafrit (segjärn) ingår D i beteckningen. Exempel: Ni-Resist D-2. Dessa järn har nu tagit överhanden över de gamla järnen med fjällgrafit (11).

Standard. Ni-Resist-legeringarna är standardiserade i ett flertal länder:

- USA (2): ASTM Des: A-436-61T, där åtta typer med fjällgrafit ingår. Normen är reviderad, ASTM A 436-72A (har inte anskaffats).
- Västtyskland, se BILD 1.
- Storbritannien (28).
- Sverige (2).

Om det är standardiserat i några andra länder är inte undersökt, men antagligen finns det fransk standard (15), härtill kommer ISO-standard (15).

Alder. De första typerna av Ni-Resist tillverkades omkring 1930 (29).

Ni-Resist för havsvatten. Följande Ni-Resist-sorter har angivits vara lämpliga för havsvatten:

- Enligt (3) Ni-Resist 1.
- Enligt (10) Ni-Resist 1 och 1 b.
- Enligt (19) Ni-Resist 1 och 1 b.

Tillsats av 3% Cr (som i Ni-Resist 1b) ger bättre korrosionshårdighet än 2% Cr (som i Ni-Resist 1) enligt (19) och (21), se även (30).

Litteraturuppgifternas källmaterial. Det finns visserligen en hel del artiklar och andra handlingar skrivna om Ni-Resist, men om man söker den ursprungliga källan finner man att det grundläggande experimentella arbetet i stor utsträckning har gjorts av personer som varit eller är knutna till International Nickel.

### 2.2 Principiell likhet och skillnad mellan Ni-Resist och olegerat gjutjärn ur korrosionssynpunkt

Båda materialen korroderar i havsvatten under bildning av ett grafiteringsskikt. Skillnaden ligger däri att Ni-Resist rostar långsammare och grafiteringsskiktet inte blir så utpräglad. Grafiteringsskiktet på gjutjärn kan bli så tjockt och tätt att materialet blir ädlare än koppar (1). Grafite-

teringsskiktet på Ni-Resist tycks inte bli lika tjockt och tätt. Ni-Resist ger därför katodiskt skydd åt t ex rostfritt stål och kopparlegeringar. Dessa två synpunkter, låg korrosionshastighet och likväl katodiskt skydd, träffar man ofta på i litteraturen. Man frågar sig emellertid vad som händer om ett Ni-Resistmaterial har rostat så långt att grafiteringsskiktet blir mycket tjockt. Är det fortfarande otätt?. På den frågan har jag inte funnit något svar.

### 2.2.1 Korrosion i stillastående och långsamt strömmande vatten

Flertalet artiklar som handlar om gråjärn och Ni-Resist anger att gråjärn rostar många gånger fortare än Ni-Resist. Exempel: (19) som anger förhållandet 3:1, 10:1 och 25:1, (4) TAB IX som anger förhållandet 5:1, (21) TAB III förhållandena 4:1 och 25:1, (6) jämför Ni-Resist med bronser, även om det blir mera frätgropar i Ni-Resist och (20) ger förhållandet 26:1 (alla förhållandetal är avrundade av mig). - Man frågar sig emellertid om det inte i litteraturen ofta har getts preferens åt mätningar som visar att Ni-Resist är bra, jämför med t ex BILD 5. Syftet är att uppskatta korrosionshastigheten som funktion av tiden och vattendjupet. Där är förhållandet gråjärn:Ni-Resist = ca 2:1 i ytvattnet och skillnaden på stora djup obetydlig. På 6000 fots djup skär kurvorna varandra. Se också (9) Sture Henriksons tilllägg och 9, enligt vilka rätt starka angrepp har uppstått även på Ni-Resist.

Ni-Resist är mindre känsligt för gropfrätning än gråjärn (BILD 2).

### 2.2.2 Korrosion i hastigt strömmande vatten

För både gråjärn och Ni-Resist gäller att korrosionshastigheten ökar med vattenhastigheten. Det finns ett visst tröskelvärde över vilket grafiteringsskiktet inte kan återbildas om det skadas, resultatet blir då frätgropar strax ovanför tröskelvärdet (10) och antagligen allmänt angrepp om man kommer långt ovanför tröskelvärdet. Detta tröskelvärde ligger för gråjärn vid 12 fot/s (3). Andemeningen borde vara att det ligger högre för Ni-Resist men något värde har jag inte hittat.

(1) anger förhållandet gråjärn:Ni-Resist för korrosionshastigheten i strömmande vatten till 10:1 (detta stämmer illa med FIGURE 2 i BILD 7). Se även TAB 3 i BILD 2.

Ju högre temperaturen är desto bättre är Ni-Resist relativt gråjärn vid 27 fot/s enligt BILD 7 (här borde vattenhastigheten ligga över det ovan nämnda tröskelvärdet för grafiteringsskiktets beständighet, i varje fall vid gråjärn - 12 fot/s). Vid 125 fot/s skiljer sig Ni-Resist och gråjärn på en 10-potens enligt (21).

(6) jämför Ni-Resist i det närmaste med 70/30 kopparnickel och med bronser då det gäller hårdighet mot kavitation.

### 2.2.3 Inverkan av temperaturen

Med högre temperatur följer starkare korrosion både när det gäller gråjärn och Ni-Resist vid strömningshastigheten 27 fot/s enligt BILD 7. Gråjärnet är mest temperaturkänsligt enligt bilden.

## 2.2.4 Inverkan av tid

Det är uppenbart att korrosionshastigheten avtar med tiden. Detta gäller både gråjärn och Ni-Resist (12). Anledningen är att det bildas ett grafiteringsskikt som verkar mer eller mindre som ett skyddsskikt. Hur mycket korrosionshastigheten avtar är oklart. Enligt (13) har den gått ner till hälften efter ungefär 1000 dygn (Ni-Resist). Enligt (19) kan man i tropiskt havsvatten efter åtta år räkna med konstant korrosionshastighet för Ni-Resist, ungefär 28  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Detta är en femtedel av gråjärnets korrosionshastighet efter samma tid.

## 2.3 Galvanisk korrosion och katodiskt skydd

Många publikationer har med en galvanisk spänningsserie i strömmande havsvatten enligt BILD 6. Alla förefaller att ha samma urkälla. Ni-Resist ligger då mellan kolstål, gråjärn och låglegerat stål å ena sidan och bronser och mässing å andra sidan. Det praktiska värdet av dessa serier kan emellertid ifrågasättas. Det har som inledningsvis nämndes förekommit fall där gråjärnet till följd av grafitering kan ge galvanisk korrosion på kopparlegeringar. Antagligen avser dessa galvaniska spänningsserier potential hos färskva metallytor mot havsvatten.

### 2.3.1 Galvanisk korrosion

Om man har gråjärn resp Ni-Resist i förbindelse med en ädlare metall får man en svagare galvanisk korrosion på Ni-Resist emedan detta är ca 0,15 V ädlare än gråjärn enligt det galvaniska spänningsserien, BILD 6. Praktiskt exempel (1): En pump med hus och impeller av gråjärn har gått länge i havsvatten och tjocka täta grafiteringsskikt har bildats. Impellern måste bytas. Väljer man gråjärn i den nya impellern, kommer korrosionshastigheten att bli mycket hög till följd av cellbildning med husets grafiteringsskikt. Är impellern av Ni-Resist blir korrosionshastigheten lägre, se även (9) och (30).

Enligt BILD 9 är fästelement av kolstål "neutral" mot kolstål och gjutjärn, men "not compatible" mot Ni-Resist.

### 2.3.2 Katodiskt skydd

Det är allmänt känt att gråjärn skyddar rostfritt stål i t ex en pump med hus av gjutjärn och axel av rostfritt stål, t ex (1), (17). Detta är särskilt viktigt under stillestånd (1). I värmeväxlare av äldre typ brukar gavlarna (gjutjärn) ge katodiskt skydd åt rören (aluminiummässing). Ni-Resist tycks ha samma egenskaper men har samtidigt fördelen att rosta långsammare och likväl bibehålla egenskapen att ge katodiskt skydd. Detta sägs inte rent ut någonstans men torde vara andemeningen.

## 2.4 Priser

Av litteraturen får man alltså intrycket att Ni-Resist är överlägset vanligt gjutjärn i många avseenden. Man frågar sig varför det inte används mer. Detta har gett oss anledning att (ytligt) beröra prisfrågan.

När det gäller relationen ämnespris Ni-Resist:ämnespris gråjärn har siffrorna 3:1 (7) och 4:1 (7A) nämnts. Bearbetbarhet har säkert också sin betydelse (5). När det gäller pris på färdiga ventiler, se (16) och (31).

Det skulle säkert ofta löna sig att ta Ni-Resist i stället för gråjärn om man bara hade de två materialen att välja på. Under sådana förhållanden finns enligt (21) och BILD 12 från (8) utredningar som visar vilka kombinationer som är lämpligast under olika förhållanden. Emellertid skall man inte bortse från att det finns andra lösningar, t ex gummerat gråjärn (varvid man dock mister det katodiska skyddet på t ex en spindel av rostfritt stål).

De prisrelationer som här givits är enbart exempel. Den enda slutsats man bör dra är: Om man överväger att göra vissa delar av Ni-Resist bör man först kontrollera att det är ett ekonomiskt rimligt alternativ.

### 3. ANVÄNDNINGSMÖRÄDEN

Det finns många användningsområden nämnda i litteraturen. En mycket utförlig lista finns i (19). De vanligaste nämnda områdena är pumpar och ventiler med hus av Ni-Resist och ofta axlar av rostfritt stål (3), (6), (10), (11), (15), (19), (20), (21), (24).

### 4. SLUTSATSER

Litteraturstudien och erfarenhetsinsamlingen har givit stöd för följande slutsatser:

- Ni-Resist rostar långsammare än gråjärn i havsvatten, särskilt vid högvattenhastighet.
- Ni-Resist ligger i den galvaniska spänningsserien mellan gråjärn och kopparlegeringarna. Den ger ett katodiskt skydd åt kopparlegeringar och de vanliga rostfria stålen och är sannolikt mindre känslig för galvanisk korrosions än gjutjärn.
- Innan man satsar på Ni-Resist för en viss detalj bör man förvissa sig om att det är ett ekonomiskt realistiskt alternativ. Man kommer sannolikt ofta att finna att Ni-Resist i längden är dyrare än andra alternativ, t ex gummerat gråjärn eller gummerat segjärn eller "brons".

## GUTJÄRN I HAVSVATTEN - LITTERATURÖVERSIKT

- (1). La Que, F L: Marine Corrosion, Causes and Prevention. John Willey & Sons, 1975.

Sid 8: Grafiteringsskiktet på gråjärn är mycket ädlare än det obelagda gjutjärnet och ibland t o m ädlare än legeringar på kopparbas. I galvaniska celler kan grafiteringsskiktet verka som (ren) grafit. Det blir då kort livslängd på en ny impeller av gråjärn som har satts in i ett gammalt grafiterat gjutjärnshus.

Sid 179: Galvanisk spänningsserie, rinnande havsvatten. Ni-Resist 0,15 V ädlare än gråjärn.

Sid 248: Man kan inte lita på att ett pumphus av gråjärn galvaniskt skyddar impeller och axel av kopparlegering, det kan t o m påskynda korrosionen (på grund av grafiteringsskiktet).

Sid 259: Ni-Resist-järnen kan vara mer än 10 gånger så resistenta som vanligt gjutjärn i havsvatten av hög hastighet. Det gäller både gråjärn och segjärn. Även det austenitiska järnet förekommer med sfäroidal grafit som ger seghet.

Sid 262: Ni-Resist är ädlare än gråjärn men oädlare än brons och rostfritt stål i passivt tillstånd. Dess galvaniska potential ligger närmare aktivt rostfritt stål än bronsens. Följaktligen: De austenitiska gjutjärnen har ett företräde framför brons i kontakt med rostfria impellers och axlar under avstängningsperioder när man kan räkna med spaltkorrosion och gropfrätning. "In service, such as straightening veins in vertical pumps where the most severe velocity effect occur, the higher chromium content type 1 b Ni-Resist, has an advantage." Rostfria stål, speciellt austenitiska med molybden, används ibland för "valve trim". Man kan vänta sig att de ger tillfredsställande funktion i förening med gjutjärn eller "Ni-Resist-valve bodies".

Sid 275: Beträffande rörledningar och speciellt vattenboxar. När grafiteringsskiktet blir ogenomträngligt förlorar man gjutjärnets galvaniska skydd på kopparlegeringar, det kan t o m bli en förstärkning av korrosionen på kopparlegeringarna.

Sid 276: Ni-Resist har använts med framgång för små vattenboxar (tubvärmewäxlare). Det håller bättre än gråjärn och samarbetar galvaniskt med rör av kopparlegeringar (Al-mässing?).

- (2). Standarder för austenitiskt gjutjärn.

2.1 ASTM A 436-61T: Austenitic Gray Iron Castings. Den är reviderad 1972 enligt A 436-72A, som vi inte sett. Sammansättning för typerna 1-6: C ca 3%, Ni 15-35%, Cr 2-5%.

2.2 SIS-standard

SS 140523 Ni-Resist 2 (i det närmaste)  
SS 140772 Stämmer inte med någon Ni-Resist  
SS 140776 Ni-Resist D2 (i det närmaste)

2.3 Brittish Standard se (28).

2.4 ISO-standard se (15).

2.5 DIN-standard se BILD 1.

- (3). Todd, B & Lovett, P A: Marine Engineering Practice: Vol. 1, Part 10, Selecting Materials for Sea-Water Systems. The Institute of Marine Engineering, år inte angivet.

Sid 12: I den galvaniska spänningsserien ligger Ni-Resist mellan aktivt rostfritt stål och Muntz metall.

Sid 32: Gråjärn och kolstål jämföras ur korrosionssynpunkt. Frätdjup: Stillastående vatten, allmänt angrepp, 0,1 mm/år, gropfrätning 0,5 mm/år. Vid 5 och 30 m/s är frätdjupet, allmänt angrepp, resp. 1 och 10 mm/år.

Sid 34: Austenitiskt nickellegerat gjutjärn ligger mellan olegerat stål och aluminiumbrons. Ventiler: I inget fall rekommenderas obelagt Ni-Resist. Vattenboxar: Ni-Resist rekommenderas endast i ett fall och det är små vattenboxar och "end covers". Det är acceptabelt i stora vattenboxar. "Strainers": Ni-Resist är acceptabelt i "body".

- (4). Engineering Properties and Applications of the Ni-Resists and Ductile Ni-Resists. The International Nickel Company, år inte angivet.

Sid 2: Fem typer av Ni-Resist, 1-5, varav två med underavdelning, dessa är 1, 1 b, 2 och 2 b. I stort sett gäller: Ju högre nummer, desto högre nickelhalt. Skillnaden mellan 1 och 1b resp. 2 och 2 b är att b-legeringarna har något högre kromhalt. Nummer 1 används för saltvatten (havsvatten?).

Sid 6-7: Allmänt gäller att Ni-Resist ur korrosionssynpunkt ligger mellan gråjärn och austenitiskt krom-nickelstål. I vissa haloidmiljöer har Ni-Resist mycket större korrosionshårdighet med avseende på lokala angrepp (är det därför att det blir ett starkt allmänt angrepp?).

Sid 7: Ni-Resist lämpar sig för ett antal betydelsefulla applikationer i havsvatten. Det har väsentliga fördelar framför gråjärn särskilt när det gäller strömmande lösningar. För olegerat gjutjärn måste hastigheten ligga under 12 fot/s. Vid högre hastigheter återbildas inte helt det korrosionsinhiberande grafiteringsskiktet och lokal korrosion blir följden. Galvanisk effekt gör det ändå värre. (Underförstått: Vid Ni-Resist kan man gå till högre strömningshastigheter?) Högre temperatur försvårar. Motstånd mot erosionskorrosion: Ni-Resist bildar vidhäftande filmer av korrosionsprodukter som motverkar galvanisk korrosion. Ju högre temperaturen är dess bättre är Ni-Resist jämfört med gråjärn vid 27 fot/s (FIG 2 i BILD 7). De olika Ni-Resisttyperna är ungefär lika med avseende på erosionskorrosion. Ni-Resist har därför fått en vidsträckt användning för speciellt pump- och ventildelar i havsvatten. Beträffande korrosionspotentialer ligger Ni-Resist mellan låglegerat stål och aluminiumbrons (FIG 4). Ni-Resist i kombination med austenitiskt rostfritt stål brukar inte bereda några problem. Exempel: Rostfria impellers i Ni-Resistpumphus får katodiskt skydd.

Sid 9: TAB IX: Ni-Resist 1 och 2 fräts med ungefär femtedelen av hastigheten för segjärn och gråjärn efter 3 år, proverna helt nedsänkta i strömmande tidvatten, alla prover belagda med påväxt.

På sid 32 och 33 visas exempel på pumpar i havsvatten.

Sid 46: Gråjärn fräts 4-25 ggr så fort som Ni-Resist enligt tabell gällande olika praktiska applikationer.

(5). Svensson, Lennart, Kockums, telefonsamtal 1981-02-17.

Prisfrågan: Priset för ämnet har sin betydelse men bearbetningskostnaden är nog kanske viktigast. Ju högre kromhalten är desto bättre blir korrosionshårdigheten, men ju högre kromhalten är desto svårare blir det att bearbeta materialet. Ventiler med Ni-Resist har tidigare använts på stora fartyg, men man har inte Ni-Resist i de mindre fartyg som byggs för närvarande.

(6). Guide-Lines for Selection of Marine Materials. The International Nickel Company, inget årtal angivet.

Sid 8: "Cast-iron" och "nickel-cast-iron" (Ni-Resist?) följer samma mönster som kolstål när det gäller korrosion.

Sid 9: I havsvatten med mindre hastighet är 2 fot/s ger Ni-Resist mer gropfrätning än de vanliga bronserna, se vidare FIG 6. I TAB 1 demonstreras gropfrätning under påväxt och i spalter. Ni-Resist jämförs här med 70/30 kopparnickel, koppar, tenn och aluminiumbrons. Den är användbar i "piping applications".

Sid 13: Med avseende på kavitation jämförs Ni-Resist med 70/30 kopparnickel-legering, manganbrons, G-brons (88 Cu, 10 Sn, 2 Zn) och M-brons (88 Cu, 6 Sn, 4,5 Zn, 1,5 Pb).

Sid 14: Inverkan av havsvattens hastighet (pumpar och bärplansbåtar). Avfrätningen anges i mpy, Ni-Resist kan jämföras närmast med G-brons 88% Cu, 10% Sn, 2% Zn, se vidare FIG 9 = BILD 8.

Sid 15: FIG 10, Ni-Resist har en korrosionspotential i rinnande havsvatten med 8-13 fot/s som ligger mellan det låglegerade stålens och aluminiumbronsens. FIG 11 = BILD 9, gäller fästelement: Ni-Resist jämförs med koppar. Fästelement av aluminium och kolstål är inte acceptabelt mot Ni-Resist däremot fästelement av kopparlegeringar och rostfritt stål. TAB 4, "Galvanic Potentials", i strömmande havsvatten 13 fot/s: Ni-Resist ligger mellan gråjärn och koppar. FIG 12 = BILD 10 "Galvanic Compability" gäller havsvattenpumpar och -ventiler: Ni-Resist skyddar galvaniskt kopparlegeringar och rostfritt stål 316, 18/10 - 2,5 Mo.

Sid 25 och följande: Applikationer för Ni-Resist. Pumphus, ventilhus när övriga delar är av 316. Det är ett användbart alternativ till M-brons, men används mindre (för dyrt?). Vattenboxar: Ni-Resist är ett gott val, liten korrosion men skyddar ändå tubändar och tubplåt.

Sid 30, propellermaterial: Gjutjärn, många bronser och ett rostfritt stål nämns, men inte Ni-Resist. Varför?

(7). Vilhelmsson, Dick, Bruzaholms Bruk, telefonsamtal:  
Priser på Ni-Resist.

Bruzaholm har inte gjort Ni-Resist på länge men han uppskattar prisrelationen Ni-Resist:gråjärn till 3:1 för obearbetade ämnen.

- (7A) Ytterell, Evert, Holsbywerken, Vetlanda, telefonsamtal:  
Priser på Ni-Resist.

Man skall sätta igång att göra Ni-Resist av segjärnstyp och har inte någon större erfarenhet. Preliminärt uppskattar man priserna sålunda. Ni-Resist segjärn: vanligt segjärn = 4:1. Det gäller relativt komplicerat gods där priserna är 45 - 50:-/kg för Ni-Resist segjärn och kanske 12:-/kg för vanligt segjärn.

- (8). Materials for Sea-Water and Brine Recycle Pumps. The International Nickel Company, år inte angivet.

Vad beträffar teorin kan denna publikation betraktas som ett utdrag ur (6). Grunden för siffermaterialet är tydligen provningar utförda av La Que Corrosion Laboratory.

Sid 1: Inledningen lyder: "During the past decade, manufacturers of pumps for saline water, have upgraded from cast-iron and bronze to a variety of nickel-chromium alloys and austenitic cast-iron". Antagligen är broschyren skriven på 1970-talet. Det skulle i så fall betyda att Ni-Resist skulle ha fått ett uppsving på 60- och 70-talen.

Sid 6: Vad beträffar material i pumpar, typ "Vertical Wet Pit Sea-Water and Brine Recycle Pumps" talas det om nio delar (t ex hus), och för varje del anges billigaste alternativ, ett bättre alternativ ur kostnads-synpunkt och det alternativet som håller längst. Då gäller i stort sett för hus att gjutjärn är vanligt som billigaste alternativ. För de båda andra alternativen rekommenderas ofta Ni-Resist, BILD 12.

- (9). Pleva, J: Korrosion i pumpar och värmeväxlare i ång- och kärnkraftanläggningar - Praktiska erfarenheter. KI-Rapport 1977:15, STU-rapport 733924 U.

Sid 3: Litteraturuppgifter: La Que, Marine Corrosion: "Med hänsyn till risken för galvanisk korrosion när olika material används för olika komponenter bör de kritiska eller mest belastade delarna vara tillverkade av ett material som är ädlare än ur funktionssynpunkt mindre viktiga komponenter" - "Används exempelvis rostfria pumphjul och/eller axlar anges pumphus av Ni-legerade austenitiska stål ASTM A 463 vara lämpliga". Elektricitetswirtschaft 73 (22, 675 (1974)) gällande engelska kraftverk med kylvattenpumpar som sannolikt kommer att fungera längre än kraftverken: Pumphuset är av Ni-Resist 2, pumphjulet av SS 2343. Tidigare användes vanligt olegerat gjutjärn för pumphuset. Detta måste bytas efter ca 10 års drift.

Sid 4: A Guide to the Selection of Marine Materials, 1973 Inco Ltd, rapporterar goda erfarenheter från värmekraftverk med pumphus av austenitiskt gjutjärn och hjul av SS 2343.

Sid 4-8: Driftserfarenheter i Sverige: Pumpar

Stenungsund: Det gäller en djupbrunnspump med fem pumphjul och stigarrör som förenar pumpen med motorn. De gjutna mellanflänsarna i stigarröret är till stor del grafiterade (sid 6), dessa flänsar är antagligen av gråjärn men det framgår inte av beskrivningen på sid 2. Driftstiden är inte angiven. Karlshamn: Det gäller en vertikal propellerpump på styrplåtar av gjutjärn i pumphuset. Pumphuset var av gjutjärn GG 26 och pumphjulet hade skovel av 14347 (ej känd norm) driftstid 6 år utan särskilda serviceåtgärder.

Västeråsverket: Pumphus av gjutjärn, pumphjul av rostfritt stål. Inga skador.

Sid 8: Slutsatser (pumpar). Det gäller mest propellerpumpar. Korrosionsproblemen i Sverige var förhållandevis små. De vanligaste orsakerna till skador vid andra kraftverk (än Ringhals 1 och 2) var erosionskorrosion, kavitationsangrepp, galvanisk korrosion och frätgropar utgående från porer i rostskyddsbeläggningar i pumphus och stigarrör.

I sammanfattningen i rapportens inledning nämns: För vattenkammare tycks kolstål eller gjutjärn med påvulkaniserad gummiplatta vara det bästa materialvalet. Även vattenkammare av nickellegerat gjutjärn, s k Ni-Resist, är enligt litteraturuppgifter lämpliga. (Detta är det enda fall då Ni-Resist nämns i sammanfattningen.)

Sture Henriksons tillägg (referat): I Ringhals 4 finns hjälpkylvattenpumpar för kylning av reaktorkomponenter (system 715). Det är pumpar med stigarrör och pumphus av epoxybelagt gråjärn och med axel (omålad), och skyddsrör (målat på båda sidorna) båda av SS 2343 samt gängade skarvmuffar av Ni-Resist D-2, 22% Ni 2% Cr, segjärnstyp (målade).

Efter ett år i kontakt med havsvatten varav långa perioder av stillestånd har grafitisk korrosion med intill 5 mm djup uppstått på en skarvmuff. Ställe: Se övre figuren i figurbladet bifogat referens (30). Anledning: Tro-  
ligen cellbildning mot axeln av SS 2343. På stigarröret (gråjärn, målat) finns en del angrepp, antagligen beroende på att målarfärgen inte täckte helt. Denna korrosion torde inte vara galvanisk korrosion mot det rostfria skyddsröret ty detta är målat. Detta skyddsrör är omgivet av havsvatten, på utsidan pumpat vatten, på insidan vatten för smörjning av gummilagren.

Ett lagerfäste av gråjärn var målat överallt utom på den ytan som gummiringen ligger an mot. Här hade det uppstått kraftig korrosion, antagligen galvanisk korrosion, där axeln av rostfritt stål var katod.

Slutsats: Kraftig korrosion beroende på galvanisk korrosion både på gråjärn och Ni-Resist i kontakt med rostfritt stål. Jämför (30).

(10). Anonym: Nickel as an Alloy in Cast-Iron.  
Amer. Foundry Men's Soc. 1977.

Sid 17-18: Ni-Resist Irons, typerna 1-5 beskrivs.

Sid 18: Typ 1 har fördel framför de övriga typerna när det gäller mineral-syror och saltvatten, typ 1 b är överlägset typ 1 vid erosionskorrosion samt är hårdare och starkare. Typ 2 är vanligast (hög temperatur och ånga). Typ 4 är den bästa Ni-Resisttypen i fråga om erosion, korrosion och oxidation.

Sid 21: Havsvatten. Ni-Resist-legeringarna är "ideally suited" för havsvattensystem vid ett antal betydelsefulla applikationer. Det finns betydande fördelar ur korrosionssynpunkt med Ni-Resist jämfört med olegerat gjutjärn, särskilt vid fallet hög vattenhastighet och vid fall där man riskerar galvanisk korrosion. Väljer man olegerat gjutjärn måste man hålla sig under 12 fot/s för att korrosionen skall hålla sig på en rimlig nivå och man måste vara försiktig med galvanisk korrosion. Om hastigheten är högre än 12 fot/s blir det inga vidhäftande korrosionsinhiberande korrosionsprodukter med lokal korrosion som resultat. En olägenhet med olegerat gjutjärn är

också att högre havsvattentemperatur ytterligare begränsar användbarheten starkt. Ni-Resist däremot bildar (bättre) vidhäftande korrosionsproduktsfilmer och tenderar att dämpa den galvaniska inverkan av olika metaller. Hårdigheten mot erosionskorrosion har gjort att Ni-Resist-legeringar i avsevärd utsträckning används för pumpar och ventildelar i havsvattensystem. Typerna 1 b, 2 b och 4 har ofta visat sig bra när man riskerar kavitationserosion men dessa fördelar motverkas i viss mån av försämrade gjutbarhet och försämrade skärbarhet eftersom kromhalten är högre (priset nämns inte). Ni-Resist är katodiskt gentemot förzinkat stål, aluminiumlegeringar, stål och olegerat gjutjärn men anodiskt gentemot kopparlegeringar, rostfritt stål och nickellegeringar. Rostfritt stål används ofta i kombination med Ni-Resist i havsvatten utan allvarligare problem med galvanisk korrosion. Typiska exempel är "trim" av rostfritt stål i Ni-Resist-ventiler samt impellers och foder av rostfritt stål i Ni-Resist-pumpar. Ni-Resists inbyggda korrosionshårdighet gör att den har avsevärda fördelar (framför gråjärn) i havsvatten med låg hastighet.

- (11). Ni-Resist Iron for Pumps and Valves. Fight Corrosion in Sea-Water and Aggressive Fluids. Nickel Ltd, 1973. En INCO-publikation.

Talrika kylvattenpumpar av Ni-Resist har installerats i kraftstationer, oljeraffinerier och stålverk över hela världen. För avsaltningsanläggningar har Ni-Resist specificerats för många pumpar och ventiler som hanterar matarvatten eller "brine". Under senare år har speciellt SG Ni-Resist typ D2 med sfäroidiserad grafit tagit överhanden över Ni-Resist med fjällgrafit.

Det ges en översikt över Ni-Resist's fördelar framför vanligt gråjärn. Korrosion i havsvatten: Under relativt lugna strömningsförhållanden då korrosionsprodukter och påväxter inte störs korroderar Ni-Resist-typen 1, 2 och D2 med 20-60  $\mu\text{m}/\text{år}$ , medeltal 40  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Under samma förhållanden ger gråjärn 70-500  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Det gäller långtidsförsök. Jag misstänker att härmed menas prov under månader men inte år. Vid strömmande havsvatten med moderat hastighet ökas korrosionshastigheten vid Ni-Resist inte särskilt mycket men vid gråjärn kan den bli rätt hög. Prov har gjorts med provstycken 2 x 100 mm som fästs periferiskt på en skiva och roterats så att hastigheten har blivit 8 m/s. Man har alltså försökt efterlikna förhållandena vid pumpar och ventiler. Framkanterna ("the leading edges") utsattes då för förhållandena där man kunde vänta sig en kraftig erosionskorrosion. Ni-Resist-proven visade förhållandevis liten erosionskorrosion, se TAB E.E.S.-Sea-Water Erosion Test. Det finns ytterligare tre diagram utvisande Ni-Resist D2's korrosionshårdighet i jämförelse med andra materials, speciellt gråjärns. Dessa tre diagram avser tydligen förhållandena vid avsaltning av havsvatten. Det första diagrammet (luftat havsvatten) är av största intresset, generellt sett. Om man fick tro det diagrammet skulle det vara en artskillnad och inte en gradskillnad mellan gråjärn och Ni-Resist. Det finns talrika bilder och uppgifter gällande speciellt stora pumpar av Ni-Resist, men inga uppgifter om korrosion på dem.

- (12). Sea-Water Corrosion Handbook. Schumacher, M, Neues Data Corporation, 1979.

Sid 114-123: Man har sänkt ner provstycken i havsvatten på olika djup och tagit upp dem efter olika tider. Avfrätningen har beräknats. Även andra faktorer sammangående med försöket har antecknats. Ett stort antal material har provats, bl a gråjärn och Ni-Resist.

När det gäller kolstål har nickel upp till 9% föga betydelse för korrosionen.

Resultat i ytvatten: Gråjärn korroderar storleksordningen dubbelt så fort som Ni-Resist i början, (BILD 5). Vid låga syrehalter, d v s vid ett visst havsdjup är skillnaden mycket mindre. Korrosionshastigheten avtar med tiden.

- (13). Dexter, S C: Handbook of Oceanographic Engineering Materials. John Willey & Sons, 1979 314 s.

Sid 109: High Nickel Cast-Iron (Ni-Resist) omfattar knappt en sida. Elektrodpotential -0,43 - -0,55 V SCE (ref. (6) ovan). Korrosionstyp: Allmän korrosion. Det kan bli galvanisk korrosion vid kontakt med kopparlegeringar, nickellegeringar, rostfritt stål och titan i havsvatten. Typiska korrosionshastigheter: 1-3 mpy i början och 0,5 - 1,5 mpy efter ungefär 1000 dygn. Användningsområde: "Exhaust manifolds, steam lines, pump casings and impellers".

- (14). Loss & Heinz: Zum Mechanismus der Erosionskorrosion in schnellströmenden Flüssigkeiten. Werkst. & Korros. 1973 (24) sid 38-45.

Försök har gjorts med gjutjärn i strömmande havsvatten 25°C. Materialval GG 25 och GG 25 + 2% Ni. Försökstider 20 till 100 h. Upp till 12 m/s fick man ungefär samma frätningshastighet på båda gjutjärnen, sakta stigande med ökande hastighet, men vid 20 m/s frättes det nickelfria gjutjärnet mycket hastigare än det nickelhaltiga. (Det kan då antas att Ni-Resist är ännu mycket bättre. Stämmer inte med (19).)

- (15). Ni-Resist News 4381/703, inget årtal angivet.

ISO 2892 utgiven 1973 omfattar 9 typer Ni-Resist med fjällgrafit och 11 med sfäroidiserad grafrit. Används för pumpar och ventiler. Standard i Frankrike, Tyskland, Storbritannien, USA. Under "Corrosion Behaviour of Ni-Resist Cast Irons" tre tabeller och två figurer enligt BILD 2.

Sid 3: En pump i Venezuela har pumpat orent havsvatten över 10 år med helt tillfredsställande resultat. Temperatur 20-30°C, pH 7,1. Typ Ni-Resist D2.

Sid 4: Vid en kraftstation i södra Wales finns åtta Ni-Resist kylvattenpumpar som har gått i sex år. Det anses att de skall vara anläggningen ut. Vatten: "Estuary water" med slam. Hus: Ni-Resist. Impeller: Rostfritt stål. Angreppen på Ni-Resist var försumbara. Tidigare hade man använt gjutjärns-pumpar men de måste bytas ut efter 10 år ehuru man under tiden byggt upp angreppen i innerytorna med svets vid talrika tillfällen. Det är oklart om de tidigare gjutjärnspumparna hade impeller av gjutjärn eller av rostfritt stål.

Sid 8: "Butterfly valves" ombord på fartyg av Ni-Resist D2. En del sådana ventiler har installerats i system med inertgas - för brandskydd - och för ballast på ett antal 350.000 tons oljetankers byggda av Kockums. Ventiler-na är tillverkade av Järnförädling i Hälleforsnäs. Husen är av Ni-Resist D2. Ventilskivan kan göras av Ni-Resist D2 eller rostfritt stål SS 316. (Anm. Hälleforsnäs har slutat göra Ni-Resist.)

- (16). Bergström, Nils-Rune, Saab-Scania AB, Nordarmaturdivisionen.  
Telefonsamtal vid olika tillfällen våren 1981.

För större kompletta havsvattenventiler - storleksordningen  $\varnothing$  100-200 mm - gäller grovt sett följande relativa priser.

|                  | Källa I | Källa II | Källa III     |
|------------------|---------|----------|---------------|
| Gråjärn          | 100     | 100      | 100           |
| "Brons"          | 250     | 300      |               |
| Ni-Resist        | 450     | 500      |               |
| Gummerat gråjärn |         |          | 150 (125-200) |

En del kunder är nog tveksamma inför alternativet gummerat gråjärn. Anledning: Ytbeläggningar i allmänhet har fått dåligt rykte. En del flagar.

- (17). Henrikson, S: Driftserfarenheter av rostfria stål i havsvattenkylda system. Delrapport över etapp 1 av SVF M 13, KI 51 402/2, 1981-01-22.

Rapporten handlar om havsvattenberörda kylvattenrör, värmeväxlare, pumpar, ventiler och silar. Man har studerat korrosion på konstruktioner som varit ute under längre eller kortare tid. Gjutjärn i kontakt med en del andra material - speciellt rostfritt stål men inte Ni-Resist - behandlas. Kontentan för vårt vidkommande är följande. Austenitiska rostfria stål med molybdenhalten 3,5% eller mindre är känsliga för lokal korrosion. Om det emellertid finns gjutjärnsdelar i närheten har de rostfria detaljerna fått så gott katodiskt skydd att korrosion inte uppstått. Det verkar som om ett tillräckligt katodiskt skydd på rostfritt stål skulle kunna erhållas t o m av kopparlegeringar.

- (18). Ljungberg, Lars, Asea-Atom, telefonsamtal 1981-02-25.

Man bör räkna med en livslängd på 40 år på de anläggningar det är frågan om i denna rapport. Man kan då resonera på följande sätt: Om livslängden på gråjärn är känd och om faktorn för livslängden gråjärn:Ni-Resist är känd kan man räkna ut livslängden för Ni-Resist. Vad man speciellt vill undvika är ett dyrt underhåll. För små ventiler och pumpar är rödmetall ett vanligt material och för stora ventiler och pumpar gråjärn i dagens läge. Det verkar som om Ni-Resist skulle användas i USA betydligt mer än i Sverige och dessa uppgifter kommer inte bara från International Nickel utan också från talrika avnämare.

Anm. Faktorn för livslängden gråjärn:Ni-Resist varierar starkt.

- (19). DeChema-Werkstofftabelle, Sept 1975. Meerwasser B1 71-74.

Järn upp till 7% Ni, låglegerade nickelstål. Avfrätning i  $\mu\text{m}$  beräknade ur viktsförlust för kolstål och nickelstål med 2 och 5% Ni i tropiskt havsvatten, sannolikt stillastående, 16 år. Resultat: De nickellegerade stålen frättes något mer än kolstålen. Detta stämmer inte med litteraturreferat (14).

Höglegerade nickelstål och austenitiskt gjutgods. Härmed avses material av typen Ni-Resist. Det gäller järn med 13-35% Ni och 1-5% Cr, grafit i form av fjäll och i form av kulor. Den goda korrosionshårdigheten kommer av det

austenitiska tillståndet (?). Korrosionshårdigheten ungefär fyrdubblas om man går från 15% Ni 6% Cu 2% Cr till 15% Ni 6% Cu 3% Cr eller från 20% Ni 2% Cr till 20% Ni 3% Cr (?). Beskrivning av Ni-Resists sammansättning och egenskaper (BILD 1) lika med amerikanska uppgifter. I allmänhet används Ni-Resist 1 och 1 b som är billigare än de andra eftersom nickelhalten är lägre. Korrosionshastigheten för gråjärn: Ni-Resist, ca 5:1 (3:1-25:1), se TAB 21.2. Temperaturen betydelse se Abbildung 21.1 som överensstämmer med BILD 2, FIG 2.

EES havsvattenerosionskorrosionsförsök 8,2 m/s, 28°C: Ni-Resist 1, 2 och 3 har en avfrätningshastighet ungefär 10-delen av olegerat gjutjärns. RG 10 är sämre än Ni-Resist, se även BILD 2, TAB 3.

Gropfrätning: Ni-Resist 1 b får mycket grundare frätgropar än 304 och 316 (medan man får mera allmänt angrepp?).

Potential och grafitering: Potentialen i strömmande havsvatten för Ni-Resist ligger mellan kolstål å ena sidan och rödmetall och mässing å andra sidan, detta innebär att Ni-Resist lämpar sig bra för bl a vattenkammare och skiljeväggar i värmeväxlare med tuber av kopparlegeringar (som får katodiskt skydd?). Även som ersättningsdetaljer såsom löphjul eller "Ventilklappen" när det gäller pumpar med hus av gråjärn (Bl 73). Om grafiteringen i huset har gått långt och man sätter in nya delar av gråjärn, t ex ett nytt löphjul, kommer husets grafiterade yta att bli en verksam katod mot det nya löphjulet (anod). Ni-Resist (i det nya löphjulet) ger mindre grafitering än gråjärn.

I tropiskt havsvatten kan man efter 8 år räkna med konstant korrosionshastighet, ungefär 28 µm/år, vilket är en femtedel av gråjärnets - efter 16 år kan man räkna med att gropdjupet dividerat med den allmänna avfrätningen är "5,1" (5:1?). En bearbetad yta ger kraftigare korrosion än gjuthuden. Användningsområden: En utförlig lista.

(20). Schreir, L L: Corrosion. Vol. 1, 2.a utg. 1976. 3.7 High-Nickel Cast Irons. Sid 3:98-3:110.

Sid 3:98: Dessa järns austenitiska matrix är ädlare än matrix hos olegerat gråjärn. De första Ni-Resist-legeringarna med ca 20% nickel kom till på 1930-talet, se (29), och etablerades snart som korrosions- och värmehärdiga material. De har utmärkta gjutegenskaper och är lätta att bearbeta med skärande verktyg. Austenitiskt rostfritt gjutjärn har bättre korrosionshårdighet än ferritiskt i första hand beroende på att matrix (austenitisk) innehåller nickel. FIG 3.40 visar anledningen då det gäller 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Det borde enligt författarens resonemang vara de ädlare potentialerna i det aktiva området som är det väsentliga när det gäller havsvatten. Detta sägs dock inte rakt ut. I 3% NaCl 60°C är "the break-down potentials" i allmänhet ädlare för de austenitiska sorterna än för de ferritiska. De borde då vara mer korrosionshårdiga i sådan miljö. En framträdande egenskap hos de austenitiska järnen är deras hårdighet mot grafitering. De ferritiska järnen får en ökad korrosionshastighet emedan grafiteringsskiktet är ädlare än matrix (?). De austenitiska järnen bildar inte sådana grafiteringsskikt (?) och beter sig därför gynnsammare än när grafitering är ett problem. Gjutjärn med sfäroidal grafit är ur funktionssynpunkt bättre än gjutjärnen med fjällgrakit i en del fall.

Sid 3:105: Havsvatten. Ni-Resist har bättre korrosionshårdighet än gråjärn emedan matrix är ädlare. Ni-Resist av typerna 1, 2 och 3 korroderar med hastigheten 0,020-0,058 mm/år i stillastående havsvatten. Vanligt gråjärn korroderar under samma förhållande med 0,066-0,53 mm/år. Tydligt enligt

Uhlig, The Corrosion Handbook, sid 385-386, 1948. I ett 740 dagars försök i havsvatten som strömmade med 1,5 m/s frättes vanligt gråjärn med 1,3 mm/år och Ni-Resist typ 2 med 0,05 mm/år. Ytterligare 60-dagarsförsök framgår av FIG 3:44 (hämtad från (15)) och FIG 3:45.

Sid 3:109: Under "Salter" finns refererat en del försök med Ni-Resist kontra gråjärn, det gäller ammoniumklorid och magnesiumklorid av olika koncentrationer och temperaturer. Korrosionshastigheterna Ni-Resist:gråjärn ligger mellan 1:8 och 1:32.

Under applikationerna nämns speciellt pumpar och ventiler.

(21). May, T P, Holmberg, E G & Hinde, J: Sea Water Corrosion at Atmospheric and Elevated Temperatures. DeChema Monografien Vol. 47 (1962), sid 253-274.

Alla tre författarna är knutna till International Nickel Company.

Sid 256: "Normal areated sea-water corrosion." Austenitiskt gjutjärn verkar lovande ur ekonomisk synpunkt för pumpar, ventiler och andra liknande utrustningar i havsvatten. Vanligt gråjärn är otillfredsställande emedan det blir grafitering. Denna form av korrosion börjar med angrepp på järnets matrix och angreppet kan acceleras genom galvanisk korrosion orsakad av det ädla grafitskiktet. Vid hög vattenhastighet kan korrosionsprodukterna avlägsnas till följd av erosion. Nickelhaltigt gjutjärn (15% Ni eller mer) ger en austenitisk struktur som ger matrix en ädlare potential. Härmed följer bättre hårdighet mot grafitering såväl som mot eroderande krafter.

Sid 258: TAB 3 visar att Ni-Resist 1 och 2 är mycket bättre än gråjärn både i stillastående vatten och i vatten som strömmar med 4 fot/s. Vid högre hastigheter (27 fot/s) är de austenitiska gjutjärnen fortfarande överlägsna vanligt gråjärn, se FIG 3 på BILD 4.

Sid 260: Praktiska försök med centrifugalpumpar har gett som resultat att i Ni-Resist medförde en ökning av kromhalten från 2 till 3% bättre hårdighet mot kavitationserosion. Laboratieförsök visar att austenitiskt gjutjärn är bättre än gråjärn även då det gäller erosionskorrosion (impingementattack) vid 135 fot/s. 3% Cr ger bättre resultat än 2% Cr (BILD 3).

Sid 263: Den billigaste pump som ger tillfredsställande resultat i luftat havsvatten har Ni-Resist 2 av segjärnstyp i huset och Ni-Resist 1 med 3% Cr i impellern, varvid spindeln görs av 316 d v s SS 2343. Spindeln kommer då att skyddas mot gropfrätning och spaltkorrosion genom en galvanisk effekt. Ett alternativ är impeller av 316 i hus av Ni-Resist.

Sid 266: Det talas om värmeväxlare. Austenitiskt gjutjärn typ II, d v s Ni-Resist 2 är ett alternativ för tubplåtar och vattenkammare, bättre än gråjärn. Man refererar också till Todhunter som har funnit följande:

Gör man en tubvärmeväxlare med vattenkammare i gjutjärn kan vattenkammaren bli katodisk mot metaller på kopparbas och framkalla korrosion hos dessa.

(22). Metals Handbook, 8:e utg. Vol 1. Properties and Selection of Metals, 1961.

På sid 402 under Corrosion resistant Cast-Irons finns High-Nickel Irons.

De används mycket på grund av sin korrosionshårdighet då det gäller svavelsyra, fosforsyra och salpetersyra. Det står ingenting om havsvatten.

- (23). Metals Handbook, 8:e utg. Vol. 10. Failure Analyses and Prevention, 1975.

I den galvaniska spänningsserien, havsvatten, står Ni-Resist mellan kolstål och gråjärn å ena sidan och aktivt kromstål samt 50/50 blytennlod å andra sidan. I TAB 3 är en del material graderade i tre gruppen med hänsyn till hårdighet mot kavitation och erosion i havsvatten. Exempel på material: Grupp 1: Hastelloy C. Grupp 2: Monel 400. Grupp 3: Austenitiskt nickelhaltigt gjutjärn (Ni-Resist). Grupp 4: Kolstål och gjutjärn.

- (24). Werkstofftabellen der Metalle, Wellinger, H, Gimmel, P & Bodenstern, M. Alfred Kröner Verlag, Stuttgart 1972.

Legeringar motsvarande Ni-Resist 1 och 1 b föreslås för bl a pumpar och ventiler, Ni-Resist 3 för pumpdelar och ventiler. Det står inte att de lämpar sig speciellt för havsvatten.

- (25). Aptekar, L I & Abramenco, U E: Structure and Properties of Austenitic Cast-Irons. Metal Science Heat-Treatment. Mars-April 1977, 19. sid 280-292. Översättning från ryska.

Sid 290: Legeringar med Cu tex 15% Ni och 6% Cu. Grafitem förekommer som fjäll eller kulor. I det senare fallet (segjärn) kan det vara 3% Cu och upp till 20% Ni. Dessa legeringar har god hårdighet i bl a havsvatten. De används i anläggningar för avsaltning av havsvatten.

- (26). Uhlig, H H: The Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, 1948.

För olegerat järn och stål gäller att korrosionshastigheten i havsvatten är tämligen konstant när det har gått över ett år.

Sid 385: TAB 1, korrosionsförsök i havsvatten med åtta gråjärn samt två Ni-Resist med 15 resp. 20% Ni och ett par % Cr. Proverna har varit helt nedsänkta. Tid och exponeringsplats varierar. För gråjärn ligger angreppet mellan 14 och 103 mdd, i allmänhet omkring 30, för Ni-Resist mellan 4 och 8 mdd - ipy (tum/år) är över lag proportionellt mot mdd (mg/dm<sup>2</sup>, dygn). Viktförlusten måste ligga som grund. Källan när det gäller både Ni-Resist och tre av de åtta gråjärnen är ett opublicerat arbete från International Nickel Company.

- (27). Temperley, T, G: Corrosion Phenomena in the Coastal Areas of the Persian Gulf. Corrosion Science 1965, Vol. 5, 581-589.

Sid 586: En havsvattenpump i Kuwait, med hus av Ni-Cast-Iron och axel av rostfritt stål, tog havsvatten från 12 fots djup. Huset och "bell mouth" var från början belagda med bitumenfärg. Turbulens och kavitation förstörde ganska snart denna skyddsbeläggning. Vissa delar blev då förstörda på ett år. Man tänker nu ersätta felaktiga delar med Monel-metall eller rostfritt stål 317. Det framgår inte av beskrivningen vad som menas med Ni-Cast-Iron.

(28). Metals Reference Book, 5th Ed. 1976, sid 1392.

Ni-Resist är standardiserat i British Standard. God korrosionshårdighet i bl a havsvatten.

(29). Vanick, J S & Merica, P D: Corrosion and Heat Resistant Nickel-Copper-Chromium Cast-Iron. Trans. Am. Soc. Steel Treat. 18, 1930. p 923-942.

Författarna var knutna till The International Nickel Company. Detta är antagligen den första publikationen om Ni-Resist.

Sid 930: Korrosionshårdigheten relativt gråjärn är god i atmosfären, neutrala lösningar och syror.

Sid 934: Vad beträffar havsvatten "Pumps and propellers are performing creditably ....."

(30). Henrikson, S: Inspektion av havsvattenpumpar i Ringhals 3, 1981-07-07--08 samt materialrådgivning avseende anläggning för manetbekämpning i Ringhals 1 och 2. KI-rapport 1981-08-04, KI undersökningsprotokoll 51 401/7.

Protokollet handlar bl a om en skarvmuff (axelkoppling) från Ringhals 3, pump 04, system 715 av Ni-Resist D-2 med 20% Ni, 2% Cr, målad, med samma konstruktion och funktion som skarvmuffar från Ringhals 4 enligt (9). Drifftiden var 8563 h, kontakttiden med havsvatten längre, ca 3 år. Även skarvmuffen från Ringhals 3 visade lokal grafitisk korrosion på ändytorna (se bifogade figurbild, övre figuren), liknande korrosionen på motsvarande skarvmuff från Ringhals 4 (undre figuren i samma figurbild). Dock var angreppen i Ringhals 3 10-20 mm djupa, d v s flera gånger så djupa som i Ringhals 4 (intill 5 mm). Detta torde hänga samman med att kontakttiden med havsvatten i det förra fallet (Ringhals 4) var tre år i det senare (Ringhals 3) ett år.

I skarvmuffen från Ringhals 3 förekom också tvärgående sprickor (se FIG). Dessa sprickor, som torde vara korrosionsutmattningssprickor, har en längd motsvarande muffens halva omkrets och är lokalt genomgående. Både den lokala korrosionen på ändytorna och sprickorna antas vara resultatet av galvaniska celler, varvid katoden varit det rostfria axelmaterialet och eventuellt skyddsroret i samma material - trots målning.

I Ringhals 3 finns också en pump 32.718.P1 med följande data:

"Denna pump av APE's fabrikat är en djupbrunnspump med löphjul av Al-brons, BS 1400:AB2, mot detsamma svarande obelagd slitring i inloppsdysan av Ni-Resist 2 b (AUS: 101.A med 22% Ni och 3% Cr) samt pumphus och stigarrör av tjärepoxybelagt gjutjärn. Drifftiden är 7481 h, den totala kontakttiden med havsvatten ca 3 år."

Slitringen av obelagt Ni-Resist 2 b visade endast ytliga rostangrepp. Inga tecken på grafitering kunde upptäckas - om man jämför denna slitring av Ni-Resist 2 b (min 3% Cr) med den andra nämnda skarvmuffen, finner man följande likheter och skillnader:

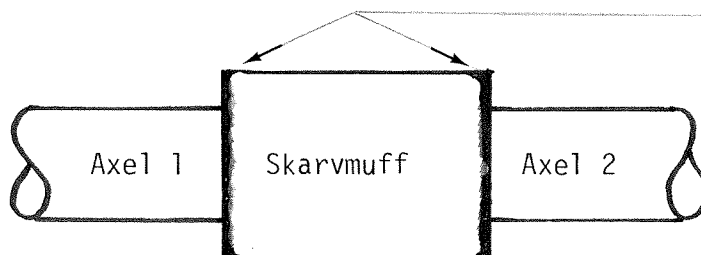
|                          | <u>SLITRING</u> | <u>SKARVMUFF</u>                                  |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|
| Material, Ni-Resist      | 2 b             | D-2                                               |
| % Ni                     | 20              | 20                                                |
| % Cr                     | 3               | 2                                                 |
| Drifttid, h              | 8563            | 7481                                              |
| Kontaktid med havsvatten | ca 3 år         | ca 3 år                                           |
| Beläggning med färg      | Nej             | Ja                                                |
| Relation katod:anod      | Mindre          | Stor                                              |
| Korrosion                | Obetydlig       | Stark<br>Grafitering,<br>utmattnings-<br>sprickor |

Skarvmuffen och slitringen är alltså inte i varje detalj jämförbara men observationerna är dock en indikation på att Ni-Resist med 3% Cr har bättre korrosionshårdighet än Ni-Resist med 2% Cr.

#### SKARVMUFFAR FRÅN RINGHALS 4 OCH RINGHALS 3

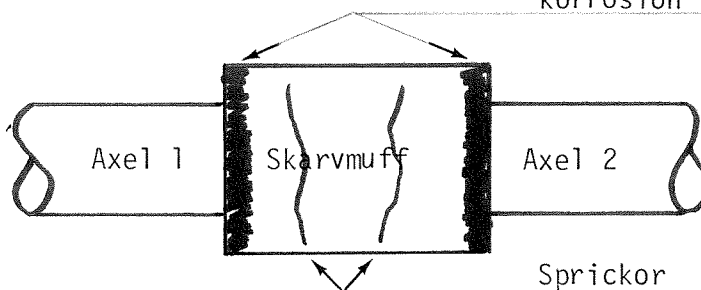
Galvanisk, grafitisk  
korrosion

Skarvmuff av målad  
Ni-Resist D-2 från  
Ringhals 4. Ref (9).



Galvanisk, grafitisk  
korrosion

Skarvmuff av målad  
Ni-Resist D-2 från  
Ringhals 3. Ref (30).



(31). Bäckstrand, L, Statens Vattenfallsverk: Privat meddelande till Sture Henrikson, juni 1981.

Firma CA Mörk, svensk representant för KSB (Klein, Schanzlin & Becker) AG i Tyskland har lämnat följande information.

Ventiler av Ni-Resist 2 levereras inte som standardprodukt. Off-shore industrin har dock beställt några havsvattenventiler av detta material. Leveranstid: ca 6 månader.

Ni-Resist är svärgjutet, rena handarbetet, vilket gör det 8-10 ggr dyrare än gråjärn för en och samma produkt.

#### Prisex

|                                                            |                 |
|------------------------------------------------------------|-----------------|
| Vridspjällventil anslutning                                | 200             |
| 1. Helt i gråjärn (rekommenderas inte för havsvatten)      | relativpris 100 |
| 2. Hus i gråjärn, invändigt gummerat med spjäll i Al-brons | 200             |
| 3. Dito i segjärn                                          | 250             |
| 4. Dito i Al-brons                                         | 350-400         |

Dessa är lagervara. Följande specialutföranden kan levereras.

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 5. Hus i segjärn klätt med Teflon EPD-gummibelagt spjäll | 400 |
| 6. Helt i Ni-Resist 2                                    | 800 |

|                |                                                |                      |
|----------------|------------------------------------------------|----------------------|
| DK             | Bearbeiter: W. Katz<br>Redakteur: H. Puschmann | BILD 1 (19)          |
|                | Meerwasser<br>Seawater<br>Eau de Mer           |                      |
| September 1975 |                                                | Meerwasser<br>Bl. 72 |

21) Hochlegierte Nickel-Stähle (Forts.)

Tabelle 21.1a

Chemische Zusammensetzungen, mechanische und physikalische Eigenschaften der wichtigsten austenitischen Gußeisenwerkstoffe mit Lamellengraphit  
(Werkschrift Nr. 41, Intern. Nickel Deutschland GmbH, Düsseldorf (1966), S. 8. u. 9)

| Handelsname  | Bezeichnung nach DIN 1694 | chemische Zusammensetzung in Gew.-% |             |             |               |             |             |
|--------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
|              |                           | C max.                              | Si          | Mn          | Ni            | Cr          | Cu          |
| Ni-Resist 1  | GGL-NiCuCr 15 6 2         | 3,0                                 | 1,0 ... 2,8 | 1,0 ... 1,5 | 13,5 ... 17,5 | 1,0 ... 2,5 | 5,5 ... 7,5 |
| Ni-Resist 1b | GGL-NiCuCr 15 6 3         | 3,0                                 | 1,0 ... 2,8 | 1,0 ... 1,5 | 13,5 ... 17,5 | 2,5 ... 3,5 | 5,5 ... 7,5 |
| Ni-Resist 2  | GGL-NiCr 20 2             | 3,0                                 | 1,0 ... 2,8 | 1,0 ... 1,5 | 18 ... 22     | 1,0 ... 2,5 | —           |
| Ni-Resist 2b | GGL-NiCr 20 3             | 3,0                                 | 1,0 ... 2,8 | 1,0 ... 1,5 | 18 ... 22     | 2,5 ... 3,5 | —           |
| Nicrosilal   | GGL-NiSiCr 20 4 3         | 2,5                                 | 3,5 ... 5,5 | 1,0 ... 1,5 | 28 ... 32     | 1,4 ... 4,5 | —           |
| Ni-Resist 3  | GGL-NiCr 30 3             | 2,6                                 | 1,0 ... 2,0 | 0,4 ... 0,8 | 18 ... 22     | 2,5 ... 3,5 | —           |
| Ni-Resist 4  | GGL-NiSiCr 30 5 5         | 2,6                                 | 5,0 ... 6,0 | 0,4 ... 0,8 | 29 ... 32     | 4,5 ... 5,5 | —           |
| Ni-Resist 5  | GGL-Ni 35                 | 2,4                                 | 1,0 ... 2,0 | 0,4 ... 0,8 | 34 ... 36     | —           | —           |

| Handelsname  | Zugfestigkeit         | Dehnung ( $I_0 = 5d$ ) | Elastizitätsmodul     | Brinellhärte          | Dichte               | Wärmeausdehnungskoeffizient (20...200 °C) | Wärmeleitfähigkeit  | spezifische Wärme |
|--------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------|---------------------|-------------------|
|              | in kp/mm <sup>2</sup> | in %                   | in kp/mm <sup>2</sup> | in kp/mm <sup>2</sup> | in g/cm <sup>3</sup> | in 10 <sup>-6</sup> · grd <sup>-1</sup>   | in cal/cm · s · grd | in cal/g · grd    |
| Ni-Resist 1  | 15 ... 21             | 2                      | 8500 ... 10 500       | 120 ... 215           | 7,3                  | 18,7                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Ni-Resist 1b | 18 ... 24             | 1 ... 2                | 9800 ... 11 300       | 150 ... 250           | 7,3                  | 18,7                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Ni-Resist 2  | 15 ... 21             | 2 ... 3                | 8500 ... 10 500       | 120 ... 215           | 7,3                  | 18,7                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Ni-Resist 2b | 18 ... 24             | 1 ... 2                | 9800 ... 11 300       | 160 ... 250           | 7,4                  | 18,7                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Nicrosilal   | 18 ... 28             | 2 ... 3                | —                     | 140 ... 248           | 7,4                  | 18,0                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Ni-Resist 3  | 17 ... 24             | 1 ... 3                | 9800 ... 11 300       | 120 ... 215           | 7,4                  | 12,4                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Ni-Resist 4  | 15 ... 24             | —                      | 10 500                | 150 ... 210           | 7,4                  | 14,6                                      | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |
| Ni-Resist 5  | 14 ... 18             | —                      | 7 400                 | 120 ... 140           | 7,4                  | 5,0                                       | 0,09 ... 0,1        | 0,11 ... 0,12     |

Tabelle 21.1b

Chemische Zusammensetzungen, mechanische und physikalische Eigenschaften der wichtigsten austenitischen Gußeisenwerkstoffe mit Kugelgraphit  
(Werkschrift Nr. 41, Intern. Nickel Deutschland GmbH, Düsseldorf (1966), S. 8. u. 9)

| Handelsname           | Bezeichnung nach DIN 1694 | chemische Zusammensetzung in Gew.-% |             |             |           |             |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
|                       |                           | C max.                              | Si          | Mn          | Ni        | Cr          |
| Ni-Resist D-2         | GGG-NiCr 20 2             | 3,0                                 | 1,7 ... 3,0 | 0,7 ... 1,5 | 18 ... 22 | 1,0 ... 2,5 |
| Ni-Resist D-2B        | GGG-NiCr 20 3             | 3,0                                 | 1,7 ... 3,0 | 0,7 ... 1,5 | 18 ... 22 | 2,5 ... 4,0 |
| Nicrosilal, Spheronic | GGG-NiSiCr 20 4 2         | 3,0                                 | 3,5 ... 5,5 | 1,0 ... 1,5 | 18 ... 22 | 1,0 ... 2,5 |
| Ni-Resist D-2C        | GGG-Ni 22                 | 3,0                                 | 1,7 ... 3,0 | 1,8 ... 2,4 | 21 ... 24 | —           |
| Ni-Resist D-2M        | GGG-NiMn 23 4             | 2,6                                 | 1,9 ... 2,6 | 4,0 ... 4,4 | 22 ... 24 | —           |
| Ni-Resist D-3         | GGG-NiCr 30 3             | 2,6                                 | 1,5 ... 2,8 | max. 0,5    | 28 ... 32 | 2,5 ... 3,5 |
| Ni-Resist D-3A        | GGG-NiCr 30 1             | 2,6                                 | 1,5 ... 2,0 | max. 0,5    | 28 ... 32 | 1,0 ... 1,5 |
| Ni-Resist D-4         | GGG-NiSiCr 30 5 5         | 2,6                                 | 5,0 ... 6,0 | max. 0,5    | 29 ... 32 | 4,5 ... 5,5 |
| Ni-Resist D-5         | GGG-Ni 35                 | 2,4                                 | 1,5 ... 2,8 | max. 0,5    | 34 ... 36 | —           |
| Ni-Resist D-5B        | GGG-NiCr 35 3             | 2,4                                 | 1,5 ... 2,8 | max. 0,5    | 34 ... 36 | 2,0 ... 3,0 |

| Handelsname           | Zugfestigkeit         | 0,2-Grenze            | Dehnung ( $I_0 = 5d$ ) | Elastizitätsmodul     | Kerbschlagzähigkeit (DVM) | Brinellhärte          | Dichte               | Wärmeausdehnungskoeffizient (20...200 °C) | Wärmeleitfähigkeit  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------|---------------------|
|                       | in kp/mm <sup>2</sup> | in kp/mm <sup>2</sup> | in %                   | in kp/mm <sup>2</sup> | in kpm/cm <sup>2</sup>    | in kp/mm <sup>2</sup> | in g/cm <sup>3</sup> | in 10 <sup>-6</sup> · grd <sup>-1</sup>   | in cal/cm · s · grd |
| Ni-Resist D-2         | 38 ... 48             | 21 ... 25             | 8 ... 20               | 11 200 ... 13 000     | 2,0 ... 4,0               | 140 ... 200           | 7,4                  | 18,7                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-2B        | 40 ... 50             | 22 ... 26             | 6 ... 15               | 11 200 ... 13 000     | 1,7                       | 150 ... 255           | 7,45                 | 18,7                                      | 0,03                |
| Nicrosilal, Spheronic | 38 ... 44             | 22 ... 26             | 10 ... 18              | —                     | —                         | 180 ... 230           | 7,35                 | 18,0                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-2C        | 38 ... 45             | 21 ... 25             | 20 ... 40              | 8 500 ... 11 200      | 3,0 ... 4,8               | 130 ... 170           | 7,4                  | 18,4                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-2M        | 42 ... 48             | 18 ... 24             | 25 ... 45              | 12 000 ... 14 000     | 3,5 ... 5,0               | 150 ... 180           | 7,45                 | 14,7                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-3         | 38 ... 48             | 22 ... 26             | 7 ... 18               | 9 200 ... 10 500      | 1,2                       | 142 ... 200           | 7,45                 | 12,6                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-3A        | 38 ... 45             | 21 ... 27             | 13 ... 18              | 11 200 ... 13 000     | 2,4                       | 130 ... 190           | 7,45                 | 12,6                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-4         | 40 ... 50             | 24 ... 31             | 1 ... 4                | 9100                  | —                         | 170 ... 250           | 7,45                 | 14,4                                      | 0,03                |
| Ni-Resist D-5         | 38 ... 42             | 21 ... 24             | 20 ... 40              | 11 200 ... 14 000     | 2,9                       | 130 ... 180           | 7,6                  | 5,0                                       | 0,03                |
| Ni-Resist D-5B        | 38 ... 45             | 22 ... 29             | 5 ... 10               | 11 200 ... 12 300     | 1,0                       | 140 ... 190           | 7,7                  | 5,0                                       | 0,03                |

**Table 1 Long-term corrosion tests in seawater**

(Data of C. R. Southwell and A. L. Alexander)

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| Duration: 16 years     |               |
| Location: Panama Canal |               |
| Ni-Resist type 2       | mm/a<br>0.025 |
| Grey cast iron         | 0.15          |
| Cast steel             | 0.08          |

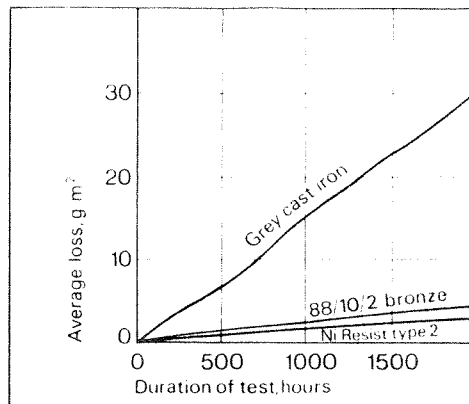
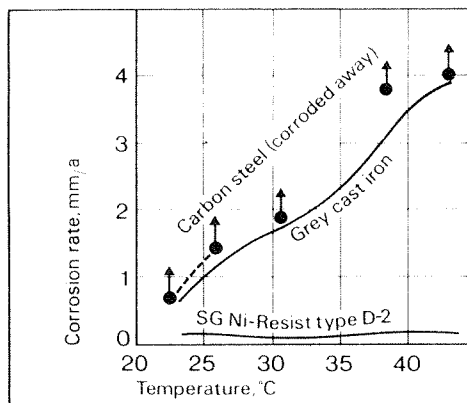


BILD 2 (15)

**Figure 1. Relative corrosion rates of Ni-Resist type 2, grey cast iron and 88/10/2 bronze, in aerated seawater.****Table 2 Typical pitting rates in quiet seawater at 0.5 m/s**

| Material         | Typical rate of penetration mm/a | Comments              |
|------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Ni-Resist iron   | 0.05–0.13                        | slight graphitization |
| Aluminium bronze | 0.08–0.25                        | dealuminifies         |
| Grey cast iron   | 0.08–0.25                        | graphitizes           |

**Figure 2. Corrosion rates of SG Ni-Resist type D-2, carbon steel and grey cast iron in aerated seawater – variation with temperature: continuous test exposure for 156 days.****Table 3 E.E.S. seawater erosion test**

Tests on bars rotating in seawater for 60 days with a tip velocity of 8.2 m/s. Seawater temperature was 28 °C.

| Material          | Average corrosion rate per year mm |
|-------------------|------------------------------------|
| Ni-Resist type 2  | 0.75                               |
| 88/10/2 bronze    | 1.0                                |
| 85/5/5/5 gunmetal | 1.8                                |
| Grey cast iron    | 6.9                                |

Table IV

Corrosion Rates  
High Velocity Sea Water

Duration of tests: 30 days

Exposed area of specimens: 3.5 sq.in.

BILD 3 (21)

| Material                       | Corrosion Rate ipy | Sea Water Velocity (fps) |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Gray Cast Iron (30 days)       | .53                | 125                      |
| Type I Austenitic Iron (2% Cr) | .07                | 125                      |
| Type I Austenitic Iron (3% Cr) | .04                | 138                      |
| Stainless Type 316             | .0002              | 142                      |
| *ACI Alloy CN-7M Cu            | .0006              | 136                      |

\* Composition C 0.07 Max., Mn 1.50 Max., Si (I) P 0.04; S 0.04;  
Cr 18-22; Ni 21-31, Mo (I); Cu (I)  
(I) Varies with proprietary alloys

Table II

Composition and Mechanical Properties  
Type I and Ductile Type II Austenitic Irons

|                  | Type I |     |      | Ductile Type II |     |      |
|------------------|--------|-----|------|-----------------|-----|------|
| Total Carbon     |        | 3.0 |      |                 | 3.0 |      |
| Silicon          | 1      | -   | 2.8  | 1.5             | -   | 3.0  |
| Manganese        | 1      | -   | 1.5  | 0.7             | -   | 1.25 |
| Copper           | 5.5    | -   | 7.5  | 0.5 Max.        |     |      |
| Nickel           | 13.5   | -   | 17.5 | 18              | -   | 22   |
| Chromium         | 1.75   | -   | 2.5  | 1.75            | -   | 2.75 |
| Tensile Strength |        |     |      |                 |     |      |
| Min., psi        | 25,000 |     |      | 58,000          |     |      |
| Yield Strength   |        |     |      |                 |     |      |
| Min., psi        | ---    |     |      | 30,000          |     |      |
| Elongation       | ---    |     |      | 15              |     |      |
| Brinell Hardness | 131    | -   | 183  | 139             | -   | 202  |

Table III

Corrosion Data  
Submerged quiet aerated sea water  
3 years exposure - Kure Beach

| Alloy                   | Corrosion Rate<br>(ipy) |
|-------------------------|-------------------------|
| Gray cast iron          | .0078                   |
| Type I austenitic iron  | .0021                   |
| Type II austenitic iron | .0017                   |

Submerged flowing sea water  
Velocity 4 ft/sec  
2 years exposure - Flume Freeport Texas

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Gray cast iron          | .0500 |
| Type II austenitic iron | .0018 |

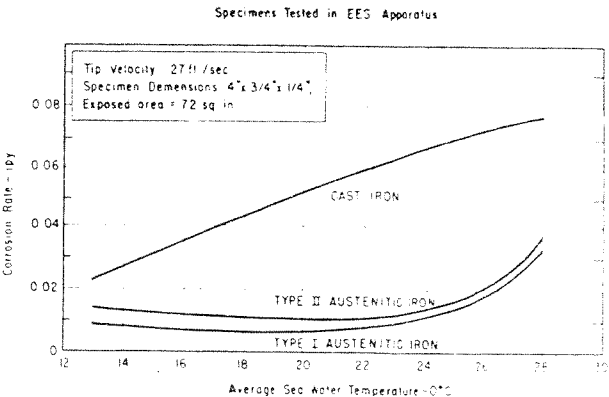


Figure 3 Corrosion rates of cast iron, Type I austenitic iron, Type II austenitic iron versus average sea water temperature

Corrosion of Metals and Alloys at Varying Depths

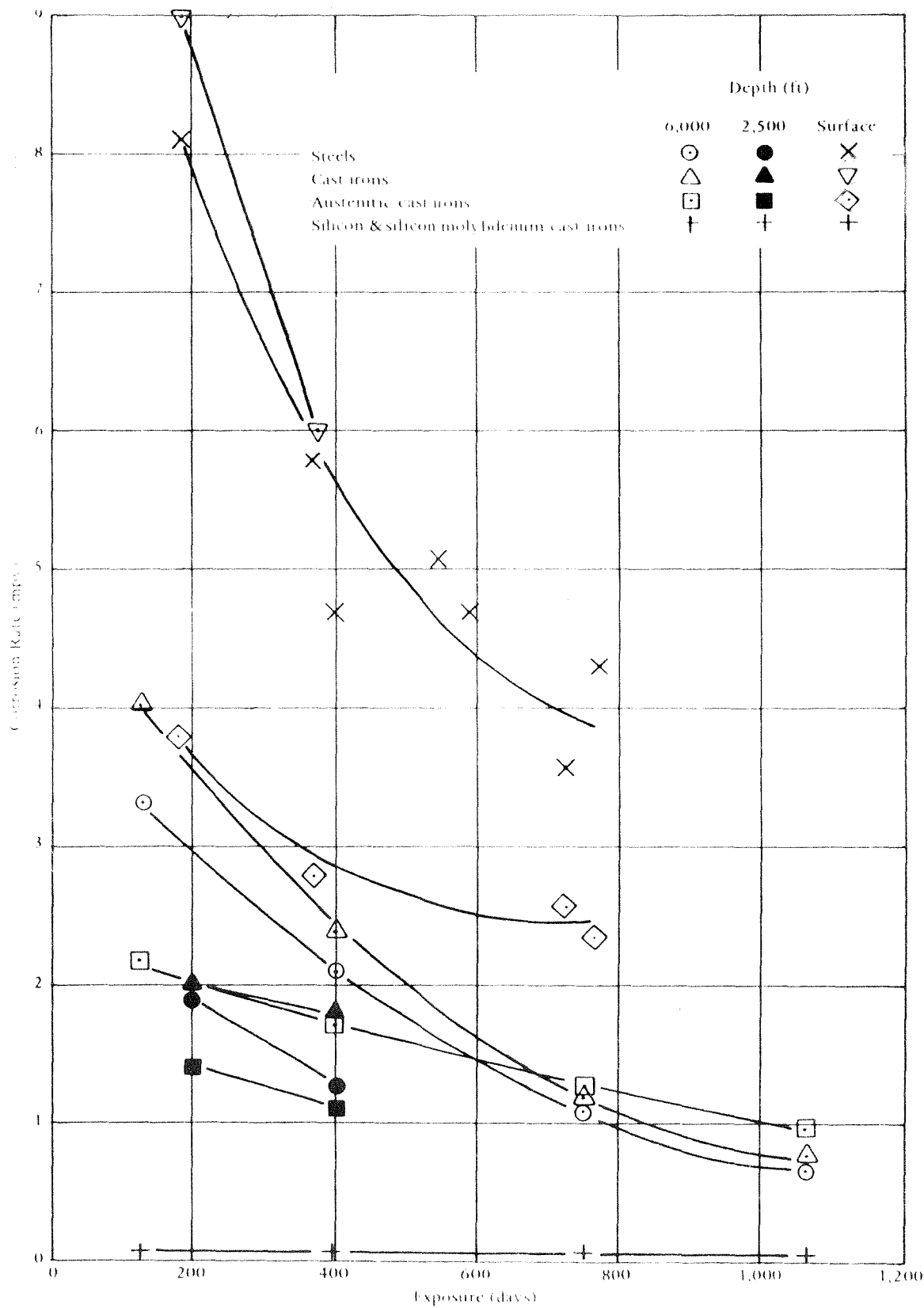
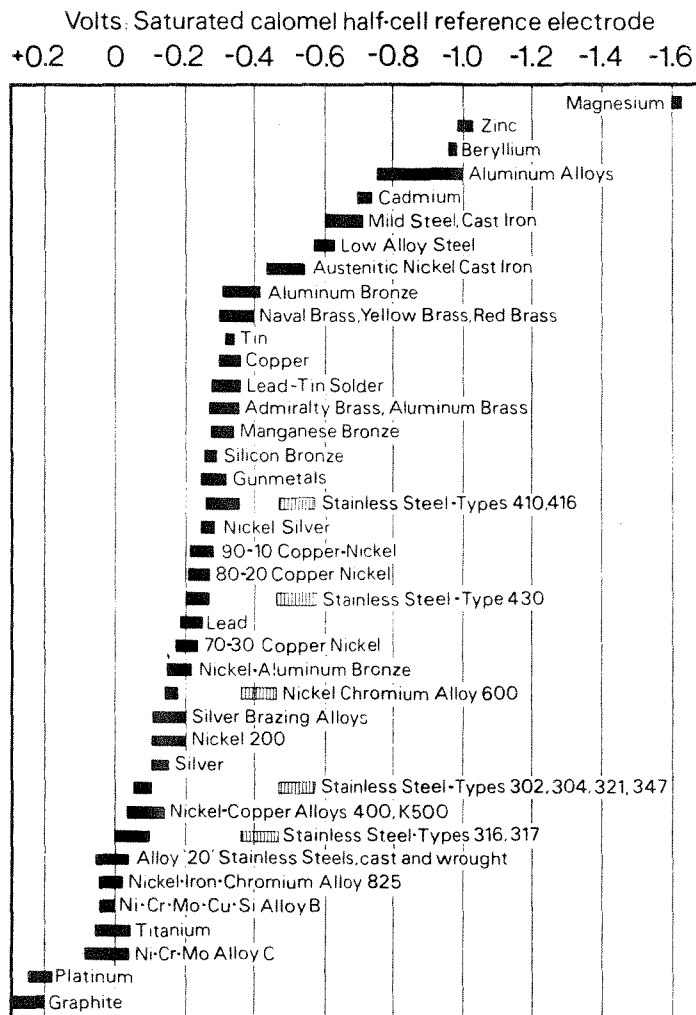


Figure 3. Effect of duration of exposure on corrosion of steels and cast irons

12. The Galvanic Series of metals and alloys in flowing sea water. The metals at the bottom are the most noble metals (note also the position of the non-metal graphite). In flowing sea water the metals higher in the series will be anodic to those lower and thus suffer corrosion if coupled together. Under varying local conditions the electrochemical potential can vary over the range indicated by the width of the black bar. In the case of stainless steel any damage to the protective oxide film results in a very marked change in the electropotential and the steel will become anodic to any material situated to the left of the cross-hatched bars; this of course includes any stainless steels with an intact protective film.



**TABLE VI—Weight Loss in Still Gas  
with Hydrogen Sulfide at 180 F. (g/m<sup>2</sup>)**

| Material               | 100<br>hours | 200<br>hours | 300<br>hours | 400<br>hours |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ni-Resist              | 59.68        | 83.45        | 83.45        | 83.45        |
| Medium Gray Iron       | 79.05        | 189.10       | 221.65       | 248.00       |
| Piston Ring Gray Iron  | 156.55       | 215.00       | 252.65       | 294.50       |
| Machine Steel (40 J C) | 85.25        | 217.90       | 310.00       | 362.70       |

**TABLE VII—Corrosion Tests in Sour Crude Oils**

| Alloy                    | Corrosion Rate (Mils/Yr)* |        |                                                       |
|--------------------------|---------------------------|--------|-------------------------------------------------------|
|                          | Test 1                    | Test 2 | Test 3                                                |
| Ni-Resist Type 1         | 0.7                       | 10     | 0.9                                                   |
| Ni-Resist Type 3         | ...                       | 7      | ...                                                   |
| Gray Cast Iron           | 2.1                       | 45     | 16                                                    |
| Mild Steel               | 1.7                       | 52     | Missing and believed<br>to have been corroded<br>away |
| AISI 304 stainless steel | <0.1 (4)                  | 8 (12) | <0.1                                                  |

\* Numbers in parentheses following the corrosion rate indicate the maximum depth of pitting or crevice corrosion for the period of exposure.

**Conditions**

- Test 1** Exposed in 55,000 gallon sour crude oil storage tank at atmospheric temperature. Immersed in oil 23 days and in vapors above the oil for 52 days.
- Test 2** Exposed in top of crude flash tower at 220-240 F for 43 days. Crude contained 0.342 pct. sulfur and 67 lbs of NaCl per 1000 bbls.
- Test 3** Exposed in crude oil preheater (in at 240 F—out at 350 F) with flow rate of 7 fps for 463 days. Crude contained 0.4% sulfide and 100 lbs of NaCl per 1000 bbls.

**TABLE VIII—Corrosion-Erosion of Cast Irons in Seawater  
Turbulent Flow Conditions  
60-Day Test; 27 Ft/Sec Velocity**

| Material                        | Type 1<br>Ni-Resist | Type 3<br>Ni-Resist | Gray Iron<br>(187 BHN) |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Corrosion Rate mpy <sup>1</sup> | 8                   | 7                   | 176                    |
| Improvement Over Gray Iron      | 22.0 X              | 25.2 X              | 1.0 X                  |

<sup>1</sup> Mils per year

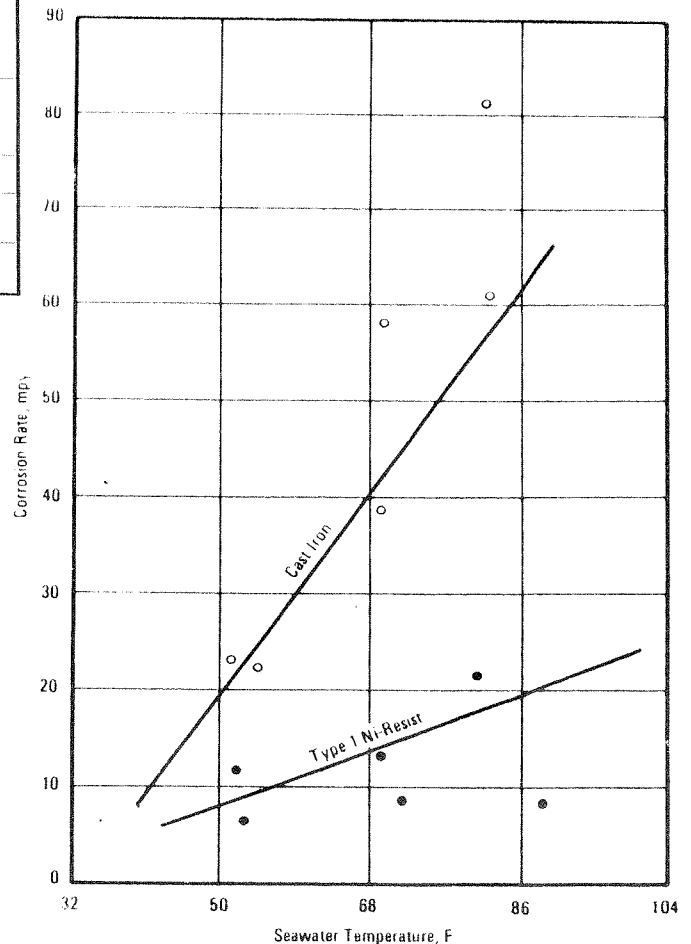
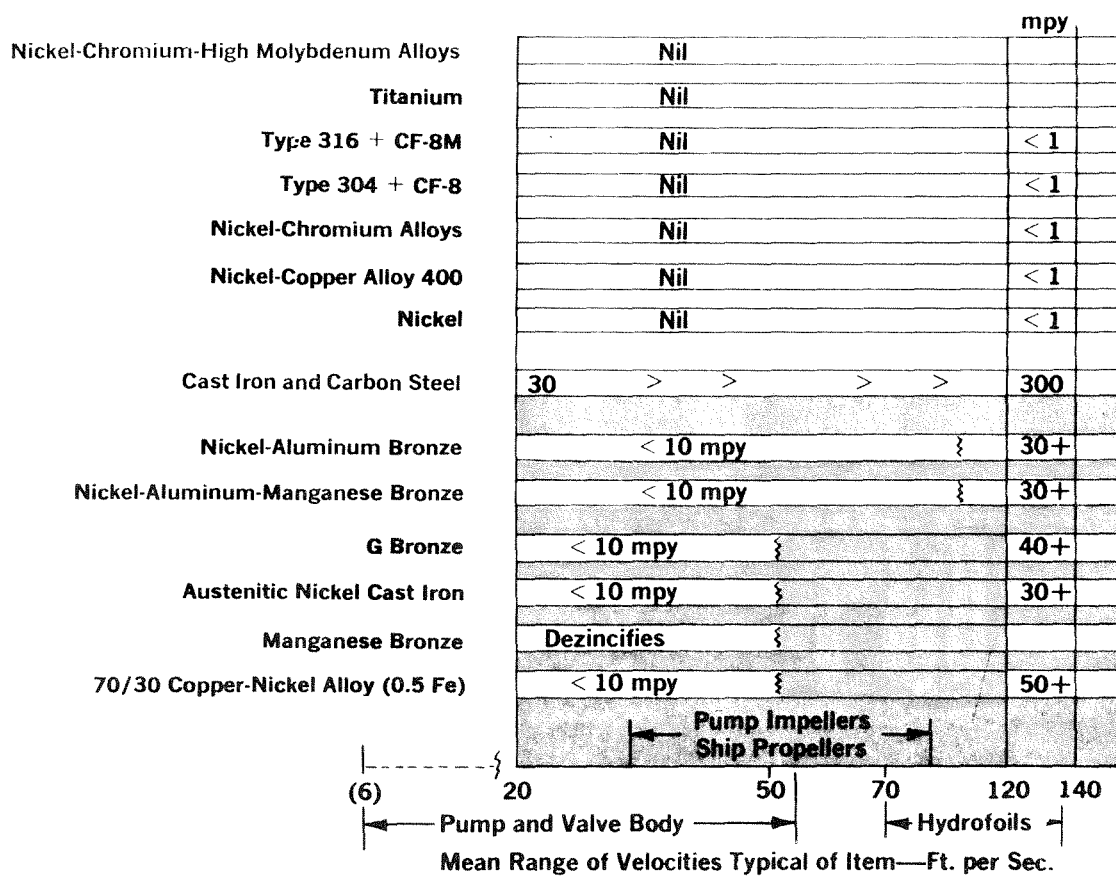


Figure 2—Corrosion-erosion in seawater—turbulent flow conditions, 60-day test—27 ft/sec velocity.

FIGURE 9 - SEAWATER VELOCITY (PUMP TO HYDROFOIL RANGES)



| BASE METAL<br>↓                | FASTENER        |                      |                               |                      |                               |                         |                                |                         |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
|                                | (1)<br>Aluminum | Carbon<br>Steel      | Silicon<br>Bronze             | Nickel               | Nickel-<br>Chromium<br>Alloys | Type 304                | Nickel-<br>Copper<br>Alloy 400 | Type 316                |
| Aluminum                       | Neutral         | Comp. <sup>(2)</sup> | Unsatisfactory <sup>(2)</sup> | Comp. <sup>(2)</sup> | Comp.                         | Comp.                   | Comp. <sup>(2)</sup>           | Comp.                   |
| Steel and<br>Cast Iron         | N.C.            | Neutral              | Comp.                         | Comp.                | Comp.                         | Comp.                   | Comp.                          | Comp.                   |
| Austenitic<br>Nickel Cast Iron | N.C.            | N.C.                 | Comp.                         | Comp.                | Comp.                         | Comp.                   | Comp.                          | Comp.                   |
| Copper                         | N.C.            | N.C.                 | Comp.                         | Comp.                | Comp.                         | Comp.                   | Comp.                          | Comp.                   |
| 70/30 Copper-<br>Nickel Alloy  | N.C.            | N.C.                 | N.C.                          | Comp.                | Comp.                         | Comp.                   | Comp.                          | Comp.                   |
| Nickel                         | N.C.            | N.C.                 | N.C.                          | Neutral              | Comp. <sup>(3)</sup>          | Comp. <sup>(3)</sup>    | Comp.                          | Comp. <sup>(3)</sup>    |
| Type 304                       | N.C.            | N.C.                 | N.C.                          | N.C.                 | May Vary <sup>(4)</sup>       | Neutral <sup>(3)</sup>  | Comp.                          | Comp. <sup>(4)</sup>    |
| Nickel-Copper<br>Alloy 400     | N.C.            | N.C.                 | N.C.                          | N.C.                 | May Vary <sup>(4)</sup>       | May Vary <sup>(4)</sup> | Neutral                        | May Vary <sup>(4)</sup> |
| Type 316                       | N.C.            | N.C.                 | N.C.                          | N.C.                 | May Vary <sup>(4)</sup>       | May Vary <sup>(4)</sup> | May Vary <sup>(4)</sup>        | Neutral <sup>(4)</sup>  |

(1) Anodizing would change ratings as fastener.

(2) Fasteners are compatible and protected but may lead to enlargement of bolt hole in aluminum plate.

(3) Cathodic protection afforded fastener by the base

metal may not be enough to prevent crevice corrosion of fastener particularly under head of bolt fasteners.

(4) May suffer crevice corrosion, under head of bolt fasteners.

NOTE: Comp. = Compatible, Protected. N.C. = Not Compatible, Preferentially Corroded.

Figure 11 - GALVANIC COMPABILITY (SEAWATER FASTENERS)

**Rule 1** — Where possible construct equipment for seawater service from *one metal*.

**Example.** 90/10 copper-nickel alloy pipe, 90/10 copper-nickel water boxes, 90/10 copper-nickel tube sheets and 90/10 copper-nickel tubes for seawater cooling systems.

**Rule 2** — Where not possible or desirable to construct from one alloy, make certain the *key components* are more noble, i.e. protected.

**Example.** Use of 70/30 copper-nickel alloy for welds in 90/10 copper-nickel fabrication and use of 70/30 tubes with 90/10 copper-nickel water boxes would be appropriate galvanically.

**Rule 3** — *Expect* and allow for increased corrosion on the *less noble* metal by providing a large area or heavy wall to support the increased corrosion that will occur.

**Example.** (1) Above, the large area of 90/10 copper-nickel alloy pipe, water box and tube sheet can support the increase in corrosion occasioned by the 70/30 copper-nickel weld metal and 70/30 copper-nickel tubes without significantly affecting overall serviceability.

**Example.** (2) Pump and Valves — Provide a heavy wall casting with adequate corrosion allowance to protect the more noble internal trim — the *key component*.

| BODY MATERIAL<br>↓                         | TRIM                    |                         |                         |
|--------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                            | Brass or Bronze         | Nickel-Copper Alloy 400 | Type 316                |
| Cast Iron                                  | Protected               | Protected               | Protected               |
| Austenitic Nickel Cast Iron                | Protected               | Protected               | Protected               |
| M or G Bronze<br>70/30 Copper-Nickel Alloy | May Vary <sup>(1)</sup> | Protected               | Protected               |
| Nickel-Copper Alloy 400                    | Unsatisfactory          | Neutral                 | May Vary <sup>(2)</sup> |
| Alloy 20                                   | Unsatisfactory          | May Vary                | May Vary                |

(1) Bronze trim commonly used. Trim may become anodic to body if velocity and turbulence keep stable protective film from forming on seat.

(2) Type 316 is so close to nickel-copper alloy 400 in potential that it does not receive enough cathodic protection to protect it from pitting under low velocity and crevice conditions.

FIGURE 12 - GALVANIC COMPATIBILITY (SEAWATER PUMP & VALVE TRIM)

### Key Consideration

(1) Trim must resist turbulence and be more noble than the body.

| Materials Used                                                           | Comments                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Cast iron I.B.B.M. <sup>1</sup> gate valves                              | Older standard, high maintenance, if maintained, some breakage.               |
| Ductile iron I.B.B.M. <sup>1</sup> gate valves                           | High maintenance, if maintained. Ductility virtually eliminates breakage.     |
| M bronze, nickel-copper alloy 400 trim                                   | Standard for high performance bronze valves on both merchant and naval ships. |
| Austenitic nickel cast iron body, Type 316 trim                          | Useful alternate to M bronze valves above, less used however.                 |
| Alloy 20 body, alloy 20 trim                                             | Good in seawater, but must be insulated from copper alloy piping.             |
| Austenitic nickel cast iron disc, nickel-copper alloys 400 or K-500 stem | Good selection for butterfly valves.                                          |

<sup>1</sup> I.B.B.M. — Iron Body Brass Mounted

### Applicable Data

- (A) For normal operation, consult: Fig. 5, General Wasting      Table III, Cavitation Resistance  
Fig. 9, Velocity: Pumps, Propellers, Hydrofoils  
Fig. 12, Galvanic Compatibility: Pump and Valve Trim
- (B) For standby, i.e., stagnant conditions, consult:  
Fig. 6, Pitting Rates      Table V, Selective Corrosion  
Table I, Tolerance of Crevices

**MATERIALS DESIGN CRITERIA\* FOR  
VERTICAL WET PIT TYPE SEA WATER AND BRINE RECYCLE PUMPS FOR  
THREE LEVELS OF DURABILITY**

| <b>Class of Service</b>                  | <b>Basic Minimum Cost Construction<sup>(1)</sup></b>                                         | <b>Preferred</b>                                                                                                                                                        | <b>Most Durable</b>                                                                |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Component</b>                         | <b>Frequent, but predictable replacement</b>                                                 | <b>High service factor<br/>Low maintenance<br/>Infrequent replacement</b>                                                                                               | <b>Minimum out-of-service time<br/>Minimum maintenance</b>                         |
| <b>BODY</b>                              |                                                                                              |                                                                                                                                                                         |                                                                                    |
| Suction bell                             | 1. Cast iron<br>2. 2% Ni cast iron                                                           | 1. Ni-Resist <sup>(2)</sup> Type I, II or D II<br>2. 4½ % Ni-Al bronze                                                                                                  | Ni-Resist Type I, II or D II                                                       |
| Shroud, liner or case in way of impeller | 1. Cast iron<br>2. 2% Ni cast iron<br>3. Cement or epoxy-lined cast iron<br>4. G or M bronze | 1. CF3M (316L) <sup>(3)</sup><br>2. 4½ % Ni-Al bronze <sup>(3)</sup>                                                                                                    | CF3M (316L) <sup>(3)</sup>                                                         |
| Case with straightening vanes (diffuser) | 1. Cast iron<br>2. 2% Ni cast iron<br>3. Cement or epoxy-lined cast iron<br>4. G or M bronze | 1. Ni-Resist Type Ib <sup>(4)</sup><br>2. 4½ % Ni-Al bronze <sup>(5)</sup><br>3. CF3M (316L) <sup>(3)</sup>                                                             | CF3M (316L) <sup>(3)</sup>                                                         |
| Discharge column                         | 1. Cast iron<br>2. 2% Ni cast iron<br>3. Carbon steel                                        | 1. Cast iron<br>2. 2% Ni cast iron<br>3. Cement or epoxy-lined cast iron or steel<br>4. CF3M (316L) <sup>(3)</sup><br>5. 90-10 Cu-Ni<br>6. Ni-Resist Type I, II or D II | 1. CF3M (316L) <sup>(3)</sup><br>2. 90-10 Cu-Ni<br>3. Ni-Resist Type I, II or D II |
| Deepwell can (brine or recycle pumps)    | Carbon steel, cement or epoxy-lined                                                          | 1. Ni-Resist Type I, II or D II (impregnated for vacuum service)<br>2. 4½ % Ni-Al bronze <sup>(3)</sup><br>3. 90-10 Cu-Ni                                               | 90-10 Cu-Ni                                                                        |
| <b>IMPELLER</b>                          | G or M bronze                                                                                | 1. 4½ % Ni-Al bronze <sup>(3)</sup><br>2. CF3 (304L) <sup>(3)</sup> <sup>(6)</sup><br>3. CF8M (316) <sup>(3)</sup><br>4. 29 Cr-11 Ni                                    | 1. CF8M (316) <sup>(3)</sup><br>2. 29 Cr-11 Ni                                     |
| <b>WEAR RINGS</b>                        | 1. G or M bronze<br>2. Ni-Resist Type I or II                                                | 1. Type 316<br>2. CN7M (Alloy 20) <sup>(3)</sup><br>3. Ni-Cu-Si Alloy 506<br>4. Ni-Cr Alloy X750                                                                        | 1. Ni-Cu-Si Alloy 506<br>2. Ni-Cr Alloy X750                                       |
| <b>SHAFT</b>                             | 1. Type 410<br>2. Precipitation-hardening stainless steel                                    | 1. Type 316<br>2. Ni-Cu Alloy 400<br>3. Ni-Cu Alloy K500                                                                                                                | 1. Type 316<br>2. Ni-Cu Alloy 400<br>3. Ni-Cu Alloy K500                           |
| <b>BOLTING</b>                           | Silicon bronze                                                                               | Ni-Cu Alloy 400                                                                                                                                                         | Ni-Cu Alloy 400                                                                    |

**NOTES:**

<sup>(1)</sup> Common cast iron-bronze trimmed pumps will pump sea water and are widely used for temporary installations and even permanent installations where high maintenance and frequent out-of-service periods are tolerable. Brasses (copper-base alloys containing zinc) are unsatisfactory and corrode sacrificially to other components. They are not listed, even under minimum cost construction.

<sup>(2)</sup> Ni-Resist refers to a family of austenitic nickel cast irons. See ASTM Spec. A436.

<sup>(3)</sup> Heat treatment is required for sea water service, water quench from 2050 F after welded repairs. See ASTM A296.

<sup>(4)</sup> The higher chromium grade of Ni-Resist, Type Ib, is preferred to better resist severe turbulence in the way of straightening vanes if design of this section lends itself to the higher shrinkage rates encountered as chromium content is increased. If not, upgrade to CF3M (316L).

<sup>(5)</sup> Aluminum bronze dealuminifies, even in quiet sea water, with little visible indication of attack. The use of grades with 4½ % minimum nickel avoids this type of attack. Check with supplier before weld repairs are made, since even with 4½ % nickel, dealuminification may be encountered in the heat-affected zone of the weld.

Nickel aluminum bronze has given excellent service in pump impellers, although it has been used principally in smaller pumps. The stainless alloys have somewhat better resistance to the most severe velocity conditions, but in many designs nickel aluminum bronze can approach the durability of stainless steel and is resistant to pitting during down periods.

<sup>(6)</sup> CF3 has given excellent performance as workboat propellers with favorable but limited use in pump impellers. The molybdenum-containing grade has better resistance to pitting in sea water.

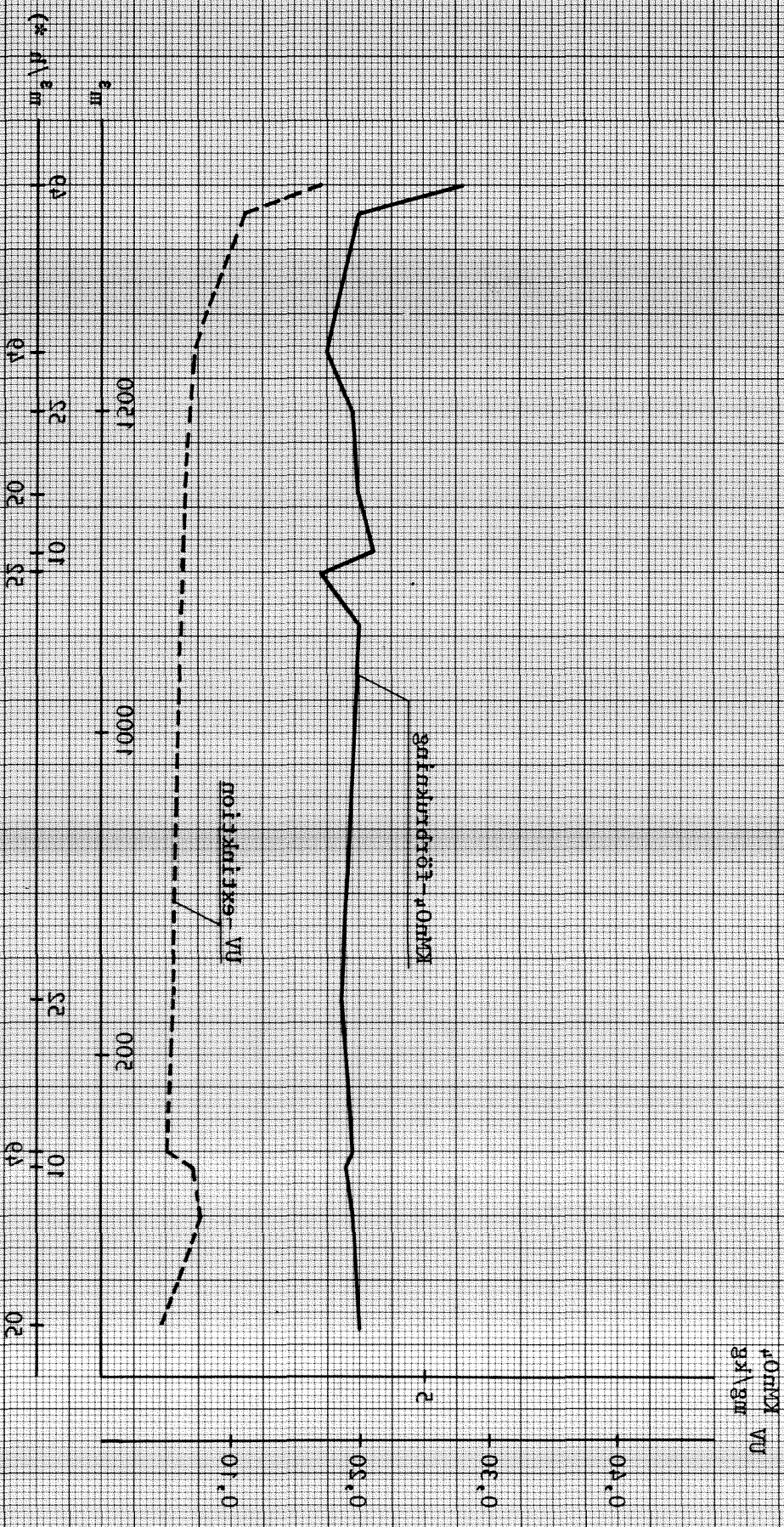
\* Considered as a materials system, based on field experience.

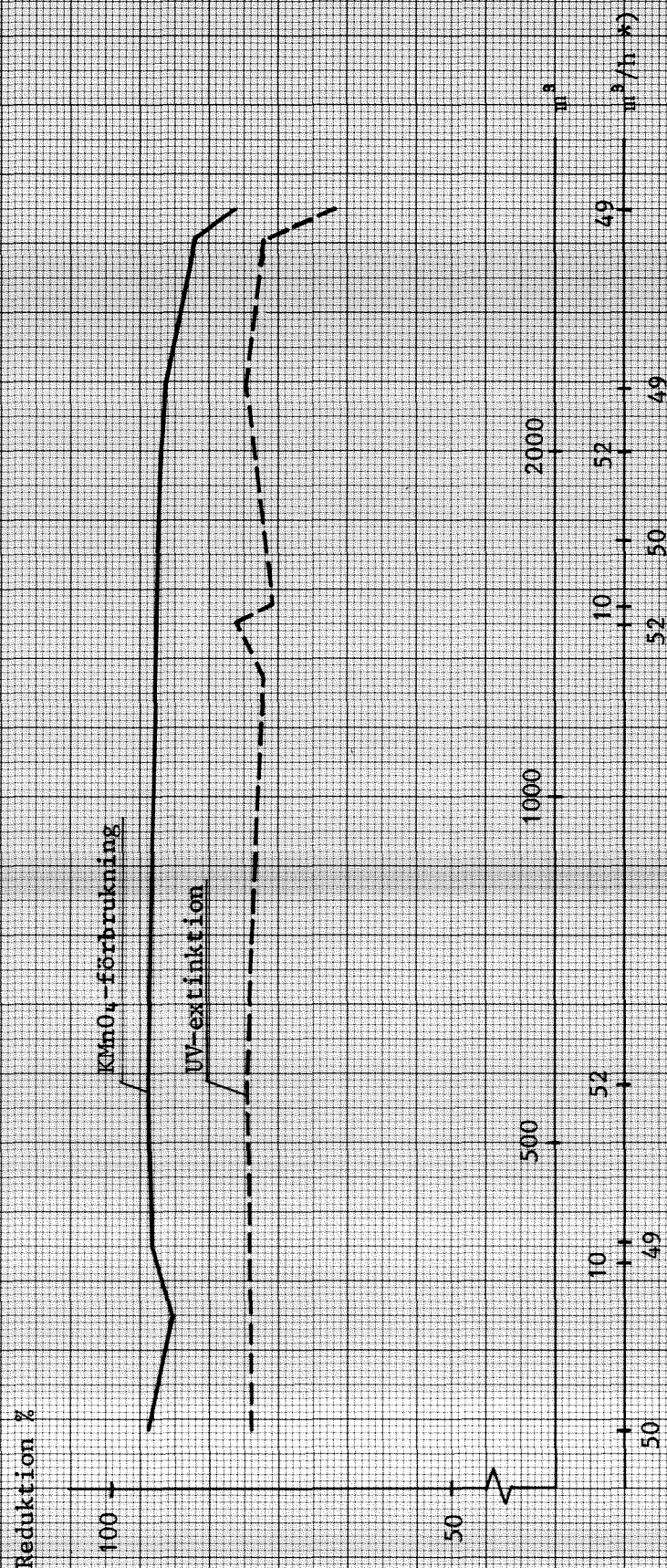


|              |  |
|--------------|--|
| AFS: RITN NR |  |
| REV          |  |
| GODK         |  |
| DATUM        |  |
| KONSTR       |  |
| RIT          |  |

KM04-förbrukning och UV-extinktion  
3300 i Dnolite 368 PR  
Efter svag anjon 2  
Försmärksverket  
STATENS VATTENFALLSVERK  
PROJEKT K18

|                 |      |
|-----------------|------|
| BESTÄLL RITN NR |      |
| FÖRST BL        | BLAD |
| BESTÄLL AFB NR  |      |
| GODK            |      |
| DATUM           |      |





1980-08-25--26

\*\*) m<sup>3</sup>/h vid provningstillfället



**ENERGIKONSULT**  
Angpanneföreningen

## Angpanneföreningen

|     |     |        |
|-----|-----|--------|
| RIT | KA. | KONSTR |
|-----|-----|--------|

|      |       |
|------|-------|
| GODK | DATUM |
|------|-------|

AFE:s RITN NR

REV

PROJEKT K18  
STATENS VATTENFALLSVERK  
Forsmarksverken

STATENS VATTENFALLSVERK

# Forsmarksverken

Efter svag anjon 1.  
 3300 l Duolite 368 PR  
 Reduktion av organisk substans i %

3300 1 Duolite 368 PR

Reduktion av organisk substans i %

**GODK**

DATUM

BESTÄLL ARB NR

FORTS BL

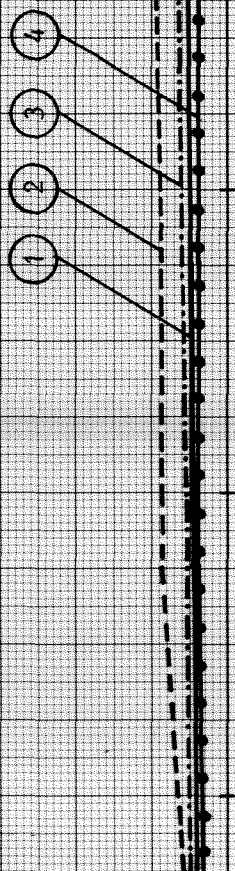
BLAD

BESTÄLL RITN NR

|   |                                                                    |      |
|---|--------------------------------------------------------------------|------|
| 1 | Flöde 10 m <sup>3</sup> /h antal m <sup>3</sup> efter regenerering | 1278 |
| 2 | " " " "                                                            | 1173 |
| 3 | " 50 " " " "                                                       | 325  |
| 4 | " 10 " " " "                                                       | 325  |

Δt min/l

1980-08-25--26



**ENERGIKONSULT**  
Angpanneföreningen

|               |     |        |
|---------------|-----|--------|
| RIT           | KBe | KONSTR |
| GODK          |     | DATUM  |
| AFE:s RITN NR |     | REV    |

PROJEKT K18  
STATENS VATTENFALLSVERK  
Forsmarksverken

Efter svag anjon 2  
3300 l Duolite 368 PR  
Filtreringsindex

|                 |       |
|-----------------|-------|
| GODK            | DATUM |
| BESTALL ARB NR  |       |
| FORTS BL        | BLAD  |
| BESTALL RITN NR |       |

PROJEKT K18

SÖDRA SKOGSÄGARNA AB  
Mönsterås Bruk

Renvatten före totalavsaltningen

1980-11-04--07

| Datum | Kl                               | Flöde<br>m <sup>3</sup> /h | Vatten-<br>mätare | m <sup>3</sup> eft.<br>regene-<br>rering | pH  | mS/m<br>25°C         | Klorid<br>mg/kg<br>Cl | Permanga-<br>natförbr.<br>mg/kg<br>KMnO <sub>4</sub> | UV<br>extink-<br>tion v.<br>220 nm | Filtreringsindex min/l |       |     |     |     | Anmärkning            |
|-------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------------------------|-----|----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------|-----|-----|-----|-----------------------|
|       |                                  |                            |                   |                                          |     |                      |                       |                                                      |                                    | 1 1                    | 2 1   | 3 1 | 4 1 | 5 1 |                       |
| 4.11  | 03.30<br>09.15<br>15.10<br>19.00 |                            |                   |                                          |     | 19,6<br>20           | 13                    | 16,7<br>17,4                                         |                                    |                        |       |     |     |     | { Start<br>svag anj 2 |
| 5.11  | 08.15<br>11.00<br>17.00<br>21.45 |                            |                   |                                          | 6,4 | 19,5<br>17,9<br>18,9 | 14<br>14<br>13        | 18,3<br>18,3<br>18,1                                 | 1,300                              | 12,49                  | 82,59 |     |     |     |                       |
| 6.11  | 13.20                            |                            |                   |                                          |     | 17,4                 |                       | 18,9                                                 |                                    |                        |       |     |     |     |                       |
| 7.11  | 08.30<br>16.30                   |                            |                   |                                          |     | 16,1                 | 14                    | 17,7                                                 |                                    |                        |       |     |     |     |                       |

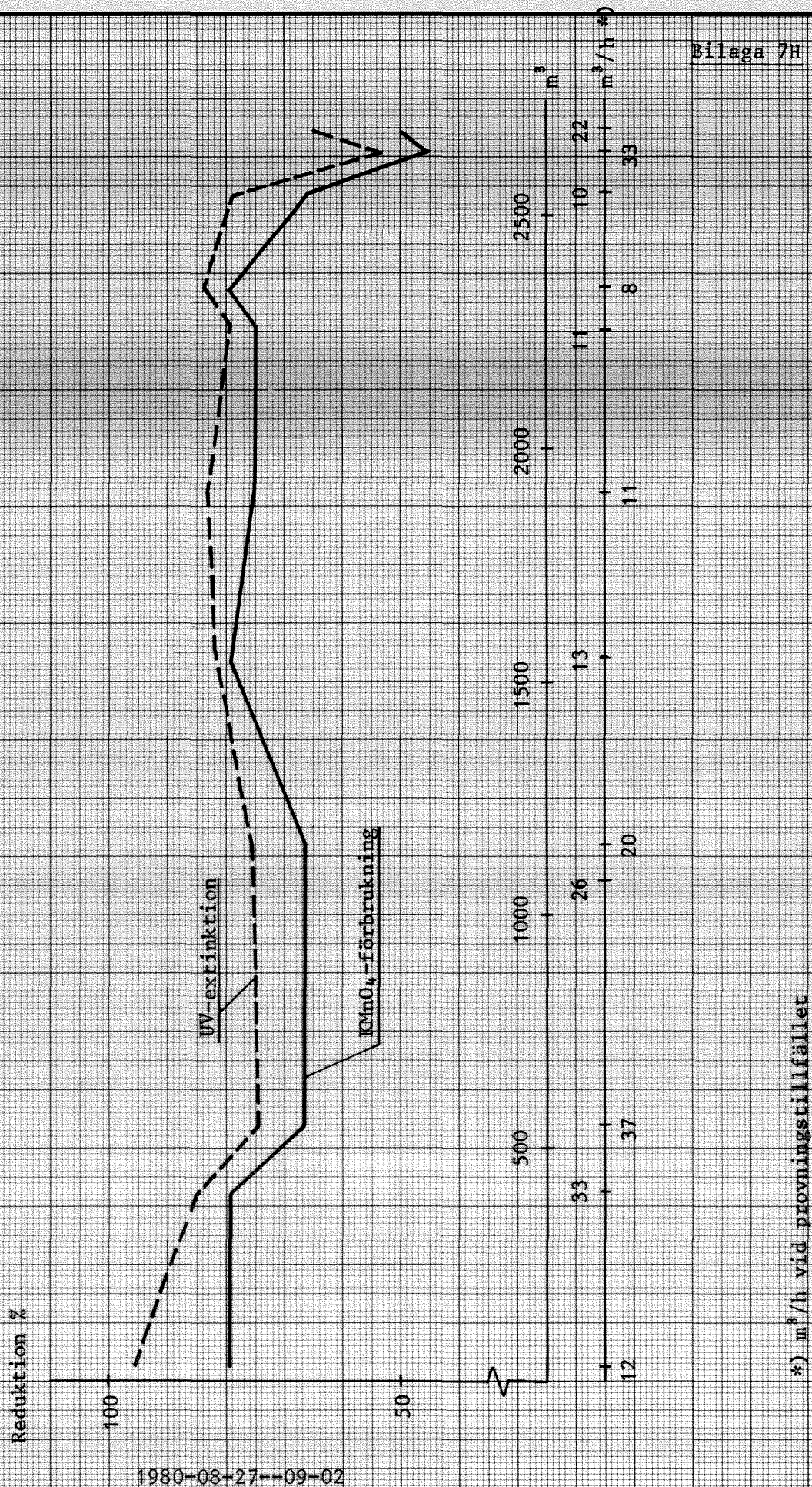
PROJEKT K18

 SÖDRA SKOGSÄGARNA AB  
 Mönsterås Bruk

Efter humusfilter 2

1980-11-04--07

| Datum | Kl    | Flöde<br>m <sup>3</sup> /h | Vatten-<br>mätare | m <sup>3</sup> eft.<br>regene-<br>rering | pH  | mS/m<br>25°C | Klorid<br>mg/kg<br>Cl | Permanga-<br>natförbr.<br>mg/kg<br>KMnO <sub>4</sub> | UV<br>extink-<br>tion v.<br>220 nm | Filtreringsindex min/l |       |       |      |     | Anmärkning |
|-------|-------|----------------------------|-------------------|------------------------------------------|-----|--------------|-----------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------|-------|------|-----|------------|
|       |       |                            |                   |                                          |     |              |                       |                                                      |                                    | 1 1                    | 2 1   | 3 1   | 4 1  | 5 1 |            |
| 4.11  | 03.30 |                            | 147319            |                                          |     |              |                       |                                                      |                                    |                        |       |       |      |     | Start      |
|       | 09.15 | 72                         | 147661            | 342                                      |     |              | 60                    | 6,0                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 15.00 | 11                         | 147807            | 488                                      |     |              |                       |                                                      |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 24.00 | 56                         |                   |                                          |     |              |                       |                                                      |                                    |                        |       |       |      |     |            |
| 5.11  | 08.15 | 58                         | 148281            | 962                                      |     |              | 53                    | 5,7                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 11.00 | 61                         | 148390            | 1071                                     | 6,3 | 18,7         | 58                    | 5,7                                                  | 0,110                              | 5,32                   | 8,17  | 10,47 | 9,58 |     |            |
|       | 14.00 | 25                         | 148470            | 1151                                     |     |              | 58                    | 7,0                                                  | 0,125                              |                        |       |       |      |     |            |
|       | 17.00 | 59                         | 148620            | 1301                                     |     |              |                       | 7,0                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 21.00 | 59                         | 148826            | 1507                                     |     | 16,2         |                       | 7,0                                                  | 0,125                              | 6,46                   | 11,09 | 15,00 |      |     |            |
| 6.11  | 08.15 | 65                         | 149385            | 2066                                     |     |              |                       | 8,2                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 13.30 | 75                         | 149650            | 2331                                     |     |              |                       | 7,6                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 19.30 | 68                         | 149992            | 2673                                     |     |              |                       | 7,0                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
|       | 24.00 |                            | 150232            | 2913                                     |     |              |                       | 6,5                                                  |                                    |                        |       |       |      |     |            |
| 7.11  | 08.30 | 61                         | 150710            | 3391                                     |     |              | 48                    | 7,9                                                  |                                    |                        |       |       |      |     | Stopp      |
|       | 16.30 | 58                         | 151072            | 3753                                     |     |              | 41                    | 10,5                                                 |                                    |                        |       |       |      |     |            |



1980-08-27--09-02


**ENERGIKONSULT**  
 Angpannetforeningen
RIT *KBe* KONSTR

GODK DATUM

AFE:s RITN NR

REV

 PROJEKT K19  
 SVENSKA CELLULOSA AB  
 Ortvikens Pappersbruk

 Efter humusfilter 3  
 2000 l Duolite 171  
 Reduktion av organisk substans i %

GODK

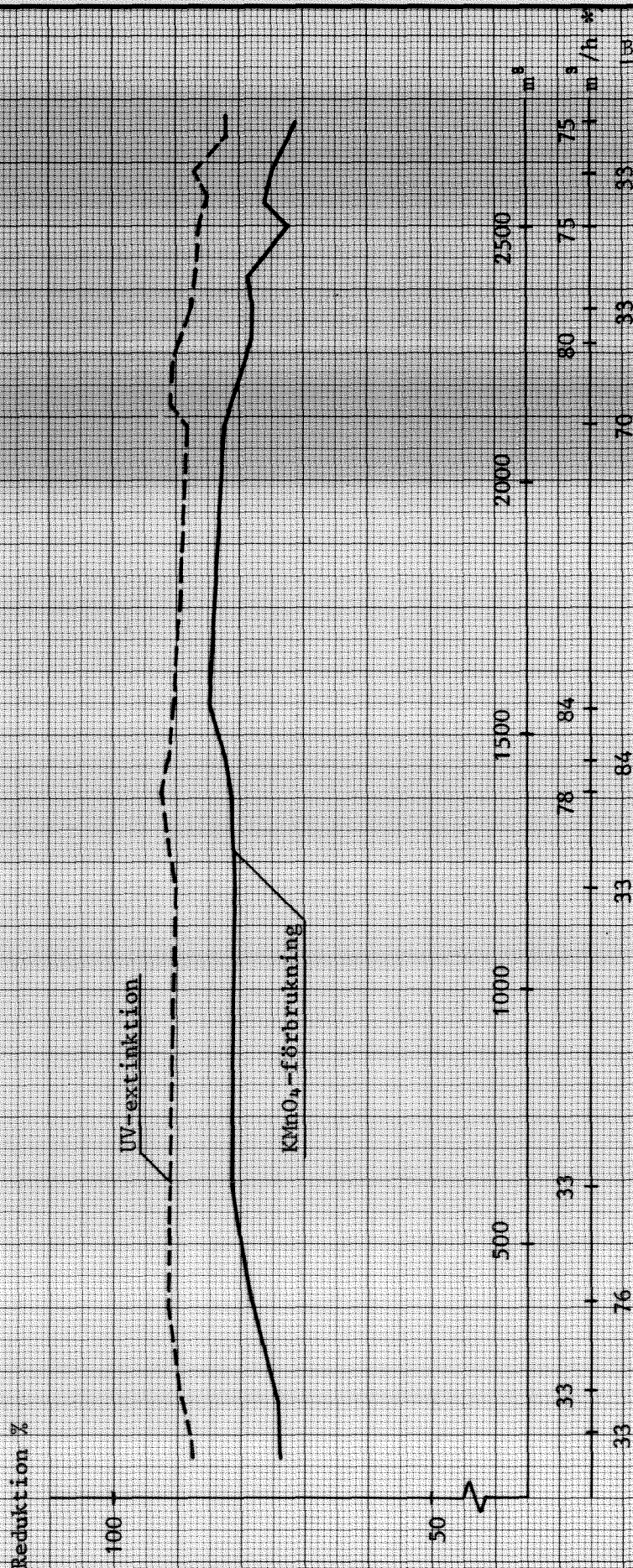
DATUM

BESTÄLL ARB NR

FORTS BL

BLAD

BESTÄLL RITN NR

\*) m<sup>3</sup>/h vid provningstillfället

1980-12-17--19


**ENERGIKONSULT**  
 Angpanneföreningen

RIT

ke

KONSTR

GODK

DATUM

AFE:s RITN NR

REV

 PROJEKT K19  
 NYMÖLLA AB,  
 Nymölla

 Efter svag anjon 1  
 4500 l Ambertite IRA-67  
 Reduktion av organisk substans i %

GODK

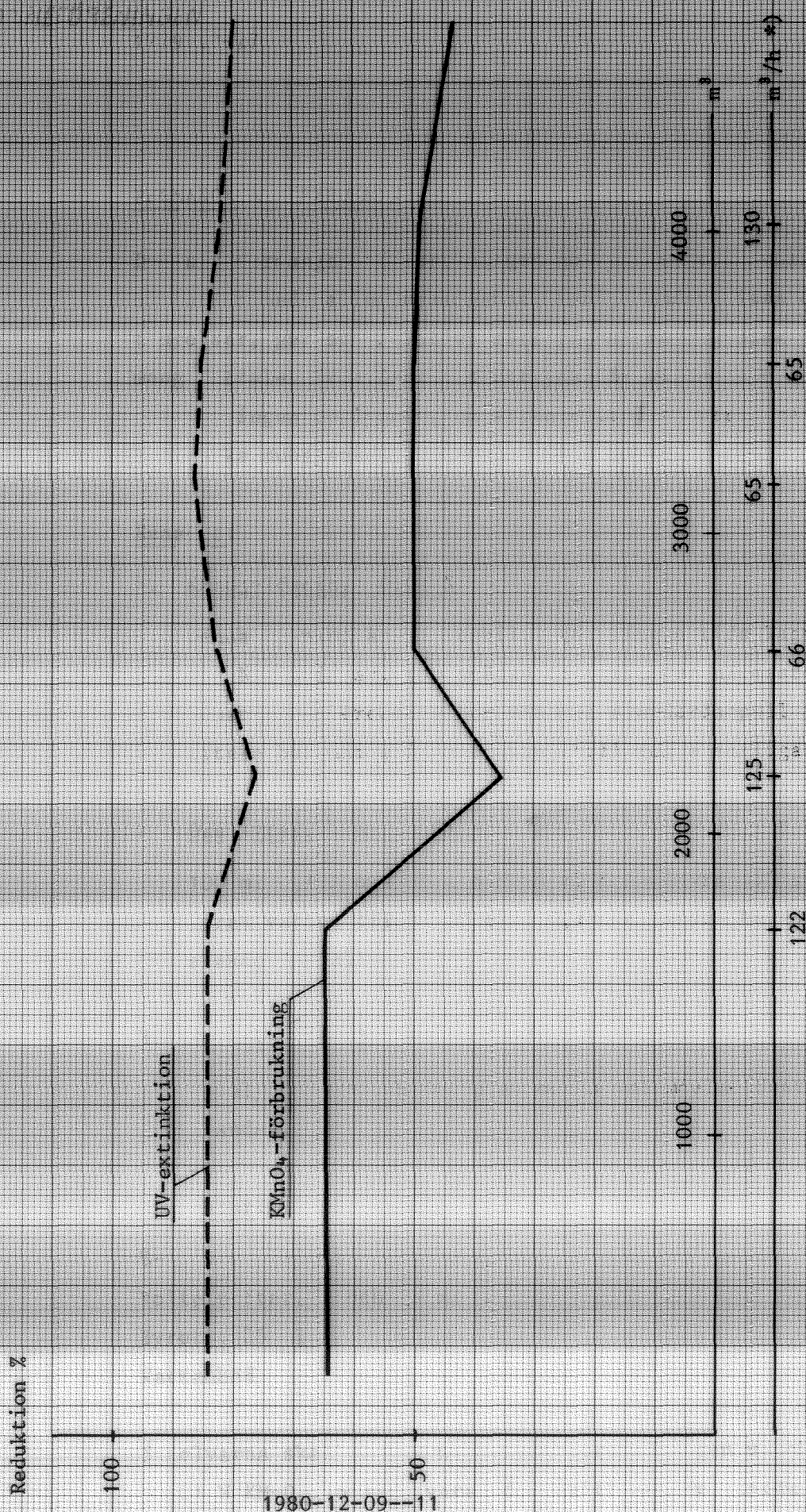
DATUM

BESTALL ARB NR

FORTS BL

BLAD

BESTALL RITN NR



\*) m³/h vid provningstillfället


**ENERGIKONSULT**  
 Angpanneföreningen
RIT *Kae* KONSTR

GODK DATUM

AFE:s RITN NR

REV

 PROJEKT K19  
 NORSK HYDRO AS  
 Porsgrunn Fabrikker, Porsgrunn

 Efter svag anjon 1.  
 5000 l Ambertite JRA 93  
 Reduktion av organisk substans i %

GODK DATUM

BESTALL ARB NR

FORTS BL BLAD

BESTALL RITN NR

PERMANGANATFÖRBRUKNING

Den s k permanganatförbrukningen hos ett vatten, vilken erhålles vid oxidation med kaliumpermanganat,  $\text{KMnO}_4$ , under vissa definierade betingelser, ger ett relativt mått på halten organisk substans. Permanganattalet är endast ett uttryck för vattnets oxiderbarhet, men det ger ingen upplysning om arten eller den verkliga halten av den organiska substansen.

Reagens:1.  $\text{KMnO}_4$ -lösning, 0,01 N

Denna lösning är ej stabil. För längre tids lagring användes 0,1 N lösningar, som spädes 1:10 för den närmaste tidens förbrukning. Beredning bör ske med standardampull för 0,1 N lösning. Titern bestämmes i anslutning till den egentliga analysen.

2. Oxalsyralösning, 0,01 N

100 ml 0,1 N oxalsyra och 15 ml svavelsyra 1:3 spädes med destillerat vatten till 1000 ml. 0,1 N oxalsyra beredes enklast medelst standardampull.

3. Svavelsyra 1:3

1 volymdel konc  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a. och 3 volymdelar destillerat vatten blandas.

Apparatur:

E-kolvar, 250 ml

Vollpipetter, 5 och 15 ml

Byrett, 25 ml

Vattenbad

E-kolvarna skall före användning första gången urkokas 1/2 timme med 0,001 N  $\text{KMnO}_4$ , och förvaras dammfritt mellan bestämningarna.

Utförande:

Analysen bör utföras snarast möjligt efter provtagningen, då  $\text{KMnO}_4$ -värdet avtar under lagring av provet, speciellt snabbt till en början.

Till en 250 ml E-kolv sättes 100 ml vattenprov, 5 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:3 och 15,0 ml 0,01 N  $\text{KMnO}_4$ . Direkt efter tillsatsen av kaliumpermanganatet placeras E-kolven i ett kokande vattenbad. Det är viktigt att vattnet i vattenbadet hela tiden hålles kokande.

Om flera kolvar samtidigt nedsättes i vattenbadet, kan temperaturen sjunka avsevärt under  $100^\circ\text{C}$ , vilket medför för låga  $\text{KMnO}_4$ -värden. Efter exakt 20 minuter tas E-kolven ur vattenbadet, varefter 15,0 ml 0,01 N oxalsyra snabbt tillsättes. Därefter återtitreras med 0,01 N  $\text{KMnO}_4$  till begynnande rödfärgning. För bestämning av  $\text{KMnO}_4$ -lösningens normalitet tillsättes i det varma uttitrerade provet 15,0 ml 0,01 N oxalsyra och titreras med 0,01 N  $\text{KMnO}_4$ -lösningen till omslag.

Om provet avfärgas under  $\text{KMnO}_4$ -kokningen, bruna flockar uppkommer, eller om  $\text{KMnO}_4$ -förbrukningen vid titreringen överstiger 10 ml, måste bestämningen göras om med ett mindre vattenprov. Härvid spädes en viss volym av provvattnet med destillerat vatten till 100 ml. Spädningen bör avpassas så, att  $\text{KMnO}_4$ -förbrukningen i det utspädda provet blir mellan 5 och 10 ml. Blindprov med 100 ml destillerat vatten måste behandlas enligt utförandet.

Beräkning:

$$\text{mg/l KMnO}_4 = \frac{3,16 \cdot 100 \cdot 15}{B \cdot v} \left[ (15+A-B) - (15-B_p-B) \frac{100-v}{100} \right]$$

där A = provlösningens  $\text{KMnO}_4$ -förbrukning i ml

B = ml  $\text{KMnO}_4$ -lösning, som åtgår vid titreringen av  
15,0 ml 0,01 N oxalsyra

$B_p$  = blindprovets  $\text{KMnO}_4$ -förbrukning i ml

v = ml provvatten

Om provvattnet ej behöver spädas, kan beräkningen för 100 ml provvatten förenklas till

$$\text{mg/l KMnO}_4 = \frac{3,16 \cdot 15}{B} (15 + A - B)$$

Det bör anmärkas, att hydrazin, som kan förekomma i provvattnet, också oxideras av  $\text{KMnO}_4$ . Eventuellt får korrektion ske härför.

1 mg/l  $\text{N}_2\text{H}_4$  ger en  $\text{KMnO}_4$ -förbrukning av 4 mg/l  $\text{KMnO}_4$ .

Referens: VGB: Analysenverfahren für den Kraftwerksbetrieb, 1962

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forkningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

**STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING**

Box 1765 · 111 87 Stockholm  
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37