

## KRAVSPECIFIKATION

---



### VANDFORSYNING

### KRAVSPECIFIKATION VED VALG AF RUSTFRIT STÅL

| Revision | Revisionsdato | Emne (ændring)   |
|----------|---------------|--|
| 0        | 03.12.2018    | Første udgivelse   |
| 1        | 25.01.2019    | Inkl. retningslinjer for rustfrit stål i kontakt med CO <sub>2</sub> -mættet vand                |
| 2        | 18.06.2019    | Flere rustfri stål legeringer tilføjet. Krav til svejsearbejde revideret og flyttet til bilag 1. |
| 3        | 27.08.2019    | Krav i forhold til klorid-indhold opdateret.   |

## Resumé

Dette dokument har som formål at definere retningslinjer ved valg af rustfrit stål i HOFOR, med fokus på at minimere følgende risici:

- Korrosion af rustfri stål overflader
- Afsmitning af metaller og andre kemiske stoffer fra rustfrit stål til drikkevand

Konklusionen fra nærværende dokument er, at rustfrit stål i kontakt med drikkevand skal være austenitisk "syrefast" rustfrit stål af AISI 316-klassen. Derudover skal der vælges lavkulstofstål med mindre end 0,03% kulstofindhold, hvis materialet skal svejdes.

Valget af ståltype afhænger dog også af kloridkoncentrationen i vandet:

- Ved et kloridindhold op til 250 mg/l må EN 1.4404 eller bedre anvendes.
- Ved et kloridindhold over 250 mg/l må EN 1.4432 eller bedre anvendes.

For rustfrit stål i kontakt med CO<sub>2</sub>-mættet vand, gælder de samme regler som for drikkevand.

Rustfrit stål i kontakt med natriumhydroxid skal være austenitisk rustfrit stål med et maks. kulstofindhold på 0,03% C af AISI 304L- eller 316L-klassen. Derudover skal der tilføjes et korrosionstillæg (ekstra tykkelse af stålet) på rustfrit stål overflader i kontakt med natriumhydroxid. Tykkelsen af korrosionstillægget afhænger af ludkoncentrationen og den valgte stål kvalitet.

- Til 27% NaOH, som skal anvendes på Værket ved Marbjerg, er EN 1.4306 valgt. Korrosionstillægget skal i dette tilfælde minimum være 3 mm [11].
- Til 50% NaOH, som skal anvendes på Værket ved Sønderød, er EN 1.4435 valgt. Her anvendes et mindre korrosionstillæg på 2 mm pga. den høje stål kvalitet. Når det er muligt, skal det altid tilstræbes, at anvende det lavest mulige korrosionstillæg og i stedet benytte en bedre stål kvalitet.

I de tilfælde hvor der er risiko for stillestående vand, skal man være opmærksom på, at det kan være nødvendigt at øge udskiftningsfrekvensen pga. mikrobiologisk korrosion.

Svejsarbejde og efterbehandlingen af svejsninger skal udføres i henhold til kravene i Bilag 1: "Specifikationer for arbejde med rustfrit stål".

Kravene i nærværende dokument er minimumskrav og rustfri stål-kvaliteter med højere korrosionsbestandighed må gerne anvendes.

Dokumentation for at det leverede stål er i overensstemmelse med nærværende dokument, skal leveres som en del af slutdokumentationen for anlægget.

## Definition af rustfrit stål

Rustfrit stål er en stor gruppe materialer, hvor jern (Fe) er hovedelementet og med et minimum kromindhold på 10,5% og et maksimalt kulstofindhold på 1,2%. Rustfrit stål kan tilsættes andre legeringselementer, med det formål at forbedre materialets mekaniske egenskaber (styrke, svejsbarhed og formbarhed) og/eller korrosionsbestandighed. Tabel 1 viser de mest anvendte legeringselementer i rustfrit stål. [1]

Tabel 1 Mest anvendte legeringselementer i rustfrit stål [1]

| Legeringselement   | Procent    | Kommentarer  |
|--------------------|------------|--|
| Krom, Cr           | 10 – 25%   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hovedlegeringselement</li> <li>Øge korrosionsbestandigheden i de fleste miljøer, bedst under iltede betingelser</li> <li>Øge den mekaniske styrke, varmebestandighed og bestandighed mod glødeskaller (rust)</li> </ul>                         |
| Nikkel, Ni         | 0 – 25%    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Forbedre de mekaniske egenskaber, i.e. sejhed</li> <li>Øge korrosionsbestandigheden i basiske miljøer</li> <li>Øget Cr og Mo medfører krav om øget Ni for at holde den duktile austenitstruktur</li> <li>Dyrt og prismæssigt ustabil</li> </ul> |
| Molybdæn, Mo       | 0,8 – 6,2% | <ul style="list-style-type: none"> <li>Øge korrosionsbestandigheden især i sure, iltfattige miljøer</li> <li>Øge den mekaniske styrke</li> <li>Dyrt legeringselement</li> <li>"Syrefast rustfrit stål" indeholder min. 2% Mo</li> </ul>  |
| Kulstof, C         | ≤ 0,07%    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uønsket i austenitiske rustfrie stål når det skal svejdes, fordi der kan dannes skadelige kromkarbider i korngrænserne</li> <li>Lavkulstofstål (med bogstaver "L" i navnet) indeholder mindre end 0,03% C</li> </ul>                            |
| Kvælstof, N        | 0 – 0,05%  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Styrker korrosionsbestandigheden</li> <li>Særlig effektiv mod grubetæring og spaltekorrosion</li> <li>Vanskelig at tilsætte til det smeltede metal</li> </ul>   |
| Silicium, Si       | ≤ 1%       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urenhed i stålet fra stålværkerne</li> <li>Ingen stor effekt på korrosionsbestandigheden</li> </ul>   |
| Mangan, Mn         | ≤ 2%       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urenhed i stålet fra stålværkerne</li> <li>Forbedrer stålets formbarhed</li> <li>Er moderat styrkeøgende</li> </ul>   |
| Svovl, S           | ≤ 0,015%   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uønskede forureninger af stålet</li> <li>Fungerer som angrebepunkter for korrosion.</li> </ul>  |
| Fosfor, P          | ≤ 0,045%   |  |
| Kobber, Cu         | 0 – 2%     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Styrker korrosionsbestandigheden i sure, (iltfattige) medier</li> <li>Moderat styrkeøgende</li> </ul>   |
| Titan/ Niob, Ti/Nb | ≤ 0,8%     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Binder kulstof og modvirker kulstofs skadelige effekt ved svejsning</li> </ul>  |

## **Rustfrit stål korrosionsforhold**

Rustfri ståls overflade består af en tynd beskyttende film af krom og molybdænoxider ("passivfilm"), som normalt gør rustfrit stål korrosionsbestandigt. Korrosion af rustfrit stål er nedbrydelse af denne passivfilm uden en efterfølgende gendannelse. [1] Efterfølgende beskrives de forskellige korrosionstyper.

### **Generel korrosion/syrekorrosion**

Generel korrosion eller syrekorrosion sker i stærkt sure medier (svovlsyre, fosforsyre og lign.) eller (sjældnere) stærkt alkaliske medier (f.eks. natriumhydroxid). Denne type korrosion påvirker hele rustfri stål overfladen, men har en lav korrosionshastighed. Generelt er der højere risiko for denne type korrosion med stigende temperatur og kloridindhold. Austenitisk rustfri stål, særligt med højt indhold af nikkel og molybdæn, er den type rustfri stål, der er mest korrosionsbestandig for generel korrosion/syrekorrosion. [1]

### **Grubetæring og spaltekorrosion**

Grubetæring er en lokal korrosionsform, som skyldes lokal nedbrydning af passivfilmen. Dette kan resultere i alvorlig gennemtæring enkelte steder. Spaltekorrosion ligner grubetæring, men her sker korrosionen i spalter, porer og lign. Begge typer korrosion øges ved stigende temperatur, stigende kloridindhold, stigende redox potentiale og lav pH. Austenitisk rustfrit stål, særligt med højt indhold af krom, molybdæn og kvælstof samt lavt indhold af svovl og fosfor, er den type rustfrit stål, som er mest korrosionsbestandig for grubetæring og spaltekorrosion. [1]

### **Spændingskorrosion**

Spændingskorrosion er en lokal korrosionstype, som sker i lokale revnedannelser i forbindelse med svejsning, smedning og andre former for bearbejdning eller mekaniske påvirkninger. Risikoen for denne type korrosion øges med stigende kloridindhold, stigende temperatur, lav pH og ved inddampning. Den faktor med størst påvirkning er stigende temperatur. Austenitisk rustfrit stål, især med højt indhold af nikkel og molybdæn, er den type rustfrit stål, der er mest korrosionsbestandig for spændingskorrosion. [1]

### **Interkrystallinsk korrosion**

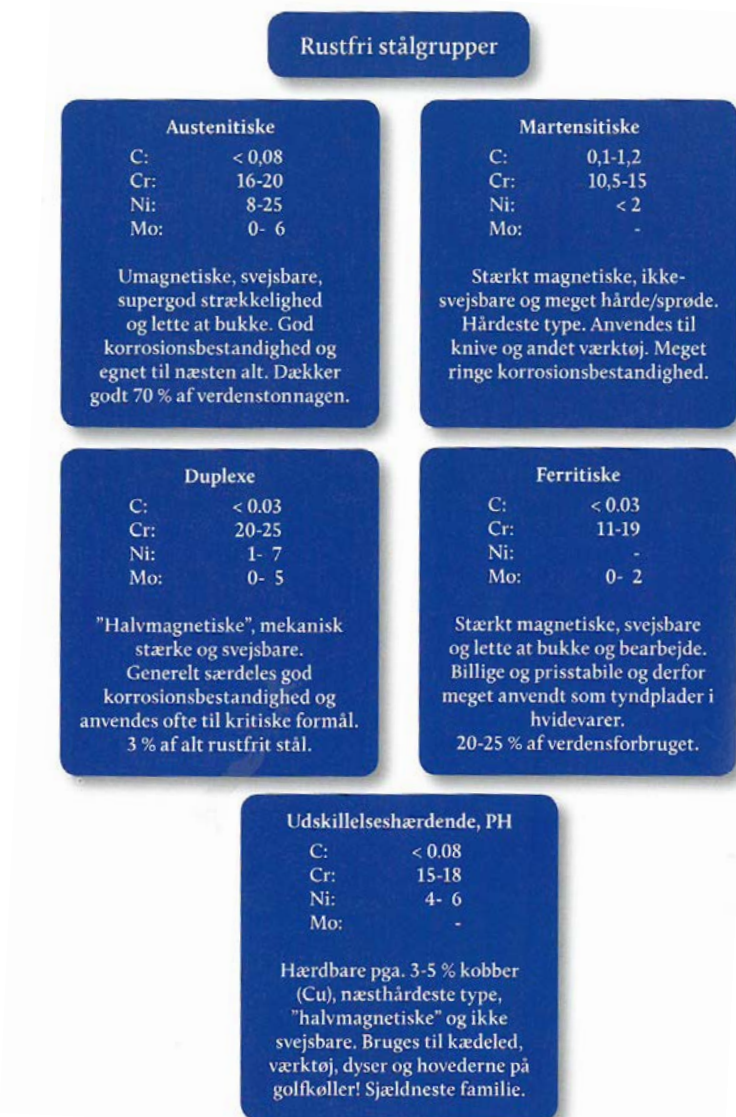
Interkrystallinsk korrosion er en type korrosion, som finder sted i materialets krystalstruktur i forbindelse med kulstofs binding til krom ved høje temperaturer (500 – 800 °C). Lavkulstofstål ("L" typer), hvor kulstofindholdet er mindre end 0,03%, er de typer rustfrit stål, der er mest korrosionsbestandig for interkrystallinsk korrosion. [1]

## Typen af rustfrit stål

Rustfrit stål kan efter krystalstruktur opdeles i fem hovedgrupper:

- Austenitisk rustfrit stål
- Martensitisk rustfrit stål
- Ferritisk rustfrit stål
- Duplex rustfrit stål (Ferritisk - Austenitisk)
- Udskilleleshærdende rustfrit stål

Figur 1 giver et overblik over de fem rustfri stål-grupper samt deres vigtigste legeringselementer og egenskaber. Bilag A viser en tabel med forskellige rustfrit stål typer og deres sammensætning.



Figur 1 Overblik over de fem rustfrit stål-grupper samt deres legeringselementer og egenskaber [1]

## Austenitiske rustfrit stål: AISI 304 og 316-klasserne

Austenitisk rustfrit stål er langt den vigtigste rustfri stål gruppe og dækker ca. 70% af de rustfrie stål på markedet. Austenitisk rustfrit stål har følgende egenskaber: [1]

- Ikke magnetisk.
- Højt indhold af krom, højt indhold af nikkel, lavt indhold af kulstof og ofte tilsat molybdæn.
- God formbarhed og svejsbarhed.
- God korrosionsbestandighed, men følsom over for kloridinduceret spændingskorrosion.

Nikkelbaseret austenitisk stål er klassificeret under den amerikanske AISI 300-serie, som indeholder de mest anvendte rustfri stål typer, herunder klasserne AISI 304 og AISI 316.

AISI 304 eller AISI 316 vælges typisk, hvor der sker en stor mekanisk påvirkning, og hvor der er aggressive kemikalier (stærke syre eller baser). Ud over det Nærværende dokument er et bilag til HOFORs kravspecifikation ved valg af rustfrit stål. Dokumentet angiver krav til modtagekontrol, opbevaring, anvendelse af tilsatsmaterialer og bejdse samt efterbehandling og rengøring af rustfrit stål.

Tabel 2 viser den kemiske sammensætning af de mest anvendte austenitiske rustfri stål.

*Tabel 2 Kemisk sammensætning af de mest anvendte rustfrit stål af AISI 304 og 316 typerne\* [1]*

| AISI 304 klassen |           |       |           |           |        |                               |
|------------------|-----------|-------|-----------|-----------|--------|-------------------------------|
| EN navn          | AISI navn | C (%) | Cr (%)    | Ni (%)    | Mo (%) | Bemærkninger                  |
| 1.4301           | 304       | ≤0,07 | 17,5-19,5 | 8,0-10,5  | -      | Basislegering                 |
| 1.4307           | 304L      | ≤0,03 | 17,5-19,5 | 8,0-10,5  | -      | Lavkulstofstål                |
| 1.4306           | 304L      | ≤0,03 | 18,0-20,0 | 10,0-12,0 | -      | Lavkulstofstål, mere Cr/Ni    |
| 1.4541           | 321       | ≤0,08 | 17,0-19,0 | 9,0-12,0  | -      | Titan-stabiliseret            |
| 1.4308           | 304       | ≤0,07 | 18,0-20,0 | 8,0-11,0  | -      | Støbelegering                 |
| 1.4309           | 304L      | ≤0,03 | 18,0-20,0 | 9,0-12,0  | -      | Lavkulstofstål, støbelegering |

| AISI 316 klassen |           |       |           |           |         |                               |
|------------------|-----------|-------|-----------|-----------|---------|-------------------------------|
| EN navn          | AISI navn | C (%) | Cr (%)    | Ni (%)    | Mo (%)  | Bemærkninger                  |
| 1.4401           | 316       | ≤0,07 | 16,5-18,5 | 10,0-13,0 | 2,0-2,5 | Basislegering                 |
| 1.4404           | 316L      | ≤0,03 | 16,5-18,5 | 10,0-13,0 | 2,0-2,5 | Lavkulstofstål                |
| 1.4571           | 316Ti     | ≤0,08 | 16,5-18,5 | 10,5-13,5 | 2,0-2,5 | Titan-stabiliseret            |
| 1.4408           | 316       | ≤0,07 | 18,0-20,0 | 9,0-12,0  | 2,0-2,5 | Støbelegering                 |
| 1.4409           | 316L      | ≤0,03 | 18,0-20,0 | 9,0-12,0  | 2,0-2,5 | Lavkulstofstål, støbelegering |
| 1.4436           | 316       | ≤0,07 | 16,5-18,5 | 10,5-13,0 | 2,5-3,0 | Mere Mo end ovenstående       |
| 1.4432           | 316L      | ≤0,03 | 16,5-18,5 | 10,5-13,0 | 2,5-3,0 | Lavkulstofstål og mere Mo     |
| 1.4435           | 316L      | ≤0,03 | 17,0-19,0 | 12,5-15,0 | 2,5-3,0 | Lavkulstofstål og mere Cr/Ni  |

\* Alle typer rustfrit stål typer i tabellen indeholder  $N \leq 0,11\%$ ,  $Si \leq 1\%$ ,  $Mn \leq 2\%$ ,  $S \leq 0,015\%$  og  $P \leq 0,045\%$

## **Rustfrit stål af AISI 304-klassen**

AISI 304-klassen er den mest almindelige klasse af rustfrit stål. Det indeholder typisk 18-20% Cr og 8-12% Ni. 8% er den mindste mængde nikkel, der skal tilsættes til et rustfrit stål indeholdende 18 % krom for fuldstændigt at omdanne alt ferrit til austenit. [1]

### EN 1.4301 / AISI 304 - EN navn: X5CrNi18-10

Standard rustfrit stål med forholdsvis højt kulstofindhold ( $\leq 0,07\%$  C), som derfor ikke er velegnet til svejsning. Denne type rustfrit stål har et relativt lavt nikkel indhold (8-10,5% Ni), som gør det mindre korrosionsbestandigt end andre rustfri stål typer med et højere nikkel indhold.

### EN 1.4307 / AISI 304L – EN navn: X2CrNi18-9

Lavkulstofstål rustfri stål ( $\leq 0,03\%$  C), som er velegnet til svejsning. Ellers samme egenskaber som for EN 1.4301.

### EN 1.4306/AISI 304L - EN navn: X2CrNi19-11

Lavkulstof rustfri stål ( $\leq 0,03\%$  C), som er velegnet til svejsning. Det relativt høje nikkel indhold (10-12% Ni) giver gode egenskaber til formgivning. Ulemper ved denne type rustfrit stål er en marginalt lavere mekanisk styrke og en lidt højere pris pga. det højere nikkel indhold. [1]. Denne legering blev valgt til tankene med 27% lud på Værket ved Marbjerg.

### EN 1.4541 / AISI 321 – EN navn: X6CrNiTi18-10

Forholdsvis højt kulstofindhold ( $\leq 0,08\%$  C), men "stabiliseret" med tilsat titanium, Ti, som gør det velegnet til svejsning. Ellers næsten samme egenskaber som for EN 1.4307.

### EN 1.4308 / AISI 304 – EN navn: GX5CrNi19-10

Legering der er velegnet til støbte produkter, men med et forholdsvis højt kulstofindhold ( $\leq 0,07\%$  C), som derfor ikke er velegnet til svejsning. Ellers næsten samme egenskaber som for EN 1.4301.

### EN 1.4309 / AISI 304L – EN navn: GX2CrNi19-11

Lavkulstofstål rustfri stål ( $\leq 0,03\%$  C) som er velegnet til støbte produkter, der skal svejdes. Ellers næsten samme egenskaber som for EN 1.4306.

## **Rustfrit stål af AISI 316-klassen**

AISI 316-klassen er den næstmest almindelige klasse af rustfrit stål. Disse stål indeholder typisk 17-19% Cr og 10-15% Ni. Derudover indeholder det min. 2% Mo ("syrefast" rustfrit stål), som forbedrer korrosionsbestandigheden. Rustfrit stål af AISI 316-klassen anvendes oftest i fødevarerindustrien, da den højere legeringstilsætning af molybdæn forhindrer specifikke former for korrosion og minimerer metallisk forurening. [1]

EN 1.4401 / AISI 316 – EN navn: X5CrNiMo17-12-2

Standard "syrefast" rustfrit stål med god korrosionsbestandighed i mange medier pga. det høje molybdæninhold (2,0-2,5% Mo). Det høje nikkel indhold (10-13%) giver god sejhed og formbarhed. Det er ikke et lavkulfstof rustfrit stål, så det er ikke velegnet til svejsning.

EN 1.4404 / AISI 316L – EN navn: X2CrNiMo17-12-2

Lavkulfstof "syrefast" rustfrit stål ( $\leq 0,03\%$  C), som er velegnet til svejsning. Ellers samme egenskaber som EN 1.4401. EN 1.4404 er én af de mest anvendte rustfri ståltyper, og det er let at finde i mange former og dimensioner.

EN 1.4571 / AISI 316Ti – EN-navn: X6CrNiMoTi17-12-2

"Syrefast" rustfrit stål med forholdsvis højt kulstofindhold ( $\leq 0,08\%$  C), men "stabiliseret" med tilsat titanium, Ti, som gør det velegnet til svejsning. Ellers næsten samme egenskaber som for ovennævnte typer.

EN 1.4408 / AISI 316 – EN navn: GX5CrNiMo19-11-2

"Syrefast" rustfrit stål der er velegnet til støbte produkter, men med et forholdsvis højt kulstofindhold ( $\leq 0,07\%$  C), som derfor ikke er velegnet til svejsning. Ellers næsten samme egenskaber som for EN 1.4401.

EN 1.4409 / AISI 316L – EN navn: GX2CrNiMo19-11-2

Lavkulfstof "syrefast" rustfri stål ( $\leq 0,03\%$  C), som er velegnet til støbte produkter, der skal svejdes. Ellers næsten samme egenskaber som for EN 1.4404.

EN 1.4436/AISI 316 – EN navn: X3CrNiMo17-13-3

"Syrefast" rustfrit stål med forholdsvis højt kulstofindhold ( $\leq 0,07\%$  C), som derfor ikke er velegnet til svejsning. EN 1.4436 har et lidt højere molybdæninhold (2,5-3,0% Mo) end ovennævnte typer (2,0-2,5% Mo), som gør det mere korrosionsbestandigt. Ulempen ved denne type rustfrit stål er ringere leveringsforhold [1].

EN 1.4432/AISI 316L – EN navn: X2CrNiMo17-12-3

Lavkulfstof "syrefast" rustfrit stål ( $\leq 0,03\%$  C), som er velegnet til svejsning. EN 1.4432 har ligesom EN 1.4436 et lidt højere molybdæninhold (2,5-3,0% Mo) end EN 1.4404 (2,0-2,5% Mo), som gør det mere korrosionsbestandigt. Ulempen ved denne type rustfrit stål er ringere leveringsforhold. [1] EN 1.4432 blev valgt af rådgiver Krüger A/S til råvandsinstallationer på Brøndby Vandværk. Force Technology har udført en korrosionsvurdering af den valgte stål kvalitet, hvor der konkluderes, at EN 1.4432 er et tilstrækkeligt korrosionsbestandigt materialevalg [2].

EN 1.4435/AISI 316L - X2CrNiMo18-14-3

Lavkulfstof "syrefast" rustfrit stål ( $\leq 0,03\%$  C), som er velegnet til svejsning. Ellers samme molybdæninhold (2,5-3,0% Mo) som for EN 1.4432 og 1.4436, men med et lidt højere krom og nikkel indhold, som forøger korrosionsbestandigheden. Ulempen ved denne type rustfrit stål er den højere pris og ringere leveringsforhold. Denne legering er anbefalet af rådgiver Niras A/S til ludtankene på Værket ved Sønderød. Den høje kvalitet kan retfærdiggøres her på grund af den høje lud koncentration (50% NaOH vs 27% NaOH på Marbjerg). Fortyndingen fra 50% til 27% kan medføre en kraftig varmeudvikling, som tankens materiale skal kunne tåle.



## **Internationale regler om anvendelse af rustfrit stål i kontakt med drikkevand**

### **Hollandske regler**

De relevante hollandske regler er indsamlet i dokumentet *Materials and chemicals in the supply of drinking water and warm tap water Regulation* [3], fra 2013. Dokumentet dækker rør, fittings, tilbehør og svejsematerialer fremstillet af rustfrit stål. Bilag B af dokumentet definerer sammensætningen af metaller, som kan bruges i kontakt med drikkevand. Sammensætningen for rustfrit stål er dog ikke opført i bilag B, fordi det stadig drøftes. Der er således ikke nogen beslutning om rustfrit stål i dokumentet.

### **Tyske regler**

De relevante tyske regler er indsamlet i dokumentet *Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser (Metall-Bewertungsgrundlage)* [4], fra 2011. Det fremgår af dokumentet, at rustfrit stål i passiv tilstand kan anvendes til rørmaterialer for alle produktgrupper i kontakt med drikkevand. I dette tilfælde betyder "passivstand" "korrosion-fri", dvs. at rustfrit stål har en passivfilm på overfladen af metallet, som gør det korrosionsbestandig.

### **4MS Common Approach**

4MS Common Approach er et samarbejde mellem Holland, Tyskland, Frankrig og England om deres nationale ordninger for udstyr i kontakt med drikkevand. Metalliske materialer på denne liste kan bruges til udstyr i kontakt med drikkevand [5]. 4MS Common Approach konkluderer at rustfrit stål i henhold til EN 10088 og EN 10283 (European Standard for den kemiske sammensætning af rustfrit stål) kan anvendes til alle produktgrupper i kontakt med drikkevand.

### **Rapport "Metal in food"**

Rapporten *Metal in food* [6] er et forskningsprojekt om forurening af fødevarer med metaller under produktion. Rapporten er udarbejdet i samarbejde mellem Institut for Produktion og Ledelse (DTU), Danmarks Fødevarerforskning og Allergiklinikken (Rigshospitalet). I projektet blev der undersøgt mulige kilder til metalforurening, fx rustfrit stål. Der blev kigget efter jern, chrom, nikkel, molybdæn, mangan, kobolt og wolfram. Projektet konkluderede, at det var nærmest umuligt at måle metalafsmittning i fødevarer. Konklusionen fra rapporten er, at rustfrit stål som hovedregel er inert, men at slid og korrosion under brug skal minimeres ved valg af en god kvalitet rustfrit stål. For procesudstyr i aggressive miljøer med kun svag mekanisk belastning anbefales austenitisk rustfrit stål.

## Drikkevandskriterier i Danmark

Følgende dokumenter fastsætter drikkevandskrav ved afgang værk, som skal være opfyldt i HOFOR:

- Den gældende *Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg* [7].
- Gældende liste over drikkevandskrav [8]
- HOFOR Kravspec. for materialer i lednings- og kildepladser [9]
- HOFORs Kravspec. for vandværker [10]

Tabel 3 viser drikkevandskrav ved afgang værk. I tabellen fremgår kun værdier for de relevante parametre med hensyn til rustfrit stål. Bemærk at kravene ikke kun gælder for afsmitning fra rustfrit stål, men er det samlede krav, der skal overholdes ved afgang værk.

*Tabel 3 Drikkevandskrav ved afgang værk.*

| Parameter    | Drikkevandskrav   | Reference   |
|--------------|---|---|
| Chrom, Cr    | 50 µg/l   | Drikkevandsbekendtgørelsen                                      |
| Nikkel, Ni   | 20 µg/l   | Drikkevandsbekendtgørelsen                                      |
| Molybdæn, Mo | 20 µg/l   | Liste over drikkevandskriterier                                 |
| Kul, C       | 4 mg/l som NVOC   | Drikkevandsbekendtgørelsen                                      |
|              | 0,3 mg/l som TOC/NVOC*  | HOFORS Kravspec. for materialer i lednings- og kildepladser [9] |
| Kvælstof, N  | 0,025 mg/l som NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>50 mg/l som, nitrat<br>0,1 mg/l som nitrit | HOFORs Kravspec. [10] og Drikkevandsbekendtgørelsen             |
| Silicium, Si | 10 mg/l   | Erfaringsbaseret værdi, omregnet fra SiO <sub>2</sub>           |
| Mangan, Mn   | 0,01 mg/l   | HOFORs Kravspec. for vandværker [10]                            |
| Svovl, S     | 0,01 som svovlbrinte<br>0,02 mg/l som sulfid  | HOFORs Kravspec. for vandværker [10]                            |
| Fosfor, F    | 0,15 mg/l*  | HOFORs Kravspec. for vandværker [10]                            |
| Kobber, Cu   | 100 µg/l  | HOFORs Kravspec. for vandværker [10]                            |

*\*Maks. total afsmitning af kulstof for 3. ekstraktion ved DS/EN 12873-1 med analysemetode SM5310B*

## Retningslinjer for rustfrit stål i kontakt med drikkevand

Korrosionsbestandigheden af rustfrit stål i kontakt med drikkevand afhænger af vandets kloridindhold og temperatur. Jo højere kloridindhold og temperatur i vandet i kontakt med rustfrit stål, jo højere risiko for korrosion. Rustfrit stål har generelt god korrosionsbestandighed i både bløde og hårde vandtyper og ved kloridindhold på op til 250 mg/l. I de tilfælde hvor der er risiko for stillestående vand skal man være opmærksom på, at det kan være nødvendigt at øge udskiftningsfrekvensen pga. mikrobiologisk korrosion. [2]

Til orientering viser tabel 4 kravværdier for kloridindhold og temperatur i drikkevand, ifølge drikkevandsbekendtgørelsen.

*Tabel 4 Kravværdier for kloridindhold og temperatur i drikkevand*

| Parameter     | Maks. Værdi | Reference                  |
|---------------|-------------|----------------------------|
| Kloridindhold | 250 mg/l    | Drikkevandsbekendtgørelsen |
| Temperatur    | 12 °C       | Drikkevandsbekendtgørelsen |

Korrosionsbestandighed af rustfrit stål i kontakt med drikkevand hænger normalt sammen med kloridkoncentrationen i vandet og molybdænindholdet i det rustfrie stål. Jo højere molybdænindhold, jo højere korrosionsbestandighed. Ud fra denne viden besluttes, at rustfrit stål anvendt i kontakt med drikkevand i HOFOR skal opfylde følgende krav:

- At indeholde en minimum molybdænindhold på 2,0% Mo
- At være lavkulstof rustfrit stål med maks. 0,03% C, hvis materialet skal svejses

Af tabel 2 fremgår det, at både type EN 1.4404, 1.4432 og 1.4435 opfylder ovennævnte krav og derfor må anvendes i kontakt med vand i HOFOR. Herudover gælder følgende krav:

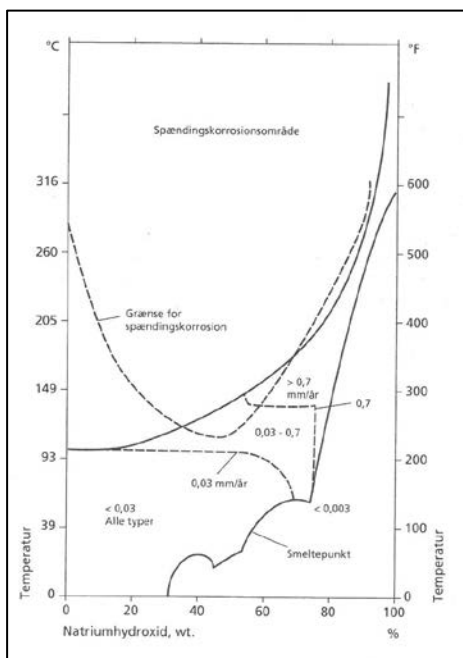
- Ved et kloridindhold op til 250 mg/l må EN 1.4404 eller bedre anvendes.
- Ved et kloridindhold over 250 mg/l må EN 1.4432 eller bedre anvendes.

Det titanstabiliserede stål EN 1.4571/AISI 316Ti kan evt. anvendes i stedet for lavkulstofstål type EN 1.4404/AISI 316L, når materialet skal svejses. Hvis materialet ikke skal svejses, kan ståltyperne EN 1.4401 og 1.4436 anvendes i stedet for hhv. EN 1.4404 og 1.4432. De særlige legeringer for støbte emner EN 1.4408 og 1.4409 jf. tabel 2 må også anvendes i stedet for hhv. EN 1.4401 og 1.4404.

Ved valg af rustfrit stål i kontakt med CO<sub>2</sub>-mættet vand, gælder de samme regler som for drikkevand.

## Retningslinjer for rustfrit stål i kontakt med natriumhydroxid

Natriumhydroxid er en stærk base. Selvom stærke baser er langt mindre aggressive overfor rustfrit stål end stærke syrer, og korrosionstabet er tilsvarende mindre i stærke baser end i stærke syrer [1], kan fortyndingen af lud medføre kraftige temperaturstigninger. Den anvendte ludkoncentrationen er afgørende for, hvor høj temperaturstigningen bliver. Op til en koncentration på 50% NaOH, er temperaturgrænsen for at undgå korrosion sat konservativt til 70 °C, men en øvre grænse på 95 °C kan normalt accepteres [11]. Figur 2 illustrerer korrosionsbestandigheden af rustfrit stål AISI 304L og AISI 316L i kontakt med natriumhydroxid i forskellige koncentrationer [13].



Figur 2 Korrosionsbestandighed af rustfrit stål AISI 304L og AISI 316L i natriumhydroxid [13]

Korrosionshastigheden skal være under 0,1 mm/år for at sikre en levetid på 50 år, svarende til 5 mm korrosion. Ifølge figuren har rustfrit stål AISI 304 og AISI 316 en korrosionshastighed under 0,1 mm/år for natriumhydroxid på 50% op til ca. 95 °C [13].

Til anvendelse af rustfrit stål i kontakt med natriumhydroxid i HOFOR skal der vælges et lavkulstofstål med mindre end 0,03% C, dvs. AISI 304L eller AISI 316L, hvis materialet skal svejses.

Derudover skal der efter hollandske erfaringer tillægges et korrosionstillæg ved anvendelse af rustfrit stål i kontakt med natriumhydroxid. Tykkelsen af korrosionstillægget afhænger af ludkoncentrationen. Til 27% NaOH som skal anvendes på Værket ved Marbjerg, er EN 1.4306 valgt. Korrosionstillægget for denne type stål skal som minimum være 3 mm [11]. Til 50% NaOH som skal anvendes på Værket ved Sønderød, skal EN 1.4435 anvendes. Til denne type rustfrit stål kan det evt. undersøges, om der kan anvendes et korrosionstillæg mindre end 3 mm. Når det er muligt, skal det altid tilstræbes, at anvende det lavest mulige korrosionstillæg og i stedet benytte en bedre stålkvalitet.

## Konklusion

Rustfrit stål i kontakt med drikkevand skal være austenitisk "syrefast" rustfrit stål af AISI 316 klassen, hvor følgende krav opfyldes:

- Minimum molybdænindhold: 2,0% Mo
- Maksimum kulstofindhold: 0,03% C, hvis materiale skal svejses

Af tabel 2 fremgår det, at både type EN 1.4404, 1.4432 og 1.4435 opfylder ovennævnte krav og derfor må anvendes i kontakt med vand i HOFOR. Herudover afhænger valget af ståltype i kontakt med drikkevand af kloridkoncentrationen i vandet.

- Ved et kloridindhold op til 250 mg/l må EN 1.4404 eller bedre anvendes.
- Ved et kloridindhold over 250 mg/l må EN 1.4432 eller bedre anvendes.

I de tilfælde hvor der er risiko for stillestående vand, skal man være opmærksom på, at det kan være nødvendigt at øge udskiftningsfrekvensen pga. mikrobiologisk korrosion.

Ved valg af rustfrit stål i kontakt med CO<sub>2</sub>-mættet vand, gælder de samme regler som for drikkevand.

Rustfrit stål i kontakt med natriumhydroxid skal være austenitisk rustfrit stål med et maks. kulstofindhold på 0,03% C af AISI 304L- eller 316L-klassen, hvis materialet skal svejses. Derudover skal der tilføjes et korrosionstillæg (ekstra tykkelse af stålet) på rustfrit stål overflader i kontakt med natriumhydroxid. Tykkelsen af korrosionstillægget afhænger af ludkoncentrationen og den valgte stål kvalitet.

- Til 27% NaOH som anvendes på Værket ved Marbjerg, er EN 1.4306 valgt. Korrosionstillægget skal i dette tilfælde minimum være 3 mm [11].
- Til 50% NaOH som anvendes på Værket ved Sønderød, er EN 1.4435 valgt. Her skal det vurderes om der kan anvendes et mindre korrosionstillæg end 3 mm pga. den høje stål kvalitet.

Når det er muligt, skal det altid tilstræbes, at anvende det lavest mulige korrosionstillæg og i stedet benytte en bedre stål kvalitet.

Tabel 5 viser en oversigt over de valgte rustfrie ståltyper og korrosionstillæg til de forskellige anvendelser.

Tabel 5. Oversigt over valgte rustfrit stål typer og korrosionstillæg

| Anvendelse                                   | Rustfrit stål type     | Korrosionstillæg |
|--|------------------------|------------------|
| I kontakt med vand, kloridindhold < 250 mg/l | EN 1.4404              | Ingen            |
| I kontakt med vand, kloridindhold > 250 mg/l | EN 1.4432 <sup>1</sup> | Ingen            |
| I kontakt med CO <sub>2</sub> -mættet vand   | EN 1.4404              | Ingen            |
| I kontakt med natriumhydroxid, 27% NaOH      | EN 1.4306              | Min. 3 mm        |
| I kontakt med natriumhydroxid, 50% NaOH      | EN 1.4435              | Evt. < 3 mm      |

<sup>1</sup>Undtaget stigrør i borer, hvor der benyttes 1.4401/1.4404 og udskiftningsfrekvensen øges

Det titanstabiliserede stål EN 1.4571 kan evt. anvendes i stedet for lavkulstofstål type EN 1.4404, når materialet skal svejdes. Hvis materialet ikke skal svejdes, kan ståltyperne EN 1.4401 og 1.4436 anvendes i stedet for hhv. EN 1.4404 og 1.4432. De særlige legeringer for støbte emner EN 1.4408 og 1.4409 kan også anvendes i stedet for hhv. EN 1.4401 og 1.4404. Se også tabel 2.

De anvendte rustfrie materialer skal overholde kravene i de relevante produktstandarder, fx EN 10088-2 eller EN 10028-7 for plader og coils, EN 10088-3 eller EN 10272 for halvfabrikata, stænger og profiler, EN 10312, EN 10357 eller EN 10217-7 for svejste rør og EN 10216-5 for sømløse rør. Tilsatsmaterialer til svejsning skal være i overensstemmelse med DS/EN ISO 14343.

Kvaliteten af det anvendte rustfrie stål skal dokumenteres i form af et materialecertifikat af type 3.1 i henhold til EN 10204. Dette gælder også for tilsatsmaterialer til svejsning. Dokumentation for at det leverede stål er i overensstemmelse med nærværende dokument, skal leveres som en del af slutdokumentationen for anlægget.

Svejsarbejde skal udføres omhyggeligt og i henhold til dokumenterede svejseprocedure-specifikationer, så det sikres at svejsningerne har optimale korrosionsegenskaber og styrke. Se krav i Bilag 1: Specifikationer for arbejde med rustfrit stål.

## Reference liste

- [1] *Rustfrit stål til hygiejnisk udstyr i food/pharma*, Claus Qvist Jessen & Erik-Ole Jense, Damstahl Stainless Steel Solutions, 1. udgave, 1. oplag 2014
- [2] *Korrosionsvurdering af rustfrit stål type EN 1.4432 til Brøndbyvester Vandværk*, Force Technology, februar 2015
- [3] *Materials and chemicals in the supply of drinking water and warm tap water Regulation*, marts 2013
- [4] *Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser (Metall-Bewertungsgrundlage) (Evaluation criteria for metallic materials in contact with drinking water)* German Environment Agency, 3<sup>rd</sup> Revision, marts 2018
- [5] *Acceptance of metallic materials used for products in contact with drinking water*, 4MS Common Approach, 7<sup>th</sup> Revision, januar 2017
- [6] *Metal in Food*, 2008
- [7] *Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg*, BEK nr. 1068 af 23.08.2018, Miljøstyrelsen, august 2018 (såfremt der skulle være kommet en ny bekendtgørelse, siden nærværende notat er udarbejdet, skal krav i den gældende bekendtgørelse overholdes)
- [8] *Liste over drikkevandskriterier*, Miljøstyrelsen, januar 2018
- [9] *Kravspecifikation. Materialer i lednings- og kildepladsanlæg*, HOFOR, januar 2018. Se seneste kravspecifikation på [www.hofor.dk](http://www.hofor.dk)
- [10] *Kravspecifikation. Vandforsyning – Vandværker. Installationer på vandværker*, HOFOR, VAV 101. Version 1. maj 2017. Se seneste kravspecifikation på [www.hofor.dk](http://www.hofor.dk)
- [11] *Opbevaringstanke for Natriumhydroxid under 49 °C – Horisontalt placeret*, HOFOR, maj 2018
- [12] *Effect of material and water quality on disinfection and risks of Corrosion*, L.R. Hilbert, H.J. Albrechtsen, A. Andersen, 2010
- [13] *Nedbrydningsformer: Rustfrit stål, nickel, titan*, Kjeld Karbæk. 1. udgave, 1. oplag 1992
- [14] *Den rustfrie bibel*, INOX A/S, april 2016

## **Bilag 1 Specifikationer for arbejde med rustfrit stål**



## **Specifikationer for arbejde med rustfrit stål**

Nærværende dokument er et bilag til HOFORs kravspecifikation ved valg af rustfrit stål. Dokumentet angiver krav til modtagekontrol, opbevaring, anvendelse af tilsatsmaterialer og bejdse samt efterbehandling og rengøring af rustfrit stål.

### **Modtagekontrol og opbevaring**

Ved modtagelse af materialer af rustfrit stål skal dokumentation for stål kvalitet (indkøbsordre, følgeseddel og materialecertifikat) gennemgås og det skal kontrolleres, at den leverede stål er i overensstemmelse med det krævede jf. kravspecifikationens hoveddokument (skal leveres som del af anlægsdokumentation). Det skal ligeledes kontrolleres at materialet leveres korrekt emballeret og rent. Bejdsede emner skal fremstå glatte, metallisk rene uden anløbningsfarver. Hvis materialerne ikke lever op til HOFORs krav ved modtagelse, skal de afvises og returneres. Materialerne skal opbevares så deres korrosionsmæssige egenskaber ikke bliver forringet. For krav i forhold til overholdelse af DDS se venligst følgende to foldere.

Arbejde med drikkevand generelt:

[https://www.hofor.dk/wp-content/uploads/2018/09/DDS\\_hygijne\\_drikkevand210918.pdf](https://www.hofor.dk/wp-content/uploads/2018/09/DDS_hygijne_drikkevand210918.pdf)

Arbejde med vandledninger:

[https://www.hofor.dk/wp-content/uploads/2018/09/DDS\\_hygijne\\_vandledninger210918.pdf](https://www.hofor.dk/wp-content/uploads/2018/09/DDS_hygijne_vandledninger210918.pdf)

### **Svejsearbejde**

I systemer som håndterer vand ved relativt lave temperaturer, typisk lavere end 25°C, er mikrobiologisk aktivitet hovedårsagen til korrosion af rustfrit stål [13]. I disse tilfælde er der dog som oftest én eller flere komplementerende skadeårsager, f. eks. stillestående vand, beskidt vand eller dårligt svejsearbejde. Ikke optimalt udførte svejsninger kan medvirke som årsagen til korrosion. Der skal derfor gøres opmærksom på, at et godt svejsearbejde i henhold til svejse specifikationer er lige så vigtige mod korrosion, som valg af typen af rustfrit stål [2].

### **Svejsepersonale og svejseprocedure**

Svejsepersonale skal være certificerede iht. DS/EN ISO 9606-1 og arbejdet skal udføres i overensstemmelse med kvalificerede svejseprocedurespecifikationer iht. DS/EN ISO 15607, DS/EN ISO 15609-serien og EN ISO 15610, 15611, 15612 eller 15613.

### **Svejskvalitet**

Svejsearbejdet skal udføres i en kvalitet svarende til niveau B i henhold til DS/EN 25817. Alle svejsninger efterbehandles således, at stålet efter svejsningen har de samme korrosionsegenskaber og styrke som det oprindelige materiale.

Det gælder i særlig grad for svejsning i rustfrit stål, at både geometriske fejl og metallurgiske fejl (sensibilisering, hærderevner m.m.) er uacceptable. Svejsprocessen skal derfor planlægges således, at materialet ændrer sig mindst muligt, og at svejsemetallet er homogent og gerne lidt overlegeret. Anløbning, svejsesprøjt, tændsår og slaggedannelse skal undgås eller fjernes efterfølgende. Acceptkriteriet for anløbningsfri overflade er niveau B i henhold til "Reference-atlas", Rapport 94.30 fra FORCE Institutet.

### **Tilsatsmaterialer**

Tilsatsmaterialer til svejsning skal være mindst lige så korrosionsbestandige som grundmaterialet. Det vil sige indholdet af legeringsstoffer i tilsatsmaterialet skal være mindst lige så højt som i grundmaterialet. Valget af grundmaterialet fremgår af kravspecifikationens hoveddokument.

### **Efterbehandling**

Svejsesiden af svejsningen skal overfladebehandles, så glødeskal og misfarvning fjernes. Svag glødeskaldannelse og/eller misfarvning af svejsningens rodside på grund af utilstrækkelig baggasdækning skal tillige fjernes. Overfladebehandling af svejsninger kan ske enten ved slibning og efterfølgende bejdsning eller bejdsning alene.

### **Bejdsning**

Bejdsning kan udføres med de i handlen forekommende salpeter-/flussyre baserede bejdsbevæsker eller –pastaer. Der må ikke anvendes saltsyreholdige produkter. Fabrikantens anvisninger og gældende sikkerhedsforskrifter skal følges. Efter bejdsning skal overfladen være glat og metallisk ren uden anløbningsfarver eller anden misfarvning/snavs.

### **Slutrensning**

Alle rester af bejdsmedlet skal fjernes ved aftørring og/eller skylning med rent varmt vand. Rengøring af rør skal udføres med skylning og evt. med brug af rensegris.

### **Prøvetagning før idriftsættelse**

Der skal altid udarbejdes et prøveprogram til udtagning af vandprøver til analyse før idriftsættelse. Prøveprogrammets omfang og indhold skal aftales med Drift Vandkvalitet. Prøveprogrammet vil typisk indeholde analyser for mikrobiologisk eftervækst, miljøfremmede stoffer samt evt. organoleptiske parametre med angivelse af krav, der skal overholdes før idriftsættelse.