

Fiskeridirektoratet på vegne av  
Rømmingskommisjonen for Akvakultur

Brudd i kjetting ved oppdrettsanlegg for fisk  
HOVEDRAPPORT  
Volume 1 of 1

September 2009

# Hovedrapport

**Report title:**

**Brudd i kjetting ved oppdrettsanlegg for fisk**

**Client:**

**Fiskeridirektoratet på vegne av  
rømmingskommisjonen for akvakultur**

**Doc. no.:**

TR 050090

**Project no.:**

209-20113

**Reporter(s):**

ECA

**Abstract:**

**Keywords:**



Restricted



Free distribution



Internal



Ref. allowed

| Rev. no. | Date     | Prepared by | Checked by | Approved by | Reason for revision |
|----------|----------|-------------|------------|-------------|---------------------|
| 2        | 11.09.09 | ECA         | VEA        | PTU         | Issued for Record   |
| 1        | 10.09.09 | ECA         | VEA        | PTU         | Issued for Record   |
| 0        | 27.08.09 | ECA         | VEA        | PTU         | Issued for Record   |
| A        | 25.05.09 | ECA         | JSI        | LEB         | Issued for Comment  |

## Sammendrag

Denne rapporten forsøker å klargjøre forhold rundt kjettingmateriale og skademekanismer ved brudd på kjetting.

Sannsynlige skademekanismer er:

1. Feil varmebehandling som gir et for sprøtt/hardt materiale.
2. Ugunstig kjemisk sammensetning. For eksempel vil for mye karbon gi et materiale som kan bli svært sprøtt ved feil varmebehandling.
3. Kaldsprekking dannet under forming av kjetting ved for lav temperatur.
4. Hydrogensprøhet, HE, som følge av beising/syrebehandling før galvanisering.
5. HISC (Hydrogen Indusert Sprekking) som følge av hydrogen fra katodisk beskyttelse (For eksempel galvanisering).

For å unngå skader som følge av punkt 1-5 er det nødvendig å sette høyere krav til produsenter og deres sertifikater. Det er viktig å få dokumentasjon på at de kjemiske komponentene er innenfor de grensene de skal være, og at varmebehandlingen er utført slik den skal. Dette har alt å si for at en skal få et materiale med de egenskapene en faktisk vil ha. Det er viktig å be produsenten legge frem sine prosedyrer og rutiner slik at en kan oppdage det dersom noe gjøres feil, og å utføre mottakskontroll på kjettingpartier som ankommer. Ikke kjøp kjetting fra en produsent som ikke kan dokumentere sine produksjonsmetoder.

Når det gjelder punkt 4 og 5 er forebygging den eneste utveien. For å unngå hydrogeninntrengning ved syrebehandling, HE, må en sørge for lav hydrogenutvikling, eventuelt kan en "bake ut" hydrogenet i en varmebehandling senere.

Dersom en skal benytte karbonstål under vann med katodisk beskyttelse (galvanisering) og vil unngå HISC må en sørge for at materialet har en flytegrense under 550 MPa og at hardheten ikke under noen omstendighet kommer over 350HV. Det er å foretrekke om stålet har en hardhet på under 22 Rockwell/237 Brinell/248 HV. Det er viktig å sjekke hardheten også i sveisene og i deres varmepåvirkede sone, også her med 350HV som en absolutt øvre grense. Det anbefales å kreve kvalifiserte sveisere og sveiseprosedyrer.

Dersom det er nødvendig å benytte et stål med hardhet og/eller flytegrense over grensene satt ovenfor er en nødt til å gå bort fra katodisk beskyttelse. Alternativet er å legge på et ekstra korrosjonslag av stål, 0,1-0,2 mm for hvert år kjettingen skal beskyttes.

Det anbefales å prøvebelaste kjettingene til 62,5 % av bruddlasten ettersom kjettingene ganske sikkert vil oppleve en slik last i løpet av sin levetid. Det er viktig å gjøre dette etter galvanisering slik at en får testet den endelige styrken til hver kjettinglink, ettersom en kjetting bare er så sterk som sitt svakeste ledd. I tillegg må hardhet og minimum slagseighet verifiseres gjennom henholdsvis Vicker's hardhetstest og Charpy testen.

## INNHOOLD

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INNLEDNING.....   | 1  |
| 2     | ULIKE ASPEKTER VED KJETTINGBRUDD.....                   | 2  |
| 2.1   | Kjettingklasser .....                                   | 2  |
| 2.2   | Hydrogensprøhet.....                                    | 2  |
| 2.2.1 | Galvanisering og HE.....                                | 2  |
| 2.2.2 | Katodisk beskyttelse og HISC .....                      | 3  |
| 2.3   | Spenningskorrosjon.....                                 | 4  |
| 2.4   | Prøvebelastning.....                                    | 4  |
| 2.5   | Materiale .....   | 5  |
| 2.6   | Inspeksjon av kjettingers kvalitet .....                | 6  |
| 3     | GENERELLE KOMMENTARER TIL SAKEN .....                   | 7  |
|       | VEDLEGG 1 HYDROGENSPRØHET.....                          | 8  |
|       | VEDLEGG 2 GALVANISERING OG SYREBEHANDLING/BEISING ..... | 9  |
|       | VEDLEGG 3 BAKING ETTER SYREBEISING .....                | 10 |
|       | VEDLEGG 4 SPENNINGSKORROSJON .....                      | 11 |

## 1 INNLEDNING

Denne rapporten er skrevet på bakgrunn av en forespørsel fra fiskeridirektoratet på vegne av rømmingskommisjonen for akvakultur og omhandler brudd i kjettinger i anlegg for fiskeoppdrett langs norskekysten.

Det er gjennomgående ved kjettingbruddene at:

- Kjettingene har røket lenge før sin maksimale belastning og bruddflatene er ikke undersøkt for å stadfeste bruddmekanisme.
- Kjettingene ryker relativt raskt etter at de er lagt ut.
- Både feil i varmebehandling og galvanisering, samt hydrogensprøhet, er foreslått som bakgrunn for brudd.
- Det er sjelden sertifikater på kjettingene, og dermed også dårlig sporbarhet.
- Det er mangelfull informasjon om kjemisk sammensetning, tester og varmebehandling.

Det er altså uenighet om årsak til bruddene. Det er mye mulig at de ulike bruddene har forskjellige feilmekanismer, men uten undersøkelser av de aktuelle materialene får vi ikke vite dette. Mulige feilmekanismer er:

1. Feil varmebehandling som gir et for sprøtt/hardt materiale.
2. Ugunstig kjemisk sammensetning. For eksempel vil for mye karbon gi et materiale som kan bli svært sprøtt ved feil varmebehandling.
3. Kaldsprekking dannet under forming av kjetting ved for lav temperatur.
4. Hydrogensprøhet, HE, som følge av beising/syrebehandling før galvanisering.
5. HISC (Hydrogen Indusert Sprekking) som følge av hydrogen fra katodisk beskyttelse (For eksempel galvanisering).
6. Feildimensjonering (virker usannsynlig her)

En kombinasjon av to eller flere av disse mekanismene er også sannsynlig.

## 2 ULIKE ASPEKTER VED KJETTINGBRUDD

### 2.1 Kjettingklasser

Det er usikkert hva slags karbonstål som benyttes til kjettinger i fiskerinæringen. Generelt er det slik at jo høyere strekkfasthet og hardhet et stål har, jo sprøere er det og jo større mottakelighet har det for hydrogensprøhet. Det er viktig å ha klart for seg stålets mikrostruktur, strekkfasthet, flytespenning og hardhet.

Austenittiske stål er så å si immune mot hydrogensprøhet, mens ferrittiske er mer utsatt og martenittiske enda mer utsatt. En strekkfasthet over 500 MPa gjør at stålet er sårbart for hydrogensprøhet, og likeledes en hardhet over 22 Rockwell, 237 Brinell eller 248 HV.

Det er notert at enkelt oppdrettere/leverandører oppgir materialspesifikasjoner som for eksempel "Grade 8" eller "Grade 7". Det er vanskelig å si noe konkret om disse klassene så lenge det ikke er klart hvilken standard de forholder seg til. Men det er sannsynlig at disse gradene har høyere strekkfasthet og hardhet enn de lavere gradene, og at de dermed er mer utsatt for hydrogensprøhet og brudd.

På bakgrunn av dette er det ekstremt viktig å innføre grenser for strekkfasthet, hardhet og flytespenning slik at de ulike aktørene vet hvilke stålklasser det må holde seg innenfor og konsekvensene dersom de ikke gjør det. DNV RP B-401 inneholder veiledning når det gjelder styrke og hardhet for katodisk beskyttet karbonstål under vann.

### 2.2 Hydrogensprøhet

Hydrogensprøhet i et stål kan oppstå under produksjon, som for eksempel ved syrebeising, da kalles det HE (Hydrogen Embrittlement).

Videre kan hydrogenoppsprekking oppstå ved katodisk beskyttelse under vann, da kalles det HISC (Hydrogen Induced Stress Cracking).

#### 2.2.1 Galvanisering og HE

Varmgalvanisering benyttes for å beskytte kjettingen mot korrosjon ved å legge et lag med sink på kjettingen. Sinken beskytter stålet ved å ofre seg selv, det er en såkalt offeranode. Dersom det går hull i galvaniseringen vil sinken fortsatt fungere som anode og fortsette å beskytte stålet under.

Dersom stålet i det hele tatt blir påvirket av varmen i sinkbadet ved galvanisering (ca 450°C) vil det være i duktil retning. Stålet vil altså ikke bli mer sprøtt av galvaniseringen, heller det motsatte. Det er mer sannsynlig at forbehandling i form av beising/syrebehandling vil kunne føre til hydrogensprøhet, se Vedlegg 1 og 2 for mer om galvanisering, syrebeising og hydrogensprøhet. Det er mulig å minske faren for hydrogensprøhet ved en varmebehandling som kalles baking og følger etter syrebeisingen. Les mer om dette i Vedlegg 3.

Dersom HE inntreffer som en følge av syrebeising, og hydrogenet ikke bakes ut, vil stålet være sprøtt. Det er ikke dermed sagt at stålet vil gå til brudd ved første last. Det er mye mulig at kjettingen blir utsatt for en større belastning senere i livsløpet enn den blir under for eksempel utlegging/oppstramming, og at den kan gå plutselig til brudd senere. Les mer om hydrogensprøhet i Vedlegg 1.

For å unngå HE må det utvikles prosedyrer for syrebeising i forbindelse med galvanisering (se vedlegg 2 og 3) som unngår inntrenging av hydrogen i stålet.

## 2.2.2 Katodisk beskyttelse og HISC

Dersom vi antar at HE/HISC er grunnen til bruddene, må det nevnes at en strekktest ikke vil avsløre om et materiale er hydrogensprøtt. Eneste måte å unngå HE/HISC er forebygging. Den viktigste parameteren her er hardhet. Det er å foretrekke at stålet har en hardhet på under 22 Rockwell/237 Brinell/248HV.

I avsnitt 5.5.6 i DNV-RP-B401 er den absolutte høyeste hardhet satt til 350 HV dersom et karbonstål er under vann og katodisk beskyttet (galvanisering er en type katodisk beskyttelse):

**5.5.6** *Based on practical experience, ferritic and ferritic-pearlitic structural steels with specified minimum yield strength (SMYS) up to at least 500 MPa have proven compatibility with marine CP systems. (However, laboratory testing has demonstrated susceptibility to HISC during extreme conditions of yielding). It is recommended that all welding is carried out according to a qualified procedure with 350 HV as an absolute upper limit. With a qualified maximum hardness in the range 300 to 350 HV, design measures should be implemented to avoid local yielding and to apply a reliable coating system as a barrier to CP induced hydrogen absorption.*

Det er likevel ingen grunn til å gå bort fra galvanisering under vann, en bedre løsning er å kontrollere egenskapene til stålet i kjettingen.

For å unngå HISC: Dersom stålet er katodisk beskyttet er det ekstremt viktig å ha en hardhet på under 350 HV, og helst under 300HV. Dersom stålet er nødt til å være over 350 HV hardt og over 500MPa i bruddstyrke er eneste alternativ å legge på korrosjonsmonn istedenfor galvanisering. Som det står i rapporten vil dette tilsvare ca 0,1 -0,2mm korrosjonsmonn for hver år kjettingen skal være neddykket. Se DNV-RP-B401 avsnitt 5.5.6 for dokumentasjon på dette. Til sammenligning vil 100µm (0,1 mm) sink beskytte strukturen i ca 8 år før laget er forsvunnet.

## 2.3 Spenningskorrosjon

Enkelte innen næringen ser ut til å ha en oppfatning om at mange av kjettingbruddene skyldes spenningskorrosjon. Spenningskorrosjon er en mulig, men sjelden, trussel mot karbonstål i sjøvann. Tre kriterier må være oppfylt for at spenningskorrosjon skal inntreffe: Et mottakelig materiale, et korrosivt miljø og spenninger. Det er enighet i materialkretser om at karbonstål generelt ikke er et mottagelig materiale i sjøvann når det gjelder spenningskorrosjon. Derimot ville spenningskorrosjon kunne inntreffe på karbonstål i nitrater eller ammoniakk, eller eventuelt dersom det var snakk om bakterieindusert korrosjon i sjøvann. En mulig forklaring på denne forvirringen når det gjelder spenningskorrosjon er at mekanismen er utbredt i rustfritt duplex stål.

Videre er det kun mulig med spenningskorrosjon på karbonstål i sjøvann dersom flytegrensen er over 1000 MPa. I tillegg øker sjansen for spenningskorrosjon med økende karboninnhold i legeringen.

Dersom det er utført tester, eller det finnes spesielle forhold (for eksempel mikrobakteriell indusert korrosjon) som gjør at spenningskorrosjon er en aktuell mekanisme for disse kjettingene anbefales det å benytte materialer som er mer motstandsdyktige mot spenningskorrosjon. Les mer om spenningskorrosjon i Vedlegg 4.

Det anses som mer sannsynlig at kjettingene har gått til brudd på grunn av uheldig kjemisk sammensetning, feil varmebehandling og/eller hydrogenrelaterte skader, se Vedlegg 1 og 4.

## 2.4 Prøvebelastning

Det anbefales ikke å la kravet om prøvebelastning etter galvanisering være fravikelig. Dersom prøvelasten er under flytespenning vil deformasjonen være elastisk og dette vil ikke skade materialet. Som et minstekrav bør det settes at kjettingen skal strekktestes opp mot styrken den er sertifisert til. Merk at HE/HISC ikke vil oppdages ved en slik strekktest.

Enkelte innen næringen mener at å strekkteste kjettingen opp mot 62,5 % av bruddstyrken vil innføre restspenninger slik at stålet blir mer mottagelig for spenningskorrosjon. Se kapittel 2.4 for begrunnelse for at spenningskorrosjon her ikke vil være et problem. Men dersom materialet vil få restspenninger etter en slik strekktest vil disse strekkspenningene kunne gjøre hydrogeninntrengning noe lettere.

Det anbefales likevel å prøvebelaste kjettingene til 62,5 % av bruddlasten ettersom kjettingene ganske sikkert vil oppleve en slik last i løpet av sin levetid. Dersom en produsent/leverandør ikke vil teste ved 62,5 % av bruddlast fordi de er redde for å skade stålet må jo det bety at de er villig til å bytte ut kjetting de har levert straks, dersom for eksempel en storm gjør at lasten kommer over 62,5 % av bruddlast. I olje- og gassnæringen blir alle kritiske installasjoner testet til lasten de er sertifisert for.

Det er foreslått fra næringen å prøvebelaste til 62,5 % av bruddlast før galvanisering, slik at varmen under galvaniseringen fører til at restspenningene forsvinner. Deretter vil de kappe av deler av hver kjettinglengde og ta bruddtester på disse. Problemet med dette forslaget er jo at man da ikke får testet den endelige styrken til hver kjettinglink, ettersom en kjetting bare er så sterk som sitt svakeste ledd. Dersom denne løsningen velges er det veldig viktig at det blir tatt bruddprøver av hver enest parti, og ikke bare hver lengde, ettersom en lengde kan bestå av flere parti.

Det må også utføres hardhetsmålinger i sveisene og fra hver lengde og hvert parti for å verifisere at hardheten ikke er over 350HV.

Dersom prøvebelastning opp til 62,5% ikke gjennomføres, kan det heller ikke påstås at kjettingen er sertifisert til 62,5 % av brudd. Denne prøvebelastningen vil riktignok gjøre stålet noe mer følsomt for HISC, men dette er en mindre risiko å ta enn å satse på at kjettingen aldri vil oppleve en belastning på over 62,5 % av bruddlast.

Videre anbefales det å kreve bedre kvalitetskontroll under alle faser av fabrikasjon slik at feil i produksjon oppdages før kjettingen er i drift/går til brudd. Dersom det har oppstått feil i stålet allerede tidlig i produksjon finnes det metoder for å påvise disse feilene.

## 2.5 Materiale

Det er viktig å ha krav til den kjemiske sammensetningen i kjettingmaterialet man benytter og at denne informasjonen inngår i et materialsertifikat som må være påbudt og som kommer fra den opprinnelige produsenten.

Videre bør det spesifiseres minimum og maksimum hardhet og styrke for stålet samt tester som må gjennomføres for å sjekke dette. For å verifisere hardheten bør hardhetstester (for eksempel Vicker's testen) kreves gjennomført ved temperaturer som ligger på eller lavere enn LAST (Lowest Ambient Surface Temperature). Også dette bør dokumenteres med et sertifikat.

I tillegg bør en minimum slagseighet (Charpy test) ved LAST spesifiseres og dokumenteres. Dette fordi enhver ståltipe har en viss omslagstemperatur, under denne blir stålet vesentlig mer sprøtt.

Eventuelle grades/klasser bør defineres med grenser for kjemisk sammensetning, hardhet, slagseighet og styrke.

## 2.6 Inspeksjon av kjettingers kvalitet

Det er ikke mulig å oppdage verken hydrogensprøhet, indre feil eller forhøyet hardhet pga. feil varmebehandling ved hjelp av visuell inspeksjon. Man kan kun oppdage synlige overflatesprekker eller andre defekter. Det er derfor ikke tilfredsstillende å bruke visuell inspeksjon for å finne kjetting som er for sprø/harde.

Som nevnt kan en verifisere hardheten ved Vicker's hardhetstest og slagseighet ved Charpy testen. Videre finnes det en rekke ikke destruktive inspeksjonsmetoder for å finne indre feil, blant annet ultralyd og røntgen. Hydrogensprøhet er vanskelig å finne ved hjelp av tester, og må heller unngås ved hjelp av riktig produksjon og behandling.

### 3 GENERELLE KOMMENTARER TIL SAKEN

I et internt arbeidnotat fra RKA kalt "Ny sak angående brudd I langlenket kjetting høsten 2008" foreslås det å stille krav til produktsertifisering utført av et uavhengig produktsertifiseringsorgan i NYTEK forskriften. Det foreslås også å utvikle en egen standard for forskjellige typer kjetting, som skal inneholde både krav og beskrivelse av egnet testmetode/testmetoder. Dette er gode tiltak for å få bedret kontrollen med kjettingmaterialet.

Til slutt presiseres det at det ikke er noe i veien for å fortsette å bruke langlenket, galvanisert kjetting, det er kvaliteten/hardheten på kjettingen det må gjøres noe med. Dersom det likevel er ønskelig å gå bort fra galvanisert kjetting er det mulig å erstatte sinklaget med ekstra ståltykkelse som nevnt i kapittel 2.3.

Feilmekanisme 1-5 i innledningen, eller kombinasjoner av disse, anses for å være sannsynlige årsaker til de ulike kjettingbruddene. Det presiseres videre at det er umulig å vite skademekanismen så lenge undersøkelser på de havarerte kjettingene ikke er utført. Det anbefales å ha stort fokus på hardhet i kjettingen, det er viktig at den ikke er over 350 HV dersom katodisk beskyttelse skal benyttes.

Det viktigste for å unngå flere kjettingbrudd i fremtiden vil være krav til:

- Kjemisk sammensetning
- Varmebehandling
- Flytegrense
- Bruddgrense.
- Hardhet
- Sporbarhet.
- Verifisering av disse egenskapene gjennom sertifikater, tester osv.

Til slutt oppfordres hele næringen til å sende inn eventuelle havarerte kjettinglinker til undersøkelse i et laboratorium i fremtiden.

## VEDLEGG 1 HYDROGENSPRØHET

Hydrogensprøhet oppstår når atomært hydrogen diffunderer inn i et mottagelig stål med enten indre eller ytre spenninger. Denne forsprøingen gjør at stålet kan gå til brudd lenge før maksimal last er oppnådd. Jo sterkere stål, jo mer mottagelig er det for hydrogensprøhet. Høystyrke stål med en viss grad av varmforsprøing er veldig mottagelige for hydrogenforsprøing, i tillegg til bråkjølte, herdede og utfellingsherdede stål. Duplex stålene er spesielt utsatt. Dette er grunnet mikrostruktur som gjør at hydrogen lettere diffunderer inn i materialet. Indre spenninger kan være restspenninger fra mekanisk forming og ytre spenninger er typisk en statisk last. For at brudd ved hydrogensprøhet skal inntreffe må både hydrogen, spenninger og mottagelighet være tilstede.

Hydrogenatomet er veldig lite, og det passer inn mellom metallatomene i et metallgitter. Dermed løses det opp i alle metaller til en viss grad, og det diffunderer raskere enn andre, større atomer. Hydrogen trekkes mot regioner med høye triaxiale spenninger hvor metallstrukturen er utvidet. Dermed dras hydrogen mot områder foran sprekker som har spenninger. Det oppløste hydrogenet vil deretter assistere ved et brudd i metallet, men det er ikke enighet om mekanismen for dette. Det som er sikkert er at materialet blir sprøtt, med sprekkveksthastighet helt opp mot 1 mm/s.

Dersom kilden til hydrogen er kontinuerlig, som ved f.eks. katodisk beskyttelse under vann, vil hydrogensprøhet opptre under drift og kalles HISC (Hydrogen Induced Stress Cracking). Dersom hydrogensprøhet har oppstått under produksjon, vil materialet være sprøtt fra begynnelsen av og kalles HE (Hydrogen Embrittlement). Ved økning i last eller indre spenninger vil materialet lett kunne gå til brudd. Merk at det kan ta noe tid før brudd inntreffer. Hydrogensprøhet er også avhengig av temperatur.

Stål med ferrittisk og martensittisk struktur er mer utsatt for hydrogensprøhet enn austenittiske stål grunnet geometrien i deres mikrostruktur. I tillegg er hydrogensprøhet stort sett begrenset til stål med en hardhet over 22 Rockwell C (ca 237 Brinell eller 248 HV).

## VEDLEGG 2 GALVANISERING OG SYREBEHANDLING/BEISING

Galvanisering benyttes som korrosjonsbeskyttelse ved at et ytre lag med (som regel) sink korroderer isteden for stålet. Når/dersom det blir hull i sinkbelegget vil sinken fortsette å beskytte stålet katodisk ettersom stål er mer edelt enn sink. Men det er verdt å merke seg at sinklaget har en veldig begrenset levetid og at det dermed bare beskytter stålet over et visst tidsrom. Det er mulig å regne ut omtrent hvor lang tid det tar før sinklaget er forsvunnet, men praksis innen olje og gass er å regne levetid som at stålet ikke er galvanisert.

Det finnes to former for forsinking; varmforsinking og elektrolyttisk forsinking. Ved varmforsinking dyppes stålet i et smeltebad av sink. Badet holder en temperatur på rundt 450 °C. Dette kalles "Hot Dip Galvanizing" på engelsk, og er metoden for å forsinke kjetting. Elektrolyttisk forsinking er ikke aktuelt for kjetting og blir dermed ikke redegjort for videre her.

Ved varmforsinking må stålet renses for olje, fett, smøremidler, glødeskall og andre overflateforurensninger før det senkes ned i det flytende sinkbadet. Utilstrekkelig eller feil overflatepreparering er den største kilden til feil i galvaniserte belegg. Rensingen består av avfetting med påfølgende beising/syrevasking med saltsyre for å fjerne glødeskall og rust. Det er denne syrebeisingen som gir hydrogenutvikling og som kan føre til hydrogensprøhet i stålet dersom hydrogenet trenger inn. Varmen under selve neddyppingen vil ikke gjøre stålet mer hardt, det vil heller gjøre det mer duktilt.

### **VEDLEGG 3 BAKING ETTER SYREBEISING**

For å begrense hydrogenskadene etter syrebeising er det mulig å "bake" ut hydrogenet etter syrebeisingen. Dette gjøres ved å varme stålet til rundt 200 °C og holde det ved den temperaturen i flere timer slik at hydrogenatomene kan diffundere ut av stålet. Nøyaktig temperatur og holdetid er avhengig av ståltype og tykkelse. Bakingen vil ikke fjerne alt hydrogenet, men det vil hjelpe. Det finnes en standard som beskriver prosedyren for dette: SAE AMS2759/9C- Hydrogen Embrittlement Relief (Baking) of Steel Parts.

## VEDLEGG 4 SPENNINGSKORROSJON

Spenningskorrosjon er et sprøtt brudd ved relativt lav statisk spenning/last i en legering som er eksponert for et korrosivt miljø. Tre betingelser må være tilstede samtidig for at spenningskorrosjon skal inntreffe:

1. Et mottagelig materiale
2. Et kritisk/korrosivt miljø
3. Ytre eller indre spenninger

Spenningskorrosjon er relativt sjelden, men feil er ofte dyre og veldig alvorlige når de oppstår. Spenningskorrosjon forveksles ofte med hydrogensprøhet, i tillegg til at hydrogensprøhet kan gjøre materialet mer sprøtt slik at det er mer mottagelig for spenningskorrosjon. En spenningskorrosjons- sprekk er ofte forgrenet med en skarp ende og det er vanligvis ikke korrosjonsprodukter i sprekkene.



**FORCE Technology Norway AS**  
Claude Monets allé 5  
1338 Sandvika, Norway  
Tel. +47 64 00 35 00  
Fax +47 64 00 35 01  
e-mail [info@forcetechnology.no](mailto:info@forcetechnology.no)  
[www.forcetechnology.no](http://www.forcetechnology.no)

**Main Office:**  
**FORCE Technology**  
Park Allé 345  
2605 Brøndby, Denmark  
Tel. +45 43 26 70 00  
Fax +45 43 26 70 11  
e-mail [force@force.dk](mailto:force@force.dk)  
[www.forcetechnology.com](http://www.forcetechnology.com)

**FORCE Technology Norway AS**  
Teglgården, Hornebergveien 1  
7038 Trondheim, Norway  
Tel. +47 64 00 35 00  
Fax +47 64 00 37 01

**FORCE Technology Sweden AB**  
Tallmätargatan 7  
721 34 Västerås, Sweden  
Tel. +46 (0)21 490 3000  
Fax +46 (0)21 490 3001  
e-mail [info@forcetechnology.se](mailto:info@forcetechnology.se)  
[www.forcetechnology.se](http://www.forcetechnology.se)

**FORCE Technology Norway AS**  
Prof. Olav Hanssensvei 7A  
Postboks 8034  
4068 Stavanger, Norway  
Tel. +47 64 00 35 00  
Fax +47 64 00 37 51

**FORCE Technology USA Inc.**  
3300 Walnut Bend Lane  
Houston Texas 77042, USA  
Tel. +1 713 975 8300  
Fax +1 713 975 8303  
e-mail [info@forcetechnology.com](mailto:info@forcetechnology.com)

**FORCE Technology Rusland LLC**  
3, Kaluzhsky per.  
193015 St. Petersburg, Russia  
Tel. +7 (812) 326 80 92  
Fax +7 (812) 326 80 93  
e-mail [info@forcetechnology.ru](mailto:info@forcetechnology.ru)