



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Havari den 3.2.2016 hos Dan Gødning A/S

---

# Undersøgelse af havari på tankanlæg

---



**Titel:**

Undersøgelse af havari på tankanlæg

**Udarbejdet for:**

SYDØSTJYLLANDS Politi, Efterforskning Fredericia  
Nørre Voldgade 22  
7000 Fredericia.

**Udarbejdet af:**

Teknologisk Institut  
Produktudvikling  
Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C

Januar 2017

Forfatter: Claus Erichsen Kudsk, Dagny Primdahl, Søren Jepsen Mark

## Indholdsfortegnelse

1. Opgave og baggrund.....	5
1.1. Inspektion af skadesstedet .....	5
2. Konklusion.....	7
3. Gennemgang af udvalgt materiale med information om tankhavariet .....	10
3.1. Materiale modtaget fra Sydøstjyllands Politi .....	10
3.2. Gennemgang af videomateriale .....	10
3.3. Gennemgang af udvalgte vidneudsagn .....	13
3.3.1. Vidner på skadesstedet på havaritidspunktet .....	13
3.3.2. Øvrige vidner (ikke tilstede på skadesstedet på havaritidspunktet).....	16
3.4. Sammenfatning af udvalgt materiale med information om tankhavari .....	17
4. Afgrænsning af undersøgelsen til forhold vedr. Tank 7 .....	18
5. Hændelsesforløb omkring Tank 7 onsdag d. 3 februar 2016 .....	19
6. Svigthypoteser – Årsager der kan have ført til havari af Tank 7.....	20
7. Tank 7 – Undersøgelse af konstruktion, anvendelse, godkendelser mv. ....	23
7.1. Tankflytning, Ombygninger og reparationer af Tank 7 .....	23
7.1.1. Ombygninger og reparationer på Tank 7 .....	23
7.1.2. Foreliggende godkendelser .....	24
7.1.3. Tegninger og beregninger for Tank 7 og rørinstallationer.....	24
7.2. Tankinspektioner .....	27
7.3. Brugshistorik (materialer, mængder, tidsforløb mv.) .....	32
7.3.1. Fyldningshistorik (driftsjournal) .....	33
7.4. Delkonklusion - konstruktion, anvendelse og godkendelser .....	34
8. Evaluering af svigthypoteser med baggrund i inspektioner, prøvninger og analyser	36
8.1. Inspektion af den havarerede tank og udtagning af pladedele .....	36
8.2. Beskrivelse af havari og revneforløb.....	37
8.3. Materiale tekniske undersøgelser .....	39
8.3.1. Anvendte materialekvaliteter .....	39
8.3.2. Anvendte godstykkelser (plademateriale) .....	40
8.3.3. Vurdering af korrosionsforhold .....	41
8.3.4. Beskrivelse af brudflader .....	43
8.3.5. Undersøgelse af svejsning mellem Rand 5 og 6 .....	45
8.3.6. Undersøgelse af reparation af svejsning mellem Rand 5/6 .....	46
8.3.7. Undersøgelse af svejsninger i tankbund .....	49



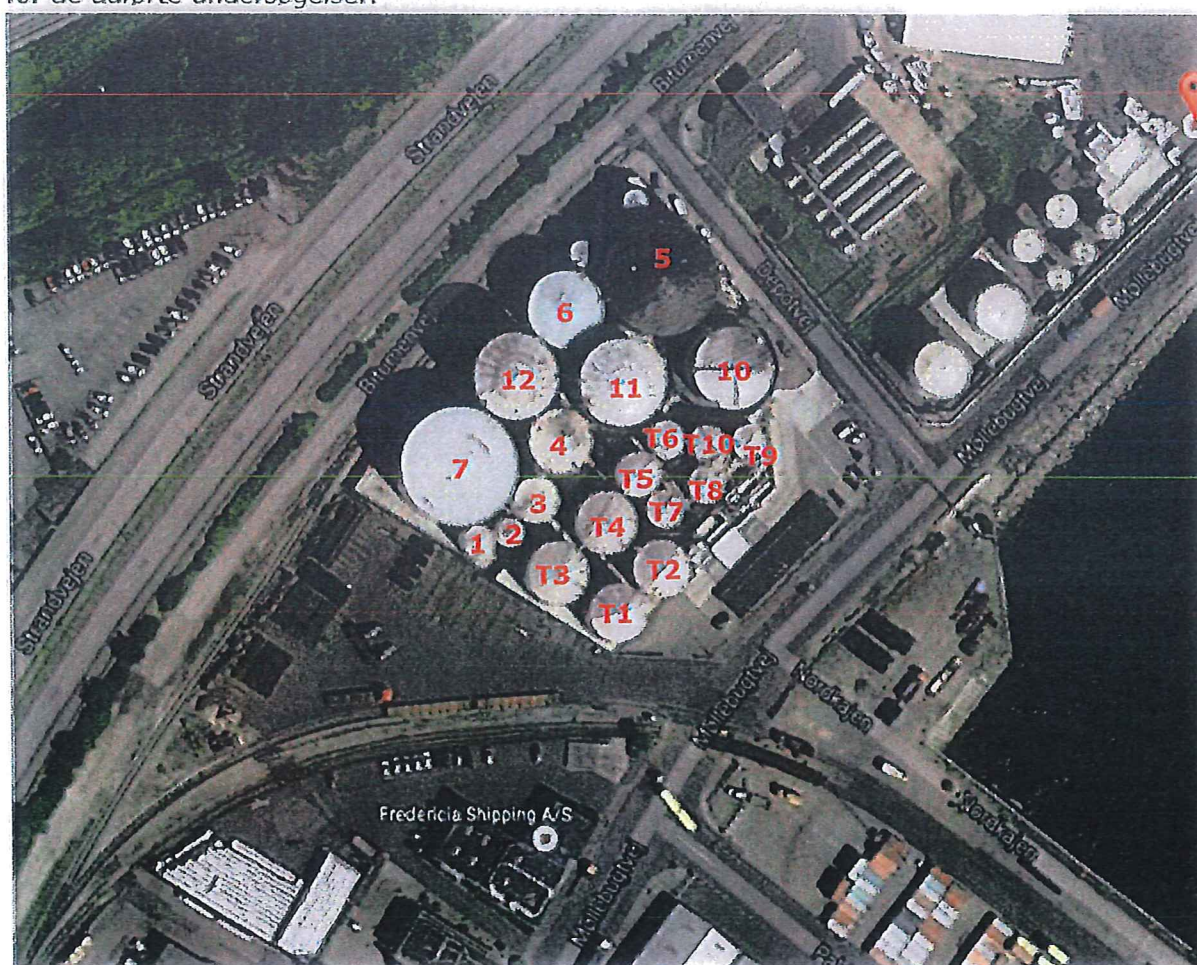
8.4. Delkonklusion - Evaluering af svigthypoteser med baggrund i inspektioner, prøvninger og analyser.....	53
9. Bilagsoversigt .....	54
1. Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner	
2. Modtagne bilag fra Sydøstjyllands Politi	
3. Vejrforhold d. 3 februar 2016	
4. Uddybning af forhold omkring miljøgodkendelserne	
5. Beregning af tankindhold og rørvolumen	
6. Skitser af udtagne pladestykker og deres nummerering	
7. Metallurgiske termer	
8. Prøver udtaget til mekanisk prøvning og metallurgiske undersøgelser	
9. Resultater af mekanisk prøvning og kemisk analyse	
10. Resultater af opmåling af godstykkelser og grubetæringer	
11. Resultater af brudfladekarakterisering	
12. Undersøgelser af svejsning mellem Rand 5 og 6	



## 1. Opgave og baggrund

Teknologisk Institut er rekvireret af Sydøstjyllands Politi til at udarbejde en uvildig 3. parts undersøgelse med henblik på at fastslå årsagen til havariet på Dan Gødning's tank-anlæg i Fredericia. Nedenstående figur viser skadesstedet med angivelse af tanknumre.

Fokus for denne rapport er udelukkende at identificere årsagen til havariet. Teknologisk Institut har derfor ikke vurderet, hvorvidt kravene i miljøgodkendelser og lovpligtige tankinspektioner m.v. er overholdt. Disse er dog medtaget i denne rapport som baggrund for de udførte undersøgelser.



Figur 1 Oversigtsbillede af skadesstedet. Billedet er taget inden havariet.

### 1.1. Inspektion af skadesstedet

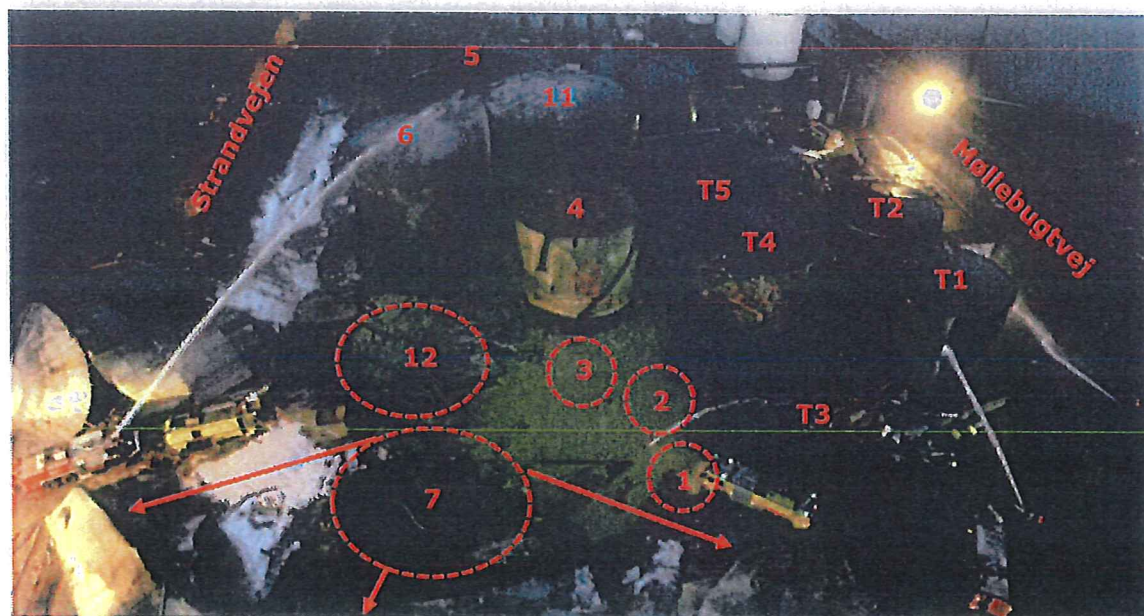
Skadestedet er inspiceret to gange af Teknologisk Institut i forbindelse med havariet. Første inspektion blev foretaget fredag d. 5. februar 2016 i tidsrummet 14-21. Tilstede fra Teknologisk Institut var Claus Eriksen Kudsk og Dagny Stengaard Primdahl.

Inspektionen fokuserede på sikring og mærkning af brudflader og referencestykker fra svøb og tanktop. På daværende tidspunkt var Tank 7's bund dækket af størknet palmeolie og kunne ikke inspiceres.

Anden inspektion blev foretaget fredag d. 19. februar 2016 i tidsrummet 9-14 og tilstede fra Teknologisk Institut var Søren Jepsen Mark.

Inspektionen fokuserede på sikring og opmærkning af udvalgte dele af bunden fra Tank 7.

Billedokumentation fra inspektionerne er vist i Bilag 1.



Figur 2 Skadesstedet – Møllebugtvej 7, 7000 Fredericia. De røde cirkler indikerer placeringen af tankene før havariet. Pilene indikerer udfoldning og flytning af Tank 7 (B-2-2-1)



## 2. Konklusion

Teknologisk Institut har undersøgt forholdene omkring havariet i Dan Gødnings anlæg den 3. februar 2016.

Baseret på videomateriale og vidneafhøringer er havari tidspunktet fastlagt til kl. 21:05-21:10.

DBI rapport sammenholdt med vidneudsagnene sandsynliggør, at branden er en følgeskade og ikke den initierende årsag til havariet.

Tank 7 er renoveret i 2014 og 2015 og var ved at blive fyldt med N32 på havaritidspunktet.

Efter havariet lå svøbet fra Tank 7 udfoldet med en markant revne gående fra tanktag til tankbund langs en tilnærmelsesvis lodret linje. Revnen løber igennem pladematerialet og er ikke styret af lodrette svejsninger.

Revnen og udfoldningen af svøbet indikerer, at svøbet er blevet deformeret af det statiske tryk i væskesøjlen inde i tanken.

På de omkringliggende tanke er der fundet trykskader orienteret udefra og ind. Disse indadvendte buler antages at være følgeskader og tankene er derfor ikke undersøgt yderligere.

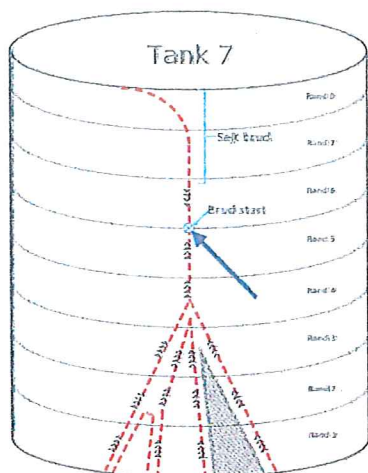
Baseret på resultaterne af on-site inspektionerne sammenholdt med vidneforklaringerne, er det vurderet som værende overvejende sandsynligt, at den initierende årsag til havariet er relateret til revneforløbet i Tank 7.

Der er på den baggrund opstillet en række svigthypoteser. Tre svigthypoteser eller en kombination heraf kan ikke umiddelbart afvises som sandsynlige årsager til havariet:

- Hydrostatisk tryk som følge af for høj væskestand for lagermedie, se Kapitel 7
- Reparations-svejsninger på svøb, se Kapitel 8
- Korrosion i tank, Kemisk aggressivt miljø, se Kapitel 8

Det er vurderet som værende overvejende sandsynligt, at den primære årsag til havariet er fyldningen af Tank 7 med N32 mod det planlagte niveau. Sekundært, at svækkelse af svøbet pga. korrosion og fejlbehæftede svejsninger, har reduceret styrken lokalt og er årsag til, at revnen er initieret.





**Figur 3: Overordnet revneforløb med indikation af brudstart**

**Vedr.: Svigthypotese: "Hydrostatisk tryk som følge af for høj væskestand for lagermedie".**

Den seneste tilstandsrapport er udarbejdet i 2015 og giver dermed det mest repræsentative billede af tankens reelle tilstand umiddelbart før havariet.

Den sidste trykprøvning af tanken (Tanklækageattest) er udført den 25.01.2016 med en belastning på 10.000 ton.

Den sidste beregning af tilladelig fyldning er baseret på EEMUA 159, 4. udgave og aktuelt målte restgodstykkelser. Tilladeligt tankindhold (Beregning 2) er bestemt til 9.040 m<sup>3</sup> N32 svarende til en fyldehøjde på 13,5 m og et tankindhold på 11.752 ton.

På dagen for havariet var det planlagt, at der skulle nås et niveau på 9800 m<sup>3</sup> i Tank 7, svarende til 12.740 ton og en fyldehøjde på 14,5 m. Svend Høgh Andersen, direktør i Dan Gødning, udtaler, at dette niveau er tilladeligt ved at henvise til almindelig praksis i virksomheden, samt til seneste EEMUA Beregning 1.

Teknologisk Institut gør opmærksom på, at der i tilstandsrapporten er anført, at fyldehøjden i Beregning 1 (15 m) skal sænkes, hvilket betyder at Beregning 1 ikke kan anvendes direkte.

Tank 7 er efterfølgende coatet (indvendigt) og korrosionstillægget er dermed ikke nødvendigt. Den tilladelige fyldehøjde for den coatede tank ligger derfor i intervallet 13,5m til 15m, men er ikke fastlagt, hverken i Beregning 1 eller 2.

På baggrund af driftsjournal for 2001-2009 og vidneudsagn fremgår, at tanken gentagne gange har været fyldt med flydende N32 til et niveau tæt på tanktoppen. N32 er også set løbe ud af tanktoppen. Tank 7 har da indeholdt 9.800-10.000 m<sup>3</sup> N32 svarende til ca. 12.740-13.000 ton.

Teknologisk Institut estimerer, at indholdet i Tank 7 på havaritidspunktet har ligget i intervallet 9.570 – 9.590 m<sup>3</sup> svarende til ca. 12.500 ton.

Det kan dermed fastslås, at Tank 7 gentagne er blevet fyldt med N32 til et niveau, der ligger uden for det anvendelsesområde, der beregnet som sikkert og udenfor det område som er verificeret som sikkert ved trykprøvning.

Svigthypotesen: "Hydrostatisk tryk som følge af for høj væskestand for lagermedie" vurderes at være en betydende medvirkende årsag til havariet.

**Vedr. svigthypoteserne: "Reparationssvejsninger på svøb" og "Korrosion i tank, Kemisk aggressivt miljø".**

Resultaterne fra mekaniske prøvninger og måling af den kemiske sammensætning indikerer, at det anvendte plademateriale lever op til kravene for ståltypen S235.

Makrobilleder af svejsningen viser entydigt, at der lokalt er manglende gennembrænding i svejsningen Rand 5 og 6.

På den indvendige overflade af Tank 7 er der fundet udbredt korrosionsangreb (grubetærringer) på svøbpladerne og der er fundet korrosion i svejsningerne på samme niveau.

Brudstartstedet er lokaliseret til et område med en udstrækning på 2-3cm beliggende i og omkring svejsningen mellem Rand 5 og 6.

På brudstartstedet, er der udført svejsereparationsarbejde på svøbet mellem Rand 5 og 6. Det er ikke muligt, at fastlægge hvornår reparationerne er foretaget, eller hvem der har udført dem.

I dette område er der observeret lodrette revner på indvendig side af tanksvøbet. Disse indikerer, at varmepåvirkningen fra de udførte reparationssvejsninger har reduceret styrken i svøbet. I kombination med mangelfuld gennembrænding af svejsningen og det generelle korrosionsangreb, leder dette til en samlet lokal reduktion af svøbets styrke.

Det konkluderes derfor, at styrken i svøbet i området omkring revnestartstedet har været reduceret til ukendt størrelse. Herved bliver forudsætningerne i fyldningsberegningerne ændret og resultaterne dermed ukorrekte. Det vurderes derfor, at svigthypoteserne: "Reparationssvejsninger på svøb" og "Korrosion i tank, Kemisk aggressivt miljø" har bidraget væsentligt til initiering af havariet.

### **3. Gennemgang af udvalgt materiale med information om tankhavarieret**

#### **3.1. Materiale modtaget fra Sydøstjyllands Politi**

De modtagne dokumenter, videoer og lydfiler er af Politiet kategoriseret og inddelt i følgende grupper:

- A - Anmeldelse
- B - Tekniske undersøgelser
- F - Afhøring af vidner
- H - Selskabsoplysninger
- K - Byggesager
- L - Politi Rapport
- M - Korrespondance/Fredericia Kommune/Interessenter
- O - Oplysninger fra Borgere

I alt er der modtaget 293 dokumenter. Komplet bilagsliste er anført i Bilag 2.

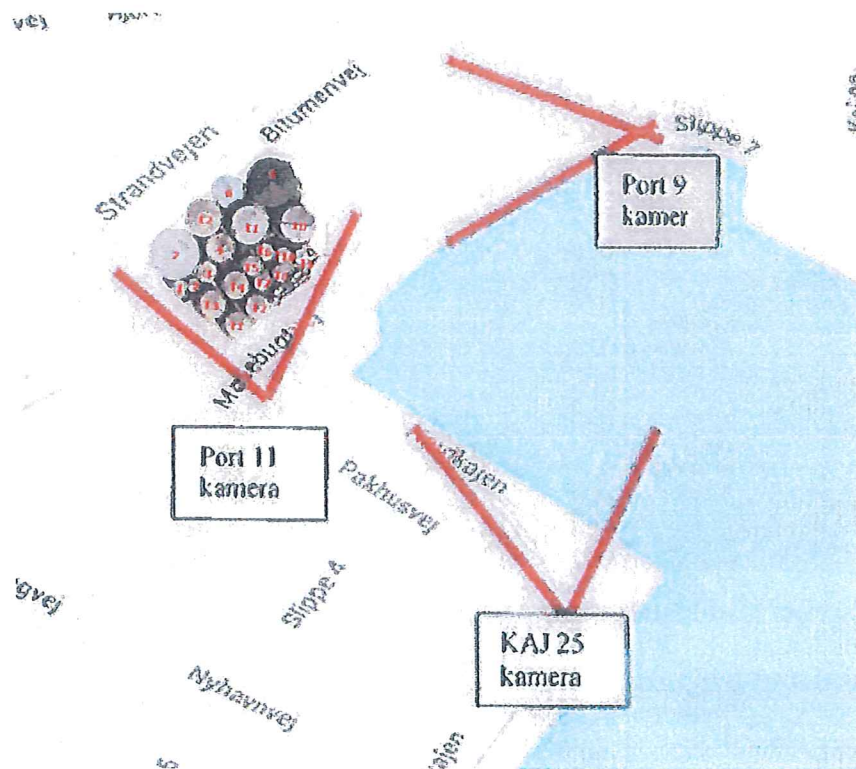
#### **3.2. Gennemgang af videomateriale**

Nedenstående afsnit indeholder sammendrag af udvalgt videomateriale og vidneudsagn samt kommentering af disse. *Kommentarer til vidneudsagn er markeret med kursivskrift.*

Netop disse vidneudsagn er udvalgt, da de tilsammen understøtter antagelsen om, at havari i Tank 7 er initierende årsag til havariet på tankanlægget og dermed også til alle følgeskader, brande mv.

Nedenstående kort viser placering af videokameraer i og omkring skadesstedet.





Figur 4 Kort over placering af videoovervågning, samt Dan Gødning A/S A/S' tankgård. (B-2-2)

**Videoovervågning fra Associated Danish's port (Fredericia Havn) – Kamera ved Port 11" (21:08:59 - 21:11:56) (B-2-1)**

Videokameraet er opsat ved Fredericia Shippings bygning og peger ud mod Port 11 med Dan Gødning's tankanlæg øverst i billedet. På videoen ses fra venstre tank T3, T1, T2 og T7, samt en rød lastbil parkeret i øverste venstre hjørne af billedet. Mellem tankene og port 11 ses Møllebugtvej. På videoen observeres der en væskebølge fra venstre side kl. 21:09:25 jf. billedets tidsstempel. Efter væskebølgens indtræffen starter lastbilen med det resultat, at lys fra førerhuset peger retningen mod tank T3. Efter væskebølgens indtræffen ses tank T1, T2, T3 og T7 stadig.



Figur 5 Kamera ved Port 11. Klokkelæt 21:09:20 – før "væskebølgen". Bemærk at vejen er tør.



Figur 6 Kamera ved Port 11". Kl. 21:11:36 – "væskebølgen" har oversvømmet området. Bemærk at lastbilen her kører igennem væske med en dybde på ca. 50 cm.



#### 4. Afgrænsning af undersøgelsen til forhold vedr. Tank 7

Ved ankomst til skadesstedet fredag d. 5 februar 2016 kunne det konstateres, at mange tanke var blevet berørt af havariet.

Tank 12 lå på daværende tidspunkt ude på Strandvejen og blokerede denne. Det blev oplyst, at denne tank havde været tom på havaritidspunktet. Baseret på disse oplysninger vurderes havariet af Tank 12 at være en følgeskade. Tanken blev derefter fjernet uden videre undersøgelser.

Svøbet fra Tank 7 lå udfoldet med den ene ende liggende ud mellem Bitumenvej og Strandvejen. Den anden ende af svøbet lå med retning mod Fredericia Shipping ejendommen på Møllebugtvej. Svøbet lå med ydersiden opad og var revnet langs en lodret linje og ved sammensvejsningerne til hhv. top og bund.

Taget lå placeret midt i området, mens bunden ikke var synlig grundet et tykt lag storknet palmeolie. Placering af svøbet og den lodrette revne indikerer, at revnen er løbet i den del af Tank 7, der har været orienteret i retning mod Tank 11 og 4. Udfoldningen af svøbet indikerer, at svøbet er deformeret af det statiske tryk i væskesøjlen inde i den fyldte tank.

På de omkringliggende tanke observeres der trykskader orienteret udefra og ind. Disse indadvendte buler antages at være følgeskader, og tankene er derfor ikke undersøgt yderligere.

Baseret på resultaterne af on-site inspektionerne sammenholdt med vidneforklaringerne vurderes det som overvejende sandsynligt, at den initierende årsag til havariet er relateret til revneforløbet i Tank 7. De følgende undersøgelser fokuserer derfor på at underbygge denne antagelse.



## 5. Hændelsesforløb omkring Tank 7 onsdag d. 3 februar 2016

Forløbet er baseret på afhøring af Morten Haagen d. 28 september 2016 (F-4-3).

- Kl. 03:00: Skibet Xanthia ankommer til Fredericia havn med UAN
- Kl. 04:25: Morten Haagen foretager pejling af væskestand i Tank 7, der måles til 4901 m<sup>3</sup>
- Kl. 04:45: Morten Haagen går ombord på Xanthia for gennemgang af papirer, måling af væske, prøveudtagning m.v. Morten informerer skib om, at der skal pumpes 4900 m<sup>3</sup> produkt til Tank 7 (B-6-4)
- Kl. 06:05: Slangeforbindelse mellem skib og tank etableres
- Kl. 06:10: Losning startes
- Kl. 06:10 – Kl. 20:00: Væskestand i Tank 7 kontrolleres én gang pr. time. Væske mængde og flow noteres af Morten Haagen og på Skibet Xanthia (F-4-3-1 og B-6-5)
- Kl. 20:00: Morten Haagen pejler væskestand i Tank 7 til 9270 m<sup>3</sup> og får oplyst pumpehastigheden til 300-320 m<sup>3</sup>/t
- Kl. 21:00: Morten Haagen kontakter skibet Xanthia og får oplyst, at der mangler at blive pumpet ca. 230 m<sup>3</sup> i forhold til det aftalte
- Kl. 21:10: Morten Haagen kører mod Tank 7 for at foretage pejling. På turen hører han en "rumlen", hvorefter bilen bliver overskyldt af en væskebølge. Herefter kontakter han Xanthia og får stoppet losningen. Dernæst ringer han til 112.
- Kl. 21:50: Afhøringsrapport Svend Henrik Jakobsen. Ingen røg eller ild observeret kl. 21:50 (A-3-2)
- Kl. ca. 21:45: Afhøringsrapport Jes Damgaard Andersen. Ild observeres; holdleder på M2, Depotvej, bekræfter, at der er ild i palmeolie (A-3-3)

På baggrund heraf estimerer Teknologisk Institut indholdet i Tank 7 på havaritidspunktet til min. 9.570 m<sup>3</sup>. For denne vurdering er følgende lagt til grund:

- Kl. 20:00 blev der foretaget en pejling, hvor indholdet i Tank 7 bestemmes til 9270 m<sup>3</sup>.
- Tankfyldningen foregik planmæssigt indtil ca. kl. 21:05 (havaritidspunktet).
- Med en pumpehastighed på 300-320 m<sup>3</sup> i timen estimeres indholdet på havaritidspunktet til 9.570-9.590 m<sup>3</sup>.

## 6. Svigthypoteser – Årsager der kan have ført til havari af Tank 7

I det følgende opstilles en række svigthypoteser. Det vurderes for hver af disse, om det er muligt, at de kan være initierende årsag til havariet og dermed også alle følgeskaderne.

Svigthypoteserne deles op i:

- "Pludseligt opstået skade", primært funderet i forkert brug, hærværk, naturkatastrofer m.v., Figur 7
- "Skade udviklet over lang tid", primært forårsaget af korrosion, slid, vibrationer m.v. Figur 8

Resultat: Hypotese nr. 1.1, 1.16 og 2.1, eller en kombination af disse, er de overvejende mest sandsynlige årsager til havariet. Alle øvrige hypoteser kan umiddelbart afvises.

	Svigthypoteser "Pludseligt opstået skade"	Vurdering [Kan dette være den initierende årsag til havari i Tank 7]
1.1	Hydrostatisk tryk som følge af for høj væskestand for lagermedie (overfyldt tank jf. B-7-9).	Ja, emnet er kommenteret i gennemgangen af tanken og i de metallurgiske undersøgelser.
1.2	For høj pumpehastighed. Tryksætning af tanken som følge af pumpning af lagermedie til en lukket tank/revnestart ved taget (jf. B-7-1-3 og B-7-9).	Nej, revnestart observeres i siden af tanken og ikke langs kanten af tanktoppen. Tank 7 har desuden flere udluftningshuller i taget.
1.3	Havari som følge af vakuum dannet af sug fra pumpe ved overfyldning til anden tank.	Nej, pumpning til tank 5 var ikke startet op på hændelses tidspunktet. (F-4-3)
1.4	Nedbrydning af tankindhold (N32) har medført et overtryk i tanken.	Nej, indholdet i Tank 7 er bekræftet til at være N32. N32 er en uorganisk blanding og er ifølge SDS (Sikkerhedsdatabladet) stabil under normale betingelser. Tanktoppen har endvidere fri udblæsning, hvilket effektivt modvirker opbygning af overtryk mellem væskeoverflade og tanktop.
1.5	Vejrlig, herunder lynnedslag og kraftig blæst.	Nej, ingen indikationer i unormalt/ekstraordinært vejrlig for den pågældende dag (se Bilag 3). Vejsituationen vurderes ikke som den initierende faktor, men det kan ikke udelukkes, at vejret har haft en lille, positiv medindflydelse på havariet.  Temperaturer omkring frysepunktet og højeste vindstød op til 25m/sek.
1.6	Kollision med køretøj, flyvende enhed, faldende genstande eller lignende.	Nej, der er ved gennemgang af gerningsstedet (politi) og udtagne emner ikke fundet tegn på kollision med eksterne enheder.



1.7	Hærværk eller terrorangreb med eksplosiver eller svækkelse af tankkonstruktionen.	Nej, der er ved gennemgang af gerningsstedet (politi) og udtagne emner ikke fundet tegn på terror eller hærværk.
1.8	Dannelse af eksplosive dampe, der har ledt til eksplosion mellem tanktaget og væskeoverfladen.	Nej, N32 har ikke tendens til dannelse af eksplosive dampe. (kilde SDS) B-6-15-1
1.9	Fejlkonstruktion i oprindelig tank eller forkert udført tankflytning.	Nej, Tank 7 er inspiceret af CPI kort tid før havariet og er på det tidspunkt fundet i orden.
1.10	Forkert konstruktionsmateriale.	Nej, materialekvaliteterne er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
1.11	Ny bund 2015 og deraf følgende revnestart i svejsning mellem svøb og vinkelprofil (forøget risiko for sprødbud pga. lav slagsejhedsværdi af svøb, B-11-3 +B-11-1).	Nej, revnestart er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
1.12	Ny bund 2015. Manglende svejsning mellem periferiplader under vinkelprofil (B-10-6).	Nej, svejsninger er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
1.13	Ny bund 2015. Revnestart i svejsning mellem ny bund og tanksvøb (sprødsvejsning, manglende elasticitet, B-10-6).	Nej, revnestart er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
1.14	Tanken er fyldt med anden væske end N32.	Nej, korrekt væske (N32) fra tankskib er bekræftet i vidneudsagn B-6-14.
1.15	Mangelfulde eller ikke opfyldte forhold, der skal udbedres, inden tanken tages i drift efter reparation, påpeget af CPI (B-10-2).	Nej, der foreligger ingen dokumentation for at anviste fejl og mangler er udbedret. Det vurderes, at de anviste mangler er uden betydning i forhold til initiering af de fundne revner.
1.16	Reparationssvejsninger på svøb.	Ja, reparationssvejsninger er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
1.17	Den påførte liner haft betydning for havariet.	Nej, lineren vurderes uden betydning for havariet.
1.18	Adgangshuller udskåret i Tank 7 i forbindelse med reovering og reparationsarbejde i 2014 og 2015 har reduceret tankens styrke.	Nej, adgangshullet var placeret i modsat side af revnestart og vurderes ikke at have haft indflydelse på havariet.

Figur 7 Svinghypoteser "Pludseligt opstået skade".



	<b>Svigthypoteser</b> <b>"Skade udviklet over lang tid"</b>	<b>Vurdering</b> <b>[Kan dette være den initierende årsag til havari i Tank 7]</b>
2.1	Korrosion i tank, kemisk aggressivt miljø.	Ja, korrosion er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
2.2	Vandindtrængning udefra mellem flange og bund medfører lokal korrosion (Spaltekorrosion).	Nej, der er lagt ny bund i tanken til erstatning af den ældre og korroderede bund. Den nye bund er kontrolleret og fundet i orden af CPI. Revneforløb er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
2.3	Revner som følge af mekaniske vibrationer i rørføringer, røre værker mv.	Nej, revneforløb er kommenteret og vurderet i de metallurgiske afsnit.
2.4	Tanken har gennem en periode stået skævt (jf. B-10-2).	Nej, tanken er rettet op og stod ikke skævt umiddelbart før havaritidspunktet. Dette er dokumenteret af CPI.

**Figur 8 Svigthypoteser "Skade udviklet over lang tid"**

## 7. Tank 7 – Undersøgelse af konstruktion, anvendelse, godkendelser mv.

Tank 7 er en del af et større tankanlæg beliggende på Fredericia Havn på adressen Møllebugtvej 7, 7000 Fredericia. Tankanlægget er beliggende mellem følgende veje: Bitumenvej, Depotvej, Møllebugtvej og Vestre Ringvej (jf. B-1-1). Oversigtbillede af tankanlægget og Tank 7 kan ses i dokument B-1-1-3.

Tankanlægget er ejet af firmaet Dan Gødning A/S.

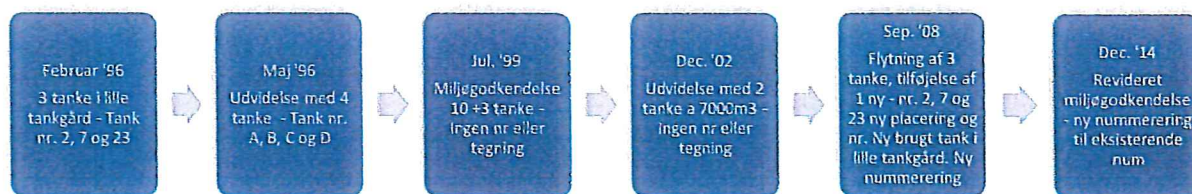
Tank 7 er en overjordisk ældre tank (byggedato er ukendt). Tanken er registreret første gang på tankanlægget i Fredericia i 1996 (jf. K-2-1-1). Tanken anvendes af Dan Gødning A/S til opbevaring af flydende gødning (UAN/N32).

### 7.1. Tankflytning, Ombygninger og reparationer af Tank 7

Tidslinje for tanke, nummerering, flytning m.v. (jf. K-2-1 og K-1-1 samt under dokumenter).

Tank A bliver undervejs omdøbt til Tank 7, som var den gældende nummerering på havaritidspunktet.

Tank nr. 2, 7 og 23 fra dokumentet februar 1996 flyttes i september 2008 fra den lille tankgård til placering sydøst for den nuværende Tank 7. Tankene omdøbes i 2008 til tank nr. 1, 2 og 3 (Jf. F-18-1-1).



Figur 9 Sammenfatning af tanke på skadesstedet og deres nummerering siden 1996

#### 7.1.1. Ombygninger og reparationer på Tank 7

Jf. B-7-1 har Christoffer Kold Mortensen siden sin ansættelse hos Skanda i 2002 A/S udført alt tankarbejde (beregninger) for Dan Gødning A/S.

Den seneste reparation er udført i løbet af efteråret 2015 af Skanda. Tank nr. 7 fik udbedret korrosionsskader (rust) indvendigt, ny bund og reparation af taget. Reparationsarbejdet blev færdiggjort i januar 2016. Efter reparation blev tanken trykprøvet ved fyldning med havvand. Inden Tank 7 blev taget i brug, blev der foretaget en tankinspektion i henhold til EEMUA -159. Inspektion blev foretaget af CPI.

Materialecertifikater for de anvendte plader til den nye bund (B-7-7-1) viser, at materialet er indkøbt hos anerkendte stålleverandører (ArceforMittal, Sanistål, Severstal) og er af typen S235JR.

I forbindelse med renoverings- og reparationsarbejde blev der i 2014 og 2015 udskåret adgangshuller i Tank 7. Udskæringerne var placeret i det vestlige hjørne af tankanlægget (jf. B-7-10). Hullerne har således været placeret i modsat side af Tank 7 i forhold til fundne lodrette revne. Adgangshullerne vurderes derfor ikke at have haft indflydelse på havariet.

Teknologisk Institut bekendt med, at der løbende er udført reparationer og forbedringer på tanken og at det er primært vedr. bunden og sekundært vedr. tanktoppen. I den foreliggende dokumentation er der ingen beskrivelser af reparationsarbejder i det område, som er identificeret som startsted for revnen. Det er derfor ikke muligt at kæde de observerede reparationsssvejsninger sammen med tidspunkt eller udførende virksomhed.

### 7.1.2. Foreliggende godkendelser

Den miljøgodkendelse, der var gældende for tankanlægget på skadestidspunktet, er "Re-vurdering af miljøgodkendelse" Sags id.:12/338 (K-3-1) udstedt d.15.12.2014 af Fredericia Kommune.

Dokumentet dækker ejendommen Møllebugtvej 7, 9 og 11. Møllebugtvej 7, matr. Nr.: 39100. Området har tidligere været dækket af følgende miljøgodkendelser, hvor retsbeskyttelsen er udløbet (K2-1-1):

- Miljøgodkendelse af 29. februar 1996 af tankanlæg for råvarer til flydende gødning.
- Miljøgodkendelse af 29. maj 1996 til udvidelse af tankanlæg for råvarer til flydende gødning.

Uddybning af krav i miljøgodkendelse er placeret i Bilag 4.

### 7.1.3. Tegninger og beregninger for Tank 7 og rørinstallationer

I Dan Gødning's miljøregnskab af 1999 (M-11-1) redegør Sven Høeg Andersen på vegne af Dan Gødning A/S for, at tankene på Møllebugtvej 7, 7000 Fredericia er dimensioneret til flydende produkter med en massefylde på  $1 \text{ g/cm}^3$  og at de maksimalt må fyldes som følger: "Tankens rumindhold i  $\text{m}^3$  divideret med vægtfylden" (jf. M-11-1, miljøregnskab)



Det har ikke været muligt for Sydøstjyllands Politi at fremskaffe tegningsmateriale for Tank 7. Den bedste tilgængelige dokumentation fremgår af K-3-1-1, herunder også en angivelse af Tank 7's dimensioner:

- Volumen: 10.000 m<sup>3</sup>
- Diameter: 29,3 m
- Højde 16,5 m

Nedenstående skema (Figur 10) viser en oversigt over alle identificerede udtalelser vedr. maks. fyldning af Tank 7. Tekst i *kursiv* er oplysninger som er tilføjet/antaget/beregnet af Teknologisk Institut. I forbindelse med indholdsberegningerne antages det, at tanken kan betragtes som en cylinder. Anførte væskeberegninger bygger på den aktuelt oplyste vægtylde. Formler anvendt til beregning af tankindhold findes i Bilag 5.

Værdier markeret med **fed** er anvendt i grafen over fyldningshistorik, se Figur 11.

Den sidste beregning af tilladelig fyldning er beregnet af CPI den 23.11.2015, baseret på EEMUA 159, 4. udgave og aktuelt målte restgodstykkelser. Tilladeligt tankindhold er bestemt til 9.040 m<sup>3</sup> N32 svarende til et tankindhold på 11.752 ton.

Den sidste trykprøvning af tanken (Tanklækageattest) er udført af Skanda den 25.01.2016 med en belastning på 10.000 ton.

Kilde	Bilag	Dato	Kommentar	Diame- ter	Vægt- fylde	Flyde- spænd.	Fylde- højde	Tankind- hold - volumen	Tankind- hold - vægt
				[m]	[ton/ m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[ton]
Fredericia Kommune – Miljøgodkendelse 1996	K-2-1-1	29.05 1996	Tank A = Tank 7 (jf. K-3-1-1)	29,3	1,3	-	11,4	7.690	9.997
Sven Høeg Andersen	M-11-1	13.03 2000	Dan Gødning angiver i miljøregnskabet for 1999, at tankanlæg er dimensioneret efter en 1,0 g/cm <sup>3</sup> .	29,3	1,3	-	11,4	7.692	10.000
Christoffer Kold Mortensen, SKANDA	B-7-10-1 K-1-1-3	20.06 2002	Anbefaling fra SKANDA til Dan Gødning ifm. udvidelse af tankanlægget i 2002.	29,3	1,33	-	10,7	7.179	9.548
Fredericia Kommune - byggesagsbehandling	K-1-1-11-3	03.09 2008	Specifikation af fyldningsgrad i forbindelse med udvidelser af tankanlæg.	-	1,3	-	-	7.690	9.997
Fredericia Kommune – Revurdering af Miljøgodkendelse	K-3-1	16.12 2014	Erstatter miljøgodkendelse af 29. maj 1996.	29,3	-	-	-	-	-
CPI - Tilstandsrapport – Rapport nr. 20150611-TK-7, Beregning 2	B-10-2	23.11 2015	Ukendt svøbmateriale og byggeår. Korrosionsrate på 0,125 mm/år.	29,2	1,3	215	13,5	9.040	11.752
Skanda Tanklækageattest	B-7-6-1	25.01. 2016	Tanken fyldes med havvand. Ingen utætheder observeres.	29,3	1,0	-	14,8	10.000	10.000
Morten Haagen Olsen, Dan Gødning	F-4-3	≈03.02 2016	Planlagt fyldning af Tank 7 jf. Lars Ingersvang.	29,3	1,3	-	14,5	9.800	12.740
Morten Haagen Olsen, Dan Gødning	F-4-3	03.02 2016	Beregnet væskestand ud fra sidste pejling kl. 20.00.	29,3	1,3	-	13,8	9.270	12.051
<b>Havaritidspunkt - 03.02.2016 kl. 21:05 -21:10 – estimeret Tank 7 indhold ~ 9570-9590m<sup>3</sup></b>									
FORCE	B-10-7 B-10-6	ukendt	CPI målinger, korrigeret uden korrosionsrate pga. coating.	29,2	1,3	215	14,2	9.509	12.361
TechCorr	B-10-4	25.02 2016	CPI målinger. Flydespændingen er baseret på hårdhedsmåling og materialeanalyse, SK INSPECTION (jf. B-10-5 & B-10-3)	29,2	1,3	235	14,9	9.978	12.971

Figur 10 Oversigt over identificerede udtalelser vedr. tilladelig maks. fyldning af Tank 7.



## 7.2. Tankinspektioner

I henhold til gældende miljøgodkendelse skal der foretages inspektion af Tank 7 minimum hvert 5. år. Følgende 5 inspektionsrapporter er fremsendt til Teknologisk Institut.

1. 2002 aug.: Skanda A/S, Tankattest og tankbundsundersøg. (B-7-11-1)
2. 2003 okt.: Skanda A/S, Vacuumprøveattest (B-7-11-2)
3. 2006 okt.: Skanda A/S, Tankattest og tankbundsundersøg. (B-7-11-3)
4. 2015 jan.: NSK, Magnetprøvning af reparationsplader og lukkeplade (B-7-11-4) og ultralyd på lukkeplade (B-7-11-4).
5. 2015 jun.: CPI, Lavvakuum-lækprøvning (B-17-2)
6. 2015 jun.: CPI, Inspektion af tank (B-17-2)
7. 2015 nov.: CPI, Tilstandsrapport (B-10-2)
8. 2015 nov.: Skanda A/S, Vacuumprøveattest (B-7-5-1)
9. 2015 nov.: NSK, Magnetprøvning og Visuel kontrol mandehul (B-17-2)
10. 2015 nov.: NSK, Magnetprøvning og Visuel kontrol af tankforstærkning mellem bundplader og tankvæg (B-17-2)
11. 2015 nov.: CPI, Ultralydsprøvning af stumpsøm i annularplader (B-17-2)
12. 2015 nov.: Skanda A/S, Vacuumprøveattest (B-17-2)
13. 2016 jan.: Skanda A/S, Lækageattest (B-7-6-1)
14. 2016 jan.: NSK Magnetprøvning lukke plade og ultralyd på stumpsøm (B-17-2)

De gennemførte inspektioner og tests angiver, at Tank 7 er fundet egnet til brug med mindre forbehold og eventuelle krav til reparationer er anført.

Fokus for denne rapport er udelukkende at identificere årsagen til havariet. Teknologisk Institut har derfor ikke vurderet, hvorvidt kravene i miljøgodkendelser og lovpligtige tankinspektioner m.v. er overholdt. Disse er dog medtaget i denne rapport som baggrund for de udførte undersøgelser.

Den seneste tankinspektion er udført af CPI i 2015 og giver det seneste, og dermed det mest repræsentative, billede af tankens reelle tilstand umiddelbart før havariet.

De øvrige rapporter er gennemgået og bruges hovedsageligt til at vurdere Tank 7's tilstandsudvikling. Såfremt der i disse var medtaget informationer om reparationer af svejsninger i området mellem Rand 5 og 6, ville disse informationer være blevet inddraget i havarianalysen.

### **Re1: 2002, Skanda A/S, Tankattest og tankbundsundersøg. (B-7-11-1)**

Skanda A/S v/ direktør og ingeniør Christoffer Kold Mortensen har fremsendt tankattest og tankbundsundersøgelse på Tank A (tidligere betegnelse for Tank 7).

Tanken er d. 13.08.02 visuelt kontrolleret og ultralydsmålt. For tanktop og tanksvøb er der ingen kommentarer til den visuelle kontrol, mens det kommenteres, at der er grube-  
tæring i bunden. Tæringerne er observeret til en dybde på op til 2-3 mm.

Ultralydsmålingerne for tankbund og Rand 1 af svøbet er angivet på vedlagte tegning, Tank 0A-02. Målingerne ligger mellem 5 mm og 8,1 mm for bunden og fra 9,6 mm til 19,3 mm på nederste rang.

Tankbundsundersøgelsesrapporten angiver, at der er lavet 5 målinger pr. bundplade, minimumstykkelse er fundet til 3,9 mm og der er udført 9 målinger pr. svøbplade, hvor minimumstykkelsen er fundet til 9,7 mm. Det er angivet, at der er udført 100 % besigtigelse på tankbund og svøb.

### **Re2: 2003, Skanda A/S, Vacuumprøveattest (B-7-11-2)**

Attesten indeholder resultat af vakuumprovning på steder med nye plader. Der er ikke fundet utætheder. I forbindelse med vakuumprovningen er tanken også visuelt kontrolleret og følgende bemærkning er skrevet:

*Det anbefales, at der foretages en ny tankbundsundersøgelse inden udgangen af år 2004. Det skyldes, at der har været gødning under tankbunden.*

### **Re3: 2006, Skanda A/S, Tankattest og tankbundsundersøg. (B-7-11-3)**

Tanken er d. 20.10.06 kontrolleret visuelt og målt med ultralyd. Der er observeret spredte huller i tanktaget. Der er ingen yderligere kommentarer.

På tankbunden er der observeret grubetæring. Tæring dybere end 2 mm er repareret og bunden er efterfølgende coatet.

På indvendig side af tanksvøbet er der observeret grubetæring. Tæring dybere end 2 mm er repareret. Svøbet er efterfølgende coatet op til ca. 3 meter fra bunden.

Ultralydsmålingerne for tankbund og Rand 1 er angivet på tegning DG-T07-06. Tankbundsundersøgelsesrapporten angiver, at der er lavet 5 målinger pr. bundplade. Minimumstykkelse er fundet til 4,8 mm. Der er udført 9 målinger pr. svøbplade, hvor minimumstykkelsen er fundet til 18,6 mm. Det er angivet, at der er udført 100 % besigtigelse på tankbund og svøb.

Bemærk at mindste godstykkelse nu måles til 18,6 mm. Der foreligger ingen beskrivelse af reparationsarbejde på Rand 1 i periode mellem 2002 og 2006.

Tankattest og tankbundsundersøgelse er ikke underskrevet.



**Re4: 2015, NSK Magnetprøvning af reparationsplader og lukkeplade (B-7-11-4) og Ultralyd på lukkeplade (B-7-11-4).**

På baggrund af tankens historik vurderer Teknologisk Institut, at inspektionen omfatter kontrol af reparation af adgangshul, som er udkåret i forbindelse med renovering af tanksvøb. Der foreligger ingen tegninger af målepositioner.

Bedømmelse er angivet som: "Er accepteret ifølge gældende krav".

**Re5: 2015, CPI, Lavvakuumlækprøvning (B-17-2)**

Der findes indikation på utætheder flere steder mellem svøb og bund. Det anbefales at områderne afrensnes (sandblæses) og testes igen.

**Re6: 2015, CPI, Inspektion af tank (B-17-2)**

Rapporten indeholder en gennemgang af tankbunden i Tank 7 efter, at der er fundet indikationer på lækage. Rapporten beskriver flere huller i tankbunden og områder med stor godsreduktion. Rapporten indeholder desuden en indeholder skitse hvor områder der kræver reparation er opmærket.

På baggrund af tankens historik vurderes det at tankbunden der inspiceres i denne rapport den gamle bund, den der udføres omfattende renovering af bunden.

**Re7: 2015, CPI, Tilstandsrapport (B-10-2)**

CPI udfører en inspektion af Tank 7 den 9. november 2015. I tilstandsrapportens konklusion står der:

*"Efter aftale med Dan Gødning A/S har C&P Inspection A/S udført inspektion af Tank 7 i henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 2 2011 "Vejledning om miljøkrav til store olieoplæg", med reference til EEMUA 159, 4. udgave.*

*Ved tilstandskontrol af tankens stådele er der påvist nævneværdige korrosive angreb, der skønnes at have indvirkning på tankens sikkerhed og bæreevne i relation til den fortsatte drift."*

I tilstandsrapporten angives følgende forhold, som skal udbedres, inden tanken tages i drift:

- Der er fundet flere revnede svejsninger på taget og flere steder med gennemtæringer. Disse steder repareres med repplader på de steder med gennemtæring og opslibning og svejsning af revnede svejsninger. Der udføres efterfølgende MT på udførte reparationer.
- Der ses en gammel studs mod nord, som er blændet indvendigt. Denne fjernes udvendigt og blændes med doublingsplade.
- Der ses en del rustskaller fra rørene, der ligger på nettet i ventilationerne. Disse skal adskilles og renses for rustskaller, før tanken tages i drift.

Beregningerne af anbefalet fyldningsgrad baseret på en flydespænding på 215 N/mm<sup>2</sup>. Teknologisk Institut har undersøgt de aktuelt anvendte materialekvaliteter, se afsnit 8.3.1 nedenfor. De fundne flydespændinger er højere end værdierne, som er anvendt i CPI's beregninger. Pladematerialet er dermed stærkere end antaget i beregningerne, og ståltypen overholder kravene til S235.

Vedrørende styrkeberegning på svøb.

- Beregning 1: Udgangspunkt fyldehøjde på 15m, men med en bemærkning om at denne skal reduceres. Det kan endvidere konstateres, at de målte godstykkelser er mindre end de beregnede  $t_{min}$ . Beregning angiver altså ikke den tilladelige fyldehøjde.
- Beregning 2: Udgangspunkt fyldehøjde på 13,5m, indeholder korrosionstillæg, der leder til men levetid på max. 6,8år.

Tank 7 er efterfølgende coatet (indvendigt) og korrosionstillægget er dermed ikke nødvendigt. Den tilladelige fyldehøjde for den coatede tank ligger derfor i intervallet 13,5m til 15m, men er ikke fastlagt af CPI.

### **Re8: 2015, Skanda A/S, Vakuumpørveattest (B-7-5-1)**

Attesten indeholder vakuumpørveattest på den nye tankbund og vinkelstål mellem svøb og periferiplader.

Tankbunden blev d. 11.11.15 visuelt kontrolleret og der blev foretaget vakuumpørveprøvnin g af alle svejsninger på bundpladen. Under bemærkning ses: *Ingen fejl fundet.*

Den 12.11.15 blev der foretaget vakuumpørveprøvnin g på svejsninger ved vinkelstål mellem svøb og periferiplader hele vejen rundt. Alle nye svejsninger blev således testet og ingen fejl bemærket.

På Vakuumpørveattesten er det anført, at tanken også er ultralydsmålt, og at dette er udført af CPI. Der er ikke henvisning til inspektionsrapport eller anden dokumentation.



**Re9: 2015, NSK Magnetprøvning og Visuel kontrol af mandehul (B-17-2)**

Inspektionen omfatter kontrol af mandehul, som er udskåret i november 2015. Der foreligger ingen tegninger af målepositioner.

Bedømmelse er angivet som: "Accepteret i henhold til standard".

**Re10: 2015, NSK Magnetprøvning og Visuel kontrol af tankforstærkning mellem bundplader og tankvæg (B-17-2)**

Inspektionen omfatter magnetprøvning og visuel kontrol af tankforstærkning. 3 steder er der i den visuelle kontrol fundet for høje svejsevulster, dette er udbedret.

Bedømmelse er angivet som: "Accepteret i henhold til standard/gældende krav".

**Re11: 2015, CPI Ultralydsprøvning af stumpsøm i annularplader (B-17-2)**

Inspektionen omfanget er beskrevet til at være hele længden af hver fjerde stød, samt hver fjerde stød på vinkeljern.

Bedømmelse er angivet som: "Godkendt i henhold til kvalitetskrav".

**Re12: 2015, Skanda A/S, Vacuumprøveattest (B-17-2)**

Attesten indeholder resultat af vakuumprovning på alle svejsninger på bundplader.

Alle nye svejsninger er testet, ingen fejl bemærket.

**Re 13: 2016, Skanda A/S, Lækageattest (B-7-6-1)**

Skanda A/S v/ adm. direktør og ingeniør Christoffer Kold Mortensen har fremsendt tanklækageattest for Tank 7. Lækagetesten blev udført den 25.01.16 ved, at havvand blev pumpet til Tank 7 (vægtfylde  $\approx 1 \text{ ton/m}^3$ ). Testen blev udført over 48 timer. Testregistreringen angiver "1/1 fuld", "1/2 fuld" og "tom tank".

På tanklækageattesten er det anført, at tanken også er ultralydsmålt, og at dette er udført af CPI. Der er ikke henvisning til inspektionsrapport eller anden dokumentation.

**Re14: 2016, NSK Magnetprøvning lukkeplade og ultralyd på stumpsøm (B-17-2)**

På baggrund af tankens historik vurderer Teknologisk Institut, at inspektionen omfatter kontrol af reparation af adgangshul, som er udkåret i forbindelse med renovering af tankbund.

Der foreligger ingen tegninger af målepositioner.

Bedømmelse er angivet som: "De undersøgte områder er acceptable iht. kvalitetskravet".

**7.3. Brugshistorik (materialer, mængder, tidsforløb mv.)**

Beredskabsstyrelsens rapport konkluderer, at udtaget prøve fra skibet Xanthia svarer til urea-ammoniumnitrat (N32) (jf. B-6-14).

Vagthavende på skibet Xanthia under pumpningen, Pedro Arradaza, fortæller, at der skulle leveres 4.900 m<sup>3</sup> til land. Samt at, når de nåede tallet 7372 m<sup>3</sup>, skulle han informere den vagthavende person på land (Surviyor) og når de nåede 7272 m<sup>3</sup>, ville han stoppe pumperne (jf. B-6-4).

Flowraten lå på 283 til 347 m<sup>3</sup>/h (jf. B-6-5).

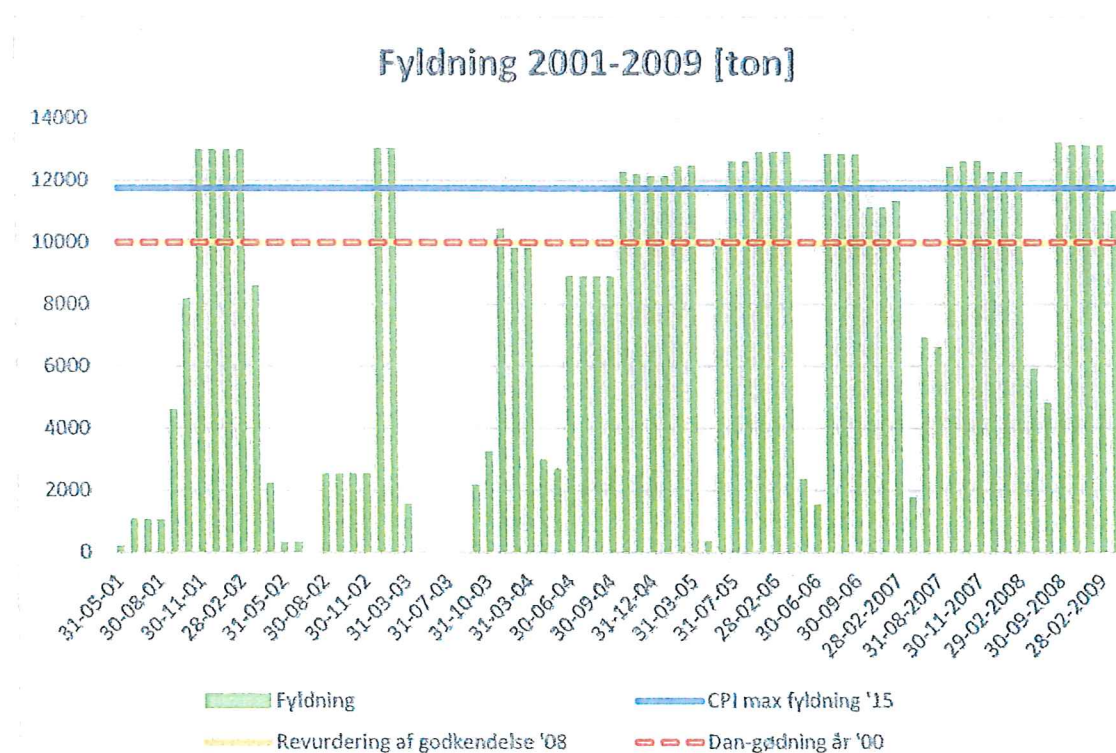
På baggrund af havneloggen og afhøring af Xanthias kaptajn Harald Rossebø, formodes der at være overført 4731 m<sup>3</sup> (jf. B-6-8 og B-6-15).

Rørsystemet mellem skib og tank er estimeret til en længde på 300-400 m og rørdimensionen er 6". Volumen af rørsystemet er beregnet til 55-73 m<sup>3</sup>, Bilag 5.



### 7.3.1. Fyldningshistorik (driftsjournal)

For årene 2001-2008 findes der registrering af fyldningen af Tank 7 i ton. I år 2009 er registreringen overgået til en registrering af total lagerbeholdning, og det er derfor ikke muligt at udlede, hvilke mængder, der har været opbevaret i Tank 7 (jf. B-8-3). Yderligere data vedrørende indhold i Tank 7 er pt. ikke tilgængelig.



**Figur 11 Fyldningshistorik for Tank 7 i perioden 2001 – 2009.**

Afbildningen af fyldningshistorik i årene 2001-2009 viser tydeligt, at Tank 7 gentagne gange er blevet fyldt til et højere niveau end det, der er angivet af:

1. Fredericia kommune i forbindelse med udvidelse af anlæg i 2008 (9.997 ton) (K-1-1-11-3)
2. Dan Gødning's egen beretning fra 2000 (10.000 ton) (M-11-1)
3. Det maks. niveau, som CPI har beregnet i 2015 (11.752 ton) (B-10-2).

Dan Gødning's anvendelse af Tank 7 ligger gentagne gange markant over de fyldningsniveauer, som er anført i pkt. 1-3 ovenfor. Det må derfor antages at udgøre Dan Gødning's normale procedure for anvendelse af Tank 7.

#### **7.4. Delkonklusion - konstruktion, anvendelse og godkendelser**

Svigthypotesen: "Hydrostatisk tryk som følge af for høj væskestand for lagermedie", opstillet i afsnit 6 kan, kan ikke umiddelbart afvises og er derfor adresseret i kapitel 7.

Den seneste tankinspektion er udført i 2015 og giver dermed det mest repræsentative billede af tankens reelle tilstand umiddelbart før havariet.

Den sidste trykprøvning af tanken (Tanklækageattest) er udført af Skanda den 25.01.2016 med en belastning på 10.000 ton.

Den sidste beregning af tilladelig fyldning er beregnet den 23.11.2015, baseret på EE-MUA 159, 4. udgave og aktuelt målte restgodstykkelser. Tilladeligt tankindhold er her bestemt til 9.040 m<sup>3</sup> N32 svarende en fyldehøjde på 13,5 m og et tankindhold på 11.752 ton.

Teknologisk Institut estimerer, at indholdet i Tank 7 på havaritidspunktet har ligget i intervallet 9.570 – 9.590 m<sup>3</sup> svarende til ca. 12.500 ton.



Teknologisk Institut gør opmærksom på, at CPI anfører, at fyldehøjden i Beregning 1 (15 m) skal sænkes, hvilket betyder at Beregning 1 ikke kan anvendes direkte. Beregning 2 angiver tilladelig fyldehøjde på 13,5m.

Tank 7 er efterfølgende coatet (indvendigt) og korrosionstillægget er dermed ikke nødvendigt. Den tilladelige fyldehøjde for den coatede tank ligger derfor i intervallet 13,5m til 15m, men er ikke fastlagt, hverken i Beregning 1 eller 2.

I afhøring af Morten Haagen Olsen, Skibsinspektør oplyses, at han flere gange har oplevet, at Tank 7 er blevet overfyldt med N32. Hvilket har medført, at han har set N32 løbe ud af toppen på Tank 7.

På baggrund af driftsjournal 2001-2009 fremgår, at tanken gentagne gange har været fyldt med flydende N32 til et niveau tæt på tanktoppen, hvilket udgør 9.800-10.000 m<sup>3</sup> svarende til ca. 12.740-13.000 ton.

Det kan dermed fastslås, at Tank 7 gentagne er blevet overfyldt med N32 til et niveau, der ligger uden for det anvendelsesområde, der er beregnet som sikkert, og uden for det område som er verificeret som sikkert ved trykprøvning.

Svigthypotesen: "Hydrostatisk tryk som følge af for høj væskestand for lagermedie" vurderes at være en betydende medvirkende årsag havariet.

## 8. Evaluering af svigthypoteser med baggrund i inspektioner, prøvninger og analyser

Svigthypoteserne: "Reparations svejsninger på svøb" og "Korrosion i tank, kemisk aggressivt miljø", som er opstillet i afsnit 6, og som ikke umiddelbart kan afvises, adresseres i det følgende. Øvrige svigthypoteser som er opstillet af parter i sagen undersøges også.

Med fokus på at løfte denne opgave er der gennemført on-site inspektioner og efterfølgende udført analyser og prøvninger på hjemtagne pladedele med revner, grubetæringer, svejsninger mv.

### 8.1. Inspektion af den havarerede tank og udtagning af pladedele

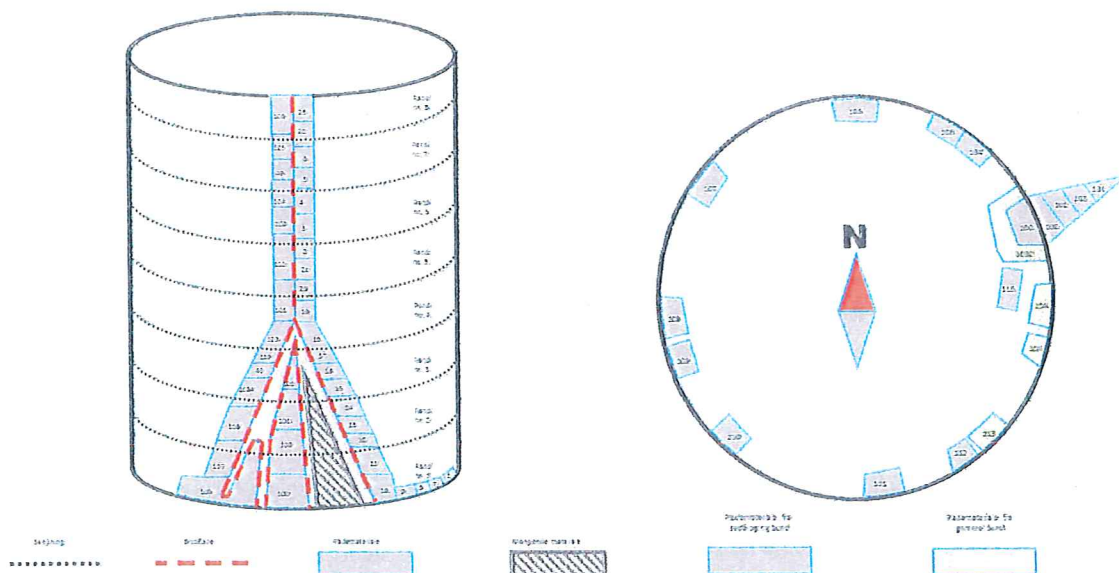
Skadesstedet blev første gang besigtiget fredag d. 5. februar v/ Claus Erichsen Kudsk og Dagny Primdahl. Til gængeligt materiale fra Tank 7 blev opmærket til udskæring og senere undersøgelser. Grundet store mængder størknet palmeolie var bunden af Tank 7 ikke til gængelig d. 5. februar

Efter opgravning af palmeolien blev bunden af Tank 7 besigtiget og opmærket d. 18. februar v/Søren Jepsen Mark.

Teknologisk Institut har opmærket i alt 59 emner fordelt på henholdsvis svøb, bund og top fra Tank 7. Udskæring og transport til Teknologisk Institut blev varetaget af Sydøstjyllands Politi.

Figur 12 angiver nummerering og placering af pladestykkerne. Skitsen er vejledende og ikke målfast. Detaljeret optegning af pladestykker er medtaget i Bilag 6.





**Figur 12** Skitse af pladestykker indsamlet på skadesstedet. Figuren er gengivet i Bilag 6 i en forstørret udgave, hvor de individuelle pladenumre kan aflæses.

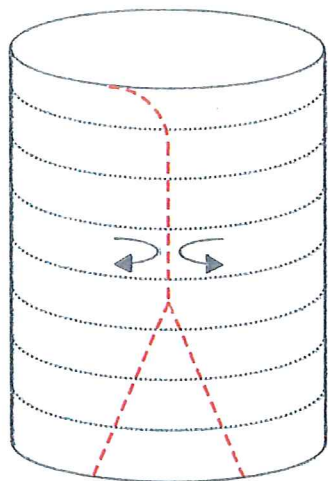
Ved oplægning af pladeemnerne i forlængelse af hinanden er det tydeligt, at et stykke plademateriale fra brudområdet ikke var blevet mærket og hjemtaget. Pladestykket er mærket med gråskravering på Figur 12. Eftersom alle omkringliggende pladestykker er tilgængelige for yderligere undersøgelser, vurderes det ikke som kritisk.

## 8.2. Beskrivelse af havari og revneforløb

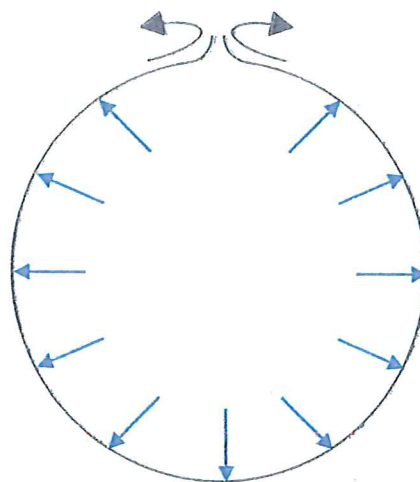
Med baggrund i undersøgelserne af skadesstedet og det indsamlede materiale, beskrives havari og revneforløb i Tank 7 herunder.

Tank 7 er revnet i svøbet langs en lodret linje, hvorefter svøbet har åbnet sig på grund af det indvendige væsketryk og er blevet foldet ud og flyttet/skubbet/skyllet til området, hvor det lå efter havariet, se Figur 2.

Figur 13 og Figur 14 illustrerer revneforløb og følgende havari i Tank 7. Skitserne er ikke målfaste.



**Figur 13 Tank 7 Principskitse over svøbets åbning og revnens placering. Den stiplede linje indikerer revnernes forløb.**



**Figur 14 Tank 7 - set fra toppen. Principskitse over svøbets åbning. De blå pile indikerer det indvendige hydrostatiske tryk.**

Teknologisk Institut har opmærket i alt 59 emner (pladestykker) fra Tank 7 fordelt på henholdsvis svøb, bund og top. Udkæring og transport til Teknologisk Institut blev varetaget af Sydøstjyllands politi.



**Figur 15 Indsamlede pladestykker oplagt således, at de visualiserer revneforløbet og samtidig giver mulighed for systematisk at inspicere det samlede revneforløb.**

Revneforløbet kan beskrives som en lodret revne fra tanktop til tankbund, der bøjer på ca. en 1 meter fra tanktoppen og ca. 6 meter over bunden, hvor den bredes ud i en V form med flere parallelle revner.

Revnen løber igennem pladematerialet og er ikke styret af lodrette svejsninger.



Revneudbredelsen indikerer, at revneforløbet har været styret af et indefra kommende hydrostatisk tryk på tankvæggen.

Revneforløbet indikerer endvidere, at revnestartstedet sandsynligvis er lokaliseret et sted på den lodrette del af revneforløbet, hvor trækspændingerne i svøbet er størst og orienteret vinkelret på revnen (tangent til svøbet i vandret plan).

### 8.3. Materiale tekniske undersøgelser

I det følgende beskrives de metallurgiske undersøgelser og de deraf afledte resultater.

Der er medtaget en oversigt over udtagne emner til mekanisk prøvning og metallurgiske undersøgelser i Bilag 8.

Det har ikke været muligt for Sydøstjyllands Politi at fremskaffe tegningsmateriale for Tank 7. De oprindelige dimensioner, godstykkelser, svejseprocedurer, anvendte materialer m.v. til opførelse af tanken er derfor ukendte.

Generelle metallurgiske termer er kortfattet beskrevet i Bilag 7.

#### 8.3.1. Anvendte materialekvaliteter

Der er iværksat en omfattende materialeundersøgelse, hvor svøbmaterialet er undersøgt ved bestemmelse af trækstyrke og kemisk sammensætning. Valseretningen af de anvendte plader er ukendt. Den mekaniske styrke af svøbmaterialet er derfor målt både i horisontal og vertikal retning. Resultater fra mekanisk prøvning og kemisk analyse findes i Bilag 9.

Min. og maks. værdier for flydespænding og brudstyrke, som er målt på de udtagne pladestykker er vist i Figur 16.

	Retning	Min. værdi målt	Maks. værdi målt
Flydespænding	Vertikalt	277 N/mm <sup>2</sup>	343 N/mm <sup>2</sup>
	Horisontalt	279 N/mm <sup>2</sup>	357 N/mm <sup>2</sup>
Brudstyrke	Vertikalt	379 N/mm <sup>2</sup>	468 N/mm <sup>2</sup>
	Horisontalt	383 N/mm <sup>2</sup>	487 N/mm <sup>2</sup>

Figur 16 Min. og maks. værdier for flydespænding og brudstyrke.

Ved bestemmelse af de mekaniske værdier fastlægges både flydespændingen og brudstyrken. I forhold til design af tanke regnes der primært på flydespændingen, da belastning over denne værdi ikke er tilladelig og vil resultere i permanent deformation af tanken. Bestemmelse af flydespænding og brudstyrke foretages på bearbejdede standardprøveemner, hvor eventuelle overfladefejl er fjernet.

Den målte kemiske sammensætning, flydespænding og brudstyrke lever op til de specificerede værdier for ståltypen S235 (EN nr. 1.0044 og 1.0143) i henhold til standarden DS/EN 10025-2:2004.

S235 er et lavt legeret konstruktionsstål og er et typisk anvendt materiale til større metalliske konstruktioner, som fx lagertanke.

Svejsbarheden af konstruktionsstål kan udtrykkes ved at omregne legeringselementerne til kulstoffækvivalenten  $C_{eq}$ . For ståltypen S235 er den tilladelige  $C_{eq}$  angivet til maksimum 0,40 i pladetykkelser op til 40 mm.

For de undersøgte pladestykker er kulstoffækvivalenten i overensstemmelse med det tilladelige for S235. Se beregning i Bilag 9.

Med baggrund i resultaterne fra de mekaniske prøvninger og måling af den kemiske sammensætning kan det konkluderes, at det anvendte plademateriale lever op til kravene for ståltypen S235.

### 8.3.2. Anvendte godstykkelser (plademateriale)

I forbindelse med tankundersøgelser og udstedelse af tankattester er godstykkelsen af bund og samt svøb bestemt i år 2002, 2006 og 2015 (B-7-11-1, B-7-11-3 og B-10-2). I de to tankattester udstedt af Skanda A/S (2002 og 2016) er der ikke opgivet målinger for de enkelte rande af tanken, men blot angivet værdi for mindste måling af godstykkelsen på svøbet. På tegningen Tank 0A-02 vedlagt tankattesten fra 2002 er der angivet godstykkelsesmålinger for nederste rand og tankbund.

CPI-rapporten (B-10-2) indeholder måling af godstykkelse for de enkelte rande på svøbet. Yderligere er der i rapporten angivet formodede oprindelige godstykkelser.

I alle tre tankundersøgelser er der anvendt ultralyd til bestemmelse af godstykkelsen.

For Rand 1 er godtykkelsesværdierne i tankattesten fra 2002 og 2006 sammenlignelige med målingerne foretaget af CPI i 2015. Ligeledes er der overensstemmelse mellem godstykkelsesmålingerne foretaget af CPI og Teknologisk Institut. Det må antages, at op til 1,9 mm er korroderet væk i forhold til den formodede oprindelige godstykkelse.

På tegning Tank 0A-02 Skanda Tankattest fra 2002 er der målt minimumsgodstykkelser på 9,7 mm i Rand 1. I tankattesterne fra 2006 og 2015 er der ikke målt tilsvarende lave godstykkelser.



Skanda Attest	Mindste målte godstykkelse	Bilag
	Rand 1	
Tankattest 2002 Mindste måling på svøb (mm) (B-7-11-1)	9,7	Tegning Tank 0A-02
Tankattest 2006 Mindste måling på svøb (mm) (B-7-11-3)	18,6	Tegning DG T-07-06

Figur 17 Skanda A/S bestemmelse af restgodstykkelse af svøb

CPI måling (B-10-2)	Rand 1	Rand 2	Rand 3	Rand 4	Rand 5	Rand 6	Rand 7	Rand 8
Mindste målte restgodstykkelse (mm)	18,2	15,4	12,7	10,1	8,3	6,4	5,3	5,3
Formodede oprindelige godstykkelse (mm)	20	17	15	12	10	8	7	7

Figur 18 CPI bestemmelse af restgodstykkelse af svøb

TI måling	Rand 1	Rand 2	Rand 3	Rand 4	Rand 5	Rand 6	Rand 7	Rand 8
Mindste målte restgodstykkelse (mm)	19,3	16,0	13,4	10,9	8,6	7,1	6,0	5,9

Figur 19 TI opmåling af godstykkelse

### 8.3.3. Vurdering af korrosionsforhold

Tank 7 er blevet anvendt til opbevaring af N32, der også omtales under handelsnavnet UAN. Produktet er flydende kunstgødning bestående af ammoniumnitrat (CAS nr. 6484-52-2) med forskellige additiver.

I henhold til SDS fra producent ACHEMA (B-6-18) kan produktet opbevares i almindelige stålbeholdere (carbon steel containers), produktet er korrosivt, men når der tilsættes inhibitor (additiv), er produktet ikke korrosivt i forhold til kulstofstålstrukturer som rør, tanke m.v.

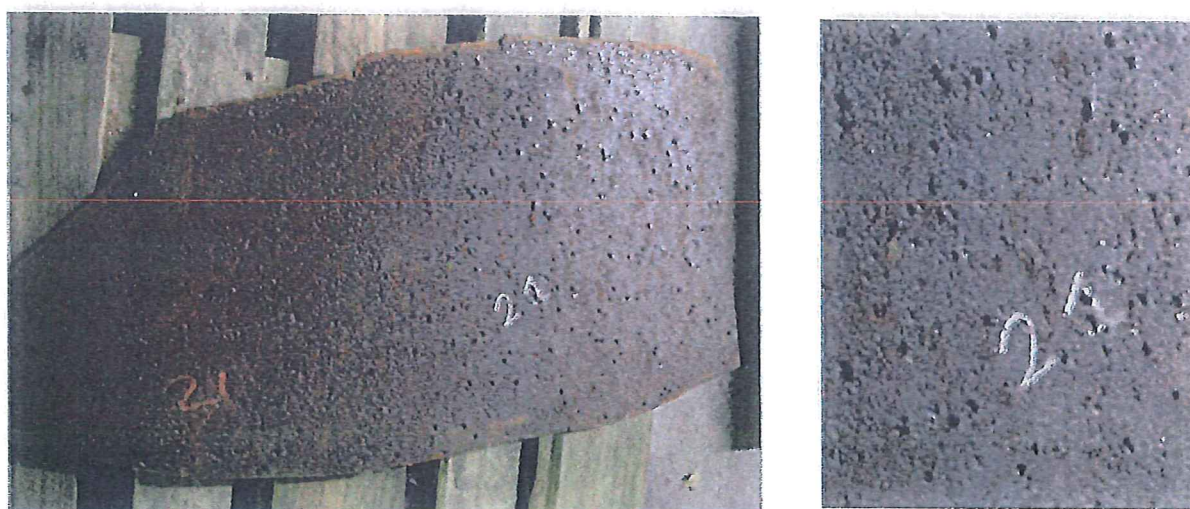
Ved inspektion af den indvendige overflade af Tank 7 observeres overflade med udbredt angreb af grubetæringer.



Korrosionsangrebene er jævnt fordelt på pladerne og ses både tæt på svejsninger og midt på pladestykker. Flere steder ses korrosion på svejsningerne på samme niveau som korrosionen på svøbpladerne

Der er opmålt 5 grubetæringer for hver rand. Resultaterne er anført i

Figur 21.



Figur 20 Plade nr. 21. Bemærk at der er fundet grubetæringer jævnt fordelt på den indvendige side af tanksvøbet.

[mm]	Rand 1 P117	Rand 2 P118	Rand 3 P118A	Rand 4 P121	Rand 5 P122	Rand 6 P122	Rand 7 P124	Rand 8 P126
Maks. dybde	2,8	4,1	2,9	1,9	3,5	3,8	2,3	1,3
Gns. dybde	2,0	3,2	2,1	1,6	2,6	3,0	1,7	1,0
Pladetykkelse (TI)	19,3	16,0	13,4	10,9	8,6	7,1	6,0	5,9
Resttykkelse	17,3	12,8	11,3	9,3	6,0	4,1	4,3	4,9

Figur 21 Maks. og gns. dybde af grubetæringer. "Resttykkelse" er en indikation af den resterende pladetykkelse, som skal overføre spændingerne i svøbet. Det fremgår heraf, at den resterende pladetykkelse er mindst i Rand 6.

Den maksimale dybde af grubetæringerne er fundet på plade 118 (Rand 2). Den største udbredelse af de opmålte grubetæringer findes på plade 122 (Rand 6), dybden af denne tæring er 3,8 mm. Pladetykkelsen for Rand 6 er i gennemsnit målt til 7,1 mm.

Opmålingerne indikerer, at grubetæringerne flere steder er sammengroede, hvilket resulterer i stor lokal udbredelse. Tæringerne vurderes dog ikke til enkeltstående at være årsagen til havariet, men de kan have været en medvirkende faktor.

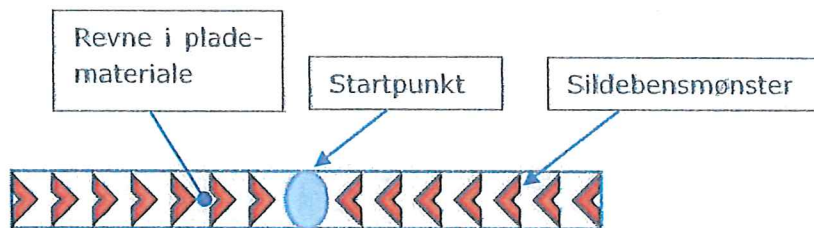
Det generelle udseende af svøbpladerne bekræfter, at pladerne har været udsat for generel korrosion på den indvendige overflade. Årsagen hertil og tidspunktet, hvor det er sket er ukendt.

#### 8.3.4. Beskrivelse af brudflader

Brudfladerne på alle hjembragte pladestykker er gennemgået visuelt, se Bilag 11.

Udbredte stykker af brudfladerne udviser samme karakteristika. Hovedparten af brudfladerne har ingen eller kun minimal deformation (indsnævring) omkring brudfladen, hvilket indikerer et sprødt brud. Dele af brudfladerne var korroderede ved ankomsten til Teknologisk Institut og karakteristika på overfladerne af disse pladestykker er delvist udviskede af denne efterfølgende korrosion.

Gennemgangen af brudfladerne viser endvidere, at hovedparten af brudfladen er karakteriseret ved et sildebensmønster (Chevron marks). Sildebensmønstre opstår som følge af sprøde brud og angiver visuelt via sildebensmønsteret (pile) i hvilken retning startpunktet for bruddet skal findes. Brudtypen er yderligere forklaret i Bilag 7.



**Figur 22 Principskitse af sprøbrudsrevne. Bemærk hvordan sildebensmønsteret på brudfladen "peger" hen mod revnens startsted.**

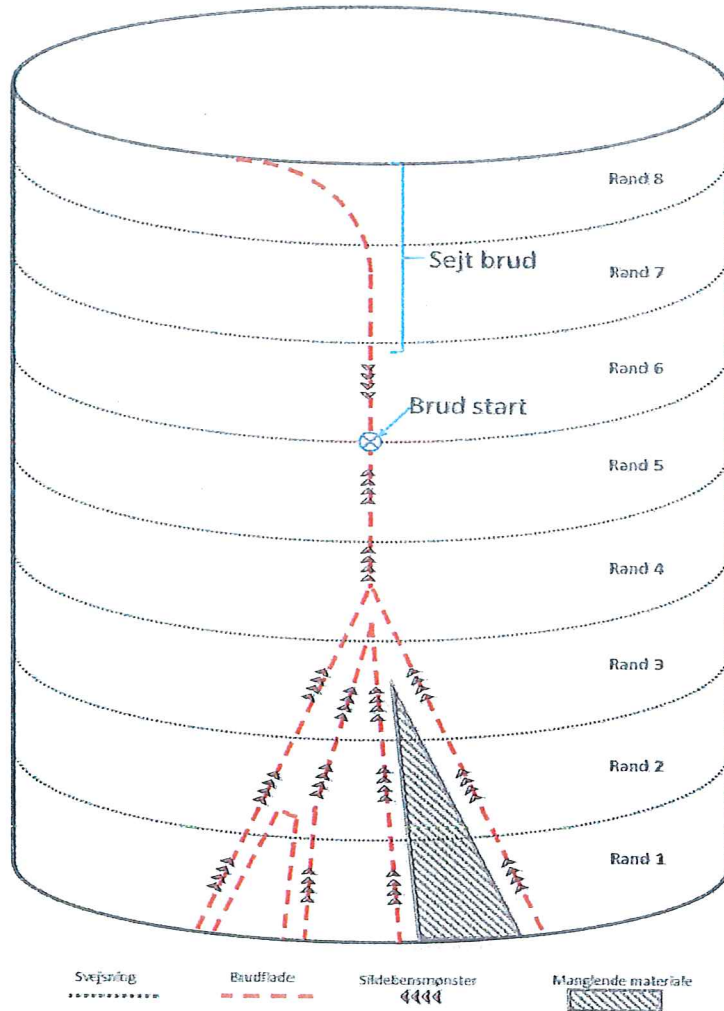
Det overordnede revneforløb, revnestart og sildebensmønter er markeret på Figur 23.

Der er observeret et sejt-brud-område i Rand 7 og 8, hvor der er deformation (forskydning) omkring bruddet.

Brudstart er identificeret på pladestykke 122 og er lokaliseret til et område med en udstrækning på 2-3 cm, som ligger i og omkring svejsningen mellem Rand 5 og 6.

På hver side af svejsningen er der tydeligt sildebensmønster med pilene pegende mod svejsningen og det umiddelbare område omkring svejsningen.

Undersøgelser vedrørende brudstart er derfor afgrænset til området i og omkring svejsningen mellem Rand 5 og 6.



**Figur 23 Revneforløb med indikation af sildebensmønster og brudstart**

De metallurgiske undersøgelser på brudfladen omkring brudstart er baseret på undersøgelser af plade 122. Den modstående side af revnen er fordelt på plade 2 og 3. I forbindelse med redningsarbejdet er dette område skåret fri af fra svøbet for at sikre adgang for redningskøretøjer. Herved er revneoverfladen på plade 2+3 blevet beskadiget. Der fokuseres derfor på revneundersøgelsen for den modstående plade 122.

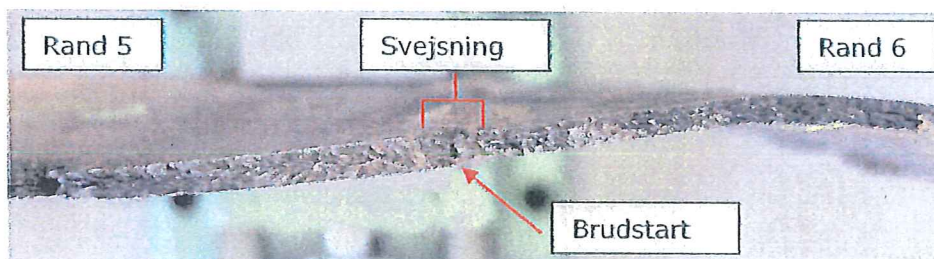




**Figur 24 Plade 122 oversigtsbillede. Svejsning og brudstart markeret med henholdsvis cirkel og pil**

Figur 25 viser brudfladeområdet ved svejsningen mellem Rand 5 og 6. På hver side af svejsningen ses tydeligt sildebensmønster pegende mod svejsningen. I brudfladen henover svejsningen ses ikke sildebensmønster.

Det fremgår endvidere, at svejsningen ikke er gennembrændt. Kvaliteten af svejsningen er derfor også undersøgt, se afsnit 8.3.5.



**Figur 25 Plade 122, brudflade med revnestart og tydeligt sildebensmønster.**

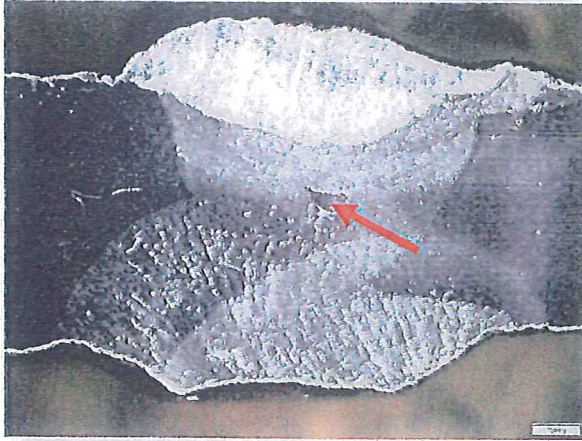
### 8.3.5. Undersøgelse af svejsning mellem Rand 5 og 6

Svejsningen mellem Rand 5 og 6 er undersøgt vha. makroundersøgelser, hårdhedsmåling og trækprøvning. Hårdhedsmåling er udelukkende lavet på pladestykke 2. Makrobilleder og trækprøvning er lavet både på pladestykke 122 og pladestykke 2.

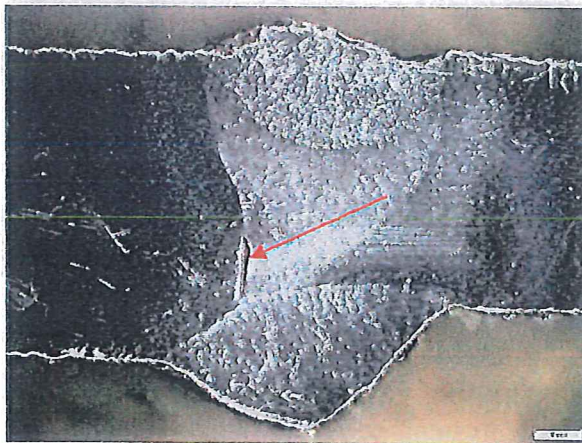
Makrobillederne viser entydigt, at der er manglende gennembrænding i svejsningen.

Brudstyrken bestemt via trækprøverne ligger for to af de tre prøver på niveau med værdierne målt på grundmaterialerne, mens den ene af de tre prøver ligger markant under. Brudstyrken på denne prøve er fundet til 250 N/mm<sup>2</sup> og har brudflade midt i svejsningen. Billede af trækprøven er indsat i Bilag 12.

Svejsningen mellem Rand 5 og 6 lever dermed ikke op til kravene for godkendelse af svejste samlinger, jf. DS/EN ISO 15614-1 (Niveau EN 5817/B) for pladematerialer af typen S235 (EN 10025-2).



**Figur 26 Makro på svejsning mellem Rand 5 og 6 (pladestykke 2). Bemærk den manglende gennembrænding midt i svejsningen.**

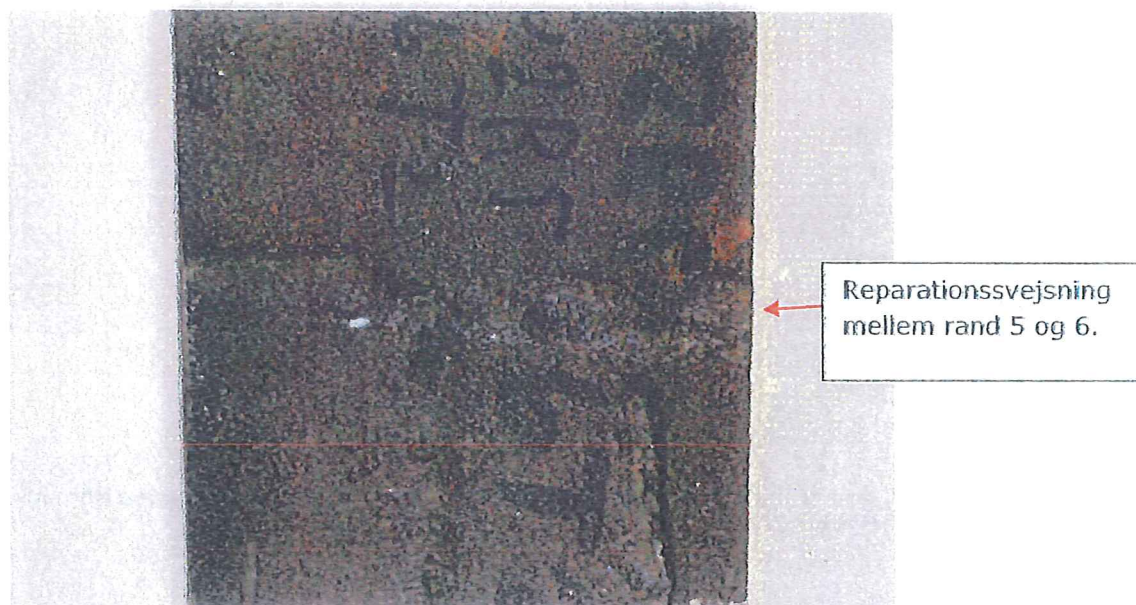


**Figur 27 Makro på svejsning mellem Rand 5 og 6 (pladestykke 122). Bemærk den manglende gennembrænding midt i svejsningen.**

### **8.3.6. Undersøgelse af reparation af svejsning mellem Rand 5/6**

På baggrund af en visuel undersøgelse af sammenføjningen mellem Rand 5 og 6 på pladestykke 122 og på pladestykke 2 er det konstateret, at der er foretaget reparation af svejsningen fra indvendig side.





**Figur 28** Bagside af pladestykke 2. Svejsning mellem Rand 5 og 6 er markeret. Det bemærkes, at der er områder med grubetæring.

Reparationen er tydelig på både indvendig og udvendig side og er markeret på Figur 29 og 30.

På den indvendige side er reparations svejsningerne markant mindre korroderede end de oprindelige svejsninger. På udvendig side er pladen markant mere korroderet, hvor reparationen er foretaget.

Der foreligger ikke optegnelser af dette reparationsarbejde og det er derfor ikke muligt, at fastlægge, hvornår reparationerne er foretaget. På baggrund af den svagt korroderede overflade vurderes reparationen at være udført tidligere end reoveringen af Tank 7 i 2015.

Reparation af svejsning mellem Rand 5 og 6 er observeret på pladestykke 122 og pladestykke 2. Der er således foretaget reparation af svejsningen flere steder på begge sider af den lodrette revne, der har ført til havariet.





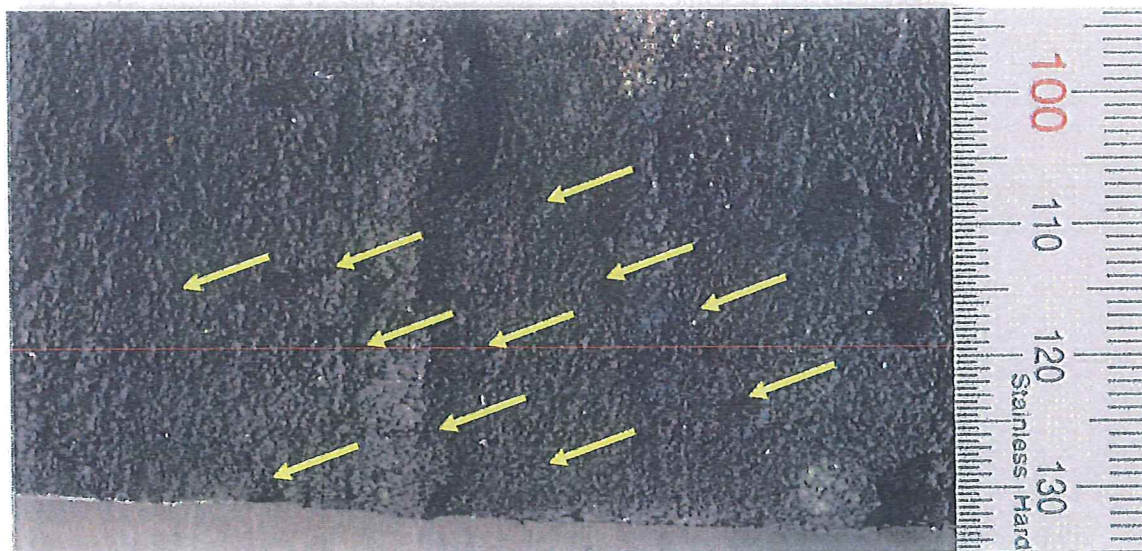
**Figur 29** Udsnit af pladestykke 2 med svejsning mellem Rand 5 og 6 set fra indvendig side. Reparations-svejsningen er markeret.



**Figur 30** Udsnit af pladestykke 2 med svejsning mellem Rand 5 og 6 set fra udvendig side. Bemærk afskalning af maling og korrosion omkring reparations-svejsningen, som er markeret.

I pladestykke 122 er der i området tæt på brudstart fundet en række mindre lodrette revner, revnerne findes både på svejsesømmen og på pladematerialet i Rand 5 og 6 i en afstand op til 10cm fra svejsningen. Revnerne er placeret parallelt med hovedrevnen og er fundet fra hovedrevnen og cirka 10-15 cm ind på pladen. Revnerne er ikke gennemgående.

Det er ikke muligt at påvise, hvorvidt der langs hovedrevnen har været tilsvarende revner, men det vurderes overvejende sandsynligt at dette er tilfældet.



**Figur 31 Pladestykke 122. Bemærk de mange lodrette revner som løber parallelt med brudfladen.**

### 8.3.7. Undersøgelse af svejsninger i tankbund

Følgende afsnit har til formål at kommentere på 2 svigthypoteser som er fremsat af parter med interesse i havariet:

1. Havari som følge af manglende elasticitet i svejsning - sprødbud i tankbund
2. Havari som følge af manglende binding i svejsning i tankbund.

#### **Ad 1: Havari som følge af manglende elasticitet i svejsning - sprødbud i tankbund**

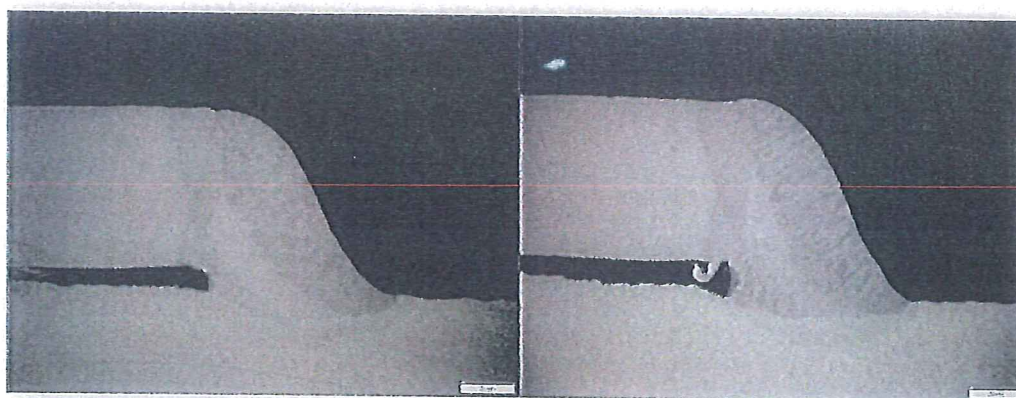
I B-10-6 omtales sprødbud som følge af det netop udførte reparationsarbejde på tankbunden som en potentiel svigthypotese, herunder særligt forhold omkring sprødbud i svejsningen mellem vinkelprofil og svøb (Rand 1). På baggrund af dette er kvaliteten af kantsømmen mellem svøb og vinkelprofil undersøgt via:

- 2 stk. makrobillede
- 1 stk. hårdhedsmåling

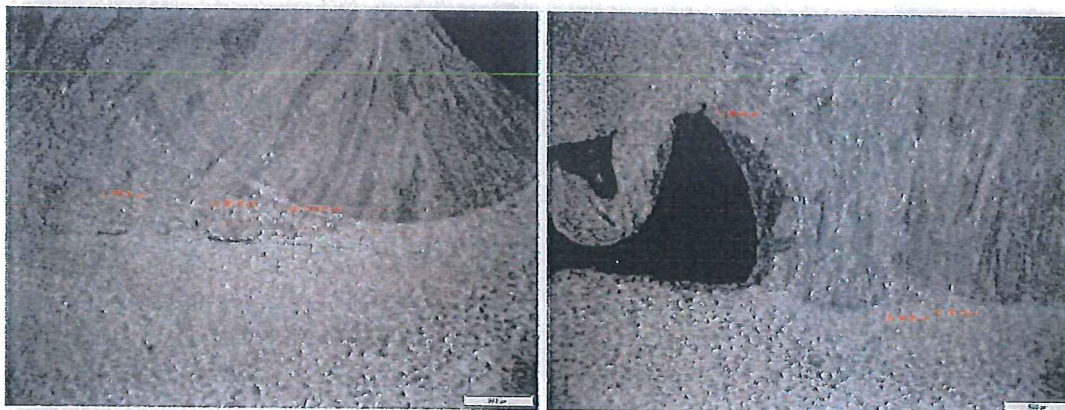
Hårdhedsmålingerne er inden for grænse for gruppe 1 ståltyper (ISO 15608), maks. krav iht. ISO 15614-1 er 380 (HV 10) for ikke-varmebehandlet stål.



Ud fra ovenstående undersøgelser er der ikke fundet tegn på, at kantsømmen mellem svøb og vinkelprofil er sprød. Dog bemærkes det, at der på makro P30R1M2 er fundet små revner, som kan have betydning for styrken af svejsningerne. "Havari som følge af manglende elasticitet i svejsning - sprødbud i tankbund" afvises derfor som mulig initierende årsag til havariet.

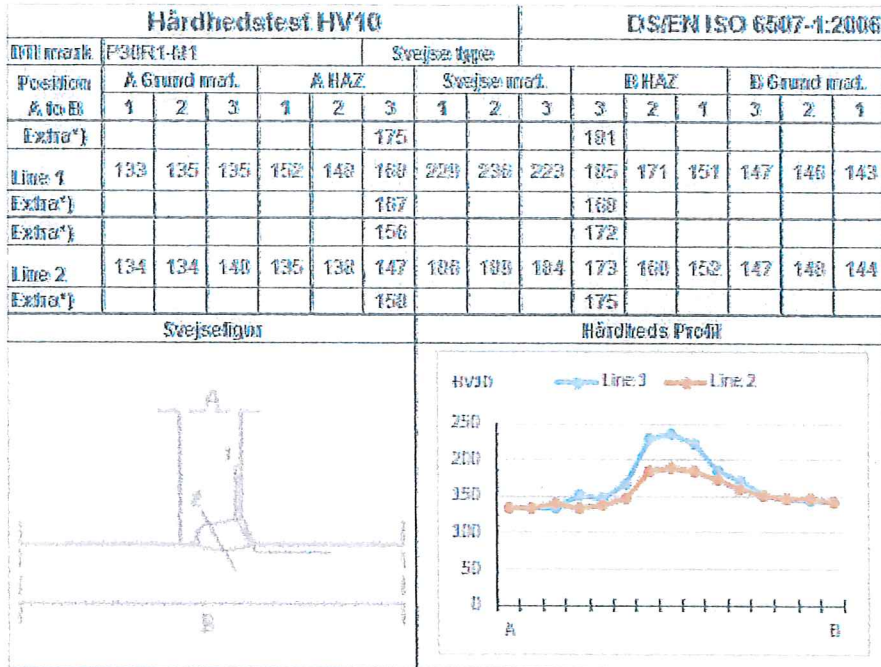


**Figur 32** Makrobillede i henhold til DS/EN 1321:1997. Makro nr. P30R1M1 og P30R1M2, slebet til korn 220, ætset med nital



**Figur 33** Makrobillede i henhold til DS/EN 1321:1997. Close-up af makro nr. P30R1M2, revner markeret med rødt.

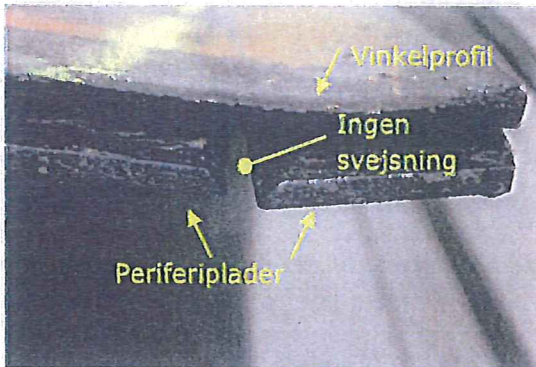




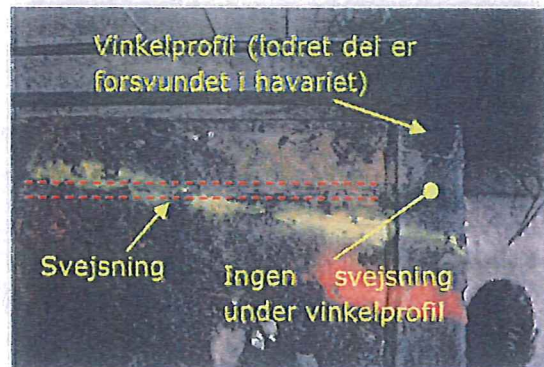
**Figur 34 Hårdhedsmåling henover svejsningen.** Usikkerheden på den enkelte hårdhedsmåling er  $\pm 2,1\%$  af måleværdien ( $k=2$ ). \*) Målepunkter er iht. EN ISO 9015-1:2011 inkluderet krydsmålinger nær fusion line (værdi for øverste hhv. nederste målepunkt).

#### Ad 2: Havari som følge af manglende binding i svejsning i tankbund

Jf. dokument B-10-6 påpeges det, at der er manglende fuldsvejsning i dele af tankbunden, som er renoveret i 2015. I dokumentet påpeges, at der ikke er udført svejsninger mellem periferipladerne på den del, hvorpå vinkelstålet er placeret. Efter gennemgang af det indsamlede materiale fra skadesstedet kan Teknologisk Institut bekræfte, at der ikke er udført svejsning mellem periferipladerne og tankbund på den del, hvor vinkelprofilen er placeret. Nedenstående billeder viser to periferiplader, hvor der ikke er svejst under vinkelprofilen.



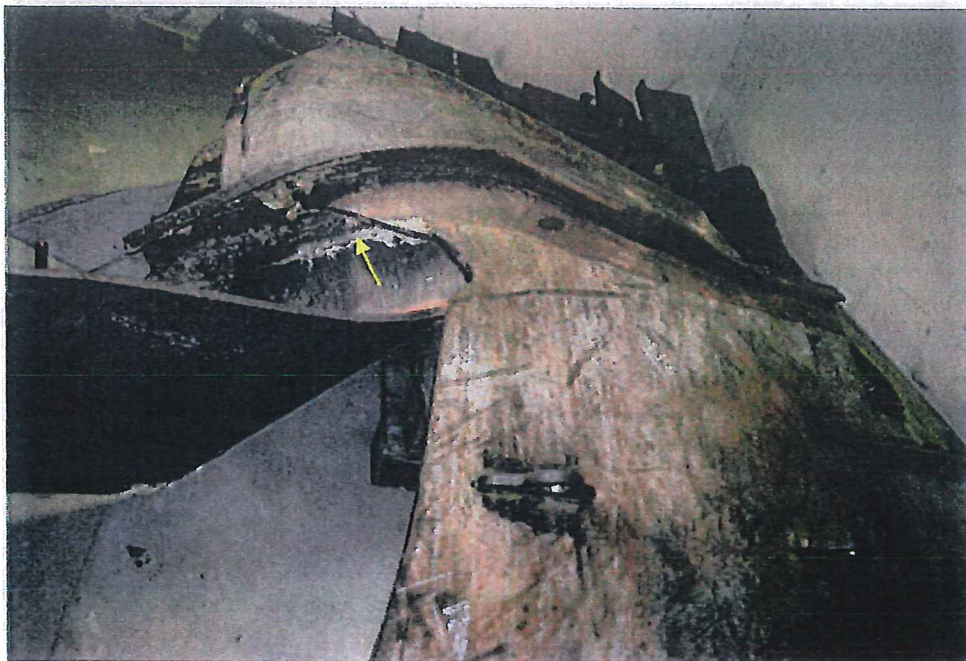
**Figur 35 Emne 100 – tankbund (set fra siden). Ingen svejsning mellem periferipladerne under vinkelstålet.**



**Figur 36 Emne 100 - tankbund (set fra top). Svejsning mellem periferoplader, men ikke under vinkelstålet.**

Indsamlede emner fra Rand 1 som er sammenhængende med hovedrevnefronten i Tank 7 (se Figur 3) og den nye tankbund er undersøgt. På emne nr. 100 og nr. 10 er der ikke observeret sammenhæng mellem brudforløbet og samlingen mellem periferipladerne. På emne nr. 116 er det observeret, at den ene revnefront har forbindelse til en samling mellem to periferiplader.

Baseret på ovenstående vurderes det, at der ikke er en direkte sammenhæng mellem hovedbrudforløb og samlingen mellem periferipladerne. "Havari som følge af manglende binding i svejsning i tankbund" afvises derfor som mulig initierende årsag til havariet.



**Figur 37 Emne 116 – Sammenhængende del af tankbund og svøb. På billedet ses en revnefront, der har forbindelse til en samling mellem to periferiplader (markeret med gul pil)**



#### 8.4. Delkonklusion - Evaluering af svigthypoteser med baggrund i inspektioner, prøvninger og analyser

Svigthypoteserne: "Reparationssvejsninger på svøb" og "Korrosion i tank, Kemisk aggressivt miljø" kan ikke umiddelbart afvises og er derfor adresseret i Kapitel 8. Parallelt hermed er svigthypoteser opstillet af parter i sagen også vurderet.

Efter initiering af revnen har svøbet åbnet sig på grund af det indvendige væsketryk, er foldet ud og flyttet/skubbet/skyllet til området, hvor det lå efter havariet.

Revnepforløbet udgøres af en lodret revne fra tanktop til tankbund, der bøjer af ca. en 1 meter fra tanktoppen og ca. 6 meter over bunden, hvor den bredes ud i en V form med flere parallelle revner. Revnen løber primært igennem pladematerialet og er ikke styret af lodrette svejsninger.

Resultater fra mekaniske prøvninger og måling af den kemiske sammensætning indikerer, at det anvendte plademateriale lever op til kravene for ståltypen S235.

På den indvendige overflade af Tank 7 er der observeret udbredt og jævnt fordelt angreb af korrosion (grubetæring). Årsagen til korrosionsangrebet og perioden, hvor det er forekommet er ukendt. Der er fundet korrosion i svejsningerne på samme niveau som korrosionen på svøbpladerne.

Brudstart er identificeret til pladestykke 122 og det modstående pladestykke 2. Startstedet er lokaliseret til et område med en udstrækning på 2-3cm liggende i og omkring svejsningen mellem Rand 5 og 6.

Makrobillederne viser entydigt, at der her er manglende gennembrænding i svejsningen. Måling af brudstyrken henover svejsning resulterer i, at 1 ud af 3 trækprøver ligger markant under værdierne målt på grundmaterialerne.

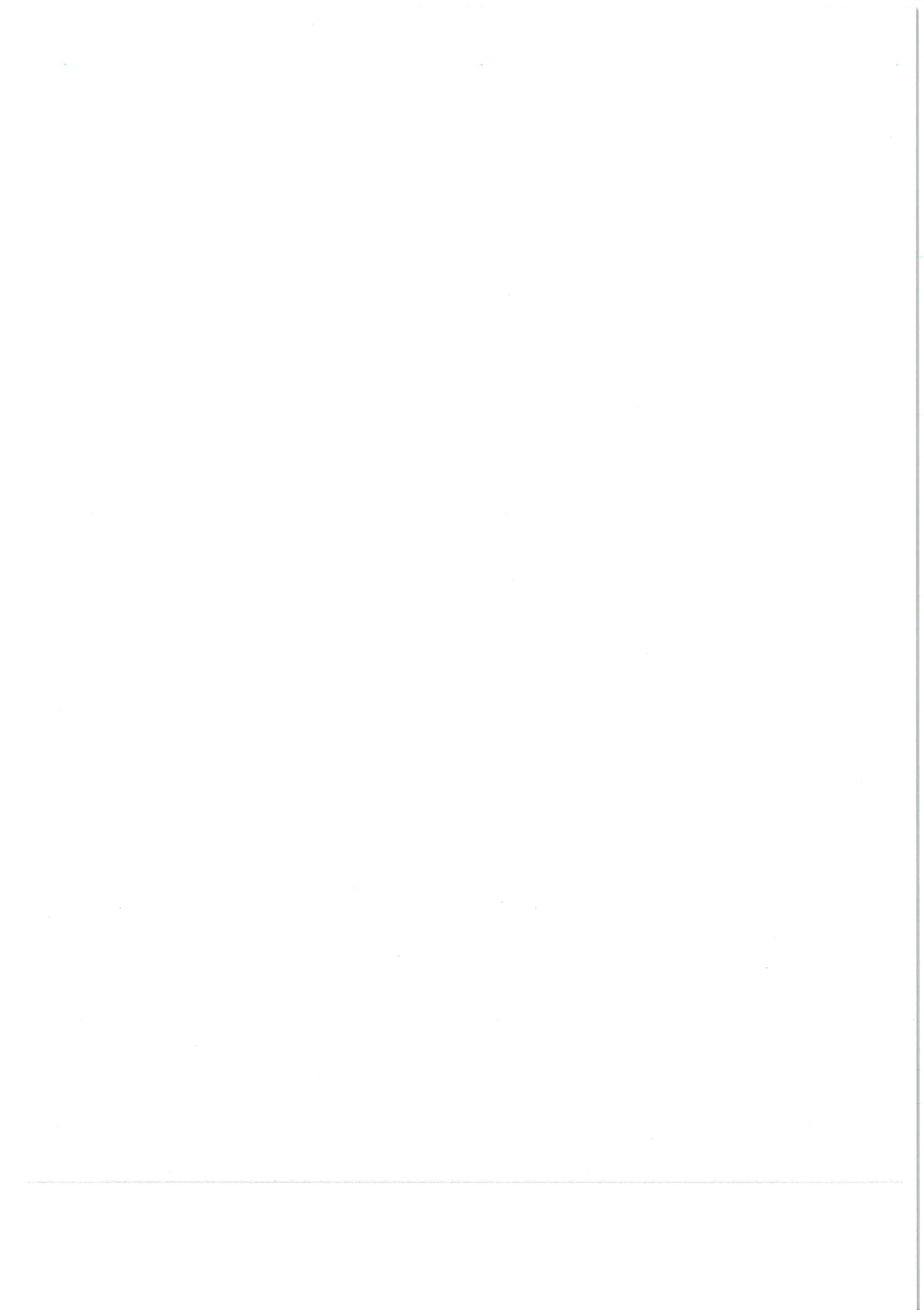
Svejsningen mellem Rand 5 og 6 lever dermed ikke op til kravene for godkendelse af svejste samlinger, jf. DS/EN ISO 15614-1 (Niveau EN 5817/B) for pladematerialer af typen S235 (EN 10025-2).

På brudstartstedet, er der udført svejsereparationsarbejde på svøbet mellem Rand 5 og 6. Det er ikke muligt, at fastlægge, hvornår reparationerne omkring brudstartstedet er foretaget, eller hvem der har udført dem.

I dette område er der observeret lodrette revner på indvendig side af tanksvøbet. Disse indikerer, at varmepåvirkningen fra de udførte reparationssvejsninger har reduceret styrken i svøbet. I kombination med mangelfuld gennembrænding af svejsningen og det generelle korrosionsangreb leder dette til en samlet lokal reduktion af svøbets styrke.

Det konkluderes derfor, at styrken i svøbet i området omkring revnestartstedet har været reduceret til ukendt størrelse. Herved bliver forudsætningerne i fyldningsberegningerne ændret og resultaterne dermed ukorrekte. Det vurderes derfor, at svigthypoteserne: "Reparationssvejsninger på svøb" og "Korrosion i tank, Kemisk aggressivt miljø" har bidraget væsentligt til initiering af havariet.





**Bilag 1.1**

**Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner**

Billeder fra inspektion 5. februar 2016





Bilag 1.2

Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner



Bilag 1.3

Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner





Bilag 1.4

Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner



Bilag 1.5

Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner

Billeder fra inspektion 19. februar 2016





Bilag 1.6

Billeder fra skadesstedet taget i forbindelse med TI-inspektioner



Bilag 3.1

Vejrforhold d. 3. februar 2016

Temperatur på havaritidspunktet onsdag d. 3 februar 2016, kilde DMI



Fredericia markeret med rød prik

Højeste temperatur: ca. 6 °C

Middeltemperatur: ca. 3 °C

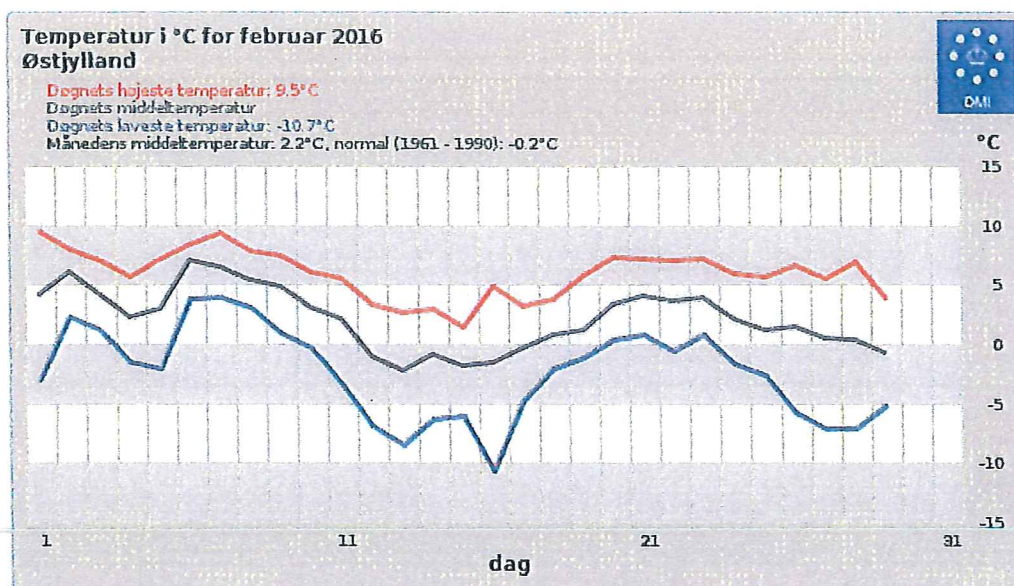
Laveste temperatur: ca. 0 °C

Nedbør: ca. 3 mm

Middel vindstød: ca. 20 m/s

Højeste vindstød: ca. 25 m/s

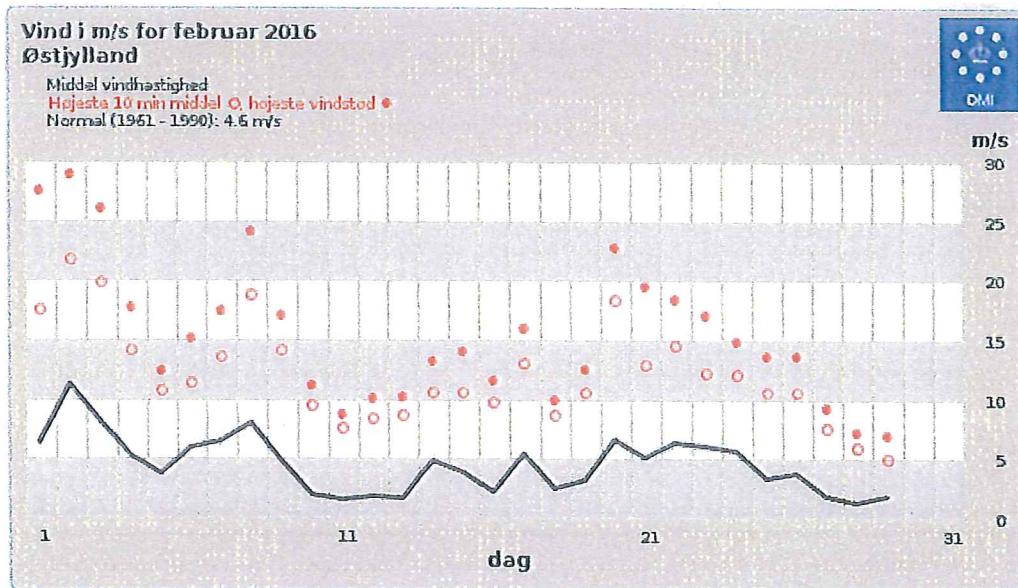
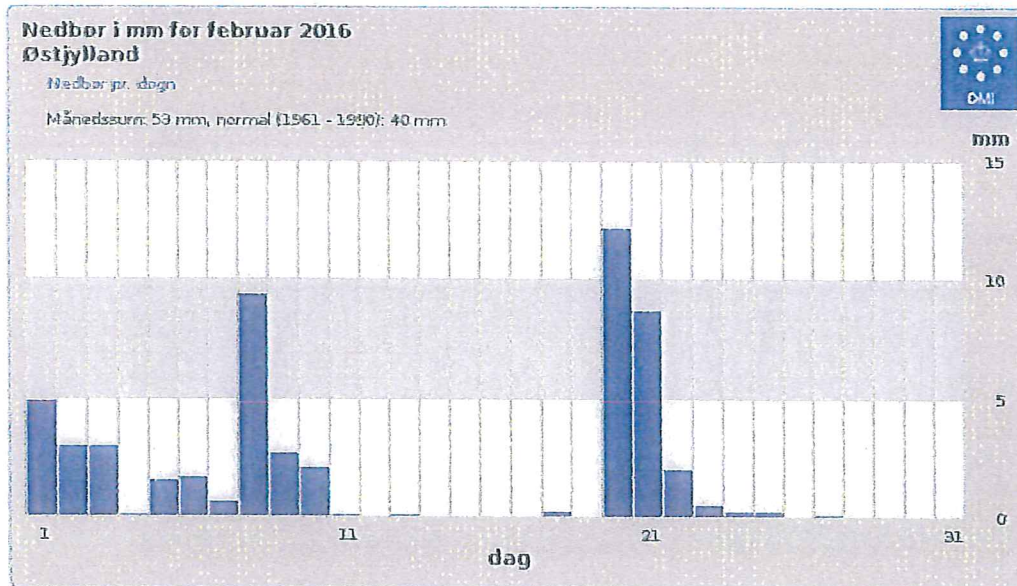
Primær vindretning: ca. vest





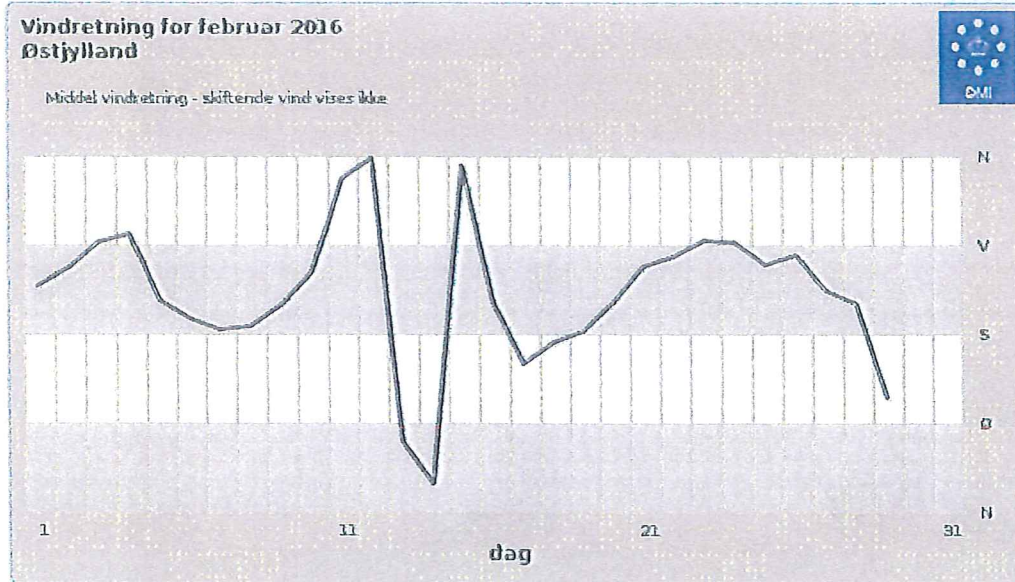
Bilag 3.2

Vejrforhold d. 3. februar 2016



Bilag 3.3

Vejrforhold d. 3. februar 2016





## Bilag 4.1

### Uddybning af forhold omkring miljøgodkendelserne

Følgende er angivet i den gældende miljøgodkendelse (K-3-1)

- Stationære tankanlæg skal være: Tætte og i god vedligeholdelsesstand, resistente overfor relevante stoffer og produkter, forsynet med elektronisk niveauejleudstyr, der gør det muligt at fortage aflæsning og overvågning af væskestanden på en monitor/skærm.

Miljøgodkendelsen (K-3-1) foreskriver følgende omkring import/eksport til/fra skib:

- Under import/eksport fra/til skib skal rør og tank efterses mindst en gang i timen.
- Under import/eksport skal der altid mindst være tre personer til stede:
  - En udpeget ansvarlig person fra skibets besætning, en ansvarlig for operationen på land og en slangevagt på kajen
- De tre personer skal være i radiokontakt med hinanden.

Miljøgodkendelsen foreskriver omkring egenkontrol og driftsjournal bl.a. at:

- Tanke større end 200 m<sup>3</sup>, skal som minimum inspiceres hvert 5. år. Inspektionen ved certificerede tankinspektioner skal dokumenteres i en tilstandsrapport:

Der skal føres driftsjournal og dokumentation for:

- a) Tilsyn med anlæg
- b) Eftersyn og inspektion af tanke og rørføringer
- c) Notering af datoer for unormal drift
- d) Beholdningskontrol for tanke

Der er i den gældende miljøgodkendelse ikke angivet maksimale fyldningsgrader for tankene. Dette er for Tank 7 angivet i 1996 dokumenterne.

## Bilag 5.1

### Beregning af tankindhold og rørvolumen

Anvendte formler i forbindelse med beregninger af tankindhold:

$$\text{væske volumen [m}^3\text{]} = \text{højde [m]} * \pi * \text{radius}^2 \text{ [m]}$$

$$\text{tankindhold [ton]} = \text{væske volumen [m}^3\text{]} \cdot \text{vægtfylde} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{væske højde [m]} = \frac{\text{væske volumen [m}^3\text{]}}{\pi \cdot \text{radius}^2 \text{ [m]}}$$

$$\text{væske højde [m]} = \frac{\left( \frac{\text{tankindhold [ton]}}{\text{vægtfylde} \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]} \right)}{\pi \cdot \text{radius}^2 \text{ [m]}}$$

### Beregning af rørvolumen

300-400m lang 6" rør

Areal af cirkel:  $\pi \cdot r^2$

6" = 15,24 cm

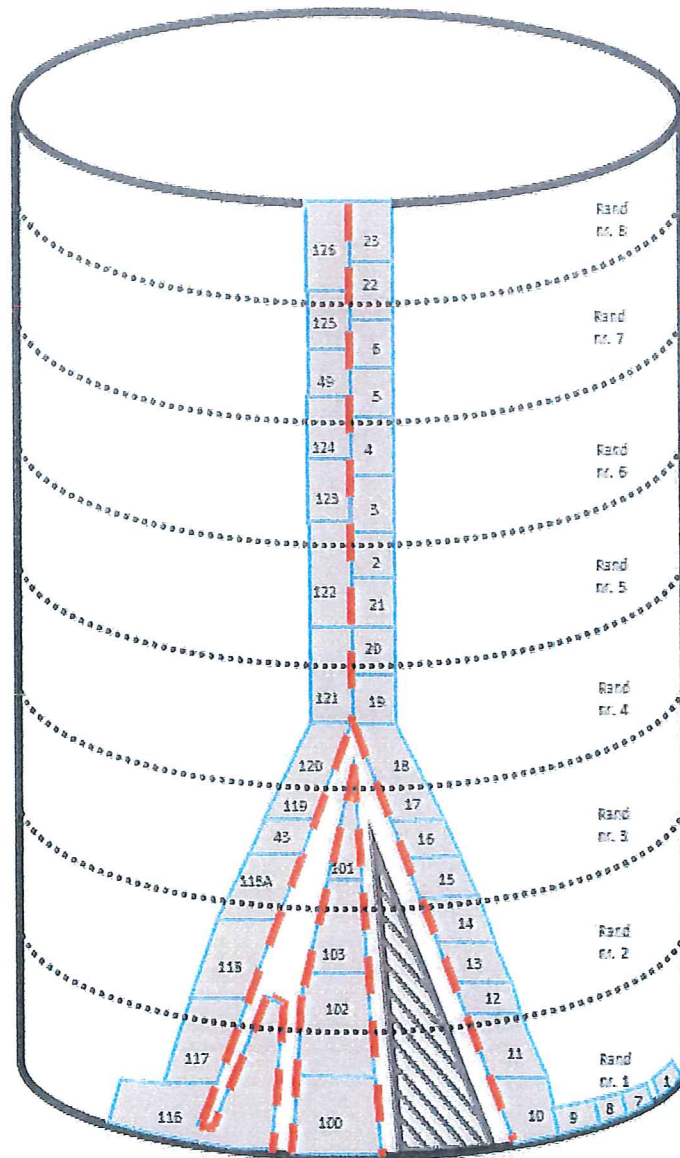
Volumen 300m rør = 55 m<sup>3</sup>

Volumen 400m rør = 73 m<sup>3</sup>



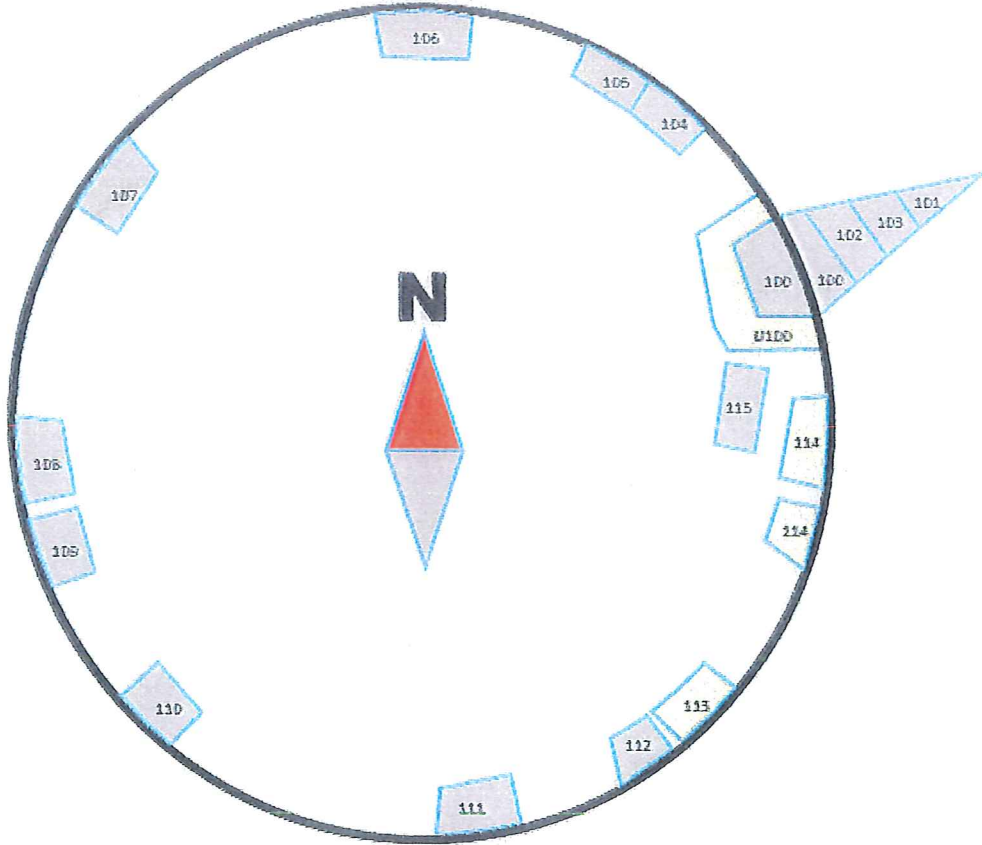
Bilag 6.1

Skitser af udtagne pladestykker og deres nummerering



Bilag 6.2

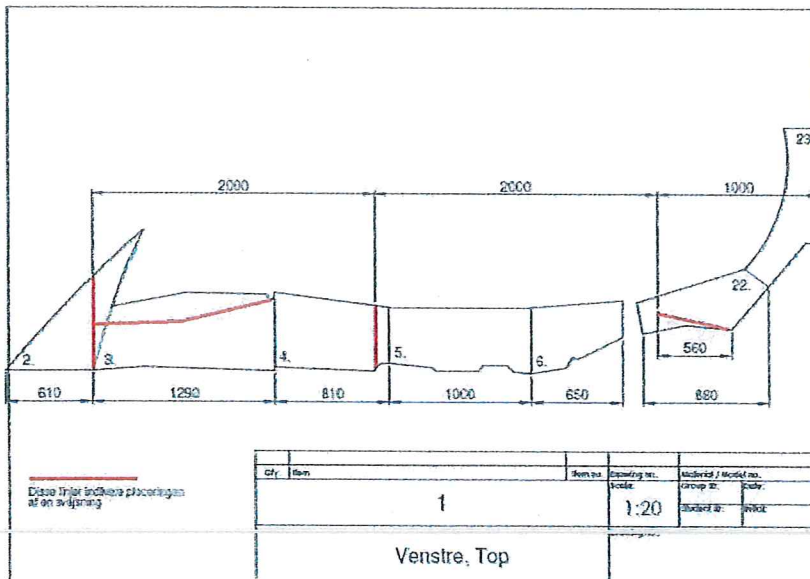
Skitser af udtagne pladestykker og deres nummerering



Plademateriale fra svøb og ny bund



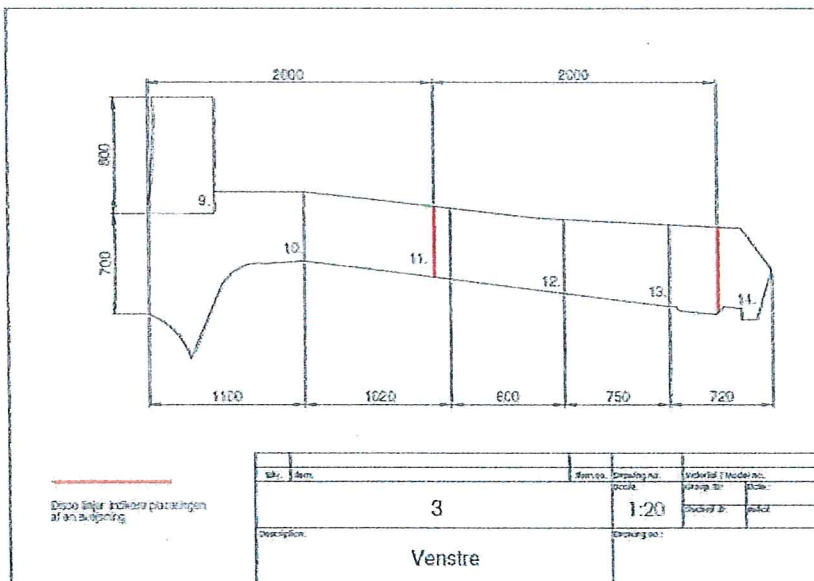
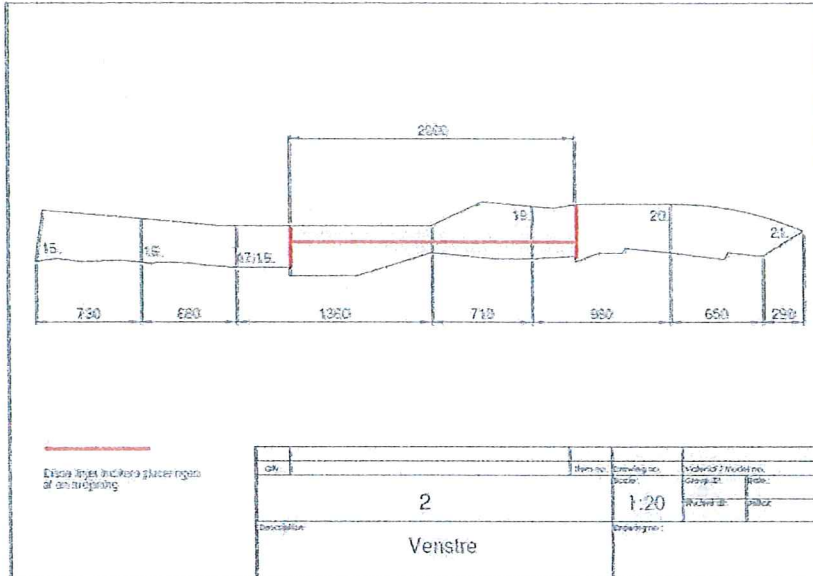
Plademateriale fra gammel bund





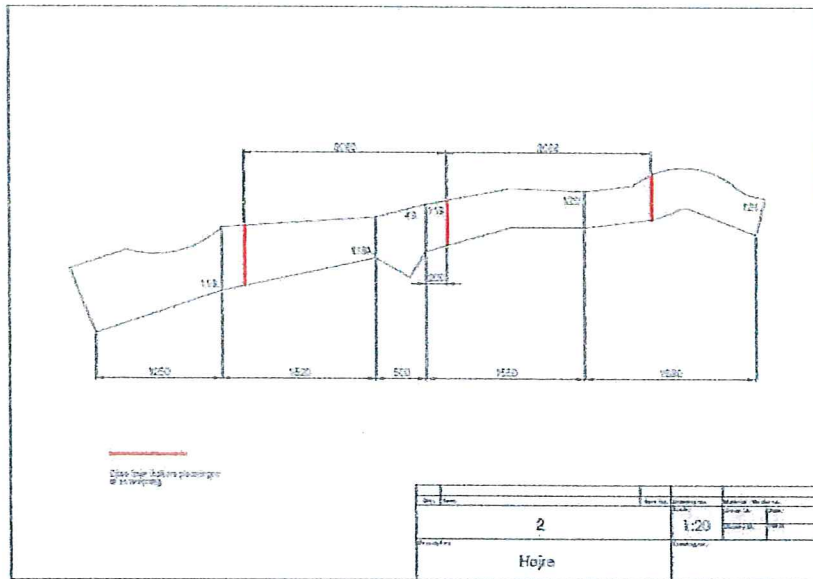
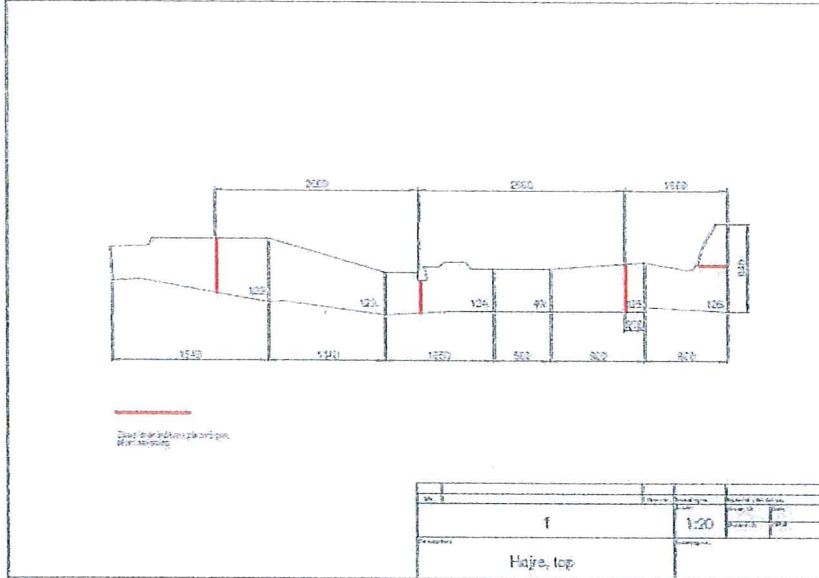
Bilag 6.3

Skitser af udtagne pladestykker og deres nummerering



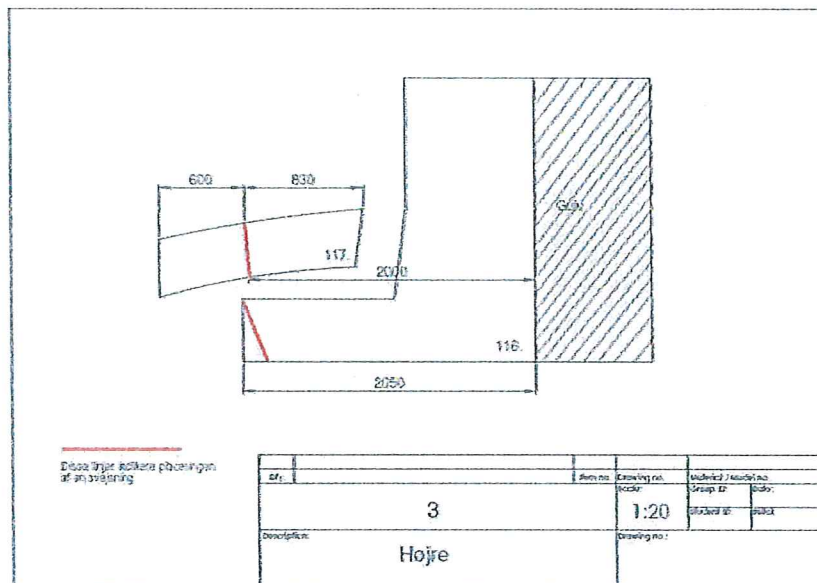
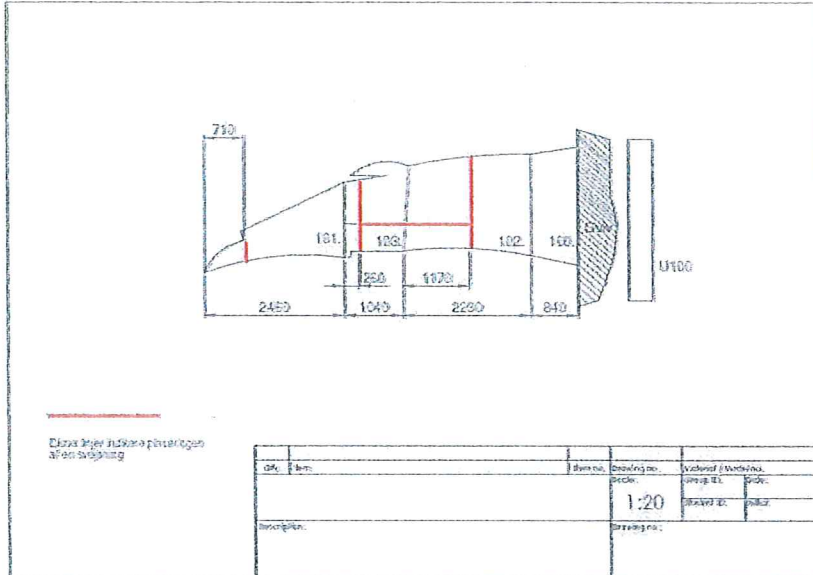
Bilag 6.4

Skitser af udtagne pladestykker og deres nummerering



Bilag 6.5

Skitser af udtagne pladestykker og deres nummerering





## Bilag 7.1

### Metallurgiske termer

Følgende afsnit har til formål at informere omkring karakteristikken bag observerede brudflader på Tank 7.

#### Chevron mærks

Chevron marks eller sildebensmønster er betegnelsen for en brudflade bestående af et nærmest pileformet mønster. Chevron marks er karakteristisk for hurtige sprøde brud med ringe brudforlængelse. Følges det pilformede spor findes stedet, hvor bruddet er startet.

Kilde: Metallurgi for ingeniører, 9. udgave 3. oplag 2009, af Conrad Vogel, Celia Juhl og Ernst Maahn

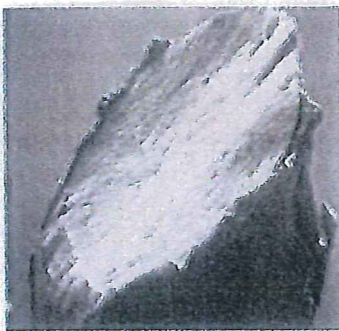


Figur 38: Eksempel på Chevron marks. Kilde: [www.metallurgist.com](http://www.metallurgist.com)

#### Sejt brud

Sejt brud er karakteriseret ved stor plastisk (blivende) deformation. Efterhånden indsnøres brudstedet og til sidst sker forskydningsbrud. Brudfladen fremstår forskudt med en typisk hældning på omkring 45° til emnets overflade. Afhængig af blandt andet godstykkelser, kraftpåvirkning og spændingstilstand kan brudfladen optræde som rent sejt brud eller som en kombination af både sejt og sprødt brud.

Kilde: Metallurgi for ingeniører, 9. udgave 3. oplag 2009, af Conrad Vogel, Celia Juhl og Ernst Maahn. Metals Handbook, 8th Edition, VOL. 10, Failure Analysis Prevention.



Figur 39: Eksempel på sejt brud. Kilde: Systematische Beurteilung technischer Schadensfälle, 5. Auflage, Herausgegeben von G. Lange.

**Bilag 8.1**

**Prøver udtaget til mekanisk prøvning og metallurgiske undersøgelser  
Emneoversigt**

Følgende emner er undersøgt som grundlag for analyse:

Brudstyrke, forlængelse og kemisk sammensætning

RAND	Plade	Mærkning
1	30	P30R1H P30R1V
2	14	P14R2H P14R2V
3	14	P14R3H P14R3V
4	20	P20R4H P20R4V
5	20	P20R5H P20R5V
6	4	P4R6H P4R6V
7	5	P5R7H P5R7V
8	61	P61R8H P61R8V
5/6	2	P2R5-6T1 P2R5-6T2
	122	P122R5-6T1

Makro / mikro

RAND	Plade	Mærkning
1	30	P30R1M1 P30R1M2*
5/6	2	P2R5M1*
	122	P122R5-6M1 P122R5-6M2

Hårdhedsmåling (Vickers)

RAND	Plade	Mærkning
1	30	P30R1M1
5/6	2	P2R5M1

Bilag 9.1

Resultater af mekanisk prøvning og kemisk analyse  
Trækprøvning

Vort mærke	Retning	Areal mm <sup>2</sup>	Temperatur °C	R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> %	Note
P30R1	Vertikal	80,76	Rt.	280	413	35,5	-
P14R2	Vertikal	81,09	Rt.	281	466	30,5	-
P14R3	Vertikal	81,31	Rt.	291	459	30,0	-
P20R4	Vertikal	80,86	Rt.	277	400	34,0	-
P20R5	Vertikal	80,89	Rt.	305	431	29,0	-
P4R6	Vertikal	72,30	Rt.	306	420	34,0	Reduceret Prøve *
P5R7	Vertikal	74,56	Rt.	343	468	25,5	Reduceret Prøve *
P61R8	Vertikal	81,11	Rt.	291	379	40,5	-
P30R1	Horisontal	81,18	Rt.	314	487	34,0	-
P14R2	Horisontal	78,67	Rt.	285	383	43,5	-
P14R3	Horisontal	65,78	Rt.	301	421	36,5	Reduceret Prøve *
P20R4	Horisontal	80,69	Rt.	312	421	35,0	-
P20R5	Horisontal	81,21	Rt.	301	410	34,0	-
P4R6	Horisontal	81,14	Rt.	326	441	29,0	-
P5R7	Horisontal	80,79	Rt.	279	392	36,5	-
P61R8	Horisontal	65,43	Rt.	357	470	32,0	Reduceret Prøve *

Test emner bearbejdet ifølge DS/EN ISO 6892-1:2013.

Provernes tykkelse (5,0 mm) er slebet ned til reduceret mål, på grund af rusttætning \*



## Bilag 9.2

## Resultater af mekanisk prøvning og kemisk analyse

Materialeanalyse vha. Optisk Emissions Spektrometri (OES). Analysen er udført på en SpektromaXX, og det angivne resultat er et gennemsnit af 3 målinger.

Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P30R1H						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,092	0,064	0,510	0,028	0,012	0,065	0,033
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,008	0,053	0,037	0,012	0,001	0,003	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,021	0,070	0,010	<0,0002	Bal.		

Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P14R2H						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,072	<0,002	0,442	0,033	0,014	0,054	0,034
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,008	0,001	0,034	0,012	0,001	0,002	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,016	0,075	0,010	<0,0002	Bal.		

Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P14R3H						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,114	<0,002	0,431	0,033	0,021	0,065	0,035
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,009	0,001	0,038	0,013	<0,001	0,002	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,022	~0,083	0,009	<0,0002	Bal.		

Bilag 9.3

Resultater af mekanisk prøvning og kemisk analyse  
Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P20R4H

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,050	<0,002	0,375	0,038	0,026	0,050	0,038
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,009	0,001	0,040	0,014	0,001	0,001	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,031	~0,093	0,014	<0,0002	Bal.		

Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P20R5H

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,082	<0,002	0,423	0,039	0,023	0,065	0,036
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,009	0,001	0,044	0,014	0,001	0,002	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,022	0,080	0,011	<0,0002	Bal.		

Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P4R6H

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,062	<0,002	0,474	0,022	0,023	0,045	0,036
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,009	0,001	0,045	0,014	0,001	0,002	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,012	0,076	0,008	<0,0002	Bal.		

Bilag 9.4

Resultater af mekanisk prøvning og kemisk analyse  
Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P5R7H						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,033	<0,002	0,412	0,020	0,009	0,056	0,034
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,009	0,007	0,037	0,012	0,001	0,002	<0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,009	0,049	0,007	<0,0002	Bal.		

Kemisk sammensætning (masse-%)

Vort mærke P61R8H						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,044	<0,002	0,369	0,017	0,008	0,057	0,032
Mo	Al	Cu	Co	Ti	V	W
0,009	0,004	0,042	0,014	0,001	0,002	0,007
Sn	As	N	B	Fe		
0,018	0,056	0,006	<0,0002	Bal.		

Formel for beregning af kulstofækvivalent,  $C_{eq}$

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

$C_{eq}$ , P30R1H: 0,20

$C_{eq}$ , P14R2H: 0,16

$C_{eq}$ , P14R3H: 0,21

$C_{eq}$ , P20R4H: 0,13

$C_{eq}$ , P20R5H: 0,17

$C_{eq}$ , P4R6H: 0,16

$C_{eq}$ , P5R7H: 0,12

$C_{eq}$ , P61R8H: 0,12



## Bilag 10.1

## Resultater af opmåling af godstykkelser og grubetæringer

Opmålingen af godstykkelse er hos Teknologisk Institut foretaget vha. kalibreret skydelære.

Plade / rand	Position	1	2	3	4	5	Gns.	Plade mindste mål
117/1	Dybde	2,8	2,3	1,9	1,7	1,2	2,0	18,2
	Udbredelse	Ø16,5	28,6*14,9	Ø8,6	Ø15,0	Ø5,4	-	
118/2	Dybde	4,1	3,7	2,6	3,1	2,6	3,2	15,4
	Udbredelse	25,0*21,7	17,5*20,9	Ø14,1	Ø8,4	Ø16,4	-	
118A/3	Dybde	2,9	1,8	2,0	1,5	2,2	2,1	12,7
	Udbredelse	16,9*12,8	Ø5,4	Ø8,8	20,9*10,2	16,0*6,1	-	
121/4	Dybde	1,6	1,1	1,6	1,7	1,9	1,6	10,1
	Udbredelse	10,7*10,1	Ø7,3	Ø7,4	Ø5,7	Ø7,5	-	
121/5	Dybde	2,8	2,1	2,3	2,0	2,2	2,3	8,3
	Udbredelse	9,0*15,5	Ø7,4	15,1*10,7	Ø7,5	6,0*9,7	-	
122/5	Dybde	2,8	3,5	2,6	1,9	2,0	2,6	8,3
	Udbredelse	Ø13,1	Ø9,0	Ø5,7	8,8*7,6	5,8*10,8	-	
122/6	Dybde	3,8	2,8	2,7	2,5	2,3	3,0	6,4
	Udbredelse	23,5*29,8	Ø9,2	Ø6,6	Ø7,3	Ø19,7	-	
124/7	Dybde	2,2	2,3	1,4	1,2	1,7	1,7	5,3
	Udbredelse	12,7*8,5	9,0*5,7	Ø6,6	Ø9,0	Ø5,9	-	
126/8	Dybde	1,3	1,3	0,9	0,8	0,9	1,0	5,3
	Udbredelse	Ø4,0	Ø4,4	13,5*9,3	Ø8,3	Ø4,8	-	

Plade/rand	1	2	3	4	5	Gns.
117 / 1	19,4	19,7	19,7	19,5	19,3	19,5
118 / 2	16,8	16,3	16,2	16,2	16,0	16,3
118A / 3	13,8	13,4	13,8	13,6	13,9	13,7
121 / 4	11,1	10,9	11,1	11,2	11,0	11,0
121 / 5	9,1	9,1	8,6	8,7	8,9	8,9
122 / 5	8,8	8,9	8,9	9,0	8,7	8,9
122 / 6	7,1	7,1	7,1	7,4	7,4	7,2
124 / 7	6,1	6,0	6,0	6,2	6,0	6,1
126 / 8	6,1	6,1	6,0	5,9	6,1	6,0



Bilag 11.2

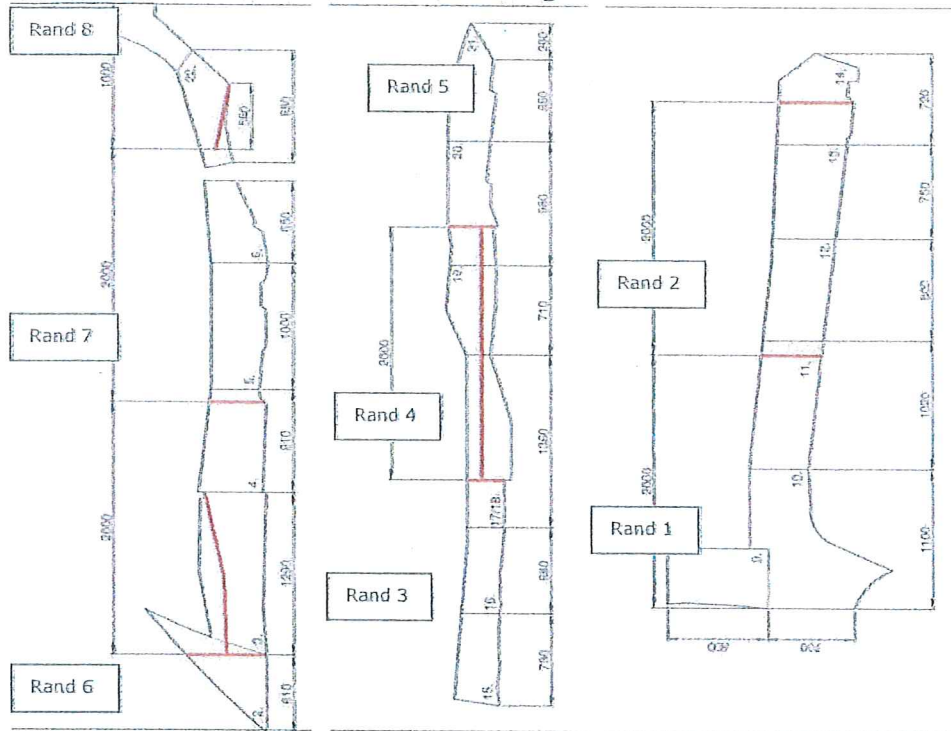
Resultater af brudfladekarakterisering

Plade nr.	Brudflade karakteristika
10	CM peger mod top, følger derefter svejsning på ydersiden
11	CM peger mod top
12	CM peger mod top
13	CM peger mod top
14	CM peger mod top
15	CM peger mod top
16	CM peger mod top
17-18	Korrosion på brudflade. CM peger mod top
19	Korrosion på brudflade. Sprødt brud
20	Korrosion på brudflade. Forskydningslæbe indtil 10 cm fra Rand 4, derfra CM pegende mod top på Rand 4
21	Korrosion på brudflade. Sejt brud, forskydningslæbe
2	Korrosion på brudflade. CM peger mod toppen. 10cm fra svejsning derefter Sejt brud, forskydningslæbe
3	Korrosion på brudflade. CM peger mod bund
4	Korrosion. Sprødt brud. CM peger mod bund
5	Korrosion. Sejt brud, forskydningslæbe
6	Korrosion. Sejt brud, forskydningslæbe
22	Sejt brud, forskydningslæbe
23	Sejt brud, forskydningslæbe



Bilag 11.3

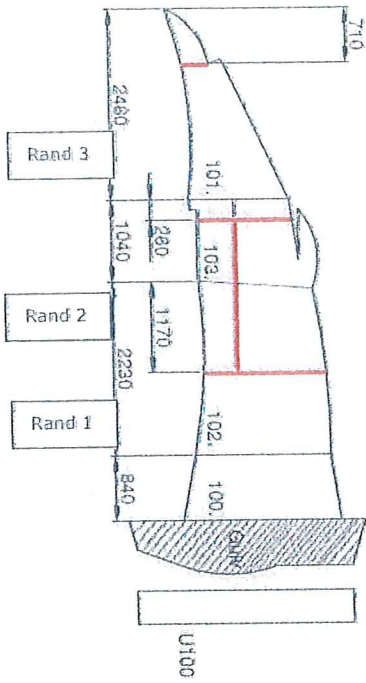
Resultater af brudfladekarakterisering



Plade nr.	Brudfladekarakteristika
100H	CM peger mod top
100V	CM peger mod top
102H	Sprødt brud, korrosion, beskidt
102V	Beskidt, CM peger mod top
103H	korrosion
103V	Sprødt brud, ingen deformation
101H	CM mod top
101V	Sprødt brud, korrosion, beskidt

### Bilag 11.4

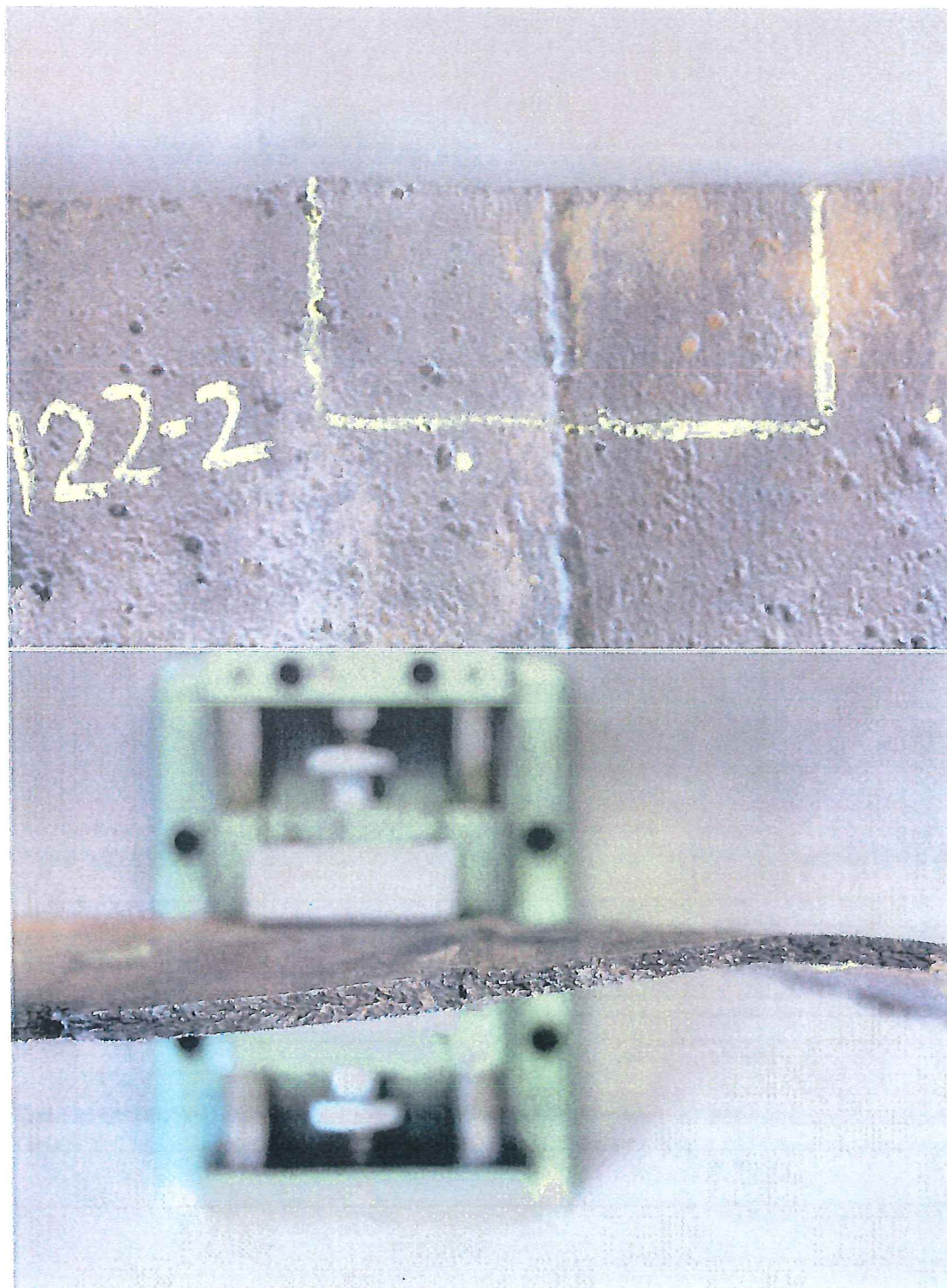
### Resultater af brudfladekarakterisering



Bilag 12.1

Undersøgelser af svejsning mellem rand 5 og 6

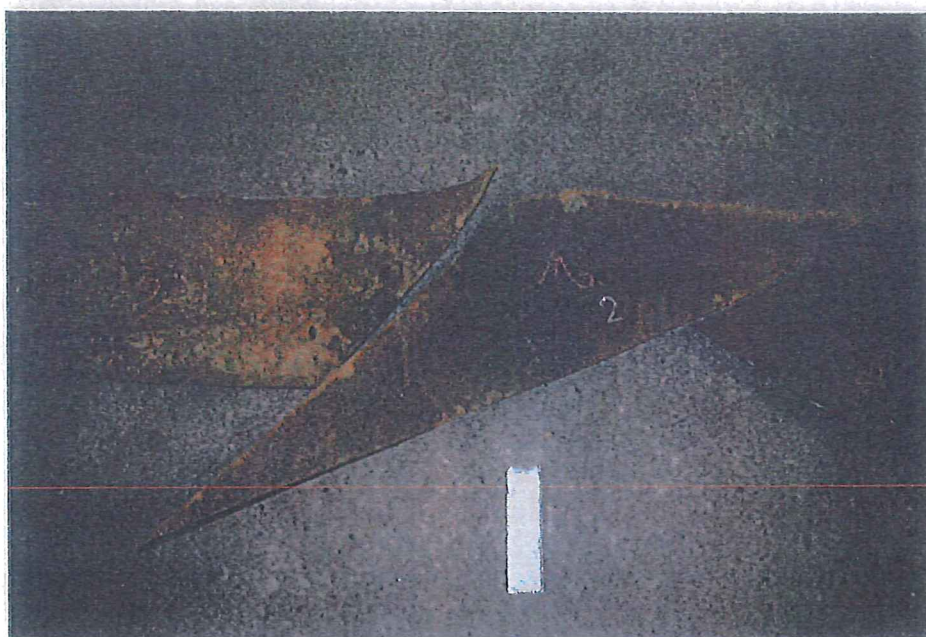
Plade 122





Bilag 12.2

Undersøgelser af svejsning mellem rand 5 og 6



TRÆKPRØVNING

DS/EN ISO 6892 1:2013

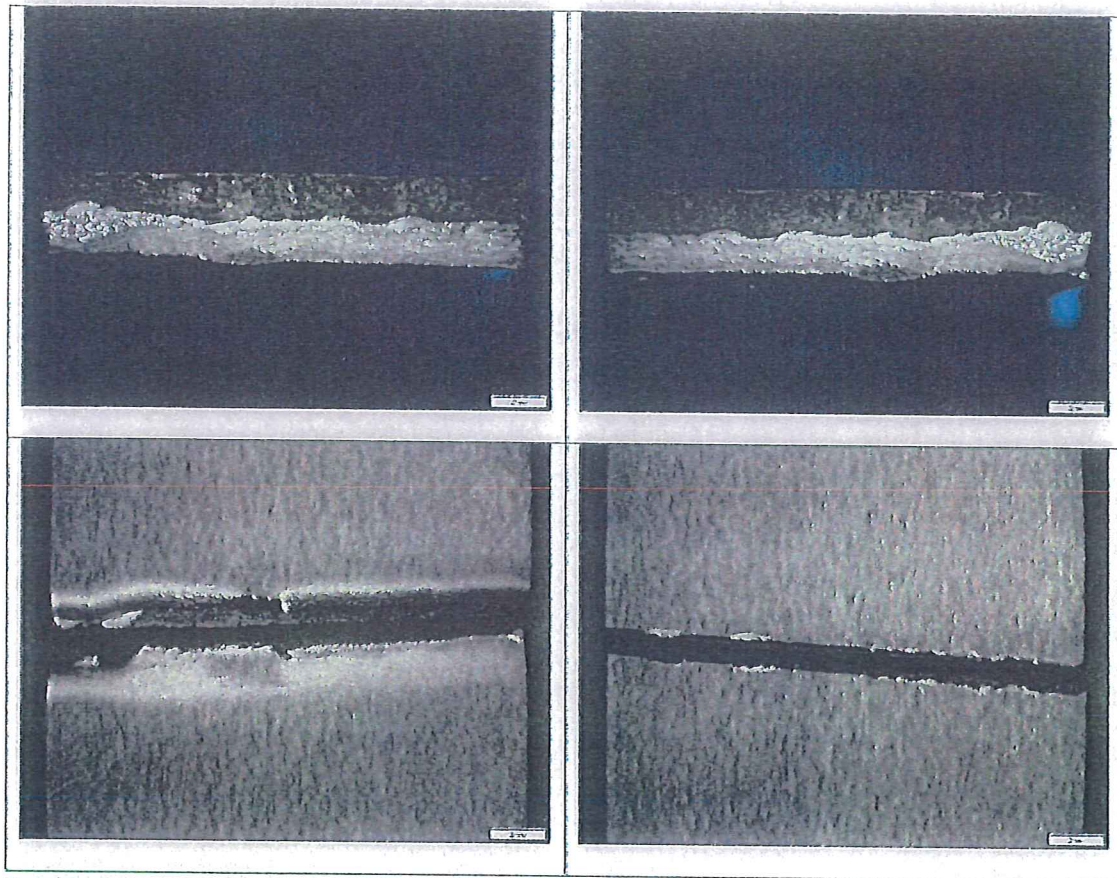
Vort mærke	Type	Retning	Temperatur °C	Areal mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Brudsted
P2R5-6 T1	-	Tværs	Rt.	95,69	456	R5
P122R5-6 T1	-	Tværs	Rt.	101,09	250	Svejsning
P2R5-6 T2	-	Tværs	Rt.	89,29	418	R5

Prøveemne(r) iht. DS/EN ISO 4136:2012.

Prøveemner har været bearbejdet ned i tykkelse pga. korrosion.

Bilag 12.3

Undersøgelser af svejsning mellem rand 5 og 6

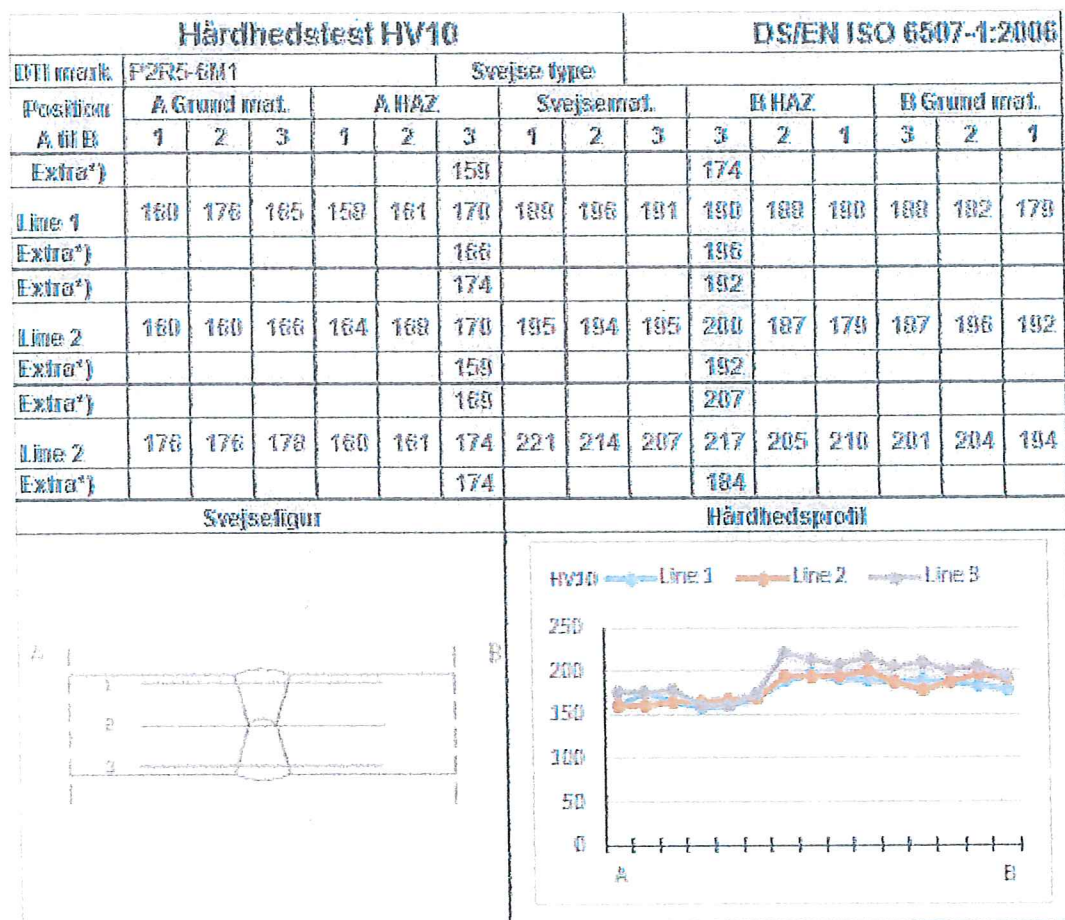


Trækprøve P122R5-6, brudt i svejsning



Bilag 12.4

Undersøgelser af svejsning mellem rand 5 og 6



Usikkerheden på den enkelte hårdhedsmåling er  $\pm 2,1\%$  af måleværdien ( $k=2$ ).

\*) Målepunkter er iht. EN ISO 9015-1:2011, inkluderet krydsmålinger nær fusion line (værdi for øverste hhv. nederste målepunkt).