

# RAPPORT

Sjø 2012/06



## RAPPORT OM SJØULYKKE M/S SOLLIFJELL HUSTADVIKA 24. MARS 2010

 English summary included

*Statens havarikommisjon for transport (SHT) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre sjøsikkerheten. Formålet med en sikkerhetsundersøkelse er å klarlegge hendelsesforløp og årsaksfaktorer, utrede forhold av betydning for å forebygge sjøulykker og bedre sjøsikkerheten, og offentliggjøre en rapport med eventuelle sikkerhetstilrådinger. Kommisjonen skal ikke vurdere sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar. Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sjøsikkerhetsarbeid bør unngås.*

Foto av vestlandsferje: Bente Amandussen

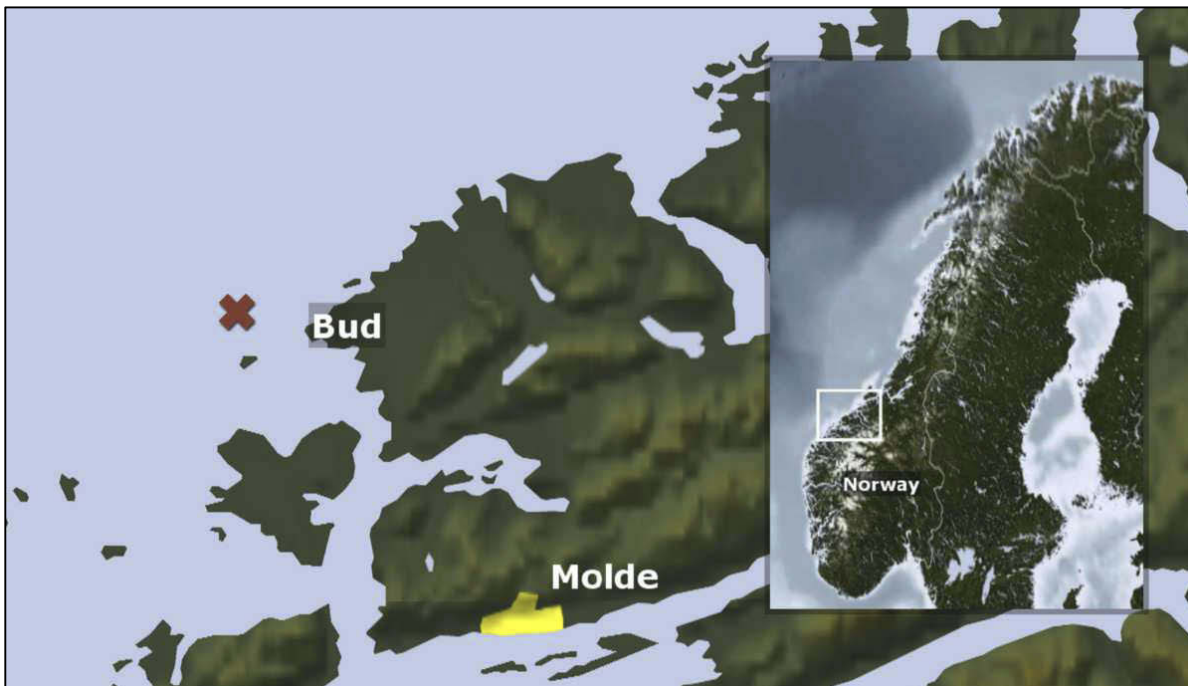
**INNHOLDSFORTEGNELSE**

MELDING OM ULYKKEN .....	3
SAMMENDRAG.....	3
ENGLISH SUMMARY .....	4
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER .....	4
1.1 Detaljer om fartøyet og ulykken .....	4
1.2 Hendelsesforløpet .....	5
1.3 Skader på fartøy .....	7
1.4 Tekniske undersøkelser av fartøyet – DNV .....	9
1.5 Rederi og mannskap.....	11
1.6 Tekniske registreringssystemer.....	12
1.7 Vær- og sjøforhold.....	13
1.8 Aktører og rollefordeling .....	16
1.9 Anbudsprosess .....	20
1.10 Regelverk og sertifisering .....	25
1.11 Bygging av fartøyet.....	26
1.12 Fullskalatest og operasjonsbegrensninger.....	36
1.13 Gjennomførte tiltak - status på fartøyene i dag.....	50
2. ANALYSE.....	50
2.1 Innledning .....	50
2.2 Vurdering av hendelsesforløpet .....	52
2.3 Rederi.....	54
2.4 Bruk av begrepet signifikant bølgehøyde .....	54
2.5 Anbudsprosess .....	55
2.6 Design og konstruksjon.....	55
2.7 Fullskalatest/sjøprøvene.....	59
2.8 Fastsettelse av operasjonsbegrensninger og utstedelse av operasjonstillatelse .....	60
2.9 Overlevering .....	61
2.10 Vurdering av tilsynsrollen.....	62
3. KONKLUSJON .....	62
3.1 Prototype/ nytt design .....	63
3.2 Kvalitetssikring i byggeprosessen.....	63
3.3 Fullskalatest og tilsynet.....	63
3.4 Signifikant bølgehøyde .....	63
4. SIKKERHETSTILRÅDINGER .....	64
DEFINISJONER.....	65
VEDLEGG.....	67

## MELDING OM ULYKKEN

Havarikommisjonen mottok den 24. mars 2010 melding om at den nybygde hurtigbåten M/S Sollifjell-LNFR hadde søkt nødhavn ved Bud i Romsdal etter å ha fått en alvorlig skrogskade på Hustadvika. Hurtigbåten var underveis for egen maskin til sitt ruteområde i Troms fylke.

Vakhavende havariinspektør mottok senere samme dag en rapport samt bilder fra Sjøfartsdirektoratets representant i Kristiansund, som konkluderte at Sollifjell ikke lenger var sjødyktig. Etter å ha samlet ytterligere informasjon besluttet havarikommisjonen den 26. mars 2010 å undersøke hendelsen.



Figur 1: Stedsangivelse for havariet.

## SAMMENDRAG

Hurtigbåten Sollifjell er et passasjerfartøy bygget i karbonmateriale. Fartøyet er et nytt konsept selv om undervannsskrog er en kjent og velprøvd konstruksjon. Den ble levert fra nybyggingsverftet til operatøren Veolia 22. mars 2010. (Operatøren har byttet navn til Boreal, men vil bli omtalt som Veolia i denne rapporten). To dager senere fikk Sollifjell omfattende skrogskader i forpartiet da det var på vei fra nybyggingsverftet i Mandal til ruteområdet i Troms fylke. Fartstillatelsen som hadde blitt gitt ved overlevering fra verftet ble etter ulykken trukket tilbake av Sjøfartsdirektoratet da fartøyet ikke lenger var å betrakte som sjødyktig.

Sollifjell hadde fått fartstillatelse til forseiling fra Mandal til Tromsø i fartsområde liten kystfart. Bemanningen skulle bestå av fører, overstyrmann og maskinsjef, men maksimum 4 personer om bord. Da havariet skjedde vest for Bud på Mørgekysten hadde Sollifjell et mannskap på 4 om bord. Fartøyet skulle settes i trafikk i hurtigbåtruta mellom Harstad og Tromsø.

Undersøkelsen søker å rette fokuset på prosessen som har foregått fra anbudsinnbydelse, kontraktsinngåelse, byggeprosess, relevante forhold under testing, overlevering og operative aspekt

knyttet til forseilingen, samt de rammevilkår knyttet til regulering og bygge-oppfølging mot ferdigstillelse av hurtigbåten.

Havarikommisjonen betrakter årsaksforholdene rundt denne ulykken som et resultat av en uheldig konstruksjonsløsning foran våtdekket med skråpanel med stor vinkel.

Havarikommisjonen fremmer ingen sikkerhetstilrådninger i rapporten, men vil allikevel påpeke at det er avdekket flere områder med forbedringspotensiale. Det er grunnlag for å anbefale at aktørene enkeltvis og i fellesskap gjennomgår sine rutiner for å sikre at de ulike prosessene ivaretas tilfredsstillende.

## ENGLISH SUMMARY

The passenger vessel MS Sollifjell is a High Speed catamaran built in carbon composites. The vessel is a new concept with a known underwater carriage. The vessel was delivered to the owner Veolia at the shipyard 22. March 2010. Two days later Sollifjell was severely damaged in the bow area after encountering waves on its maiden voyage from the shipyard to its operating area in North Norway. The operating permit given by the Norwegian Maritime Directorate was immediately withdrawn, as the vessel was in non-operating condition.

Sollifjell had an extended certificate for the transport voyage from Mandal to Tromsø, and was manned according to certificates that stated maximum 4 persons onboard. The vessel was on transit to its operating route between Tromsø and Harstad, according to tender for the public transport.

This accident investigation have been carried out with focus on the process from tender, contracts, regulations, building, testing, handover and operation of the vessel.

The Accident Investigation Board regards the accident as a result of a bad design solution in front of the wet deck with a panel with large angle.

This report will not present any safety recommendation's, but will point out that there have been uncovered several areas with room for improvement. There are reasons to recommend the involved parties to review their routines to ensure that all the process is taken care off in a satisfying manner.

## 1. FAKTISKE OPPLYSNINGER

### 1.1 Detaljer om fartøyet og ulykken

#### *Fartøydetaljer*

Rederi	Veolia Transport Nord (Senere benevnt Veolia)
ISM-ansvarlig	Veolia Transport Nord
Hjemhavn	Harstad
Flaggstat	Norge
Type	Sea Lord 35 Carbon Cat
Byggeår	2009 (strekking av kjøl)
Konstruksjonsmateriale	Karbonsandwich
Lengde over alt	35,30 mtr
Bruttotonnasje	369 BrT
Passasjerkapasitet	250 personer

Maskinkraft	2 x MTU 12V 2000 M72, 1,080 kW ved 2,250 RPM
Servicehastighet	33 knop
Kontraksverft	Båtservice Mandal A/S
Andre leverandører	LMG Marine AS (Lund, Mohr & Giæver-Enger Marin AS), Bergen (konstruksjon) Tuco Composites ApS, Danmark (skrog)



Figur 2: Sollifjell som levert fra verftet i Mandal.

#### *Detaljer om ulykken*

Tid og dato	Ca. klokken 1003 (lokal tid) den 24. mars 2010
Havaristed	Hustadvika
Personer om bord	Besetning på 4, ingen passasjerer
Skadde/døde	Ingen
Materielle skader	Skrogskader

## 1.2 Hendelsesforløpet

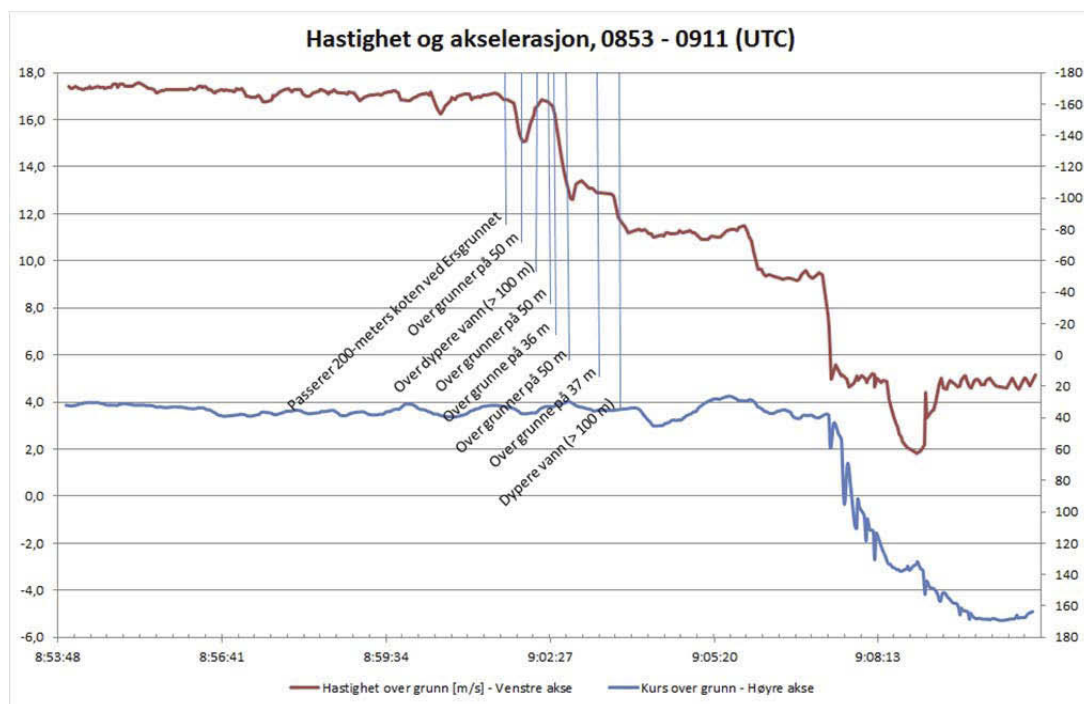
Onsdag 23. mars 2010 la den nybygde og sertifiserte katamaranen Sollifjell fra kai på Gismerøya ved Mandal med kurs mot Harstad. Fartøyet hadde en besetning på 4 personer, og ingen passasjerer om bord, som var i henhold til tillatelsen gitt for forseilingen. Seilassen til Harstad var planlagt å vare i 3 dager. Fartøyet var det første av tre nye skip som skulle trafikkere sambandet Tromsø – Finnsnes – Harstad. Sollifjell ble bygget etter en anbudsprosess i regi av Troms fylkeskommune, hvor operatøren Veolia vant anbudskonkurransen. Sollifjell fikk fartstillatelse fra Mandal til Tromsø for forseilingen.

Seilassen fra Mandal til Måløy foregikk i tidsrommet 0730 til 1730 og forløp i følge mannskapet uten problemer. Seilassen frem til Lindesnes forgikk i redusert hastighet (22 knop) da fartøyet hadde noe motsjø, deretter foregikk seilassen i maksimal hastighet på rundt 33 knop. Seilassen nordover fra Måløy startet torsdag 24. mars 2010 klokken 0725. Det var vest sørvest laber bris med god sikt, og seilassen foregikk i all hovedsak innaskjærs. Rundt Stadt og ved passering av Hustadvika er det større åpne havstreck som er eksponert for bølger fra storhavet. I 10-tiden seilte Sollifjell nordover i Budadjupet utenfor Mørekyten. Sollifjell holdt da maksimal fart på omkring 33 knop, hvilket også samsvarte med hastigheten som Sollifjell holdt tidligere på seilassen. Da fartøyet var i området rett vest av Bud i nærheten av Ersgrunnen i tidsrommet 1001 – 1004 hørte

mannskapet et kraftig smell fra våtdekket. Dette skjedde i det fartøyet dukket ned i det mannskapet beskrev som tunghalinger eller en tyngre dønning (tidsrommet fremkommer av AIS-track).

Mannskapet reduserte da fartøyets hastighet til ca. 22 knop. Omkring et minutt etter det kraftige smellet gikk lensebrønnalarmene til tørrtankene i begge skrog. Mannskapet besluttet å sjekke tørrtankene og kunne konstatere at begge tankene tok inn vann. Det ble gitt beskjed til broen om å redusere farten ytterligere. Dette var omkring klokken 1007-1008 (ref. mannskap/AIS track).

På dette tidspunktet nærmet Sollifjell seg Hustadvika og hastigheten var nå nede i 10 knop samtidig som fartøyet ble dreid mot styrbord. Klokken 1008 ble hastigheten ytterligere redusert og den gikk i 4 knops fart, se figur 3. Mannskapet startet lensing av tankene i begge skrogene. Styrbord pumpe gikk tett på grunn av mye løs fiber, og de tok i bruk en portabel lensepumpe. Tankene ble lenset tørre.



Figur 3: Hastighetsplott med kompasskurser for Sollifjell for perioden mellom klokken 0953 – 1011. (Fra Kystverkets AIS-data)

På samme tid som tørrtankene ble sjekket kunne mannskapet observere at deler av skroget i tunneltoppen (våtdekk) var borte og at det var åpent mellom passasjerdekket og sjøen. Det ble konstatert at skrogene ikke tok inn mer vann når de gikk i sakte fart. Kapteinen besluttet å søke nødhavn og valget falt på Bud som den nærmeste egnede havn. Fra klokken 1009 økte Sollifjell hastigheten til 9 knops fart og seilte sydover mot Bud havn uten at de tok inn ytterligere vann. De la til kai klokken 1130.

Kontakt med rederi ble opprettet underveis mot land. Sjøfartsdirektoratets kontor i Kristiansund varslet kort tid etter at de ville foreta en inspeksjon etter ankomst Bud.

Etter inspeksjon utført av stedlig representant fra Sjøfartsdirektoratet 24.mars 2010, ble skipets fartstillatelse inndratt og Sollifjell ble liggende ved kai.

Den 15. april 2010 ble en del av våtdekket til Sollifjell funnet på Folda, sørvest av Rørvik, og dette ble fraktet til havarikommisjonen for analyse.

### 1.3 Skader på fartøy

På oppdrag fra havarikommisjonen har Det norske Veritas (DNV) gjort en skadeanalyse av fartøyet. Analysen omhandler blant annet en kartlegging av skadene. Følgende om skader oppsummeres av havarikommisjonen fra denne rapporten:

*Sollifjell hadde betydelige skader på skrog og struktur. Et skråpanel i forkant av våtdekket er slått inn på babord side, og et ca. 25 m<sup>2</sup> areal av ytterpanelet på våtdekket er revet av. Langsgående skott har knusninger, er forskjøvet og løsnet. Det er også funnet sprekker i forkant av overbygg og passasjerkabin, samt lokale forskyvninger flere steder i overbygget. For ytterligere informasjon om skader vises det til vedlegg A i denne rapport.*



*Figur 4: Sollifjell til kai ved Vegsund Slipp. Remser av karbonlaminat fra våtdekket vises i forre del av tunneltoppen mellom de to skrogene.*

Fartøyet er konstruert og bygget i karbonsandwich materiale med god oppdrift.





Figur 5: Skråpanelet i forre del av våtdekket er trykket inn.



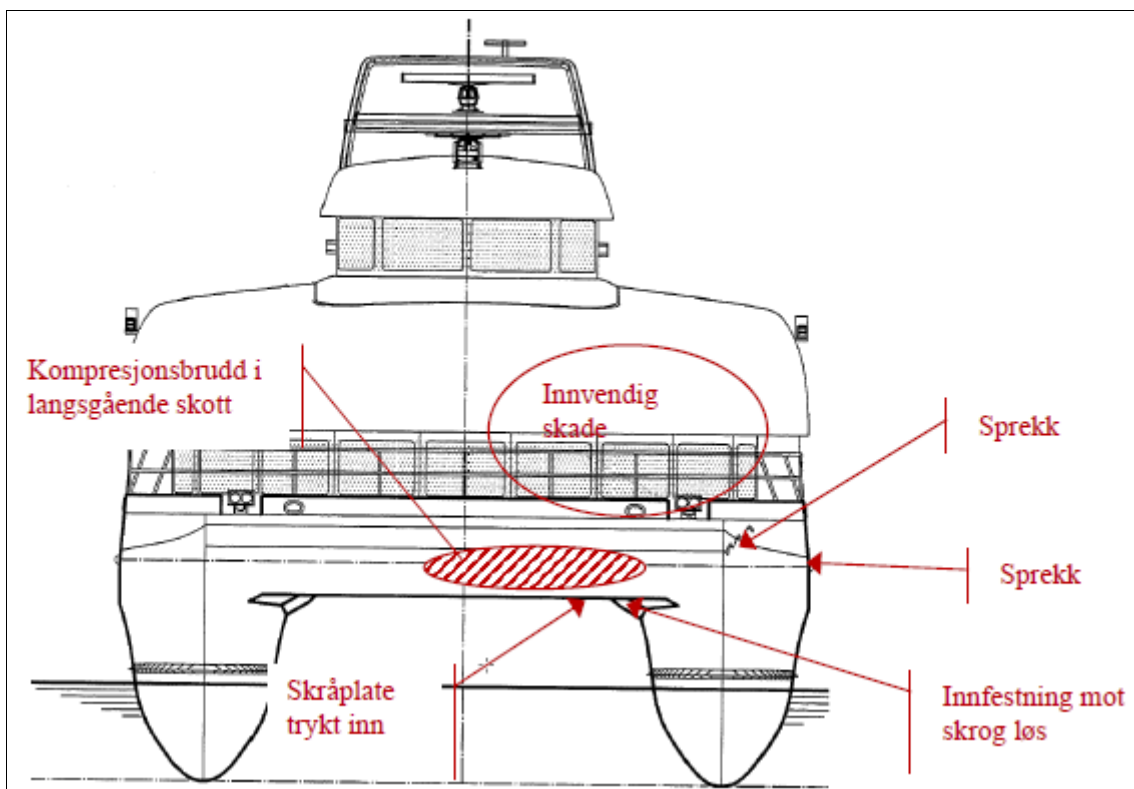
Figur 6: Bildet viser at et ca. 25 m<sup>2</sup> areal av våtdekket bak skråpanelet er revet av.



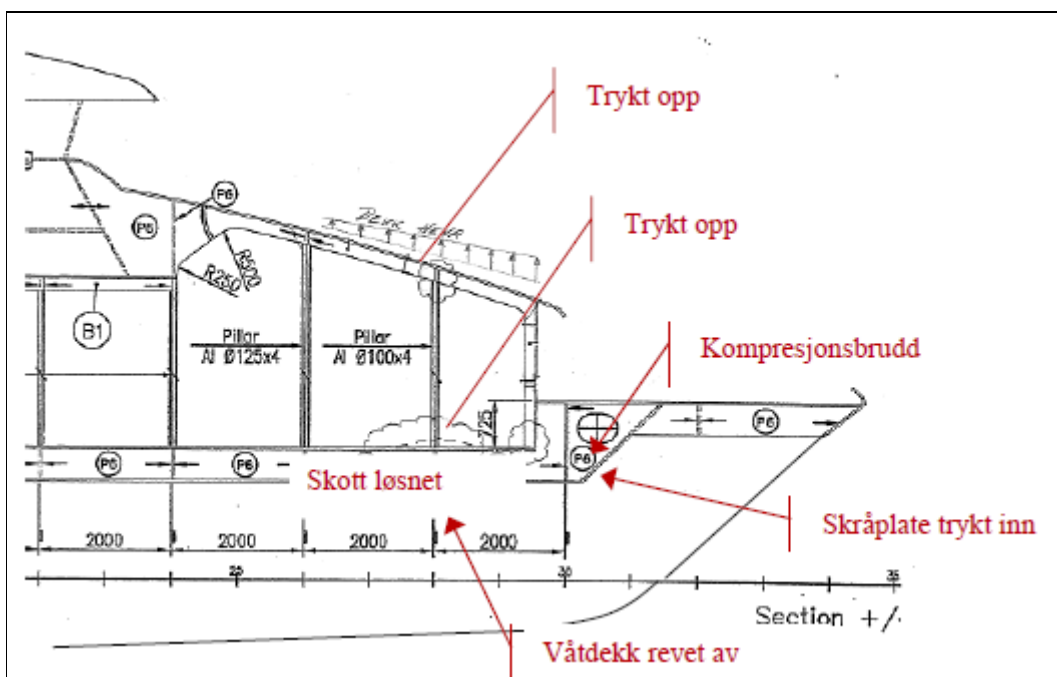
Figur 7: Knekk og bulk i laminat på skråpanelet.



Figur 8: Avrevet og knekt bjelke fra skråpanel.



Figur 9: Skader – utvendig. (Illustrasjon: DNV)



Figur 10: Skader – innvendig. (Illustrasjon: DNV)

## 1.4 Tekniske undersøkelser av fartøyet – DNV

### 1.4.1 Innledning

I tillegg til kartlegging av skadene på fartøyet, har DNV på oppdrag fra havarikommisjonen gjort analyse av skadene med hensyn til å finne mulige årsaker. I

dette inngår en vurdering av materiale, fabrikkasjonsmetode og fabrikkasjon. DNVs vurdering av materiale og fabrikkasjon er begrenset til selve skaden og ikke til fabrikantens kvalitet av hele fartøyet. DNVs fullstendige rapport er gitt i vedlegg A. Sollifjell er konstruert og bygget i karbonsandwich som har en langt lavere elastisitet enn for eksempel aluminium. Dette betyr at der et aluminiums fartøy får en bulk som følge av flyt i materialet vil et karbonfartøy kunne få et brudd.

#### 1.4.2 Belastningsestimater

DNV har vurdert belastning fra bølgeslag på skråpanelet i fremre del av våtdekket. Beregning er gjort ut fra bruddstyrke i støttestrukturen, forenklet teoretisk beregning, samt en tredimensjonal datasimulering av sammenstøt mellom skrog og bølge. Tabell 1 oppsummerer resultatene.

Tabell 1: Sammenstilling av trykkberegninger av bølgeslag på skråpanel i forkant av våtdekk (kilde: DNV)

Metode	Beregnet trykk
Trykk beregnet ut fra bruddstyrke	393 – 737 (kN/m <sup>2</sup> )
Trykk beregnet ved forenklet metode fra faglitteraturen	735 – 1470 (kN/m <sup>2</sup> )
Trykk beregnet ved tredimensjonal simulering	Maksimalverdi i størrelsesorden 850 (kN/m <sup>2</sup> )
Designtrykk brukt ved dimensjonering av fartøyet (Sjøtrykk er brukt som designtrykk)	10 (kN/m <sup>2</sup> )

Beregningene viser at det faktiske trykket skråpanelet ble utsatt for ved bølgeslag som forårsaket skadene, var mer enn 400 kN/m<sup>2</sup> og antageligvis i størrelsesorden 700 – 1500 kN/m<sup>2</sup>. Tabell 1 indikerer at det er benyttet et designtrykk på 10 kN/m<sup>2</sup>, som viser til statisk belastning. Regelverket<sup>1</sup> knyttet til design av området krever at alle områder som kan bli utsatt for slamming belastninger skal beregnes for både statisk og dynamisk belastning. LMG har i sitt underlag til Sjøfartdirektoratet kun vist til statiske belastninger.

#### 1.4.3 Materialprøver

I materialprøver DNV har foretatt etter havariet, er det funnet en del små porer i de prefabrikkerte laminatene. Fibrene er derimot godt fuktet med resin/matrisematerial. Slike små porer har liten betydning for laminatets egenskaper.

Imidlertid er det i en del partier i sekundærlamineringene<sup>2</sup> funnet større utbredelse av porer/hulrom hvor karbonfibrene ikke er fuktet med matrisemateriale. Dette vil gi laminatet dårligere egenskaper, som redusert skjær- og kompresjonsfasthet der de ulike panelene/skrogene er satt sammen.

Tester viser at den interlaminære skjærfastheten er klart lavere for sekundærlamineringer enn for laminat i de prefabrikkerte sandwichpanelene. Noe som i utgangspunktet er normalt. Se kapittel 2.6.5

<sup>1</sup> DNVs HSLC Pt.3 Ch.1 Sec. 1 C103

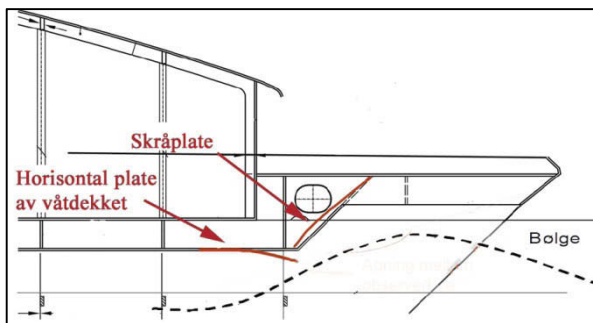
<sup>2</sup> Sekundærlaminering er håndlaminering benyttet for å sette sammen de ulike delene av fartøyet.

For mer inngående informasjon henvises det til vedlegg A.

#### 1.4.4 Oppsummering og konklusjon

Rapporten fra DNV (vedlegg A) konkluderer med følgende:

- Det er ikke funnet tegn til kontaktskade som følge av at skroget har truffet objekt flytende i sjøen.
- Det horisontale panelet tilhørende våtdekket er antatt å ha blitt flekket av ved at sjøen har fått tak, og revet dette løs fra bjelkene. Dette er en følgeskade av bølgeslaget nevnt i sammendraget.
- Materialer og byggekvalitet er ikke funnet å ha vært en utløsende årsak til skadene. Varierende kvalitet av sammenføyninger i sekundærlamineringene i våtdekket kan derimot ha bidratt til at skadeomfanget ble større.
- Våtdekket oppfyller kravene til slamming, både med hensyn til last og styrke, med unntak av skråpanel med støttestruktur ved ramme nr. 30, hvor slamminglast ikke er tatt med i dimensjoneringen. Hvilket vil si at indirekte er HSC koden ikke oppfylt på dette punkt.
- Havarikommisjonen vil tilføye at konstruksjonen i området, med lukkede bokser ikke muliggjorde inspeksjon av sekundærlamineringene.



Figur 11: Illustrert mulig skadeforløp mellom skråpanel og horisontalt våtdekk.

#### 1.5 **Rederi og mannskap**

Følgende mannskaper var om bord på MS "Sollifjell" onsdag 24. mars 2010:

Skipsfører: 30 års ansiennitet fra rederiet som kaptein, sertifikat D3, IMO 80, Radiooperatørsertifikat GOC/GMDSS, første hurtigbåtkurs oktober 1993, siste mars 2008, siste re-trening oktober 2009. Hurtigbåtinstruktør / assessor fra 1994. Godkjent hurtigbåtinstruktør ved North Cape Simulators, Honningsvåg.

Overstyrmann: 7 års ansiennitet fra rederiet som overstyrmann/kaptein, D3, IMO 80. Radiooperatørsertifikat GOC/GMDSS, Hurtigbåtkurs mai 2003, siste re-trening desember 2008.

Maskinsjef: 8 års ansiennitet fra rederiet som maskinsjef, M1, IMO 80, Hurtigbåtkurs mai 2005, siste re-trening mars 2009.

Maskinsjef (opplæring): ansiennitet 3 mnd. som maskinsjef, sertifikat M1, IMO 80, Hurtigbåtkurs februar 2006, re-trening mai/juni 2008.

Mannskapet hadde i forkant av seilassen satt opp ruten, hentet meteorologisk tilgjengelig informasjon og gjort seg kjent på bro. Det ble vurdert som svært gunstige værforhold for seilassen.

Rederiet hadde utarbeidet prosedyre for overtakelse av fartøyene med følgende punkter før forseilingen:

- Gjennomgang av endringsordrer
- Gjennomgang/kontroll av testlister, verkstedprøver, utstyrslister og prøveresultater
- Gjennomgang av mangellister
- Gjennomgang av Sjøfartsdirektoratets pålegg
- Kontroll av alle skipets sertifikater og godkjenninger
- Kontroll av at instruksjonsbøker og påbudt regelverk/lovverk var om bord
- Utsjekk av mannskap (som betyr at de er kvalifisert som mannskap på denne type hurtiggående fartøy).
- Signering av overtagelsesprotokoll

Skipssikkerhetsloven § 16, jf. kvalifikasjonsforskriften § 1-3 annet ledd bokstav d, krever at nytt personell skal familiariseres, mens plikten til å sørge for at det skjer, påhviler skipsføreren i henhold til SSL § 19 første ledd bokstav d. ISM koden krever at rederiet har etablerte rutiner som sikrer at dette kravet oppfylles.

Rederiet hadde et eget opplæringsprogram for fartøyene som skulle iverksettes etter at fartøyene var kommet nordover.

## **1.6 Tekniske registreringssystemer**

### **1.6.1 VDR**

I henhold til IMO HSC koden kapittel 13.16 og forskrift om navigasjonshjelpemidler på bro- styrehus og radioarrangementer for skip §19A, var Sollifjell utstyrt med Voyage Data Recorder (VDR)<sup>3</sup>. Denne registreringsenheten registrerer og kan lagre informasjon om tale på broen, fartøyets hastighet, kurs og posisjon, navigasjonsdata, maskinparamtere, aktivering av nødlensepumper, brannrør og lignende. Dataene skal lagres minimum for de siste 12 timer hvorpå de fortløpende overlagres.

For at dataene skal lagres, må mannskapet aktivere lagring og dette ble ikke gjort.

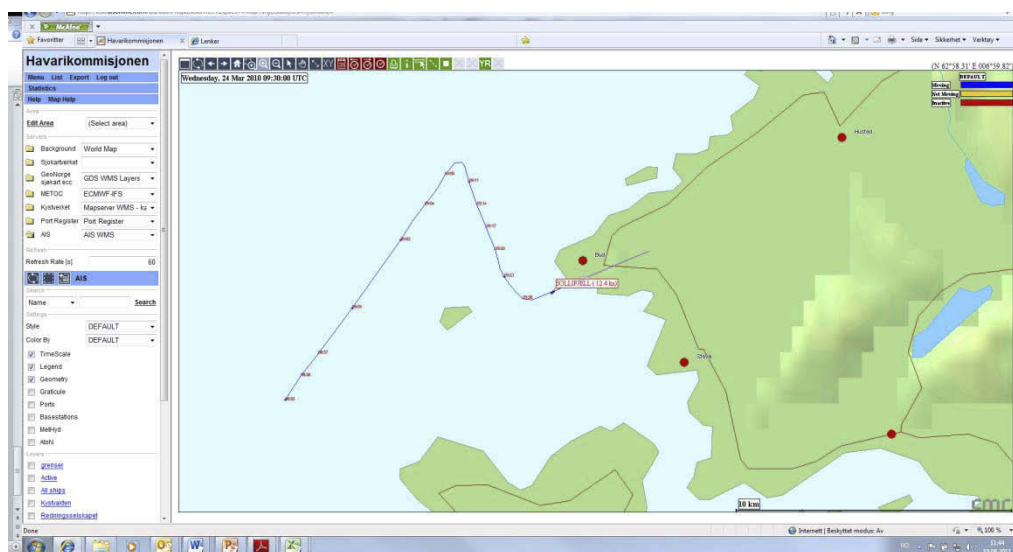
---

<sup>3</sup> VDR skal oppfylle funksjonskravene i IMO resolusjon A861. De lagrede data skal (ref. § 19A) stilles til rådighet for havarikommisjonen.

I rederiets operasjonsmanual er ikke prosedyre for aktivering av VDR implementert. Først da de hadde lagt til kai ved Bud, ble kapteinen instruert av personell i rederiet om å aktivere VDR.

## 1.6.2 AIS – informasjon fra Kystverket

Kystverket har et system som logger posisjon til fartøy utrustet med AIS<sup>4</sup> (Automatic Identification System). Oppdateringsfrekvensen varierer innenfor noen sekunder til nærmere ett minutt. Fartøyet akselerasjoner som følge av bølgeslag kan endres flere ganger innen ett sekund. Fartsinformasjon fra AIS'en kan derfor ikke brukes for å beregne de faktiske hastighetsendringer fartøyet fikk som følge av bølgeslag. Figuren under viser Sollifjells bevegelser fra før ulykken og til den kommer inn til Bud.



Figur 12: Sollifjells bevegelser fra AIS.

## 1.7 Vær- og sjøforhold

### 1.7.1 Informasjon fra Meteorologisk institutt og Den norske los

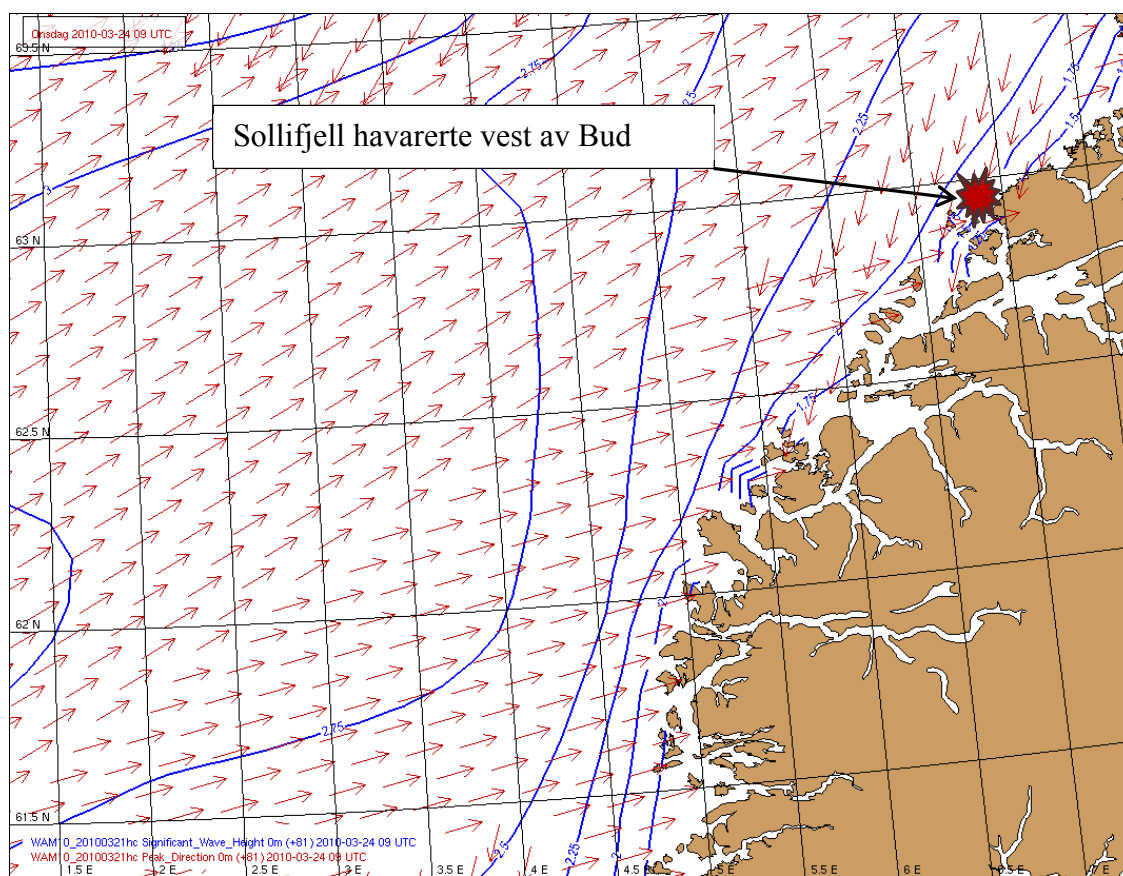
Fra Meteorologisk institutt (MET) meldes det om at det den 24. mars 2010 var relativt moderat vind på Hustadvika. Tidlig på dagen var vindretningen skiftende og vindstyrken 4-7 m/s. Om ettermiddagen økte vinden litt fra nordaust og kom opp i ca. 8 m/s. Det var god sikt og lufttemperatur på 3-6 grader celsius. Sjøtemperatur var 6-7 grader. Det ble målt 1,5 mm nedbør fra klokken 07 den 24. til 07 den 25. mars.

Meteorologisk institutts måling fra Ona fyr, viser at vinden rundt havaritidspunktet var lett bris (fra 3,4 til 5,4 m/s) fra øst. Denne målestasjonen er omlag 8 nautiske mil fra havaristed.

Det er ingen bølgemålinger i området. Bølgedata er beregnet med en numerisk modell ut fra aktuelle vinddata i kombinasjon med satellitt-målinger. Det er 4 km mellom beregningspunktene i modellen, og dataene vil derfor være representative for bølgeforldene i havområdene som ikke er beskyttet av landmasser eller ved større dybdevariasjoner. Modellen får ikke med de lokale variasjonene i bølgeforldene nær

<sup>4</sup> Forskrift om navigasjonshjelpemidler § 19D pålegger alle hurtiggående passasjerfartøy i innenriksfart med bruttotonnasje på 150 og derover å benytte AIS

kysten. Figur 13 viser signifikant bølgehøyde<sup>5</sup> (de blå linjene) og dominerende bølgeretning (røde piler) i området rundt Stadt klokken 10 24. mars 2010.



Figur 13: Værdata fra MET.

Basert på simuleringer utført av Meteorologisk institutt anslås det at i tidsrommet fra klokken 1000 den 24. mars var bølgeførhold utenfor Bud fra 1,25 til 2 meter. I havområdet like utenfor Stad var det i tidsrommet rundt klokken 0800, da Sollifjell passerte dominert av dønninger fra vestsørvest med signifikant bølgehøyde på rundt 2,25 meter og med en bølgeperiode på omkring 11 sekunder. I tillegg var det noe dønning fra nordnordøst og noe vindsjø fra sør.

Bølgeperioden på 11 sekunder antas å ha en dominerende bølgelengde på 190 meter, basert på forenklet teori<sup>6</sup> om forholdet mellom bølgeperiode og bølgelengde (for dypt vann).

Når bølger kommer over grunner med dybder mindre enn halve bølgelengden, vil bølgene stue sammen. Når bølger stuer sammen, blir de både kortere og høyere. Dønninger med bølgeperiode på 11 sekunder og dominerende bølgelengder på omkring 190 meter antas dermed å stue sammen over grunner med dybder 95 meter eller mindre.

<sup>5</sup> Signifikant bølgehøyde ( $H_s$ ) er gjennomsnittsverdien av den høyeste tredjedelen av individuelle bølgehøyder i en 20 minutters periode. Forholdet mellom maksimal bølgehøyde og signifikant bølgehøyde varierer mellom antall bølgepassasjer og bølgespekterets form. I ekstreme tilfeller kan enkeltbølger bli mer enn dobbelt så store som den signifikante bølgehøyden, men forholdet er vanligvis 1,6 – 1,8 ganger større enn signifikant bølgehøyde (metlex).

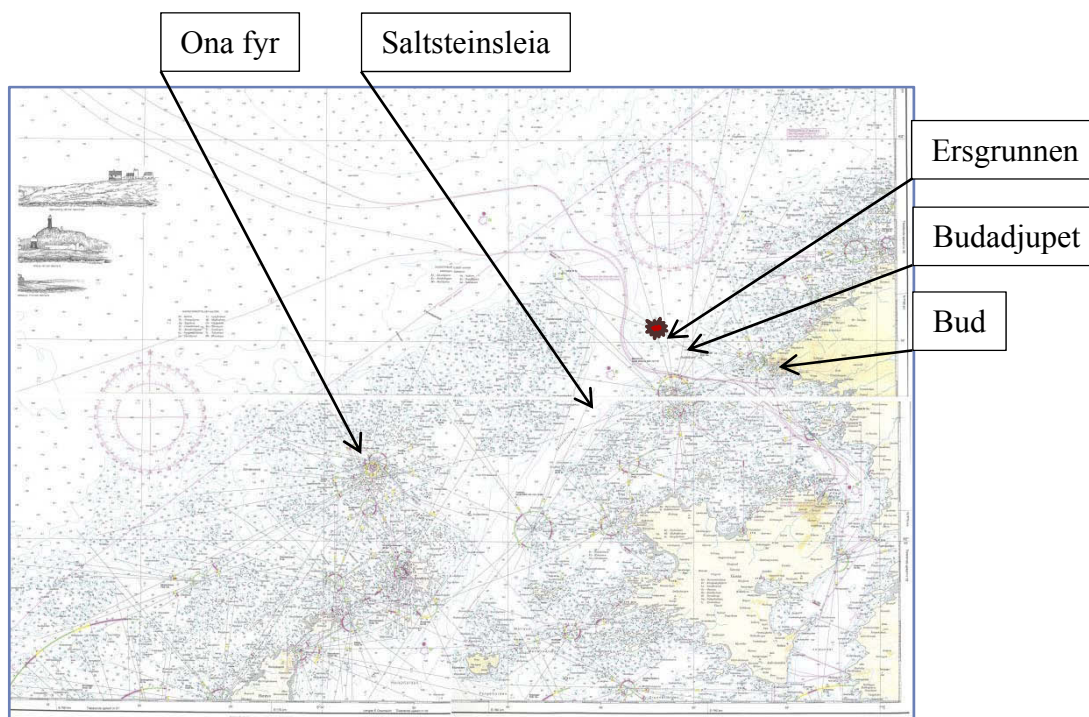
<sup>6</sup> Teoretisk forhold mellom bølgelengde ( $\lambda$ ) og bølgeperiode ( $T$ ), der  $g$  er tyngdeakselerasjonen ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) er gitt ved:

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$$

I følge tidevannstabellen for Ålesund den 24. mars 2010 var det flo klokken 0434 og 1745 og fjære klokken 1125. I følge Den norske los setter strømmen i Budadjupet i alminnelighet nordover med fallende og sørover med stigende vann. Strømmen er sterkest nordover<sup>7</sup>. Da Sollifjell var i Budadjupet var det på vei til å bli fjære (fallende vann). Normalt medfører dette til at strømmen i dette tidsrommet gikk nordover, men var ikke på det sterkeste.

### 1.7.2 Farvannet

Vest for Saltsteinsleia er det nærmest sammenhengende grunner, skjær og øyer fra Sandøya og nord til Galderskjæra og Klakken.



Figur 14: Kartblad 32 fra Statens Kartverk.

I Budadjupet ligger Ersgrunnen som har dybder på mellom 36 og 100 meter. Basert på teorien omtalt tidligere, vil bølger med bølgelengde på under 200 meter og ned mot 72 meter begynne å stue sammen og bli høyere og kortere når de er over Ersgrunnen.

### 1.7.3 Værobservasjoner

I følge samtaler med mannskapet om bord på Sollifjell, ble sjøforholdene på ulykkestidspunktet (ca. klokken 1000) vurdert til å være gode. Det ble oppgitt at det var lite vind og rolig sjø, bortsett fra tunghalinger. Bølgehøyden ble anslått til å være mindre enn 0,5 meter.

I tidsrommet mellom klokken 0700 og 0830 den 24.03.2010 observerte et mindre tankskip at værforholdene ved Stad var gode. Fra skipet opplyses det om at det var vindstille, god sikt, blankt hav og havdønninger på 1-1,5m.

<sup>7</sup> Den norske los, bind 4, p167, 7. utgave, Statens kartverk sjø, 2008.

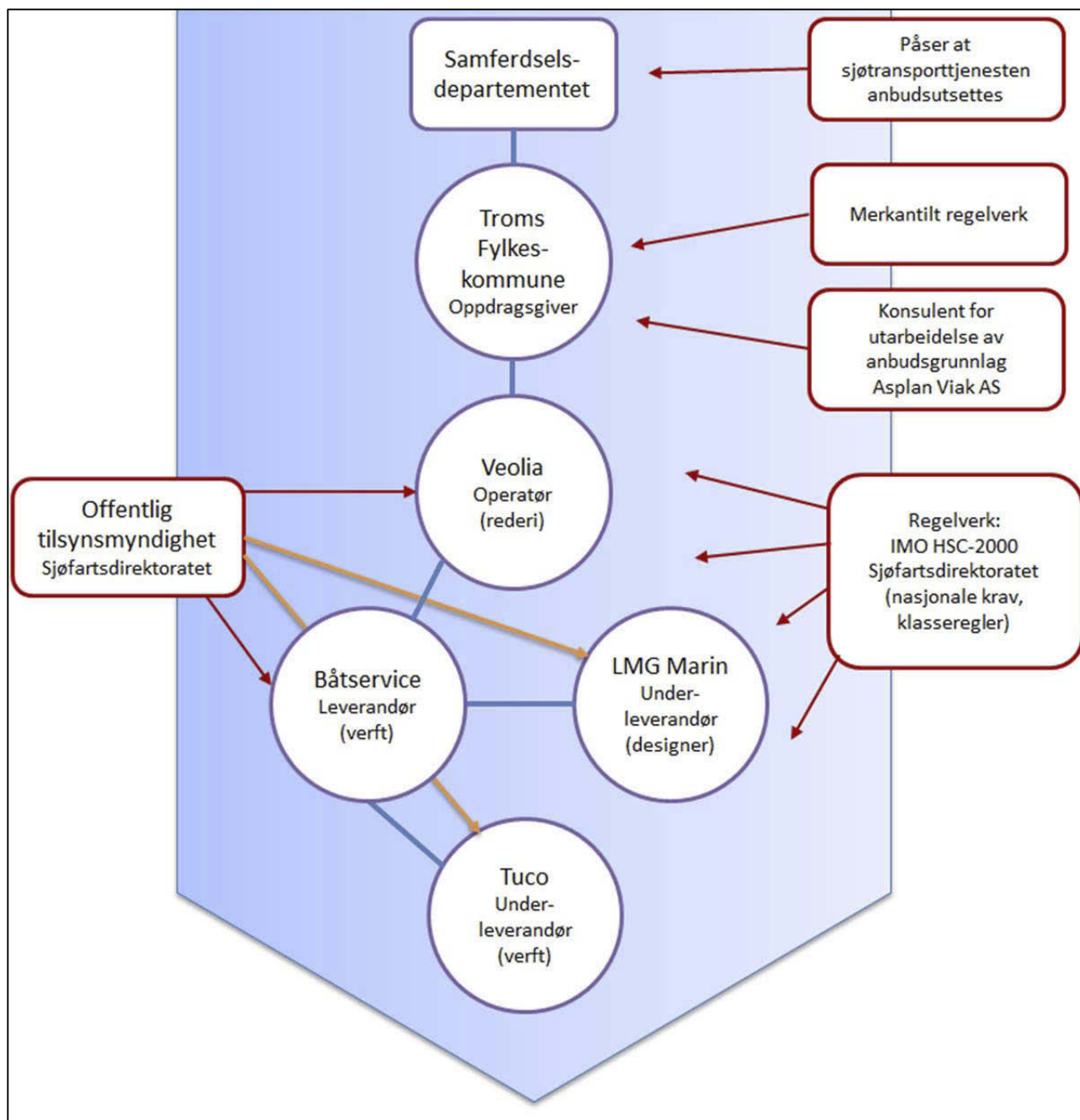


Klokken 10:00 den 24.03.2010 var værforholdene 4,5 n.mil nord for Bjørnsund, mellom Kolbeinsflua og Søreggskallen, i følge skipsloggen til et 140 meter langt lasteskip laber bris fra østnordøst, god sikt og med moderat sjøgang på 0,5-1,5 meter. Det var rotete sjø og derfor vanskelig å anslå retningen på bølgene. Det ble vurdert at dette var normalt for området på grunn av at de var tett oppunder land med dybder fra 70-90 meter og lokale grunner på 25-50 meter.

Kapteinen om bord i et 57 meter langt lastefartøy beskrev værforholdene i Saltsteinsleia til å være østlig bris, god sikt og med dønninger fra nordvest med en antatt bølgehøyde på 3 meter på havaristedet. Erfaringsmessig er dette et område der det pleier å være dønninger.

## **1.8 Aktører og rollefordeling**

For å få en oversikt over de ulike aktørene er det i dette kapitlet kort beskrevet og illustrert hvordan disse er knyttet sammen. Dette skal bidra til å øke forståelsen av prosessen fra anbudskonkurranse til ferdigstillelse av Sollifjell beskrevet i etterfølgende kapitler.



Figur 15: Oversikt over aktører.

#### Samferdselsdepartementet:

- Nasjonalt ansvar for transportsektoren og påser at transportoppdrag konkurranseutsettes som forutsatt av ESA
- Samferdselsdepartementet overfører midler til Troms Fylkeskommune

#### Troms fylkeskommune:

- Bestiller av sjøtransporttjenesten som la oppdraget ut på anbud og var ansvarlig for anbudsgrunnlaget på ruten Harstad-Finnsnes-Tromsø
- Ansvarlig for å velge leverandør av sjøtransporttjeneste
- ansvarlig for spesifisering av ruten som skulle opereres

### Veolia (Boreal):

- Rederi ansvarlig for levering av sjøtransporttjenesten ved drift og anskaffelse av hurtiggående fartøyer i henhold til spesifikasjoner i anbudsgrunnlag
- Inngikk skipsbyggingskontrakt med verftet Båtservice

### Båtservice:

- Verft ansvarlig for design, bygging, utrusting, komplettering og levering av 3 hurtiggående fartøyer i henhold til kontrakt med rederiet Veolia
- Inngikk kontrakt med LMG Marin om samarbeid med konstruksjon av 3 identiske passasjerfartøyer, samt et mindre fartøy (som ikke vil bli omtalt videre). LMG skulle være designer, men hadde ingen formalisert rolle ved byggeoppfølging
- Inngikk kontrakt med underleverandør Tuco for bygging av skrog for 3 like katamaraner i karbonsandwich materiale.
- Under byggeperioden har verft også rederiansvar, jf. SSL.

### LMG Marin:

- Ansvarlig for å levere konstruksjonstegninger og underlag med styrkeberegninger som basis for bygging hos Tuco i henhold til samarbeidskontrakt med Båtservice. LMG hadde ikke kontraktsfestet oppfølgingsansvar for byggeprosessen hos Tuco

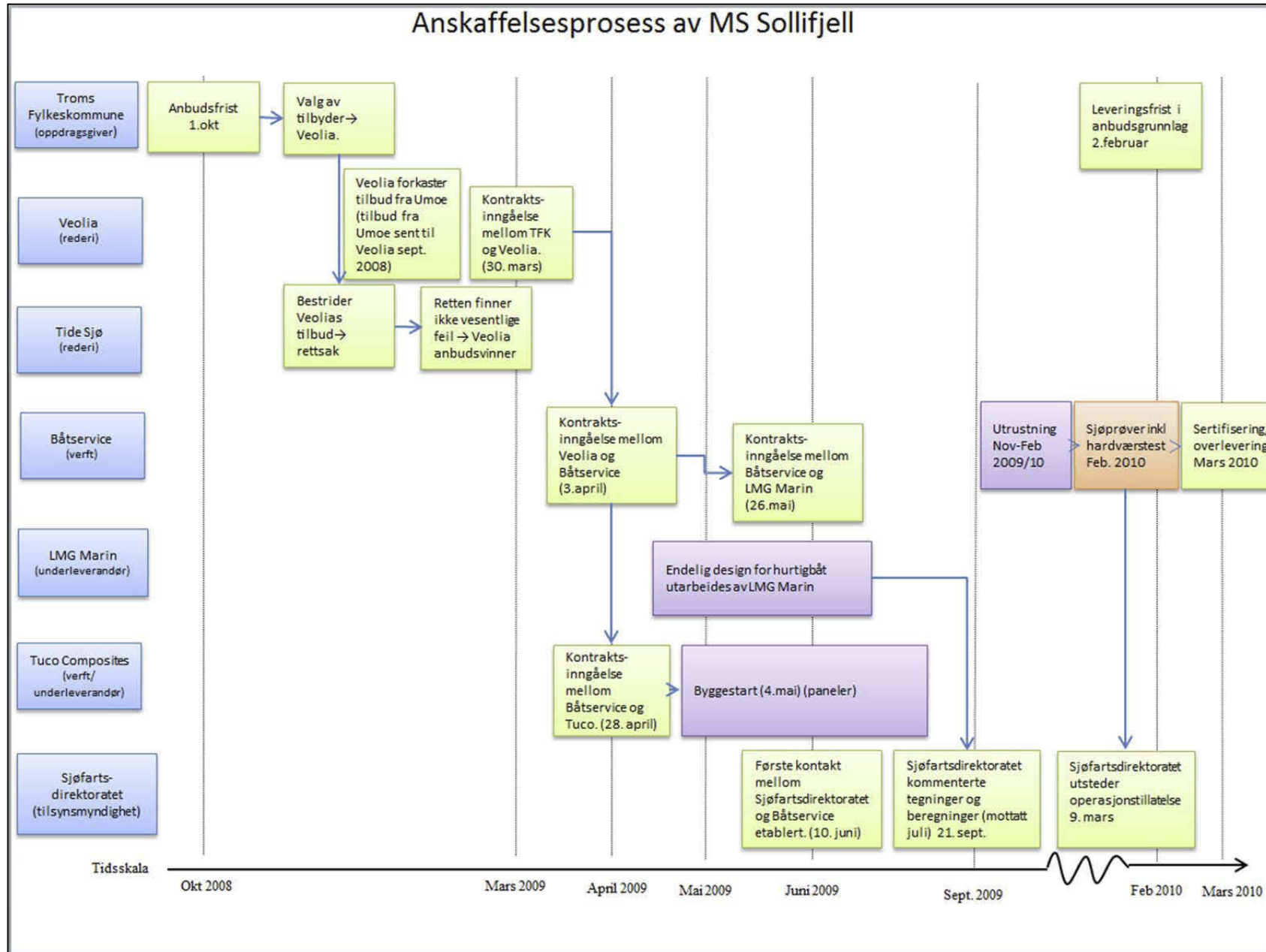
### Tuco Composites A/S:

- Dansk verft ansvarlig for bygging av 3 like katamaraner i karbonsandwich i henhold til kontrakt med Båtservice.

### Sjøfartsdirektoratet:

- Tilsynsmyndighet
- Ansvarlig for utstedelse av operasjonstillatelse og sertifikater

For å få en bedre oversikt over anskaffelsesprosessen av Sollifjell beskrevet i etterfølgende kapitler, er de viktigste prosessene presentert i et STEP-diagram.



## 1.9 Anbudsprosess

Dette kapittelet beskriver første fase av prosessen med anskaffelse av Sollifjell.

Med bakgrunn i krav fra ESA om at maritime tjenestekjøp etter 2004 må følge en åpen, etterprøvbar og ikke diskriminerende prosess samt føringer fra Samferdselsdepartementet valgte Troms fylkeskommune i 2006 å konkurranseutsette hurtigbåtruten Harstad – Finnsnes – Tromsø ved bruk av anbud.

Opprinnelig anbudsfrist på ruten Harstad-Finnsnes- Tromsø ble utsatt i en måned fra 1.sept 2008 til 1.oktober 2008.

### 1.9.1 Regler om kjøp av tjenester med hurtigbåt

Lov av 21. juni 2002 nr. 45 (Yrkestransportloven) og lov av 16. juli 1999 nr. 69 (Lov om offentlige anskaffelser) med forskrifter regulerer kjøp av transporttjenester.

Særskilt for innenlands transport med fartøy (maritim kabotasje) er gitt i rådsforordning nr. 3577/92, som er implementert i norsk rett ved lov av 4.desember 1992 nr. 121 om sjøtransporttjenester. Utgangspunktet i den maritime kabotasjeforordningen er at det skal være fri tilgang til å yte sjøtransporttjenester. EU-kommisjonen har slått fast det skal sikres en åpen og ikke-diskriminerende prosess ved inngåelse av kontrakter for transport til sjøs. Restriksjoner på den frie markedstilgangen må ha særskilt hjemmel i EØS-retten.

### 1.9.2 Anbudskonkurranse – Troms fylkeskommune

I fylkesmeldingen om innkjøp og organisering av kollektivtrafikken i Troms<sup>8</sup> står det blant annet følgende:

*Ved å kjøpe kollektivtrafikkjeneste med konkurranse kan fylkeskommunen styrke sin politiske rolle som tilrettelegger for kollektivtrafikken og sikre at bredere samfunnsinteresser blir ivaretatt*

Fylkestinget anså at de i 2007 ikke hadde en klart definert kjøperolle og at de hadde et behov for kompetanseheving. Det ble derfor besluttet å opprette en driftsenhet med ansvar for å gjennomføre innkjøp av kollektivtrafikkjenester.

Den 11. juni 2008 inviterte Troms fylkeskommune for første gang til en åpen anbudskonkurranse for passasjertransport med lokal- og hurtigbåtruter i Troms fylke. Kontraktperioden var for 1.1.2010 – 31.12.2019. Transportoppgaver for 4 ruter ble fordelt på 3 anbudspakker. Frist for tilbud ble satt til 1. september 2008, som senere ble utsatt til 1. okt. 2008. Tildeling skulle skje innen utgangen av oktober, med 15 dagers frist for klage på valget. Rute nr. 2; Tromsø – Finnsnes – Harstad, var én av anbudspakkene i anbudsgrunnlaget. Asplan Viak AS ble kontrahert for å bistå i arbeidet med å utarbeide anbudsgrunnlag for den aktuelle båtruten i Troms.

I mal for anbudsgrunnlag, utarbeidet av Asplan Viak AS, som var utgangspunkt for utarbeidelse av anbudsgrunnlaget for ruten, foreslås det følgende kriterier med tilhørende vektning:

---

<sup>8</sup> Fylkestingsmelding 2: 2007

*Tabell 2: Utvalgskriterier foreslått i Mal for anbudsgrunnlag, utarbeidet av Asplan Viak AS*

Kriteria nr.	Kriteria	Vekting
1	Pris	50 %
2	Rutetilbud med flere avganger, kortere reisetider eller lengre åpningstid enn i kravspesifikasjonen	10 %
3	Fartøyer med mindre forurensende utslipp	10 %
4	Bedre universell utforming av fartøyene	10 %
5	Nyere fartøy	10 %
6	Kompetanse og erfaring vedrørende drift av rutetransport	5 %

Fartøyene skulle være nye, og blant annet innfri følgende minstekrav til drift av denne ruten:

- Minimum 33 knops hastighet i rute
- 250 passasjerplasser
- 2 hovedfartøy i rutedrift + 1 reservefartøy som benyttes til å supplere på avganger etter oppsatt rute og ellers ved behov.
- Fartøyene skulle være godkjent for fartsområde 3 (for forklaring, se kap.1.12).

Sammenlignet med fartøyene som gikk på denne ruta, Fjordkongen og Fjorddronningen, stilte fylkeskommunen lavere krav til passasjerkapasitet og hastighet til de nye fartøyene. En utskifting av disse fartøyene, som var bygget i aluminium, med lettere og ikke fullt så raske fartøy, skulle gi lavere utslipp og bedre driftsøkonomi.

For to andre ruter ble det besluttet av fylkeskommunen ikke å gjennomføre anbudskonkurranse. Tildelingen av disse kontraktene ble gjort på bakgrunn av forhandlinger med rederi og verft. Disse rutene ble betraktet som et FoU-prosjekt for utprøving av ny hurtigbåtteknologi, og skulle gjelde for en periode på inntil 5 år.

#### 1.9.2.1 *Krav til leverandørene*

I konkurransegrunnlaget ble det beskrevet hvilke regelverk leverandørene skulle forholde seg til. Det ble også stilt krav til at leverandøren redegjør for sitt kvalitetssystem. Det ble beskrevet en forventning om at transportoppgavene utføres etter ruteplanen og at passasjerene skulle få positiv opplevelse av reisen, uten at dette ble beskrevet nærmere. Det ble gitt en insitamentsordning for regularitet, se kapittel 1.9.2.4.

#### 1.9.2.2 *Tildelingskriterier*

Fylkestingsmelding 2:2007 påpeker at de relativt nye hurtigbåtene Fjordkongen og Fjorddronningen bidrar negativt i forhold til å oppfylle Gøteborgprotokollen om reduksjon av NO<sub>x</sub> med 30 % innen 2010. Økt drivstoffkostnader, samt NO<sub>x</sub> avgift gjør det

økonomisk å fokusere på miljøriktige løsninger. Økte utgifter og reduserte statlige overføringer setter dermed store krav til lave anbud.

For anbudsrutene var pris og miljø utslagsgivende for valg av tilbyder. Dersom prisdifferansen mellom laveste og nest laveste tilbud var over 20 %, ville laveste tilbyder bli valgt. Var prisdifferansen mindre enn 20 %, ville det foretas en rangering av de mest gunstige tilbyderne innenfor 20 % prisdifferanse. Rangeringen var mht. pris og forurensende utslipp av avgassene CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Mengde avgasser ble beregnet ut i fra fartøyenes drivstofforbruk (med data fra motorfabrikant). Pris skulle vektes med en faktor på 0,2, mens mengden av de to avgassene skulle vektes med 0,8.

Fra anbudsprosedyren siteres følgende (hhv. punkt 2.9 og 2.14):

*“Tilbud som ikke er i samsvar med anbudsgrunnlaget kan bli avvist. Dette gjelder også kravene til fartøyene, som oppdragsgiver kan kreve inspeksjon av under vurderingen.(...)”*

*“Leverandørene skal i tilbudet bekrefte at de kan starte rutetrafikken med det skipet eller de skipene de tilbyr fra kontraktperiodens begynnelse. Dersom en leverandør dokumenterer at et eventuelt nybygg i hans regi ikke kan settes i trafikk innen denne fristen, kan oppdragsgiver akseptere at vedkommende operatør benytter andre skip enn forutsatt i tilbudet i en periode ikke lenger enn 18 måneder. Oppdragsgiver skal først godkjenne disse fartøyene.”*

### 1.9.2.3 Krav til fartøy

Alle fartøyer skulle oppfylle minstekravene i alle offentlige bestemmelser, og i tillegg oppfylle kravene i Hurtigbåtkoden (HSC 2000). Fartøyene skulle ha gyldig passasjersertifikat (sikkerhetsertifikat og operasjonstillatelse) utstedt av Sjøfartsdirektoratet. Det ble stilt funksjonelle krav mht. ombord- og ilandstigningsforhold, sitteplasser, sete arrangementer, korridorbredder o.l.

Oppdragsgiver satte ikke krav til at skipene skulle klassifiseres av et classeselskap. Det er heller ikke krav til at fartøyene skulle klasses, og Sjøfartsdirektoratet har opplyst til Troms Fylkeskommune at av de 30 siste hurtiggående passasjerfartøy bygget i Norge er det kun 3 som er bygd etter klasse. Det understrekes at det er samme regelverk som legges til grunn for både klassede og uklassede fartøy med hensyn til konstruksjon. Fartøyene skulle være nybygg, dvs. skipenes kjøll skulle være strukket etter 1.5.2008. Drivstoff av mest mulig miljøvennlig type skulle velges. Fra miljøkravene siteres følgende (punkt 8.2.1.2):

*“Fartøyene skal være utformet slik at forbruket av drivstoff er lavest mulig. Leverandørene skal oppgi forbruksdata (liter pr. time ved rutehastighet) for de fartøyene de tilbyr. Leverandøren skal også beregne samlet utslipp av CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> per år basert på årsproduksjonen og rutehastighetene i anbudet samt valgt motor- og renseteknologi”*

Anbyder skulle dessuten beskrive fartøyene i eget skjema. Bruk av underentreprenører skulle godkjennes av Fylkeskommunen. Det var ikke krav om at fartøydesign (tegninger av fartøy) skulle presenteres, og dette ble heller ikke gjort.

At fartøyene skulle bygges etter HSC 2000 var ikke påkrevet i regelverket da fartøyene ble “kjølstrukket” i 2009.

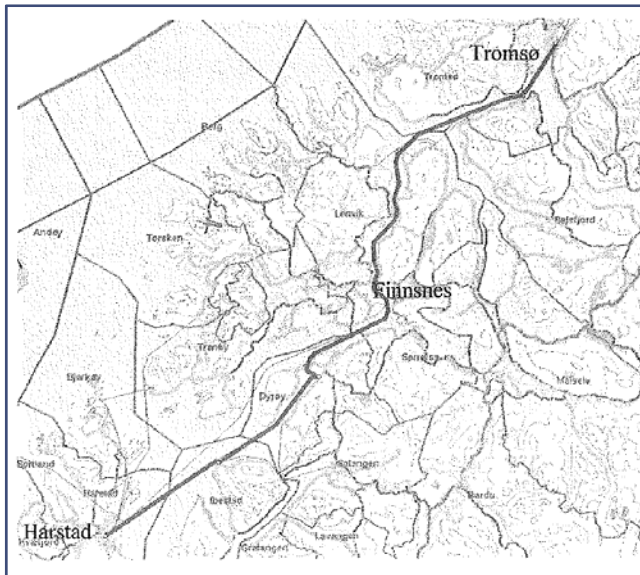
#### 1.9.2.4 *Insitamenter*

Utøveren skulle være ansvarlig for at rutetidene holdes. I anbudsgrunnlaget var det beskrevet et regularitetsinsitament som ville medføre trekk for manglende avganger og avvik fra rutetabellen. 97 % regularitet skulle honoreres med en bonus. Godtgjørelse skulle ikke betales for trafikk som ikke ble utført. Avvik som følge av force majeure<sup>9</sup> ville frita utøveren fra forpliktelsene i inngått kontrakt.

Ruten hadde også et inntekstinsitament hvor utøveren beholdt en andel på 10 % av trafikkinntektene.

#### 1.9.3 Ruten og farvannet

Rutetabellen for sambandet Tromsø – Finnsnes – Harstad hadde 4 avganger per dag. Store deler av ruten går innaskjærs, men med noen fjordkryssinger uten særlig beskyttelse for vind og bølger fra storhavet i vest.



Figur 16: Ruteinformasjon fra anbudet.

Allmenn tilgjengelig informasjon om farvannet:

I Den Norske Los skrives det om Vågsfjorden at vinden kan være svært variabel. Vågsfjorden og Mallangsfjorden er spesielt utsatt for oppbygging av bølger på grunn av store åpne havstrek som også påvirkes av havdønninger fra Nordishavet. Det kan hende at det er østlig storm i fjorden på fastlandet, mens det vestlig vind i innløpene fra havet.

Havarikommisjonen har hentet statistikk fra MET som baserer seg på satellittbilder og matematiske modeller som med god nøyaktighet på åpne havområder gi gode målinger for bølgehøyder. Det er sannsynlig at bølgestatistikken for Vågsfjorden kan være beheftet med usikkerhet knyttet til undermålinger da modellene regner dette som en beskyttet fjord. På Mallangsfjorden er det ikke mulig å gjøre modellberegninger da feilmarginene er for store.

<sup>9</sup> Force Majeure: når en ekstraordinær hendelse utenfor partenes kontroll, som flom, krig, opprør, naturkatastrofer osv. hindrer en eller begge parter i å gjennomføre forpliktelser foreskrevet i kontrakt.



Fra bølgestatistikken for Vågsfjorden som sannsynlig er den mest utsatte på ruten, kan man lese at det er:

- mindre enn 197 dager med opp mot 0,5 meter signifikant bølgehøyde
- mindre enn 129 dager med opp mot 1,0 meter signifikant bølgehøyde
- mindre enn 25 dager med opp mot 1,5 meter signifikant bølgehøyde
- mindre enn 8 dager med opp mot 2,0 meter signifikant bølgehøyde
- mindre enn 4 dager med opp mot 3,5 meter signifikant bølgehøyde
- mindre enn 2 dager med opp mot 4,5 meter signifikant bølgehøyde

Denne statistikken er allmenn tilgjengelig fra MET på forespørsel.

#### 1.9.4 Valg av tilbyder

Veolia vant anbudskonkurransen om å levere transportoppgaven gjennom å operere 3 fartøyer i sambandet Tromsø – Finnsnes – Harstad i perioden 2010 – 2019.

Fra deres tilbud siteres følgende:

*“De tre fartøyene som skal gå i rute 2 (Tromsø – Finnsnes – Harstad) er basert på et nytt konsept med meget miljøvennlige hurtigbåter i karbonfiber. Fartøyene oppfyller fullt ut oppdragsgivers funksjonelle krav og grønne profil. Verftet har lagt ned betydelige ressurser i å utvikle et lett fartøy med lav skrogrmotstand. Fartøyet representerer derfor en ny og fremtidsrettet hurtigbåtteknologi som overstiger de flestes forventninger til lave utslipp og lavt drivstofforbruk.”*

Utover dette ble det ikke spesifisert nærmere hvilken faktisk konstruksjon fartøyene skulle ha. Det er imidlertid referert til et innhentet tilbud av fartøy fra Umoe Mandal AS, uten at det går fram om de forplikter seg til å benytte seg av dette.

Videre fra Veolias tilbud siteres følgende:

*“Vedlagt følger utdrag (...) av tilbud fra Umoe Mandal AS datert 25. september d.å. som dokumentasjon på at det avhengig av tidspunkt for endelig kontraktstildeling kan bli aktuelt å benytte andre fartøy enn forutsatt i tilbudet i en periode ikke lenger enn 18 måneder, i samsvar med Anbudsgrunnlaget pkt. 2.14.”*

I tilbudet er det satt opp en oversikt over drivstofforbruk og utslipp av CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> (beregnet fra motorfabrikant). Det er ikke lagt fram dokumentasjon som viser bakgrunnen for det oppgitte drivstofforbruket eller omregningsfaktorer for beregning av utslipp. Havarikommisjonen har forstått at de oppgitte verdiene er basert på det tilbudte fartøyet fra Umoe.

#### 1.9.5 Klage på valg av tilbyder

Tide Sjø AS, som også var tilbyder, bestred Veolias miljøberegninger mht. omregningsfaktorer for utslipp. Det ble funnet at beregningene hadde enkelte mindre feil, men dette endret ikke rangordningen av tilbyderne. Saken ble endelig avgjort i Bergen Tingrett. Endelig kontrakt mellom Fylkeskommunen og Veolia ble tegnet 30. mars 2009.

Anbudsprosessen var da 6 måneder forsinket i forhold til beskrevet i anbudsgrunnlaget, men leveringsdato ble beholdt og ikke forskjøvet tilsvarende.

## **1.10 Regelverk og sertifisering**

### **1.10.1 Generelt**

Regelverket som regulerer planlegging, bygging og drift av hurtigbåter er hovedsakelig fordelt mellom fire ulike regelverk:

- Nasjonale forskrifter
- Skipssikkerhetsloven
- Internasjonale krav (HSC 2000-koden, ISM-koden og STCW)
- Klasseregler

Sjøfartsdirektoratets krav til hurtiggående fartøy over 24 m er beskrevet i “Forskrift 5. januar 1998 nr. 6 om bygging, utrustning og drift av hurtiggående fartøy som anvendes som passasjerskip eller lasteskip”. Her henvises det blant annet til klasseregler fra DNV eller tilsvarende regler når det gjelder spesifikke dimensjonerings- og byggekrav. Hurtiggående fartøy er underlagt operasjonelle begrensninger basert på konstruksjon, sjøprøver og fartøyskategori i henhold til hurtigbåtkoden. Slike operasjonelle begrensninger gis i form av bølgehøydebegrensninger, avstand fra land m.m.

Skipssikkerhetsloven skal trygge liv og helse, miljø og materielle verdier ved å legge til rette for god skipssikkerhet og sikkerhetsstyring, herunder hindre forurensning fra skip, samt et godt og tidsmessig tilsyn.

HSC 2000 er de internasjonale sikkerhetsregler for hurtiggående fartøy.

ISM-koden er den internasjonale konvensjonen om normen for sikkerhetsstyring for drift av skip og hindring av forurensning.

STCW er den internasjonale konvensjonen om normer for opplæring, sertifikater og vakthold for sjøfolk.

I DNV klasseregler (HSLC, January 2008 Pt.1 Ch.1 Sec. 3 A201) er det spesifisert at nye verft eller verft med begrenset erfaring skal dokumentere deres evne til å gjennomføre produksjon med tilstrekkelig kvalitet i henhold til regelverk før byggingen er påbegynt. HSC 2000 har ingen slike spesifiseringer. Men i gjeldene forskrift henvises det til DNVs HSLC.

### **1.10.2 Sertifisering av hurtiggående passasjerfartøy**

I Norge er det Sjøfartsdirektoratet som sertifiserer både klassifiserte og uklassifiserte hurtiggående passasjerfartøy. I Sjøfartsdirektoratets regelverk er det henvist til klasseregler der det ikke er utarbeidet detaljerte krav i regelverket. Forholdet mellom Sjøfartsdirektoratet og classeselskapene er regulert gjennom egen avtale. Konstruktøren skal henvises til hvilket classeselskaps regelverk og revisjon fartøyet er bygget etter.

Fartøy skal oppfylle forskrift 5. jan 1998 nr. 6 om bygging, utrusting og drift av hurtiggående fartøy som anvendes som passasjerskip eller lasteskip. I denne forskrift er det henvist til DNV eller tilsvarende klasseregler når det gjelder § 12 Byggetilsyn, § 13 Byggekrav (fartøy bygget av støpte materialer), § 14 klassifisert hurtiggående fartøy og § 15 Uklassifiserte fartøy. Med dette forstås blant annet at uklassifiserte hurtiggående fartøy skal, med de hensyn som er nevnt i § 14 (klassifiserte hurtiggående fartøy) tilfredsstille reglene til DNV for hurtiggående fartøy.

Alle classeselskap har etablert sitt eget regelverk. Dette regelverket er av classeselskapet satt i system for å få en helhetlig og sporbar metode som skal søke å oppnå konstruksjon og produksjon som sikrer et godt sluttprodukt.

Departementet har pr. dato inngått overenskomst med 7 classeselskaper<sup>10</sup>, deriblant DNV.

## 1.11 Bygging av fartøyet

### 1.11.1 Valg av byggeverft - skipsbyggingskontrakt

Den 3. april 2009 ble kontrakt mellom Veolia og Båtservice undertegnet for bygging av tre fartøy. Kontrakten spesifiserte bygging av hurtigbåtfartøy av typen “Carboncat 35” i karbonsandwich. “Carboncat 35” var en ny konstruksjon designet av LMG Marin som ikke tidligere hadde vært bygget.

Kontrakten omfattet både, design, bygging, utrustning, komplettering og levering. Skrog skulle i følge kontrakten bygges i karbonsandwich av en underleverandør. Det ble presisert at skipet skulle oppfylle de krav som følger av anbudsgrunnlag fra Troms fylkeskommune av 11. juni 2008 og regelverket gitt i IMO HSC 2000 med senere endringer frem til kontraktsdato. Leveringsdato for skipet ble satt til 3. feb. 2010.

Om bruk av underleveranser sier kontrakten mellom Veolia og Troms fylkeskommune følgende:

*“Verkstedet kan i sitt frie valg og ansvar inngå underkontrakt om bygging av hvilket som helst del av Skipet. Verkstedet skal likevel forbli fullt ut ansvarlig for riktig utførelse av slikt arbeid som om Verkstedet gjorde det ved Verkstedets eget anlegg.”*

Båtservice verft har lang erfaring i å bygge hurtigbåter og andre fartøy. De har begrenset erfaring i å bygge i karbonkompositt, og har de senere år hovedsakelig bygget i aluminium.

#### 1.11.1.1 *Tuco Composites (Tuco)*

Den 28. april 2009 undertegnet Båtservice kontrakt om bygging av skrog med underleverandør. Verftet Tuco Composites ApS i Danmark fikk i oppdrag å bygge 3 like katamaraner i karbonsandwich. Kontrakten er formet på basis av tilbud fra Tuco datert 12. des. 2008, som resultat etter møte mellom partene Båtservice, Tuco og LMG Marin AS den 9. des. 2008.

---

<sup>10</sup> Forskrift om bygging mv av hurtiggående fartøy § 2 definisjoner

Kontrakten mellom Båtservice og Tuco hadde ingen spesifikasjoner med henvisning til DNVs eller HSC kodens regelverk. Det er heller ingen henvisninger til Sjøfartsdirektoratets regelverk. Det påpekes at fartøyene ikke skal bygges etter klasse.

Tuco Composites hadde tidligere bygget fritidsfartøy opp til 130 fot (36,9 meter) i karbonsandwich. Til tross for erfaring med å bygge fartøy som var lengre enn Sollifjell hadde de ingen tidligere erfaring i å bygge kommersielle passasjerfartøy med tilhørende krav i DNVs HSLC og IMO HSC 2000.

Tuco har et styringssystem som inneholder prosedyrer og standarder som skal ivareta byggeprosessen, herunder også dokumentasjon. I styringssystemet er det henvist til at testing av laminatene skal være i samsvar med klasseselskapets regler og til "Surveyors" tilfredsstillelse. Det er ikke krav til eksternt godkjent kvalitets system, men det skal være en sporbar byggeprosess med dokumentasjon, jf. DNVs HSLC.

#### 1.11.1.2 *LMG Marin AS (LMG)*

Den 6. mai 2009 undertegnet Båtservice og LMG en generell samarbeidsavtale. Først 26. mai 2009 ble det underskrevet en konkret avtale om å samarbeide om levering av tre identiske passasjerfartøy, alle bygget i karbonsandwich ved Tuco for Veolia. Ifølge fremdriftsplan fra Båtservice ble det operert med effektiv kontraktsdato med LMG 3. april 2009 og "mould construction start"<sup>11</sup> 4. mai 2009.

#### 1.11.2 Konstruksjon og bygging

I skipsbyggingsavtalen mellom Båtservice og Veolia er det blant annet spesifisert at:

- det skal kjøres optimalisering av skrog i slepetank hvor minimum 3 alternative skrogformer testes.
- forslag til detaljert byggeprogram, inkludert testing skal utarbeides av verkstedet ikke senere enn 30 dager etter kontraktsdato.

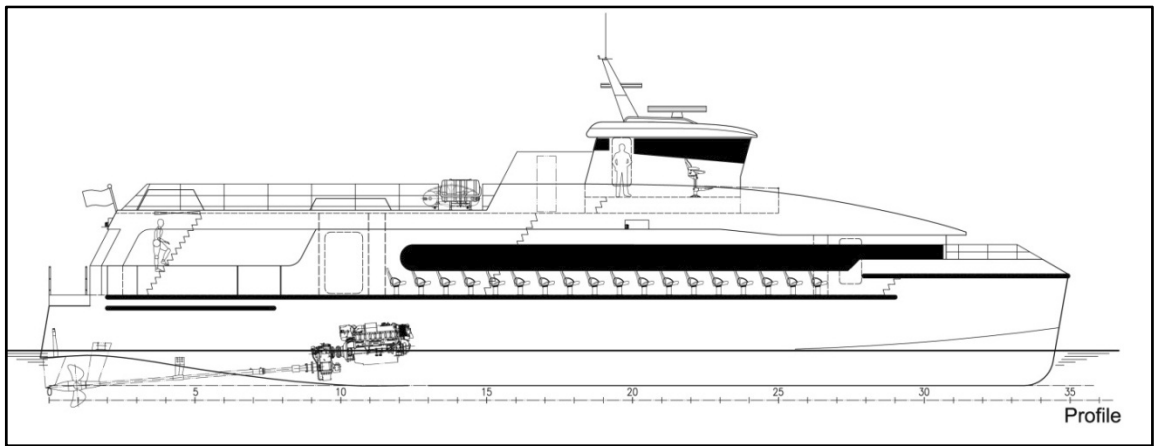
LMG fikk i oppdrag å levere konstruksjonstegninger og underlag med styrkeberegninger som basis for bygging av fartøyene hos Tuco i Danmark. LMG har lang erfaring fra konstruksjon av en rekke typer fartøy.

En nedskalert modell av den nyutviklede LMG konstruksjonen Carboncat 35 ble kjørt i bassengtest i Sveits i mai 2009, men oppnådde ikke hastighetskravet som spesifisert. Det ble derfor tatt en beslutning om at fartøyene skulle baseres på "Sea Lord 36" skroget fra Båtservice. Dette er en skrogdesign som er godt utprøvd og er produsert i 14 eksemplarer fra 24 til 40 meter (inkl. 4 til Veolia), deriblant MS Fjorddronningen (38 m - til TFDS) i 1995 som tidligere opererte ruta, og MS Helgeland (36 m - til Helgeland trafikkselskap) i 1997. Sea Lord skroget er tidligere kun produsert i aluminium.

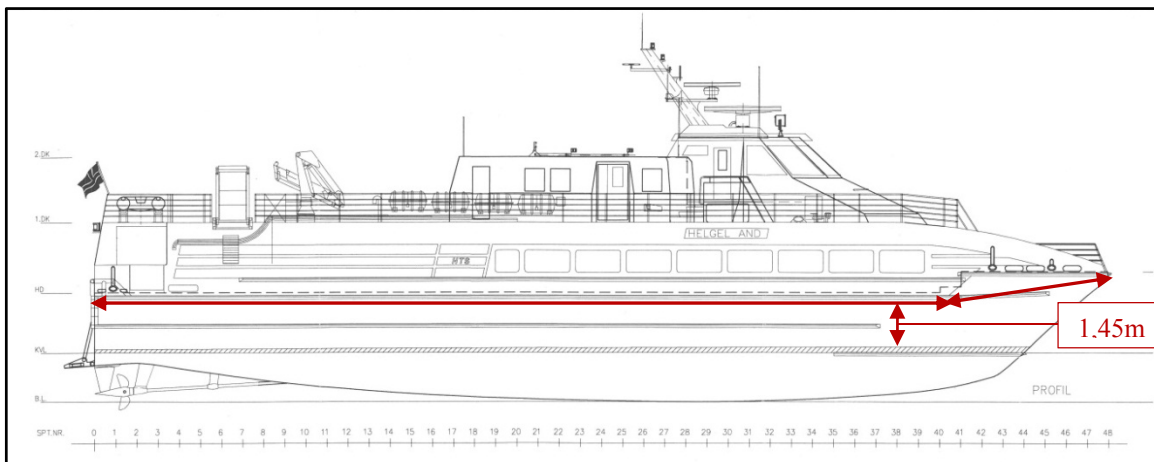
Det opprinnelige Sea Lord skroget ble skalert ned fra 36 til 35 meter. Resten av fartøyet hadde fått nytt design, og tilpasset de aktuelle kravene for dette prosjektet.

---

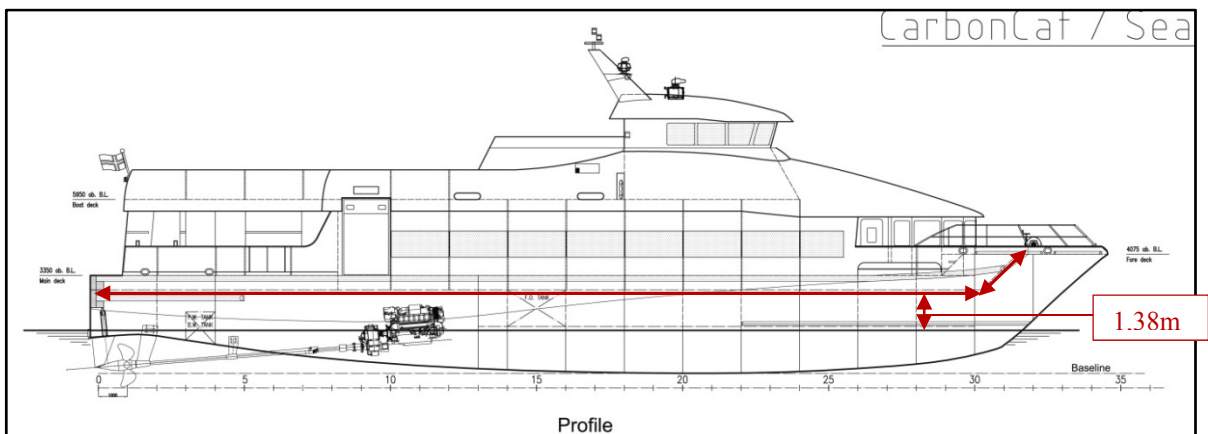
<sup>11</sup> Mould construction start - viser til når produksjon av støpeform starter.



Figur 17: LMGs uprøvde Carboncat -design. Skroget oppnådde ikke hastighetskravet i bassengtester.



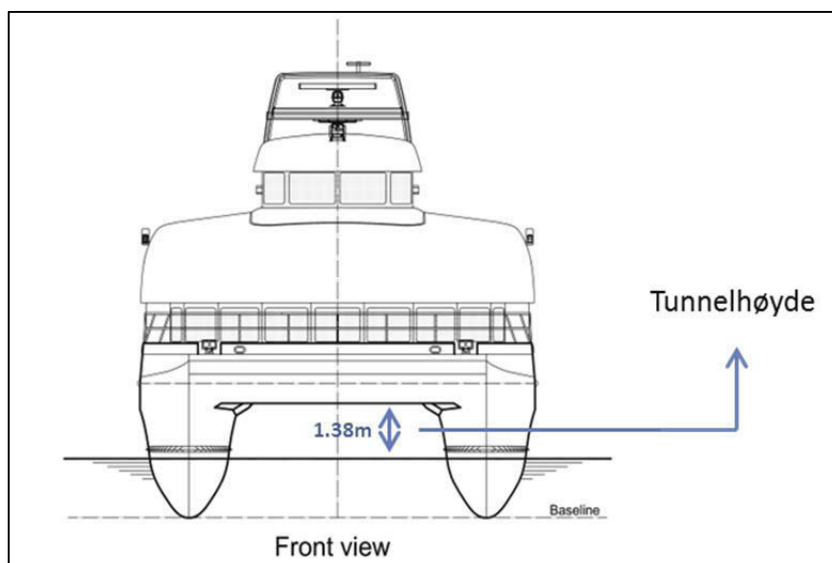
Figur 18: Båtservice's Sea Lord -design (MS Helgeland). Våtdekkets høydenivå og utforming er illustrert med røde piler.



Figur 19: Nytt design og konsept til Sollifjell. Våtdekkets høydenivå og retning er illustrert med røde piler. Det fremre panelet av våtdekket har en vinkel på ca. 45 grader.

For å minimere utslippstallene ble fartøyet modifisert og optimalisert med hensyn til vekt og luftmotstand. Dette medførte en senkning av passasjerdekket, som reduserte tunnelhøyden fra det opprinnelige Sea Lord designet på 1,45 m til 1,38 m. I den forbindelse ble det også valgt en løsning med en avslutning av tunneltopp (våtdekket) forover ved et rett panel skrånende 45 grader mot undersiden av fordekket. Ut fra LMGs vurdering av dette skråpanelets tyngdepunkt/middehøyde ble det vurdert til ikke å være

en del av våtdekket. Panelet ble dermed heller ikke vurdert i forhold til å tåle belastning fra bølgeslag.



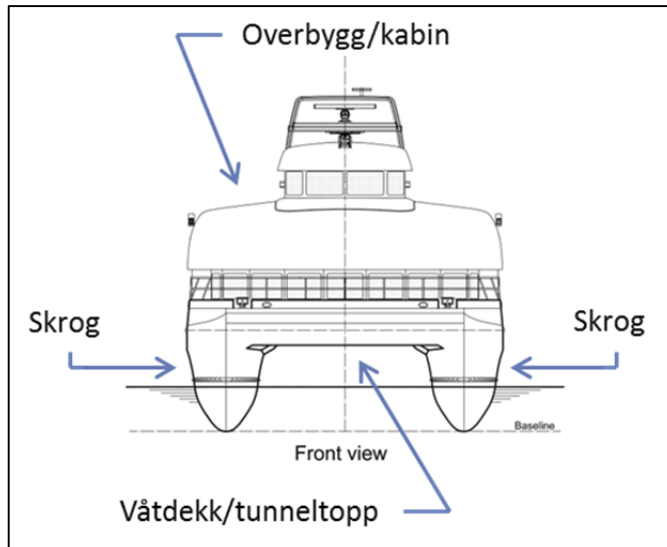
Figur 20: Tegning av Sollifjell sett forfra som viser tunnelhøyde.

Den valgte løsningen med skråpanel mellom fordekk og tunelltoppen reduserte fordekkets masse med ca. 500 kg. Ved beregning av bølgeslag mot våtdekket, forutsatte LMG at det ikke skulle forekomme bølgeslag mot skråpanelet, og dette ble ikke betraktet å være en del av våtdekket. LMG har imidlertid beregnet bølgeslag/slamming for den horisontale delen av våtdekket. Beregninger av bølgeslag mot våtdekket var basert på DNVs regler<sup>12</sup>. Skråpanelet og det horisontale våtdekket har samme materialspesifikasjon.

Skråpanelet slik vi ser på Sollifjell er en særegen konstruksjon. Normalt vil konstruksjonen fra horisontalt våtdekk og frem til baugen på en hurtiggående katamaran, være konstruert sammenhengende og med en liten vinkel (inntil ca.7 grader). Valg av Sollifjells geometriske utforming er ikke knyttet til materialvalg, og kunne ifølge LMG like gjerne vært valgt på en aluminiums konstruksjon.

<sup>12</sup>DNV Rules for High Speed Craft and Naval Surface Craft, January 2005 Pt3 Ch.1 Sec.2

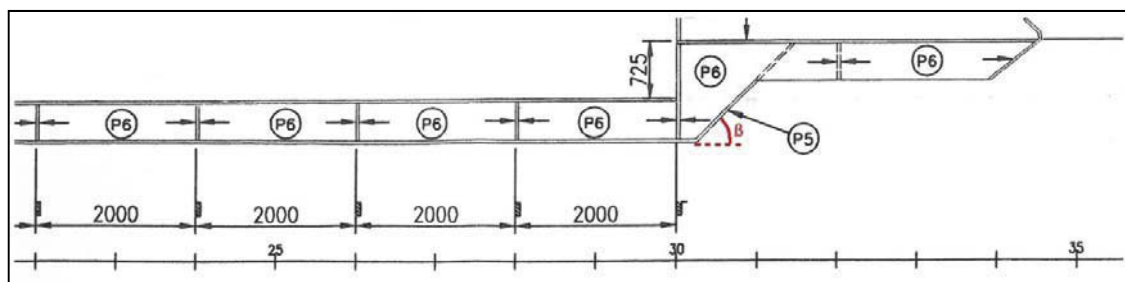
## 1.11.2.1 Våtdekk og skråpanel



Figur 21: Tegning av Sollifjell sett forfra.

Lengden på skråpanelet i horisontalplanet er 1,2 meter, og vinkelen til skråpanelet er etter konstruksjonstegninger  $\beta = 45^\circ$ , se Figur 22, (markert med P5). Høyden mellom det horisontale våtdekket og fordekket er 1,23 meter. Panelet har et areal på ca. 9 m<sup>2</sup>.

I tunneltoppen foran skråpanelet er det en åpen løsning opp til avstiverne under fordekket (se Figur 24).



Figur 22: Tverrsnitt av våtdekket til Sollifjell. Tverrsnittet er langs senterlinjen med baugen til høyre.

LMG har dimensjonert våtdekket for bølgeslag etter regelverket for den horisontale delen av våtdekket, det vil si frem til spant 30. I Rapporten<sup>13</sup> utarbeidet av LMG som er brukt til å beregne styrken til fartøyet skrives det:

*“Design loads – Bottom slamming also has to be checked for the panels between frame 30 and 32”.*

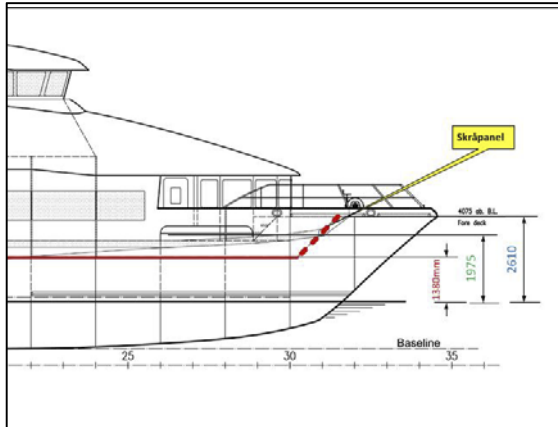
På neste side står følgende:

*“Set 10: Slamming on wet deck: 22,6 kN/m<sup>2</sup> on flat part / see (sea) pressure on the sloped part (not subject to slamming)”*

Beregningene gjort av DNV, ref. kap. 1.4.2, viser at bølgeslag mot skråpanelet utsetter panelet for krefter som er langt større enn det den er dimensjonert for.

<sup>13</sup> Strength analysis report for CARBON CAT / SEALORD 35 Doc. No. 84-20-17424, rev XF

I regelverket til DNV er det gitt definisjon på hva som defineres som våtdekk, og hvordan en skal gå fram for å beregne hvilke deler av våtdekket som skal dimensjoneres for bølgeslag eller kun sjøtrykk (se 1.4.2). Beregninger viser at våtdekket skal dimensjoneres for bølgeslag innenfor en høyde på 1,92 meter over stille vann. Denne høyden for slammingslast fremkommer ved å legge inn skipets lengde mellom perpendikulærene i formel vist i 1.11.2.2.



Figur 23: Våtdekkshøyde.

Skråpanelet har i følge tegningene en nedre høyde på 1,38 m og en øvre høyde på 2,61 m. Panelets middelhøyde er oppgitt til 1,975 m, se Figur 23.

LMG har tatt utgangspunkt i at skråpanelet ikke ville bli utsatt for bølgeslag. Dette basert på at LMG vurderte at siden tyngdepunktet/middelhøyde på skråpanelet var 1.975m, det vil si høyere enn 1.92m, og dermed utenfor det som skulle beregnes for bølgeslag/slamming på våtdekk.

For det nydesignede skroget med marginalt senket tunneltopp, men med skråpanel i front av våtdekket, kunne Sjøfartsdirektoratet krevd at det ble utarbeidet risikoanalyser eller annen dokumentasjon ut over det som er spesifisert i tegnings- og dokumentasjonslisten, jf. Forskrift om bygging, utrusting og drift av hurtiggående fartøy<sup>14</sup>.

Havarikommisjonen har fått opplyst at både en av Veolia's representanter og inspektøren fra Sjøfartsdirektoratet kommenterte skråpanelet ved byggeverftet under inspeksjon av produksjonen i Danmark, og påpekte at dette ikke så bra ut i forhold til møte med sjø. Inspektøren fra Veolia ble informert av LMG om at panelet var i henhold til valgt konstruksjonsløsning. Sjøfartsdirektoratets representant fikk tilbakemelding om at konstruksjonsløsningen var i henhold til DNV's regler.

<sup>14</sup> FOR 1998-01-05 nr 06, §11 (7)





Figur 24: Sollifjell med åpen løsning opp til de tversoverliggende avstiverne i tunneltoppen, med 45° skråpanel bak.

#### 1.11.2.2 Dimensjonering av bølgeslagstrykk mot våtdekk

Beregninger av bølgeslag mot våtdekk er beskrevet i HSLC, January 2005 Pt3 Ch.1 Sec.2. I regel Pt3 Ch.1 Sec.1 C401 angis utregningsformel for bølgeslagstrykket på en flat tverrstruktur. Definisjon på flat tverrstruktur er en struktur som har en ubeskyttet, nedadrettet, horisontal eller nesten horisontal overflate over vannlinjen. Den horisontale delen av tunnelen mellom skrogene til Sollifjell faller innenfor denne definisjonen.

Dersom høyden fra vannlinjen til våtdekket er mer enn:

$$H_L = 0,22L(k_c - \frac{0,8}{1000}L) \quad (\text{m})$$

hvor L er skipets lengde mellom perpendikulærene og  $k_c$  (hull type clearance factor = 0,3), kan bølgeslagstrykk erstattes med sjøtrykk i dimensjoneringen. Regelen sier ikke noe eksplisitt om beregning av bølgeslagstrykk mot strukturer med større vertikal vinkel, eller strukturer som ikke er horisontal.

Innen konstruksjon av katamaraner er det i følge Faltinsen (2005)<sup>15</sup> spesielt viktig å ta hensyn til kreftene fra bølgeslag mot våtdekk.

Videre i DNV HSLC, ref. Part 3, Chapter 9, Section 2 C105/ står det følgende om krav til analyse av bølgelaster og bølgebevegelse:

<sup>15</sup> Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, Odd M. Faltinsen 2005, kap. 8.

*“Craft with large flare, wet deck or centre bow, which may be exposed to significant wave impact, are to be analyzed by non-linear analyses for the ultimate limit state load prediction. Alternatively, the non-linear effects can be taken into account as correction factors from model tests or experience from comparable designs”*

HSC- kodens 2.1.6 sier

*“Model or full-scale test and/or calculations (as appropriate) shall also include consideration for the following known stability hazards to which high-speed craft are known to be liable, according to craft type:*

*.3 bow diving of planning monohulls and catamarans due to dynamic loss of longitudinal stability in relatively calm seas”*

### 1.11.2.3 Veolias og Båtservices oppfølging ved byggeverftet

I Kontraktens artikkel V beskrives prosedyre for godkjenning av planer og tegninger, samt inspeksjon under bygging. Veolia skulle i følge kontrakten få oversendt byggeplan med 14 dagers frist for kommentarer dersom planen ikke var i samsvar med kontrakt, eller om tegningene var uklare eller uspesifiserte.

Veolia gis også anledning til å følge byggeprosessen ved inspeksjon for å sikre at skipet bygges i overensstemmelse med kontrakten, hvor det ga plikt til å melde avvik. Representanten skulle i rimelig tid få beskjed i forkant av forsøk, prøver og inspeksjoner som skulle foretas under bygging av skipet.

Veolia hadde tre “kontingenter” til oppfølging av byggeprosessen. I starten (fra juni til september) av prosjektet var det en innleid konsulent som skulle følge opp byggeprosessen. Faste byggeinspektører fra rederiet kom til verftet i månedsskiftet september – oktober 2009. Gjennom det meste av byggeperioden har en innleid konsulent fra GK Marin AS på vegne av Veolia også vært tilstede ved Båtservice. Veolias prosjektleder hadde daglige møter med verftet.

I kontrakten mellom Båtservice og LMG er byggeoppsyn ved Tuco ikke detaljert beskrevet. LMG har opplyst i samtaler med havarikommisjonen at de ikke anså det som sitt ansvar å følge opp byggingen ved Tuco, men hadde i flere perioder under bygging av Sollifjell en inspektør til stede ved verftet. Fartøyskonstruktør fra LMG var ved flere anledninger hos Tuco for å følge produksjon. Båtservice har vært av den formening at LMG hadde den overordnede byggeoppfølging på vegne av reder (byggeverft).

### 1.11.3 Bygging av skrog hos Tuco

I DNVs regler (HSLC, January 2003 Pt.3 Ch. 4 Sec. 1.) er det beskrevet hva DNV krever i forhold til dokumentasjon.

- B101, e) Plan for testing av kvalitet
- D101 Skipsverftet skal ha implementert et effektivt system for kvalitetskontroll for å sikre at sluttproduktet møter spesifiserte krav. Person eller avdeling ansvarlig for kvalitetskontroll skal ha en tydelig autoritet og uavhengighet fra produksjon.

- D201 En skriftlig kvalitetsplan skal være etablert for hver produksjon av overbygning og skrog. Kvalitetsplan skal godkjennes av inspektør før igangsettelse av produksjon.

I prosedyrebeskrivelse (Technical Bulletin, Bonding of solid Laminates) til leverandør av kjernemateriale (DIAB) er det beskrevet hva som minimum kreves i kvalitetskontroll for å sikre produksjon:

### QUALITY CONTROL

---

There are no cheap and easy Non Destructive Test (NDT) methods available on the market today, which can be used for inspection of large panels. Some advancement in NDT by using laser shearography has been made that can be used but they involve large investments. It is therefore very important to control all steps from purchase of raw materials to delivery of the panels, to assure a good result.

The following is recommended as a minimum:

**Before bonding**

- Choice of work methods.
- Qualification of methods.
- Development of work methods.
- Training and qualification of personnel.
- Qualification of materials and suppliers.

**During bonding**

- Inspection of materials and their conditioning.
- Inspection of facilities (cleanliness, humidity and temperature).
- Inspection of work procedures.
- Documentation of critical parameters.
- Bonding of reference specimens.
- Sampling of adhesive for test of shore D hardness.

**After bonding**

- Visual inspection of panel.
- Testing of reference sample and shore D.
- Inspection of documentation.

Implemented and successful methods and procedures shall not be changed without going through a new qualification program.

Bonding of solid laminates - 3

Figur 25: Utdrag fra Divinycell.

Etter sammenføring skal det gjennomføres.

- Visuell inspeksjon av panel
- Test av referanse prøve
- Inspeksjon av dokumentasjon

Produksjon i Danmark ble satt i gang 19.05.09 av styrehus/bro. Skråpanelet og struktur rundt denne ble produsert 24.08.09. Det kom tre revisjoner til produksjonstegningen etter igangsatt produksjon, henholdsvis rev B (14.09.09), rev. C(15.09.09), og rev D(15.09.09).

Produksjonen foregår i all hovedsak av vakuum infusjon av større paneler og skrog. Når de vakuum støpte panelene skal settes sammen kalles dette for sekundærlaminering. Sekundærlaminering er håndarbeid og dokumentasjon av kvalitet er ofte utfordrende. Spesifikasjoner i HSLC Pt.3 Ch.4 Sec.8 omhandler denne prosessen.

Tuco hadde utarbeidet en prosedyre for å ivareta byggekvaliteten. Prosedyren påpeker at parametere som forbruk av resin, temp, luftfuktighet, støv skal dokumenteres. I tillegg står det at prøveemner skal lages/tas ut og testes/lagres. Havarikommisjonen har

etterspurt disse data, men det har ikke blitt fremlagt sporbare prøveemner og testresultat fra disse.

#### 1.11.4 Tilsynsmyndighet

Kontrakten mellom Veolia og Troms fylkeskommune beskriver at også offentlige myndigheter og evt. classeselskapet skal kunne foreta inspeksjoner gjennom hele byggeperioden.

Den første kontakten mellom Sjøfartdirektoratet og Båtservice ble etablert 10. juni 2009. Det var Sjøfartdirektoratets stasjon i Kristiansand som gjennomførte byggetilsyn ved verftet.

Hovedkontoret i Haugesund hadde det overordnede ansvar for sertifisering og kontroll av tegninger og styrkeberegninger. Tegninger og styrkeberegninger utarbeidet av LMG med Doc nummer 84-20-17424, rev D ble mottatt av Sjøfartsdirektoratet 31. juli 2009 og kommentert på generelt grunnlag 21. september 2009. Ingen kommentarer eller pålegg som anses relevante i forhold til havariet ble gitt.

Skipssikkerhetsloven definerer Sjøfartsdirektoratets rolle ved bygging i forhold til verft og rederi til å føre tilsyn og gjennomgang av dokumentasjon. Verft og rederi er selv ansvarlig etter skipssikkerhetsloven til å påse at regler i forhold til konstruksjon og bygging følges.

Sjøfartsdirektoratets inspektører var ved flere anledninger ved byggeverftet i Danmark. Forskrift om bygging mv av hurtiggående fartøy § 12 "Byggetilsyn" sier at Sjøfartsdirektoratet eller den det har bemyndiget skal foreta byggetilsyn som i dette tilfellet skal tilrettelegges av Båtservice som rederi/bestiller/byggeverft. Herunder refereres også til § 13 (Byggekrav knyttet til støpte fartøy) hvor kontroll av produksjonsforhold skal være i overensstemmelse med DNVs regler. Dette innebærer blant annet at produksjon, produksjonsforhold, materialbruk mv er i henhold til reglene.

Havarikommisjonen har mottatt en rapport fra Sjøfartsdirektoratets byggetilsyn datert 12/8-2009 (skrog nr. 2), hvor det bemerkes avvik i forhold til luftfuktighet samt at prøver for materialtester skal lages senere og sendes Reichold's laboratorium i Sandefjord for testing. Disse materialtestene var det LMG som fremskaffet. Rapport i forbindelse med materialtest er datert 18. februar 2010. Altså 4 måneder etter at Sollifjell var levert i Mandal. Havarikommisjonen kan ikke lese ut fra denne rapporten når, hvor og under hvilke forhold prøven ble produsert. Avvik med hensyn til luftfuktighet ble forklart og korrigert. Sjøfartsdirektoratet var også på byggetilsyn 30. september 2009, rett før ferdigstilling av Sollifjell. Sjøfartsdirektoratet har ikke gitt noen anmerkninger til TUCO.

Havarikommisjonen har mottatt dokumentasjon fra støpning, men ikke sett tilhørende temperatur og luftfuktighets log. I følge Sjøfartsdirektoratet logges temperatur og luftfuktighet slik at det kan gås tilbake til disse. Sjøfartsdirektoratet har ikke hatt bemerkninger til styringssystem. Prøveemner ble testet av Reichold i februar 2010.

#### 1.11.5 Utrustning hos Båtservice

Fartøyet ble fraktet med skip til verftet i Mandal i midten av november 2009, hvor det ble utrustet og utstyrt. Sjøfartsdirektoratet gjennomførte vanlig tilsyn under utrustningen,

men det har ikke fremkommet informasjon om forhold som er relevant for skaden som oppsto.

## 1.12 Fullskalatest og operasjonsbegrensninger

### 1.12.1 Sjøfartsdirektoratets rolle i forbindelse med operasjonsbegrensninger og fullskalaprøve

Det ble gjennomført fullskalaprøver i regi av Båtservice på Sollifjell 2. til 4. og 16. februar 2010.

Det er Sjøfartsdirektoratet, eller den det bemyndiger, som utsteder operasjonstillatelse hvor operasjonsbegrensningene fastsettes. Det stilles en rekke krav som må oppfylles før en operasjonstillatelse<sup>16</sup> kan bli gitt og som inkluderer at:

- Fartøyet er egnet for den drift det har til hensikt å gå i, med hensyn til sikkerhetsnivåer og informasjon gitt i farvannsbeskrivelsen.
- Operasjonstilstandene i farvannsbeskrivelsen er hensiktsmessige.

Hvis kravene ikke blir oppfylt/overholdt under driften kan myndighetsutøveren trekke tilbake operasjonstillatelsen.

Det er en rekke forhold og krav som kan sette operasjonsbegrensninger til en hurtigbåt. Utgangspunktet er anmeldelse av nybygget, hvilke regelverk som vil være gjeldende og fartsområde. Dette, samt krav til blant annet stabilitet, lastelinje, livredningsutstyr, styrke av konstruksjonen, vektor og plassering av maskineri og akselerasjoner fartøyet utsettes for under vind og sjøforhold, vil måtte tas hensyn til under fastsettelsen av operasjonsbegrensningene.

Hurtigbåtkoden<sup>17</sup> krever blant annet at:

*The Administration shall be satisfied that the worst likely acceleration or deceleration of the craft, due to any likely failure, emergency stopping procedures or other likely causes, would not hazard the persons on the craft.*

Fartøy med gyldig sikkerhets sertifikat for hurtiggående fartøy kan under forseilingen gå utenfor operasjonsområdet<sup>18</sup> angitt i operasjonstillatelsen under forutsetning av at øvrige begrensninger i operasjonstillatelsen er overholdt, reisen foregår i innenriks fart uten passasjerer og last, og det er innsendt seilingsplan for forflytningen slik at bemanningen kan vurderes.

Sollifjell fikk fartstillatelse for forseiling med gyldighet 22/3 – 4/10-2010.

### 1.12.2 Hurtigbåtkodens prinsipp om fastsettelse av operasjonsbegrensninger

HSC 2000 understreker at ubegrenset operasjon for et hurtigfartøy er uegnet og at det derfor er nødvendig å fastsette operasjonsbegrensninger. Koden definerer operasjonsbegrensninger som fartøyets begrensninger med hensyn til manøvrering, styringsdyktighet og ytelse og fartøyets operasjonsprosedyrer innenfor der fartøyet kan

<sup>16</sup> Koden for hurtiggående fartøy, kapittel 18.1.3

<sup>17</sup> Koden for hurtiggående fartøy, kapittel 17.8

<sup>18</sup> Forskrift om bygging mv av hurtiggående fartøy § 20 Operasjonstillatelse for hurtiggående fartøy.

operere<sup>19</sup>. Hensikten med fastsettelse av operasjonsbegrensninger er å ivareta personsikkerheten og den tekniske sikkerheten til fartøyet. Dette kommer blant annet til uttrykk i de generelle kravene i hurtigbåtkoden der fartsområde og verst tiltenkte forhold som fartøyet er tillat å operere innenfor vil bli avgrenset ved å fastsette operasjonsbegrensninger.

Operasjonsbegrensningene fastsettes ut i fra blant annet den strukturelle sikkerheten til fartøyet og grensene for forsvarlig håndtering av fartøyet fastsatt i henhold til fullskalaprøve. Fullskalaprøven og beregningene fra målingene, støttet av modelltester der dette er passende, danner noe av grunnlaget for begrensningene.

Operasjonsbegrensningene vil være basert på en rekke fysiske forhold som inkluderer fartøyets konstruksjon, fartøyets bevegelser i forskjellige sjø og vindforhold, det spesifikke farvannet fartøyet skal opererer i og andre forhold slik som nærmeste nødhavn.

HSC koden stiller overordnede krav og forutsetter at de preskriptive kravene er spesifisert i et regelverk som for eksempel klasseregler. HSC koden er for eksempel ikke spesifikk når det gjelder skrogets konstruksjon med hensyn til styrke. Det generelle kravet vil da være at dersom fartøyet kan bli utsatt for bølgeslag innenfor de tillatte operasjonsbegrensningene, så skal skroget være dimensjonert for dette.

Koden beskriver at administrasjonen skal ha i oppgave å vurdere fartøyers egnethet og oppfyllelse av kravene gitt i koden. I Norge er det Sjøfartsdirektoratet som har dette ansvaret. Koden påpeker blant annet:

*It is important that an Administration, in considering the suitability of a high-speed craft under this Code, should apply all sections of the Code because non-compliance with any part of the Code could result in an imbalance which would adversely affect the safety of the craft, passengers and crew. For a similar reason, modification to existing craft, which may have an effect on safety, should be approved by the Administration.*

#### 1.12.2.1 Krav til fullskalaprøve, fra hurtigbåtkodens vedlegg 9

Kodens vedlegg 9 angir definisjoner, krav og kriterier relatert til operasjon og sikker ytelse av fartøyet. Vedlegget beskriver prøver som skal utføres for å kunne evaluere operasjonssikkerheten til fartøyet. Fullskalaprøven skal utføres for prototypefartøyet av nytt design eller av en design som innehar egenskaper som kan gi andre resultater i forhold til tidligere utførte prøver.

Formålet med prøvene er å gi nødvendig informasjon og veiledning for å muliggjøre at fartøyet opereres på en sikker måte under normale og nødssituasjoner innenfor designhastighet og ytre miljøforhold.

De begrensende sjøtilstandene relatert til de forskjellige operasjonsmodusene skal bli verifisert av tester og analyser av den relevante fartøystypen. Operasjonskontroll skal være i henhold til prosedyrene for driftsoperasjon av fartøyet.

Koden krever at fullskalaprøven skal utføres med så lite vekt som praktisk mulig I tillegg skal det gjennomføres prøver med maksimal vekt i den utstrekning det er nødvendig for å

---

<sup>19</sup> Koden for hurtiggående fartøy, kapittel 1.4.42

fastslå behovet for flere begrensninger, og for å undersøke hvilken effekt vekt har på resultatene.

I tillegg skal operasjonsbegrensningene fastsettes gjennom prøver i minimum to relevante sjøtilstander og i møtende, side og følgende sjø. Prøvene skal vise at intervallene for hver test og antallet måleserier er tilstrekkelig for å oppnå pålitelige måleresultater. For hver sjøtilstand som testes skal den oppsamlede tid i hver retning ikke være mindre enn 15 minutter. Modelltester og matematiske simuleringer kan bli brukt til å verifisere fartøyets bevegelser i verste tiltenkte forhold.

For marsjfart (cruise performance) skal fullskalatestene fastslå fartøyets bevegelser og akselerasjoner som den erfarer under marsjfart uten passasjerlaster eller annen last og under følgende tilstander<sup>20</sup>:

- Normale operasjonstilstander. Dette er tilstander der fartøyet vil gå i marsjfart på en forsvarlig måte i en hvilken som helst retning i forhold til sjøen og operert enten manuelt, ved hjelp av autopilot eller annen automatisk kontrollsystem i normalmodus.
- Verste tiltenkte forhold der det er mulig å opprettholde en sikker fart uten eksepsjonell styringskompetanse. Det aksepteres at det for verste tiltenkte forhold vil det ikke være nødvendig å kunne operere fartøyet i alle retninger relatert til vind og sjø.

Med verste tiltenkte forhold menes den spesifikke ytre miljøtilstand innenfor den planlagte operasjon av fartøyet som danner grunnlaget i sertifisering av fartøyet. Dette skal ta hensyn til parametere slik som verste tiltenkte forhold av vindkraft som er tillatt, signifikant bølgehøyde (inkludert uhensiktsmessige kombinasjoner av lengde og bølgeretning), minimum lufttemperatur, sikt og vanddybder for sikker operasjon og andre parametere som myndighetsutøveren kan kreve under betraktning av type fartøy i det gitte operasjonsområdet<sup>21</sup>. I veiledning utarbeidet av IMO understrekes det at fartøyets bevegelser er avhengig av både bølgeperiode og bølgehøyde<sup>22</sup>.

#### 1.12.2.2 *Fastsettelse av operasjonsbegrensning, hurtigbåtkodens vedlegg 9 og 3*

Grensene for normale operasjonstilstander skal bli dokumentert gjennom målinger av fartøyets hastighet, retning til bølgene og interpolering av målingene av maksimum horisontal akselerasjon i henhold til Tabell 1.

Grensene for verste tiltenkte forhold skal bli dokumentert gjennom målinger av fartøyets hastighet, bølgehøyde og periode, retning til bølgene og ved empirisk standardavvik (RMS)<sup>23</sup> av horisontale akselerasjoner i henhold til blant annet Tabell 8. RMS-verdiene kan bli brukt for ekstrapolering av toppverdiene. For å beregne de forventede toppverdiene relatert til sikkerhetsnivå (1 per 5-minutters overskridelse), multipliseres RMS-verdien med 3. De forventede toppverdiene kan også beregnes på annen måte. Sikkerhetsnivåene er beskrevet i Tabell 4: .

<sup>20</sup> Koden for hurtiggående fartøy, vedlegg 9, 3.1

<sup>21</sup> Koden for hurtiggående fartøy, 1.4.61

<sup>22</sup> MSC.1/Circ.1329, 11.6.2009, 5.1

<sup>23</sup> RMS = Root mean square, også kalt empirisk standardavvik, er et uttrykk for en av karakteristikkene til en målt, tilfeldig variabel.

Hvis det ikke på annen måte er verifisert gjennom modelltest eller med matematiske beregninger, kan det antas en lineær relasjon mellom bølgehøyde og akselerasjon, basert på målingene fra de to sjøtilstandene. De verste tiltenkte forhold skal ikke overstige 150 % av den mest alvorlige av de to målte sjøtilstandene. Grensene for verste tiltenkte forhold skal dokumenteres både for passasjersikkerhet og for den faktiske strukturelle designlasten for fartøyet<sup>24</sup>.

Grensene for sikker operasjon av fartøyet (operasjonsnivå) skal beregnes som følger<sup>25</sup>:

- For normal operasjon ved 90 % av maksimum hastighet skal ikke akselerasjonen overstige sikkerhetsnivå 1, gjengitt i Tabell 3, med et gjennomsnitt av 1 hendelse per 5-minutters periode. Operasjonsmanualen for fartøyet skal inkludere detaljert beskrivelse av konsekvensene av hastighetsreduksjon eller endring av kurs i forhold til bølgeretningen for å hindre forverring av situasjonen.
- For verste tiltenkte forhold, og med redusert hastighet hvis det er nødvendig, skal akselerasjonene ikke overstige sikkerhetsnivå 2, gjengitt i Tabell 3, med et gjennomsnitt av 1 hendelse per 5-minutters periode. Heller ikke andre fartøysbevegelser slik som stamp, rull og giring skal overstige nivået som kan utgjøre en fare for passasjerene. I verste tiltenkte forhold, med redusert hastighet hvis det er nødvendig, skal fartøyet kunne bli sikkert manøvrert og gi tilstrekkelig stabilitet slik at fartøyet kan fortsette sikker operasjon til nærmeste nødhavn, forutsatt at dette er utført på en forsvarlig måte. Passasjerer skal sitte i setene når operasjonstilstanden overstiger sikkerhetsnivå 1.
- Innenfor den aktuelle strukturelle designlasten for fartøyet, med redusert hastighet og endring av retning, hvis nødvendig. Den beregnede maksimale vertikale akselerasjonene med hensyn til designlast beregnes ved gjennomsnittet av de 1/100 høyeste målte akselerasjonene<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> Koden for hurtiggående fartøy, vedlegg 9, 3.2.

<sup>25</sup> Koden for hurtiggående fartøy, vedlegg 9, 3.3.

<sup>26</sup> MSC.1/Circ.1329, 11.6.2009, 5.6.9



Tabell 3: Oversikt over sikkerhetsnivåene definert i hurtigbåtkoden, vedlegg 3

EFFECT	CRITERIA NOT TO BE EXCEEDED		COMMENTS
	Type of load	Value	
LEVEL 1 MINOR EFFECT  Moderate degradation of safety	Maximum acceleration measured horizontally	0,20g	0,08g: Elderly person will keep balance when holding 0,15g: Mean person will keep balance when holding 0,15g: Sitting person will start holding
LEVEL 2 MINOR EFFECT  Significant degradation of safety	Maximum acceleration measured horizontally	0,35g	0,25g: Maximum load for mean person keeping balance when holding. 0,45g: Mean person falls out of seat when not wearing seat belt.
LEVEL 3 HAZARDOUS EFFECT  Major degradation of safety	Collision design condition (calculated)  Maximum structural design load, based on vertical acceleration at center of gravity	Ref. 4,3,3  Ref. 4,3,3	Risk of injury to passengers; safe emergency operation after collision  1,0g: Degradation of passenger safety.
LEVEL 4 CATASTROPHIC EFFECT			Loss of craft or/and fatalities

Med sikkerhetsnivå menes en numerisk verdi som karakteriserer sammenhengen mellom fartøyets bevegelser, representert som horisontal enkelamplitude akselerasjon (g), og graden av akselerasjon - last effekt på stående og sittende mennesker. Sikkerhetsnivåene og den korresponderende grad av effekt på passasjerer og sikkerhetskriteriene for fartøyets bevegelser skal blant annet bli definert i henhold til Tabell 4.

Tabell 4: Beskrivelse av sikkerhetsnivåene. Hurtigbåtkoden, vedlegg 3

SAFETY LEVEL	1	1	1	2	3	4
<b>EFFECT ON CRAFT AND OCCUPANTS</b>	Normal	Nuisance	Operating limitations	Emergency procedures; significant reduction in safety margins; difficult for crew to cope with adverse conditions; passenger injuries.	Large reduction in safety margins; crew over-burden because of work-load or environmental conditions; serious injury to small number of occupants.	Deaths, usually with loss of craft
<b>F.A.R.</b> <sup>1)</sup> <b>PROBABILITY</b> (Reference only)	<----- PROBABLE ---->			<----- IMPROBABLE ----->		EXTREMELY <-----> > IMPROBABLE
<b>JAR-25</b> <sup>2)</sup>	<----- PROBABLE --->			<----- IMPROBABLE ----->		EXTREMELY <-----> IMPROBABLE
	<-----> FREQUENT	<-----> REASONABLY PROBABLE		<-----> > REMOTE	<-----> EXTREMELY REMOTE	
<b>PROBABILITY</b>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>		
10 <sup>-0</sup>	-2	-3		-5	-7	-9
<b>CATEGORY OF EFFECT</b>	<----- MINOR ----->			<---MAJOR--->	<-----> HAZARDOUS	CATA- STROPHIC

Koden beskriver også nærmere hvilke konsekvenser og tillatt hyppighet de ulike sikkerhetsnivåene kan ha på fartøy og passasjerer:

- Sikkerhetsnivå 1 representerer de normale operasjonsbegrensningene. Eventuelle skader skal være minimale.
- Sikkerhetsnivå 2 innebærer betydelig reduserte sikkerhetsmarginer og bruk av nødprosedyrer. Arbeidsbetingelsene for mannskapet er vanskelig. Skade på personer kan oppstå. Alvorlig situasjon - skal være usannsynlig.
- På sikkerhetsnivå 3 er det stor reduksjon av sikkerhetsmarginer. Mannskapet er overbelastet. Alvorlig skade på personer. Farlig situasjon - skal være usannsynlig.

Sjøfartsdirektoratets arbeid knyttet til fullskalaprøven og fastsettelse av operasjonstillatelse kan forenklet beskrives som følgende:

- Det er vanlig at Sjøfartsdirektoratet krever at det gjennomføres fullskalaprøve av alle hurtigfartøy og ikke kun prototypen i en serie.
- I forbindelse med planleggingsarbeidet skal Sjøfartsdirektoratet få innsendt en plan for hvordan fullskalaprøven vil bli gjennomført. Dette er basert på

hurtigbåtkodens krav om at fullskalaprøven skal gjennomføres i henhold til en plan som er avtalt mellom myndighetsutøveren og verftet (ref. <sup>27</sup>).

- En besiktigelsesmann fra Sjøfartsdirektoratet vil være til stede under gjennomføringen av fullskalaprøven. Hensikten er å verifisere at testingen foregår i henhold til planen.
- Sjøfartsdirektoratet får tilsendt resultatene fra fullskalaprøven og beregninger av representative akselerasjoner som er definert i hurtigbåtkoden. Basert på en gjennomgang av dette materiale vil Sjøfartsdirektoratet eventuelt fastsette operasjonsbegrensningene som er spesifikke for fartøyet. Det er ikke krav til at hurtigbåter skal ha fastmontert instrumentering for å overvåke g-kraften og dermed sikkerhetsnivå under operasjon.

### 1.12.3 Fartsområde

Hurtiggående fartøy er ikke underlagt forskrift 4. november 1981 nr 3793 om fartsområder. I stedet er fartøyene underlagt operasjonelle begrensninger basert på konstruksjon, sjøprøver og fartøyskategori i henhold til hurtigbåtkoden. Slike operasjonelle begrensninger gis i form av bølgehøydebegrensninger, avstand fra land m.m. Fartøy skal konstrueres i henhold til krav i forskrift<sup>28</sup> for å kunne sertifiseres. Sollifjell ble designet for å oppfylle krav tilsvarende fartsområde 3, som er et innaskjærs område hvor åpne havstrekninger på over 5 nautiske mil ikke passerer.

Forskriften definerer fartsområder som følger:

*“§ 2. Definisjon av fartsområder*

*Med fartsområde forstås et nærmere definert farvann et skip kan trafikkere, slik at dette direkte får betydning for skipets konstruksjon, utrustning, bemanning og drift. Fartsområdet omfatter alle farvann innenfor de ytre geografiske grenser som oppstilles. Skip, utstyr og besetning skal betraktes som en helhet, slik at det sertifikat som gir den største begrensning, skal være avgjørende for det fartsområde som tillates trafikkert.”*

Når det bygges med referanse til DNVs regelverk praktiserer Sjøfartsdirektoratet at fartsområdene kan sammenlignes med DNVs operasjonsbegrensninger. Det vil si at fartsområde 3 tilsvarer operasjonsbegrensningen R4 i regelverket til DNV, se Tabell 5.

Tabell 5: Sammenstilling av operasjonsområder gitt av SDir og DNV

Fartsområde (SDir)	HSLC (DNV)
Utenriks fart	R1 – R0
Liten kystfart	R2
4	R3
3	R4
2	R5 (RE)
1	

<sup>27</sup> Koden for hurtiggående fartøy.

<sup>28</sup> FOR-1998-01-05 nr 6 Forskrift om bygging, utrusting og drift av hurtiggående fartøy som anvendes som passasjerskip eller lasteskip.

DNVs operasjonsbegrensninger når det gjelder sjøtilstand baserer seg på Tabell 6.

Tabell 6: DNVs operasjonsbegrensninger med tanke på sjøtilstand er hentet fra DNV HSLC januar 2009 Pt. 1 Ch. 2 Sec. 1 A401

Table A1 Sea states - Beaufort			
Service restriction notation	Condition	Sea state Beaufort	Hs (m)
R0	Ocean	>6	>6
R1	Ocean	>6	>6
R2	Offshore	6	<6
R3	Coastal	5	<4
<b>R4</b>	<b>Inshore</b>	<b>4</b>	<b>&lt;2,5</b>
R5 (RE)	Inland	3	<1,25
Hs is the significant wave height that is assumed for the service restriction			

Fartøyet skal dermed designes for å kunne opereres inntil 2,5 meter signifikant bølgehøyde. (Tabellen over kan ikke overføres direkte til meteorologiske begreper og terminologi.)

#### 1.12.4 Gjennomføring av fullskalaprøve/sjøprøve

I tidsrommet 2 til 16. februar 2010, ble fullskalaprøven for Sollifjell gjennomført. Grunnlaget for fullskalaprøven var hurtigbåtkodens vedlegg 9. Fullskalaprøvene skulle blant annet innebære fartsprøver med forskjellige lasttilstander.

Båtservice Mandal AS hadde leid inn MARINTEK for å utføre målingene og beregningene i forbindelse med fullskalaprøven. MARINTEK hadde med seg og monterte det nødvendige utstyret for å foreta målingene.

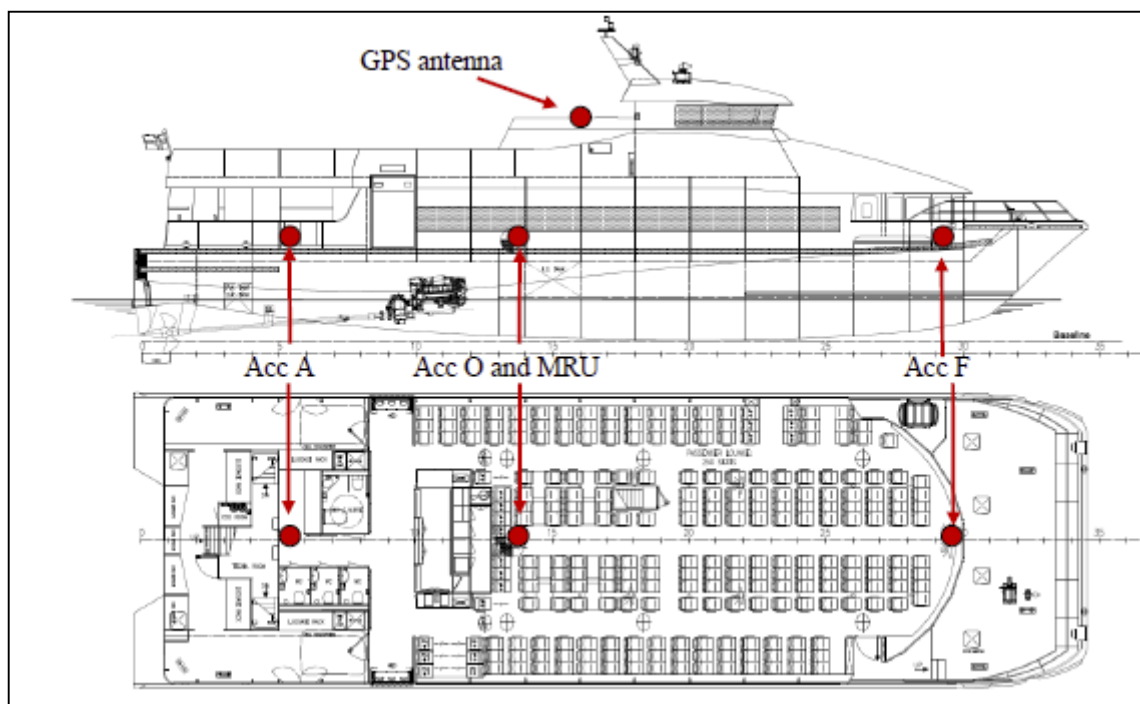
Følgende tester ble gjennomført:

I rolig sjø:	I moderat og grovere sjø:
Stopptest	Marsjfart under normale forhold
Manøvreringstest	Marsjfart under grovere sjø
Feiltest	Feiltest

Under fullskalaprøvene hadde fartøyet et deplasement på 92,6 tonn. Det vil si at under prøvene var fartøyet tilnærmet fullastet. Lastene var plassert langt fremme og langt bak på henholdsvis forre og aktre dekk. Det ble ikke gjennomført hardværsprøver i lettvekts lastkondisjon, selv om koden krever at det skal utføres med så lite vekter som praktisk mulig.

I forbindelse med gjennomføringen ble det bestemt at bølgekaraktistikkene skulle fastsettes fra visuelle observasjoner. Bølgeførholdene under noen av prøvene ble ansett for å være uryddige og besto av både vindsjø og dønninger. Det ble derfor ansett som vanskeligere å vurdere sjøtilstandenes bølgeperiode. Rapportene fra fullskalaprøven spesifiserer ikke bølgeperiodene.

Målingene innebar blant annet bruk av lineære servo-akselerometre på utvalgte steder, som gjengitt i Figur . Akselerasjonene ble målt hvert 0,02 sekund (målefrekvens 50 Hz). Girebevegelsene ble målt hvert 0,01 sekund (målefrekvens 100 Hz).



Figur 26: Posisjon av sensorer og instrumentering ombord i Sollifjell under gjennomføring av fullskalaprøven. MRU er måleinstrumentet for girebevegelsene.

Under hardværsprøvene fikk Sollifjell antageligvis et bølgeslag mot våtdekket. Fartøyet gikk da mot sjøen i 6 knops fart. Den signifikante bølgehøyden var anslått til å være mellom 2,0 og 2,2 meter. Da Sollifjell erfarte det som antageligvis var bølgeslag mot våtdekket ble langskips, horisontal akselerasjon målt til 0,2g. Den største vertikale akselerasjonen ble målt i fremre del av passasjerakkomodasjonen til å være 1,3g. I tyngdepunktet ble den vertikale akselerasjonen målt til å være 0,4g. Som følge av dette ble det besluttet å avbryte testingen i påvente av roligere sjøforhold.

Basert på at hurtigbåtkoden tillater å ekstrapolere 150 % fra den målte sjøtilstanden ble det besluttet å avvete testingen til bølgene var noe lavere. Da det var forventet at hurtigbåten skulle kunne tåle signifikant bølgehøyder på 2,7 meter, ble det beregnet at det ville være tilstrekkelig å gjennomføre hardværstesting med bølger på omkring 1,8 meter.

Etter ca. 30 minutter ble det anslått at den signifikante bølgehøyden var omkring 1,8 meter og det ble vurdert til at fartøyet kunne testes for dårligere vær med redusert hastighet (12-19 knop). Sjøtilstanden var uryddig og bestående av både vindsjø og noe dønninger. Bølgeperioden ble antatt å være omkring 6,0 til 6,5 sekunder.

Da hardværstesten i motsjø skulle utføres vurderte kapteinen at det var best å gå i 13 knop. Dette satte senere hastighetsbegrensning i forbindelse med fastsettelse av operasjonsbegrensninger. Denne prøven er en av totalt fire tidsserier som danner grunnlaget for den beregnede maksimale akselerasjonen (3xRMS) for Sollifjell i motsjø.

Noen utdrag av resultater og beregninger fra rapporten<sup>29</sup> utarbeidet av MARINTEK etter fullskalaprøvene inkludert hardværstest er gjengitt i det følgende.

Resultatene av stopptestene viser at den maksimale målte horisontale akselerasjonen var på 0,20 g, tilsvarende 1,96 m/s<sup>2</sup>, se tabell 7. Det er liten forskjell i den horisontale akselerasjonen mellom når fartøyet gjennomfører en normal stopp, en nødstop og en krasjstopp. Under hardværstesting ble det målt at en normal stopp (fra 32 til 0 knop) tok 27 sekunder.

Den høyeste målte retardasjonen var -1,86 m/s<sup>2</sup>, som tilsvarer 0,19g.

Tabell 7: Oppsummering av målingene av stopptestene utført av MARINTEK ombord i Sollifjell under fullskaletestene

**Stopping test:**

Test type	Start speed	HSC Code criteria	Measured max. horizontal acceleration	Stopping length
Normal stop	32.3 kts	0.20 g	0.19g	210m
Emergency stop	31.6 kts	0.20 g	0.19g	148m
Crash stop	32.2 kts	0.35 g	0.20g	178m

Hardværprøvene ble utført i sjø med signifikant bølgehøyde på 1,8-2,0 m.

Bølgeperioden ble anslått til omkring 6,0 til 6,5 sekunder. Det var uryddig sjø med både vindbølger og dønninger. Vindhastigheten var 13-15 m/s. Fartøyets hastighet med møtende sjø (head sea) og 45 grader mot baugen (bow quartering sea 45°) var kun 13 knop. Det var knyttet usikkerhet om sikringen av lastene ville holde. Basert på målingene ble maksimale akselerasjoner beregnet, se tabell 8.

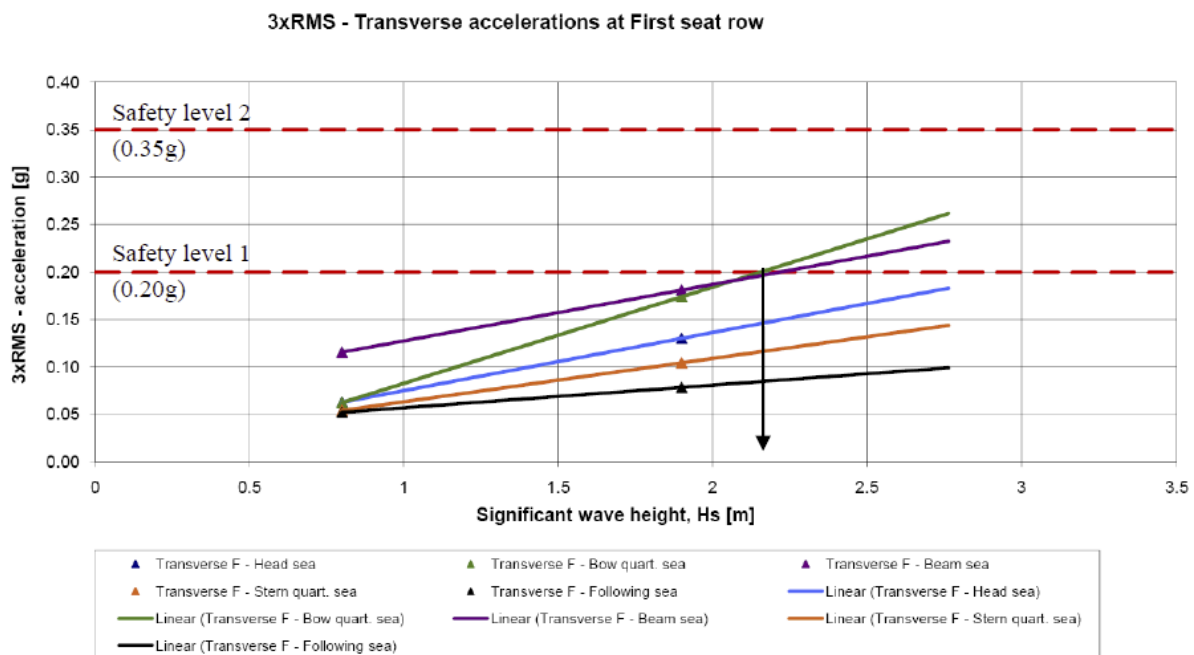
Tabell 8: Resultater fra hardværprøvene. De maksimale akselerasjonene er beregnet som 3xRMS

3xRMS of measured accelerations during sea trials in significant wave height of 1.8m	Mean speed	3xRMS transverse Y-acc. F	3xRMS vertical Z-acc. F	3xRMS longitudinal X-acc. O	3xRMS transverse Y-acc. O	3xRMS vertical Z-acc. O	3xRMS transverse Y-acc. A	3xRMS vertical Z-acc. A
	[kts]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
Head sea 0°	13.0	0.12	0.82	0.08	0.09	0.35	0.08	0.34
Bow quartering sea 45°	13.0	0.17	0.67	0.06	0.12	0.28	0.13	0.27
Bow sea 90°	12.0	0.17	0.44	0.04	0.14	0.18	0.15	0.20
Stern quartering sea 135°	13.0	0.09	0.30	0.05	0.10	0.16	0.11	0.15
Following sea 180°	19.0	0.07	0.23	0.05	0.07	0.12	0.09	0.12

<sup>29</sup> I rapporten står det at testene ble gjennomført med et deplasement på 23,8 tonn. Havarikommisjonen har fått opplyst fra MARINTEK at riktig deplasement for testene som ble gjennomført den 2, 3, 4 og 16. februar var 92,6 tonn. Dette er i overensstemmelse med at den foreløpige rapporten stadfester at prøvene var med maksimal last.

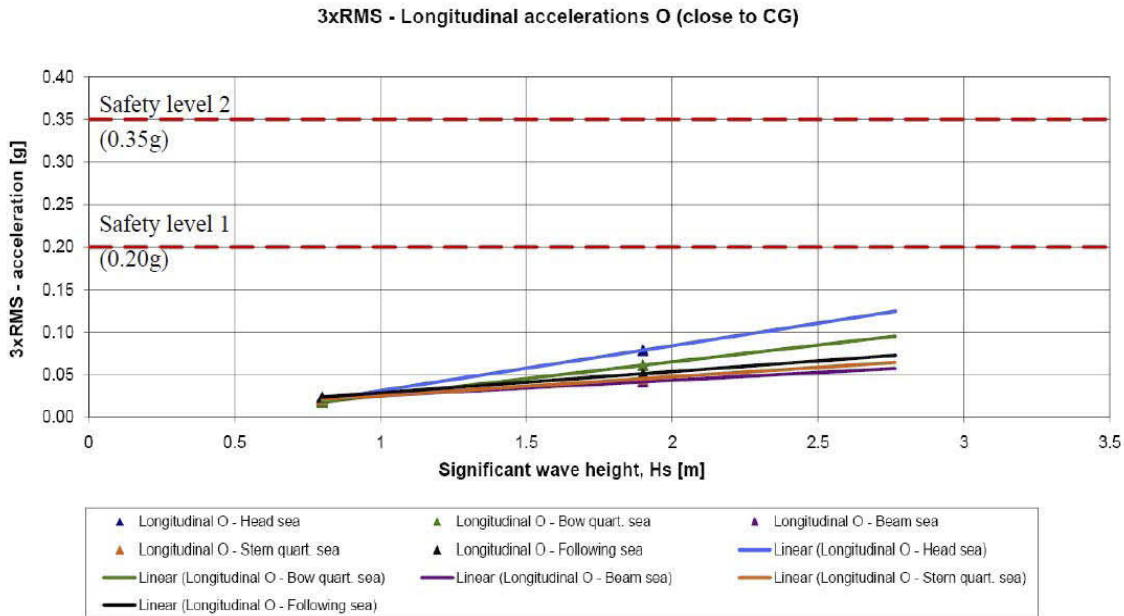
Basert på måleresultatene ble akselerasjonene i verst tiltenkte forhold beregnet ved bruk av ekstrapolasjon. I henhold til hurtigbåtkoden ble det antatt en lineær sammenheng mellom bølgehøyde og akselerasjonene. Basert på det antatt lineære forholdet vil grensene for signifikant bølgehøyde settes slik at de horisontale akselerasjonene er under sikkerhetsnivå 1 (0,20g) og sikkerhetsnivå 2 (0,35g). Vertikal akselerasjon i langskips tyngdepunkt skal ikke overstige sikkerhetsnivå 3 (1,0g).

For normal operasjon vil signifikant bølgehøyde på 2,2 meter 45 grader på baugen være begrensende, se Figur 27. Dette er basert på akselerasjoner i tverrskips retning for første seterad. Begrensninger i forhold til lastlinjekravene setter en øvre grense før fartøyet når sikkerhetsnivå 2.



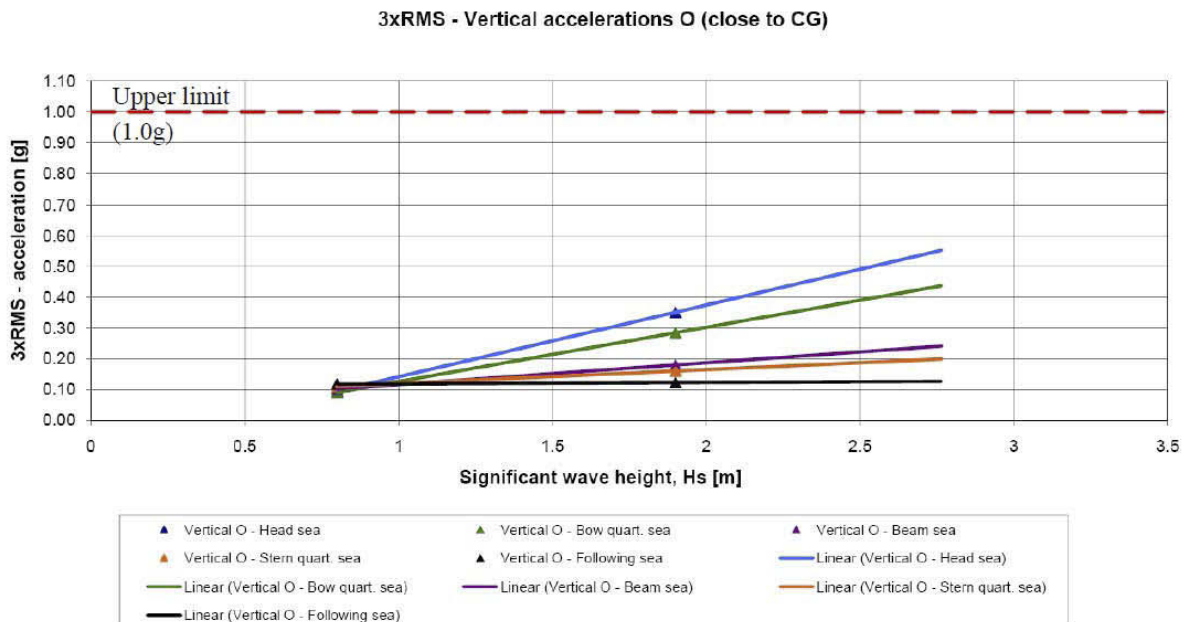
Figur 27: Horisontal akselerasjon i transvers retning ved første seterad som funksjon av bølgehøyde. Punktene angir den maksimale transvers akselerasjonen (beregnet til 3xRMS) for de forskjellige bølgeretningene. Linjene mellom punktene er ekstrapolert og dermed basert på en lineær sammenheng mellom bølgehøyde og akselerasjon. Den svarte pilen indikerer at ved en bølgehøyde på 2,2 meter og med bølgeretning 45 grader på baugen vil akselerasjonen krysse sikkerhetsnivå 1.

De beregnede akselerasjonene i langskips retning er lavere enn for tverrskips retning, se Figur 28.



Figur 28: Horisontal akselerasjon i langskips retning i nærheten av tyngdepunktet som funksjon av bølgehøyde. Punktene angir den maksimale langskips akselerasjon (beregnet ved 3xRMS) for de forskjellige bølgeretningene. Linjene mellom punktene er ekstrapolert og dermed basert på en lineær sammenheng mellom bølgehøyde og akselerasjon. For alle bølgeretningene vil akselerasjonene være under sikkerhetsnivå 1 for signifikant bølgehøyder opp til 2,75 m.

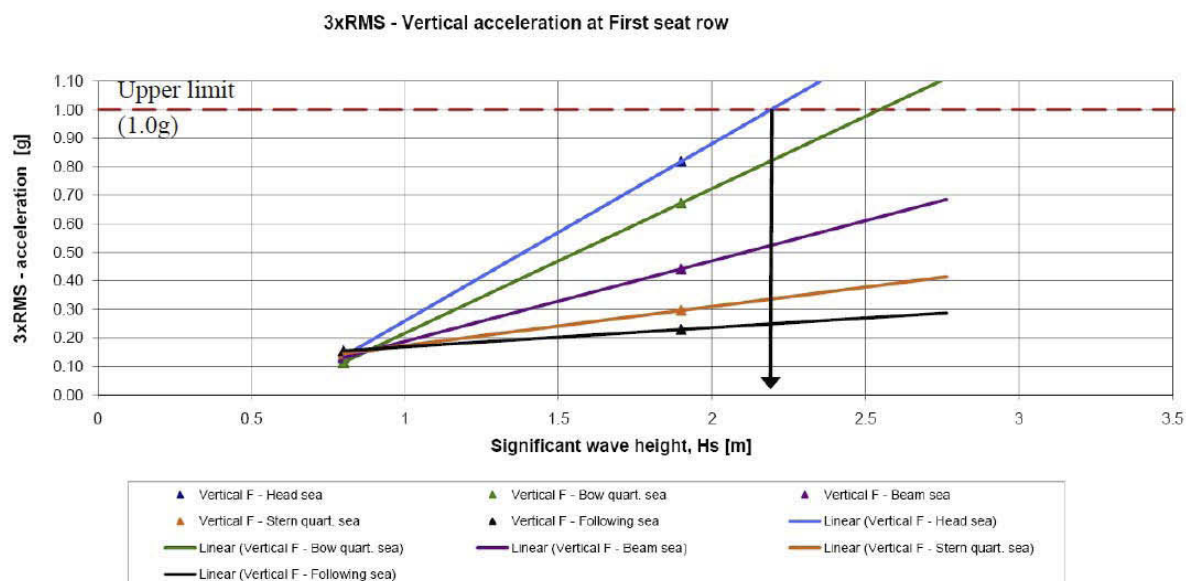
Beregningene viser at vertikal akselerasjon i tyngdepunktet er lav sammenlignet med kravet til sikkerhetsnivå 3 (maksimalt 1,0g), se Figur 29.



Figur 29: Vertikal akselerasjoner i langskips tyngdepunkt. Punktene angir den maksimale vertikale akselerasjonen (beregnet ved 3xRMS) for de forskjellige bølgeretningene. Linjene mellom punktene er ekstrapolert og dermed basert på en lineær sammenheng mellom bølgehøyde og akselerasjon. For alle bølgeretningene vil akselerasjonene være under sikkerhetsnivå 3 for signifikant bølgehøyder opp til 2,75 m.



Den vertikale akselerasjonen ved første seterad vil overstige 1,0 g i møtende sjø når signifikant bølgehøyde er mer enn 2,2 meter, se Figur . I en slik situasjon kan den vertikale akselerasjonen reduseres ved å endre fartsretningen.



Figur 30: Vertikal akselerasjoner ved første seterad. Punktene angir den maksimale vertikale akselerasjonen (beregnet ved 3xRMS) for de forskjellige bølgeretningene. Linjene mellom punktene er ekstrapolert og dermed basert på en lineær sammenheng mellom bølgehøyde og akselerasjon. Ved møtende sjø vil akselerasjonen være lik 1,0 g ved en signifikant bølgehøyde på 2,2 m.

### 1.12.5 Andre opplysninger med relevans for operasjonsbegrensningen

Kravene i hurtigbåtkoden til intakt og skadestabilitet satte for Sollifjell en begrensning på maksimal signifikant bølgehøyde på 2,65 meter<sup>30</sup>. Basert på at fartøyet ikke var utstyrt med lukningsmidler (blindlokk til vinduene i frontpartiet), ble den maksimale tillatte signifikante bølgehøyden satt til 2,5 meter<sup>31</sup>.

Det ble også i design/konstruksjonsfasen gjort beregninger som setter begrensninger til operasjonen. I styrkeberegningen som ble sendt inn til sjøfartsdirektoratet har LMG gjort beregninger basert på DNVs regelverk<sup>32</sup> i forhold til vertikal akselerasjon som er begrensende for hastigheten<sup>33</sup>, se figur 31.

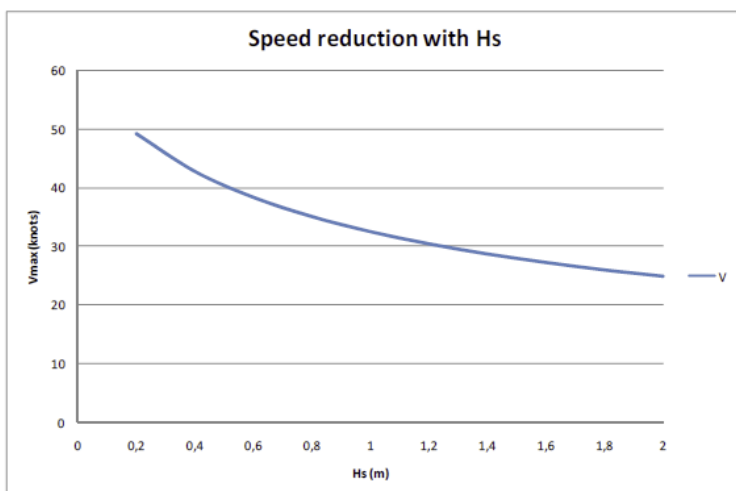
Hardværstestene ble senere gjennomført i henhold til Annex 9 på Kistefjell. Disse testene ble gjennomført i lettvekts kondisjon. Resultatene fra denne testen er innenfor kravene i HSC og gjennomføring av lettvekstkondisjon på Sollifjell ville ikke ha gitt endringer i operasjonsbegrensningene.

<sup>30</sup> Koden for hurtigfartøy, § 2.6.12.1

<sup>31</sup> DNV Rules for HSLC, Pt.3 Ch.6 Sec.1 G400.

<sup>32</sup> DNV Rules for HSLC, Pt.3 Ch.1 Sec.2 B200.

<sup>33</sup> DNV Rules for HSLC, Pt.3 Ch.1 Sec.2 B204.



Figur 31: Speed reduction in heavy seas. Figur utarbeidet av LMG i forbindelse med styrkeanalysen.

### 1.12.6 Sollifjells operasjonstillatelse

Basert på styrkeberegninger, fullskalaprøven og resultatene fra de påfølgende beregningene utstedte Sjøfartsdirektoratet operasjonstillatelse og hastighetsbegrensning for Sollifjell den 9. mars 2010 som følger:

*Operasjonstillatelsen definerer verste tiltenkte forhold som 2,0 meter signifikant bølgehøyde når bølgene kommer 45° på baugen. Ved bølgehøyder og –mønster som angitt i rapporten fra fullskalatesten, må hastigheten reduseres til under 13 knop.*

*Ved bølgehøyder og –mønster som ikke sammenfaller med ovennevnte vil følgende begrensninger gjelde:*

- 2,5 meter signifikant bølgehøyde basert på HSC2000 regel 2.2.9.3<sup>34</sup>.
- Hastighet/bølgetabell...”, se Tabell 9.

Etter at operasjonstillatelse ble gitt av sjøfartsdirektoratet ble Tabell 9 slått opp på bro/styrehus. Informasjon om fartøysbegrensning som viser til verst tiltenkte forhold inngår i fartøyets operasjonsmanualer og kreves ikke oppslått på bro, og oppbevares normalt sammen med andre fartøydokumenter.

*Tabell 9: Hastighetsbegrensning gitt av Sjøfartsdirektoratet. Tabellen angir største tillatte hastighet i forhold til bølgehøyde basert på de største påkjenninger som skroget er dimensjonert for. Overskridelser kan medføre skrogskader. Hastighetsbegrensningene er beregnet etter DNV Rules for HSLC Pt.3, Ch.1, Sec 2 B*

<sup>34</sup> Dette kraver knytter seg til plassering av sjøinntak og avløpsåpninger av hoved- og hjelpemaskineri. Kravet knytter seg til høyden av åpningene i forhold til en signifikant bølgehøyde som korresponderer med en angitt vannlinje og sett i forhold til skademuligheter. I følge Sjøfartsdirektoratet er det dessverre oppgitt feil regelreferanse.

Signifikant bølgehøyde (Hs)		Maks. hastighet (V)	
0	meter	33	knop
0,5	meter	33	knop
0,5 - 1,0	meter	29	knop
1,0 - 1,5	meter	25	knop
1,5 - 2,0	meter	22	knop
2,0 - 2,5	meter	20	knop
Mer enn 2,5	meter	Søk nødhavn med lav hastighet	

### 1.13 Gjennomførte tiltak - status på fartøyene i dag

Ved rapportens publiseringsdato er Sollifjell reparert. Alle tre fartøyene er bygget om i overgangen mellom tunell og fordekk. Skråpanelet er byttet ut med det som er tradisjonell løsning for overgang mellom fordekk og tunnel. MS Fløyfjell og MS Kistefjell er sammen med Sollifjell satt inn i rutetrafikk på sambandet Harstad – Finnsnes – Tromsø. Alle fartøyene er nå sertifisert av Sjøfartsdirektoratet.

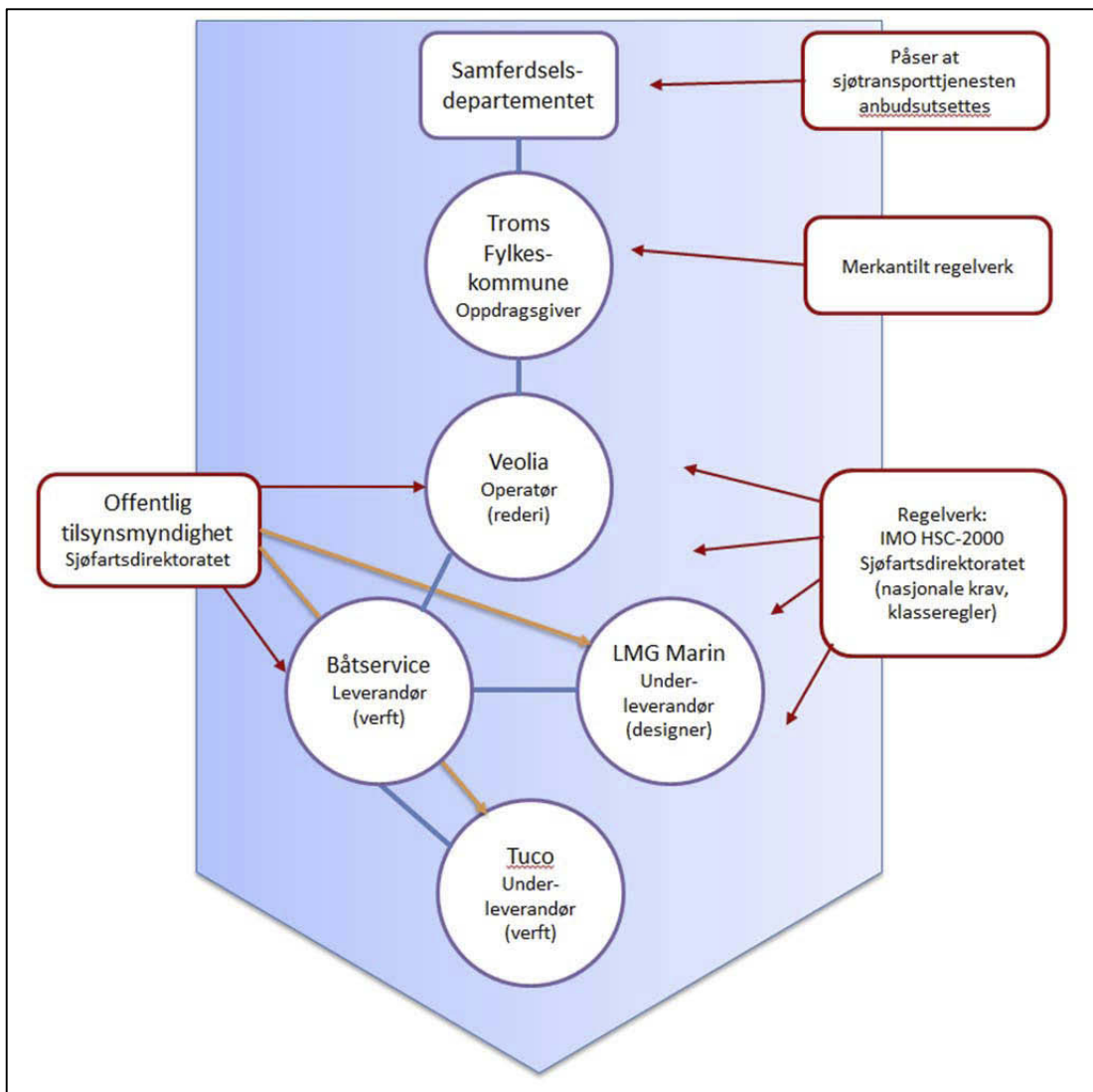
Rederiet har opplyst at i etterkant av havariet er rutiner i forbindelse med lagring av VDR data implementert i styringssystemet.

## 2. ANALYSE

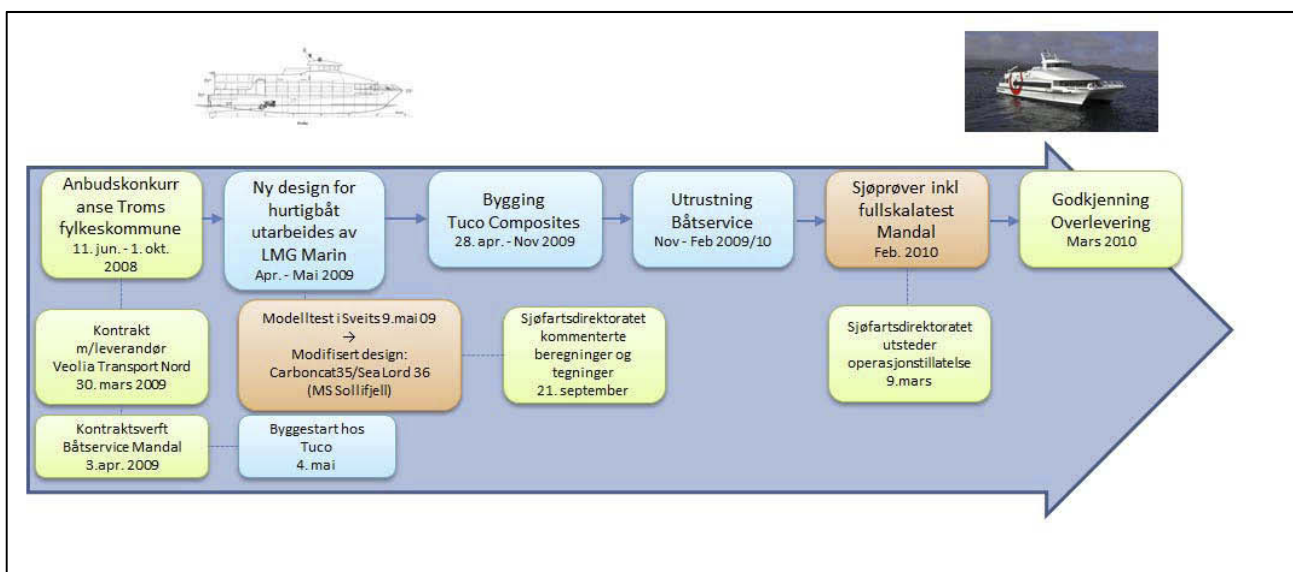
### 2.1 Innledning

Det ble konstatert store skader i skrog med forplantninger til overbygget da Sollifjell havarerte den 24. mars 2010 i Hustadvika vest av Bud på Mørkekysten. Havarikommisjonen har analysert prosessene med blant annet anbudsgivelse, design/konstruksjon, bygging og operasjon, for å avdekke årsaken til havariet.

Analysen innledes med en vurdering av hendelsesforløpet, hvor de operasjonelle og tekniske forholdene drøftes, hvorfor skaden oppstod og hvilke sikkerhetsbarrierer som manglet eller ikke fungerte.



Figur 32: Oversikt over aktører.



Figur 33: Anskaffelsesprosessen av Sollifjell.

## 2.2 Vurdering av hendelsesforløpet

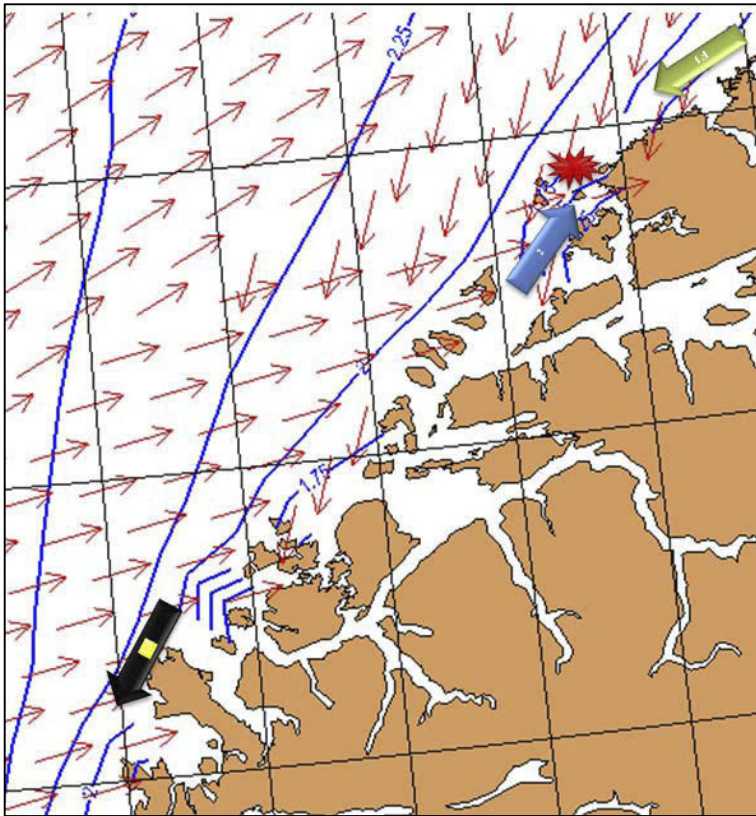
Havarikommisjonens vurdering av hendelsesforløpet er gjort på grunnlag av innsamlet informasjon fra mannskapet, data fra Kystverket, Meteorologisk institutt og Sjøfartsdirektoratet, samt observasjoner fra fartøy i området rundt hendelsestidspunktet. Dette sammenstilles med resultater fra fullskalatesten og skadeanalyse foretatt av DNV.

Havarikommisjonen kunne ikke benytte skipets VDR data da mannskapet ikke hadde iverksatt datalagring. Lagring av data på VDR er viktig i forbindelse med havarikommisjonens behov for data i sitt analysearbeid. Dette var ikke implementert i rederiets styringssystem. I dette tilfellet måtte havarikommisjonen benytte lagrede AIS data i sitt analysearbeid, men dette gir ikke de samme muligheter som VDR-data ville ha gjort.

AIS-data viste fall i hastighet fra maksimalhastigheten 33 til 29 knop klokken 1002, før hastigheten på nytt steg til 33 knop. Denne hastigheten ble beholdt i 40 sekunder før den ble redusert i flere omganger helt ned til 4 knop. Havarikommisjonen anser at skaden med åpning av skrog oppstod omkring den første registrerte hastighetsreduksjonen og at de påfølgende reduksjoner knyttes opp til alarm om vanninntrenging og påfølgende kartlegging av situasjonen om bord. Dette harmonerer også med de forklaringer mannskapet har gitt. VDR data ville med stor sannsynlighet gitt ytterligere informasjon knyttet til hendelsesforløpet.

### 2.2.1 Sjøforholdene og operative forhold knyttet til forseilingen

Havarikommisjonen ser at de 4 værobservasjonene fra området spriker når det gjelder angivelse av bølgehøyde. Mannskapet om bord på Sollifjell angir en bølgehøyde på 0,5 meter og "tunghalinger", mens mannskapet om bord på et 57 meter langt lastefartøy, blå pil i figur 34, rett syd av havaristedet, angir en bølgehøyde på 3 meter. Fartøy rett nord for havaristedet, grønn pil i figur 34 oppgir bølgehøyde moderat anslått til 0,5-1,5 meter. Den siste observasjonen, sort pil i figur 34, fra området er utenfor Stadt og angir havdønninger på 1 til 1,5 meter på tidspunktet Sollifjell passerte. Havarikommisjonen mener det er knyttet usikkerhet til observasjonene, både på grunn av vanskeligheter med å bedømme bølgehøyde samtidig som det er dønninger, men også om observasjonene beskriver det dominerende bølgefeltet eller enkeltbølger over for eksempel grunner.



Figur 34: Værobservasjoner i området.

Værobservasjonen i Budadjupet, 4,5 nautiske mil nord for Bjørnsund, se figur 34 grønn pil, angir lavere bølgehøyder enn det som er forventet bølgehøyde basert på Meteorologisk institutt sine beregninger om dønningene fra vest/sørvest. Dønningene fra vestsørvest er forventet å bli høyere enn 2,5 meter og kortere enn 190 meter når de kommer over grunner slik som Søreggskallen og Kolbeinflua. Vest for disse grunnene er det forventet at dønningene er uforandret. Det at værobservasjonen angir lavere bølgehøyder enn Meteorologisk institutt sine beregninger kan forstås ved at i dette tidsrommet var området skjermet for dønningene fra vest/sørvest. I så fall kan det området Sollifjell befant seg i frem til første hastighetsreduksjon også vært skjermet for dønningene fra vest/sørvest.

Målinger fra Ona Fyr viser at Sollifjell hadde lett bris fra styrbord omkring ulykkestidspunktet. Det var lite vindsjø, men med dønninger fra vest/sørvest, og noe strøm mot nord. I Saltsteinsleia og sørlige deler av Budadjupet har øyene og grunnene mellom Husøya og Klakken sannsynligvis tatt av for dønningene fra vest/sørvest. Da Sollifjell kom ut i Budadjupet, nord for Saltsteinleia, kan det ha blitt et uryddig bølgefelt med dønninger. Da bølgelengden er anslått til rundt 190 meter vil bølgene stues sammen over grunner med dybde mindre enn halve bølgelengden, dvs. grunner mindre enn ca. 95 meter. Fartøyet passerte Ersgrunnen med dybder i området 36-50 meter. Bølgene kan derfor lokalt over Ersgrunnen ha blitt høyere og kortere enn i andre områder i Budadjupet. De 4 observasjonene fra området varierer fra 0,5 meter og tunghalinger til 3 meter. Som analysert over kan det være grunner til at det virkelig er forskjeller, men det indikerer også at en visuell bedømmelse av en bølgehøyde er subjektiv.

Sollifjell var utstyrt med et skilt på broa (se 1.12.6) som viste at fartøyet skulle søke nødhavn ved signifikante bølgehøyder på 2,5 meter, og videre redusere hastigheten til 25

knop ved bølgehøyder 1.0-1-5 meter. Den aktuelle hastigheten på 33 knop skulle kun benyttes dersom signifikant bølgehøyde er mindre enn 0,5 meter.

Basert på det som er analysert over finner havarikommisjonen at den signifikante bølgehøyden kan ha vært høyere enn 0,5 meter. Tunnelhøyden er 1,38m i lastet konfigurasjon. Ved forseilingen var fartøyet i lett konfigurasjon med akterlig trim. Ved en hastighet på 33 knop ville Sollifjell i tillegg ligge høyere i vannet. I en slik konfigurasjon vil det konservativt kunne antas at en bølge måtte ha en høyde på omkring 2,7 meter for å nå opp til skråpanelet. Dette tilsvarer en signifikant bølgehøyde på om lag 1,5 meter. I følge operasjonstillatelsen skulle fartøyet ved en slik bølgetilstand redusert hastighet til maks 22 knop. Sollifjell holdt sannsynligvis en hastighet som går utover de operative begrensninger som fartøyet hadde på det gjeldende tidspunkt da fartøyet passerte Ersgrunnen.

AIS-data fra Kystverket viser at fartøyet holdt marsjfart på 33 knop over Ersgrunnen. Mannskapet oppga at de registrerte lyden av et smell, hvoretter farten ble redusert til 22 knop. Da alarm fra lensebrønnene som indikerte vanninntrenging gikk, ble det foretatt visuell påvisning av skade. Deretter ble det søkt nødhavn i Bud i lav hastighet. Smellet var, etter det havarikommisjonen antar, lyden av bølgeslag mot skråpanelet.

Trykket mot skråpanelet domineres i stor grad av fartøyets hastighet fremover. Da havariet skjedde, holdt fartøyet en marsjfart på ca. 33 knop, hvilket det hadde gjort store deler av seilassen. I følge DNVs beregninger vil ikke skråpanelet ha styrke nok til å tåle bølgeslag i denne hastigheten. Basert på dette finner ikke havarikommisjonen det utenkelig at det kan ha vært flere tilfeller av bølgeslag mot skråpanelet før den gikk til brudd med vanninntrenging. Havarikommisjonens undersøkelser har ikke avdekket at fartøyet hadde truffet fast gjenstand. Havarikommisjonen mener derfor at skadene som medførte vanninntrenging på Sollifjell høyst sannsynlig oppsto da fartøyet fikk bølgeslag mot skråpanelet og våtdekket noen sekunder før klokken 1003.

### **2.3 Rederi**

Lagring av data fra VDR var ikke omtalt i rederiets operasjonsmanual. Dette vanskeliggjorde havarikommisjonens arbeid for å få etablert et hendelsesforløp. Havarikommisjonens observasjon er at Sollifjell ble operert med en maksimal hastighet fra Lindesnes fram til havaristedet. Dette skulle tilsa en sjøtilstand med mindre enn 0,5 m signifikant bølgehøyde hele denne 350 – 400 nm lange strekningen. Skipsføreren leverte avviksrapport samme dag som havariet.

### **2.4 Bruk av begrepet signifikant bølgehøyde**

De operative begrensningene for hurtigbåter bygger blant annet på signifikant bølgehøyde og akselerasjoner som påvirker passasjerene. Ved måling av bølgehøyde vil begrepet ha relevans, men i daglig bruk kan den være vanskelig å fastsette. Ulike personer som står på samme bro vil kunne gi ulike anslag på signifikant bølgehøyde. I tillegg vil hastighet og høyde over bølgene påvirke vurderingen, det samme vil bølgeretning og lysforhold/mørke gjøre. Dersom det er vindsjø sammen med havdønninger kan vurderingene bli ekstra vanskelige. Operasjoner med hurtigbåter forutsetter at bølgehøyder vurderes rimelig korrekt for å sikre at man ligger innenfor de operasjonelle begrensningene. Havarikommisjonen er kjent med at det finnes tekniske løsninger for bedre objektiv fastsetting av bølgehøyde og akselerasjoner.

## 2.5 Anbudsprosess

På grunn av rettsak i forbindelse med valg av tilbyder, ref. avsnitt 1.9.1, ble kontraktsinngåelsen forsinket med 6 måneder i forhold til opprinnelig plan i anbudsgrunnlaget fra Troms Fylkeskommune. Endelig kontrakt mellom Troms Fylkeskommune og Veolia ble tegnet 30.mars 2009.

I henhold til anbudsgrunnlaget fra Troms Fylkeskommune skulle valg av tilbyder, dersom prisdifferansen var mindre enn 20 %, baseres på følgende kriteriene med tilhørende vekting:

Tabell 10: Utvalgsriterier i anbudsdokument fra Troms Fylkeskommune

Kriteria nr.	Kriteria	Vekting
1	Fartøyer med lavere, forurensende utslipp	80 %
2	Pris	20 %

Utvalgsriteriene benyttet av Troms Fylkeskommune endte opp med i hovedsak å basere seg på miljøutslipp (80 %). Asplan Viak foreslo en litt mer nyansert modell hvor blant annet erfaring og kompetanse vektet inn og hvor utslippsbidraget tones vesentlig ned. Det valgte fokus gjorde at tilbudet fra Veolia ble utarbeidet med utgangspunkt i spesifikke motorer. Med gitt minimums hastighet og antall passasjerer, samt fartsområde ble båten designet rundt dette. Anbudets utforming medførte dermed at det ble designet et fartøy som ble optimalisert med hensyn på vekt og dynamikk. Sluttresultatet ble en Carbon Cat 35 med en forholdsvis lav tunnel med et 45 graders skråpanel i front.

I dette tilfellet ble det satt ut et anbud basert på gjeldende regelverk for bygging. I tillegg krevde Fylkeskommunen at det ble bygget etter HSC 2000. På kontraktstidpunkt var HSC 2000 ikke implementert og heller ikke et krav i nasjonalt regelverk. Videre forutsatte Fylkeskommunen at operatørene gjennom sitt kvalitetssikringssystem var kapable til sikker framføring av fartøy. Herunder følger også krav til å framskaffe nødvendig informasjon for å kunne operere sikkert.

I anbudsgrunnlaget ble det ikke beskrevet hvilke operasjonsbetingelser (som f.eks. værforhold og regularitet) som måtte oppfylles for fartøyene, foruten at de skulle være godkjent for området, og oppnå minimum 33 knops hastighet i rute. Gjennomsnittshastigheten var beregnet til å være 30 knop. Det forelå ingen informasjon om bølgehøyde i farvannsbeskrivelse i anbudsgrunnlaget fra Troms Fylkeskommune, men dette er informasjon det må forutsettes at rederiet hadde tilstrekkelig kunnskap om. Farvannsbeskrivelser for området fartøyet skal trafikkere er et av kriteriene som ligger til grunn for utstedelse av operasjonstillatelse.

## 2.6 Design og konstruksjon

### 2.6.1 Utvikling og testing av design

Havarikommisjonens undersøkelse har kommet frem til at det har vært minst 4 forskjellige konsept som er blitt vurdert i dette anbudet. UM35, Carbon Cat 35, Sealord og Sealord/Carbon Cat 35.



Modelltesten av Carbon Cat 35 i begynnelsen av mai 2009 resulterte i at fartøyet ikke klarte å oppnå ønsket hastighet. I henhold til kontrakten skulle fartøyet leveres til operatør omkring 9 måneder senere. Omtrent samtidig med at modelltesten ble utført av Carbon Cat 35, startet støping og byggingen hos Tuco.

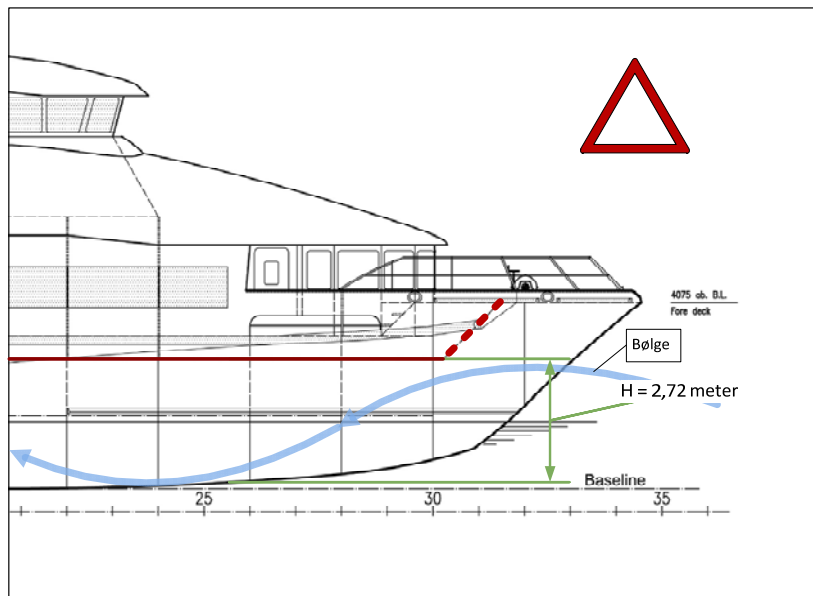
Modelltester/bassengtest basert på strukturelle laster av det nye konseptet Sealord/Carbon Cat 35 ble ikke gjennomført, og er heller ikke et krav i forhold til regelverket.

Sjøfartdirektoratet kan imidlertid be om enten slik test, eller på annen måte verifisert laster som fartøyet kan utsettes for. En slik prøve kunne ha avdekket utfordringene med forholdsvis lavt våtdekk sammen med skråpanel med stor vinkel. Det har ikke kommet frem i undersøkelsen hvorfor hverken modelltester eller ikke-lineære analyser av det nye Sollifjelldesignet ikke ble utført. Dette ble heller ikke etterlyst av kontrakts verft (Båtservice), rederi (Veolia) eller Sjøfartsdirektoratet. HSLC regelverket stiller krav til omfattende utprøving og testing av nye design.

### 2.6.2 Design av våtdekk og skråpanel på Sollifjell

LMG hadde i sine beregninger kommet fram til at våtdekket skulle dimensjoneres for bølgeslag innenfor en høyde på 1,92m over vannlinjen. Det horisontale våtdekket har en høyde på 1,38 meter, og det var kun denne delen av våtdekket som ble vurdert for slamminglaster. Struktur mellom skrogene som er høyere enn 1,38 meter men dog lavere enn 1,92 meter ble ikke vurdert for slamminglaster. LMG har vurdert "våtdekkspanel" som har tyngdepunkt over 1,92 meter ikke trenger å motstå bølgeslag. Dette er etter havarikommisjonens oppfatning en uriktig tolkning av regelverket. Definisjonen av våtdekk som horisontal (liggende) struktur kan være en forklaring. Hvorfor den del av skråpanelet som lå under 1,92 m ikke ble viet større oppmerksomhet er ukjent. Dette drøftes videre i 2.6.4.

På Sollifjell var høyden på det horisontale våtdekket 1,38 meter. Dette er den delen av våtdekket som er beregnet til å tåle bølgeslag. Så lenge LMG ikke hadde vurdert skråpanelet (rød stiplet linje i figur 35), som er en direkte forlengelse av våtdekket, til å måtte kunne tåle bølgeslag, skulle fartøyet ikke kunne operere i store hastigheter i bølger som overstiger 1,5 meter signifikant bølgehøyde. I bølger som er 1,5 meter signifikant bølgehøyde må det påregnes at fartøyet vil treffe bølger som er oppimot dobbelt så store som signifikant bølgehøyde. Dette er en direkte følge av definisjonen av signifikant bølgehøyde. Dette betyr at ved bølger som er 0,15 meter høyere enn våtdekkshøyden på 1,38meter, altså ved 1,5 meter signifikant bølgehøyde, må det forventes at det kommer bølger som er 2,7 meter noe som kan gi bølgeslag mot skråpanelet ( $H_{max} = H_s \times 1,8$ ), se figur 35.



Figur 35: Hs max før bølgeslag mot skråpanelet.

Sollifjell er konstruert for å kunne “skjære” gjennom sjøen med minst mulig motstand. For å oppnå et effektivt skrog får baugen lav oppdrift. Dersom man om bord raskt må redusere hastighet på fartøyet, for eksempel ved større bølger, vil baugen av fartøyet dykke ned i sjøen. Dette vil føre til at sjøen slår mot tunellen mellom skrogene. Det samme kan skje dersom fartøyet opprettholder hastighet gjennom bølgen slik at bølgen treffer våtdekket. I begge disse tilfellene vil fartøyet bli utsatt for slammning, som vil gi en ikke ønsket belastning på våtdekket (tunellen), i tillegg til stor belastning på passasjerer. Et høyt våtdekk er å foretrekke i farvann med mye bølger. Konstruktør skal beregne våtdekket til å tåle slammning trykk, det var det også gjort på Sollifjell akter for skråpanelet.

Så vidt Havarikommisjonen har klart å finne ut har det ikke vært konstruert hurtigbåter med tilsvarende skråpanel som på Sollifjell. Når fartøyet blir utsatt for slammning vertikalt på våtdekket er det stor sannsynlighet for at skråpanelet også blir utsatt for slammningkrefter, men på grunn av plassering og vinkel vil horisontal kreftene på skråpanelet være mange ganger større enn det som virker vertikalt bak skråpanelet. Siden skråpanelet var delvis lavere enn 1,92 meter skulle det vært forutsatt at denne delen av skråpanelet kom til å bli utsatt for bølgelast. Havarikommisjonen definerer dette å være gjenstand for særskilt beregning. Ingen seksjon/område av skråpanelet var vurdert for å tåle slammninglaster.

### 2.6.3 Tolkning av regelverket for beregning av slammninglaster

Havarikommisjonen har vurdert DNVs regler for å se om disse omfatter formler for beregning av krefter på designløsning for våtdekk med skråpanel. DNV HSLC reglene Part 3 Chapter 1 Section 2 C400 skal tolkes: "Slamming pressure on flat cross structures". Videre i DNV HSLC reglene under definisjoner er følgende beskrevet:

*“Flat cross structure” is a structure having an exposed, down-facing, horizontal or near-horizontal surface above the waterline.”*

Denne definisjonen er tydelig, og underbygger at panel som har en større vinkel ikke kan sies å være dekket av *formel* for våtdekkslamming. Videre i DNV HSLC, ref. / Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft, July 1999, Part 3, Chapter 9, Section 2 C105/ står det følgende om krav til analyse av bølgelaster og bølgebevegelse:

*“Craft with large flare, wet deck or centre bow, which may be exposed to significant wave impact, are to be analyzed by non-linear analyses for the ultimate limit state load prediction. Alternatively, the non-linear effects can be taken into account as correction factors from model tests or experience from comparable designs”*

Havarikommisjonen anser at LMGBurde gjennomført beregning av belastning på skråpanelet på bakgrunn av den nevnte paragrafen. Hvorvidt skråpanelet må defineres som en del av våtdekk kan muligens diskuteres, men det synes klart at panelet vil kunne utsettes for bølgepåvirkning og følgelig skulle være gjenstand for beregning.

Det ble hverken utført modelltesting eller ikke-lineære analyser av designet til Sollifjell. Basert på at hurtigbåtkoden understreker at fullskalaprøven kan suppleres med modellprøver samt at toppverdiene kan beregnes ved ekstrapolering (for å simulere fart og bølger) mener Havarikommisjonen regelverket er utformet slik at tilsynsmyndigheten har mulighet til å be om et større faktagrunnlag for å vurdere konsekvensene av den særegne konstruksjonen i forhold til operasjonsbegrensningene. I koden nevnes bølgeslag som ett av flere forhold det er nødvendig å fokusere på i forbindelse med fastsettelse av operasjonsbegrensninger. I en veiledning<sup>35</sup> til hurtigbåtkoden understrekes dette.

Simuleringer viser at en flate med så stor vinkel som 45 grader vil utsettes for langt høyere krefter enn horisontale nedadrettede flater. Dersom dette panelet skulle ha vært dimensjonert for våtdekkslamming, ville det måtte tåle særdeles store laster (se DNV skadeanalyse). I Sollifjells tilfelle er løsningen med et panel som er 45 grader og vinkelrett på fartsretningen en uheldig designløsning. Den er også vurdert til å være svært ugunstig for alle om bord, da den ved bølgeslag vil kunne utsette passasjerer og mannskap for store akselerasjoner.

HSC-kodens 2.1.6 beskriver at det skal gjøres betraktninger med hensyn til forhold rundt kjente problem for hurtigbåter, deriblant “nose dive” eller neddykking av baug. Havarikommisjonen kan ikke se at dette er gjort..

#### 2.6.4 Kvalitetssikring i byggeprosessen

Bygging av hurtiggående fartøy i sandwichkonstruksjon med karbonfiber er å regne som et anerkjent og utprøvd konstruksjonskonsept. Bygging med karbonfiber, i likhet med glassfiber og aramid krever et godt kvalitetssikringssystem. Fukt, temperatur og renhet sammen med type og mengde matrix/resin kan gjøre en stor forskjell. De nevnte parametere skal derfor loggføres for eventuell senere verifikasjon. TUCO hadde som erfaren komposittbygger et system for å følge opp egen kvalitet. I dette systemet ligger at prøveemner skal tilvirkes og tilfredsstillende klasseregler med hensyn til testing. Slike emner ble ikke tilvirket fortløpende i produksjonsprosessen slik som spesifisert i HSLC regler eller i Tucos eget styringssystem. Havarikommisjonen er kjent med at Sjøfartsdirektoratet etterlyste prøveemner under et tilsyn hos Tuco. LMG sørget for at prøveemner ble levert til testing i februar 2010. Prøveemner skal produseres parallelt med byggingen under de samme forhold. Havarikommisjonen vet ikke når, hvor eller under hvilke forhold

<sup>35</sup> Guidelines for uniform operating limitations of high-speed craft MSC.1/Circ.1329

prøveemnene ble produsert, men anser at det er vanskelig å produsere representative prøveemner i etterkant.

Tuco fulgte ikke sitt eget kvalitetssikkerhetssystem med hensyn til å produsere prøveemner, og kunne ikke fremlegge dokumentasjon som kunne verifisere at produktet oppfylte styrkemessige og kvalitetsmessige krav. I DNVs skaderapport er det påvist materialsvakhet i sammenføyningene (sekundærlamineringene) som følge av avvik i produksjonen. Konstruksjonen består i skadeområdet av lukkede bokser og det er liten mulighet for å oppnå ønsket styrke ved de manuelle sekundærlamineringene. Siden det ikke er inspeksjonsluker er det heller ikke mulig å verifisere kvaliteten fullt ut. DNV mener dårlig fukting av karbonfibre i sekundærlamineringene har påført skroget større skader enn det ellers ville fått da skråpanelet i våtdekket kollapset. Byggingen ble derfor ikke gjennomført i samsvar med DNVs regelverk. Det ble i tråd med Tuco's QA system laget en QA plan. Bestiller, Båtservice, har ikke påsett at kvalitet ble fulgt opp i henhold til koden eller HSLC. Tuco mottok ingen negative tilbakemeldinger knyttet til byggingen.

Både en av Veolia's representanter og inspektøren fra Sjøfartsdirektoratet kommenterte skråpanelet ved byggeverftet under inspeksjon av produksjonen i Danmark, og påpekte at dette ikke så bra ut i forhold til møte med sjø. Inspektøren fra Veolia fikk beskjed av LMG om at panelet var i henhold til valgt konstruksjonsløsning. Veolia hadde system for å videreføre rapportering av funn på verftet, men havarikommisjonen kjenner ikke til at denne bekymringen ble behandlet videre hos Veolia. Sjøfartsdirektoratets representant fikk beskjed om at det var i henhold til DNV.

Undersøkelsen har avdekket at verftet ikke kunne verifisere kvalitet i produksjon. Byggetilsynet avdekket ingen større mangler i forhold til produksjon, utover kommentarer i forbindelse med skråpanelet.

## **2.7 Fullskalatest/sjøprøvene**

### **2.7.1 Planlegging og utførelse av fullskalatest/sjøprøvene**

Fullskalatesting er ett av flere viktige kontrollpunkt som skal sikre at fartøyet kan operere trygt innenfor normal og nødsituasjon i angitt fart og operasjonsområder som fartøyet er ment å operere.

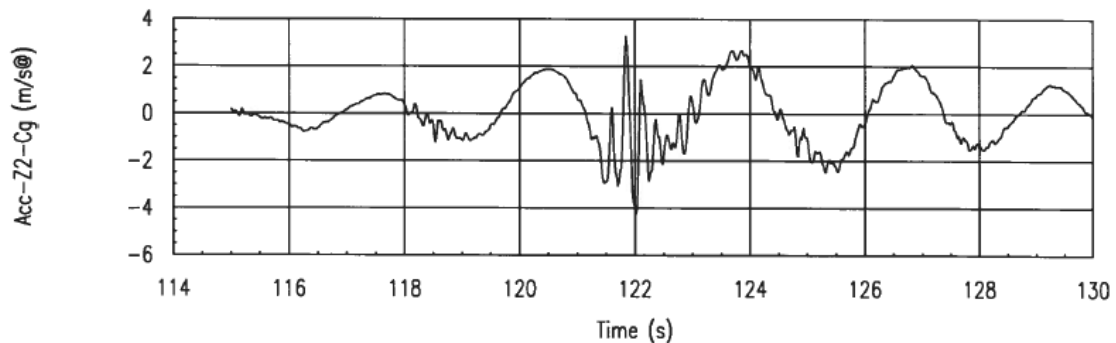
Undersøkelsen tyder på at kontraksverftet (Båtservice Mandal) ikke gjennomførte tilstrekkelig planleggingen av fullskalatestene eller utførte den i henhold til kravene i hurtigbåtkoden (HSC 2000). Havarikommisjonen har etterspurt Sjøfartsdirektoratet om de hadde mottatt plan for gjennomføring av fullskalaprøven i forkant av at prøven fant sted. Det ble ikke oversendt plan for hardværstestene. Sjøfartsdirektoratet krever ikke at plan blir sendt inn for godkjenning i forkant. Gjennomføring av fullskalatesten/sjøprøvene

Fullskalatesten/sjøprøvene ble gjennomført og ledet av Båtservice i Mandal. Det ble plassert ut vekter i alle 4 hjørner av fartøyet. Regelverket er klart på at fullskalatest i forbindelse med hardværstest skal gjennomføres med lavest praktiske vekt<sup>36</sup>. Dersom man legger til last i fartøyet vil det føre til treghet i massene slik at man oppnår bedre resultater i forhold til g-krefter som virker på passasjerer, mannskap og fartøy. Hverken Sjøfartsdirektoratet eller Marintek påpekte dette. Havarikommisjonen mener testen ikke skulle vært gjennomført i denne tilstanden.

---

<sup>36</sup> HSC - 2000 – Annex 9-1,1,5

Under hardværstestene fikk Sollifjell antageligvis et bølgeslag mot våtdekket. Fartøyet gikk da mot sjøen i 6 knops fart. Den signifikante bølgehøyden var anslått til å være mellom 2,0 og 2,2 meter. De oppgitte signifikante bølgehøydene er basert på visuelle observasjoner. Havarikommisjonen er gjort kjent med at slike observasjoner er basert på subjektiv vurdering, og oppfatningen kan variere fra person til person. Da Sollifjell erfarte det som antageligvis var bølgeslag mot våtdekket ble langskips, horisontal akselerasjon målt til 0,2g. Den største vertikale akselerasjonen ble målt i fremre del av passasjeravdelingen til å være 1,3g. I tyngdepunktet ble den vertikale akselerasjonen målt til å være 0,4g. Som følge av at Sollifjell fikk et bølgeslag mot våtdekket ble det besluttet å avbryte testingen i påvente av roligere sjøforhold.



Figur 36: Målinger fra Marintek av fartøyets vertikale akselerasjon midtskips da den fikk bølgeslag mot våtdekket. Høyeste måling kan avleses ved tidspunkt 122 som  $-3,9 \text{ m/s}^2$  (0,4g).

Basert på at hurtigbåtkoden tillater å ekstrapolere 150 % fra den målte sjøtilstanden ble det besluttet å avvete testingen til bølgene var noe lavere. Da det var forventet at hurtigbåten skulle kunne tåle bølgehøyder på 2,65 meter (laveste fyllingspunkt når skadet fartøy har oppnådd likevekt), ble det beregnet at det ville være tilstrekkelig å gjennomføre hardværstesting med bølger på omkring 1,8 meter.

Etter ca. 30 minutter ble det anslått at den signifikante bølgehøyden var omkring 1,8 meter og det ble vurdert til at fartøyet kunne testes for dårligere vær med redusert hastighet (12-19 knop). Sjøtilstanden var uryddig og bestående av både vindsjø og noe dønninger. Bølgeperioden ble antatt å være omkring 6,0 til 6,5 sekunder.

Da hardværstesten i 2 meter motsjø skulle utføres vurderte kapteinen at det var best å gå i 13 knop. Dette satte senere hastighetsbegrensning i forbindelse med fastsettelse av operasjonsbegrensninger. Denne prøven er en av totalt fire tidsserier som danner grunnlaget for den beregnede maksimale akselerasjonen (3xRMS) for Sollifjell i motsjø. Marintek har utarbeidet en rapport etter Annex 9 testen.

## 2.8 Fastsettelse av operasjonsbegrensninger og utstedelse av operasjonstillatelse

For at fartøyet skal kunne gis operasjonstillatelse skal det tilfredsstillende en rekke krav som skal verifiseres. Dette er forhold knyttet til hele prosessen fra konstruksjon og bygging til test av fartøyet.

Minimumskravet til fartøyene på anbudsrueten var blant annet at de skulle operere i fartsområde 3 og ha en hastighet på minimum 33 knop i rute.

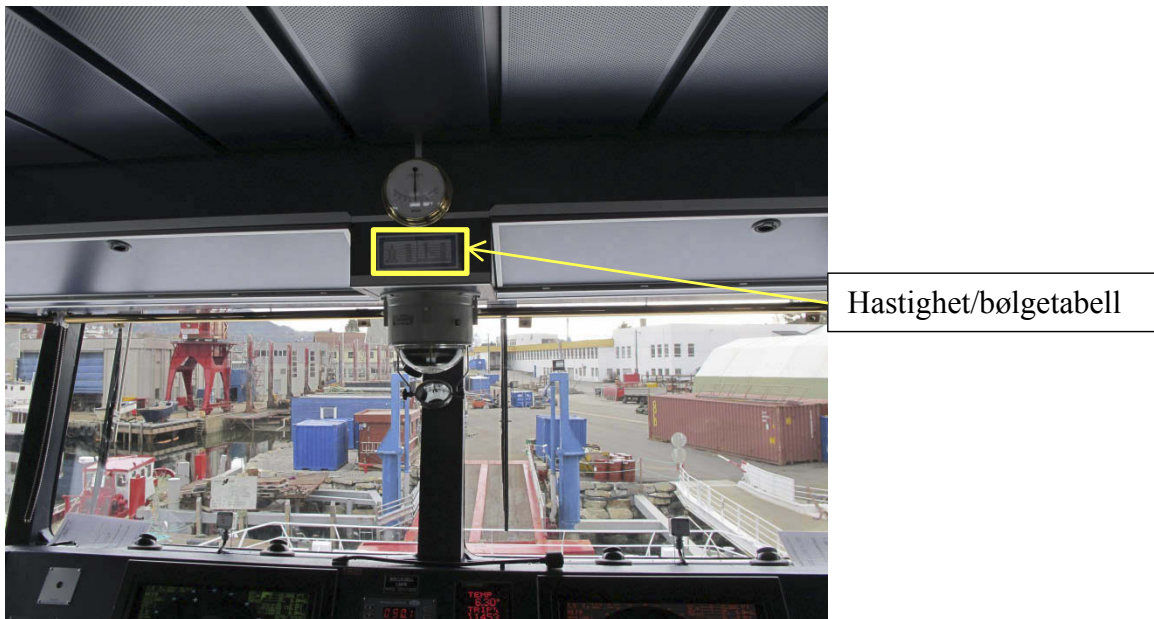
Fastsettelse av operasjonsbegrensninger baserer seg på flere forhold:

- Krav til intakt og skadestabilitet (2,65m Hs)
- Krav til lukningsmidler (2,5m Hs)
- Styrkeberegninger (2,5m Hs)
- Sjøprøver inkludert hardværstest (2,5m Hs)

Det vil alltid være de strengeste begrensningene som ligger til grunn for utstedelse av sertifikatet.

Kravene i hurtigbåtkoden til intakt og skadestabilitet satte for Sollifjell en begrensning på maksimal bølgehøyde på 2,65 meter<sup>37</sup>. Videre, og basert på at fartøyet ikke var utstyrt med blindlokk til vinduene i frontpartiet, medførte krav til lukningsmidler at den maksimale tillatte signifikante bølgehøyden ble satt til 2,5 meter<sup>38</sup>. Basert på blant annet styrkeberegninger, fullskalaprøven og resultatene fra de påfølgende beregningene utstedte Sjøfartsdirektoratet operasjonstillatelse og hastighetsbegrensning for Sollifjell den 9. mars 2010.

Undersøkelsen viser at skråpanelet i forkant av våtdekket ikke kunne motstå slamminglaster i høy fart. LMG vurderte det dit at skråpanelet ikke ville bli utsatt for bølgeslag.



Figur 37: Hastighet/bølgetabell på bro.

## 2.9 Overlevering

Sollifjell er bygget i karbonmateriale og designet med hensyn på vekt og ytelses optimalisering. Karbonsandwich har helt andre egenskaper enn mer tradisjonelle materialer som aluminium. Karbon er vesentlig mindre elastisk, hvor aluminium flyter og gir deformasjoner vil karbon kunne gå til brudd. Kravet i HSC om at lettbygde hurtigbåter skal opereres innenfor definerte fartsrestriksjoner er allmenngyldig, men et

<sup>37</sup> Koden for hurtigfartøy, § 2.6.12.1

<sup>38</sup> DNV Rules for HSLC, Pt.3 Ch.6 Sec.1 G400.

mindre elastisk byggemateriale setter ytterligere krav til at restriksjonene forstås og etterleves. Dette kan ses i sammenheng med skipssikkerhetsloven og kvalifikasjonsforskriftens krav om at nytt personell skal familiariseres (ref.1.5). Rederiet hadde utarbeidet eget opplegg med innfasing og familiarisering av fartøyene og opplæring av mannskapet.

## 2.10 Vurdering av tilsynsrollen

Sjøfartdirektoratet er tilsyns- og sertifiseringsmyndighet. Rederiet er selv ansvarlig for å sikre at fartøyet er bygget etter gjeldende regelverk. Sjøfartdirektoratet gjennomgår tegninger og konstruksjonsberegninger på generelt grunnlag. Regelverket i forhold til Skipssikkerhetsloven beskriver -når, hva og hvordan kontakt med myndigheter skal foregå og Skipssikkerhetsloven er klar på at det er reders og verftets ansvar at regelverket følges. Samtidig beskriver Forskrift om bygging mv. av hurtiggående fartøy § 12 *“skal det av Sjøfartdirektoratet eller den det har bemyndiget, foretas byggetilsyn i det omfang som anses påkrevd”*. Tilsynet i regi av Sjøfartdirektoratet, skal i dette tilfellet blant annet gjelde regelverket som fartøyet er konstruert etter, altså DNVs HSLC.

Tuco hadde begrenset erfaring med denne type oppdrag, men hadde kjennskap til DNV's regelverk gjennom å ha bygd båter med «yacht notification». DNV HSLC peker på at slike verft skal dokumentere evne til å gjennomføre produksjonen. Gjennom sin oppfølging av verftet skal Sjøfartdirektoratet kontrollere at verftet følger gjeldende regelverk i henhold til klasse og forskrifter. Dette inkluderer plan for kvalifisering (tester), påse at system for kvalitetskontroll er tilstede, at sluttproduktet holder spesifiserte krav og at QA er uavhengig fra produksjon. Ved første tilsynsbesøk ved verftet ble det sammen med Sjøfartdirektoratet gjennomgått plan for kvalitetskontroll, inklusiv temperaturkontroll og sikring av produksjonsforhold. Sjøfartdirektoratet vurderte verftet som egnet til å bygge fartøyene.

## 3. KONKLUSJON

Ulykken inntraff på forseilingen/jomfruturen fra verftet i Mandal til Troms. Vest av Bud på Mørkekysten den 24. mars 2010 like over klokken 10 , fikk hurtigbåten Sollifjell omfattende skrogskader. Det var ingen tegn til at fartøyet traff objekt i sjøen, men har mest sannsynlig blitt utsatt for ett eller flere bølgeslag mot skråpanelet i forkant av det horisontale våtdekket. Fartøyet ble påført store skader. Ingen av mannskapet på 4 kom til skade under hendelsen. Skipet ble ført til nødhavn ved Bud for egen maskin. Dokumentasjon av selve hendelsesforløp kunne vært langt bedre dersom data fra VDR hadde vært lagret.

Skråpanel, som var vinklet 45 grader fra fordekket ned mot det horisontale våtdekket, var ikke vurdert for å tåle bølgeslag. Designløsningen ble påpekt overfor LMG av Sjøfartdirektoratet og Veolias representant ved byggeverftet i Danmark. LMG hevdet at løsningen var i henhold til kravene i HSLC. Dette ble ikke fulgt opp videre. DNV konkluderer i sin skaderapport med at skråpanelet ikke var i henhold til kravene i HSLC.

Havarikommisjonen betrakter årsaksforholdene rundt denne ulykken som et resultat av en uheldig konstruksjonsløsning foran våtdekket med skråpanel med stor vinkel. Havarikommisjonen kan ikke utelukke at fartøyet har blitt operert utenfor

operasjonsbegrensningene, men kan likevel ikke konkludere med at dette var avgjørende i forhold til skaden som oppstod. Anbudsprosess

Havarikommisjonen har vurdert om sider ved anbudsprosessen kan ha vært medvirkende årsaker til havariet, men har ikke holdepunkter for å hevde at så er tilfellet.

### **3.1 Prototype/ nytt design**

LMG definerte ikke skråpanelet til å bli utsatt for bølgelaster og derfor ble det ikke foretatt særskilte styrkeberegninger av dette med tanke på slamminglaster.

I HSLC er våtdekk definert som en flat, nedadrettet horisontal eller tilnærmet horisontal struktur. Skråpanelet på Sollifjell hadde en vinkel på 45 grader og kan således ikke sies å være dekket av *formel* for våtdekkslamming. Regelverket krever derimot at også andre flater som utsettes for bølgeslag skal analyseres. Dette ble ikke gjort på Sollifjell fordi LMG vurderte at skråpanelet ikke ville få bølgelaster.

Til tross for at designet var en prototype ble det ikke utført modelltester eller ikke-lineære analyser av det nye Sollifjelldesignet. Dette ville kunne bidratt til å avdekke svakheter med design av skråpanel foran våtdekket.

LMG kunne i større grad fått frem overfor andre i prosjektet at dette fartøyet hadde en ny og uvanlig løsning i overgangen fordekk/våtdekk. Når dette forholdet i tillegg ble påpekt av Veolia og Sjøfartsdirektoratet overfor LMG, ville det ikke være unaturlig at LMG gjorde en mer inngående vurdering av denne spesielle løsningen.

### **3.2 Kvalitetssikring i byggeprosessen**

Undersøkelsen har avdekket svakheter og mangler i forhold til kvalitet og kvalitetssikring i byggeprosessen. Kontrakt mellom kontraktssverft og byggeverft hadde ingen henvisninger til at fartøyene skulle bygges etter hverken HSC eller DNV's regelverk. Tuco kunne ikke dokumentere at produktet oppfylte styrkemessige og kvalitetsmessige krav i henhold til nevnte regelverk. Det bemerkes imidlertid at den initielle skaden som oppstod med liten grad av sannsynlighet kan tilskrives feil eller mangler ved kvalitetssystemet.

### **3.3 Fullskalatest og tilsynet**

Undersøkelsen har vist at verftet (Båtservice Mandal) ikke har forelagt planer eller gjennomført fullskalatesten i henhold til kravene i hurtigbåtkoden (HSC 2000). Ingen av aktørene påpekte manglende planer eller at hardværstesten ble gjennomført i lastet tilstand.

Havarikommisjonen vil likevel påpeke at konstruksjonssvakheten allerede var et faktum på dette tidspunktet, og at mangler ved testen ikke nødvendigvis kan settes i direkte sammenheng med muligheten til å avdekke den aktuelle konstruksjonssvakheten.

### **3.4 Signifikant bølgehøyde**

Regelverket for hurtiggående passasjerfartøy, som Sollifjell er blant annet basert på operasjonelle begrensninger. For å operere et hurtiggående passasjerfartøy sikkert forutsettes det blant annet at hastighet, og eventuelt landligge, tilpasses sjø- og



bølgeforholdene. I den forbindelse benyttes signifikant bølgehøyde som parameter, og det er opp til fartøyets besetning å forholde seg til de gitte begrensningene. Havarikommisjonen er kjent med at det finnes tekniske hjelpemidler for å måle akselerasjoner og bølgehøyde.

Havarikommisjonen har i forbindelse med denne undersøkelsen vurdert kompleksiteten i det å fastsette signifikant bølgehøyde visuelt. Fastsettelse av signifikant bølgehøyde basert på observasjoner foretatt av fire forskjellige personer i nærliggende områder og tidsrom, ga bølgehøyder som varierte fra 0,5 til 3 meter. Årsaken til denne variasjonen kan til dels være at det er vanskelig å vurdere høyden av bølger visuelt uten bruk av måleutstyr, samt at bølgehøyden kan ha variert på de forskjellige observasjonsstedene. Kompleksiteten øker med fartøyets bevegelser, lysforholdene, samt observatørens plassering i forhold til høyde over vannflaten. I tillegg vil bølgeforholdene forandre seg over distanse.

Havarikommisjonen ser kompleksiteten i å knytte operasjonelle begrensninger til signifikant bølgehøyde, men har ikke holdepunkter for å hevde at denne problemstillingen direkte kan relateres til skaden som inntraff.

#### **4. SIKKERHETSTILRÅDINGER**

Undersøkelsen av denne sjøulykken har ikke avdekket områder hvor havarikommisjonen anser det som nødvendig å fremme sikkerhetstilrådinger. Havarikommisjonen vil allikevel påpeke at det er avdekket flere områder med forbedringspotensiale, og anbefaler at aktørene enkeltvis og i fellesskap gjennomgår sine rutiner for å sikre at de ulike prosessene ivaretas tilfredsstillende.

Statens havarikommisjon for transport  
Lillestrøm, 19. april 2012

## DEFINISJONER

Operasjonsbegrensninger: Koden definerer operasjonsbegrensninger som fartøyets begrensninger med hensyn til manøvrering, styringsdyktighet og ytelse og fartøyets operasjonsprosedyrer innenfor der fartøyet kan operere.

Verste tiltenkte forhold: Med verste tiltenkte forhold menes den spesifikke ytre miljøtilstand innenfor den planlagte operasjon av fartøyet som danner grunnlaget i sertifisering av fartøyet. Dette skal ta hensyn til parametere slik som verste tiltenkte forhold, deriblant signifikant bølgehøyde inkludert ugunstige kombinasjoner av lengde og retning på bølgene, som myndighetsutøveren kan kreve under betraktning av type fartøy i det gitte operasjonsområdet<sup>39</sup>.

Sikkerhetsnivå: Med sikkerhetsnivå menes en numerisk verdi som karakteriserer sammenhengen mellom fartøyets bevegelser, representert som horisontal enkelamplitude akselerasjon (g), og graden av akselerasjon - last effekt på stående og sittende mennesker. Sikkerhetsnivåene og den korresponderende grad av effekt på passasjerer og sikkerhetskriteriene for fartøyets bevegelser er definert i dette.

Signifikant bølgehøyde Hs: gjennomsnittsverdien av den høyeste tredjedelen av individuelle bølgehøyder i en 20-minutters periode. Enkeltbølger kan være opp til dobbelt så store som den signifikante bølgehøyden. (kilde: met.no)

Force majeure: I anbudsgrunnlaget til anbud båttrafikk i Troms fylke, er dette definert som: "*Krig, naturkatastrofer, arbeidskonflikter, brann, tilgangen til drivstoff og andre hendelser av force-majeure karakter (...)*"

Våtdekk: Våtdekket er betegnelse for den laveste delen av tverrstrukturen som forbinder de to skrogene. Det blir også kalt for tunneltoppen.

Beaufort: Beaufortskalaen er en skala som brukes til å bestemme vindstyrken. Skalaen er oppkalt etter Sir Francis Beaufort. Tabellen under viser effekten av vindstyrkene på sjøen ved de forskjellige beaufortstyrkene.

---

<sup>39</sup> Koden for hurtiggående fartøy, 1.4.61

Beaufort	Benevnelse	m/s	Knop	Virkninger på sjøen
0	Stille	0,0-0,2	0-1	Sjøen er speilblank (havblikk).
1	Flau vind	0,3-1,5	1-3	Vindretning sees av røykens drift.
2	Svak vind	1,6-3,3	4-6	Små korte, men tydelige bølger med glatte kammer som ikke brekker.
3	Lett bris	3,4-5,4	7-10	Småbølgene begynner å toppe seg, det dannes skum, som ser ut som glass. en og annen skumskavl kan forekomme.
4	Laber bris	5,5-7,9	11-16	Bølgene blir lengre, endel skumskavler.
5	Frisk bris	8,0-10,7	17-21	Middelstore bølger som har mer utpreget langstrakt form og med mange skumskavler. Sjøsprøyt fra toppene kan forekomme.
6	Liten kuling	10,8-13,8	22-27	Store bølger begynner å danne seg. Skumskavlene er større overalt. Gjerne noe sjøsprøyt.
7	Stiv kuling	13,9-17,1	28-33	Sjøen hoper seg opp og hvitt skum fra bølgetopper som brekker, begynner å blåse i strimer i vindretningen.
8	Sterk kuling	17,2-20,7	34-40	Middels høye bølger av større lengde. Bølgekammene er ved å brytes opp til sjørøkk, som driver i tydelige markerte strimer med vinden.
9	Liten storm	20,8-24,4	41-47	Høye bølger. Tette skumstrimer driver i vindretningen. Sjøen begynner å rulle. Sjørøkket kan minske synsvidden.
10	Full storm	24,5-28,4	48-55	Meget høye bølger med lange overhengende kammer. skummet, som dannes i store flak, driver med vinden i tette hvite strimer så sjøen får et hvitaktig utseende. Rullingen blir tung og støtende. Synsvidden nedsettes.
11	Sterk storm	28,5-32,6	56-63	Ualminnelig høye bølger (små og middelstore skip kan for en tid forsvinne i bølgedalene). Sjøen er fullstendig dekket av lange, hvite skumflak som ligger i vindens retning. Overalt blåser bølgekammene til frådelignende skum. Sjørøkket nedsetter synsvidden.
12	Orkan	32,7-	64-	Luften er fylt av skum og sjørøkk som nedsetter synsvidden betydelig. Sjøen er fullstendig hvit av drivende skum.

## **VEDLEGG**

DNV skaderapport



---

# DET NORSKE VERITAS

---

## Rapport MS Sollifjell - skadeanalyse

Statens havarikommisjon for transport

Rapportnr./DNV Referansenr.: 2010-3487/ 12PW6W5-3  
Rev. 1, 2010-09-30



MS Sollifjell - skadeanalyse	DET NORSKE VERITAS AS P.O.Box 300 1322 Høvik, Norway Tlf: +47 67 57 99 00 Faks: +47 67 57 99 11 http://www.dnv.com Org. nr.: NO 945 748 931 MVA
Oppdragsgiver: Statens havarikommisjon for transport Postboks 213 2001 LILLESTRØM Norway	
Oppdragsgivers referanse: John Wilsgaard	

Dato for første utgivelse:	2010-09-30	Prosjektnr.:	EP026004
Rapportnr.:	2010-3487	Organisasjonsenhet:	BDL Pipeline Systems
Revisjon nr.:	1	Emnegruppe:	

**Sammendrag:**

Det Norske Veritas har gjort en undersøkelse av årsakene til skade på MS Sollifjell. Arbeidet er fokusert på selve skaden og forholdene rundt denne. Det er også gjort noen vurderinger av materiale, fabrikkasjonsmetode og fabrikkasjon. I den grad dette ikke er blitt vurdert til å ha hatt innvirkning på årsaksforløpet har disse punktene blitt vektlagt mindre. Rapporten gir ikke en utdypende vurdering av hele fartøyet.

De observerte skadene og beregninger som er gjort, indikerer at fartøyet har vært utsatt for bølgeslag på et 45° vinklet panel under våtdekket ved ramme nr. 30 – 32. Skadene videre inn og opp i fartøyet understøtter denne antagelsen. Det er ikke funnet tegn til kontakt med objekter flytende i sjøen. Selve bunnpanelene under våtdekket er antatt å ha blitt revet av ved at sjøen har fått tak i disse, og revet dem løs fra bjelkene. Dette er en følgeskade av bølgeslaget nevnt ovenfor. Materialer og byggekvalitet er ikke funnet å ha hatt en direkte innvirkning på årsaken til skadene. Varierende kvalitet av sammenføyninger i våtdekket kan derimot ha bidratt til at skadeomfanget ble større.

Årsaken til skaden er funnet å være at skråpanel på våtdekk ved ramme nr. 30 – 32 ikke er dimensjonert mot slamminglaster. Denne konstruksjonen vil derfor dra på seg store krefter, og det vil være mest hensiktsmessig å endre denne konstruksjonsløsningen for dermed å redusere slammingbelastningen. Generelt kan det sies at slanke skroglinjer i endeskippingene kombinert med lav våtdekkhøyde, vil kunne øke sannsynligheten for våtdekksslamming.

Utarbeidet av:	Navn Albert Fredriksen, Bjørn-Olav Espe, Odd Sund, Arild Tjernæs, Jan Weitzenböck	Signatur	
Verifisert av:	Navn Bjørn Engh, Odd Sund, Stefan Palm	Signatur	
Godkjent av:	Navn og tittel Astrid Holmsen Kjesbu, Head of Section Roald Vårheim, Head of Department	Signatur	

<input type="checkbox"/>	Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet, men fri distribusjon innen DNV etter 3 år	<b>Indekseringstermer</b>	
<input type="checkbox"/>	Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet	Nøkkelord	Karbonfiber, Kompositt, Sandwich, Katamaran, Skadeanalyse
<input checked="" type="checkbox"/>	Strengt konfidensiell	Service-område	-
<input type="checkbox"/>	Fri distribusjon	Markeds-segment	-

Revisjon nr. / Dato:	Årsak for utgivelse:	Utarbeidet av:	Godkjent av:	Verifisert av:
Rev 1 / 2010-12-01	Kommentarer fra kunde /korreksjoner	Jan Weitzenböck 	Astrid Holmsen Kjesbu 	Gisle Hersvik 



## Innholdsfortegnelse

<b>KONKLUDERENDE SAMMENDRAG.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2 BESKRIVELSE AV OPPDRAGET .....</b>	<b>1</b>
<b>3 MOTTATT DOKUMENTASJON.....</b>	<b>2</b>
<b>4 UNDERSØKELSE AV MS SOLLIFJELL .....</b>	<b>3</b>
4.1 Skadeomfang.....	3
4.2 Skade - utvendig.....	5
4.3 Skade - innredning .....	8
4.4 Skade - skråplate .....	10
4.5 Skade - våtdekk .....	14
4.6 Skade - bakkdekk .....	16
4.7 Skade - ramme.....	18
4.8 Skade - våtdekkstruktur.....	20
<b>5 MATERIALTESTING OG VISUELL INSPEKSJON.....</b>	<b>23</b>
5.1 Innledning.....	23
5.2 Konklusjoner fra materialtesting .....	23
5.2.1 Vakuumstøpte sandwichpaneler.....	23
5.2.2 Sekundærlamineringer.....	23
5.3 Materialprøver.....	23
5.3.1 Sandwichpaneler.....	23
5.3.2 Sekundærlaminering.....	24
5.3.3 Prøver.....	24
5.4 Visuell inspeksjon og hardhetsmåling.....	27
5.4.1 Hardhetsmåling.....	27
5.4.2 Frontpanel/Våtdekk FP/VD .....	27
5.4.3 Utvendig sekundærlaminering LB.....	30
5.4.4 Langsgående sandwichpanel, SB3 og BB1 .....	32
5.4.5 Langsgående sandwichpanel MS2.....	33
5.4.6 Sandwichpanel Trekantpanel TRP .....	33
5.5 Prøveresultater.....	36
5.5.1 Strekkprøving .....	36
5.5.1.1 Laminat fra Frontpanel/Våtdekk, FP/VD.....	36



5.5.1.2	Laminater fra Trekantpanel, TRP .....	37
5.5.2	Kompresjonstesting .....	37
5.5.2.1	Laminater fra Trekantpanel, TRP .....	37
5.5.3	Interlaminær skjærtest .....	38
5.6	Densitetsmålinger .....	39
5.7	Diskusjon materialprøver .....	39
<b>6</b>	<b>BELASTNINGER OG STYRKE, FAKTASAMMENSTILLING .....</b>	<b>40</b>
6.1	Beskrivelse av konstruksjonen .....	40
6.2	Dimensjonering av fartøyet .....	42
6.2.1	Regelverk .....	42
6.2.2	Fart bølgehøyde begrensning .....	42
6.2.3	Designlaster og styrke av våtdekk .....	43
6.2.4	Skadetyper .....	44
6.3	Kraft på skråpanel basert på bruddstyrke .....	45
6.4	Kraft på skråpanel basert på forenklet hydrodynamisk beregning .....	48
6.5	Kraft på skråpanel basert på datasimulering .....	49
<b>7</b>	<b>VURDERING AV FAKTA OG DATA .....</b>	<b>61</b>
7.1	Innledning .....	61
7.2	Oppsummering av lastanalyser .....	61
7.3	Oppsummering av skader og krefter .....	62
7.4	Antatt skadeforløp .....	63
7.5	Drøfting av resultatet .....	66
7.6	Andre faktorer .....	68
7.6.1	Kvalitativ vurdering av materiale og kvalitet av komponenter .....	68
7.6.2	Sammenføyning av komponentene iht. prosedyre .....	69
7.6.3	Byggestandard .....	69
7.6.4	HSC 2000 koden som standard for konstruksjonen .....	70
<b>8</b>	<b>OPPSUMMERING OG KONKLUSJON .....</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>73</b>
Vedlegg 1	Undersøkelse av MS Sollifjell	
Vedlegg 2	Bruddstyrke av støttestruktur ved ramme nr. 30 – 32.	





## KONKLUDERENDE SAMMENDRAG

Det Norske Veritas (DNV) har gjort en undersøkelse av årsakene til skade på MS Sollifjell. Arbeidet er fokusert på selve skaden og forholdene rundt denne. Det er også gjort noen vurderinger av materiale, fabrikkasjonsmetode og fabrikkasjon. I den grad dette ikke er blitt vurdert til å ha hatt innvirkning på årsaksforløpet har disse punktene blitt vektlagt mindre. Rapporten gir ikke en utdypende vurdering av hele fartøyet.

De observerte skadene og beregninger som er gjort, indikerer at fartøyet har vært utsatt for bølgeslag på et 45° vinklet panel under våtdekket ved ramme nr. 30 – 32. Skadene videre inn og opp i fartøyet understøtter denne antagelsen. Det er ikke funnet tegn til kontakt med objekter flytende i sjøen. Selve bunnpanelene under våtdekket er antatt å ha blitt flekket av ved at sjøen har fått tak i disse, og revet dem løs fra bjelkene. Dette er en følgeskade av bølgeslaget nevnt ovenfor. Materialer og byggekvalitet er ikke funnet å ha hatt en direkte innvirkning på årsaken til skadene. Varierende kvalitet av sammenføyninger i våtdekket kan derimot ha bidratt til at skadeomfanget ble større.

Årsaken til skaden er funnet å være at skråpanel på våtdekk ved ramme nr. 30 – 32 ikke er dimensjonert mot slamminglaster. Denne konstruksjonen vil derfor dra på seg store krefter, og det vil være mest hensiktsmessig å endre denne konstruksjonsløsningen for dermed å redusere slammingbelastningen. Generelt kan det sies at slanke skroglinjer i endeskipene kombinert med lav våtdekkhøyde, vil kunne øke sannsynligheten for våtdekkslamming.

## 1 INNLEDNING

Katamaranen MS Sollifjell havarete på det som skulle være transportetappen fra verftet i Mandal til Troms 24. mars 2010. Ved Bud på Mørkekysten hørte mannskapet et smell og oppdaget at deler av tunnelen mellom skrogene var falt av. Fartøyet søkte nødhavn og ligger ved kai i Ålesund for skadeundersøkelse.

Statens havarikommisjon for transport (SHT) koblet in DNV for å hjelpe til med skadeundersøkelsen. MS Sollifjell ble undersøkt 18. juni av representanter fra både SHT og DNV.

## 2 BESKRIVELSE AV OPPDRAGET

SHT har gitt DNV oppdrag til å få belyst følgende:

- 1) Kvalitativ vurdering av karbonfiber materialet som er benyttet og videre en vurdering av kvaliteten til de enkelte komponentene (sandwich panel og - bjelker).
- 2) Skademønster, hva er feilmodus og hvordan har feilen oppstått (kreftenes påvirkning)?
- 3) Sammenføyning av de enkelte komponentene, er dette gjort iht prosedyre - og om ikke, vil de ha evne til å overføre last som forutsatt i styrkeberegningsunderlaget?
- 4) En betraktning omkring valgt byggestandard. Byggestandarden er med stort hell benyttet på tilsvarende båter bygget i andre materialer, og i samme materiale, men med annen basiskonstruksjon.



- 5) Slamming kan være et tema. Hva sier HSC 2000 koden om dette tema? Tilfredsstill konstruksjonen/designet kravene som stilles i denne sammenheng?
- 6) Er HSC 2000 koden en egnet standard for konstruksjon av denne type farkoster og for det aktuelle fartsområdet?

Oppdraget har som fokus å finne den direkte årsaken til skadene på MS Sollifjell, som beskrevet i punkt 2 ovenfor. De andre punktene er belyst ut fra den sammenheng de har med selve skaden. Dette betyr at DNV ikke har sjekket hele fartøyet med hensyn til design, materialvalg, fabrikkasjonsmetode, fabrikkasjon og byggestandard.

Arbeidet er basert på den dokumentasjon som har vært tilgjengelig, i tillegg til undersøkelse av fartøyet og laboratorieundersøkelser av materialprøver. Dokumentasjon gitt til DNV i forkant/etterkant av undersøkelsene, og som ligger til grunn for arbeidet er tatt for informasjon slik den foreligger, og er ikke verifisert eller godkjent.

### 3 MOTTATT DOKUMENTASJON

Tegninger:

- Iso-sketch showing laminate lay-up in foreship, (mottatt 04.05.2010)
- 1150@-10034-01-A Transverse panel, 45, (mottatt 04.05.2010)
- 11500-10034-D Frames forecastle deck, (mottatt 04.05.2010)
- 1150@-10028-09-A Transverse WT bulkheads, (mottatt 04.05.2010)
- 11500@-10028-07-A Wetdeck , fwd, (mottatt 04.05.2010)
- 11500-10028-04-B Transverse bulkheads fwd, (mottatt 04.05.2010)
- 1150@-10028-02-B Longitudinal bulkheads, (mottatt 04.05.2010)
- 11500-10028-B Wetdeck, (mottatt 04.05.2010)
- 84/85/86-10-17413-D General Arrangement, (mottatt 15.06.2010)
- 84/85/86-23-17429-D Profile and Deck plans Sheets 1 and 2, (mottatt 15.06.2010)
- 84/85/86-23-17430-A Midship section, (mottatt 15.06.2010)
- 84/85/86-23-17432-B Transverse Bulkheads in Hull (watertight), (mottatt 29.06.2010)
- 84-23-17433-C Main Frames in Hull (sheet 1 and 2), (mottatt 29.06.2010)
- 299006-T-200H-002-01 Section plan Center section –Hull-Main deck, (mottatt 30.06.2010)

Rapporter:

- LMG Report Doc 84-20-17424 Rev E Strength analysis report for Carbon cat/Sealord 35, (mottatt 15.06.2010)
- Tuco material check scheme (blank), (mottatt 29.06.2010)
- Tuco error report (blank), (mottatt 29.06.2010)
- Tuco Workshop quality control milestone plan (blank), (mottatt 29.06.2010)
- Tuco: Composites lamination process, (mottatt 29.06.2010)



- LMG Marin, CarbonCat 35 – Båtservice bygg nr. 84, Skrog materialprøver og materialdata, Rev.02, dato: 18.02.2010, (mottatt 30.08.2010)
- Bølgedata og rapporter fra andre båter i område, (mottatt 10.09.2010)

#### Korrespondanse:

- SD brev 01.03.2010 Sollifjell LNFR – Main engine exhaust arrangement – Updated strength analysis report rev E, (mottatt 15.06.2010)
- SD brev 19.02.2010 Sollifjell LNFT (84-Båtservice Mandal) – Materialprøver og materialdata – oppdatert notat, (mottatt 15.06.2010)
- SD brev 11.02.2010 Kistefjell LNFX (85-Båtservice Mandal) – Updated strength analysis and calculation report – Hull documentationj, (mottatt 15.06.2010)
- SD brev 21.09.2010 85-Båtservice Mandal strength analysis report hull drawings calculation of equipment number, (mottatt 15.06.2010)

#### Sertifikater:

- SD brev 09.03.2010 Sollifjell LNFR – Operasjonstillatelse, (mottatt 29.06.2010)
- SD brev 22.03.2010 Sollifjell LNFR Fartstillatelse, (mottatt 20.09.2010)
- SD brev 10.03.2010 MS Sollifjell Midlertidig sikkerhets sertifikat, (mottatt 20.09.2010)

## 4 UNDERSØKELSE AV MS SOLLIFJELL

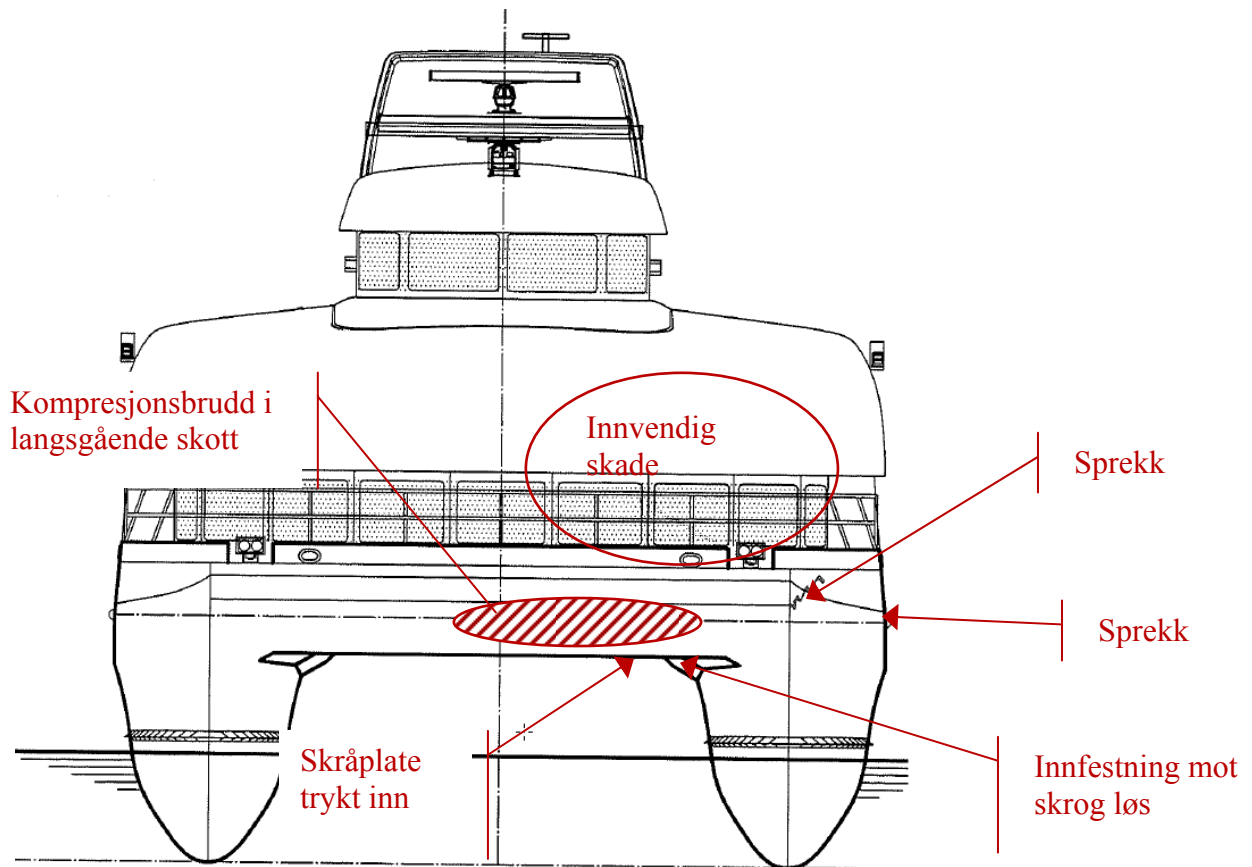
MS Sollifjell ble undersøkt 18. juni i Ålesund av representanter fra både SHT og DNV. Resultatene oppsummeres i dette kapittel.

### 4.1 Skadeomfang

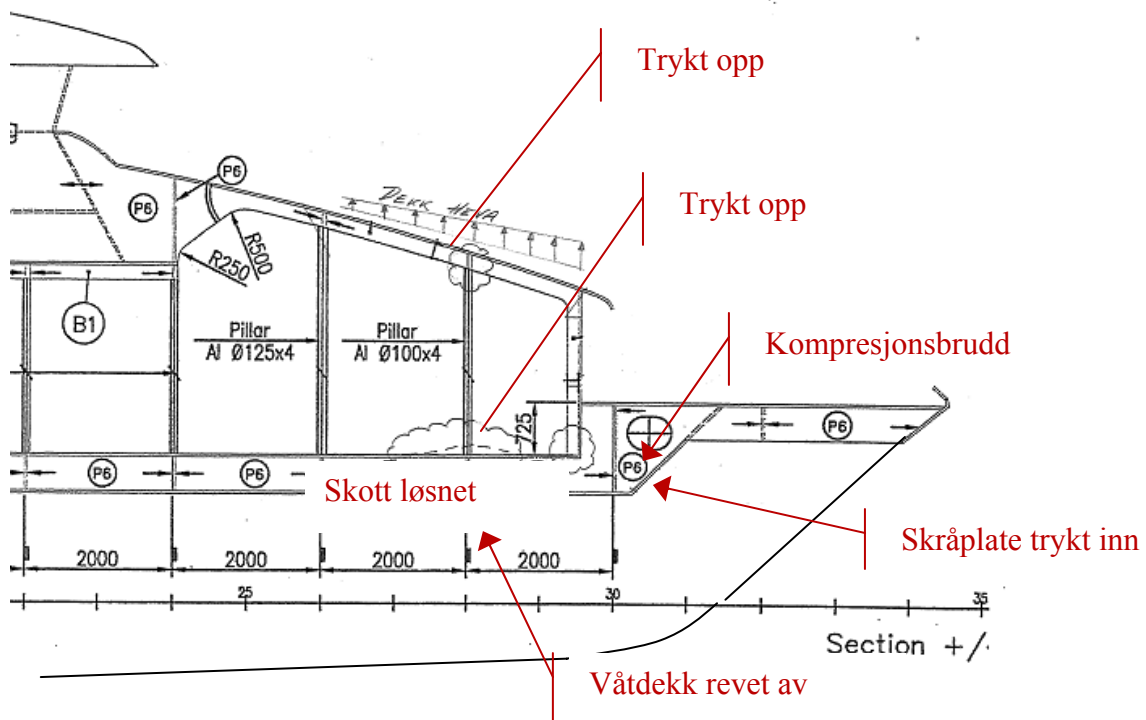
Skadene er lokalisert til området mellom ramme nr. 26 tog 32, og kan oppsummeres slik (knusing eller kompresjonsbrudd hovedsakelig på babord side):

1. Skråplate i forkant av våtdekket er slått inn på babord side
2. En stor del av ytterpanelet på våtdekket er revet av
3. Babord langsgående skott er forskjøvet innover, med litt knusing av struktur
4. Alle langsgående skott løsnet mellom ramme nr. 28 og 30
5. Sprekk mellom babord rekke og forkant av overbygg
6. Dekket i forkant av passasjerkabinen (ramme nr. 30) er blitt skjøvet opp
7. Sprekker i overflatepaneler på innsiden av frontskott mellom vinduene i passasjerkabin
8. Lokal forskyvning mellom innvendige rammer og skrogsiden
9. Taket i passasjerkabin er trykket opp av en søyle i kabinen.

Figur 4.1 og Figur 4.2 oppsummere skadeomfanget.

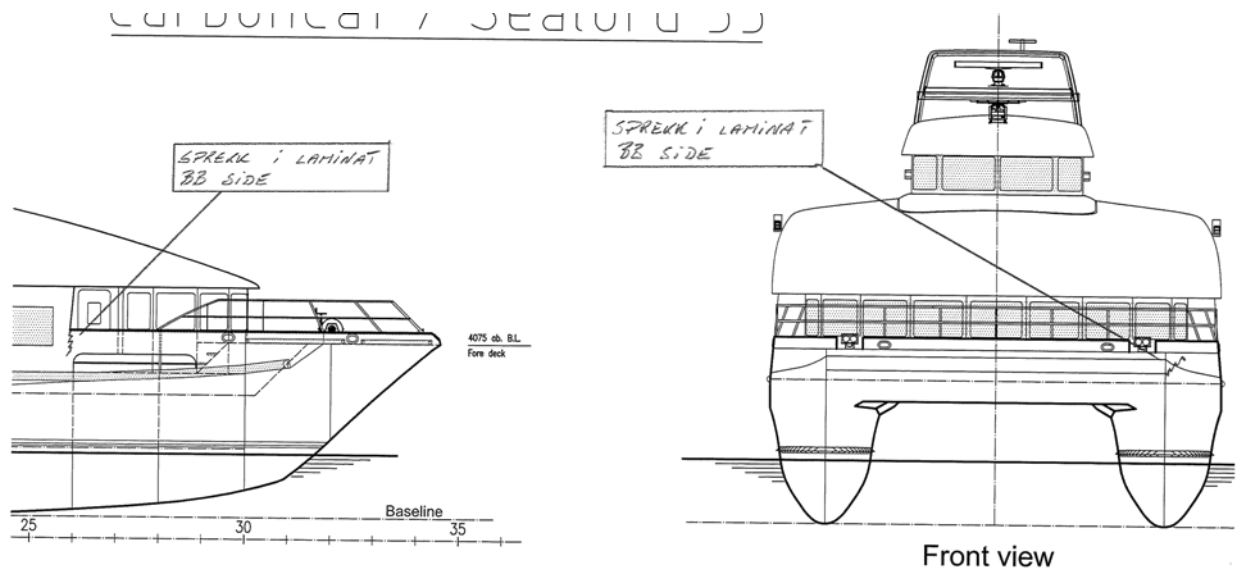


Figur 4.1 Skade - utvendig

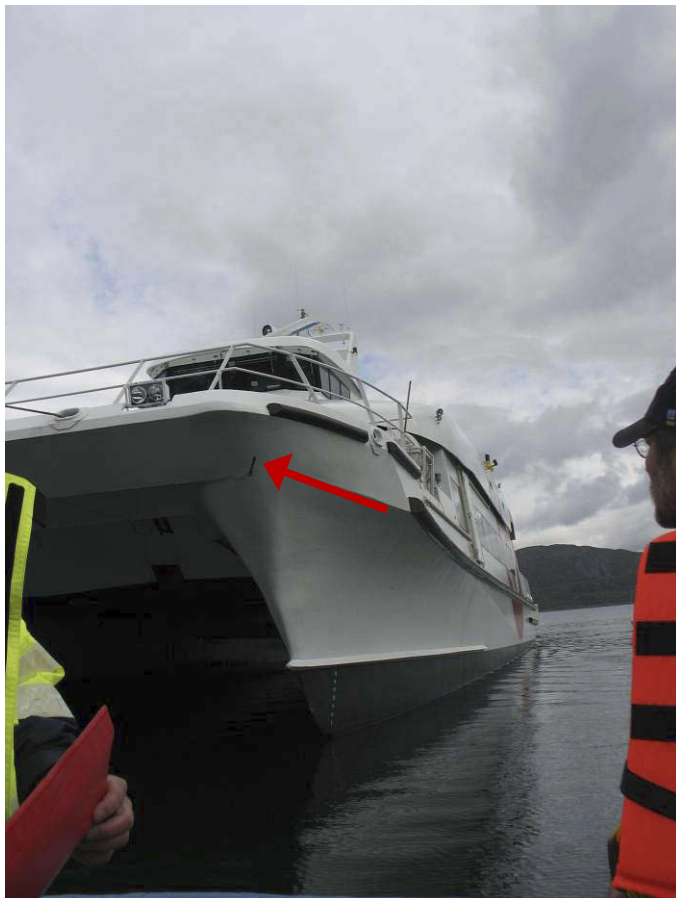


Figur 4.2 Skade - innvendig

## 4.2 Skade - utvendig



Figur 4.3 Skade - utvendig



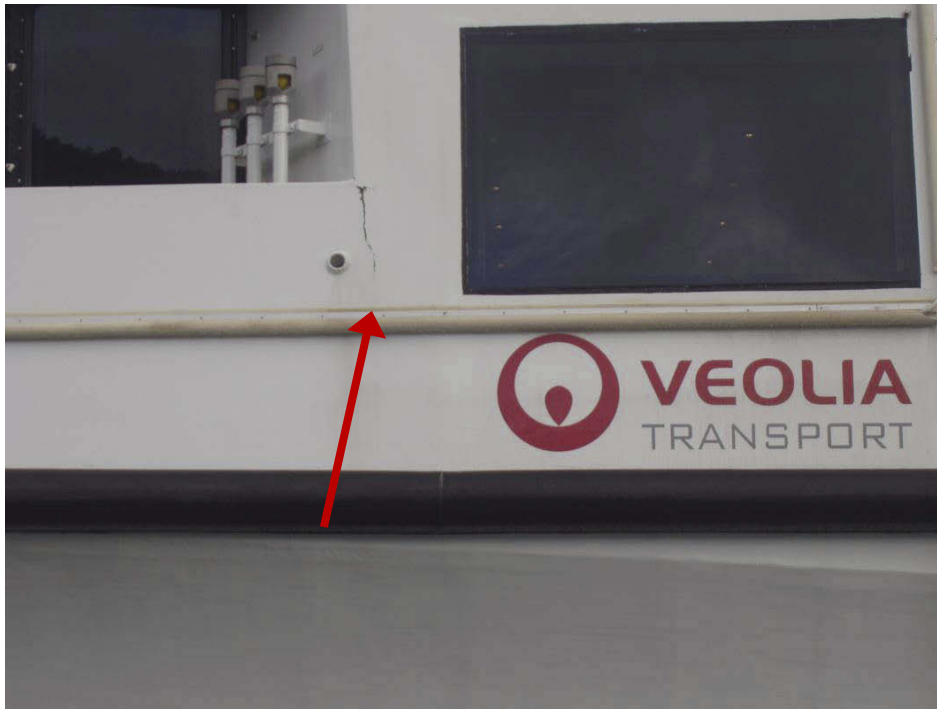
Figur 4.4 Sprekk nr. 1 i laminat BB side



**Figur 4.5 Sprekk nr. 1 i laminat BB side**



**Figur 4.6 Sprekk nr. 2 i laminat BB side**

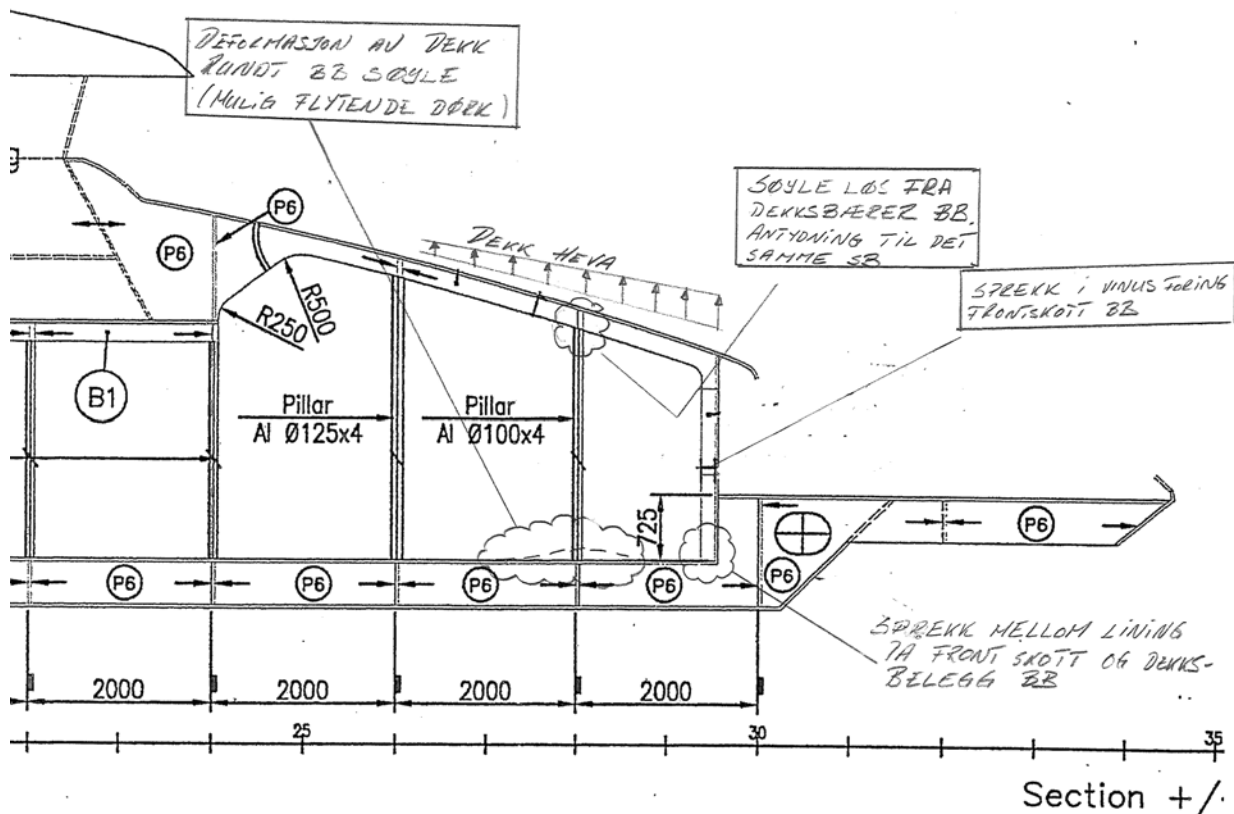


**Figur 4.7 Sprekk nr. 2 i laminat BB side**



**Figur 4.8 Sprekk nr. 2 i laminat BB side**

### 4.3 Skade - innredning



Figur 4.9 Skade - våtdekk



Figur 4.10 Søyeløst fra dekkbærer BB. Antydning til det samme SB



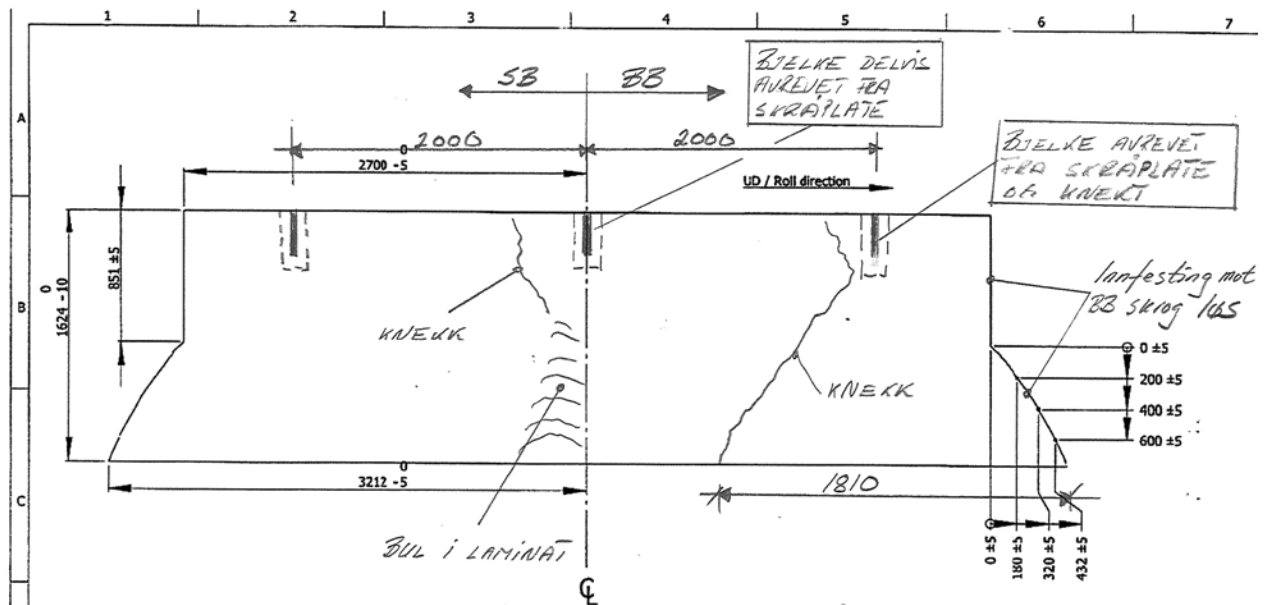


**Figur 4.11 Sprekk i vindusforing frontskott (BB)**



**Figur 4.12 Sprekk mellom belegg på frontskott og dekkbelegg BB**

### 4.4 Skade - skråplate



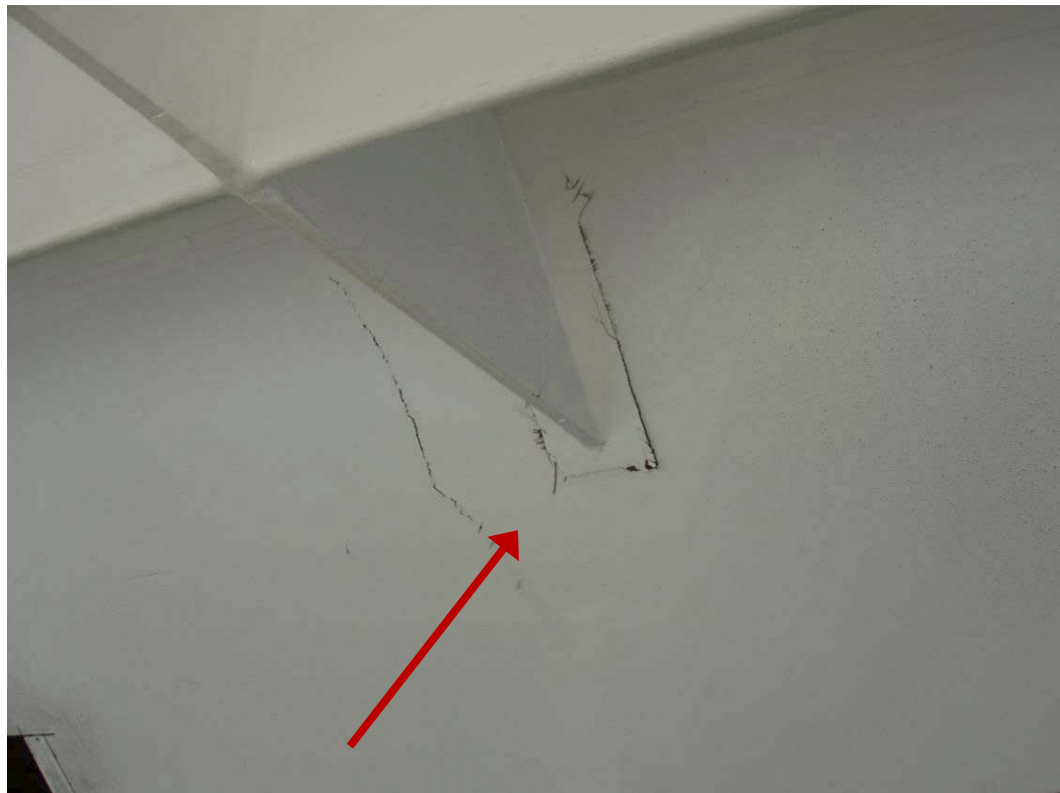
Figur 4.13 Skade - skråplate



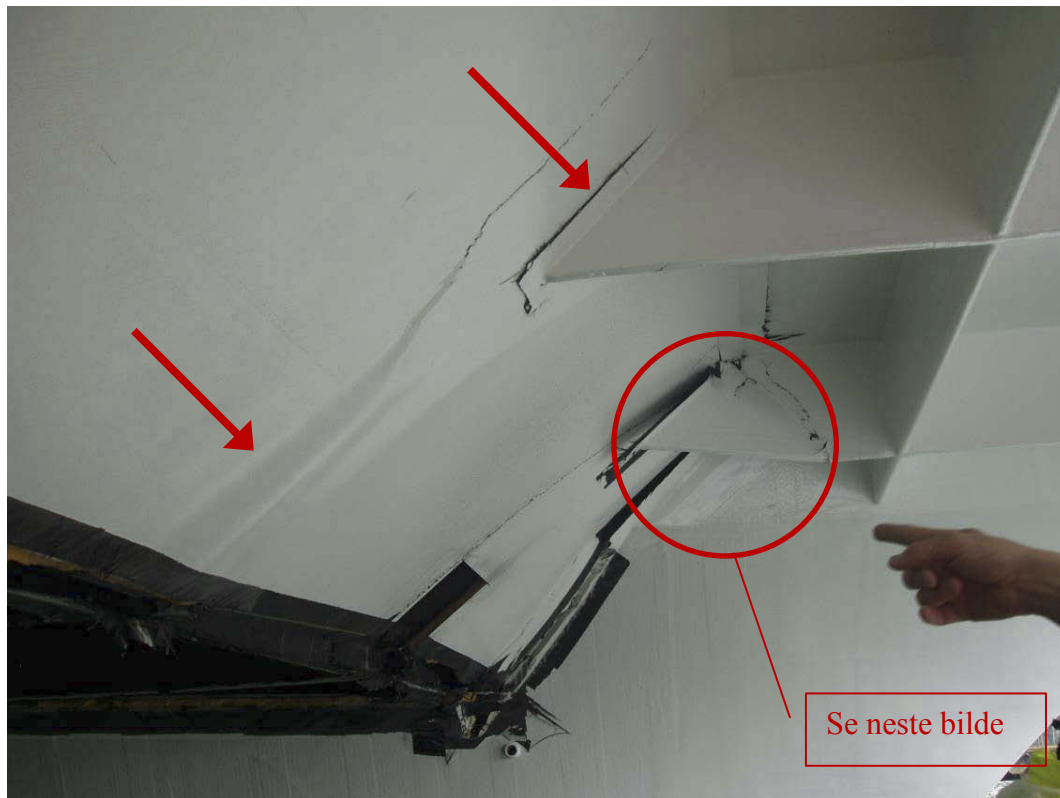
Figur 4.14 Skade - skråplate



**Figur 4.15** Skråplate er trykt inn (målt langs nedre kant)



**Figur 4.16** Bjelke delvis avrevet fra skråplate



**Figur 4.17 Knekk og bulk i laminat**

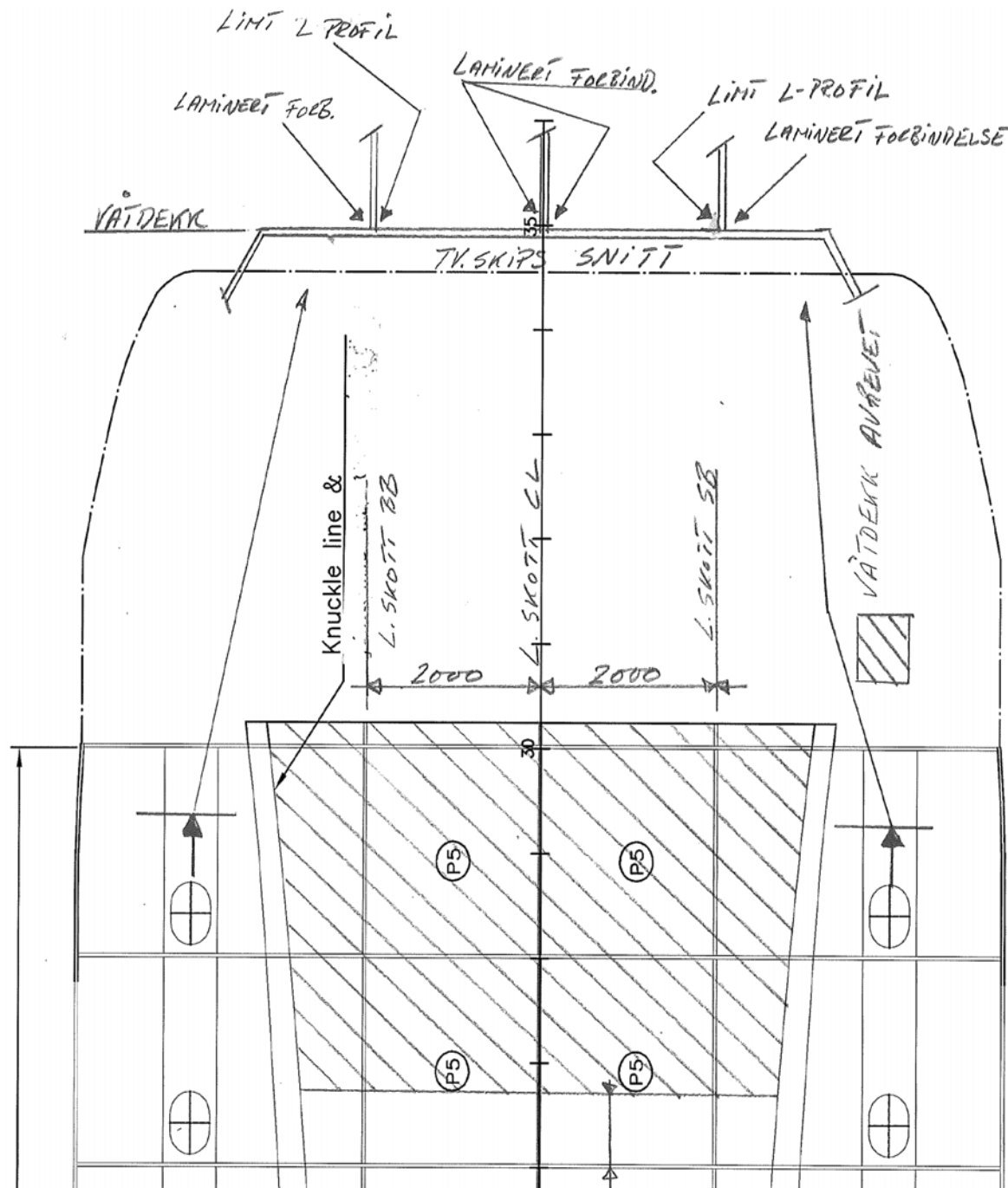


**Figur 4.18 Bjelke avrevet fra skråplate og knekt**



**Figur 4.19 Innfesting mot BB skrog løs**

### 4.5 Skade - våtdekk



Wet Deck & Double bottom

Figur 4.20 Skade - våtdekk



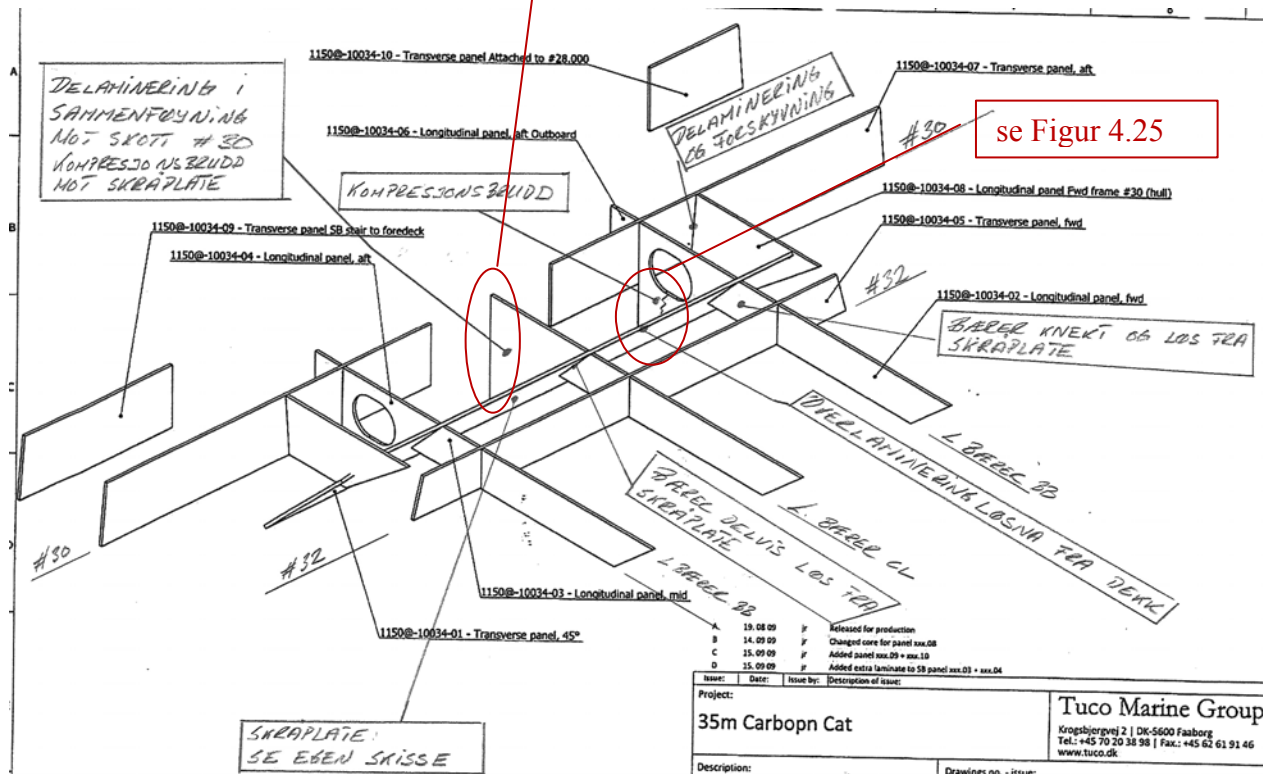
**Figur 4.21 Innfesting mot BB skrog løs**



**Figur 4.22 Våtdekk avrevet**

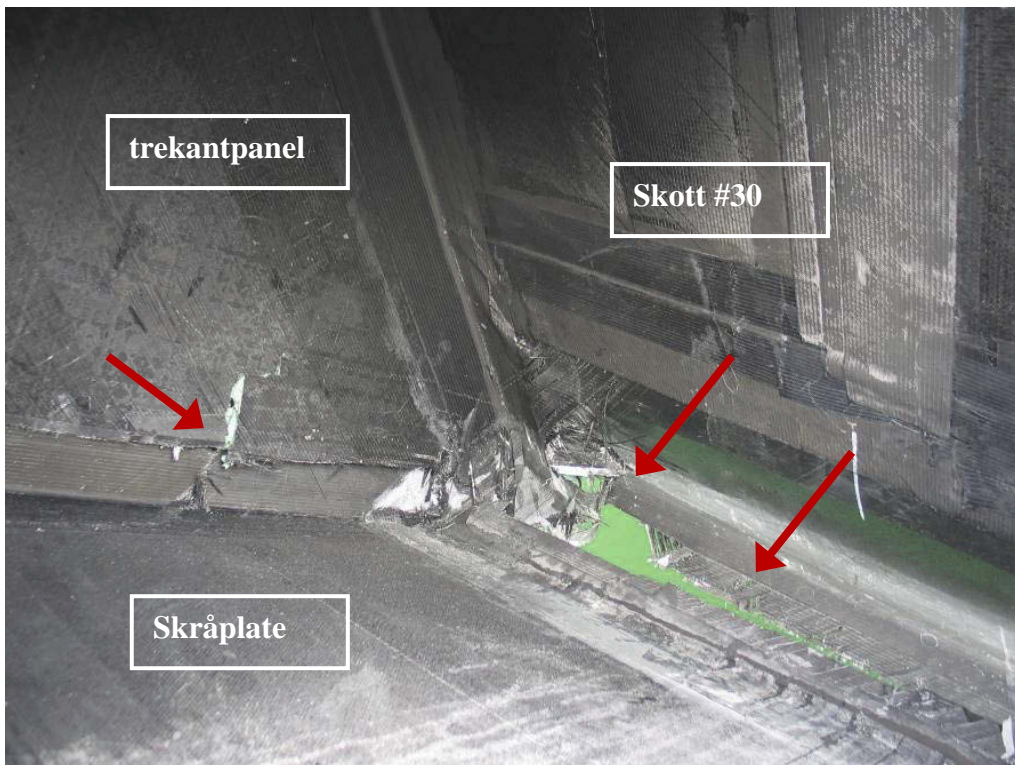
4.6 Skade - bakkdekk

se Figur 4.24



se Figur 4.25

Figur 4.23 Skade - bakkdekk



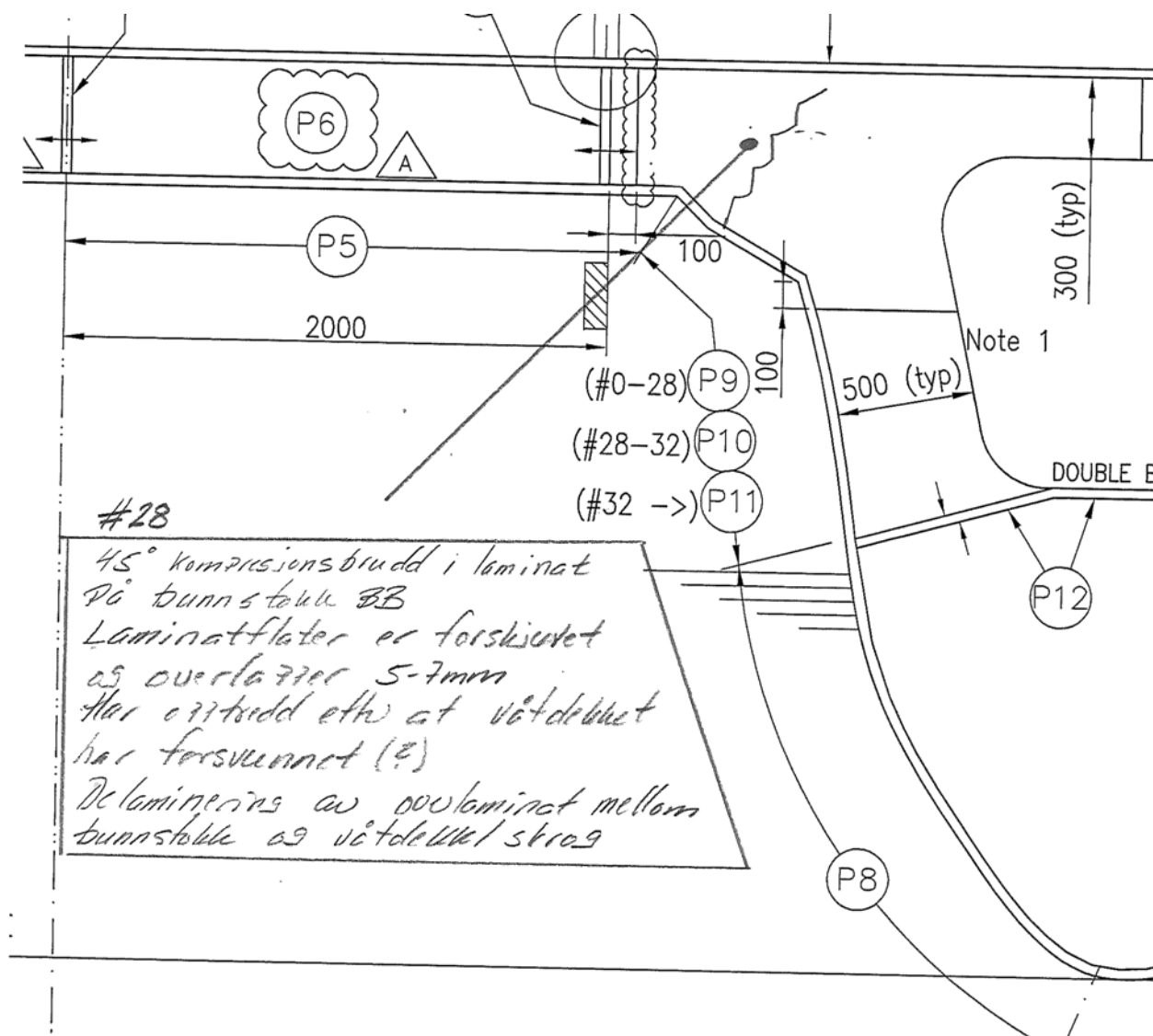
Figur 4.24 Delaminering i sammenføyning mot skott #30. Kompresjonsbrudd i trekantpanel (CL)





**Figur 4.25 Kompresjonsbrudd i trekantpanel (støttestruktur til skråplate) BB**

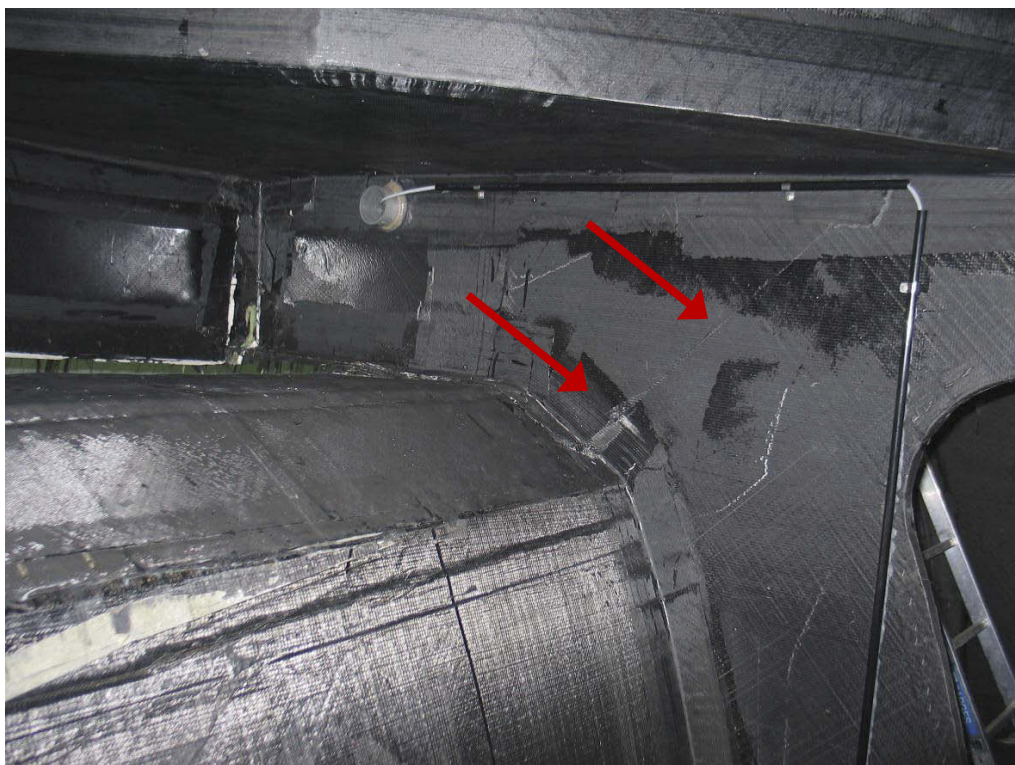
### 4.7 Skade - ramme



Figur 4.26 Skade - ramme

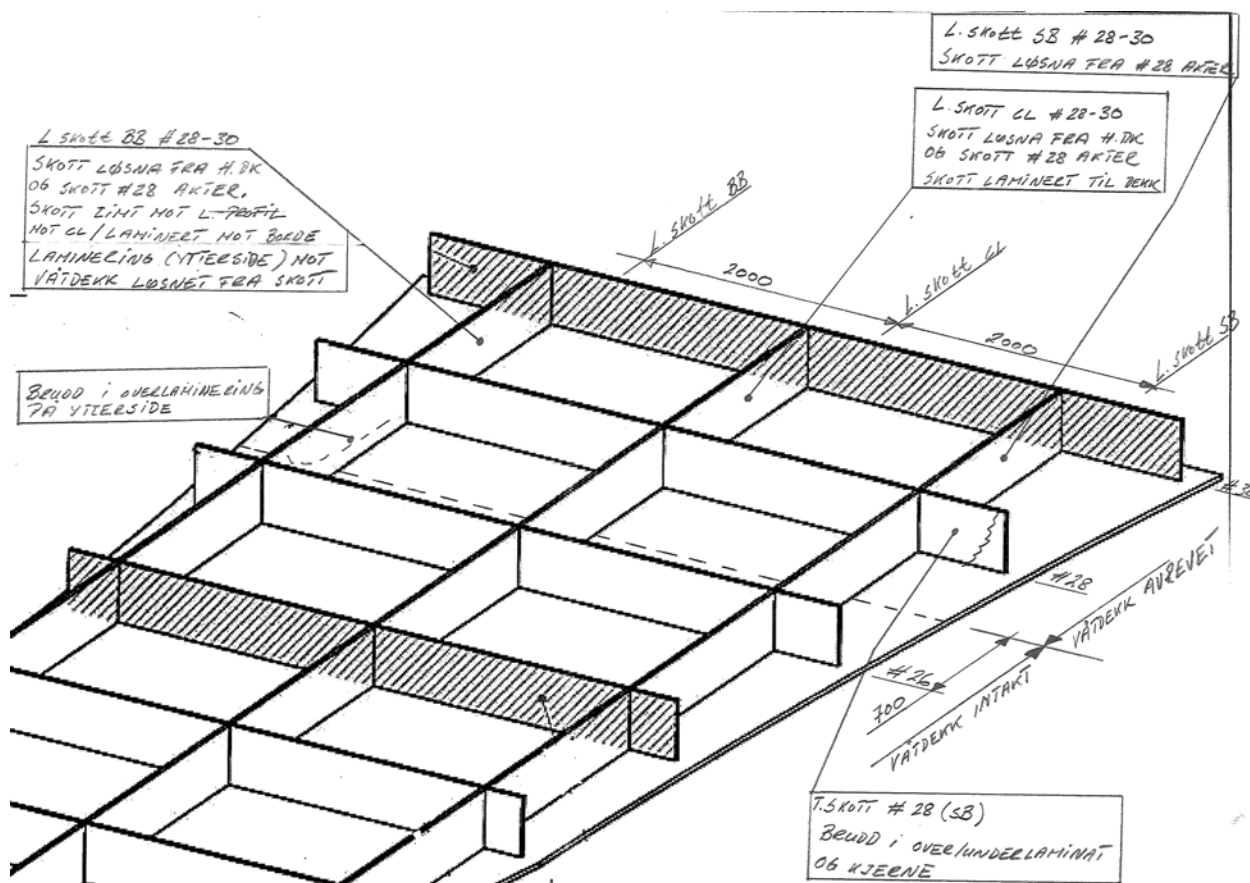


**Figur 4.27 (1) 45° kompresjonsbrudd i laminat på bunnstokk BB. Overflater er forskjøvet og overlapper 5-7mm**



**Figur 4.28 (2) 45° kompresjonsbrudd i laminat på bunnstokk BB. Overflater er forskjøvet og overlapper 5-7mm**

### 4.8 Skade - våtdekkstruktur



Figur 4.29 Skade - våtdekkstruktur



**Figur 4.30** Langsgående skott (#28-30 BB) løsnet fra passasjerdekk og tverrgående skott #28 akter. Skott limt mot CL og laminert på utside. Laminering (yttersiden) mot våtdekk løsnet fra skott



**Figur 4.31** Langsgående skott (#28-30 SB) løsnet fra tverrgående skott #28



**Figur 4.32 Tverrgående skott #28 (SB): Brudd i over/-underlaminat og kjerne**



**Figur 4.33 Tverrgående skott #28 (SB): Brudd i over/-underlaminat og kjerne**

## 5 MATERIALTESTING OG VISUELL INSPEKSJON

### 5.1 Innledning

Fra MS Sollifjell er det mottatt totalt 6 forskjellige deler/utkapp for testing. Materialene er listet i Tabell 1. I tabellen er det også angitt hvilke tester som er utført på de ulike utkappene. To utkapp ble mottatt fra havarikommisjonen mens de resterende ble tatt ut etter undersøkelsen av MS Sollifjell.

### 5.2 Konklusjoner fra materialtesting

#### 5.2.1 Vakuumstøpte sandwichpaneler.

Laminater produsert ved vakuumstøping av sandwichpaneler synes å ha godt fuktete fibre og de innehar få porer. Det er ikke funnet indikasjoner på avvik fra angitte konstruksjonstegninger verken for armeringsmengde eller fiberretning. Barcol-hardheten indikerer at laminatene er utherdet. Det er ikke funnet avvik for kjernematerialet i sandwichpanelene i forhold til forelagte konstruksjonstegninger.

#### 5.2.2 Sekundærlamineringer.

Sekundærlamineringer har til dels mye porer og en del partier med dårlig fuktete fibre. Barcol-hardheten indikerer at laminatene er utherdet.

Sekundærlamineringene vil ha lokalt dårlige mekaniske egenskaper i de områdene hvor fibrene er blitt dårlig fuktet eller heften mellom de ulike armeringslagene er dårlig. Det antas at spesielt kompresjonsfastheten og langtidsegenskaper som sigeegenskaper og utmatting vil være dårligere. Ved overbelastning antas det også at det lokalt vil være spenningskonsentrasjoner. Det vil i disse områdene være lettere enn ellers å få avrivningsbrudd (peel-rupture), dvs. lettere enn det vil være for et tilsvarende område, eller laminat, der fibrene er godt fuktet. Det antas at disse svakhetene i laminatet enten skyldes at fibrene er vanskelige å fukte med det benyttede matrisematerialet, eller at laminatet ikke er bearbeidet godt nok.

Sekundærlamineringer av skott hvor det ikke har vært binding mot våtdekket er ikke avdekket, med unntak av limt flens. Den limte flensen er av en dårlig konstruksjon som kun gir heft for ca. halve limflaten.

### 5.3 Materialprøver

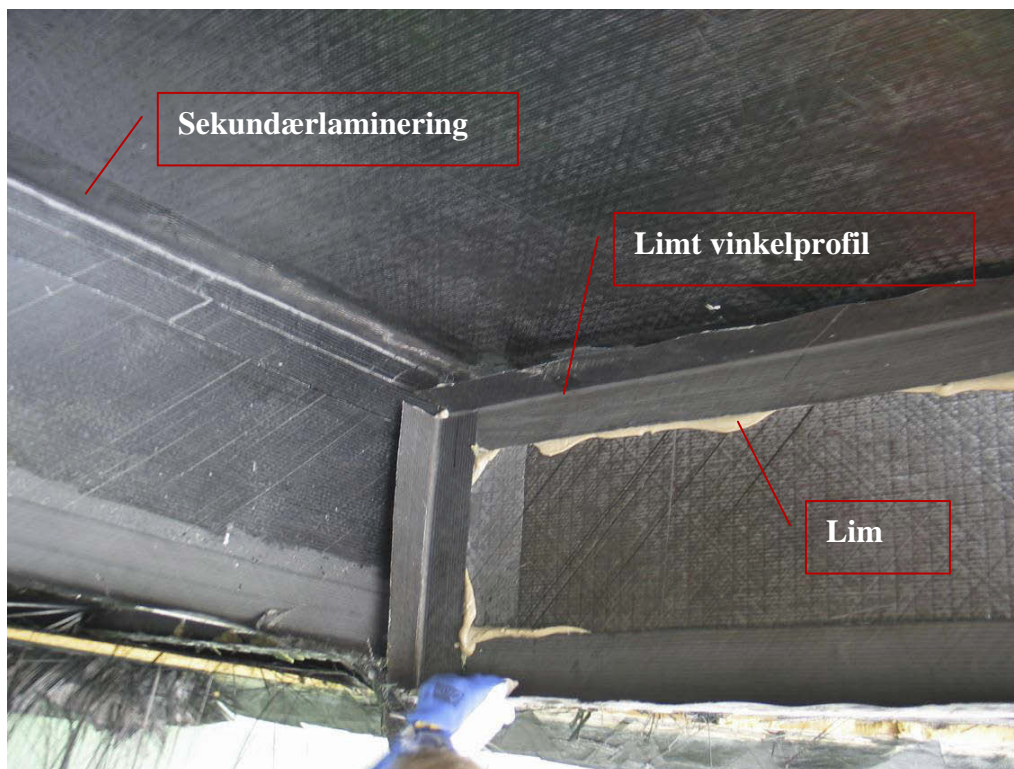
Det er tatt ut 2 forskjellige typer prøver.

#### 5.3.1 Sandwichpaneler.

Dette er prefabrikkerte plater bestående av Divinycell kjernemateriale med densitet  $60\text{kg/m}^3$  (H60) eller  $130\text{kg/m}^3$  (H130), samt et karbonfiberarmert laminat på hver side. Panelene er produsert ved vakuumstøping.

### 5.3.2 Sekundærlaminering

**Sekundærlaminering** er håndlaminering som benyttes for å sette sammen de ulike delene av fartøyet, som forsterkning av laminat for skråpanelet, lamineringer for feste av skott(sandwichpaneler) og innfesting av våtdekk til skrog (se Figur 5.1). Noen langsgående bjelker er **limt** fast mot kompositt vinkelprofiler. Ett sandwichpanel ble forsterket med en **overlaminering**, dvs. ytterligere noen lag med karbonfiber og matrisemateriale (se Figur 5.2b eller avsnitt 5.4.6).



Figur 5.1 Definisjoner

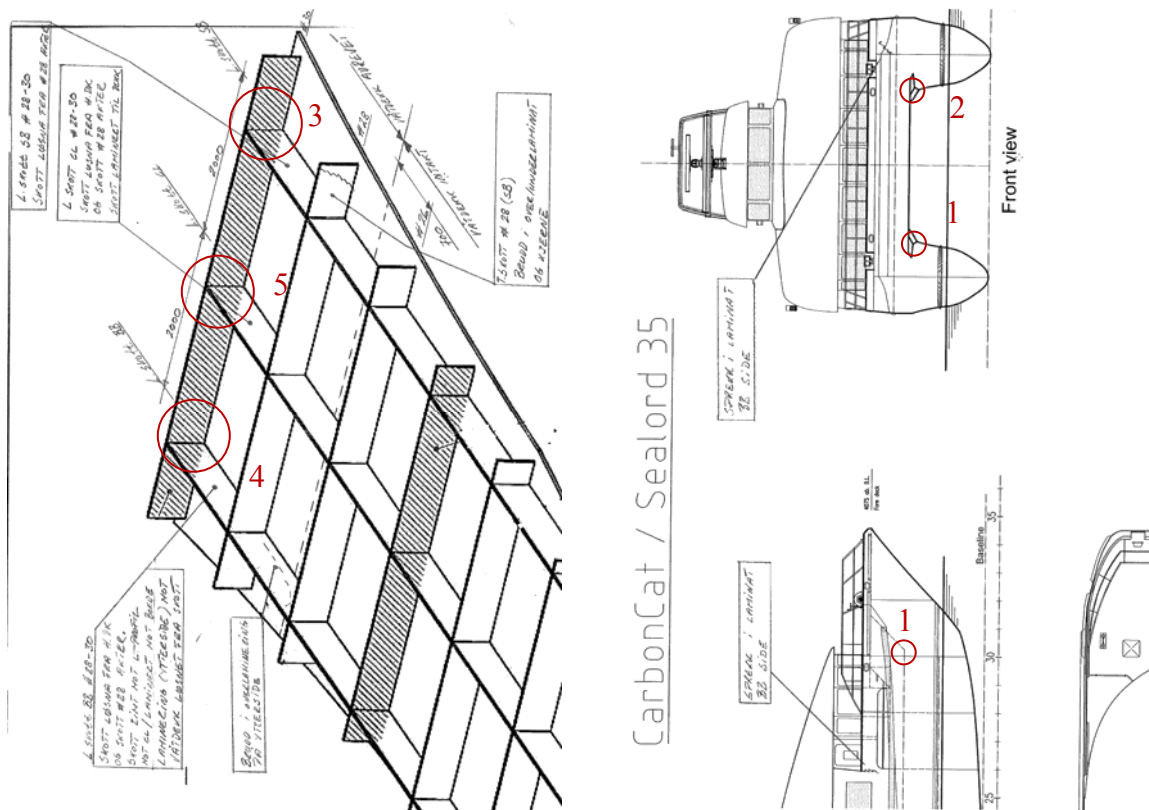
### 5.3.3 Prøver

I Tabell 5.1 er det beskrevet alle deler som er testet. Alle delene bestod av vakuumstøpt sandwichpanel med ulike sekundærlamineringer, utenom prøve 2 som er en ren sekundærlaminering.

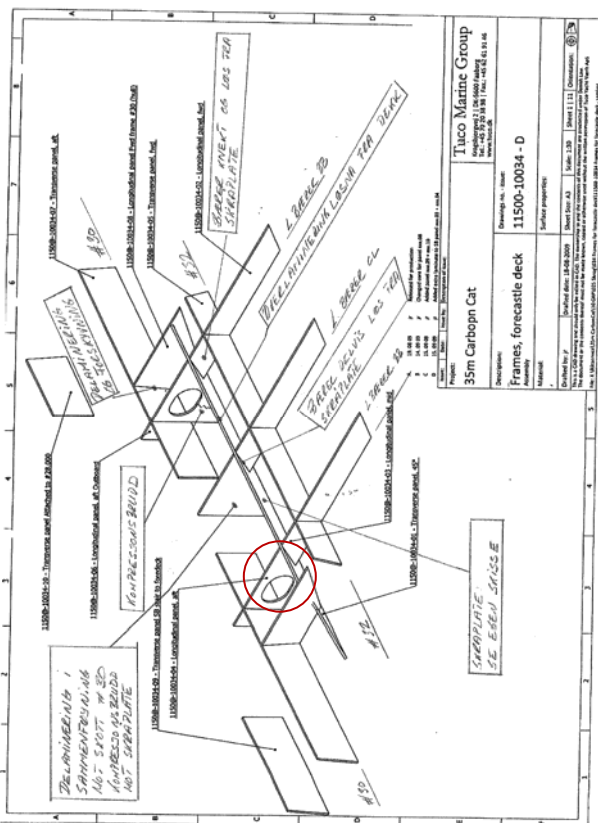


Tabell 5.1

Prøve		Testing
1	Sandwich panel fra Frontpanel/Våtdekk. Mottatt fra havarikommisjonen 10.06.10 <b>Merket: FP/VD</b> Prøve tatt nederst på frontpanel med overgang til våtdekk. For uttak, se Figur 5.2a	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interlaminær skjærttest av vakumstøpt laminat</li> <li>2. Interlaminær skjærttest av laminat inklusiv overlaminering</li> <li>3. Strekktest av laminat</li> <li>4. Kompresjonstest av laminat</li> <li>5. Densitetsmåling av kjernemateriale</li> </ol>
2	Laminat. Liten del av utvendig sekundærlaminering våtdekk/babord skrog. Mottatt fra havarikommisjonen 10.06.10. For uttak, se Figur 5.2a <b>Merket: LB</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interlaminær skjærttest</li> </ol>
3	Langsgående skott/sandwichpanel tatt fra styrbord side. Merket: <b>SB3</b> For uttak, se Figur 5.2a	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interlaminær skjærttest</li> </ol>
4	Langsgående skott/sandwichpanel tatt fra babord side Merket: <b>BB1</b> For uttak, se Figur 5.2a	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Densitetsmåling av kjernemateriale</li> </ol>
5	Langsgående skott/sandwichpanel tatt fra midtskip Merket: <b>MS2</b> For uttak, se Figur 5.2a	
6	Trekantpanel Sandwichpanel Stiver bak frontpanelet. <b>TRP</b> For uttak, se Figur 5.2a	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Interlaminær skjærttest</li> <li>2. Strekktest av laminat</li> <li>3. Kompresjonstest av laminat</li> <li>4. Densitet av kjernemateriale</li> </ol>



Figur 5.2a. Prøve 1, 2, 3, 4, og 5.



Figur 5.2b Prøve 6

## 5.4 Visuell inspeksjon og hardhetsmåling

Det ble utført en visuell inspeksjon av utkappene samt at overflater og snittflater for de maskinerte prøvestavene ble inspisert.

### 5.4.1 Hardhetsmåling

Det ble målt Barcol-hardhet for alle laminater og sekundærlamineringer. Hardheten for alle deler er målt til 47-52 Barcol.

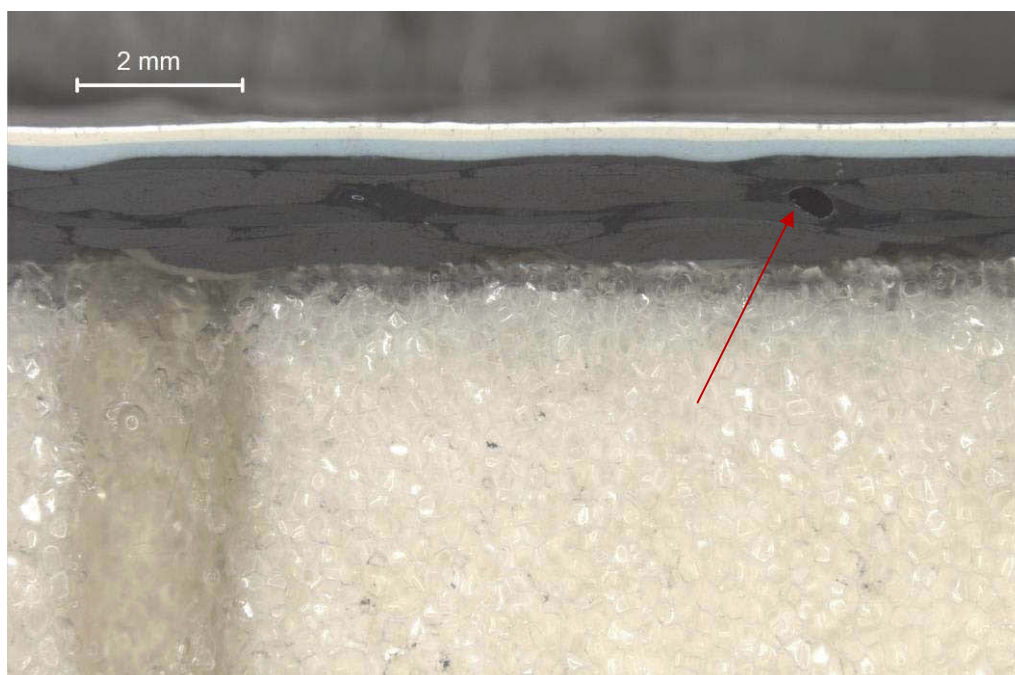
### 5.4.2 Frontpanel/Våtdekk FP/VD

Generelt inntrykk:

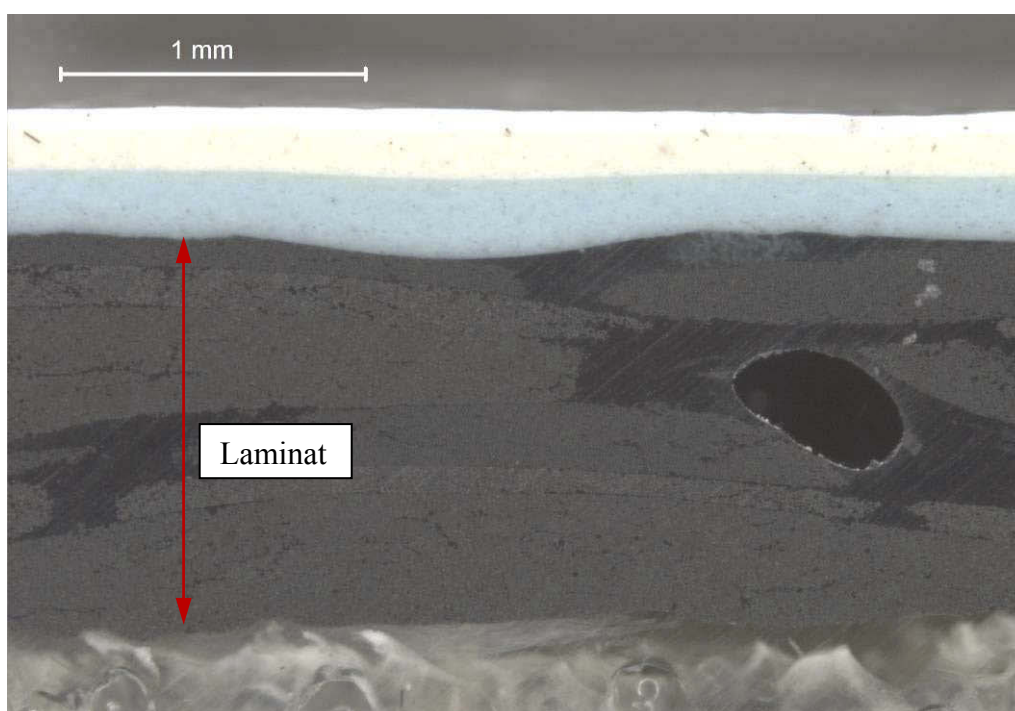
Jevnt laminat for begge skall uten porer. God fylling av matrisemateriale. Fukting av fiber ser god ut. En del porer i laminat fra sekundærlamineringer, men ellers ingen synlige feil.



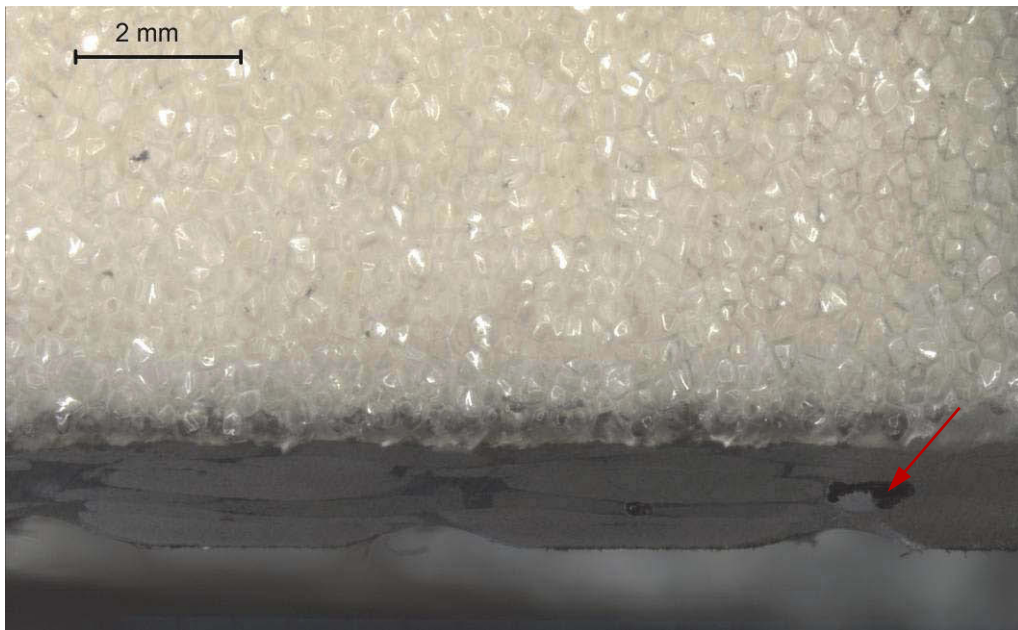
Figur 5.3 Posisjon for uttak av prøve



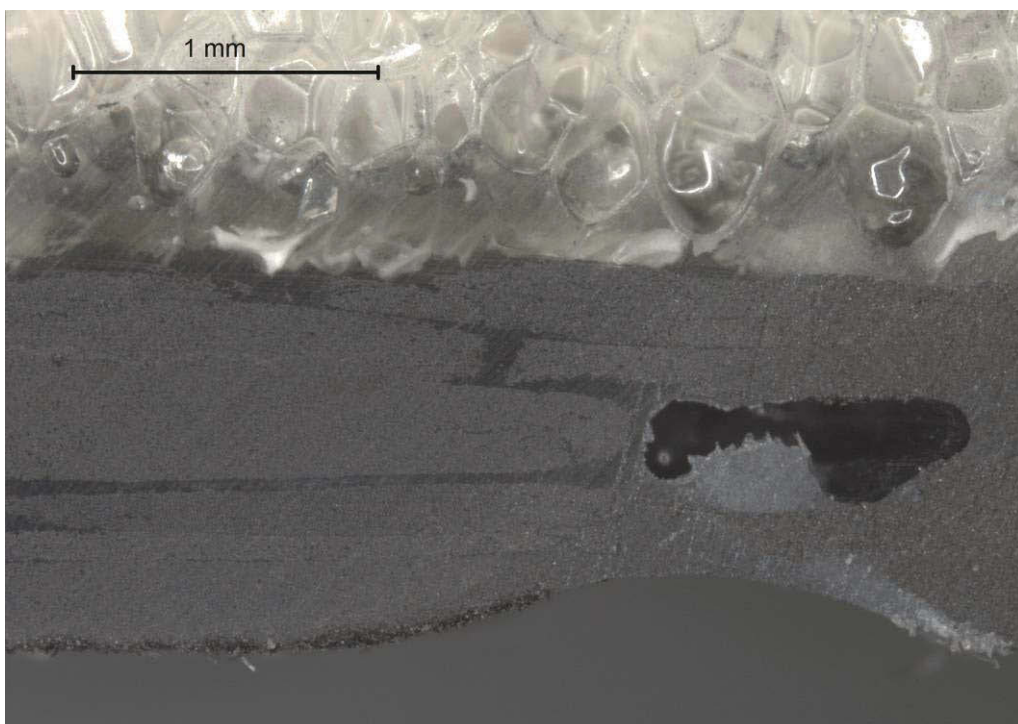
**Figur 5.4** Frontpanel/Våtdekk (FP/VD), kjernemateriale med utsidelaminat. Karbonfiber ligger  $+45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}$  og virker å være relativt godt fuktet. En liten pore i laminatet ble observert, se pil. Det er ingen antydning til tørre fiber.



**Figur 5.5** Frontpanel/Våtdekk (FP/VD), kjernemateriale med utsidelaminat. Forstørrelse av Figur 5.4 viser en pore i laminatet.



**Figur 5.6 Frontpanel/Våtdekk (FP/VD), kjernemateriale med innsidelaminat. Karbonfiber ligger  $+45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}$  og virker å være relativt godt fuktet. En liten pore i laminatet ble observert, se pil.**



**Figur 5.7 Frontpanel/Våtdekk (FP/VD), kjernemateriale med innsidelaminat. Forstørrelse av Figur 5.6 viser en pore i laminatet. Det er ingen antydning til tørre fiber ved poren.**

### 5.4.3 Utvendig sekundæraminering LB

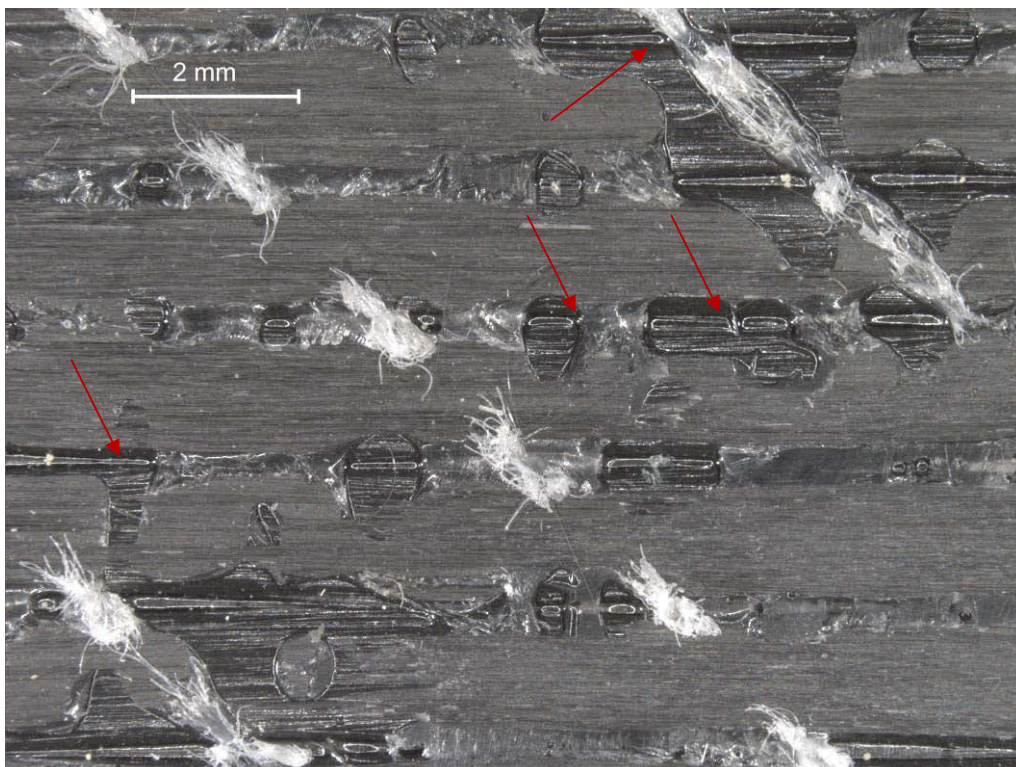
Generelt inntrykk:

Utvendig er dette laminatet malt, mens den innvendige flaten er bruddflate mot babord skrog og våtdekk.

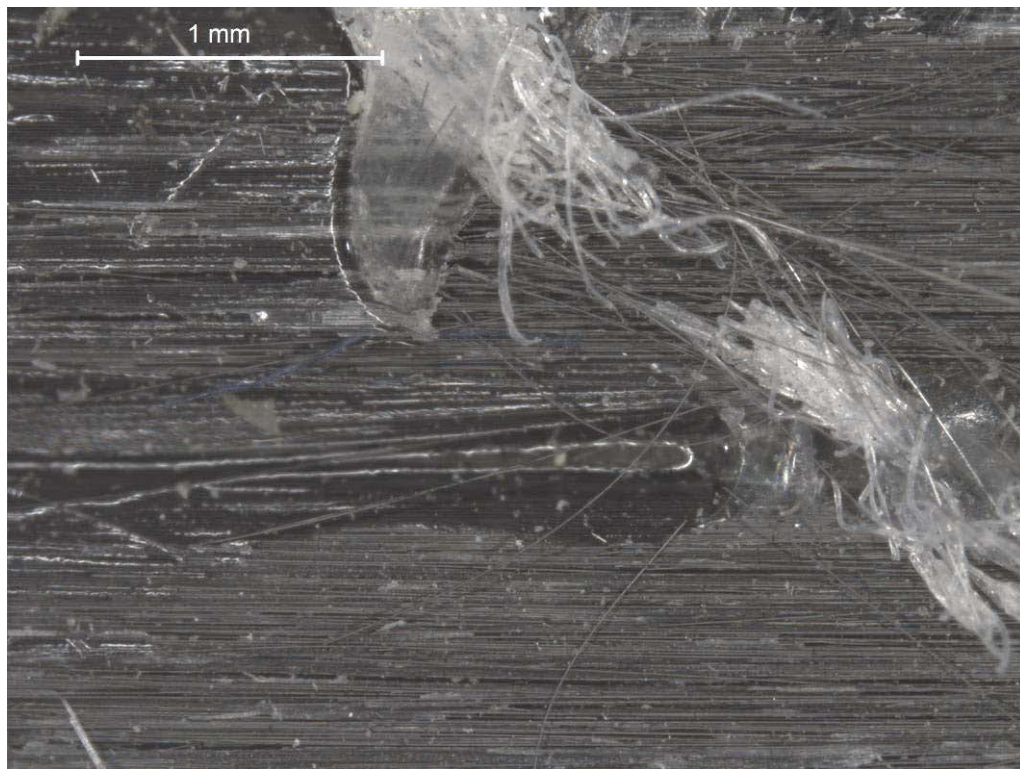
Det er mye synlige porer i bruddflaten. Laminatet har ujevn kvalitet. Karbonfiberne virker å være godt fuktet noen steder, mens andre områder virker tørre uten tilstrekkelig fukting av fiber. Det er mye hulrom/porer mellom fiberbuntene.



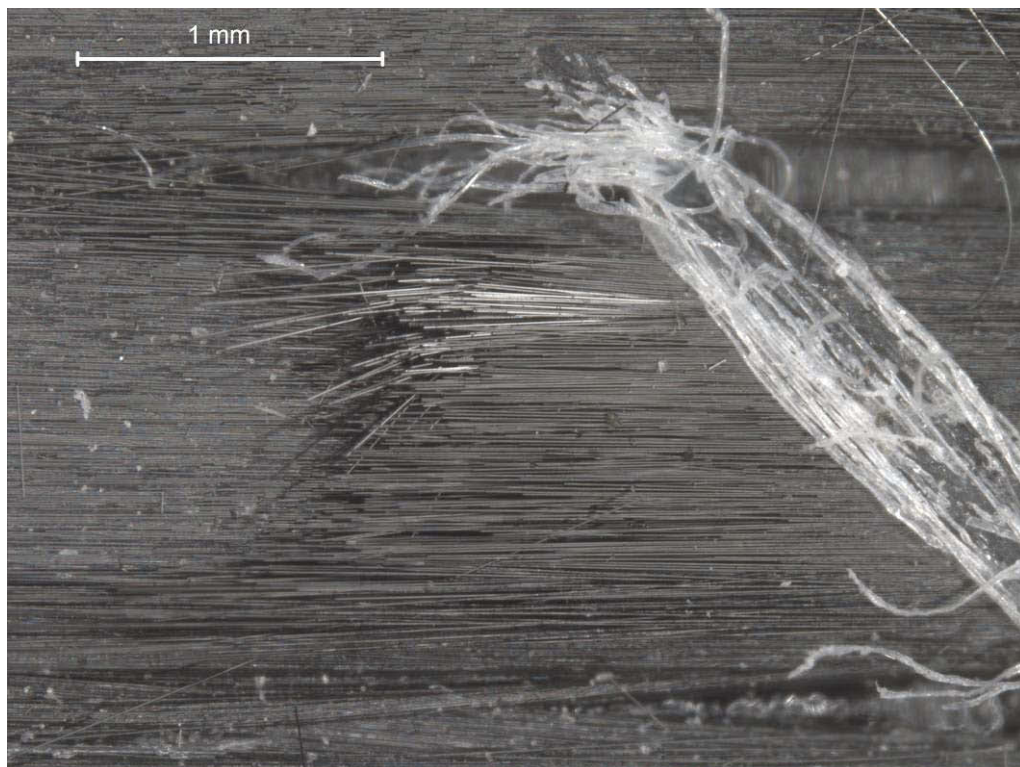
Figur 5.8 Posisjon for prøve av utvendig sekundærlaminering LB.



Figur 5.9 (LB). Overflate/bruddflate på laminatet viser en rekke porer og hulrom ned mellom fiberbunter, se piler. Fiber er her dekket/fuktet i overflaten også for områder med porer.



**Figur 5.10 Bruddflate/overflate (LB). Viser et område av bruddflaten med tørre fiber som ikke har vært fuktet med matriks materiale.**



**Figur 5.11. Bruddflate/overflate (LB). Viser bunt av karbonfiber inne i laminatet som ikke har vært fuktet av matriks.**

#### 5.4.4 Langsgående sandwichpanel, SB3 og BB1

Generelt inntrykk:

For begge disse vakuumpåstøbte sandwichpanelene virker laminatene å være gode, med god metting av fiber. Det er ingen synlige porer eller områder med tørre fiber. Panelene er montert med en sekundærlaminering på hver side. På utsiden av de langsgående skottene er dette utført som en sekundærlaminering, mens for innsiden er det prefabrikkert en vinkelprofil som er limt inn, se Figur 5.12 og 5.13.



**Figur 5.12. Langsgående sandwichpanel fra styrbord og babord side.**

For den sekundærlaminerte siden virker det å ha vært god heft for sekundærlamineringen med en delvis klar utrivning av fiber i overflaten. Bruddet har for alle avstivingspanelene gått i overgangen mellom sekundærlamineringen og det innvendige laminatet for våtdekket, eller inn i våtdekkets laminat. (Det ytterste armeringslaget innvendig for våtdekket er gjort med fiber lagt på tvers. Disse fibrene rives relativt lett ut ved en "peel"-belastning).

Den prefabrikkerte vinkelen som er brukt for å lime fast panelet på den andre siden er bygget opp med samme laminat som sekundærlamineringen. Dette gir et til dels svært tynt laminat som igjen gir dårlig mothold ved innliming av sandwichpanelet. Det er store deler av disse limflatene hvor det ikke har vært binding mellom sekundærlamineringen og våtdekket, se Figur 5.13.



**Figur 5.13. Viser innfesting av langsgående styrbord sandwichpanel til våtdekk.**



### 5.4.5 Langsgående sandwichpanel MS2.

Generelt inntrykk:

Som for panel SB3 og BB1, men dette panelet er festet inn med sekundærlaminering for begge sider.

### 5.4.6 Sandwichpanel Trekantpanel TRP

Generelt inntrykk:

Dette er et prefabrikkert sandwichpanel hvor laminatene er forsterket ved at det er lagt på ytterligere karbonfiberlag ved en overlaminering. Laminatoppbyggingen er forskjellig for de to laminatene på sandwichpanelet. Det er ikke funnet spesifisering for dette.

Snittflate av laminat med noen porer, stedvis dårlig binding mellom armeringslag og stedvis dårlig fukting av fiberlag. Dette er vist ytterligere i bilder under, tatt i mikroskop.

Styrbord laminat:

5 lag i  $+45^\circ$

5 lag i  $-45^\circ$

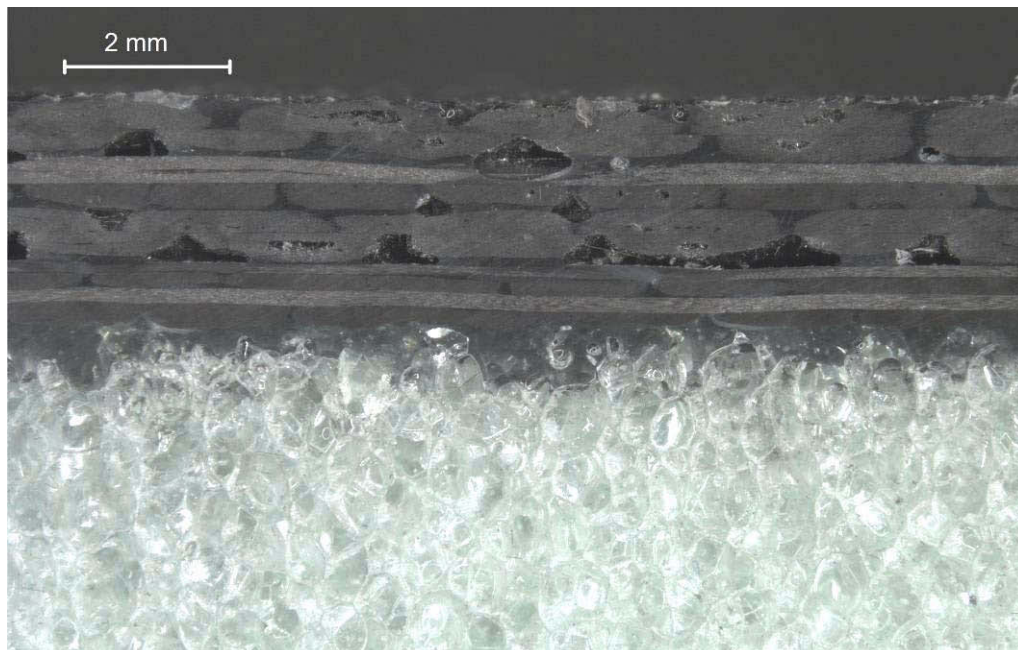
Babord laminat:

2 lag  $+45^\circ$

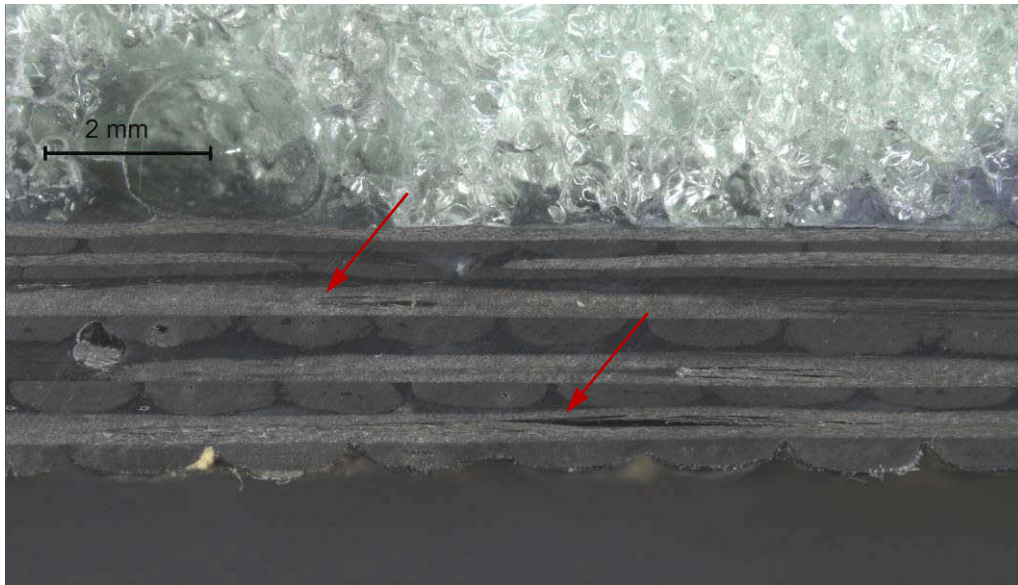
2 lag  $-45^\circ$

3 lag  $90^\circ$

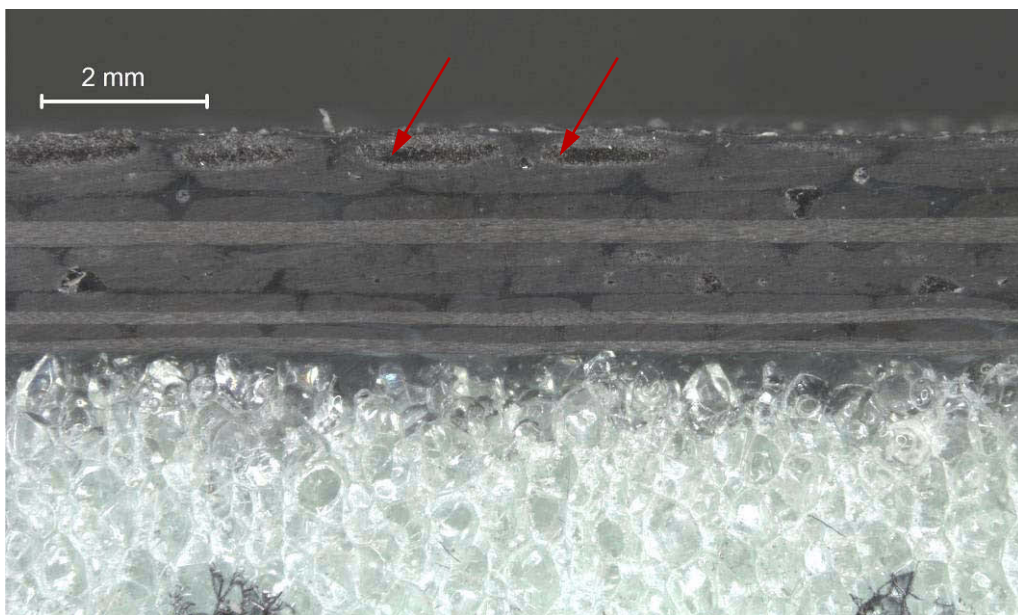
3 lag  $0^\circ$



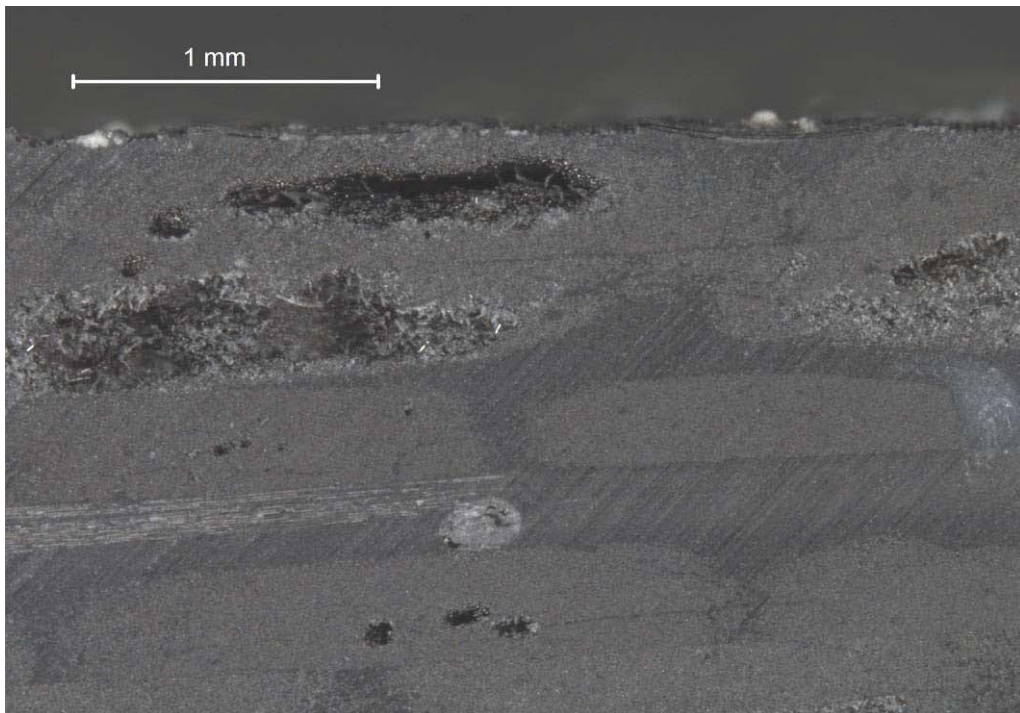
**Figur 5.16. Trekantpanel (TRP), lengdesnitt, babord side: Laminatet viser en rekke porer mellom fiberbuntene i overlamineringen og mellom denne og det vakuumstøpte laminatet**



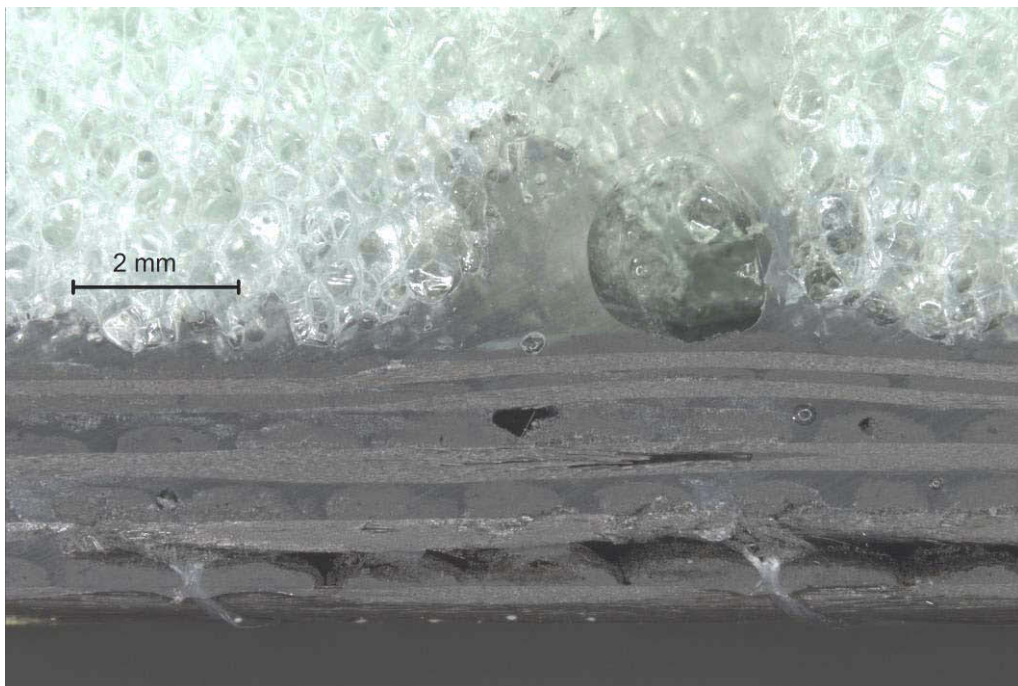
**Figur 5.17 Trekantpanel (TRP), styrbord: Området viser mangelfull fukting ("tørre" fiber) som har ført til langsgående hulrom i fiberbuntene i overlamineringen.**



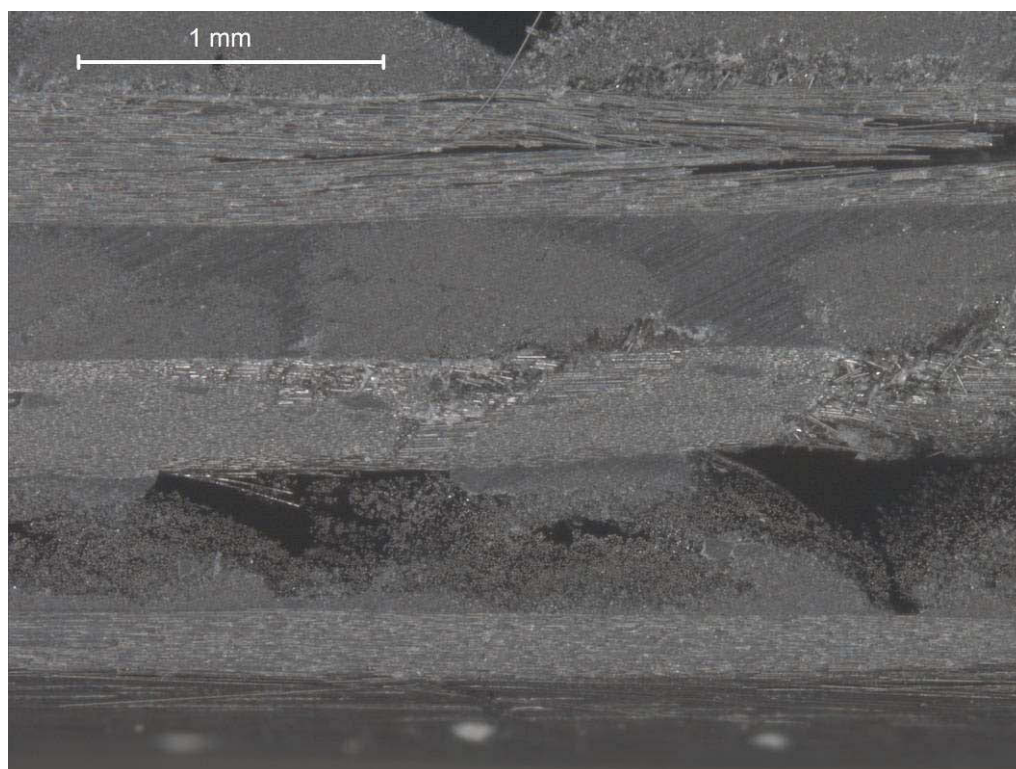
**Figur 5.18 Trekantpanel (TRP), tverrsnitt, babord side: Område viser mangelfull fukting av fiberbuntene i overlamineringen, se pilmerking.**



**Figur 5.19** Trekantpanel (TRP), tverrsnitt, babord side: Forstørrelse av Figur 5.18 viser mangelfull fukting inne i fiberbunter i overlamineringen.



**Figur 5.20** Trekantpanel (TRP), tverrsnitt, styrbord side: Området viser hulrom mellom armeringslagene med tørre fiber inn mot hulrommet for overlamineringen.



Figur 5.21 Trekantpanel (TRP), tverrsnitt, styrbord side: Forstørret område vist i Figur 5.20.

## 5.5 Prøveresultater

### 5.5.1 Strekkprøving

Strekkprøving er utført etter ISO 527 "Plastics -- Determination of tensile properties". Prøvestaver er modifisert i forhold til mulig uttak av prøvestaver.

#### 5.5.1.1 Laminat fra Frontpanel/Våtdekk, FP/VD

##### Vakuumstøpt ytterlaminat

Prøve	Bredde mm	Tot Tykkelse mm	Lam tykkelse mm	E-modul MPa	Strekkfasthet MPa	Maks last kN
T1	24.8	1.75	1.2	62724	1022	30.4
T2	24.75	1.75	1.2	67340	1219	36.2
T3	24.8	1.85	1.3	60861	1098	35.4
<b>Gjennomsnitt</b>				63642	1113	

Total tykkelse er inklusiv malingslag. Ved beregning av E-modul og strekkfasthet er det kun benyttet tykkelse av det bærende laminatet.

### 5.5.1.2 Laminater fra Trekantpanel, TRP

Prøver bestående av både vakuumstøpt laminat og pålagt overlaminering.

#### Styrbord laminat (karbonfiber i 0°/90°)

Prøve	Bredde mm	Tot	Lam	E-modul MPa	Strekfasthet MPa	Maks last kN
		Tykkelse mm	tykkelse mm			
T1	19.55	3.3	3.3	43507	476	30.7
T2	19.7	3.23	3.23	43149	443	28.2
<b>Gjennomsnitt</b>				43328	460	

#### Babord Laminat (karbonfiber i 0°/+45°/-45°/90°)

Prøve	Bredde mm	Tot	Lam	E-modul MPa	Strekfasthet MPa	Maks last kN
		Tykkelse mm	tykkelse mm			
T1	19.8	3.08	3.08	35250	439	26.8
T2	19.9	2.95	2.95	38970	429	25.2
<b>Gjennomsnitt</b>				37110	434	

## 5.5.2 Kompresjonstesting

Prøvingen er utført med basis i ISO 604 "Plastics -- Determination of compressive properties". Prøvestaver og innspenning er tilpasset laminatdimensjoner og mulighet for uttak av prøver.

Prøver ble tatt ut fra trekantpanel av hel sandwich. Ved prøving oppstod knusing av laminat fra enden slik at disse resultatene ikke er representative for laminatenes kompresjonsfasthet. Prøver ble tatt ut fra ytterlaminat fra våtdekk. Disse prøvene er svært tynne og er i tillegg ubalanserte. Ved kompresjonstesting knekker disse ut slik at resultatene ikke er representative for laminatets kompresjonsfasthet.

### 5.5.2.1 Laminater fra Trekantpanel, TRP

Prøver bestående av både vakuumstøpt laminat og pålagt overlaminering.

#### Laminat Styrbord side (karbonfiber i 0°/90°)

Trekantpanel Prøve	Bredde mm	Tykkelse mm	Trykkfasthet MPa	Bruddlast kN
Styrbord laminat K1	19.5	3.3	256	16.5
Styrbord laminat K2	19.8	3.3	256	16.7

#### Laminat Babord side (karbonfiber i 0°/+45°/-45°/90°)

Trekantpanel Prøve	Bredde mm	Tykkelse mm	Trykkfasthet MPa	Bruddlast kN
Babord laminat K1	19.8	3.1	226	13.9
Babord laminat K2	19.8	2.9	270	15.5

### 5.5.3 Interlaminær skjærttest

Tester er utført iht. ISO 14130 "Fibre-reinforced composites - Determination of apparent interlaminar shear strength by short-beam method".

Metoden gir ikke en skjærfasthet som kan brukes direkte i dimensjoneringsammenheng, men gir en relativ skjærfasthet som kan brukes for å sammenligne skjærfasthet mellom ulike laminaer. Den viser også hvilket sjikt i laminatet som har den laveste skjærfastheten. Metoden kan således f.eks. brukes til å avdekke dårlig heft for sekundærlamineringer.

Prøve	Bredde	Tykkelse	Lengde	Skjærfasthet	Max last	Opplageravstand	Kommentar
	mm	mm	mm	MPa	N	mm	
<b>Sekundærlaminering våtdekk/babord skrog LB.</b>							
LB1	9.73	2.1	20	23.1	630	10	Prøver er tatt fra
LB2	9.8	2.1	20	22.8	625	10	den beste delen av
LB3	9.68	2.1	20	20.8	565	10	LB laminatet
<b>Gjennomsnitt</b>				22.2			
<b>Frontpanel/Våtdekk, ytterlaminat av sandwich. FP/VD</b>							
VD1	8.82	1.58	16	38.2	709	8	
VD2	8.63	1.58	16		-	8	
VD3	8.62	1.58	16	34.7	631	8	
<b>Gjennomsnitt</b>				36.5			
<b>Langsgående panel merket SB3, inkl. sekundærlaminering</b>							
SB3-1	9.56	2.85	28	28.4	1031	14	
SB3-2	9.63	2.75	28	21.7	767	14	
SB3-3	9.69	2.65	28	28.2	967	14	
<b>Gjennomsnitt</b>				26.1			
<b>Front panel inklusiv sekundærlaminering. FP/VD</b>							
FP1	9.6	4.2	42	28.4	1528	21	
FP2	9.7	4.2	42	32.1	1743	21	
FP3	9.6	4.3	42	29.1	1603	21	
<b>Gjennomsnitt</b>				29.9			
<b>Trekantpanel, vakuurstøpt laminat inklusiv overlaminering på styrbord side TRP</b>							
Tr-sb-1	9.5	3.2	33	20.2	818	16.5	
Tr-sb-2	9.5	3.3	33	20.2	846	16.5	
Tr-sb-3	9.5	3.3	33	23.8	994	16.5	
<b>Gjennomsnitt</b>				21.4			
<b>Referanseprøve*</b>							
Ref	10	4.2	42	52.1	2920	21	

\* Prøven ble ikke tatt fra MS Sollifjell men er fra et annet laminat med karbonfiberarmering for sammenligning. Prøvene har samme dimensjon som prøver tatt fra frontpanelet inklusiv sekundær / overlaminering, men armeringstype og matrisemateriale er av annen type.

## 5.6 Densitetsmålinger

Prøver er tatt ut av kjernematerialet for sandwichpaneler.

Prøve	vekt g	Lengde mm	Bredde mm	Tykkelse mm	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Spesifisert densitet kg/m <sup>3</sup>
BB1	4.717	72.9	48.8	20.55	65	60
TRP	4.116	85.8	34.95	20.45	67	60
VD	8.208	98.8	30.1	20.5	135	130

## 5.7 Diskusjon materialprøver

Barcolhardheten indikerer at laminatene er godt utherdet.

Det er funnet en del små porer i laminatet som f.eks. vist i Figur 5.5. Dette er porer i rent matrisemateriale mens fibrene er godt fuktet. Slike små porer har liten betydning for laminatets egenskaper.

Det er også funnet partier i sekundærlamineringene hvor porene/hulrommene har større utbredelse, se Figur 5.9. Slike partier vil gi et laminat med redusert skjær- og kompresjonsfasthet, mens det i liten grad vil påvirke strekkfastheten.

Det er også funnet partier med hulrom hvor karbonfibrene ikke er fuktet med matrisemateriale, Figurene 5.10, 5.11 og 5.16 til 5.21. Alle steder hvor det er funnet karbonfiber som ikke er fuktet er fra sekundærlamineringer.

Et laminat med mangelfull fukting av fiber vil gi et laminat med dårlige egenskaper. Egenskapene vil kun være dårlige lokalt der fibrene er dårlig fuktet. Det kan derfor være vanskelig å avdekke dette ved testing av noen få prøvestaver.

Kjernemateriale med densitet 60kg/m<sup>3</sup> er grønt mens densitet 130kg/m<sup>3</sup> har en beige farge og de lukkede porene er minst for kjernematerialet med størst densitet. For alle paneler hvor kjernematerialet er synlig virker det å være brukt kjernemateriale som spesifisert. Målt densitet for kjernemateriale stemmer med konstruksjonstegninger for de tre ulike kjernene det er målt densitet på.

Alle prøver som inkluderer sekundærlamineringer er skåret ut fra områder hvor det ikke var åpenbare synlige feil i laminatet. Testene viser at den interlaminære skjærfastheten er klart lavere for sekundærlamineringer enn for laminat i de prefabrikkerte sandwichpanelene. Alle verdier, både for vakuumstøpt laminat og sekundærlamineringer, er relativt lave. Men ingen laminat skiller seg spesielt ut som svært dårlige. Strekkfastheten for laminatene må sees i sammenheng med fiberretning for armeringslagene. Kompresjonsfastheten er relativt lav sammenlignet med strekkfastheten. Dette kan delvis skyldes dårlig fukting av fiber.

## 6 BELASTNINGER OG STYRKE, FAKTASAMMENSTILLING

### 6.1 Beskrivelse av konstruksjonen

MS Sollifjell er et hurtiggående passasjerfartøy bygd som en katamaran.

#### Hoveddata

Lengde:	35 m
Lengde mellom perpendikulærer:	31,84 m
Bredde (totalt):	10,9 m
Dybde:	3,35 m
Dypgang:	1,47 m
Deplasement:	100 ton
Operasjonshastighet:	33 knop
Antall passasjerer:	250 personer

#### Byggematerialer

Paneler i skrog, dekk og skott er bygget opp som sandwichkonstruksjon med karbonfiberarmert laminat og skumkjerne.

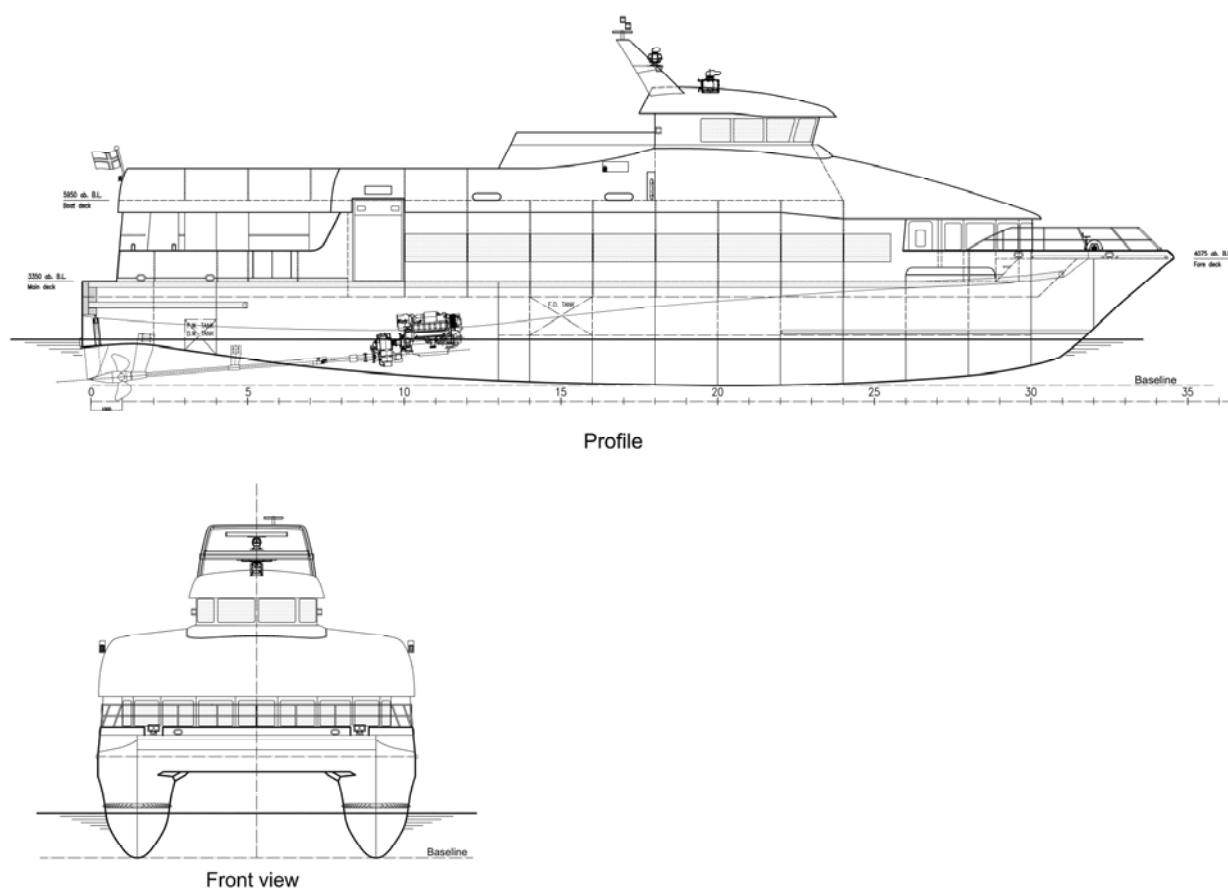
Materiale i de forskjellige elementene er (i henhold til data fra hovedtegning):

Sandwich laminater:	Karbonfiber og vinylester matrisemateriale
Sandwich kjerne:	Skum av type Divinycell.
Bjelkelaminater:	Karbonfiber og vinylester matrisemateriale
Bjelke kjerne:	Skum av type Divinycell
Rammer:	Bygget av sandwich som ovenfor
Sammenføyninger:	Laminert med karbonfiber og vinylester matrisemateriale. Noen sammenføyninger er gjort ved tradisjonell limteknikk
Kjernelim og fyll:	Fyllmateriale type Divilette
Pillarer på hoveddekk:	Aluminium rørprofil
Lim for sammenføyninger:	Type ikke oppgitt på konstruksjonstegning



Hovedkonstruksjonen er i hovedtrekk som vanlig for et slikt fartøy bygget i en karbonfiberarmert sandwichkonstruksjon, og består av:

- To hovedskrog bygget i sandwich med interne rammer og vanntette skott, også i sandwich
- Overbygget bygget i sandwich støttet opp av rammer og søyler
- Strukturen mellom skrogene (våtdekket) består av tversgående bjelker som er kontinuerlig med rammene i hovedskrogene. Oversiden av våtdekket er hoveddekket (passasjerdekket) som også er bygget i sandwich. Undersiden er dekket av sandwichpanel ut mot sjøen. Det er også langsgående bjelker i våtdekket. Disse er delvis diskontinuerlig hvor de krysser tverrskipselementene. Bjelkeflensene er imidlertid kontinuerlige.



**Figur 6.1** Generalarrangement av MS Sollifjell. Referansenummer for posisjon er vist på skala under profiltegningen.



## 6.2 Dimensjonering av fartøyet

### 6.2.1 Regelverk

I følge mottatt dokumentasjon er dimensjoneringen av skroget gjort etter DNV Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft /1/ (heretter kalt DNV reglene). Det er ikke oppgitt hvilken utgave av DNV reglene som er benyttet for dimensjonering.

Klassenotasjon som er benyttet for dimensjonering av skroget er:

#### 1A HSLC R3

En klassenotasjon definerer hvilke deler av DNV reglene som skal anvendes for fartøyet, samt hvilke designparametre som skal velges. Den oppgitte klassenotasjonen er ikke konsistent i henhold til DNV regler, og definerer ikke entydig de tekniske kravene. Klassenotasjonen skal normalt inneholde en skipstype, som definerer fartøyets designaksellerasjon, og en del andre verdier.

Laster er beregnet ut fra Part 3 Kapittel 1 i DNV reglene, og styrke er beregnet ut fra Part 3 Kapittel 4 i DNV reglene.

Beregning av lastene som er brukt ved dimensjoneringer er dokumentert i LMG Marin Rapport: "Strength analysis report for carbon cat / sealord 35" Document nr. 84-20-17424 revisjon E.

Punkt 3.1.2 i LMGs rapport henviser til akseptkriterier for Tsai-Wu kriteriet for laminater. Dette avsnittet refererer til akseptkriterier som ikke lenger er benyttet i DNV reglene. Dette kriteriet ble endret i januar 2003-revisjonen av DNV reglene. Dette kan tyde på at en gammel utgått versjon av DNV reglene er lagt til grunn for styrkeanalysen. Dette har imidlertid ikke hatt noen konsekvens for design eller våre konklusjoner.

### 6.2.2 Fart bølgehøyde begrensnig

Alle hurtigbåter dimensjonert etter DNV reglene vil ha en fartsbegrensning i høye bølger.

Fart-bølgehøyde begrensnigen for MS Sollifjell gitt i Operasjonstillatelsen er sjekket og funnet korrekt i henhold til DNV regler.

Båten kan gå i full fart 33 knop opp til bølgehøyde 0.5m, deretter må farten reduseres avhengig av bølgehøyde.

Kommentarer til denne er gitt i Kapittel 7.

### 6.2.3 Designlaster og styrke av våtdekk

Våtdekket på en katamaran blir dimensjonert for to forskjellige trykk fra sjøen: sjøtrykk eller bølgeslag (også kalt slammingstrykk).

Følgende dimensjoneringstrykk benyttes i DNV reglene:

#### **Sjøtrykk:**

Sjøtrykk kan man forenklet si er et statisk vanntrykk. Størrelsen på dette trykket er avhengig av høyde over/under vannlinjen, langskips posisjon, skipselementer (skrog, dekk etc.) og størrelsen på fartøyet.

#### **Bølgeslag (Slammingstrykk):**

”Slammingstrykk” representerer slag mellom vannet og deler av fartøyet. For en hurtiggående katamaran som denne dimensjoneres normalt baug, bunn og våtdekk mot bølgeslag. De viktigste faktorene for bølgeslag er hastighet og den vinkel vannet treffer en skrogflate med. For bunn og våtdekk som normalt er mer eller mindre horisontale, vil hastigheten normalt på flaten være en vertikal hastighet. For de skrå flatene i baugen på fartøyet vil normalhastigheten mot skrogflaten være dominert av båtens hastighet forover. En hurtigbåts hastighet forover er normalt mye høyere enn den relative vertikalhastigheten nevnt ovenfor, spesielt for en passasjerkatamaran som designes for en lav vertikal akselerasjon.

#### **Designlaster og styrke av våtdekkspaneler**

Høyeste designtrykk fra bølgeslag på våtdekket er beregnet av konstruktøren til 22,6 kN/m<sup>2</sup> for panelet mellom ramme nr. 28 og 30. Dette er korrekt utregnet iht. DNV regler. Styrken av panelene er sjekket iht. DNV reglene og funnet i overensstemmelse med regelkravene.

Designtrykk for skråpanelet i front av våtdekket ved ramme nr. 31 er beregnet av konstruktøren til 10.0 kN/m<sup>2</sup>. Denne verdien er beregnet ut i fra sjøtrykket, og ikke med bidrag fra bølgeslag.

Dette betyr at både panelet og den underliggende struktur ved ramme nr. 31 ikke er dimensjonert for bølgeslag. Dette vil bli nærmere kommentert i kapittel 7 i denne rapporten.

#### **Styrke av sammenføyninger i våtdekket**

##### Laminerte sammenføyninger

Det ser ut til at designer bruker like mange lag i laminering mellom bjelker og panel som det er i bjelkenes steg. Bredden på sekundærlamineringene er også som normalt forventet. Ut fra dette kan det konkluderes at sekundær lamineringene av våtdekket har den nødvendige styrke for å dekke de dimensjonerende lastene.



### Limte sammenføyninger

De ytre langsgående bjelkene i våtdekket er satt sammen slik at steget har limt sammenføyning på den ene siden, og laminert sammenføyning på den andre. Størrelsen på limarealet og sekundærlaminering tilsier at denne innfestingsmetoden er tilstrekkelig for å bære de dimensjonerende designlastene.

Når det gjelder selve byggekvaliteten av skjøtene henvises til kapittel 4 "Undersøkelse av MS Sollifjell" og kapittel 5 "Materialtesting og visuell inspeksjon".

## 6.2.4 Skadetyper

Ved undersøkelse av fartøyet vil en av de første vurderingene være å finne ut hvilken skadetype fartøyet har fått.

Når det gjelder de ytre skader vil hovedtypene kunne være:

### **Berøringskade**

Denne vil normalt gi merker på skroget fra ytre berøring og skade av overflaten. Avhengig av form på kontaktleger vil panelene være knust, inntrykket eller opprevet. Også bakenforliggende struktur kan være knust.

### **Bølgeslag**

Bølgeslag vil ikke gi særlige merker på overflaten, men kunne gi inntrykning av paneler, rive løs sammenføyninger, og knuse/knekke underliggende struktur.

### **Indre skader**

Skade fra berøring eller bølgeslag vil kunne bre seg videre i den indre strukturen og forårsake:

- defomasjoner/forskyvning av dekk, skott, bjelker
- lokal knusing i "harde punkter"
- sammenføyninger løsner

### **Berøringskade**

Inspeksjon av fartøyet ved kai i Ålesund viser at det skadede området ikke har merker eller andre tegn som indikerer at det har blitt truffet av en gjenstand eller lignende i sjøen.

Dette gjelder:

- skrogsider rundt skaden: ingen tegn til berøringskade
- stivere foran skråplate: ingen tegn til berøringskade
- skråplate: ingen tegn til berøringskade

-underside av våtdekk: et stort område av panelene under våtdekk er skrellet av, og er derfor litt vanskeligere å vurdere. Imidlertid er deler av dette funne drivende i sjøen. Denne delen viser ikke tegn til alvorlig berøringskade. Stiverstrukturen som støtter opp undersiden av våtdekket viser ingen tegn til berøringskade som har gått inn til stiverne.

Dette er indikert ved Figur 6.2.



**Figur 6.2 Skråpanel mellom våtdekk og bakkdekk. Overflatene viser ingen tegn til kontaktskade med en fast gjenstand.**

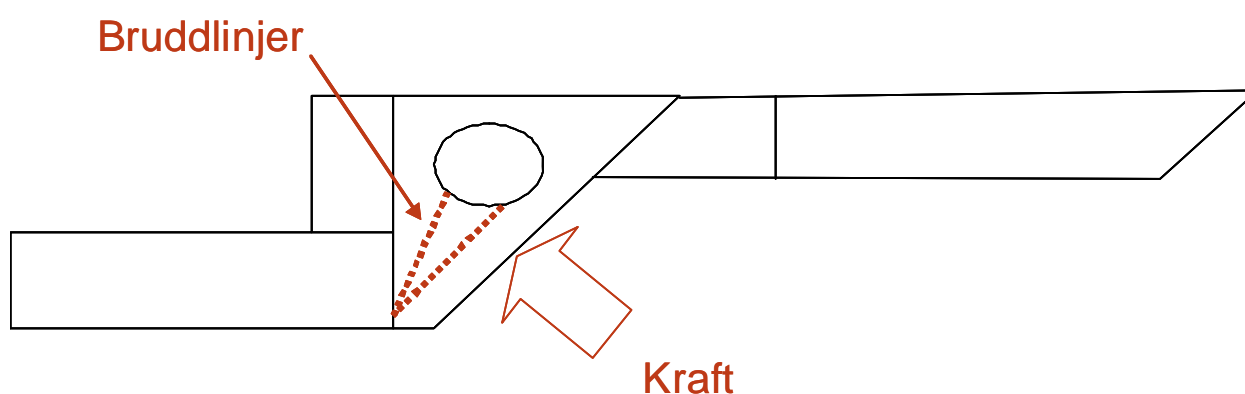
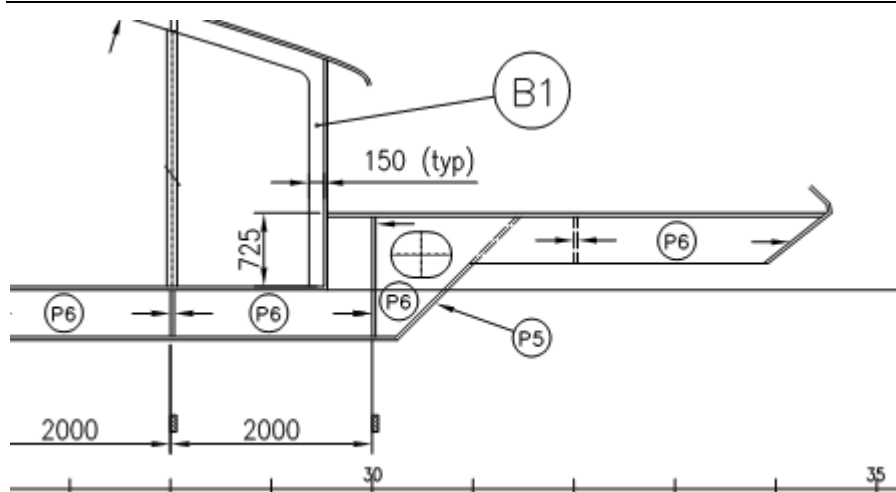
### **6.3 Kraft på skråpanel basert på bruddstyrke**

Vi ønsker å finne ut hvilke belastninger som kan ha forårsaket skaden på våtdekket. En indikasjon av dette kan man finne ved å regne ut hvor store krefter som skal til før bakenforliggende støttestruktur svikter. Bruddlasten avstøttestrukturen vil gi en indikasjon av dette.

Skaden på denne detaljen er vist på Figur 6.3. Konstruksjonen av dette området er vist i Figur 6.4 hvor bruddlinjene er tegnet inn.



**Figur 6.3** Bruddskade på støttestruktur.



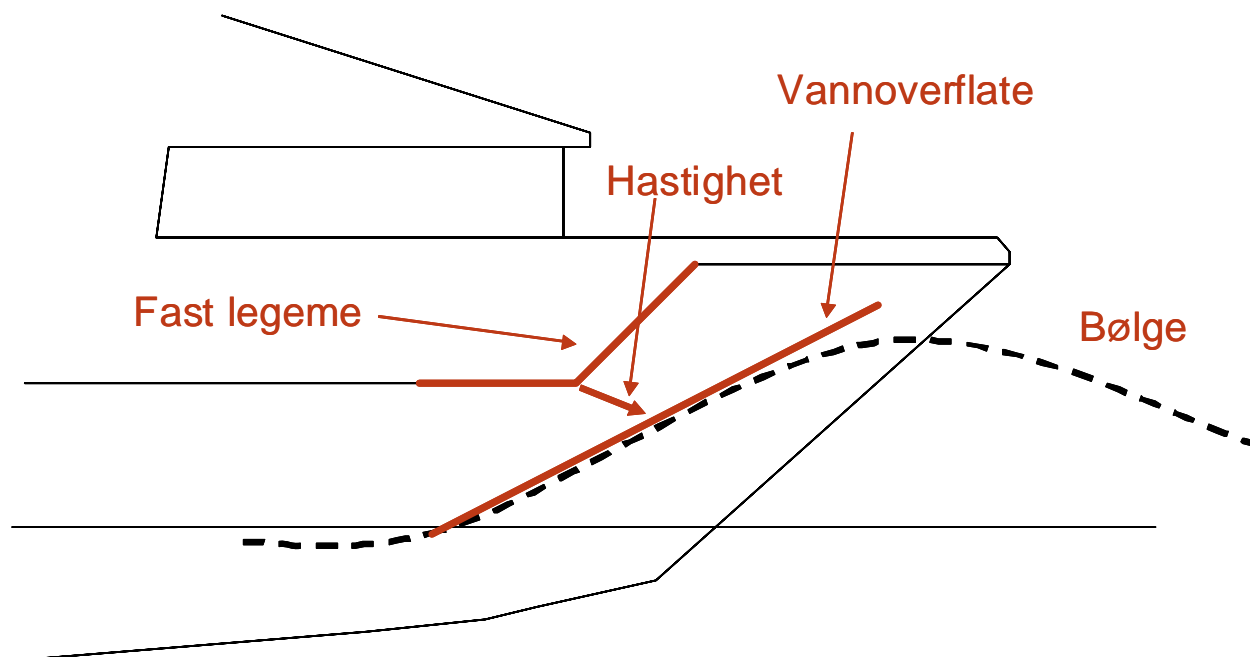
**Figur 6.4** Detaljkonstruksjon av skråpanel og støttestruktur.

Basert på materialdata for laminatene og kjernematerialet for støttestrukturen kan det gjøres et estimat på kraften  $F$ .

Da støttestrukturen utsettes for kompresjonslast, er det forventet at bruddmodus er såkalt "skin wrinkling", dvs. knekking av skallet i sandwichkonstruksjonen. Utregning av knekklast (se Appendix 2) indikerer en ytre last i størrelsesorden 590 kN. For å omregne dette til et mulig trykk på skråplaten, må denne kraften fordeles på en antatt trykkflate på skråpanelet ut mot sjøen. For å få en minimum- og maksimum-antagelse, er to forskjellige arealer brukt i denne beregningen. Resultatet indikerer at med disse antagelsene, vil trykket ligge i et område fra 393 – 737 kN/m<sup>2</sup>. Antagelsene, sammen med en forenklet beregning gir et stort rom for variasjon av dette tallet, men hovedkonklusjonen man kan trekke ut av dette er at det er en meget stor kraft som har virket på konstruksjonen, langt over designverdien på 10 kN/m<sup>2</sup>.

## 6.4 Kraft på skråpanel basert på forenklet hydrodynamisk beregning

Bølgeslag oppstår når en flate på fartøyet treffer vannoverflaten. Dette kan gi store lokale trykk på konstruksjonen. Relativ vinkel og hastighet mellom flatene vil påvirke hvor stort trykket blir. Når fartøyet går fremover i sjøen vil en mulig slamming-situasjon se ut som i Figur 6.5.



**Figur 6.5** Hovedparametrene for en forenklet slammingberegning

Det er her viktig å merke seg at båthastigheten fremover er betydelig større enn vertikalkomponentene av båtbevegelse og bølgebevegelse, og trykket ved bølgeslag vil være dominert av båtens hastighet fremover. Dette skyldes at panelet er vinklet oppover slik at hastigheten normalt inn på panelet domineres av båtens hastighet.

### Forenklet beregning av bølgeslag

DNV reglene har ikke noen formel som gir slammingtrykk for dette tilfellet hvor det er en skråplate som denne vinklet oppover. Eventuelle overslag må gjøres på basis av formler fra litteraturen.

En forenklet betraktning basert på slammingkoeffisienter fra boken "Hydrodynamics of Marine Vehicles" av Odd M.Faltinsen [2] kan gi en indikasjon av størrelsesordenen. Se Figur 6.6. nedenfor og Appendix 2. Beregningen av bølgeslag forårsaket av båtens hastighet fremover, gir en verdi for lokalt trykk ved vannfronten på over 2000 kN/m<sup>2</sup>. Om man betrakter trykk over en større flate, gir dette verdier i størrelsesorden 735 – 1470 kN/m<sup>2</sup>. Denne forenklete beregningen er brukt som et første estimat, og viser at trykkene samsvarer med verdiene funnet i avsnitt 6.3. Også her har tallene stor variasjon, men gir en indikasjon av størrelsesordenen.



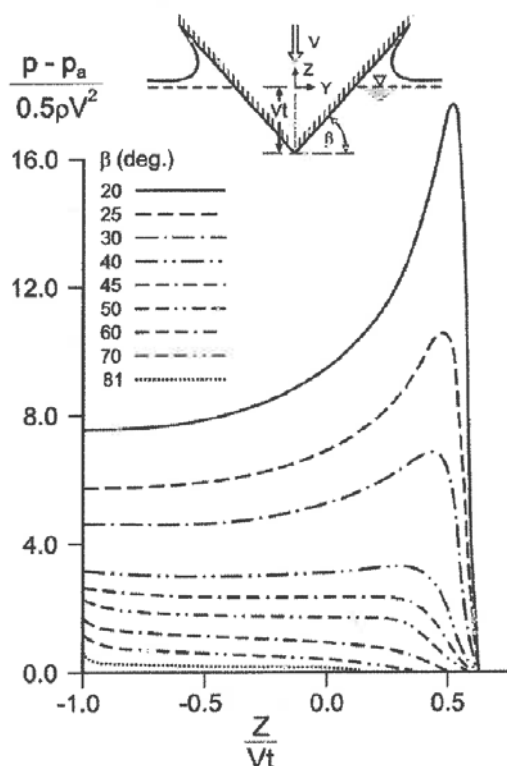


Figure 8.21. Predictions of pressure ( $p$ ) distribution during water entry of a rigid wedge with constant vertical velocity  $V$ .  $p_a$  = atmospheric pressure,  $\beta$  = deadrise angle (Zhao and Faltinsen 1993).

**Figur 6.6 Trykkfordeling for et V-formet legeme som treffer vannflaten (Faltinsen: Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles)**

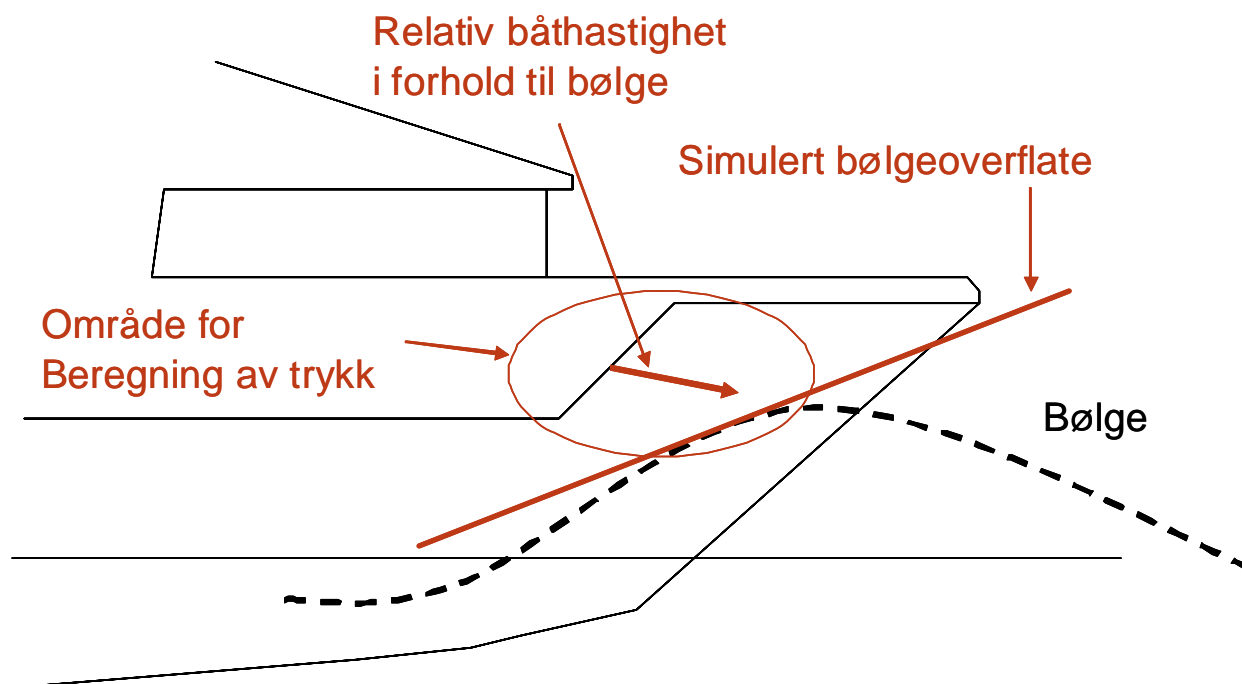
## 6.5 Kraft på skråpanel basert på datasingulering

### Modellering

For å få bedre data for bølgeslag på skråpanelet er det gjort en forenklet datasingulering av dette belastningstilfellet.

For beregningene er simuleringprogrammet Star-CCM+ benyttet. Dette er et CFD program (Computational Fluid Dynamics) som i dette tilfelle er brukt for å gjøre en tredimensjonal beregning. Programmet regner sammenstøtet mellom vann og fartøy i tid og rom. Programmet bruker Navier-Stokes ligningene for å løse strømningsfeltet. I dette tilfelle er Euler ligningene (Navier-Stokes uten viskøse ledd) benyttet da viskøse effekter ikke er relevante i dette tilfelle. Den største fordelene ved å gjøre det på denne måten er at kjøringene kan gjøres med hastighet  $V = 1.0$  m/s og så kan resultatene skaleres til en hvilken som helst hastighet med kvadratet av hastigheten  $V^2$ .

En numerisk modell av fartøyet er mottatt fra LMG Marin. Denne er benyttet i simuleringsprogrammet. Situasjonen som er modellert er vist i Figur 6.7.



**Figur 6.7 Hovedparametrene for slammingsimulering**

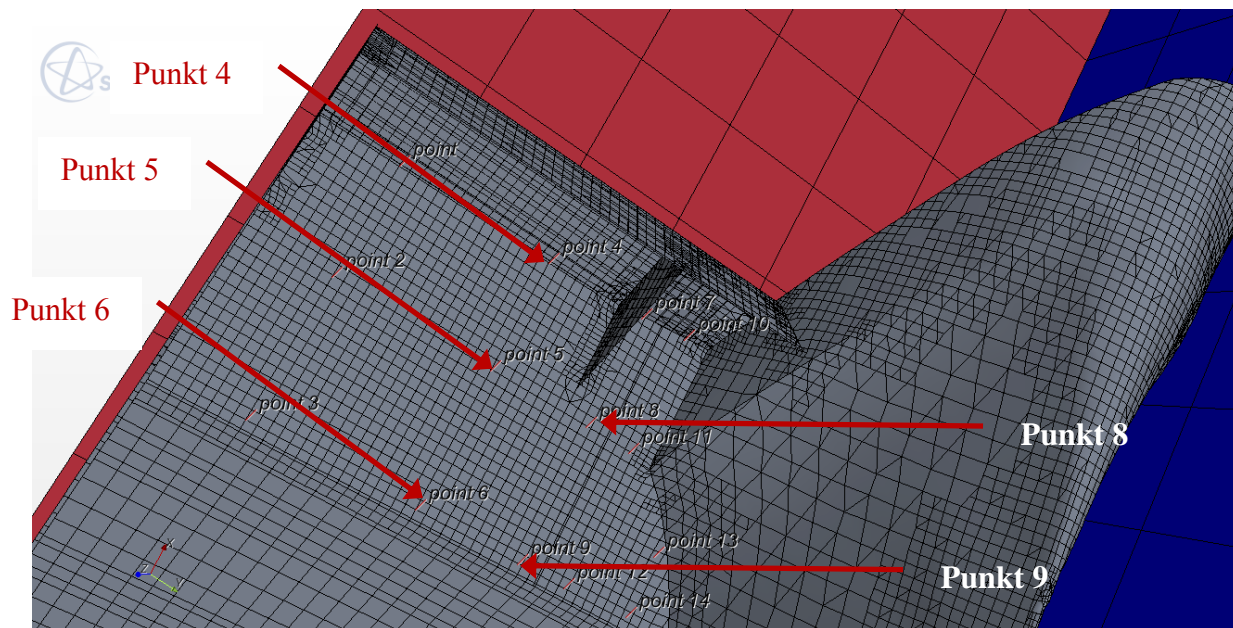
Bølgeoverflaten er modellert som en rett flate med en realistisk vinkel i forhold til fartøyet. Dette vil gi realistiske verdier lokalt i området rundt skråpanel ved ramme nr. 32, men et stykke unna vil det ikke være en realistisk beskrivelse av virkeligheten. Da vi kun ønsker å finne krefter lokalt på skråpanelet, gir dette tilstrekkelig nøyaktighet for dette formålet.

Hastigheten fremover er modellert sammen med en liten hastighetskomponent nedover, som representerer hiv og pitch bevegelse i baugen som vertikalbevegelsen av bølgeflaten. Våtdekket er kun modellert frem til ramme nr. 32 for ikke å få forstyrrelse i vannflaten ved at de fremre delene får kontakt med vannet og forstyrrer vannoverflaten før den treffer våtdekket.

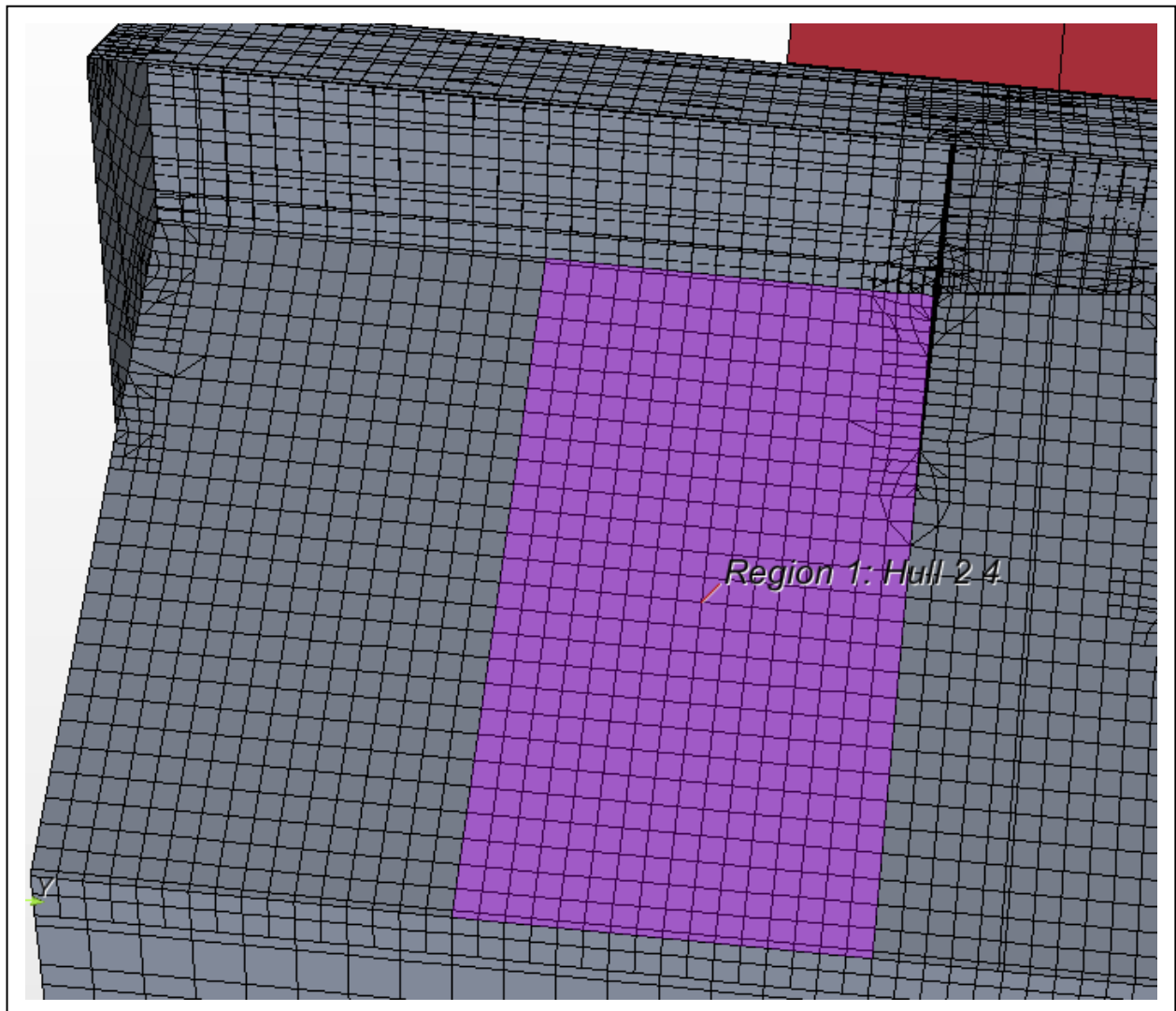
Simuleringen er gjort for flere vinkler og hastigheter. Resultatene nedenfor er presentert for et tilfelle hvor båten gjør 33 knop fremover (= 16.98 m/s) og en hastighetskomponent nedover på 1.5 m/s, og den lokale bølgeoverflaten har en vinkel på 20°. Figur 6.8a og Figur 6.8b viser en modell hvor bjelkene på undersiden av bakkdekket også er modellert frem til ramme nr. 32.



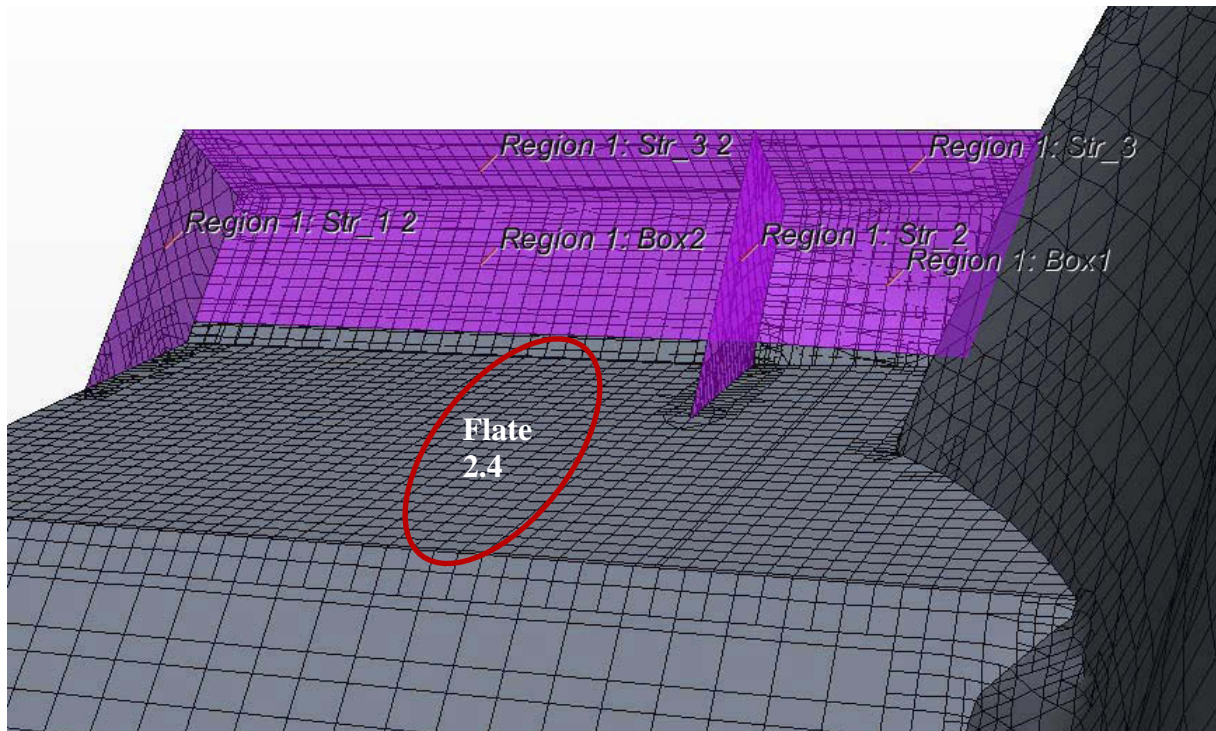
Figur 6.8a Modell brukt i simuleringene



Figur 6.8b Detalj av modellen (grå flater). Punktene som er vist med nummer er trykkpunkter for å ta ut trykkresultater.



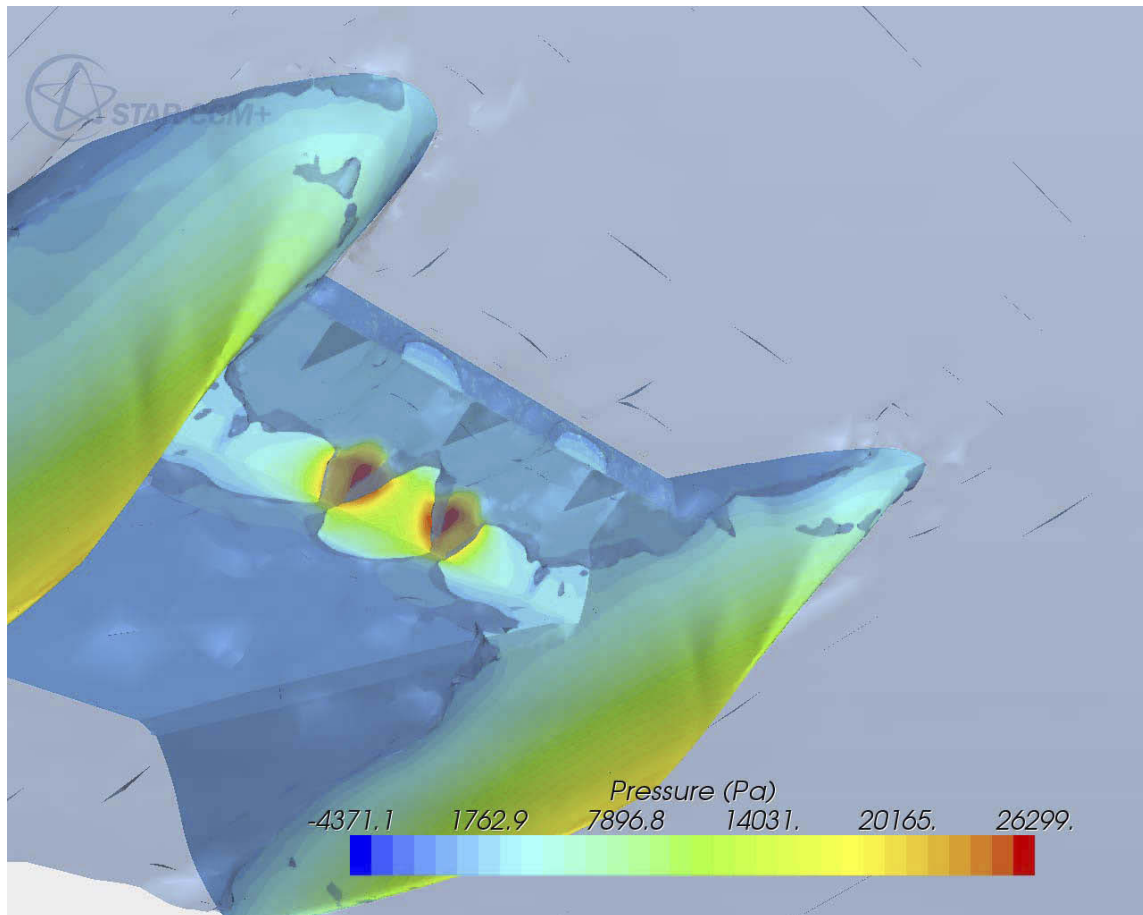
**Figur 6.9** Detalj av modellen sett nedenfra. Lilla område er betegnet "flate 2.4" hvor en tar ut krefter på flaten.



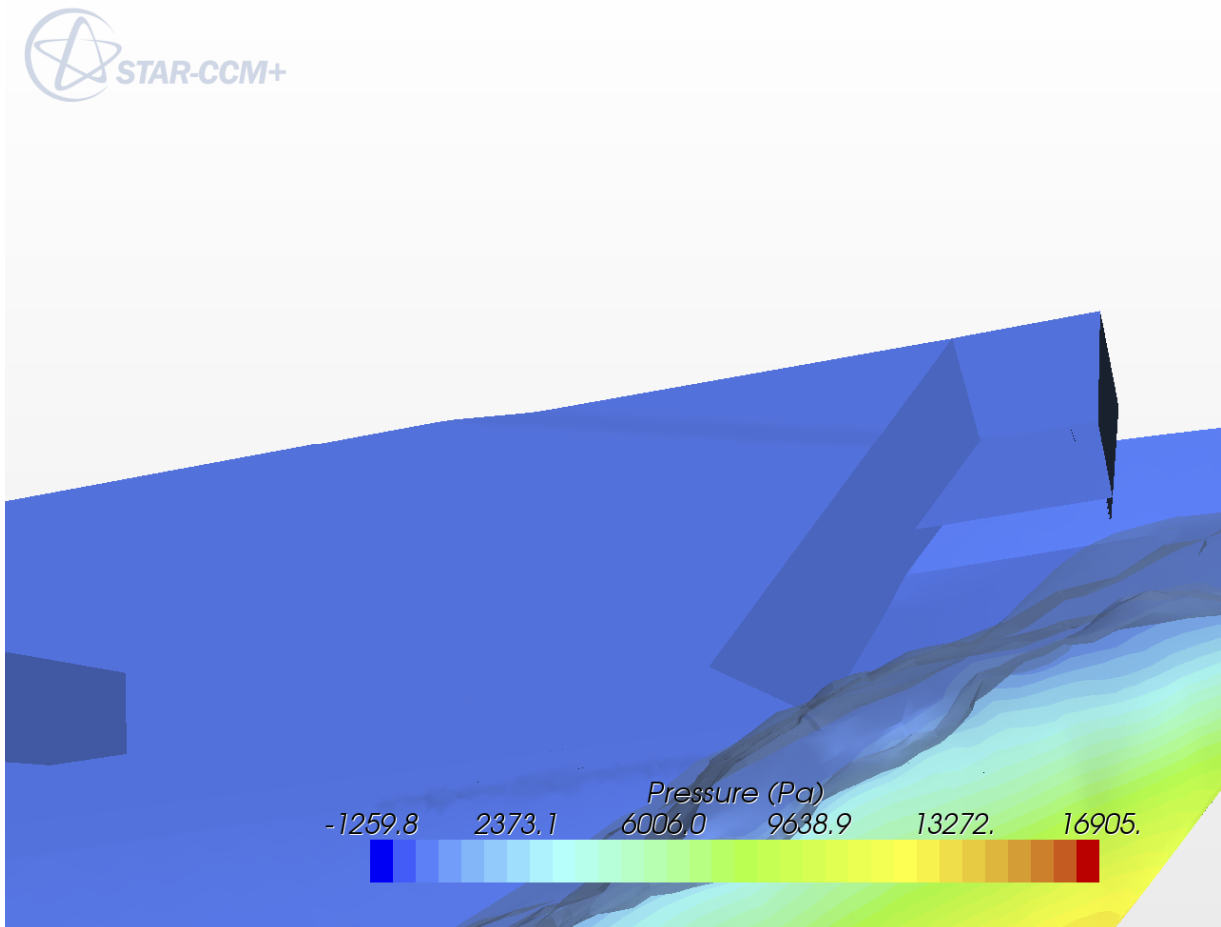
**Figur 6.10** Detalj av modellen sett ned fra. Lilla område viser navn på flateelementene i modellen. Langsgående bjelke er betegnet "Region 1: Str 2".

## Resultater

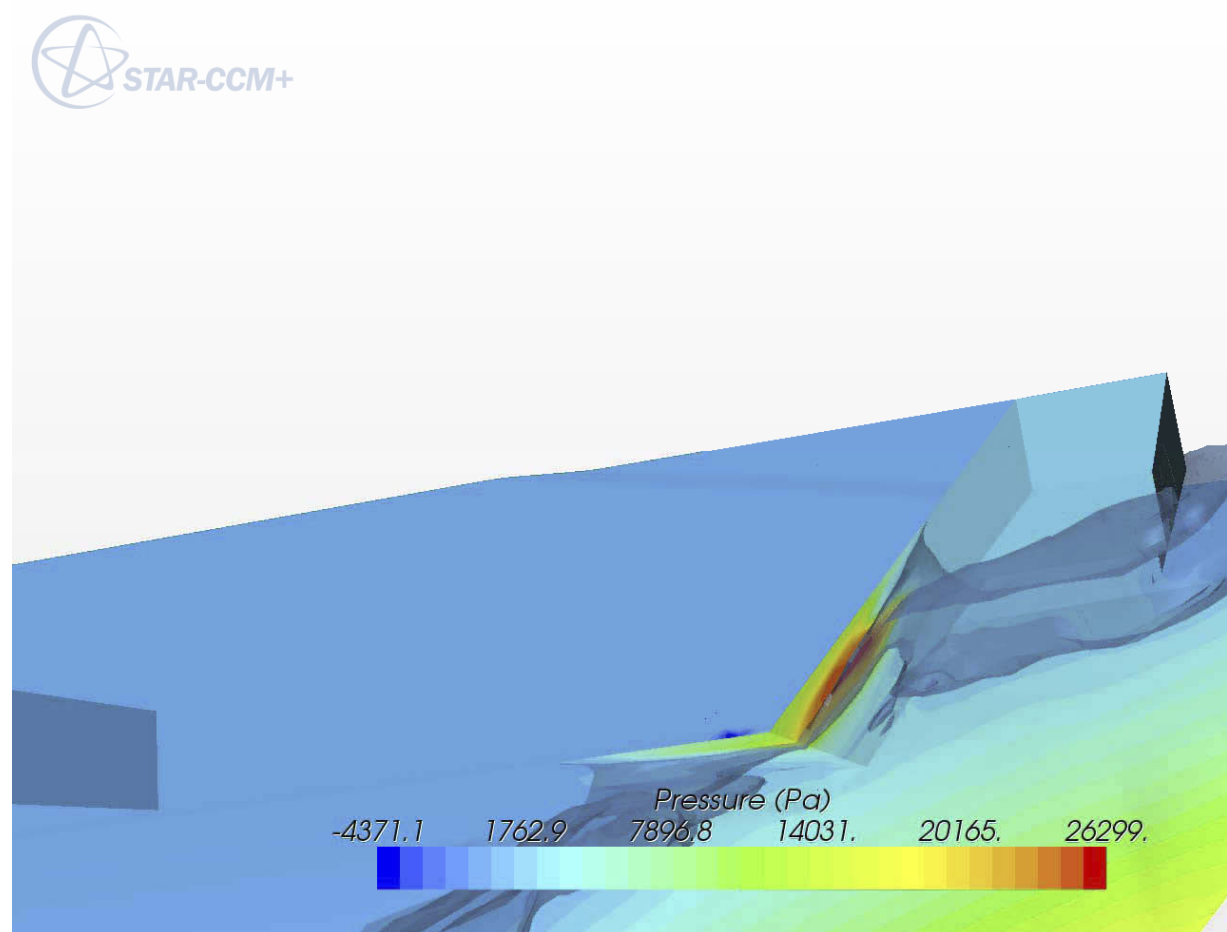
Nedenfor er vist et utvalg av resultatene fra simuleringen. Resultatene er kommentert lengre ned.



**Figur 6.11** Trykkfordeling på modellen når bølgen treffer nedre kant av skråplaten i forkant av våtdekket

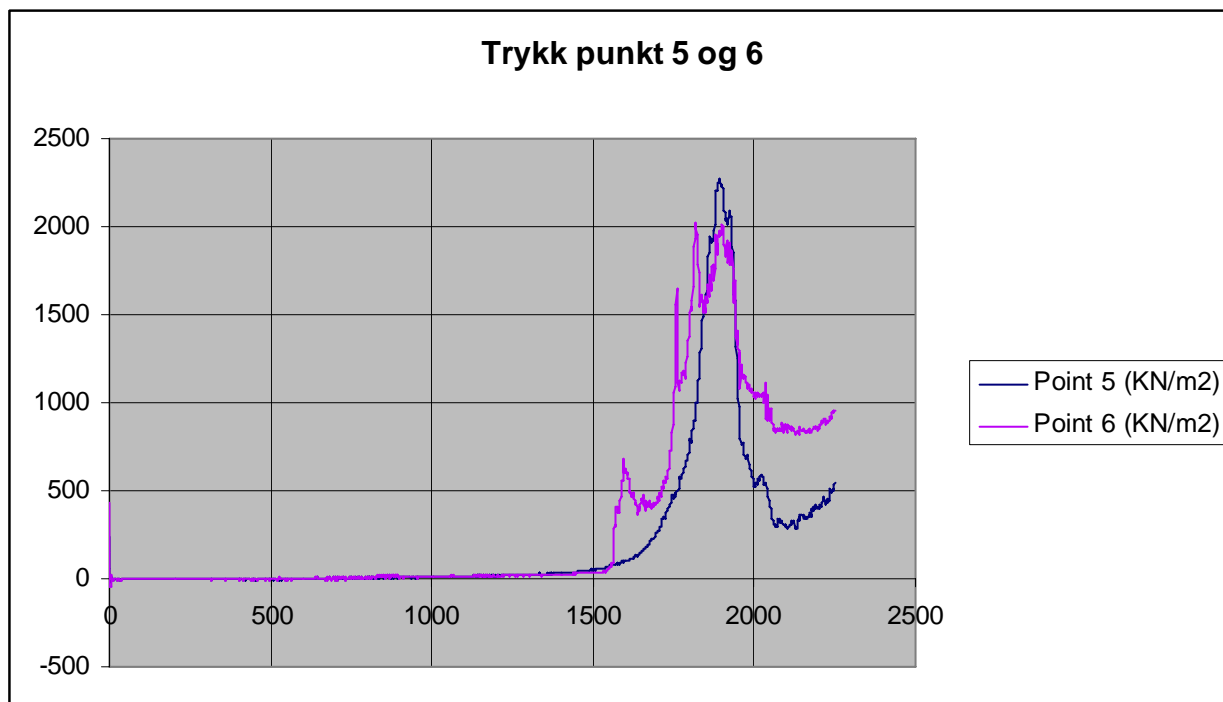


**Figur 6.12** Snitt gjennom modellen sett mot babord skrog. Viser bølgeflaten før den treffer våtdekket.

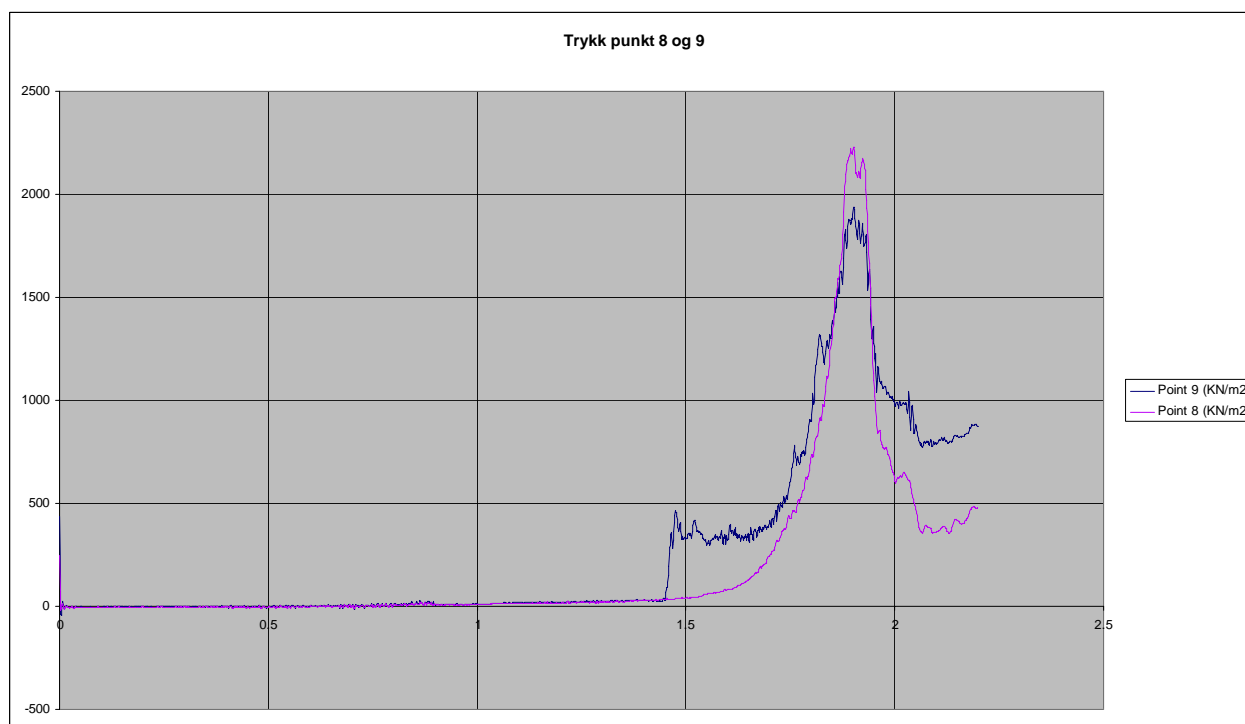


**Figur 6.13** Snitt gjennom modellen sett mot babord skrog idet bølgeflaten treffer våtdekket.

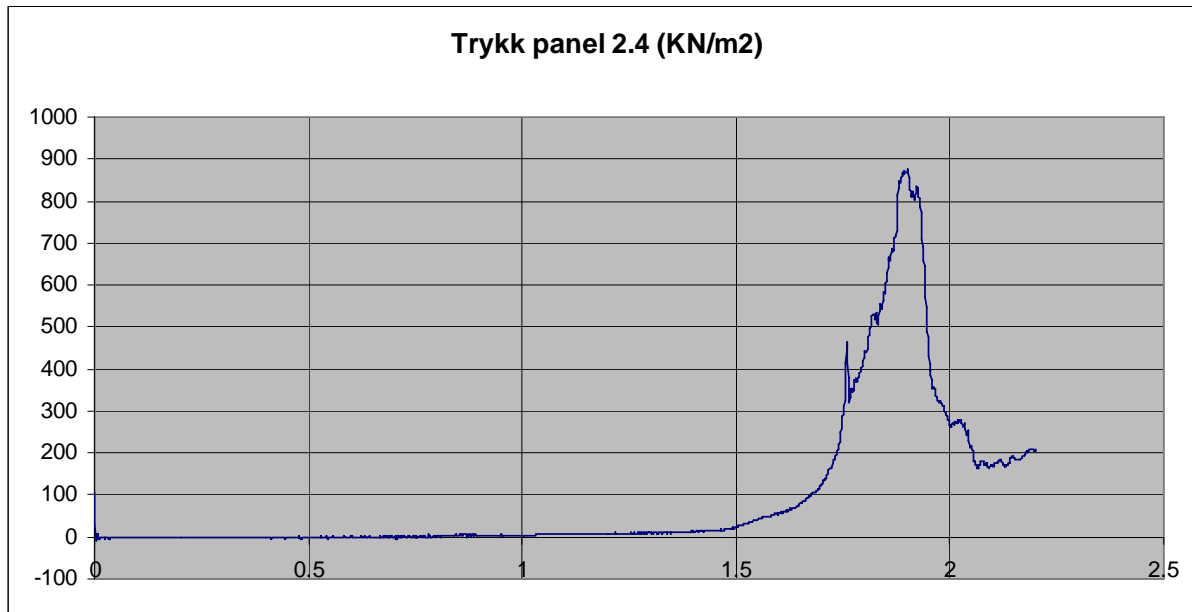




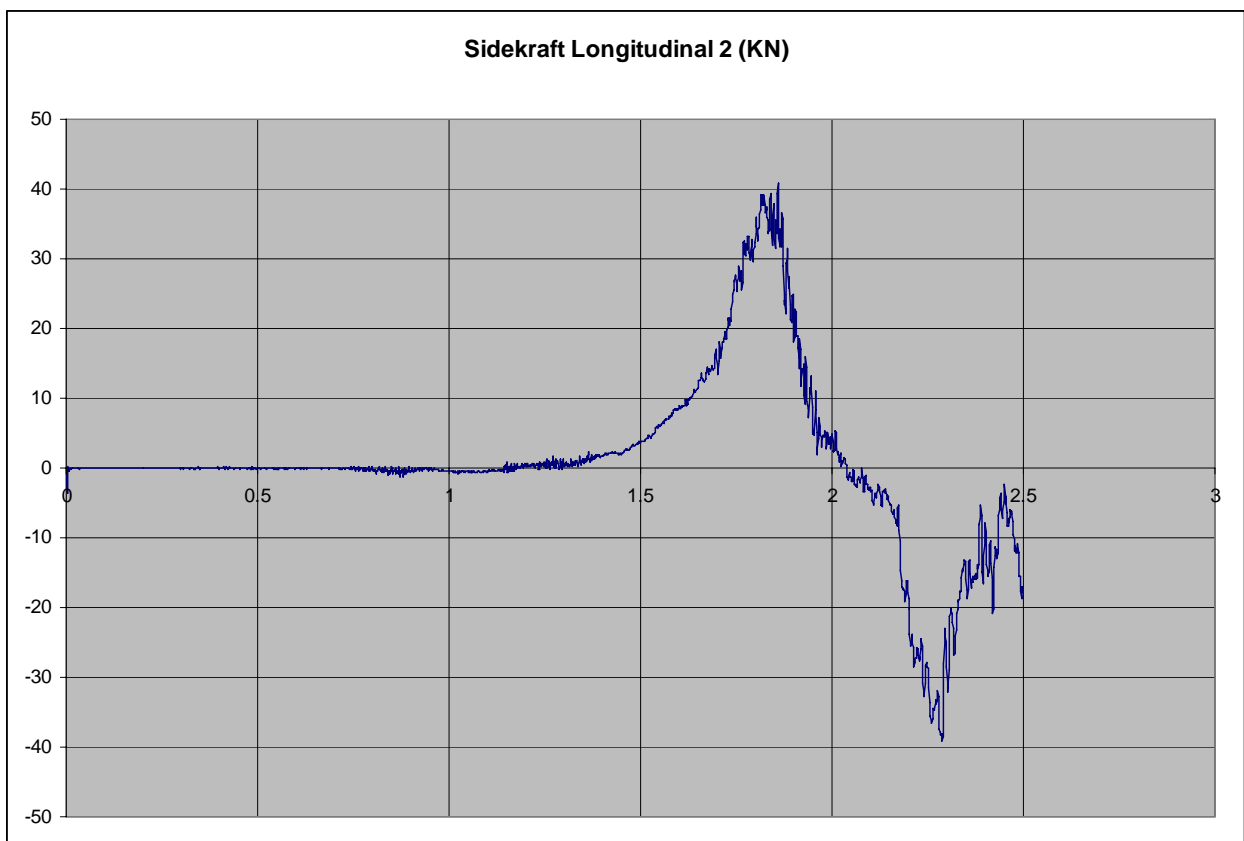
Figur 6.14 Lokalt trykk i punktene 5 og 6. Horisontal skala er tidsskalaen, (millisekund)



Figur 6.15 Lokalt trykk i punktene 8 og 9. Horisontal skala er tidsskalaen (sekund)



Figur 6.16 Gjennomsnittlig trykk fordelt på flate 2.4



Figur 6.17 Sidekraft på langsgående bjelke, kalt Str 2 i modellen.



**Figur 6.18 Detalj av langsgående bjelke slått til siden.**

Figur 6.14 viser trykk i punktene 5 og 6. Plasseringen av disse punktene er vist i Figur 6.8. Kurven viser at vannet treffer punkt 6 først, og trykkfronten går så oppover panelet til punkt 5. Som man ser av kurven er trykktoppen meget høy, i størrelsesorden  $2000 \text{ kN/m}^2$ . Det gjøres oppmerksom på at dette er lokale verdier, og er ikke direkte sammenlignbare med gjennomsnittverdier for flaten som brukes ved dimensjonering. Punkt 4 ligger oppe i hjørnet rett over punkt 5 og 6. Plot av vannoverflaten viser at dette punktet ligger i en luftlomme. Tallene fra simuleringen viser derfor at trykket i punkt 4 er samme som for punkt 5.

Tilsvarende trykkforløp vises for trykkpunktene 8 og 9 i Figur 6.15. En ser her samme forløp: trykkfronten treffer punkt 9 først og går så videre oppover panelet til punkt 8. Også her er maksimaltrykket lokalt i størrelsesorden  $2000 \text{ kN/m}^2$ .

Figur 6.16 viser gjennomsnittlig trykk på flate 2.4. Trykket er beregnet ved at simuleringprogrammet regner kraften på flaten. Ved å dividere på arealet får man gjennomsnittlig trykk for hele flaten. Dette trykket er sammenlignbart med trykkdefinisjonen som brukes for dimensjonering av panelene. Kurven viser maksimal verdi på  $850 \text{ kN/m}^2$ . Dette er betraktet som en meget høy verdi i forhold til de normale trykkene som bunn og våtdekk dimensjoneres for.



Figur 6.17 viser kraftfordeling på langsgående bjelke, kalt flate Str 2 i modellen (se figur 6.9).

Kraften virker her normalt på flaten, dvs. på tvers av båten. Positiv kraft virker mot babord, og negativ kraft virker mot styrbord. Bølgeflaten blir mer og mer forstyrret ettersom simuleringen skrider fremover, så verdiene etter tidspunkt 2.5 på tidsskalaen er mer usikre. Maksimalverdiene på første og andre topp på kurven er i størrelsesorden 130 kN. Figur 6.18 viser bilde av den langsgående bjelken etter hendelsen. En kan her se at stiveren er slått mot siden.

## 7 VURDERING AV FAKTA OG DATA

### 7.1 Innledning

Utgangspunktet for denne skadeundersøkelsen har vært å undersøke forskjellige mulig årsaker til det skadebildet fartøyet har fått. I utgangspunktet for undersøkelsen har man fulgt to hovedlinjer:

- Mulige feil, eventuelt svakheter i materialet
- Mulig overbelastning fra ytre faktorer som kollisjon med et flytende objekt eller bølgeslag

Som et ledd i dette ble det tatt ut prøver fra skroget som ble analysert i laboratoriet. Den andre hovedlinjen ble dekket ved å se på mulig belastning fra bølgeslag når fartøyet går i 33 knops hastighet.

Undersøkelse av materialet og test av styrken ga ingen indikasjon på at skaden kunne ha oppstått pga svakheter i materialet.

Beregninger av belastning fra bølgeslag ga en tydelig indikasjon om at dette ville kunne gi svært høye laster og overbelastning av konstruksjonen, så dette sporet ble fulgt videre, med mer detaljerte beregninger.

### 7.2 Oppsummering av lastanalyser

Belastning fra bølgeslag på skråpanelet i forkant av våtdekket er gjort på tre forskjellige måter:

- Beregning ut fra bruddstyrken av støttestrukturen
- Forenklet beregning basert på slammingskoeffisienter fra et elementært tilfelle
- Tredimensjonal simulering av sammenstøt mellom skrog og bølge

Resultatene kan oppsummeres i tabell 7.1.

Metode	Beregnet trykk
Trykk beregnet ut fra bruddstyrke	393 – 737 (kN/m <sup>2</sup> )
Trykk beregnet ved forenklet metode fra faglitteraturen	735 – 1470 (kN/m <sup>2</sup> )
Trykk beregnet ved tredimensjonal simulering	Maksimalverdi i størrelsesorden 850 (kN/m <sup>2</sup> )
Designtrykk brukt ved dimensjonering av fartøyet (Sjøtrykk er brukt som designtrykk)	10 (kN/m <sup>2</sup> )

**Tabell 7.1 Sammenstilling av trykkberegninger av bølgeslag på skråplate i forkant av våtdekk.**

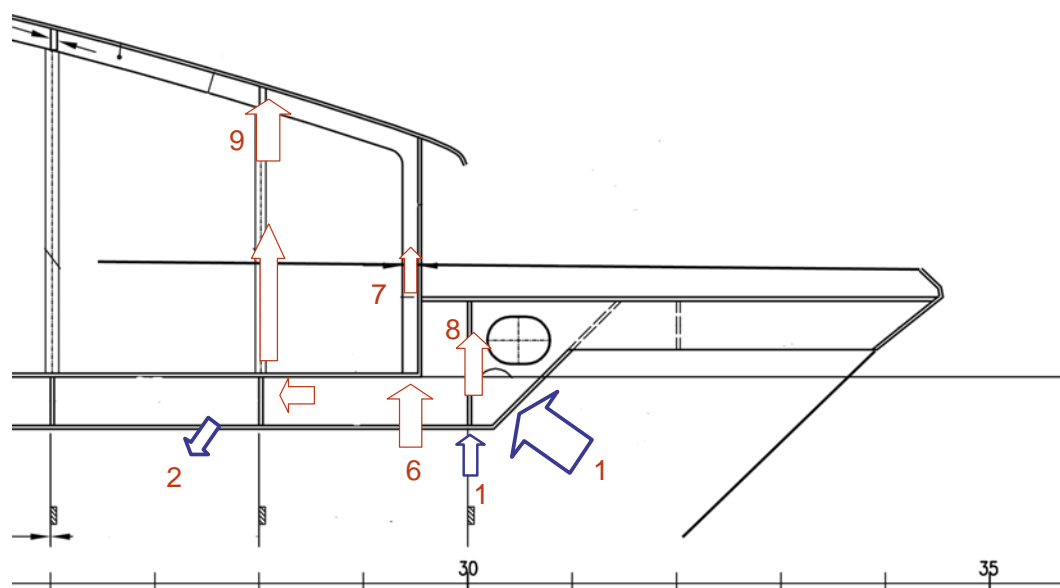
Av tabellen ser man de forskjellige trykkene som er blitt beregnet. Den eksakte verdien er ikke så viktig i denne sammenhengen. Det viktigste er å slå fast størrelsesorden, og her er resultatene konsistente. Alle beregningene indikerer at det vil bli et trykk som er langt høyere enn det skroget er dimensjonert for.

### 7.3 Oppsummering av skader og krefter

Skadene er lokalisert til området mellom ramme nr. 26 og 32, og kan oppsummeres slik:

1. Skråplate i forkant av våtdekket er slått inn på babord side
2. En stor del av ytterpanelet på våtdekket er revet av
3. Babord langsgående skott er forskjøvet innover, med litt knusing av struktur
4. Alle langsgående skott løsnet mellom ramme nr. 28 og 30
5. Sprekk mellom babord rekke og forkant av overbygg
6. Dekket i forkant av passasjerkabinen (ramme nr. 30) er blitt skjøvet opp
7. Sprekker i overflatepaneler på innsiden av frontskott mellom vinduene i passasjerkabin
8. Lokal forskyvning mellom innvendige rammer og skrogsiden
9. Taket i passasjerkabin trykket opp av søyle

Ut fra skadene beskrevet ovenfor, kan man danne et kart over hvilken vei kreftene har hatt gjennom konstruksjonen. Dette er vist i Figur 7.1 nedenfor. Tallene i figuren henviser til skadene listet ovenfor.



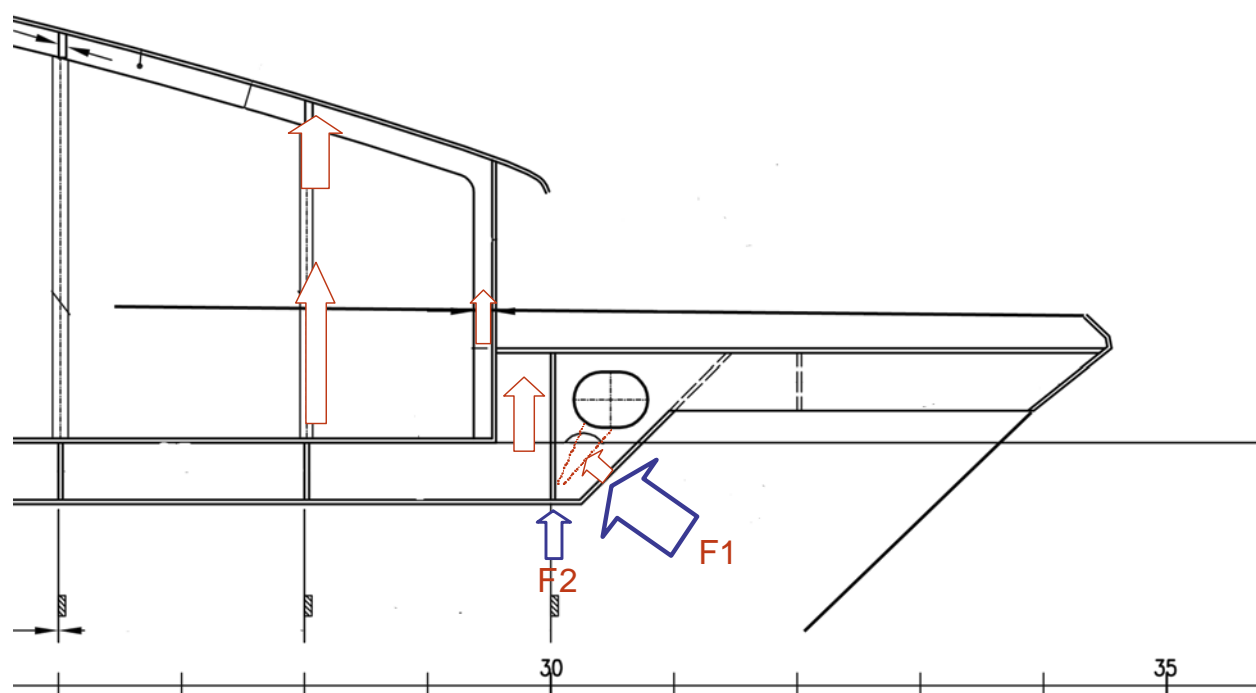
**Figur 7.1 Skade og belastning. Blå piler er vanntrykk. Røde piler er kraftgang i konstruksjonen. Tallene refererer til skadepunktene ovenfor.**

## 7.4 Antatt skadeforløp

Ut fra skadebildet som er dokumentert ovenfor kan man danne seg et bilde av hendelsesforløpet. Dette er beskrevet nedenfor.

### Trinn 1

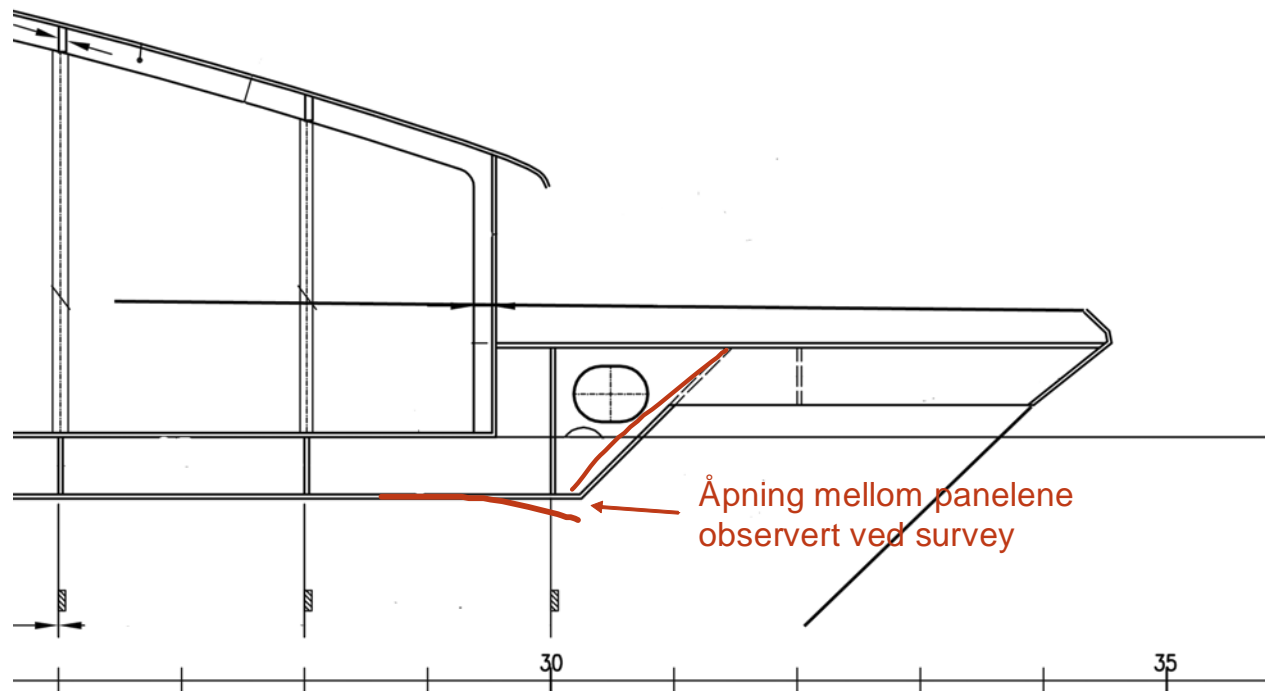
Basert på den observerte skaden ser vi at skråpanelet 1 er trykket innover, hvilket betyr at den ytre kraft har virket som indikert med pil F1 og F2. Plot fra simuleringen viser at F1 er hovedkraften, men at det også er en kraftkomponent F2 på undersiden som virker oppover. Figur 7.2 viser hvordan bakenforliggende støttestruktur er blitt trykket inn, samtidig som gulv og frontskott i passasjerkabin er trykket oppover. De vertikale kreftene har bredd seg videre bakover i konstruksjonen. Den langsgående bjelke er blitt forskjøvet oppover og dette vil forplante seg til ramme nr. 28 og trykke søylen på hoveddekket oppover. Dette har igjen medført at taket i fremre delen av passasjerkabinen er trykket oppover.



**Figur 7.2**      **Utbredelse av krefter ved selve bølgeslaget**

**Trinn 2**

Når skråpanelet trykkes inn, vil overgangen mellom skråpanel og underside av våtdekket deformeres og kunne gi en åpning som indikert i Figur 7.3. Undersøkelsen av fartøyet viste at sammenføyningen mellom nedre kant av skråpanelet og bunnpanelet har åpnet seg.

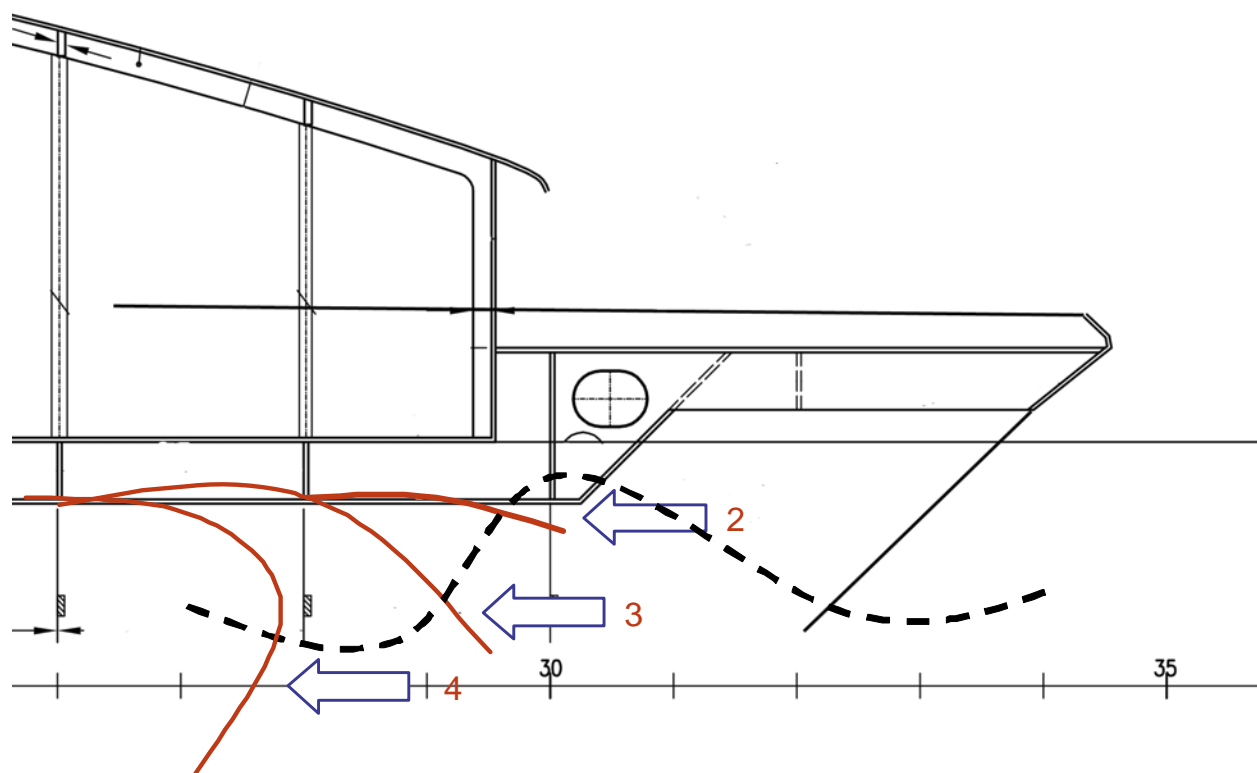


**Figur 7.3** Mulig skadeforløp mellom skråpanel og våtdekkspanel

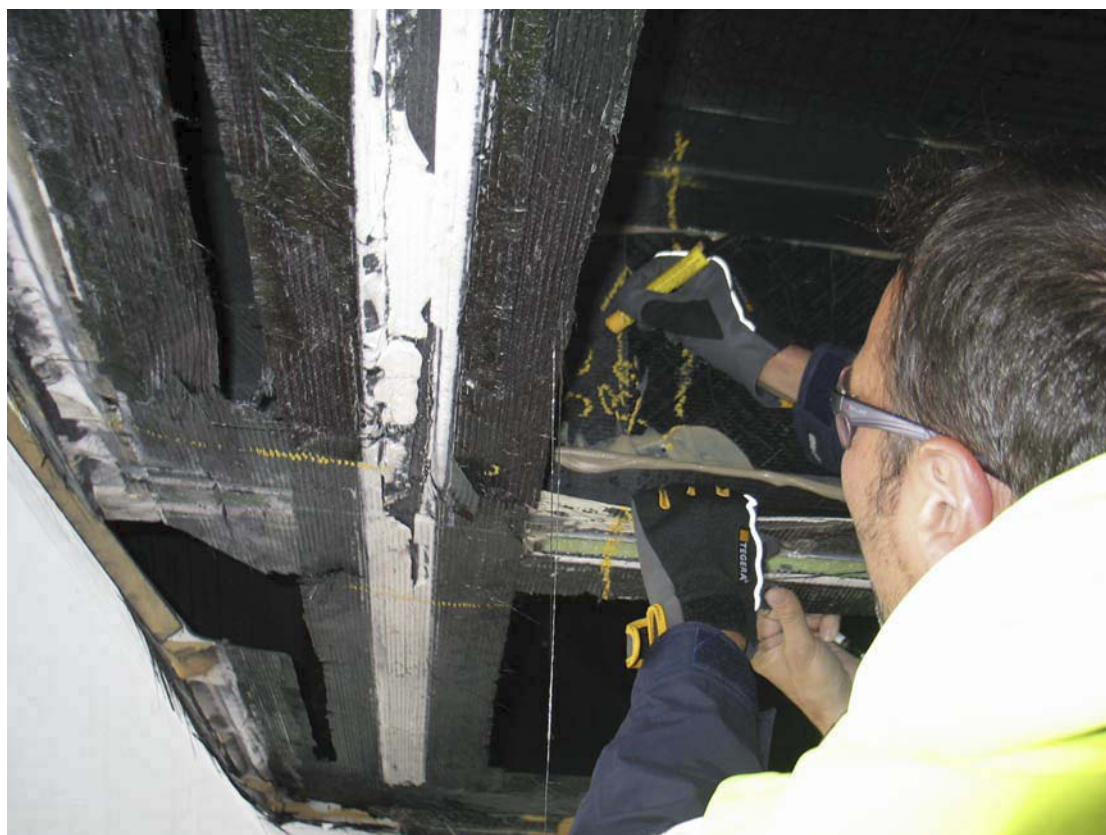


### Trinn 3

Dersom sjøen treffer denne åpningen vil det gi et trykk på baksiden av panelet, og panelet vil bli revet løs fra bjelkene, såkalt peeling-effekt, se Figur 7.4. Dette bekreftes av undersøkelsen av bruddflatene på undersiden av våtdekket. Bruddflaten indikerer at panelene er blitt revet av, se Figur 7.5. Det er ikke utført beregninger spesielt på dette, men faktorene hastighet, trykk og areal tilsier at innfestingen av våtdekkspanelene ikke har noen mulighet til å motstå denne avrivningseffekten dersom den først starter. Innfestingen er heller ikke ment å skulle motstå dette da det ikke er en del av designkondisjonene for fartøyet. Ut fra dette kan det konkluderes at avrivningen av bunnpanelene på våtdekket er en følgeeffekt og et resultat av hendelsesforløpet før dette.



**Figur 7.4** Underside av våtdekket rives løs fra bjelkene



**Figur 7.5 Bruddflate fra undersiden av våtdekket.**

Det er også observert delamineringer og brudd mot babord hovedskrog. Det er vanskelig å si om disse delamineringene har oppstått ved selve hovedsammenstøtet, eller umiddelbart etter hendelsen.

Hovedkonklusjonen her er at skråpanel med støttestruktur ved ramme nr. 30 ikke har mulighet til å motstå et bølgeslag når båten går i 33 knop, og at avrivningen av et stort areal av våtdekket er en følgeskade.

## 7.5 Drøfting av resultatet

### Materialkvalitet

Slik som skaden har oppstått anser vi at materialegenskapene ikke har hatt en stor innvirkning på skadeforløpet. Dette innbefatter både bruk av karbonfiber som konstruksjonsmateriale, og styrkeverdiene av laminater som er målt i laboratoriet. Noen av sammenføyningene mellom bjelker og paneler under våtdekket er av mindre god kvalitet. Dette har imidlertid ikke hatt noen innvirkning på primærhendelsen, men kan ha bidratt til at det avrevne området under våtdekket er blitt så stort som det er.

## Beregningsmetode ved design

Forhold vedrørende bølgeslag på panel 31.

For utregning av bølgeslag på våtdekket iht. DNV reglene brukes en referansehøyde  $H_L$  (som er høyde over vannlinje). Over denne høyden regnes ikke bølgeslag. For dette fartøyet er referansehøyden  $H_L$  1.92 m over vannlinjen. Undersiden av våtdekket på dette fartøyet er 1.38 m over vannlinjen.

Årsaken til at designer ikke har regnet bølgeslag på skråplate kan være at middepunktet for det skrå panelet i følge konstruktøren er 1.975m over vannflaten. Dersom man benytter denne høyden i formel for våtdekkslamming vil formelen ikke gi noe slammingstrykk, da denne høyden er over referansehøyden  $H_L$  på 1.92m. Sjøtrykket vil da være den dimensjonerende lasten. Dette er imidlertid feil anvendelse av regelformel for våtdekkslamming.

En mer korrekt anvendelse av DNV reglene vil være å alltid beregne slammingstrykk på flater, eller deler av flater som er under kritisk høyde  $H_L$ . I dette tilfelle burde man dimensjonere hele det skråpanelet for bølgeslag da deler av dette ligger under referansehøyden  $H_L$ . I DNV reglene er ikke dette nevnt eksplisitt.

Her skal det sies at DNV reglene ikke har noen formel som direkte gir størrelsen på dette trykket for denne geometrien. Dersom man skal regne ut dette må man enten gå til faglitteraturen, eller bruke mer avanserte computersimuleringer.

## Bølgeforhold

Det ligger utenfor mandatet til DNV å konkludere noe rundt bølgeforholdene på det aktuelle tidspunkt for skaden. Det man kan si her er at dersom fartøyet opererer i 33 knop i en bølgetilstand hvor det er tilstrekkelig sannsynlighet for at en bølge kan nå opp til våtdekket, vil det videre forløp mht skade kunne være som beskrevet ovenfor.

## Fart-bølgehøyde begrensning

Alle hurtigbåter som blir designet etter DNV regler vil få en fart-bølgehøyde begrensning som sier når man må redusere farten.

For MS Sollifjell er fart-bølgehøyden som oppgitt i Operasjonstillatelsen sjekket og funnet riktig.

Definisjonen av denne begrensningen krever en kommentar.

Fartøyets fart-bølgebegrensning blir utregnet basert på slamming på bunnen av båten. Det regnes ikke ut en egen begrensning for å unngå slamming på våtdekk. Det ligger her indirekte i DNV reglene at når man holder seg innenfor den utregnede kurven og dimensjonerer våtdekket riktig vil også slamming på våtdekk være innefor designparametrene.

Dette blir fulgt for alle katamaraner under DNV reglene, og driftserfaringer viser at denne praksisen fungerer bra.

Det er derimot ikke en entydig sammenheng mellom bunnslamming og våtdekkslamming. Dette kan bety at enkelte skrogformer (for eksempel båter med slanke linjer i endeskipene) har litt annet forhold mellom bunnslamming og våtdekkslamming. I et slikt tilfelle vil den operasjonelle sikkerhetsmarginen mot våtdekkslamming være lavere enn DNV reglene forutsetter.

Dette forholdet er ikke videre undersøkt her, men bør vurderes nærmere.

## 7.6 Andre faktorer

En del andre momenter ligger innenfor vår oppgave å vurdere. Da disse ikke er funnet å være en del av primærårsaken til skaden, vil de bli kortere behandlet nedenfor.

### 7.6.1 Kvalitativ vurdering av materiale og kvalitet av komponenter

#### Generelt

Det er generelt begrensede muligheter for evaluering av karbonfiberlaminat/sandwich-konstruksjon da selve materialet blir skapt under byggeprosessen og det er i tillegg få ikke-destruktive testmetoder som kan benyttes som del av en kvalitetskontroll på sluttproduktet. Verifisering av kvalitet på sluttproduktet baserer seg derfor i stor grad på dokumentasjon på materialbruk, loggføring av produksjonsforhold og testing av representative laminatprøver tilvirket som del av, eller parallelt med, skrogproduksjonen for de ulike laminatoppbygginger.

Tuco Composites har fremlagt prosedyrer for lamineringsprosessen som omhandler punktene over, ref. rapport *Composite lamination process 35m Carbon Cat*. Det har imidlertid ikke blitt fremlagt kvalitetsdokumentasjon som tilsier at disse prosedyrene er fulgt. Hvilke materialer som faktisk er blitt benyttet, og hvilke produksjonsforhold som var gjeldene under produksjonen er derfor ikke dokumentert.

I LMG rapport *CarbonCat 35-Båtservice bygg nr. 84. Skrog materialprøver og materialeegenskaper* er det henvist til tester utført både av Devold AMT AS og Reichhold AS som basis for material-input til styrkeanalysene. Disse testene omhandler strekktester utført på ensrettet fiberlaminat i fiberretningen og ikke oppbygde fiberlaminat som vil være gjeldende for skrogelementene. De to testene er også utført med forskjellige typer karbonfiber og matrise som igjen ikke er dokumentert å være representativt for det aktuelle skroget.

#### Vurdering av materialet ut fra laboratorieundersøkelse

Resultatene fra laboratorieundersøkelsene er gjengitt i kapittel 5. Her er gitt et sammendrag av observasjonene.

Sandwich panel: Laminatene i sandwichpanelene som er undersøkt viser noen porer, mens fibre virker å være godt fuktet. Det er ikke avdekket dårlig binding mellom fiberlagene. Oppbygging av laminatene ser ut til å være som spesifisert.

Sandwich kjerne: Sandwichkjernematerialet som er benyttet ser ut til å være som spesifisert på tegning. Heft mellom kjerneskimmet og laminatene ser ut til å være god.

Lamineringsforbindelser: Sekundærlaminering for sammenføyninger som er undersøkt har ujevn kvalitet. Karbonfibre ser ut til å være godt fuktet noen steder, men det er avdekket mange steder med tørre fiber, dvs. uten tilstrekkelig fukting. Det er mye hulrom/porer mellom fiberbuntene og hulrom med stedvis dårlig binding mellom armeringslagene.

## 7.6.2 Sammenføyning av komponentene iht. prosedyre

### Laminerte forbindelser

Sammenføyning av skrogpanel er gjort både ved bruk av håndlaminering og limte forbindelser. Ut fra materialtestingen beskrevet under kapittel 5 er disse sammenføyningene av varierende kvalitet med områder med dårlig fukting av fiber og heft mellom armeringslagene.

Tuco Composites sine prosedyrer beskriver fremgangsmåte ved sekundærlaminering. Utstrekning av sekundærlamineringen virker ved visuell inspeksjon å være som spesifisert på tegninger. Det var imidlertid vanskelig å avdekke om preparering av underlag for lamineringen (peel play/rubbing) var tilstrekkelig utført.

Det er ikke fremlagt dokumentasjon på hvilket karbonfiberprodukt og matrisemateriale som er benyttet i byggingen av fartøyet.

### Limte forbindelser

Langsgående bjelker i våtdekket, 2m fra senterlinjen, er bygget opp ved at steget er limt inn til slutt. Den limte forbindelsen er benyttet i innelukkede områder som ikke har vært tilgjengelig for inspeksjon etter limingsprosessen.

Denne forbindelsen er mindre viktig enn de tversgående rammene, så det er riktig av konstruktøren å prioritere kontinuitet i tversgående rammer og dermed gjøre langskipsbjelkene diskontinuerlige. En korrekt limforbindelse her vil normalt gi tilstrekkelig styrke.

Under visuell inspeksjon ble det konstatert at limforbindelsene har reduserte kontaktflater. Dette kommer trolig av at vinkelprofilen som panelene limes mot er for svak og på enkelte steder har blitt bøyd ut. Det er heller ikke benyttet avstandsklosser for å sikre at det oppnås en gitt minimumstykkelse på limfugen.

## 7.6.3 Byggestandard

### Konstruksjonsstandard (designstandard)

Konstruksjon av hurtiggående fartøy i sandwichkonstruksjon med karbonfiber følger de samme dimensjoneringsprinsippene og formler som for en sandwichkonstruksjon med glassfiber og aramid. Hovedforskjellen, i sammenligning med de andre materialene, er den høye stivhet og styrke som karbonfiber innehar. Dette er inkludert i alle beregninger hvor materialets styrke og stivhet er en del av styrkeparametrene i formlene. En karbonfiberkonstruksjon har de samme sikkerhetsfaktorer som for en glassfiber- og aramidkonstruksjon. Dvs. forholdet mellom bruddstyrke og tillatt styrke er det samme for glass-, aramid- og karbonfiber.

### Byggestandard

Bygging av hurtiggående fartøy i sandwichkonstruksjon med karbonfiber har vært gjennomført i en årrekke både for militære og sivile formål, og er å regne som et anerkjent og utprøvd konstruksjonskonsept.

Generelt kan man si at bygging med karbonfiber krever mer av byggeverftet enn ved bruk av glassfiber. Dette skyldes at materialet er stivere og dermed mindre ettergivende, samt at det er



vanskeligere å oppdage feil i materialet. Man kan ikke se ned i materialet slik man til en viss grad kan ved bruk av glassfiber. Det betyr at man i større grad må gjøre selve kvalitetssikringen under selve byggeprosessen. Etterpå kan det være vanskelig å oppdage feil uten å skjære opp materialet og undersøke det i laboratoriet.

## 7.6.4 HSC 2000 koden som standard for konstruksjonen

### HSC som konstruksjonsstandard

HSC koden /3/ er ikke spesifikk når det gjelder skrogets konstruksjon med hensyn på styrke. HSC koden stiller overordnede krav og forutsetter at de preskriptive kravene er spesifisert i et regelverk som for eksempel klasseregler. Dette er på linje med de fleste andre fartøy i verden konstruert etter SOLAS koden /4/. Prinsippet som den internasjonale sjøfartsorganisasjonen IMO bruker for å sikre at kravene blir oppfylt er å stille krav til de nasjonale myndigheter (Flaggstater) og classeselskapene som skal forvalte regelverket.

HSC koden bygger på en del hovedprinsipper som skiller seg litt fra SOLAS koden. De viktigste av disse er i denne sammenheng:

- Fartøy som opererer under HSC koden opererer i fast rute innen en infrastruktur som dekker sikkerhetstjenester fra land.
- HSC koden forutsetter at man kan redusere risiko ved aktivt å kontrollere/ redusere operasjonen av fartøyet. Dette kan for eksempel gjelde restriksjoner i sjøtilstand, avstand fra land etc.

Dette betyr i praksis at man kun trenger å dimensjonere fartøyet for forhold (operasjonskondisjoner) som fartøyet er forutsatt å operere innenfor. Dette gir konstruktøren mulighet til å spare vekt, men det betyr også at fartøyet får en begrensning på hvilke forhold det kan operere under. I praksis må fartøyet ligge ved land dersom forholdene er utenom de godkjente operasjonsbegrensningene.

Det betyr videre at alle fartøy godkjent under HSC koden ikke nødvendigvis er konstruert for de samme bølgeførhold etc. For å vurdere dette må man se på operasjonstillatelse eller classesertifikat hva fartøyet er godkjent for. For å kunne vurdere om et fartøy er egnet for å operere i et bestemt område, må man vurdere de lokale vær-, bølgeførhold etc. opp mot båtens godkjente operasjonsbegrensninger.

Dette er en grunnleggende forskjell fra vanlige havgående fartøy i internasjonal fart (godkjent etter SOLAS koden). I dette tilfelle må man dimensjonere fartøyet mot alle mulige forhold som det kan oppleve under en operasjon World-wide.

Som en konklusjon på dette kan man si at et fartøy som er bygget og opererer under HSC koden, og som holder seg innenfor de oppgitte operasjonsbegrensningene, har like god sikkerhet som andre fartøy.

Siden HSC koden trådte i kraft i 1997 har akkumulert driftserfaring fra tusenvis av HSC-kodebåter vist at dette er tilfelle.



---

Det gjøres oppmerksom på at DNV ikke har vurdert hvor godt fartøyet, med sine operasjonsbegrensninger, er egnet for operasjon i området hvor det var tenkt å gå i rute.

### **HSC koden og slamming**

Ut fra samme grunner som ovenfor, så sier ikke HSC koden noe spesifikt om slamming. Det generelle kravet vil da være at dersom båten kan bli utsatt for slamming innenfor de tillatte operasjonsbegrensninger, så skal skroget være dimensjonert for dette.

I dette tilfellet er DNV reglene brukt som teknisk standard, og følgelig må konstruksjonen oppfylle de krav som reglene stiller mht. slamming.

Det har ikke ligget innenfor vår oppgave å vurdere om hele båten oppfyller DNV reglene. Vi har fokusert arbeidet om deler relatert til den aktuelle skaden. En har her sjekket våtdekket mot kravene til slamming, og finner at denne delen oppfyller kravene i DNV reglene både med hensyn til last og styrke, med unntak av skråpanel med støttestruktur ved ramme nr. 30, hvor slamminglast ikke er tatt med i dimensjoneringen. Hvilket vil si at indirekte er HSC koden ikke oppfylt på dette punkt.



## 8 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Det Norske Veritas har gjort en undersøkelse av årsakene til skade på MS Sollifjell. Arbeidet er fokusert på selve skaden og forholdene rundt denne. Det er også gjort noen vurderinger av materiale, fabrikkasjonsmetode og fabrikkasjon. I den grad dette ikke har hatt innvirkning på årsaksforløpet har disse punktene blitt vektlagt mindre. Rapporten gir ikke en utdypende vurdering av hele fartøyet.

De observerte skadene og beregninger som er gjort, indikerer at fartøyet har vært utsatt for bølgeslag på et 45° vinklet panel under våtdekket ved ramme nr. 30 – 32. Skadene videre inn og opp i fartøyet understøtter denne antagelsen. Det er ikke funnet tegn til kontakt med objekter flytende i sjøen.

Selve bunnpanelene under våtdekket er antatt å ha blitt flekket av ved at sjøen har fått tak i disse, og revet dem løs fra bjelkene. Dette er en følgeskade av bølgeslaget nevnt ovenfor.

Materialer og byggekvalitet er ikke funnet å ha hatt en direkte innvikning på årsaken til skadene. Varierende kvalitet av sammenføyninger i våtdekket kan derimot ha bidratt til at skadeomfanget ble større.

Årsaken til skaden er funnet å være at skråpanel på våtdekk ved ramme nr. 30 – 32 ikke er dimensjonert mot slamminglaster. Denne konstruksjonen vil derfor dra på seg store krefter, og det vil være mest hensiktsmessig å endre denne konstruksjonsløsningen for dermed å redusere slammingbelastningen. Generelt kan det sies at slanke skroglinjer i endeskipene kombinert med lav våtdekk-høyde, vil kunne øke sannsynligheten for våtdekkslamming.





## 9 REFERANSER

- /1/ Det Norske Veritas: Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft
- /2/ Odd M. Faltinsen: Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles. Cambridge Univeristy Press
- /3/ International Maritime Organization: International Code of Safety for High-Speed Craft, 2000
- /4/ International Maritime Organization: International Convention for Safety Of Life At Sea



## VEDLEGG

---

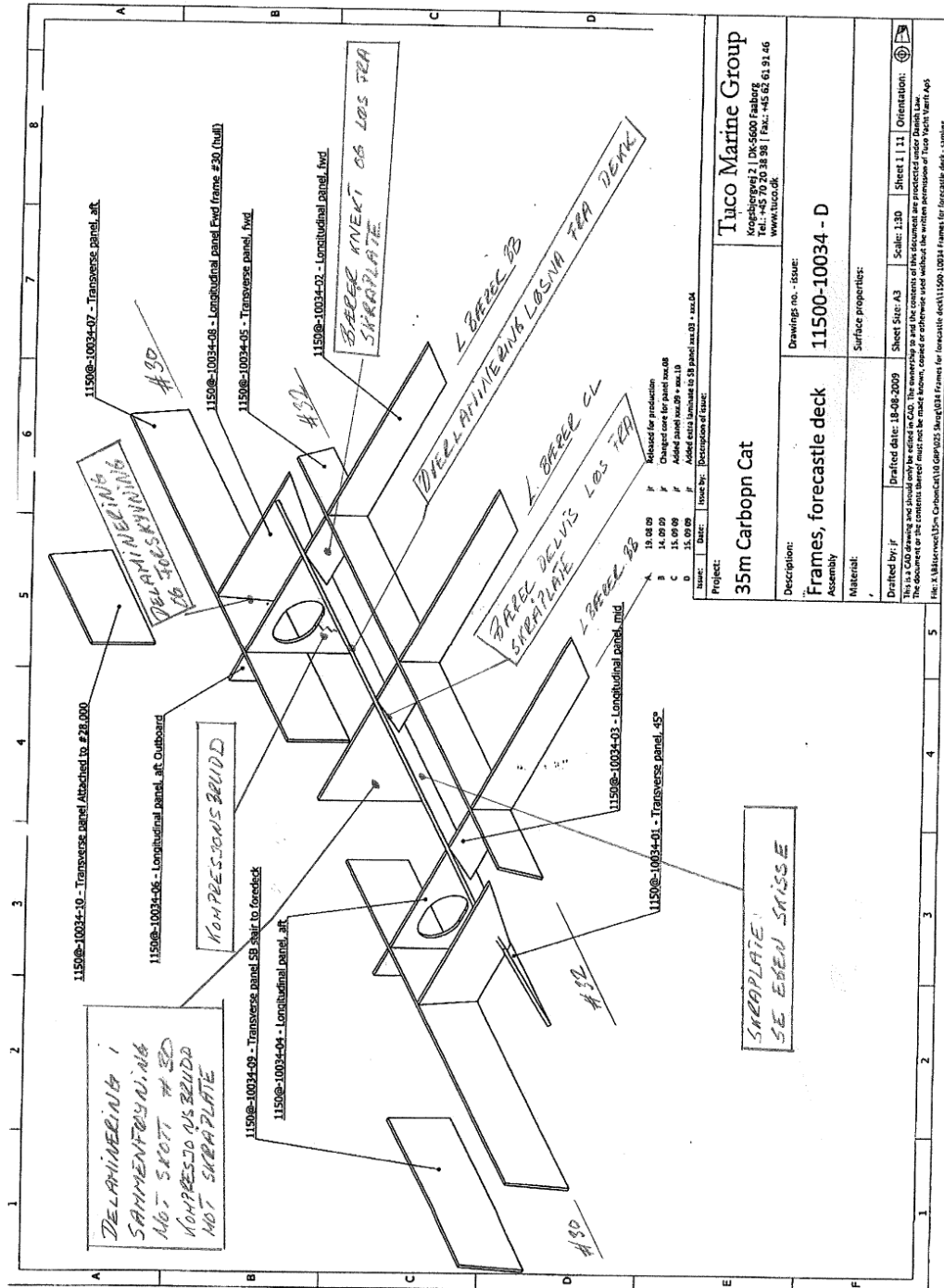
### 1

## UNDERSØKELSE AV MS SOLLIFJELL

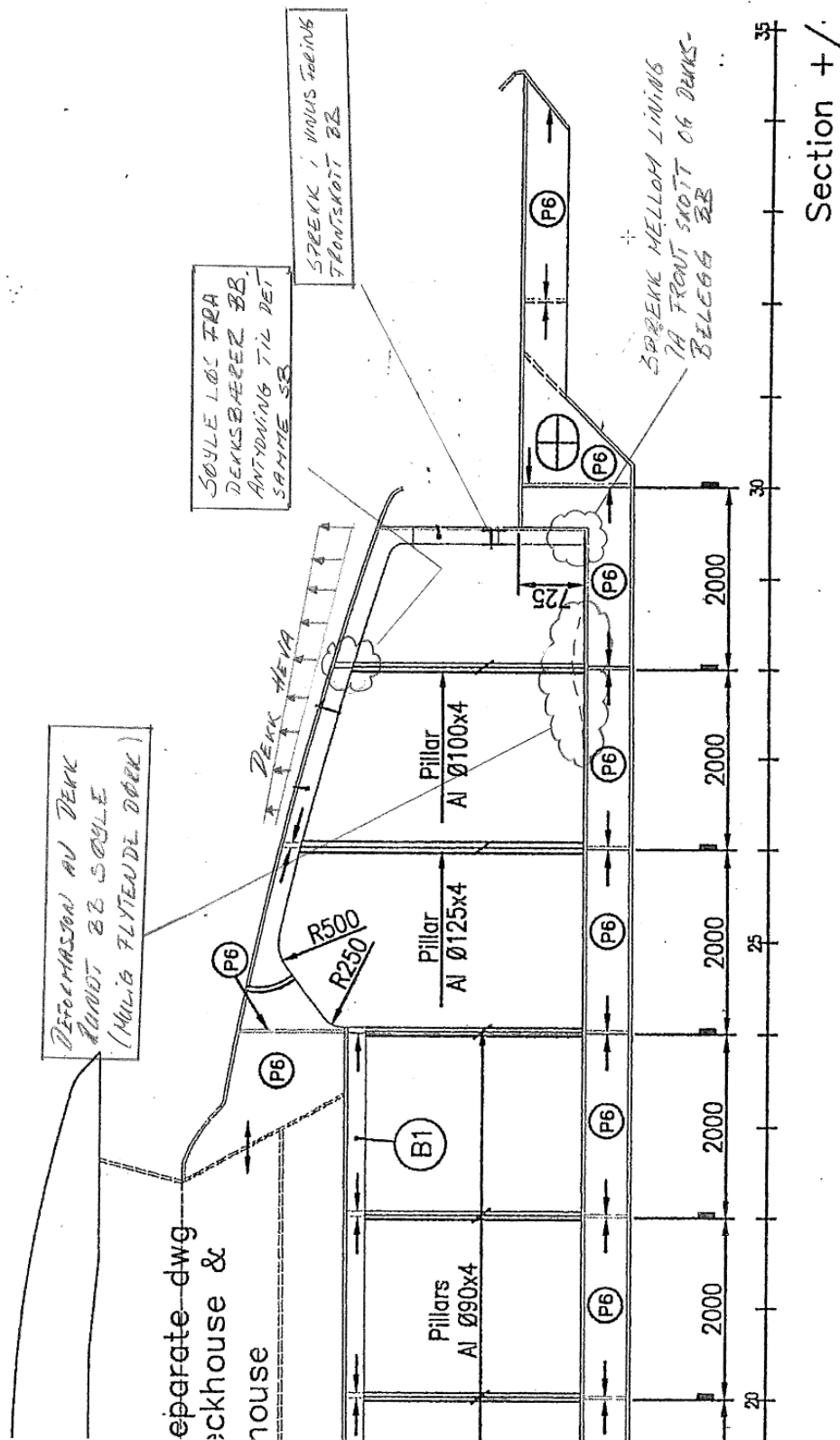
## Undersøkelse av MS Sollifjell

MS Sollifjell ble undersøkt 18. juni av representanter fra både havarikommisjonen og DNV.

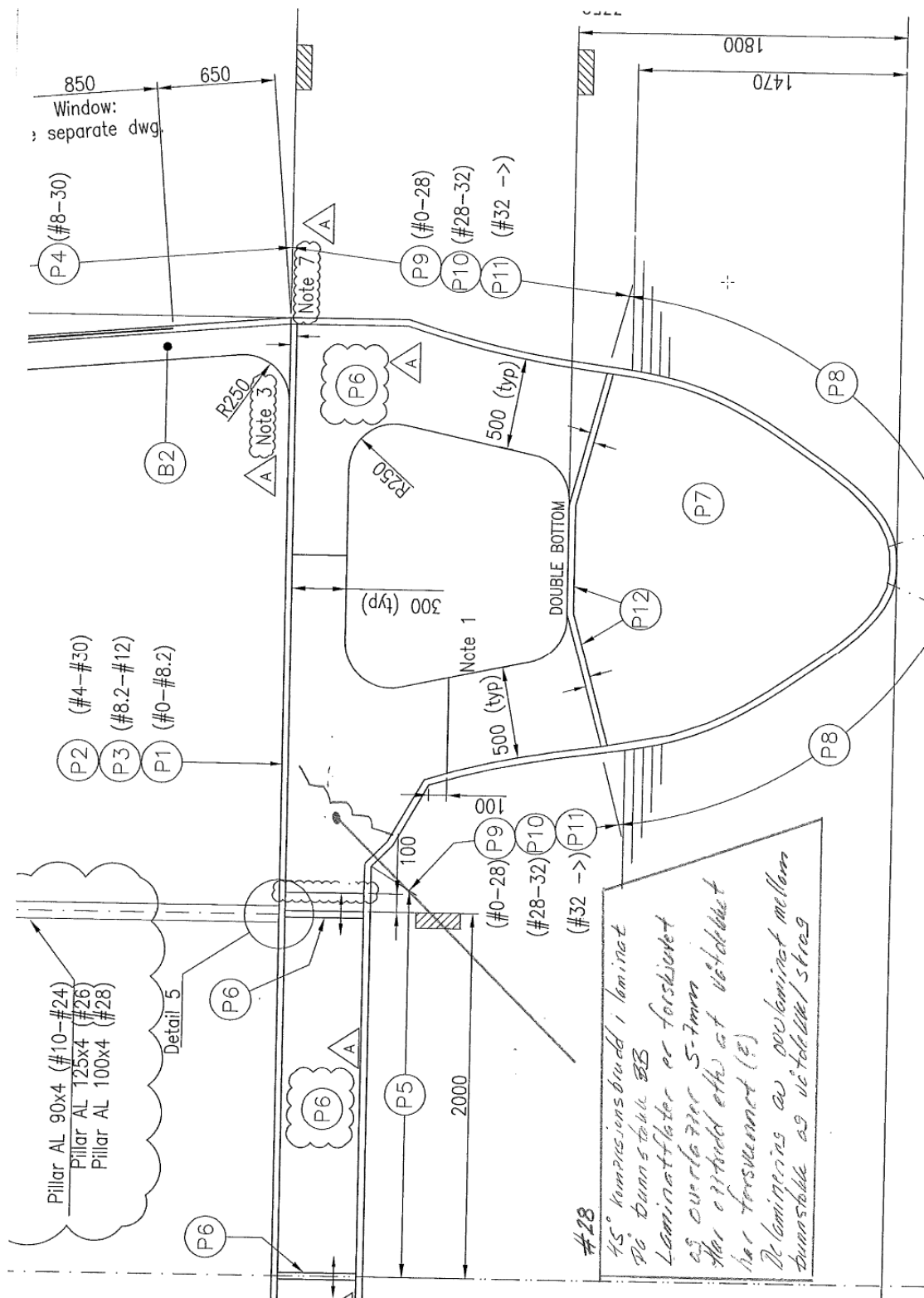
### Skade - bakkdekk



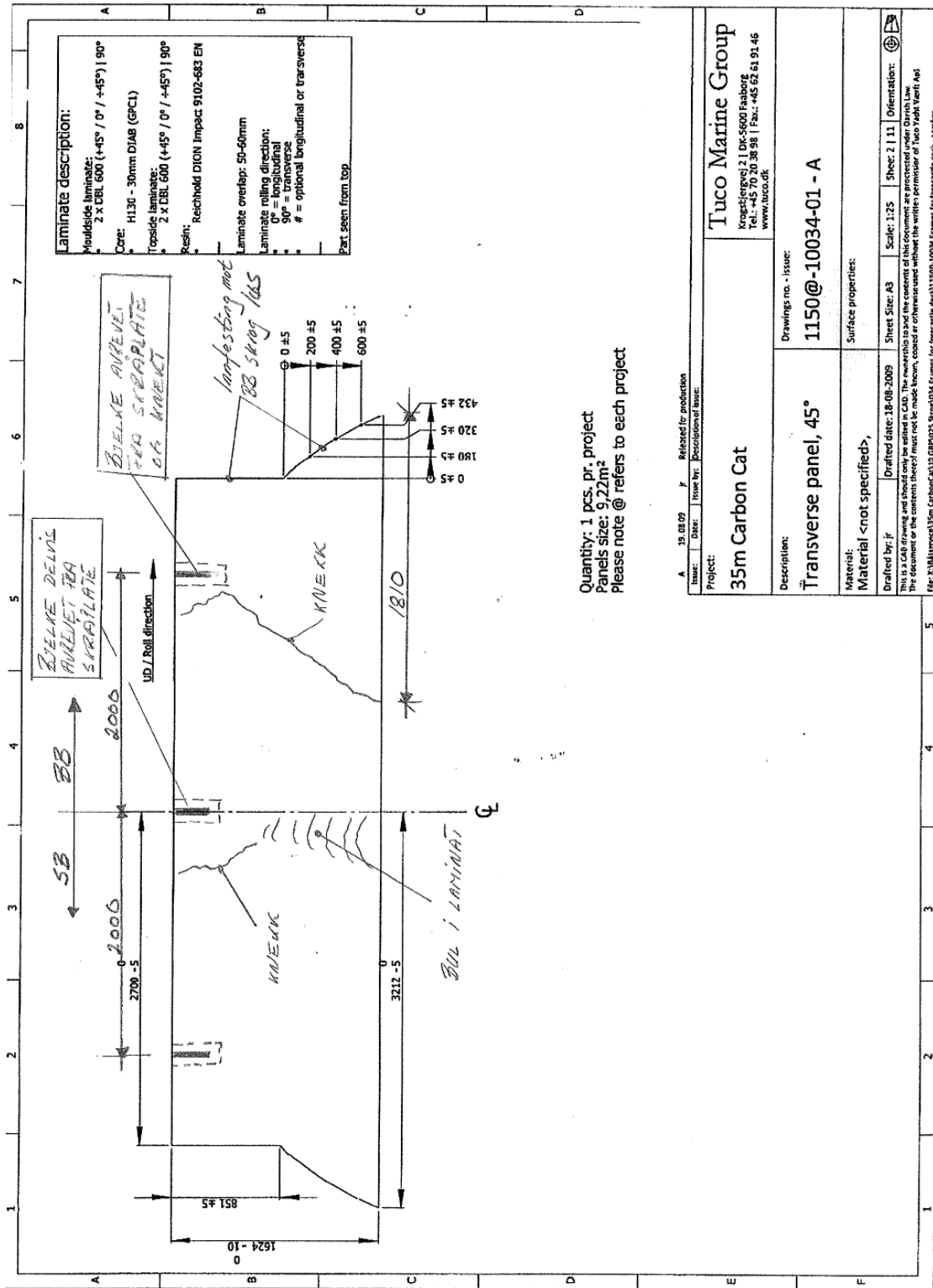
Skade - innredning



Skade - ramme

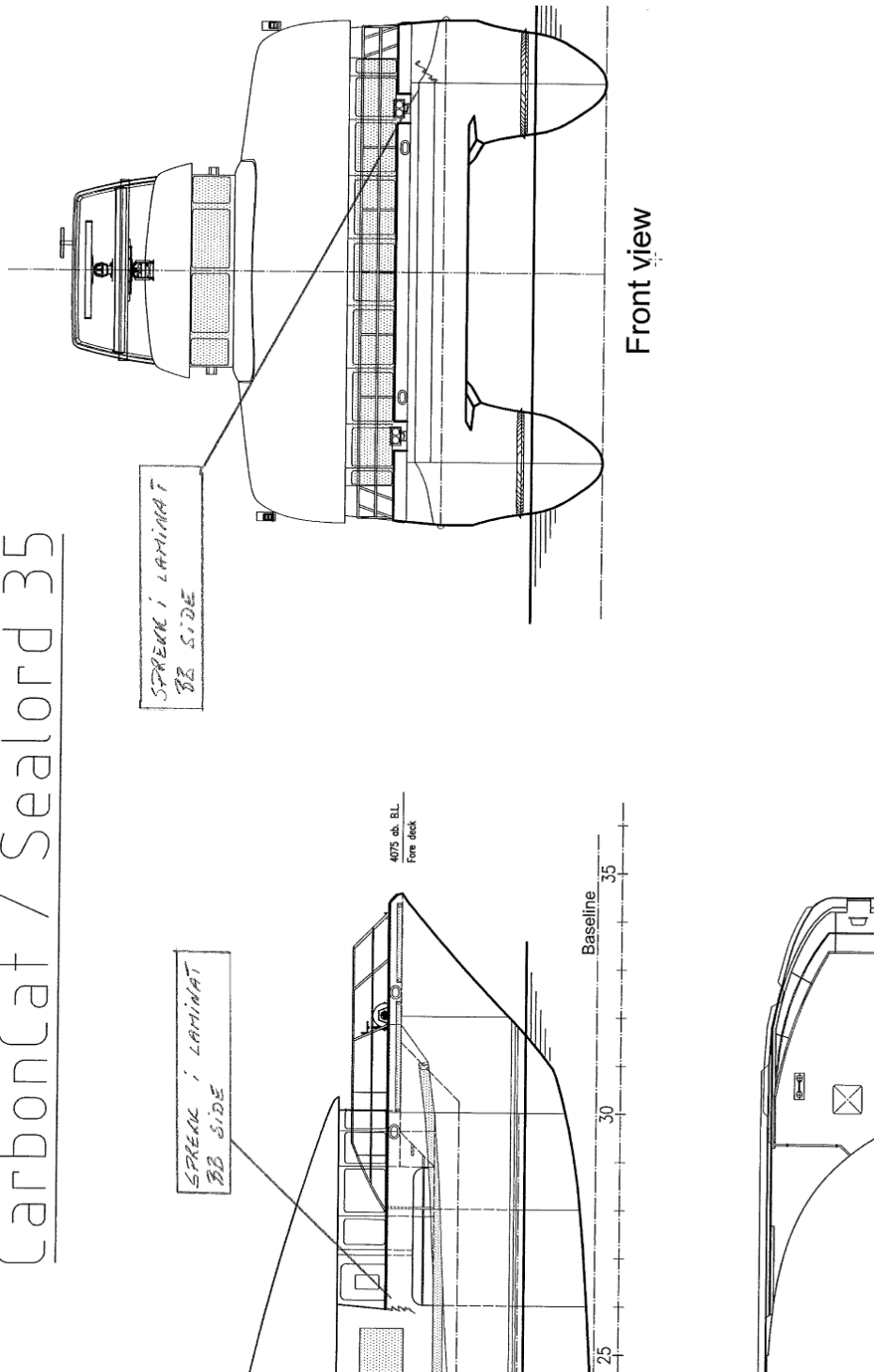


Skade - skråplate

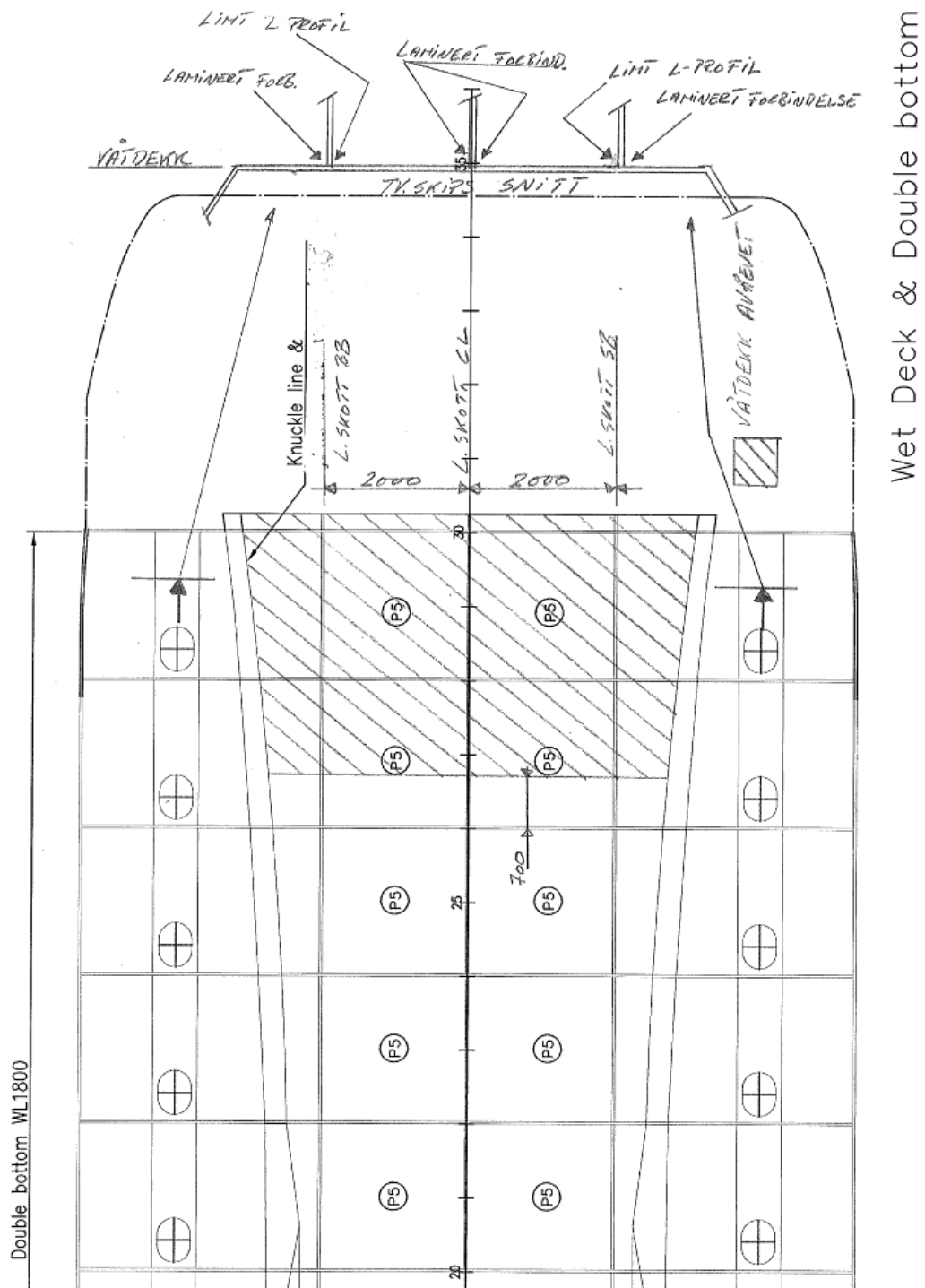


Skade - utvendig

CarbonCat / Sealord 35

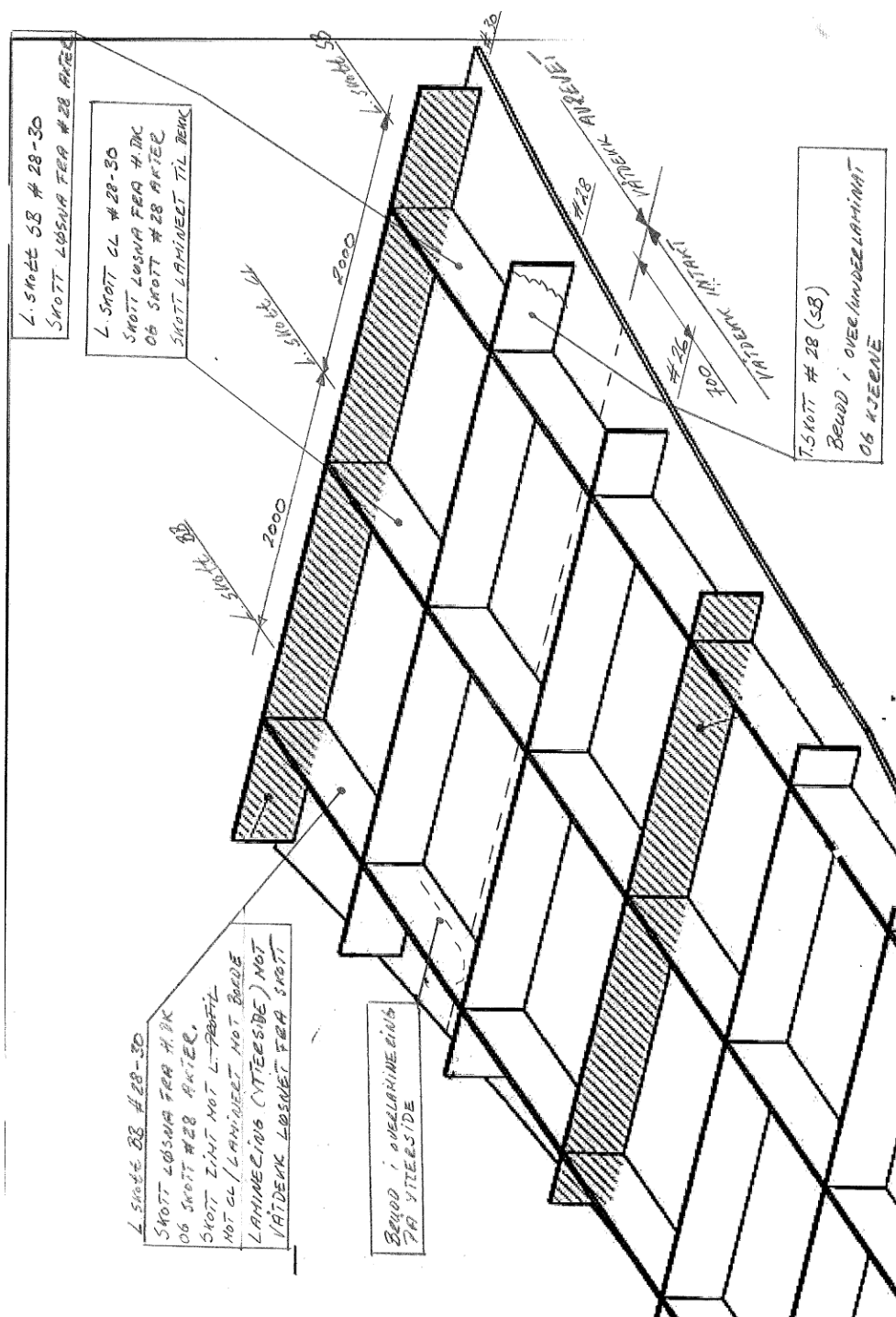


Skade - våtdekk





Skade - våtekkstruktur





## VEDLEGG

---

### 2

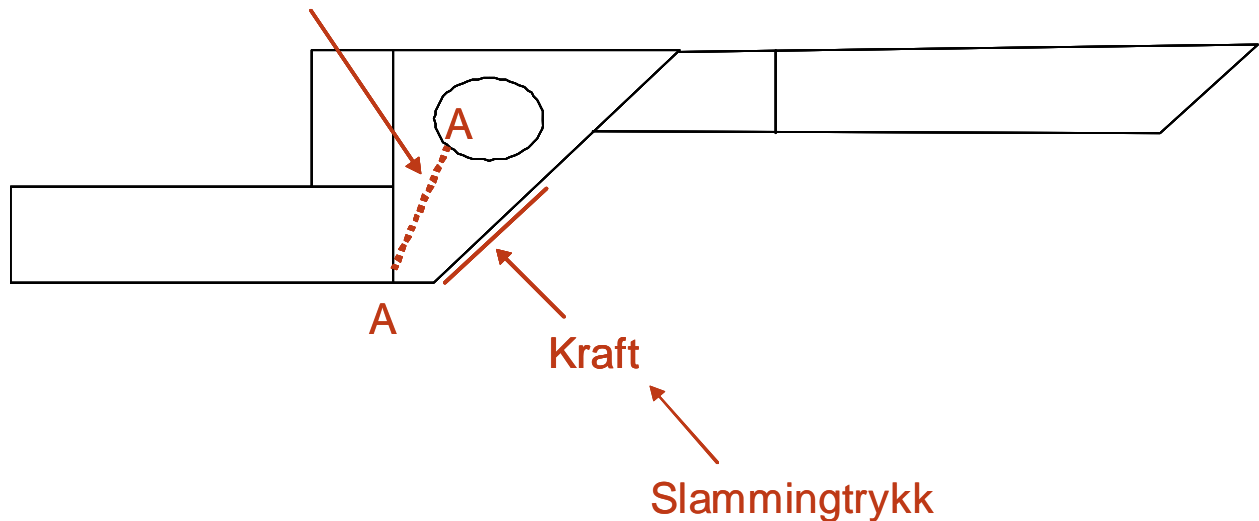
## BRUDDSTYRKE AV STØTTESTRUKTUR VED RAMME NR. 30 – 32

### Bruddstyrke av støttestruktur ved ramme nr. 30 – 32.

Beregning av nødvendig slammingtrykk for å få brudd i støttestrukturen.

#### Bruddlinje

Lengde 600 mm



Antar brudd langs linjen A – A.

Da bærelaminatene blir utsatt for kompresjon, vil feilmoden for sandwich platen være lokal buling (skin wrinkling) av laminatene.

Ref. DNV reglene 3.4.5.B300.

Kritisk spenning er:

$$\sigma_{cr} = 0.5 * (E * E_c * G_c)^{1/3} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$E = 37110 \text{ (N/mm}^2\text{) (fra labtest)}$$

$$E_c = 60 \text{ (N/mm}^2\text{) (fra materialsertifikat for Divinycell H60 skum)}$$

$$G_c = 16 \text{ (N/mm}^2\text{) (fra materialsertifikat for Divinycell H60 skum)}$$

Innsatt:

$$\sigma_{cr} = 0.5 * (37110 * 60 * 16)^{1/3} = 164 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Det er antatt at kompresjonstyrken for dette laminatet er over 300 N/mm<sup>2</sup>. Kompresjonsstyrken av laminatene vil derfor ikke være dimensjonerende i dette tilfellet.

Andre utknekningsformer for støttestrukturen er også mulig, men er forventet å være i samme størrelsesorden.

Nødvendig kraft for å få kritisk bulespenning i laminatene:

$$F = \sigma_{cr} * A = \sigma * 2 * L * t$$

hvor:

L = lengde av bruddlinjen A – A = 600mm

t = tykkelsen av hvert skallaminat = 3,0mm (målt tykkelse)

$$F = 164 * 2 * 600 * 3.0 = 0,59 * 10^6 \text{ N}$$

Regner ut hvilket trykk fra skråplaten som skal til for å få kraften F i støttestrukturen  
Gjør antagelse av et minimum og et maksimum slammingareal.

Antatt minimum slammingareal

$$A_{min} = 800 * 1000 = 800 * 10^3 \text{ mm}^2$$

Antatt maksimum slammingareal

$$A_{maks} = 1000 * 1500 \text{ mm} = 1500 * 10^3 \text{ mm}^2$$

Regner ut trykk basert på de antatte arealer:

$$P_{maks} = F/A_{min} = 0,59 * 10^6 \text{ N} / 800 * 10^3 \text{ mm}^2 = 737 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{min} = F/A_{maks} = 0,59 * 10^6 \text{ N} / 1500 * 10^3 \text{ mm}^2 = 393 \text{ kN/m}^2$$

Dvs.

Slammingtrykk for å få brudd i støttestruktur  $P = 393 - 737 \text{ kN/m}^2$

### **Overføring av last fra skrå frontplate til støttestrukturen:**

Det beregnede trykket ovenfor er mye høyere enn designlasten for den skrå frontplaten.

Dette gjør det vanskelig å beregne hva denne klarer å overføre.

En slik plate har en betydelig reservekapasitet fra den får første skade til den kollapser.

Dette er vanskelig/umulig å beregne, men man kan anta at en betydelig reservekapasitet blir aktivert.

### Forenklet beregning av slammingtrykk

For å danne et bilde av størrelsesorden på slammingtrykk på skråplate, gjøres det en forenklet beregning basert på diagram fra boken: Faltinsen, Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles.

Se figur.

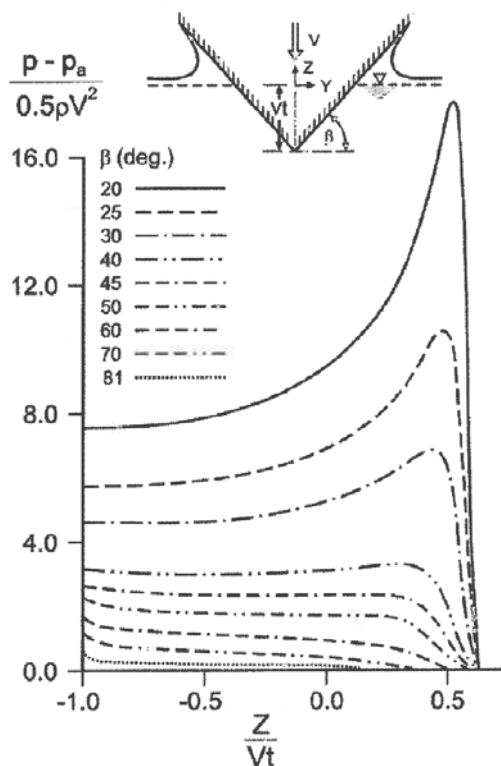


Figure 8.21. Predictions of pressure ( $p$ ) distribution during water entry of a rigid wedge with constant vertical velocity  $V$ .  $p_a$  = atmospheric pressure,  $\beta$  = deadrise angle (Zhao and Faltinsen 1993).

Antar et tilfelle med følgende parametere:

Hastighet  $V = 33$  knop =  $16.98$  m/s

Vinkel mot vannflate  $\beta = 20 - 30^\circ$

Regner ut dynamisk trykk:

$$P_{\text{dyn}} = 0.5 * \rho * V^2 = 0.5 * 1025 * 16,982 = 147,7 \text{ kN/m}^2$$



Fra diagram:

For  $\beta = 20^\circ$  gir  $C_{p_{maks}} = 17$  og  $C_{p_{midlere}} = 10$

For  $\beta = 30^\circ$  gir  $C_{p_{maks}} = 7$  og  $C_{p_{midlere}} = 5$

Regner ut midlere slammingtrykk basert på  $C_p$  faktorene ovenfor:

For  $\beta = 20^\circ$  Slammingtrykk  $P_{slam} = 147 * 10 = 1470 \text{ kN/m}^2$

For  $\beta = 30^\circ$  Slammingtrykk  $P_{slam} = 147 * 5 = 735 \text{ kN/m}^2$

- o0o -