

STF24 A04012 - Åpen

# RAPPORT



## Studie av dekksluke i GRP sandwich

Alfred Andersen

**SINTEF Materialer og kjemi**

Juli 2004

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)



# SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Studie av dekksluke i GRP sandwich**

FORFATTER(E)

Alfred Andersen

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)  
Norges forskningsråd

RAPPORTNR. STF24 A04012	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Terje Flatøy / Turid Hiller	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN	PROSJEKTNR. 24446500	ANTALL SIDER OG BILAG 26
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Reidar Stokke	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Reidar Friberg
ARKIVKODE	DATO 09.07.04	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Reidar Stokke, Spesialrådgiver	

**SAMMENDRAG**

Det er gjennomført en studie for å sammenligne store dekksluker i aluminium med en alternativ konstruksjon i sandwich. De viktigste årsakene til å vurdere en sandwichløsning er:

- Mulighet for vektbesparelse
- Redusert korrosjon og behov for vedlikehold
- Redusert behov for vedlikehold
- Forbedret isolasjon, ekstra isolasjonsplugg kan unngås
- Forbedret håndterbarhet.

Det ble tatt utgangspunkt i en konkret luke som er bygget i aluminium med hoveddimensjoner 2744 x 2471mm. Det er gjennomført numeriske beregninger (FEM) i henhold til krav i gjeldende forskrifter for ulike materialløsninger i sandwich.

Resultatene for denne luken viser at en designløsning i sandwich som tilfredsstillende kravene i gjeldende forskrifter vil veie ca. halvparten av aluminiumsluken når hengsler og låsemekanisme unntas. I tillegg vil den ekstra isolasjonspluggen som benyttes for aluminiumsluker kunne unngås og gi en ytterligere vektbesparelse. På store fiskefartøy (50-60m) kan det være ca. 10 tonn med aluminiumsluker. Det anslås at vektbesparelsen ved å bygge lukene i sandwich vil være 3-4 tonn. Rapporten viser også at en tilfredsstillende løsning i sandwich vil være robust og ha god slagresistens.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Materialteknologi	Materials Technology
GRUPPE 2	Polymerer	Polymers
EGENVALGTE	Elementberegninger	Finite element calculations
	Statisk	Static
	Slagtesting	Impact

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Kort om komposittmaterialer</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Produksjonsmetoder</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Vedlikehold</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Bøystivhet for sandwich og massive tverrsnitt</b> .....	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	<b>7</b>
	6.1 Innledning .....	7
	6.2 Aluminiumsluke .....	8
	6.3 Kompositt/sandwichluke .....	9
	6.4 Forenklet stivhetsvurdering .....	10
<b>7</b>	<b>Grunnlagsmateriale</b> .....	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>FEM modell av dekksluke i sandwich</b> .....	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>Simuleringsresultater</b> .....	<b>14</b>
	9.1 Sandwich med 2xLT2000 hud .....	14
	9.2 Konklusjon for sandwichluke med 2xLT2000 hud .....	17
	9.3 Konklusjon for sandwichluke med VTR 4 hud .....	17
<b>10</b>	<b>Vurdering av slagstyrke</b> .....	<b>18</b>
	10.1 Innledning .....	18
	10.2 Sammenligning av lukepanel og SINTEF testpanel .....	18
	10.3 Slagtesting av sandwichpanel .....	20
	10.4 Slagtesting av aluminiumsplate .....	22
<b>11</b>	<b>Vektberegninger</b> .....	<b>23</b>
	11.1 Aluminiumsluke .....	23
	11.2 Sandwichluke .....	24
	11.3 Vektvurdering .....	25
<b>12</b>	<b>Referanseliste</b> .....	<b>25</b>

## 1 Innledning

I regi av prosjektet "Nye materialløsninger for fiskeflåten" har ”*Studie av dekksluke i GRP sandwich*” blitt utpekt som en mulig kilde til spart vekt, økt kvalitet og sparte vedlikeholds-kostnader for dekksluker på fiskefartøy.

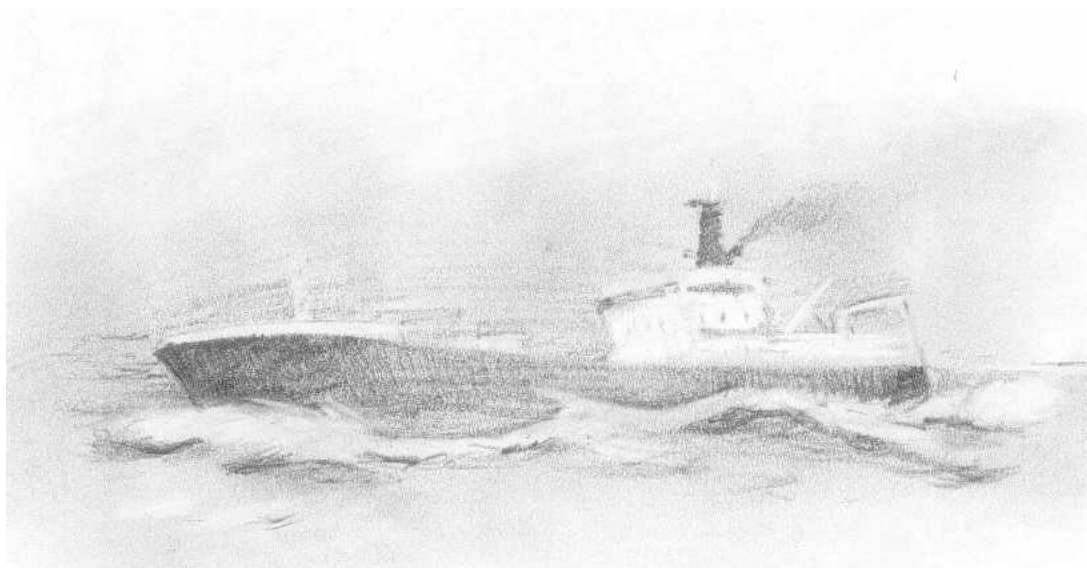
En gjennomgang av spesifikasjoner for en pelagisk tråler på 55 meter viste at det totalt var omtrent 10 tonn med aluminiumsluker på dette fartøyet. Dette viser at det er et betydelig potensial for vektbesparelse dersom luker i sandwich kan konstrueres lettere. Vektbesparelse vil også forbedre håndterbarheten av lukene, noe som trekkes frem som en viktig faktor. Håndterbarhet er spesielt viktig for mindre luker som åpnes ofte.

Undersøkelsen viser at man har muligheter til å oppnå:

- Betydelig vektbesparelse
- Ingen korrosjon og dermed mindre vedlikehold
- Forbedret håndterbarhet
- Forbedret isolasjon; ekstra isolasjonsplugg blir unødvendig
- Muligheter for standardisering

Innledende samtaler med bransjen og da særlig med *Rolls–Royce Marine AS* og *Libra Plast AS* avdekket en stor interesse for temaet. Målsettingen med denne rapporten er på en oversiktlig måte å få gjennomgått et alternativ til dagens aluminiumsløsning slik at skipsbyggere og konsulenter lettere skal se fordelene ved bruk av komposittmaterialer, og etterspørre disse løsningene i større grad enn i dag.

Store dekksluker lages i dag i stål eller aluminium. Det er i dag mest vanlig å bygge slike luker i aluminium. For mindre luker og dører finnes det i dag også løsninger i sandwich. [1,2].



*Figur 1: En 70 meter ringnotsnurper/tråler med to hovedmaster i grov sjø. På denne og andre lignende fartøytper av samme størrelse (>45 meter) er det en rekke store luker og dører som kan produseres i GRP-sandwich.*

Vi har valgt å ta utgangspunkt i en stor luke som i dag er laget i aluminium og sammenligne denne med en alternativ konstruksjon i kompositt/sandwich. Tegninger av lukene i aluminium er mottatt fra *Rolls-Royce Marine AS*. De har også bidratt med å finne frem til krav for dimensjonering av slike luker. *Libra Plast AS* har bidratt med forslag til design av luker i kompositt/sandwich og til valg av materialer.

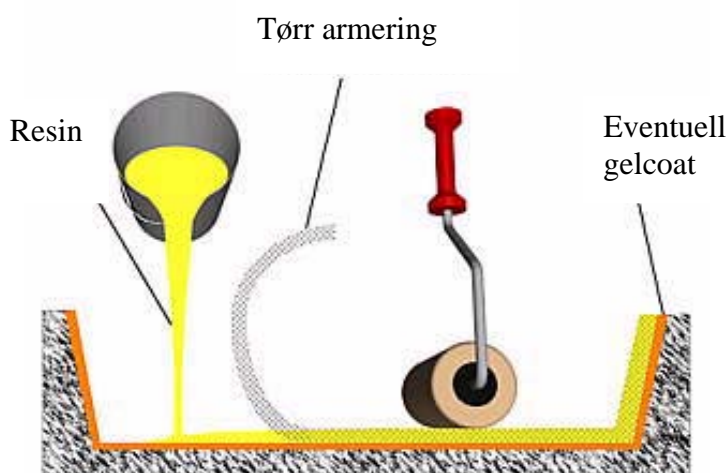
## 2 Kort om komposittmaterialer

Komposittmaterialer er materialer som det er enkelt å benytte innen serieproduksjon av skipsluker. Dette er en viktig faktor dersom man ønsker å komme frem til en kostnadseffektiv produksjonsmetode for luker og dører som passer mange fartøytyper. I tillegg til dette krever komposittmaterialer lite vedlikehold. Den type sandwich som er aktuell for disse lukene er bygget opp av en lett porøs kjerne i skummet PVC. Sandwich huden er laminater av glassfiberarmert herdeplast. De mest aktuelle herdeplaster er polyester og vinylester. Komposittmaterialer kan enkelt skreddersys til den styrke og stivhet som er formålstjenelig slik at lukenes oppførsel blir optimal.

## 3 Produksjonsmetoder

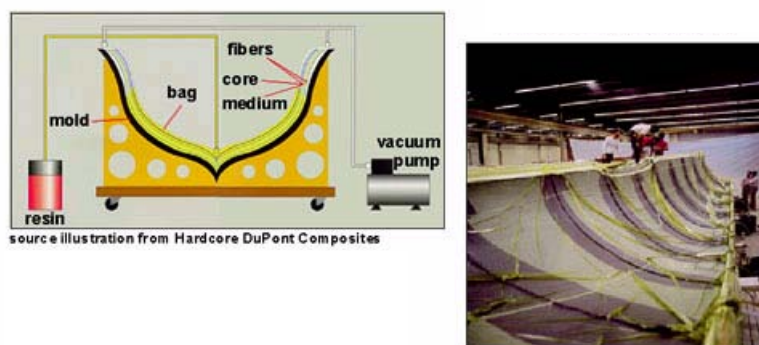
I dag er det hovedsakelig to produksjonsmetoder som er aktuelle for produksjon av luker:

- **Håndopplegg:** Dette er den eldste, enkleste og kanskje vanligste metoden som benyttes i dag. Armering (glassfiber eller karbonfiber) legges i formen og resin påføres. Tykkelsen på lukene bestemmes av antall lag med armering som legges på og mengden med resin som brukes. Resultatet er en metode som krever minimum med utstyr, men som er arbeidskrevende. Store og komplekse strukturer kan produseres relativt enkelt. Metoden er avbildet i figur 2.



Figur 2: Håndopplegg. Gelcoat påføres formen før armeringen rulles på plass med resinet

- Vakuuminjeksjon: Dette er en nyere mer moderne metode enn håndopplegg. Armeringen (glassfiber eller karbonfiber) legges i en såkalt hun-form som representerer produktets sluttgeometri. En vakuum-folie legges så over og tettes med tettemasse langs alle kanter og ved alle ut- og innløp. Det suges så vakuum under folien ved hjelp av en pumpe, og resinet suges inn. Denne metoden krever mer utstyr enn håndopplegg, men sikrer produkter med jevn og ikke minst høy kvalitet. Metoden er illustrert i figur 3.



Figur 3: Fibrene (armeringen) legges i formen sammen med en eventuell kjerne, folie trekkes over, vakuum settes på og resinet suges inn. Metoden er skissert til venstre mens et eksempel er vist til høyre.

Velges vakuuminjeksjon som produksjonsmetode er det ikke tvil om at komposittmaterialer vil være egnet for serieproduksjon. Dette er en viktig faktor dersom man ønsker å komme frem til et lukekonsept som passer mange fartøytyper. Serieproduksjon vil fremtvinge lavere innkjøpspriser av råvarer som armeringsmatter og resin i tillegg til at produksjonstiden går kraftig ned. Dette sikrer mer konkurransedyktige produkter.

## 4 Vedlikehold

Det er foretatt utallige studier av vedlikeholdskostnader knyttet til konstruksjonsløsninger i komposittmaterialer for marinekonstruksjoner. Resultatene av disse studiene peker entydig i en retning: Komposittmaterialer krever vedlikehold i svært liten grad i forhold til aluminium og ikke minst stål.

## 5 Bøyestivhet for sandwich og massive tverrsnitt

Hvis man ønsker å si noe om en bjelkes eller plates bøyestivhet må man kjenne bjelkens eller platens treghetsmoment. En flates treghetsmoment om en akse er lik arealet multiplisert med kvadratet av avstanden til akselen. Er treghetsmomentet stort vil bjelken/platen yte stor motstand mot bøyning, er det derimot lite vil motstanden bli liten.

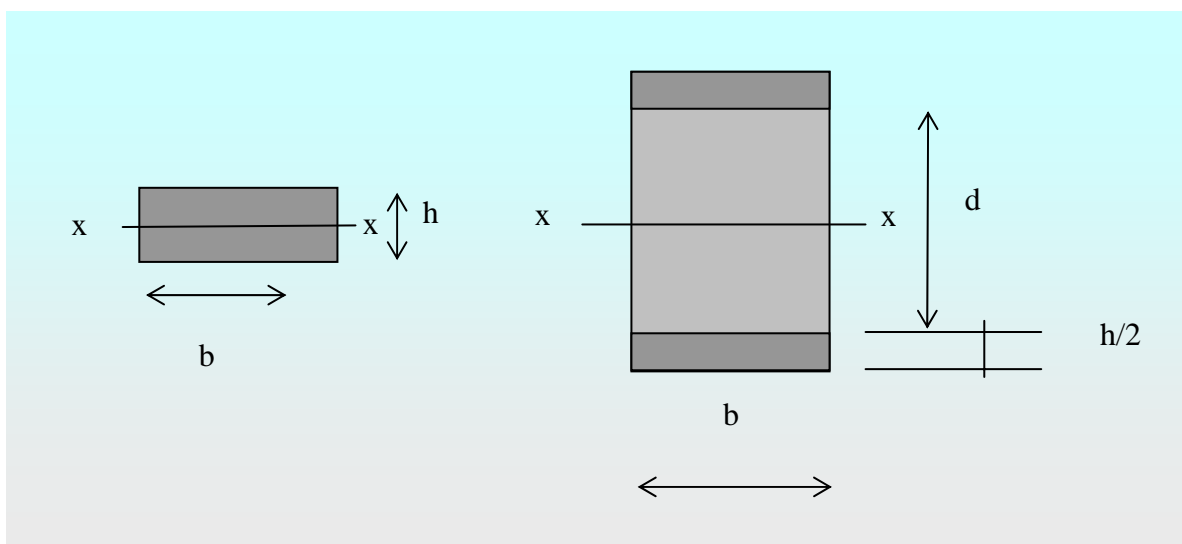
For en bjelke med rektangulært tverrsnitt med en bredde  $b$  og høyde  $h$  vil treghetsmomentet for bøyning om  $x$ - $x$  akse (venstre i figur 4) bli:

$$\text{Treghetsmoment: } I_1 = bh^3/12$$

Hvis man derimot tenker seg en bjelke bygget opp som et sandwich vil man få et helt annet uttrykk for treghetsmomentet og dermed helt andre egenskaper i bøyesammenheng. Siden treghetsmomentet varierer med kvadratet av avstanden fra  $x$ - $x$  akse er det viktig å ha det "effektive" materialet så langt som mulig unna  $x$ - $x$  akse (vist til høyre i figur 4). For en sandwichbjelke kan man neglisjere kjernens bidrag til treghetsmomentet. Meget forenklet kan man si at kjernens primæroppgave er å "holde" huden vekk i fra  $x$ - $x$  akse.

Treghetsmomentet for et slikt tverrsnitt blir:

$$I_2 = 2b(h/2)^3/12 + 2bh/2(d/2+h/4)^2 = bh^3/48 + bh(d^2/4 + dh/4 + h^2/16) = bh^3/12(1 + 3d/h + 3d^2/h^2)$$



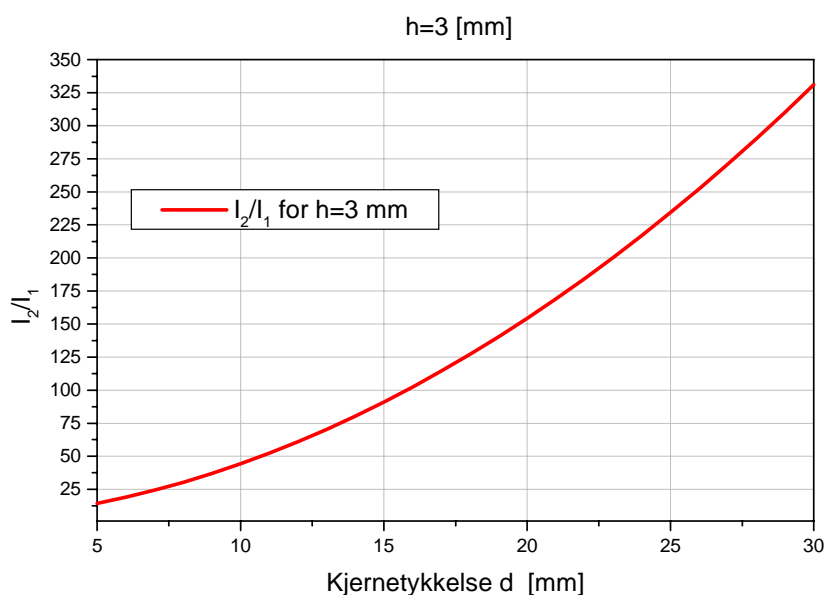
Figur 4: Venstre: Bjelke med bredde  $b$  og høyde  $h$  bøyer om akse  $x$ - $x$ . Høyre: Bjelke med bredde  $b$ , kjernetykkelse  $d$  og hud med tykkelse  $h/2$  bøyer om akse  $x$ - $x$

Forholdet mellom treghetsmomentene  $I_1$  og  $I_2$  er meget interessant da det sier noe om hvor bøyestivt et sandwich er i forhold til et massivt tverrsnitt når samme mengde komposittmateriale benyttes:

$$I_2/I_1 = (1 + 3d/h + 3d^2/h^2)$$

Figur 5 viser uttrykket grafisk for  $h=3$  mm. Kjernetykkelsen  $d$  øker fra 5 mm til 30 mm. Kurven viser dermed at en sandwichbjelke med hud på 1.5 mm ( $h/2$ ) og en kjerne på 30 mm har en bøyestivhet (treghetsmoment) som er 331 ganger høyere enn en bjelke med tykkelse på 3 mm ( $h$ ).

Ønsker man å sammenligne bøyestivheten til et sandwich i glassfiberarmert herdeplast og PVC med en aluminiumsplate må man gange bjelkens/platens treghetsmoment opp med materialets elastisitetsmodul.

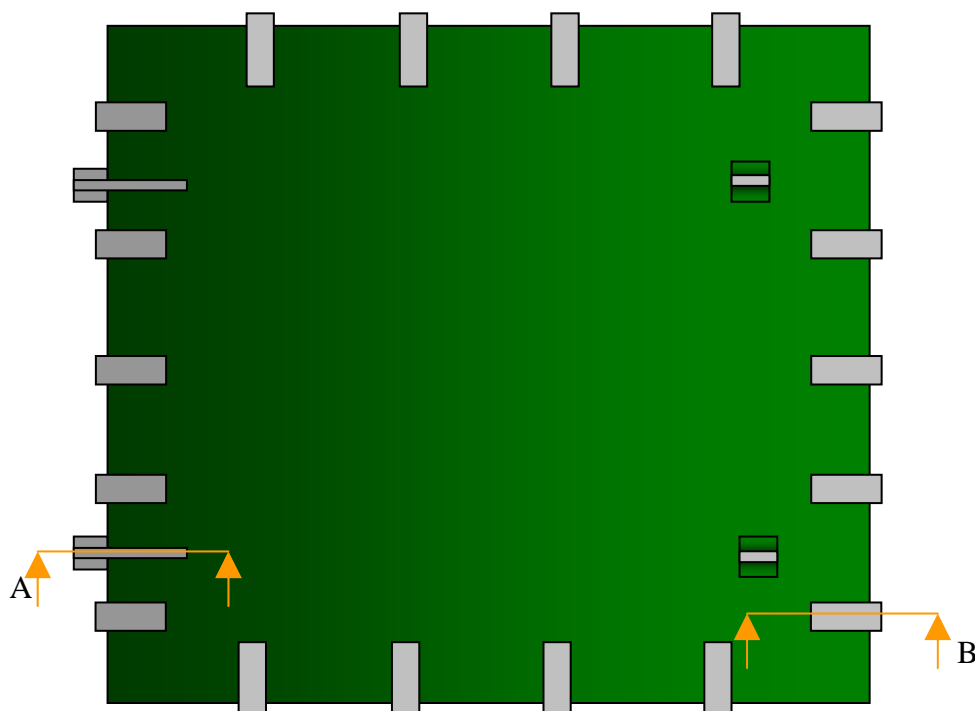


Figur 5: Bøyestivheten til sandwich i forhold til bøyestivheten for massivt tverrsnitt når samme materialmengde benyttes.

## 6 Bakgrunn

### 6.1 Innledning

I dag konstrueres de fleste dekksluker for denne fartøytypen i aluminium. Lukene er bygget opp av inner-og ytterhud samt bjelker som holder huden på plass og som samtidig sørger for nødvendig stivhet og kraftoverføring.



Figur 6: Skipsluker kan konstrueres i aluminium eller komposittmaterialer. Luken har et overflateareal på rundt 2.8x2.5 meter. Snitt A-A og B-B er vist i figur 3 og 4.

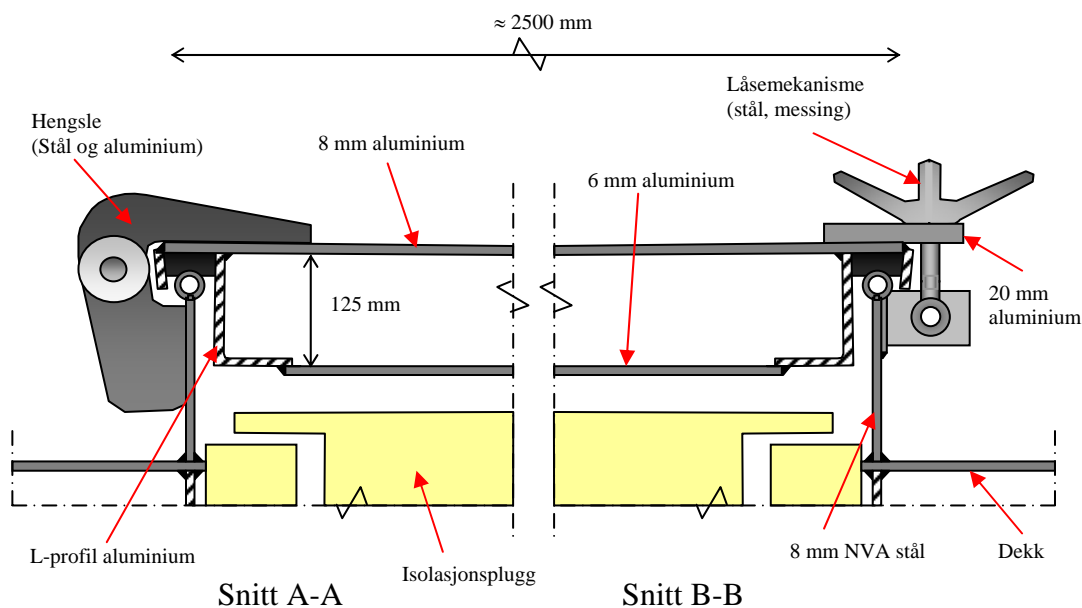


Ytterhuden er meget kraftig mens den indre huden, som ofte kalles garnering, er noe tynnere. Disse lukene gir ingen isolering og er i tillegg relativt tunge. Grunnet blant annet den høye vekten er det ønskelig å se om det er mulig å fremstille en lettere løsning. Samtidig vil sandwichluken være isolert slik at løse isoleringsplugger, som benyttes i dag, kan utelates. Den aktuelle dekksluken for studien, som regnes som relativt stor, er på 2744 x 2474 mm og tenkes fremstilt i glassfiberkompositt /sandwich. En slik luke med hengsler og låsemekanismer er illustrert i figur 6.

## 6.2 Aluminiumsluke

Aluminiumsluken er bygget opp av kraftige aluminiumsplater med en tykkelse på henholdsvis 8 og 6 mm for ytter- og innerhuden og avstivningsprofiler av L-typen med en høyde på 125 mm. Platene og profilene blir montert sammen ved hjelp av sveising. Det benyttes ofte aluminium av AlSi typen dvs. aluminium-silisiumlegeringer. Denne typen legeringer går ofte under navnet silumin [14]. Lukene er hengslet med kraftige hengsler i stål og/eller aluminium, mens låsemekanismene ofte er i stål og messing. Da aluminiumsluker som oftest ikke er isolert må det som tidligere nevnt settes inn en separat isolasjonsplugg ned i selve lukeåpningen. Slike isolasjonsplugger består av vannfast finer fylt med polyurethanskum. Grunnen til at man gjør det på denne måten er at man vil kunne få betydelige kondensproblemer ved å isolere selve luken. Mellomrommet mellom luken og pluggen gjør at luken hele tiden har samme temperatur som ute luften og dermed unngår man kondens. I tillegg ville L-bjelkene i luken fungere som kuldebroer og dermed svekke isolasjonsevnen drastisk. Ulempene er selvsagt at den løse pluggen må fjernes hver gang man skal ha adgang til rommet under luken.

Et eksempel på en slik luke er vist i figur 3. Luken er avstivet med 6 stk. 125x75x9 mm L-profiler med senteravstand 550 mm. Lukekarmen er, som skipsdekket, konstruert i Veritas godkjent stål (NVA) [14]. En detaljert skisse av aluminiumsluken er vist i figur 7.

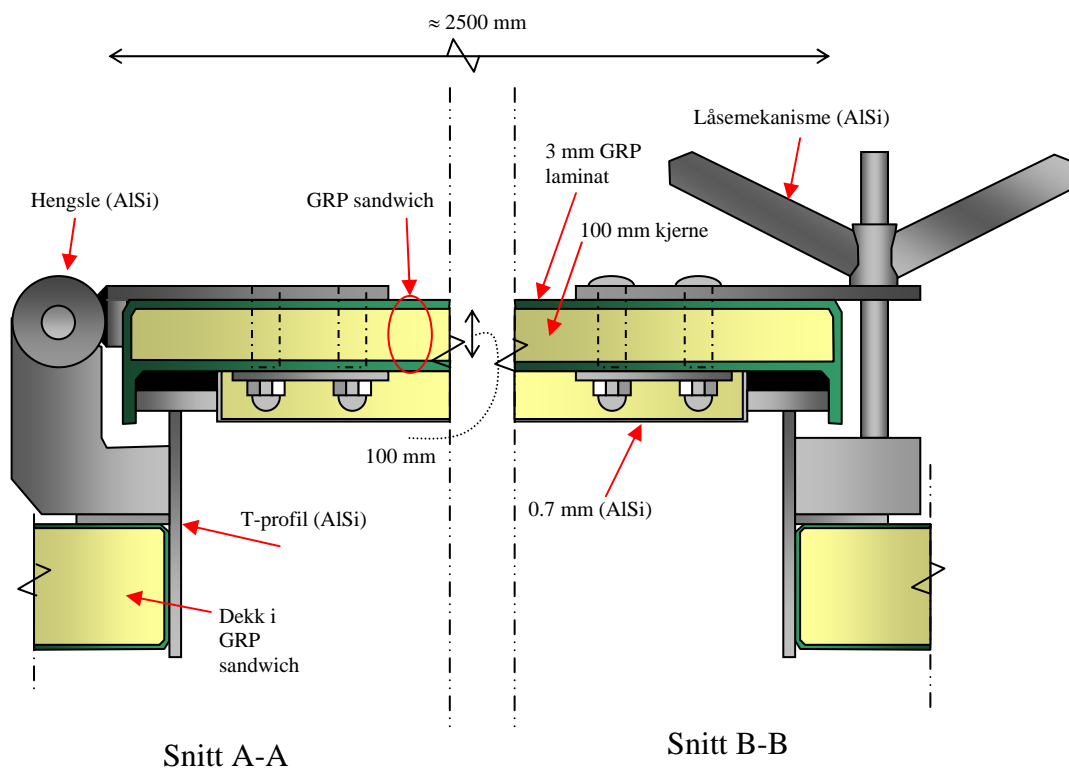


Figur 7: Aluminiumsluke konstruert av 125x75x9 mm aluminiumsprofiler og 8 mm og 6 mm aluminiumsplater. I lukeåpningen sitter det en løs separat isolasjonsplugg. Snitt A-A (gjennom hengsle) og B-B (gjennom låsemekanisme) refererer til figur 5. Tegningen er ikke i målestokk

### 6.3 Kompositt/sandwichluke

Plastkompositter er vedlikeholdsfrie, sterke og lette materialer som har et stort potensial i konstruksjoner som dekksluker. Bruk av sandwichteknologi eliminerer for det første behovet for lokal avstivning, noe som er en stor fordel. De kraftige L-profilene som benyttes i aluminiumsluken er både tunge og kostbare. En slik L-profil med målene 125x75x9 mm veier ca 4.8 kg/m. I luken er det omtrent 20 løpemeter med denne profilen, dvs. at totalvekten av bare L-profilene er nesten 100 kg.

Sandwichsluken er bygget opp av kraftige komposittplater med en tykkelse på ca 3 mm og en kontinuerlig PVC kjerne på 100 mm. Laminatet er bygget opp av 2 lag med 0/90 armering. Orienteringen er [0, 90, 90, 0] noe som betyr at 1. lag ligger i såkalt 0-retning mens 2. og 3. lag ligger vinkelrett på 0-retningen, dvs. i 90-retningen. 4. lag ligger i 0-retningen. Stivheten i planet er omtrent 27000 MPa. PVC kjernen er av typen H80 noe som betyr at den veier 80 kg/m<sup>3</sup>. Stivheten til kjernen ligger på 85 MPa mens den har en kompresjonsstyrke på 1.2 MPa. På yttersidene av laminatet er det et tynt lag med CSM duk, som forhindrer oppsprekking og øker slagstyrken. CSM duken består av korte glassfiber som har en vilkårlig orientering i planet.



Figur 8: Sandwichluke konstruert av 3 mm 0/90 glassfiberhud og 100 mm H80 PVC kjerne. Boltene er garnert inn med 50 mm H40 PVC og 0.7 mm siluminplater for å forhindre kuldebro og kondens ved boltene. Snitt A-A (gjennom hengsle) og B-B (gjennom låsemekanisme) refererer til figur 5. Tegningen er ikke i målestokk.

Til metalledaljene (hengslers og låsemekanismer) benyttes også her aluminium av AlSi typen dvs. aluminium-silisiumlegeringer, eller silumin som denne legeringen ofte kalles [14]. Luken er tenkt hengslet med kraftige hengslers i aluminium. Låsemekanismen, som minner om den man benytter i aluminiumsluken er også i aluminium. Hengslers og låser er boltet til sandwichet. Boltene er kledd

inn med isolasjon og garnert med tynne aluminiumsplater for å forhindre kuldebro gjennom boltene og kondensproblemer. Det faktum at luken er isolert gjør det unødvendig å benytte en ekstra isolasjonsplugg slik man må når luken konstrueres i aluminium. En slik luke er illustrert i figur 8. Lukekarmen konstrueres i aluminium.

#### 6.4 Forenklet stivhetsvurdering

Utgangspunktet for denne rapporten er som tidligere nevnt at man ønsker å vurdere en erstatning for dagens store skipsluker som produseres hovedsakelig i aluminium. Et meget godt alternativ er en sandwichløsning i glassfiberarmert herdeplast (GRP) og PVC skum som kjerne. Ved å konstruere med såkalt sandwichteknologi oppnår man paneler med meget høy stivhet og samtidig lav vekt. I tillegg sørger sandwichpanelets kjerne for at tilleggsisolasjon ikke er nødvendig. Det skal nå foretas en forenklet sammenligning av bøyestivheten til en aluminiumsluke (figur 7) og en sandwichluke (figur 8). De to tverrsnittene som vurderes er vist i figur 9.



Figur 9: De to tverrsnittene som vurderes. Aluminium og sandwich.

Tverrsnittene i figur 9 har begge et treghetsmoment som styres av  $I_2$

$$I_2 = 2b(h/2)^3/12 + 2bh/2(d/2+h/4)^2 = bh^3/48 + bh(d^2/4 + dh/4 + h^2/16) = bh^3/12(1 + 3d/h + 3d^2/h^2)$$

Hvis man skal sammenligne bøyestivheten til den avstivede aluminiumsluken med stivheten til et potensielt sandwich må følgende uttrykk oppfylles:

$$E_a I_a = E_{GRP} I_s,$$

$$I_a = bh_a^3/12(1 + 3d_a/h_a + 3d_a^2/h_a^2),$$

$$I_s = bh_s^3/12(1 + 3d_s/h_s + 3d_s^2/h_s^2)$$

De enkelte bestanddeler i ligningene er gitt i tabell 1.

Settes tallene fra tabell 1 inn i  $E_a I_a = E_{GRP} I_s$  finner man at aluminiumsluken teoretisk er 10 ganger stivere enn sandwichluken. Dette forutsetter imidlertid at L-profilene i aluminiumsluken overfører krefter perfekt slik at de to platene fungerer på samme måte som et sandwich med kontinuerlig kjerne. Dette er nok ikke tilfelle da 1) L-profilene bare går i en retning, dette gir stor stivhet i denne retningen men betydelig lavere i den andre. 2) Avstanden mellom L-profilene er 500 mm noe som muligens er litt mye til at man får en perfekt "sandwicheffekt".

Tabell 1: Materialegenskaper og uttrykk benyttet i overslagsberegning av bøyestivhet

Navn	Symbol	Størrelse
Stivhet aluminium	$E_a$	70000 MPa
Stivhet GRP-hud	$E_{GRP}$	27000 MPa
Treghetsmoment aluminium ( $b=1$ )	$I_a$	6.1E4 mm <sup>4</sup>
Treghetsmoment sandwich ( $b=1$ )	$I_s$	1.6E4 mm <sup>4</sup>
Tykkelse aluminiumsluke	$d_a$	125 mm
Tykkelse sandwich	$d_s$	100 mm
Total tykkelse aluminiumsplate	$h_a$	14 mm
Total tykkelse GRP-hud	$h_s$	6 mm

Når det gjelder luken konstruert i GRP sandwich sørger den *kontinuerlige* skumkjernen for at kreftene, særlig skjær, overføres på en slik måte at GRP huden holdes perfekt på plass. Ingen av disse observasjonene kan imidlertid rokke ved det faktum at aluminiumsluken er en del stivere enn sandwichluken. Dette fordi aluminiumsluken er tykkere (L-profilene er 125 mm) og platene hele 6 mm og 8 mm mot GRP sandwichets skumkjerne på 100 mm og hudtykkelse på 3 mm. De kommende analysene av GRP luken vil imidlertid avdekke om dette alternativet besitter den nødvendige stivhet som den gjeldende standard krever.

## 7 Grunnlagsmateriale

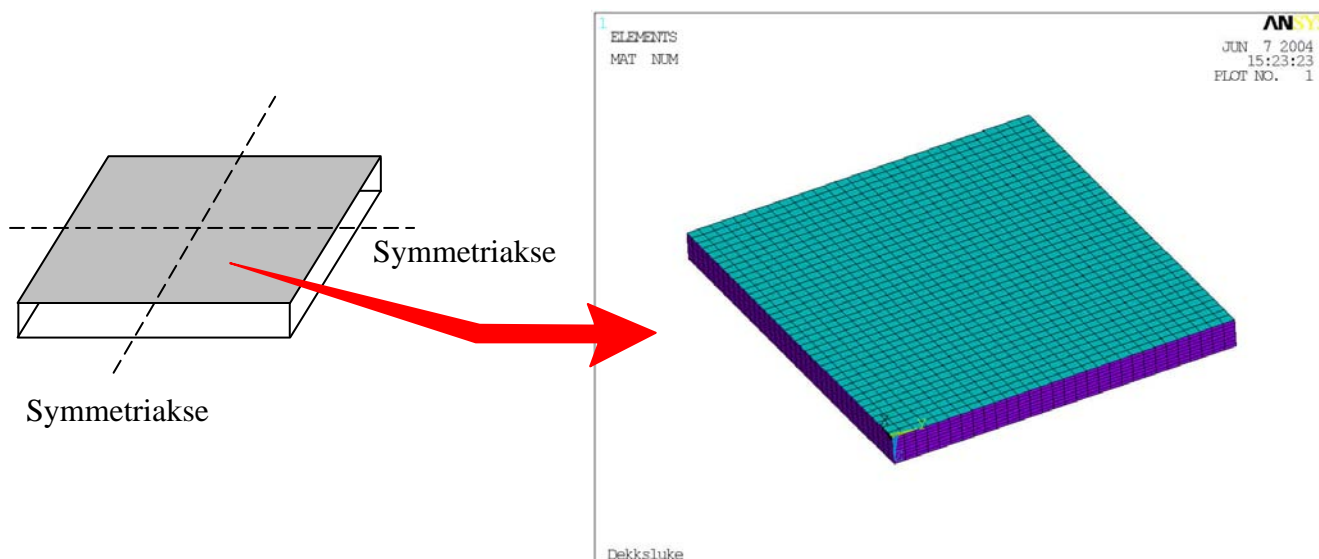
Grunnlag for beregningene er hentet fra "FOR 2000-06-13 nr 660: Forskrift om konstruksjon, utstyr, drift og besiktelser for fiske- og fangstfartøy med største lengde på 15 meter og derover." Forskriften er utarbeidet av Nærings og handelsdepartementet (NHD), Sjøfartsdirektoratet. FOR-2000-06-13-660 trådte i kraft juli 2000 og ble sist endret januar 2003.

Kapittel 2 i forskriften omhandler fartøyets konstruksjon, dets vanntette integritet og utstyr. I § 2-6 (4) som omhandler lukedekslar som ikke er i tre heter det at løsningen skal ha samme styrke som om den var av stål (tillatt spenning er lik bruddstyrke dividert med 4.25) og at luken skal holde tett. Det siste kravet er beregningsmessig svakt formulert men hvis man holder seg innen kravet til nedbøyning for luker av stål, nemlig at "maksimalt tillatte nedbøyning er 0.0028 ganger lukespenning" må dette bety at luken er tett og dermed at luken tilfredsstillende kravet fra forskriften.

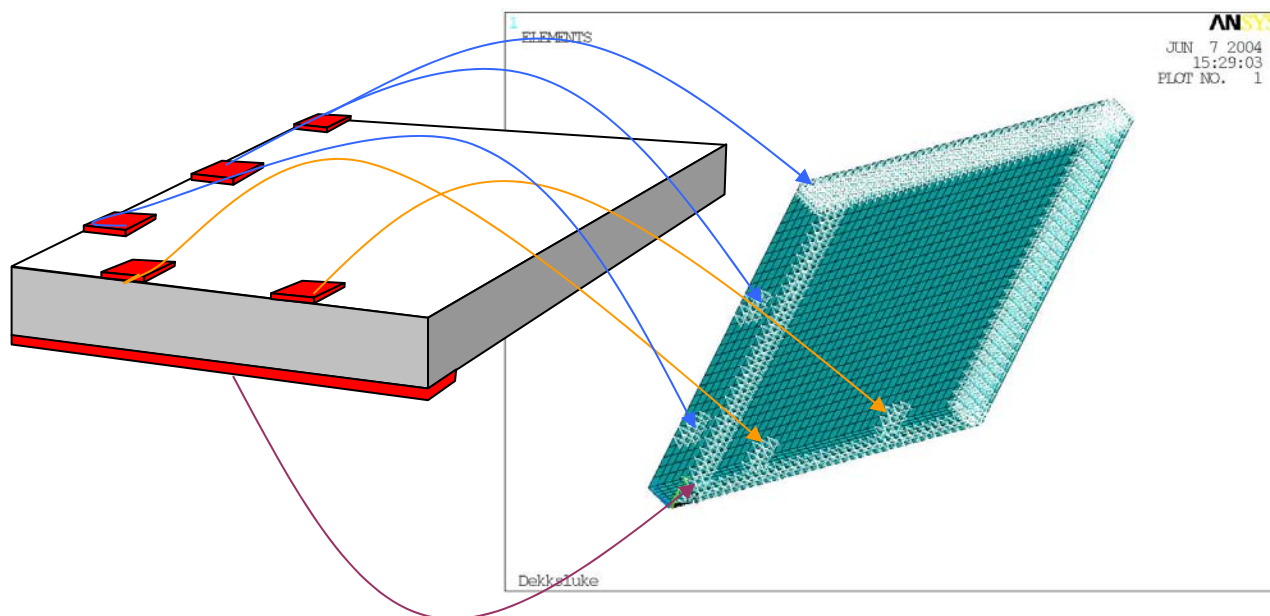
I henhold til Forskrift nr. 660 skal luken belastes med en jevnt fordelt trykklast. I forskriften heter det at luken skal belastes med 10 kN per kvadratmeter for fartøy med lengde på inntil 24 meter og 17 kN per kvadratmeter for fartøy med lengde på 100 meter og derover. For mellomliggende lengder skal belastningen bestemmes med lineær interpolasjon. Dette fartøyet er 55 meter, noe som betyr at jevnt fordelt last blir 12.85 kN per kvadratmeter.

## 8 FEM modell av dekksluke i sandwich

Beregningsmodellen er bygget opp i det numeriske simuleringsprogrammet ANSYS. Huden på sandwichet er bygget opp av skallelementet SHELL63 mens kjernen er bygget opp med volumelementet SOLID45. Grunnet symmetri er kun en fjerdedel av luken modellert. Det benyttes 40x30 elementer til å modellere huden mens kjernen modelleres av 40x30x8 elementer, dvs. at det totalt benyttes 12000 elementer i modellen. Symmetriaksene og elementmodellen er vist i figur 10 og 11.



Figur 10: ANSYS elementmodellen for 1/4 del av dekksluken. Huden modelleres med 40x30 skallelementer, mens kjernen er modellert med 40x30x8 volumelementer. Totalt 12000 elementer.



Figur 11: Randebetingelsene for en fjerdedel av luken er vist med rødt. I underkant simuleres karmen mens låser og hengsler etterlignes i overkant. Blå og gule piler viser hengsler/låsemekanismer, mens rød pil viser anlegget mot karmen i underkant av luken.

To alternative laminaer er vurdert som hud til luken:

- 1 2xLT 2000 glassfiberarmering fra Devold AMT. Dette er en kraftig 0/90 matte som gir laminaer med gode mekaniske egenskaper. Laminatrykkelsen blir omtrent 3 mm. Materialdata som er nødvendig for simuleringene for laminaer i polyester/vinylester og LT2000 er hentet fra SINTEF Rapport STF24 F02053.
- 2 VTR 4 M90/S50 som er et ferdiglaminat i glassfiber.

Kjernemateriale er hovedsakelig en Divinycell H Grade H 80 med tykkelse på 100 mm.

Laminatene og kjernen har følgende mekaniske egenskaper:

**HUD : 2xLT2000, volumandel fiber:  $V_f=53\%$  (laminatet ligger i XY-planet):**

- Stivhet i planet:  $E_x=E_y=27000$  MPa
- Stivhet ut av planet:  $E_z=8000$  MPa
- Skjærstivhet i planet:  $G_{xy}=6000-3000$  MPa
- Tverrkontraksjon:  $\nu=0.2$
- Styrke i strekk og trykk:  $\sigma_u=460$  MPa,  $\epsilon_u=1.8-2.2$  %
- Skjærstyrke:  $\tau_{xy}=70$  MPa
- Tetthet:  $\rho=1.9$  g/cm<sup>3</sup>

**HUD : VTR 4 M90/S50 (laminatet ligger i XY-planet):**

- Stivhet i planet:  $E_x=E_y=7000$  MPa
- Stivhet ut av planet:  $E_z=4000$  MPa (Ikke oppgitt)
- Skjærstivhet i planet:  $G_x=3000$  MPa (Ikke oppgitt)
- Tverrkontraksjon:  $\nu=0.2$
- Styrke i strekk og trykk:  $\sigma_u=107-117$  MPa
- Skjærstyrke:  $\tau_{xy}=23$  MPa
- Tetthet:  $\rho=1.9$  g/cm<sup>3</sup> (Ikke oppgitt)

**Skumkjerne: H80:**

- Stivhet:  $E=85$  MPa
- Skjærstivhet:  $G=31$  MPa
- Styrke i strekk:  $\sigma_u=2.2$  MPa
- Styrke i trykk:  $\sigma_u=1.2$  MPa
- Skjærstyrke:  $\tau_u=1.0$  MPa
- Tetthet:  $\rho=80$  kg/m<sup>3</sup>

Lasten er gitt av:

**Belastning fra FOR nr. 2000-06-13 nr 660:**

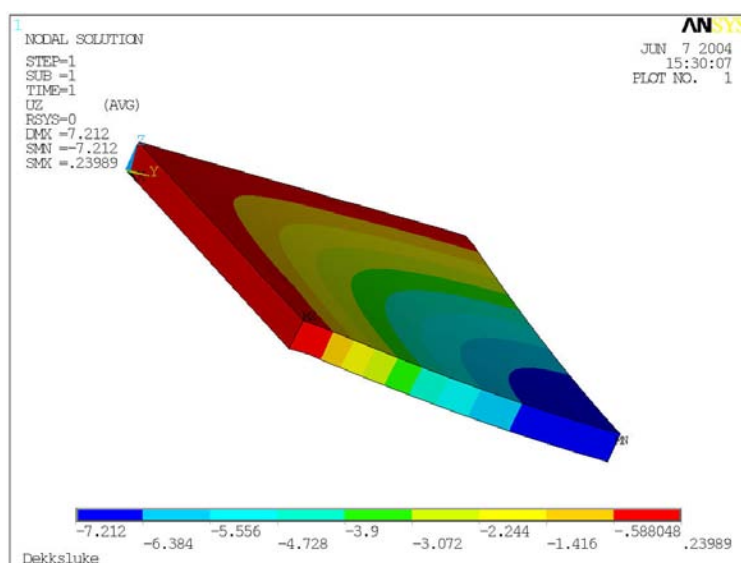
1. 10 kN per kvadratmeter for fartøy med lengde på 24 meter
2. 17 kN per kvadratmeter for fartøy med lengde på 100 meter og derover  
For mellomliggende lengder skal belastningen bestemmes med lineær interpolasjon.  
Dette fartøyet er 55 meter  $\Rightarrow$  Last:  $12.85$  kN/m<sup>2</sup> =  $0.01285$  N/mm<sup>2</sup>

Analysene er lineært elastiske både med hensyn på materialegenskaper og geometri. Det benyttes symmetribetingelser langs 2 av rendene mens lukens ytterkanter holdes fast ved hengsler, låsemekanismer og karmen (figur 11).

## 9 Simuleringsresultater

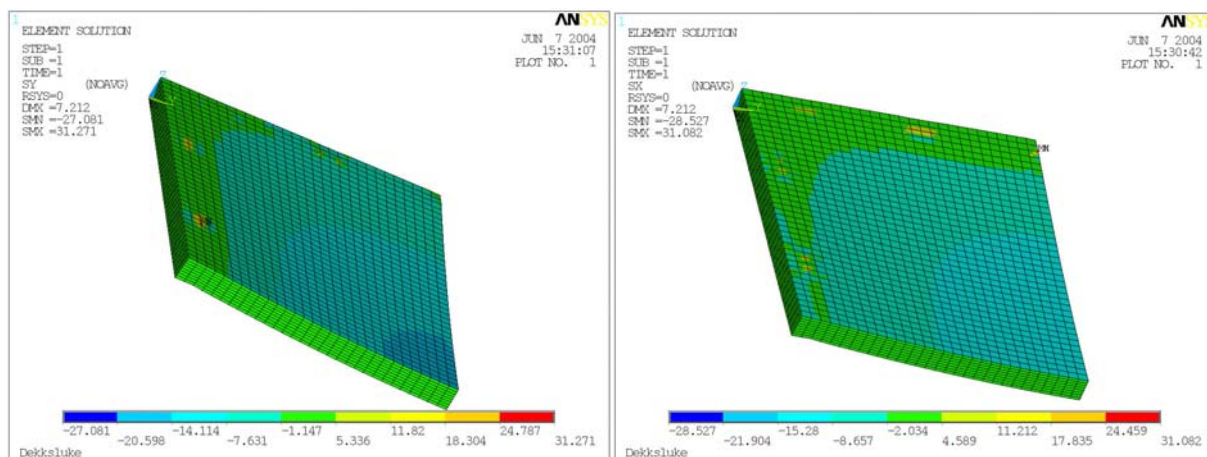
### 9.1 Sandwich med 2xLT2000 hud

ANSYS simuleringene for en jevnt fordelt last på  $12.85 \text{ kN/m}^2$  er gjengitt i figurene under. I figur 12 er nedbøyningen til luken vist. Den maksimale nedbøyningen er i følge modellen 7.2 mm. Kravet fra FOR 2000-06-13 nr 660 for en luke av stål i denne størrelsen er at største tillatte nedbøyning er  $0.0028 \times 2744 = 7.8 \text{ mm}$ . For luker i andre materialer heter det bare at luken skal holde tett. Det antas imidlertid at kravet for stålluken også dekker kravet om at luken skal holde tett. Da største nedbøyning for sandwichluken er mindre enn kravet ville ha vært hvis luken var av stål ansees dette kravet som oppfylt.



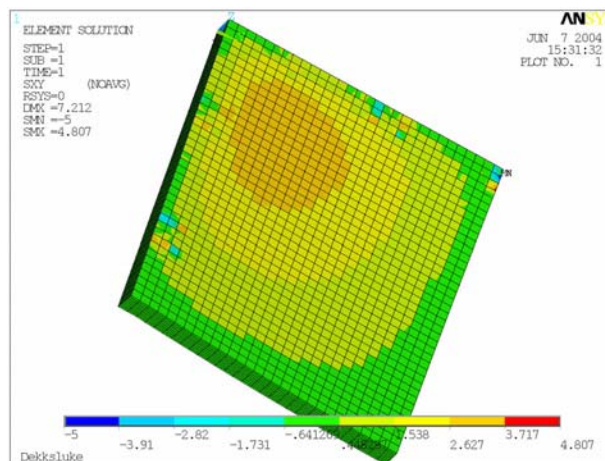
Figur 12: Den maksimale nedbøyningen av luken er 7.2 mm. Dette er innenfor kravet fra FOR 2000-06-13 nr 660.

Figur 13 til venstre viser at spenningene i planet er lave. Normalspenningene i huden  $\sigma_x$  og  $\sigma_y$  er maksimalt rundt 30 MPa. Dette betyr at normalspenningene i huden maksimalt er rundt 6.5 % av bruddstyrken til huden.

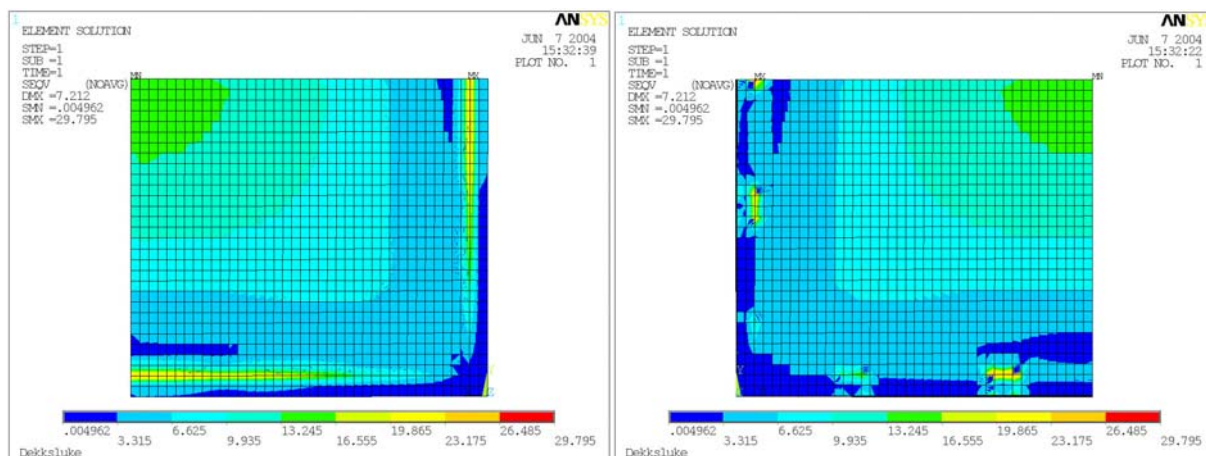


Figur 13: Normalspenningene i huden  $\sigma_x$  og  $\sigma_y$  er maksimalt rundt 30 MPa. Dette betyr at normalspenningene i huden maksimalt er rundt 6.5 % av bruddstyrken til huden.

Disse maksimalverdiene opptrer rundt hengslene. Ute i det frie feltet er spenningene langt lavere bare rundt 10-20 MPa i strekk/trykk. Skjærspenningen  $\tau_{xy}$ , som vises i figur 14, ligger maksimalt på omtrent 5 MPa. dette er under 7 % av skjærstyrken til huden. Maksimalverdiene finnes også her ved hengslene. I feltet er verdiene bare 2-3 MPa. Dette er vist i figur 14.



Figur 14: Skjærspenningen  $\tau_{xy}$ , ligger maksimalt på omtrent 5 MPa. dette er under 7 % av skjærstyrken til huden.

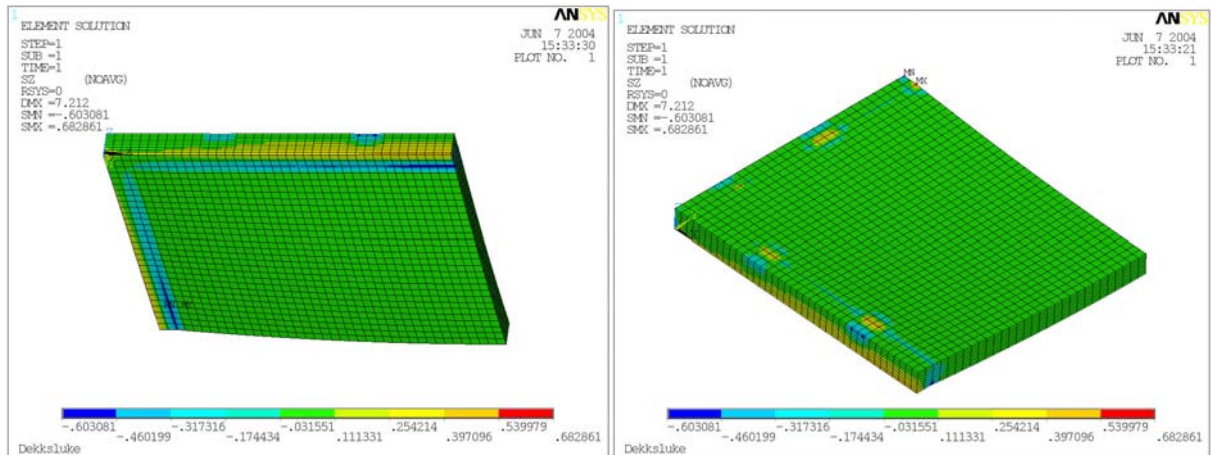


Figur 15: Von Mises spenninger: Til venstre vises spenningsfordelingen på undersiden av luken. De største verdiene er registrert der luken ligger an mot karmen. Til høyre vises oversiden. Legg merke til at de største verdiene er rundt hengsler/låser. Maksimalverdiene er imidlertid lave, bare rundt 30 MPa.

I figur 15 vises von Mises spenningene. Disse har sine ekstremverdier ved karmen i underkant av luken og ved låser og hengsler i overkant av luken. Maksimalverdiene er lave, bare rundt 30 MPa.

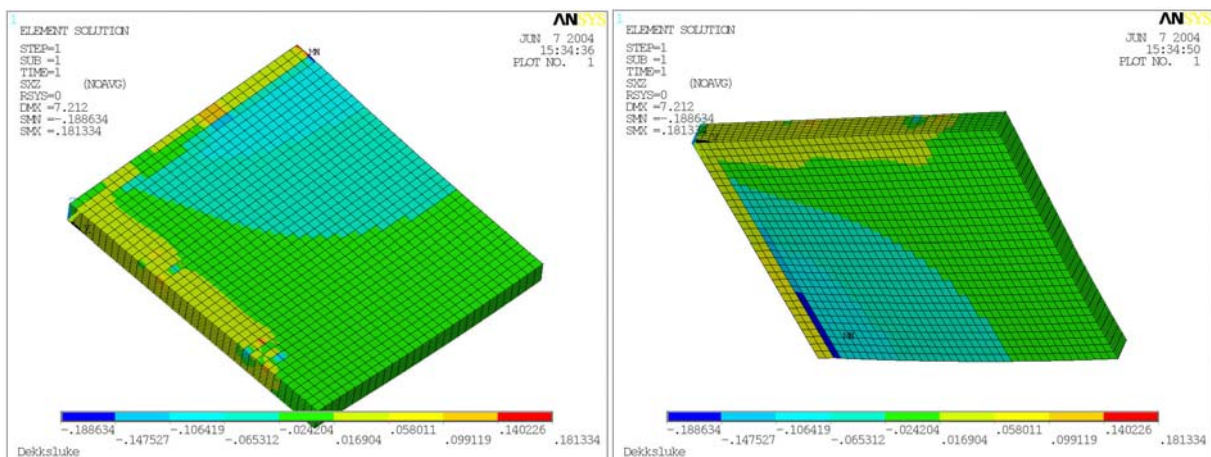
Analysen viser at kompresjonsspenningene i skummet der luken ligger an i mot karmen er ca 50% av bruddstyrken til kjernen. H80 kjerner har en styrke på 1.2 MPa mens maksimalverdiene fra ANSYS kjøringene er oppe i 0.60 MPa. Dette gir for lav sikkerhet mot brudd. Legges det inn H130 kjerne, med en bruddstyrke i kompresjon på 2.6 MPa, i denne sonen vil man være nede i 23 % av bruddstyrken. Dette er illustrert i figur 18. I overkant av luken er den maksimale strekkspenningen på 0.68 MPa ved hengslene. Dette er 16 % av strekkstyrken til H80 kjernen.





Figur 16: Venstre: Kompresjonsspenningene i skummet er maksimale i kjernen der luken er presset mot karmen. Verdiene er oppe i 0.60 MPa, dvs. ca 50 % av styrken til skumkjernen som er 1.2 MPa. Legges det inn H130 kjerne de ytterste 30 cm av luken langs hele kanten kommer man ned i 23 % av bruddstyrken. Høyre: Det er strekkspenninger på 0.68 MPa i overkant ved hengslene. Dette er 16 % av strekkstyrken til kjernen.

Figur 17 viser at skjærspenningene i kjernen er under 20 % av den bruddstyrken i skjær som H80 kjerne har. Dette er tilfredsstillende.



Figur 17: Skjærspenningene  $\tau_{xz}$ : Venstre; oversiden med maksimalverdier ved hengsler på 0.18 MPa. Dette er 18 % av skjærstyrken til H80 kjernen. Høyre; undersiden med maksimal skjær langs karmopplegget. ca 18 % av skjærstyrken til H80 kjernen også her. Verdiene for  $\tau_{yz}$  er omtrent like store

## 9.2 Konklusjon for sandwichluke med 2xLT2000 hud

De numeriske ANSYS simuleringene av luken indikerer at luken nesten besitter de nødvendige egenskaper som skal til for å kunne tilfredsstill standard FOR 2000-06-13 nr 660 der det heter: ”Tillatt spenning er lik bruddstyrke dividert med 4.25”.

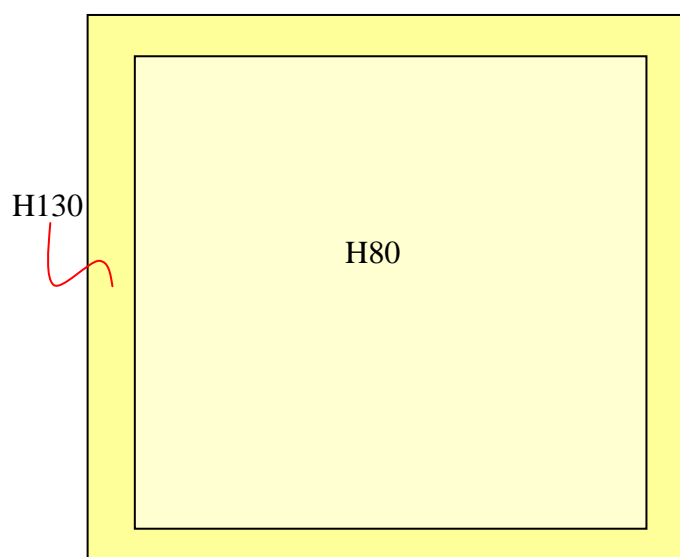
Dette gir:

Krav maksimal strekkspenning laminat: 108 MPa > virkelig maksimal strekkspenning: 30 MPa  
 Krav maksimal trykkspenning laminat: 108 MPa > virkelig maksimal trykkspenning: 29 Mpa  
 Krav til maksimal skjærstyrke laminat: 16 MPa > virkelig maksimal skjærspenning: 5 MPa  
 Krav maksimal strekkspenning H80: 0.51 MPa < virkelig maksimal strekkspenning: 0.68MPa  
 Krav maksimal trykkspenning H80 : 0.28 MPa < virkelig maksimal trykkspenning: 0.60 MPa  
 Krav maksimal skjærspenning H80: 0.23 MPa > virkelig maksimal skjærspenning: 0.18 MPa

Dette betyr at 2 av kravene ikke er tilfredsstilt. Erstattes de ytterste 30 cm med H130 (kompresjonsstyrke på 2.6 MPa og strekkstyrke på 4.2 MPa.) kjerne, se figur 18, vil imidlertid kravene endres til:

Krav maksimal strekkspenning H130: 0.99 MPa > virkelig maksimal strekkspenning: 0.68MPa  
 Krav maksimal trykkspenning H130 : 0.62 MPa > virkelig maksimal trykkspenning: 0.60 MPa

I tillegg er kravet om maksimalt tillatt nedbøyning for stålluker tilfredsstilt. Samtlige av kravene fra FOR 2000-06-13 nr 660 er da oppfylt for dette alternativet.



*Figur 18: Langs kanten i en 30 cm bred sone legges det inn H130 kjerne. På denne måten tilfredsstilles samtlige krav fra standarden.*

## 9.3 Konklusjon for sandwichluke med VTR 4 hud

Analysene foretatt i ANSYS med denne hudtypen avdekker at dette alternativet ikke holder. Innledende studier av en forenklet modell antydte at dette alternativet muligens kunne holde men den forfinede modellen med karm, hengsler og låser avdekket at spenningsverdier rundt disse oppleggene overstiger kravene fra standarden. Kravet til maksimal nedbøyning blir også oversteget. Dette alternativet ser derfor ikke ut til å være egnet til formålet.

## 10 Vurdering av slagstyrke

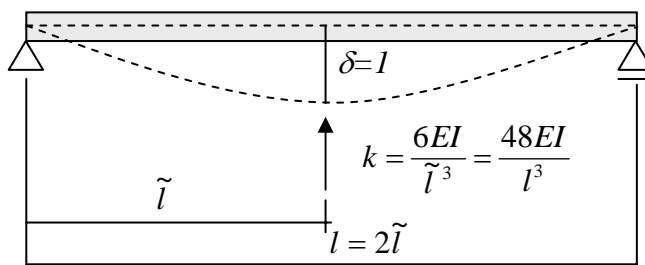
### 10.1 Innledning

En dekksluke blir som annet utstyr om bord utsatt for tøff behandling. Det er fullt mulig at tunge gjenstander kan falle ned på den slik at luken utsettes for kraftige slag eller støt. Følgelig er det meget viktig at luken i tillegg til å holde tett og inneha nødvendig stivhet også tåler tøff behandling og slag. Sandwichpanelets slagstyrke er derfor en viktig parameter for en slik luke.

### 10.2 Sammenligning av lukepanel og SINTEF testpanel

Sandwichpanelet som i rapporten er foreslått benyttet til luken er bygget opp av en hud i 3 mm [0/90] glassfiberarmert herdeplast og av en 100 mm H80 kjerne. Dette sandwichpanelet er meget likt et panel som er testet ved SINTEF Materialer og kjemi, bortsett fra at disse hadde tynnere kjerne. For å forvise seg om at resultatene fra testingen ved SINTEF er relevante for lukepanelet er det foretatt en vurdering med hensyn på panelenes globale bøyestivhet og panelets lokale stivhet.

For enkelhets skyld vil vurderingene bli gjort på en sandwichbjelke, i stedet for et sandwichpanel. Dette blir selvsagt ikke 100 % korrekt men tilstrekkelig nøyaktig for formålet, nemlig å sammenligne nedbøyningsstivheten til de to panelene; lukepanelet og SINTEF testpanelet.



Figur 19: Nedbøyningsstivheten  $k$  til en fritt opplagt bjelke finnes ved hjelp av enhetsforskyvningsmetoden. Man finner  $k = 48EI/l^3$ .

Nedbøyningsstivheten for en fritt opplagt bjelke kan finnes ved hjelp av enhetsforskyvningsmetoden, se figur 19. En enhetsforskyvning påføres i den retning man ønsker å finne stivheten. I dette tilfellet blir stivheten:

$$k = \frac{48EI}{l^3}$$

der  $l$  er bjelkelengde  $E$  er stivhet for sandwich hud og  $I$  er treghetsmomentet

Vi ønsker nå å sammenligne to bjelker:

- Bjelke 1: Denne bjelken har omtrent samme lengde som luken: 3 mm [0/90] hud og 100 mm kjerne. Lengde 2500 mm.
- Bjelke 2: Denne bjelken har samme lengde som det slagtestede sandwichpanelet testet hos SINTEF [15]: 3 mm [0/90] hud og 25 mm kjerne. Lengde 620 mm.

Ønsker å undersøke om stivheten er av samme størrelsesorden

$$k_1 = k_2$$

$$\frac{48EI_1}{l_1^3} = \frac{48EI_2}{l_2^3}$$

$$\frac{I_1}{l_1^3} = \frac{I_2}{l_2^3}$$

$$\text{der } I_i = bh^3/12(1+3d/h+3d^2/h^2), \quad i=1,2,$$

for bjelke med enhetstykkelse  $b=1$ . Konstantene er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Nøkkeltall for beregningene. Bjelke 1; (lukesandwich), 100 mm H80 kjerne og 3 mm [0/90] laminathud, Bjelke 2 (slagtestet sandwich), 25 mm H80 kjerne og 3 mm [0/90] laminathud

Navn	Symbol	Størrelse
Treghetsmoment bjelke 1	$I_1$	15918 mm <sup>4</sup>
Treghetsmoment bjelke 2	$I_2$	1181 mm <sup>4</sup>
Kjernetykkelse bjelke 1	$d_1$	100 mm
Kjernetykkelse bjelke 2	$d_2$	25 mm
Hudtykkelse begge bjelker	$h/2$	3 mm
Lengde bjelke 1	$l_1$	2500 mm
Lengde bjelke 2	$l_2$	620 mm

Ligningen over blir imidlertid ikke oppfylt her. I stedet søker vi å finne lengden av bjelke 1 som skal til for å få samme stivhet som det slagtestede sandwichpanelet, bjelke 2.

$$\frac{I_1}{\hat{l}_1^3} = \frac{I_2}{l_2^3}$$

Setter inn verdiene fra tabell DD og regner ut

$$\hat{l}_1 = \sqrt[3]{I_1 l_2^3 / I_2} = \sqrt[3]{15918 \cdot 620^3 / 1181} = 1476 \text{ mm}$$

Hvis man setter  $l_2=2500$  mm finner man at stivheten er 1/5 av stivheten til en bjelke med lengde 1476 mm. Selv om de to panelene ikke har nøyaktig samme stivhet har de absolutt en stivhet som er i samme størrelsesorden og som er tilstrekkelig lik til at testresultatene også har gyldighet for lukepanelet.

### 10.3 Slagtesting av sandwichpanel

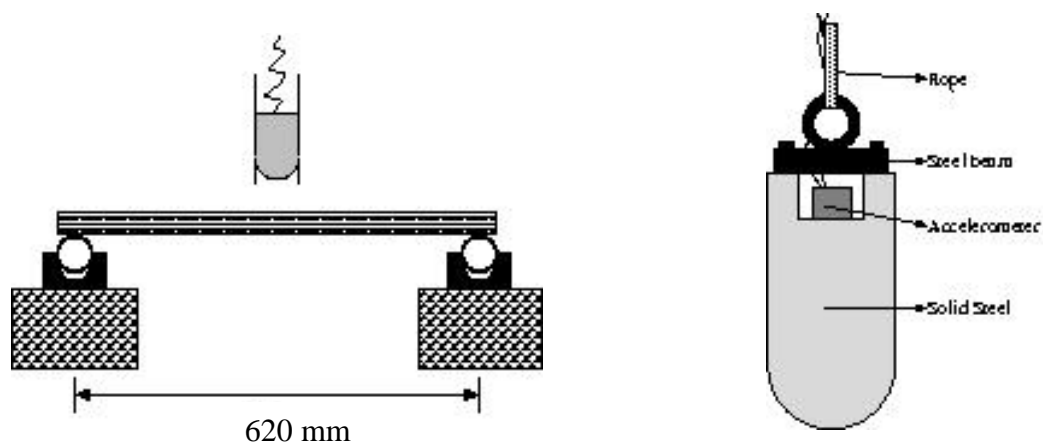
På SINTEF Materialer og kjemi ble det i forbindelse med en hovedfagsoppgave av Sigve Takle utført slagtesting av sandwichpaneler av samme type som bjelke 2, dvs. med 25 mm H80 Divinycell kjerne og 3 mm [0/90] glassfiberhud [15]. Panelene som målte 620x620 mm ble instrumentert med strekkklapper for å måle tøyninger og lagt opp på en stållamme. Stålloddet som ble brukt til slaget var av stål, veide 6.2 kg og hadde en diameter på 75 mm. Tuppen av loddet var utformet som en halvkule. Loddet var instrumentert med en akselometer for å kunne måle akselerasjonen. Fra disse målingene kan kraftforløp, energiabsorpsjon, hastigheter og forskyvninger beregnes. Loddet er skissert i figur 21.

Huden til sandwichet som ble slagtestet er identisk med huden som er foreslått til luken, et 3 mm tykt [0/90] laminat. De mekaniske egenskapene til huden er totalt dominerende når det gjelder skadeutbredelsen. Kjernen er også av samme type, men tykkelsene er forskjellige, 100 mm kjernetykkelse i luken og 25 mm kjernetykkelse i testpanelet. Dette betyr at kjernen har samme styrke og dermed påføres samme skadeomfang for en gitt lokal deformering av huden. Videre er indikerer beregningene over at luken har noe lavere nedbøyningsstivheten enn det testede sandwichpanelet. Dette betyr at energien fra et slag vil gå med til global deformasjon i større grad enn hos testpanelet. Noe som igjen betyr at det er noe mindre energi igjen til å påføre lokale skader. Alt dette peker i den retning av at luken i utgangspunktet er minst like slagresistent som det testede panelet.

I figur 20 vises et fotografi av testriggen. Riggen består av et fire meter langt ventilert perspexrør festet til et reisverk av tre. Loddet slippes så fra ønsket høyde ned i gjennom røret. Sandwichpanelet ligger på stållammen oppe på Lecafundamenter under røret. Lecafundamentet med stållamme og panel er vist i figur 21 sammen med det 6.2 kg tunge loddet.



*Figur 20: Slagriggen. Perspexrøret er ventilert slik at loddet faller fritt og det ikke oppstår turbulens i bakkant av loddet. Røret som er 4 meter langt er festet med stålbånd til et solid trereisverk.*



Figur 21: Venstre: Skisse av panelet lagt opp på stålrørssammen som igjen ligger på Lecafundamentet. Høyre: Loddet er 75 mm i diameter har halvkuleformet tupp og veier 6.2 kg. Et akselerometer er festet i overkant.

Loddets masse og sliphøyde bestemmer den energimengden som er tilgjengelig for slaget. Denne energien kalles den potensielle energi. Loddets masse ganget med tyngdens akselerasjon ganget med sliphøyden gir energimengden. Den potensielle energien  $E_p$  for slaget er dermed gitt av:

$$E_p = mgh = 6.2 \cdot 9.81 \cdot 3.50 \text{ Nm} = 213 \text{ J}$$

Der  $m = 6.2 \text{ kg}$  er loddets masse,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  er tyngdens akselerasjon og  $h = 3.5 \text{ m}$  er fallhøyden til loddet.

Neglisjeres friksjon i røret og luftmotstand går all potensiell energi over til bevegelsesenergi, såkalt kinetisk energi. Den kinetiske energien  $E_k$  er gitt av:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

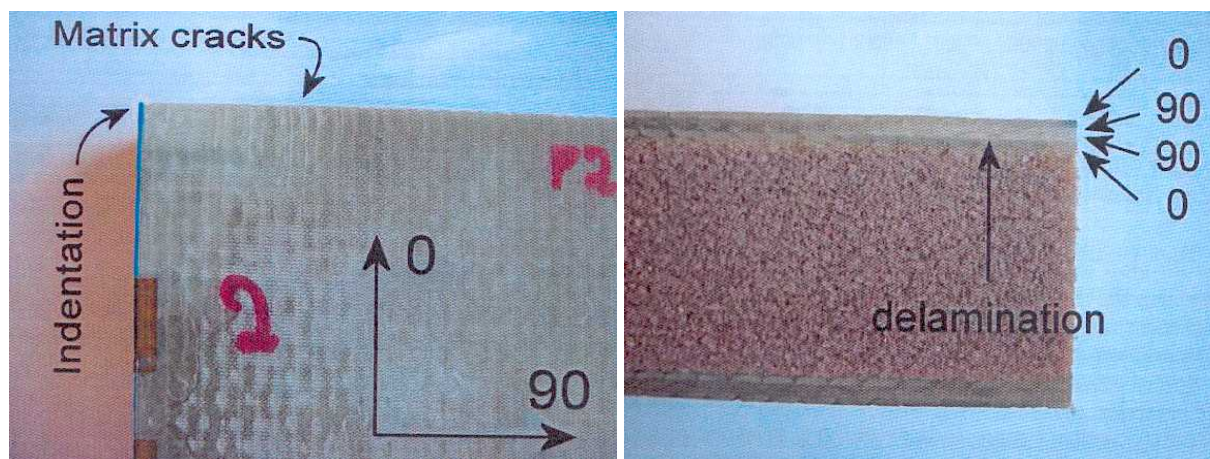
Der  $m = 6.2 \text{ kg}$  er loddets masse og  $v$  er loddets hastighet.

$$\begin{aligned} E_p &= E_k \\ mgh &= \frac{1}{2}mv^2 \\ \Downarrow \\ v &= \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

Det gir at hastigheten til loddet når fallhøyden er 3.5 meter er 8.3 m/s (30 km/t) umiddelbart før panelet treffes.

Det viser seg at loddet på 6.2 kg, sluppet fra 3.5 meter høyde påførte bare mindre skader på panelet. Det synlige skadeområdet hadde en radiell utstrekning på 20 mm fra slagsenteret. Huden rett under slagsenteret fikk små matriseprekker og en liten delaminering mellom nedre 90 og 0 lag. Det ble ikke registrert gjennomgående sprekker i laminatet av noe slag ned i mot kjernen. I figur 22 er det testede panelet delt opp slik at dette vises. Streklapper montert i umiddelbar

nærhet av slagsenteret viste maksimale tøyninger opp i mot 0.8-1.1 %. Dette er bare en tredjedel av bruddtøyning. Det ble ikke observert noen synlig skade på kjernen eller på huden i underkant av sandwichet. Beveget man seg mer enn 20 mm fra slagsenteret var sandwichet totalt uskadd. Den globale stivhet var helt upåvirket av slaget [15]. Panelets overflate var også helt plan etter slaget.



Figur 22: Venstre: ¼ del av sandwichpanelet sett ovenfra, slaget (213 J) har funnet sted i øverste venstre hjørne. De små matrisesprekkene i overflaten av huden er synlige i 0-retning. Høyre: Det forekommer noe delaminering mellom nederste 90- og 0-lag. Det kan ikke observeres gjennomgående sprekker i huden av noe slag. Kjernen ser uskadet ut, men man kan presse huden noe ned ved slagsenter. Dette tyder på at kjernen er noe skadd rett under slagsenter. Panelet er plant etter slaget.

Energien fra et slag som dette tilsvarer at nesten 22 kg faller fra 1 meters høyde ned på luken. Slaget er med andre ord meget kraftig. Hvis gjenstanden som faller ned på luken er spiss vil selvfølgelig scenariet endres, da man sannsynligvis vil få penetrering av huden. Uansett er det hevet over enhver tvil at dette sandwichpanelet vil være meget robust og slagresistent.

#### 10.4 Slagtesting av aluminiumsplate

Huden på aluminiumsluken vist i figur 23 er en 8 mm aluminiumsplate. Denne er sveist fast i L-profiler med senteravstand 550 mm. For å få en ide om hvor slagsterk en slik tung og kraftig plate er (en 8 mm aluminiumsplate på 2.774x2.474 m<sup>2</sup> veier nesten 150 kg). En plate på 620x620 mm ble lagt opp på samme rigg som ble benyttet i slagtestingen av sandwichpanelet. Dette er veldig likt platefeltet med stivere som er i den virkelige luken. Senteravstanden mellom L-profilene på luken er nemlig ikke langt unna lysåpningen på testriggen.

Loddet på 6.2 kg ble sluppet fra 3.5 meters høyde. Som tidligere vist betyr det at energimengden disponibel for slaget er 213 J og at loddets hastighet umiddelbart før slaget er omtrent 8.3 m/s eller 30 km/t. Det ble ikke benyttet akselerometer eller strekkklapper under testen.

Resultatet av slaget er en relativt kraftig bulk. Bulken er 6 mm dyp og har en radius på omtrent 15 cm. Skaden ser ikke dramatisk ut men platen har en godt synelig permanent bulk. I figur 23 vises fotografi av skaden sammen med en linjal.



Figur 23: En 8 mm aluminiumsplate etter slaget (213 J). Skaden er 6 mm dyp og har en radius på 15 cm. Skaden er permanent.

## 11 Vektberegninger

### 11.1 Aluminiumsluke

Det skal nå foretas en beregning av massen til luken konstruert i aluminium. Følgende forutsettes.

- Arealet av luken er  $2.474 \times 2.774 = 6.86 \text{ m}^2$
- Aluminiumshuden er på henholdsvis 8 og 6 mm
- Det benyttes  $6 \times 2.474 + 2 \times 2.774 = 20.392$  løpemeter med 125x75x9 mm L-profil
- Det benyttes  $2 \times 2.474 + 2 \times 2.774 = 10.496$  løpemeter 40x8 mm kantprofil
- Tetthet aluminium:  $2.7 \text{ g/cm}^3 = 2700 \text{ kg/m}^3$
- Neglisjerer vekt av hengsler, håndtak og låsemekanismer

Vekten for luken blir da:

$$\text{Vekt hud: } 2.474 \cdot 2.774 \cdot \frac{(8+6)}{1000} \cdot 2700 = 259.42 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt L-profil: } 20.392 \cdot \frac{(125+75) \cdot 9}{1000^2} \cdot 2700 = 99.11 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt kantprofil: } 10.496 \cdot \frac{40 \cdot 8}{1000^2} \cdot 2700 = 9.07 \text{ kg}$$

Total vekt eks. håndtak, hengsler og låsemekanismer blir:

$$\text{Vekt aluminiumsluke: } 259.42 + 99.11 + 9.07 = 367.60 \text{ kg}$$



## 11.2 Sandwichluke

Det skal også foretas en vektberegning for komposittluken. Følgende forutsettes.

- Arealet av luken er  $2.474 \times 2.774 = 6.86 \text{ m}^2$
- Huden er 3 mm tykk (2xLT2000/Polyester,  $W_f = 70 \%$  eller  $V_f = 53 \%$ )
- Tykkelse kjerne luke: 100 mm
- Tykkelse isolering av bolter H40: 50 mm
- Areal 0.7 mm aluminiumsgarnering og 50 mm H40 kjerne:  $5.0 \text{ m}^2$
- Areal av 3 mm kantlaminat (150 mm langs hele lukekanten):  $1.5 \text{ m}^2$
- Tetthet H80 kjerne:  $80 \text{ kg/m}^3$
- Tetthet H40 kjerne:  $40 \text{ kg/m}^3$
- Tetthet H130 kjerne:  $130 \text{ kg/m}^3$
- Tetthet aluminium:  $2.7 \text{ g/cm}^3 = 2700 \text{ kg/m}^3$
- Tetthet laminat:  $1.89 \text{ g/cm}^3 = 1890 \text{ kg/m}^3$
- Neglisjerer vekt av hengsler, håndtak og låsemekanismer

Når det gjelder tettheten for laminatet er den beregnet som følger:

Forutsetter at tettheten for glassfiber  $\rho_f = 2.5 \text{ g/cm}^3$  og at tetthet resin (polyester/vinylester) er  $\rho_m = 1.2 \text{ g/cm}^3$  og at vektandelen fiber er 70 % dvs.  $W_f = 0.70$

Finner da tettheten til komposittet  $\rho_c$ :

$$\rho_c = \frac{1}{(W_f / \rho_f) + (W_m / \rho_m)} = \frac{1}{(0.7 / 2.5) + (0.3 / 1.2)} = 1.89 \text{ g/cm}^3$$

Vekten for luken blir da:

$$\text{Vekt hud: } 2.474 \cdot 2.774 \cdot \frac{(3+3)}{1000} \cdot 1890 = 77.83 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt 100 mm H80 kjerne: } 1.874 \cdot 2.174 \cdot \frac{(100)}{1000} \cdot 80 = 32.59 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt 100 mm H130 kjerne: } (2.474 \cdot 2.774 - 1.874 \cdot 2.174) \cdot \frac{(100)}{1000} \cdot 130 = 36.25 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt av 50 mm isolasjon bolter: } 5 \cdot \frac{50}{1000} \cdot 40 = 10.00 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt av 0.7 mm aluminiumsgarnering: } 5 \cdot \frac{0.7}{1000} \cdot 2700 = 9.45 \text{ kg}$$

$$\text{Vekt kantlaminat: } 1.5 \cdot \frac{3}{1000^2} \cdot 1890 = 8.51 \text{ kg}$$

Total vekt eks. håndtak, hengsler og låsemekanismer blir:

$$\text{Vekt luke i sandwich: } 77.83 + 32.59 + 36.25 + 10.00 + 9.45 + 8.51 = 174.63 \text{ kg}$$

### 11.3 Vektvurdering

Aluminiumsluken er beregnet til å veie drøye 360 kg, mens sandwichluken veier drøye 175 kg. Det betyr at differansen er 185 kg eller at sandwichluken bare veier 49 % av det aluminiumsluken veier. Hvis man antar at hengsler og låsemekanismer veier omtrent det samme reduseres selvsagt den prosentvise besparelsen. Basert på en grov vektantagelse for hengsler og låsemekanismer vil sannsynligvis vektbesparelsen for luken, inkludert hengsler og låsemekanismer, være ca 35-40 %.

Med en lukeløsning i sandwich blir i tillegg isolasjonspluggen som benyttes for aluminiumsluker overflødig. Dette betyr en ytterligere vektbesparelse.

En gjennomgang av spesifikasjoner for store fiskefartøy (50-60 m) viste at det totalt kan være ca 10 tonn med aluminiumsluker på slike fartøy. Dette betyr at den totale vektbesparelsen vil være ca 3-4 tonn for fartøy av denne typen.

## 12 Referanseliste

- [1] Agarwal, BD & Broutman, LJ, "Analysis and performance of fiber composites". Wiley Interscience 1990
- [2] Amateau, MF, "Course notes - Engineering composite materials", The Pennsylvania State University, Department of engineering science and mechanics, 2002
- [3] Andersen, A, "Forelesningsnotater ME 354 Komposittmaterialer", Universitetet i Oslo, Matematisk institutt, Avdeling for mekanikk, 1999
- [4] Abrate, S, "Lecture notes-Composite materials", Southern Illinois University, 2000
- [5] Andersen, A, "Mekanisk testing av injiserte [0/90]glass- og karbonfiberlaminater", SINTEF Rapport STF24 F02053, 2002
- [6] Sheno, RA, "FRP Composite Materials for Ship Constructions"
- [7] Smeby, Kobberstad, "Tekniske regnetabeller", J. W. Cappelens Forlag AS, 1986
- [8] Friberg, Reidar, "Pris- og vektvurdering av overbygg i sandwich til fiskefartøy", SINTEF Rapport, 2004
- [9] ANSYS "Theory Manual", [www.ansys.com](http://www.ansys.com)
- [10] Rolls-Royce NVC design, "Hatch on main deck, fr. 32+300 – 37 s.b. side, 1:10", tegning no. 6202-304-039, 2003
- [11] Libra Palst AS, "Libra weathertight GRP hatch A-30 type with- tf/ with-7, 1:15"
- [12] Cook, Robert D., Malkus, David S., Plesha, Michale E., "Concepts and applications of finite element analysis". John Wiley & Sons, 1989
- [13] [www.diabgroup.com](http://www.diabgroup.com), DIAB information resource, 2003

- [14] [www.norskstaal.no](http://www.norskstaal.no), Norsk stål AS
- [15] Takle, Sigve, "Experimental and numerical studies of impact behaviour og GRP reinforced composite sandwich materials" Cand. Scient Thesis, UiO, Department of Mathematics, Mechanics Division, 2003