

www.sintef.no





SINTEF Materialer og kjemi

Postadresse: Boks 124, Blindern
0314 Oslo

Besøksadresse: Forskningsveien 1

Telefon: 4000 3730

Telefaks: 22 06 73 50

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Bruk av kompositt-/sandwichmaterialer som konstruksjonsmateriale i store fiskefartøy

Forprosjekt – FHF 333023-1

FORFATTER(E)

Reidar Stokke

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Fiskarlag (Teknologiforum)

| | | | |
|---|---|--|-----------------------------|
| RAPPORTNR. SINTEF A7088 | GRADERING Åpen | OPPDRAGSGIVERS REF. Joakim Martinsen | |
| GRADER. DENNE SIDE Åpen | ISBN 978-82-14-04544-1 | PROSJEKTNR. 80510200 | ANTALL SIDER OG BILAG 33 |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE Rapp-komp-fiskefartøy-080612.doc | PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Reidar Stokke <i>R. Stokke</i> | VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Einar Hinrichsen <i>Einar Hinrichsen</i> | |
| ARKIVKODE | DATO 2008-06-12 | GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Einar Hinrichsen, Forskningsleder <i>Einar Hinrichsen</i> | |

SAMMENDRAG

Det er innhentet data om bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i fiskefartøy, andre større skip og andre tilsvarende anvendelser. Dette har omfattet informasjon fra litteratur, internett og forskningsprosjekter. Mens anvendelsen tidligere var mye konsentrert om marine fartøyer og lystfartøy er det nå stor aktivitet rettet mot sivil skipsfart og bruk i store ferger, passasjerskip og lasteskip. Resultater fra konseptstudier utført i store internasjonale FoU-prosjekter viser at bruk av sandwichkonstruksjoner generelt gir en vektbesparelse på ca. 50 % sammenlignet med stål selv for løsninger med brannisolasjon i henhold til SOLAS. Resultatene viser også at investeringene betaler seg i løpet av en 2 – 5 års periode. Norge er langt fremme i bruk av sandwichmaterialer i fiskefartøy. De største fiskefartøyene laget i Norge er nylig forlenget fra ca. 70 fot til 90 fot. Det arbeides nå med å prosjektere et fiskefartøy i sandwich på 43 m. Erfaringen indikerer at de er sammenlignbare i pris med tilsvarende fartøy i stål og ca. 50 % lettere. En undersøkelse blant svenske redere har vist at en viktig forutsetning for økt bruk av materialene er økt kunnskapsnivå hos rederne og dokumentasjon av fordeler i form av kostnader og vekt.

Basert på resultatene fra kartleggingsarbeidet foreslås det å gjennomføre en konseptstudie for å produsere store fiskefartøy (40 – 60 m) i kompositt-/sandwichmaterialer. Lette fiskefartøy med mulighet for betydelig reduksjon i drivstoffutgifter og økt fart er spesielt viktig nå når drivstoffprisene øker kraftig. Rapporten beskriver hovedelementene i en slik konseptstudie. Aktuelle deltagere som representerer skipskonsulenter, skipsverft og ingeniørfirma med erfaring i design og dimensjonering av fartøyer er kontaktet og har sagt seg interessert i å delta. Det forutsettes også aktiv deltagelse fra redere.

| STIKKORD | NORSK | ENGELSK |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|
| GRUPPE 1 | Fiskefartøy | Fishing vessel |
| GRUPPE 2 | Kompositt- og sandwichmaterialer | Composite- and sandwichmaterials |
| EGENVALGTE | Anvendelse | Application |
| | | |
| | | |

INNHALDSFORTEGNELSE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Innledning | 3 |
| 2 | Hovedkonklusjoner | 3 |
| 3 | Resultater av kartleggingsarbeidet | 5 |
| 3.1 | Anvendelse av kompositt-/sandwichmaterialer i store fartøyer | 6 |
| 3.2 | Structural application of composites in the U.S. Navy | 6 |
| 3.3 | Fremstilling av kompositt- og sandwichpaneler ved pultrudering | 8 |
| 3.4 | Produksjon basert på kompositt-/sandwich ved tradisjonelt verft | 8 |
| 3.5 | Helikopterhangar i kompositt på en fregatt | 9 |
| 3.6 | Lettvektskonstruksjoner for skipskonstruksjon | 10 |
| 3.7 | Nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter | 11 |
| 3.7.1 | Nye materialløsninger for fiskeflåten (2002-2005) (7) | 12 |
| 3.7.2 | CompoShip (8) | 12 |
| 3.7.3 | Lightweight construction applications at sea (LÄSS) (9, 10, 11) | 14 |
| 3.7.4 | KOMPOSAND (12, 13, 14 og 15) | 15 |
| 3.7.5 | SAFEDOR (16, 17, 18 og 19) | 17 |
| 3.7.6 | DE-LIGHT Transport (21) | 19 |
| 3.7.7 | BONDSHIP (22) | 20 |
| 3.7.8 | EUCLID RTP3.21 (23, 24) | 21 |
| 3.8 | Materialvalgsvurderinger for kompositter i marinefartøy | 22 |
| 3.9 | Miljøkonsekvenser ved bruk av kompositt/sandwich i skip | 25 |
| 3.10 | Nytt forskningsprosjekt på resirkulering av fritidsbåter i kompositter | 27 |
| 3.11 | Holdning hos rederier til lettvektsmaterialer | 27 |
| 4 | Konseptstudie for å bygge store fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer | 29 |
| 4.1 | Bakgrunn og begrunnelse for gjennomføring av en konseptstudie | 29 |
| 4.2 | Hovedpunkter i en konseptstudie | 30 |
| 5 | Referanser | 32 |

1 Innledning

Rapporten beskriver resultater fra et forprosjekt med tittel: Bruk av kompositt-/sandwichmaterialer som konstruksjonsmateriale i store fiskefartøy. Forprosjektet er finansiert av Teknologiforum i Norges fiskarlag.

Bakgrunnen var prosjektet, "Nye materialløsninger i fiskeflåten", som ble gjennomført i perioden 2002 til 2005 av SINTEF Materialer og kjemi i samarbeid med SINTEF Fiskeri og havbruk. Øvrige deltagere var skipskonsulenter, redere, verft og produsenter. Prosjektet ble finansiert av Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond og administrert av Norges forskningsråd. Prosjektet ble konsentrert om kompositt-/sandwichmaterialer og det ble gjennomført konseptstudier for bruk av materialene i utvalgte komponenter hvor potensialet for forbedring ble ansett å være størst. Dette omfattet overbygninger, løse RSW-tanker, store dekksluker og signalmaster. Resultatene som er oppsummert lenger bak i rapporten, viste at det kunne oppnås betydelige fordeler ved bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i utvalgte komponenter på fiskefartøy.

Resultatene var så lovende at det ble foreslått å videreføre dette arbeidet rettet mot bruk av kompositt-/sandwichmaterialer som konstruksjonsmateriale i store fiskefartøy. Det ble i første omgang bevilget midler til dette forprosjektet. Formålet med forprosjektet var å fremskaffe informasjon og data som grunnlag for å sette i gang et større prosjekt på bruk av kompositt-/sandwichmaterialer som konstruksjonsmateriale i store fiskefartøy og bruke denne informasjonen til å planlegge innhold og oppgaver i et slikt hovedprosjekt. Det er lagt vekt på å fremskaffe informasjon som belyser de fordelene som kan oppnås ved bruk av kompositt-/sandwichmaterialer spesielt med hensyn til vekt og kostnader. Dette er basert på en omfattende kartlegging av tilgjengelig informasjon som også omfatter sikkerhetsmessige aspekter og gjennomførbare konstruksjon med sandwichmaterialer.

Rapporten omfatter en oppsummering av resultater fra kartleggingsarbeidet og et forslag til en videreføring i form av konseptstudie for bygging av store fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer.

2 Hovedkonklusjoner

Det er gjennomført en omfattende kartlegging av bruk av kompositt-/sandwichmaterialer som konstruksjonsmateriale i ulike typer fartøy. Dette er basert på søk i litteraturløstasjoner, søk på internett og på innhenting av resultater fra nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter. Resultatene av dette arbeidet viser at det pågår en omfattende aktivitet for å ta i bruk lette materialløsninger i konstruksjon av skip. Mens bruk av kompositt-/sandwichmaterialer tidligere dreide seg mye om marinefartøyer og store lystfartøyer er det nå stort fokus på å ta materialene i bruk i sivil skipsfart. Dette dreier seg om store ferger, passasjerskip og lasteskip. På store fartøyer har det vært mye fokus på bruk i komponenter og delkonstruksjoner og det har vært spesielt mye fokus på anvendelse i overbygninger.

Resultater fra konseptstudier utført i store internasjonale FoU-prosjekter viser at bruk av sandwichkonstruksjoner generelt gir en vektbesparelse på ca. 50 % sammenlignet med stål selv for løsninger med brannisolasjon i henhold til SOLAS. Resultater av slike konseptstudier viser også at konstruksjoner i kompositt-/sandwichmaterialer gir signifikant vektreduksjon når de sammenlignes med tilsvarende aluminiumbaserte løsninger. Kostnadsvurderinger viser generelt at konstruksjoner i kompositt-/sandwich blir noe dyrere enn tradisjonelle konstruksjoner basert på stål, men at investeringene blir lønnsomme i løpet av en 2 – 5 års periode. Det er behov for mer inngående analyser av kostnadssammenligninger mellom konstruksjonsløsninger i kompositt-

/sandwich og tradisjonelle løsninger basert på stål og aluminium. Slike studier bør inneholde livssyklusanalyser (LCA) og analyser av levetidskostnader (LCC). Disse resultatene refererer i hovedsak til studier knyttet til militære fartøy og store sivile fartøy som godkjennes i henhold til SOLAS konvensjonen. Vekt og kostnadssammenligningen antas å være gunstigere for kompositt-/sandwichmaterialer for fiskefartøy hvor belastningene vil være mindre og regelverket mindre strengt.

En undersøkelse blant svenske redere (27) har vist at de har en overveiende positiv holdning til å ta i bruk kompositt-/sandwichmaterialer på sine fartøyer. Undersøkelsen viste også at en viktig forutsetning for mer utstrakt bruk av materialene er økt kunnskapsnivå hos rederne og bedre dokumentasjon av fordeler i form av kostnader og vekt.

En undersøkelse utført av Umoe Mandal AS (4) viste at skipsbyggere som er vant til å arbeide med stål har få problemer med å tilpasse seg arbeid med kompositt-/sandwichmaterialer. De konkluderte også med at typiske skipsverft vil være i stand til å implementere produksjon basert på kompositt-/sandwichmaterialer.

For skip som kommer inn under regelverkene i IMO og SOLAS er det utviklet løsninger i sandwich som tilfredsstiller brannkravene til FRD 60 (IMO-HSC) og A60 (SOLAS). Også disse konstruksjonene med brannbeskyttelse er funnet å gi en vektbesparelse på ca. 50 % sammenlignet med stål. Risikobasert design som dokumenterer ekvivalent sikkerhet med tradisjonelle løsninger bidrar til at det blir lettere å implementere nye materialløsninger på skip som faller under SOLAS konvensjonen.

Rapporten belyser også miljøkonsekvenser ved bruk av komposittmaterialer i skipsbygging (26). Uviklingen når det gjelder lover og forskrifter knyttet til avfalsbehandling belyses. Det understrekes at det blir viktigere å ta hensyn til dette allerede i designfasen. Det er nettopp startet et prosjekt i Norge på gjenvinning av kompositter fra fritidsbåter. Resultatene vil være anvendelige for materialgjenvinning av kompositter generelt.

De største fartøyene som er konstruert helt i sandwich er militære fartøyer. Det største av disse er den svenske Visby klasse korvetten som er 72 m lang og bygget i sandwichmaterialer med karbonfiberarmering i hudlaminatene. Et annet eksempel er de norske motortorpedobåtene (Fast Attack Crafts) som bygges av Umoe Mandal AS. Disse fartøyene er ca. 50 m lange og er unike i internasjonal sammenheng når det gjelder fart, manøvreringsevne og evne til ikke å bli oppdaget av radarer. Et annet eksempel på unike fartøyer i sandwich som bygges i Norge er hurtiggående fartøyer som bygges av Brødrene Aa AS i sandwich med karbonfiberarmering. Dette er både ambulanse og passasjerfartøyer. De to siste prosjekteres for bygging og levering i 2009 og 2010. Det største av disse er 38,2 meter langt og får en kapasitet på 294 passasjerer. Norge er også langt fremme når det gjelder å bygge relativt store fiskefartøy helt i sandwich. Mundal Båt AS har tidligere bygget slike fiskefartøy på 70 -75 fot. Disse bygges i moduler som lamineres sammen omtrent som på stålfartøy. Flere av disse fartøyene er nylig forlenget til 90 fot. Forlengelsen gjøres ved å dele fartøyene i to og laminere inn en midtseksjon. Mundal Båt AS samarbeider nå med skipsdesignerfirmaet Maritime Engineering med prosjektering av et fiskefartøy i sandwich med en lengde på 43 meter. Erfaringen indikerer at fiskefartøyene i sandwich er sammenlignbare i pris med tilsvarende fartøy i stål og ca. 50 % lettere.

Basert på dette og på resultatene av kartleggingsarbeidet forslås det å gjennomføre en konseptstudie for å bygge store fiskefartøy (40-60 meter) i kompositt-/sandwichmaterialer. Fiskefartøy er spesielt godt egnet for å lages i kompositt/sandwich fordi de har mange dekk og stor høydeforskjell mellom bunn og øverste dekk. Det gir høyt treghetsmoment og en bøyestiv

konstruksjon. De fordelene som trekkes frem ved å lage store fiskefartøy i kompositt/sandwich er bl.a.:

- Betydelig vektreduksjon
Lavere deplasement gir mulighet for finere skroglinjer, lavere drivstofforbruk og mulighet for økt marsjhastighet. Lavere vekt vil gjøre båtene enklere å manøvrere og gi lettere bevegelser i sjøen og mindre slitasje på bruk ved fiske i dårlig vær. Vektreduksjon vil også gi mulighet for økt lastekapasitet.
- Betydelig reduksjon av vedlikeholdskostnader
- Fartøy i sandwich vil være ferdig isolert
Det vil ikke være problemer med kondensdannelse som kan bidra til fuktighet, korrosjon, raskere aldring og luktproblemer. Dette vil også bidra til bedre komfort for mannskapet.
- Enkle å reparere og bygge om
Fartøy i kompositt/sandwich hevdes å være ukompliserte å reparere, enkle å bygge om og raskere og billigere å utruste

Det er spesielt viktig å gjennomføre en slik konseptstudie nå fordi den kraftige prisstigningen på drivstoff bidrar sterkt til å redusere lønnsomheten for fiskerne. Vi har sett overskrifter i pressen om fiskere som står i fare for å måtte innstille virksomheten på grunn av de økte driftsutgifter som forårsakes av høye drivstoffpriser. Bygging av fiskefartøy i kompositt-/sandwich gir et potensial for å redusere lettskipsvekten med opp til 50 % i forhold til tilsvarende fartøyer i stål. Dette kan i tillegg til de fordelene som er angitt ovenfor utnyttes på to måter som har stor direkte innvirkning på lønnsomheten for fiskerne. Det ene er reduksjon i drivstoffutgifter og det andre er økt hastighet som i mange tilfeller kan gi betydelige gevinster med hensyn til tidsaspektet ved levering av fangst. Vektreduksjon kan også gi kostnadmessige gevinster i form av innsparing i motorkraft og med hensyn til utstyr og fangstbruk.

Rapporten beskriver hovedelementene i en slik konseptstudie. Viktige elementer i dette vil være å bidra til økt kunnskap hos rederne, frembringe pålitelige data om vektreduksjon og kostnader inkludert analyse av levetidskostnader. Dette vil redusere skepsis til å ta i bruk nye materialer. Det er tatt kontakt med aktuelle deltagere som representerer skipskonsulenter med erfaring fra design av store fiskefartøy, skipsverft med erfaring fra bygging av fartøy i sandwich, ingeniørfirma med erfaring i design og dimensjonering av fartøyer i stål og sandwich og materialleverandører. De har alle sagt seg interessert i å delta. Det forutsettes også aktiv deltagelse fra redere.

3 Resultater av kartleggingsarbeidet

Nedenfor gis det en oppsummering av resultatene fra kartleggingsarbeidet. Konklusjonene underbygger viktigheten av å gjennomføre den foreslåtte konseptstudien slik at det etableres et objektivt grunnlag for å vurdere kompositt-/sandwichmaterialer som et reelt alternativ for å designe og bygge store fiskefartøy. Oppsummeringen refererer til arbeider hvor bruk av komposittmaterialer i store fartøyer er vurdert, resultater fra vitenskapelige publikasjoner, resultater fra arbeider som er presentert på nettet og resultater fra store forskningsprosjekter som tar for seg bruk av lettvektsmaterialer i skipsdesign.

Kartleggingen viser stor aktivitet når det gjelder økt bruk av lette materialer ved design av skip. Drivkraften er å utvikle mer miljøvennlige skipskonstruksjoner, redusere levetidskostnadene ved drift av skip og å utvikle skipskonstruksjoner med mindre behov for vedlikehold. Den satsingen som pågår og den aktive deltagelsen fra de viktige aktørene og bedriftene innen skipssektoren viser at det er et stort behov i bransjen for i økende grad å implementere lettvektskonstruksjoner. Teknologien er moden og tilgjengelig, men kan utvikles videre både med hensyn til

materialløsninger og produksjonsmetoder slik at de potensielle fordelene kan utnyttes i enda større grad enn med dagens teknologi.

3.1 Anvendelse av kompositt-/sandwichmaterialer i store fartøyer

Al Horsmon (1) gjennomgår i et foredrag fra 2005 eksempler på bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i store skip. Han trekker frem at det nå er standard å produsere store motoryachter i komposittmaterier og at slike fartøyer for ikke lang tid siden var dominert av metaller. Han nevner Magic på 130 fot og Roxanna som er en 47 m (155 fot) motoryacht som er laget helt i komposittmaterialer. Han nevner at det finnes mange eksempler på motoryachter i denne størrelsen laget i kompositter. Fartøyene lages oftest i sandwichbasert kompositt med vinylester resing og E-glassfiber som armering. Det benyttes vanligvis en kjerne av polymerskum som vanligvis er PVC. Fartøyene er ABS klasset for drift i på åpent hav. Mirabella V er den hittil største lystbåt i komposittmaterialer. Det er en seilbåt.

Horsmon trekker også frem den svenske Visby klasse korvetten på 72 m som er laget helt i sandwich med karbonfiberarmert vinylester i hudlaminatene. Dette gir høy styrke, høy stivhet, lav vekt, god evne til å motstå sjokkbelastninger og lav radarsignatur. Dette fartøyet er bygd av Kochums ved Karlskronavarvet i Sverige. Verftet oppgir en vektbesparelse på 50 % sammenlignet med et konvensjonelt stålskrog. Han viser også til motortorpedobåtene på 47 m som lages hos Umoe Mandal AS. Disse fartøyene lages i sandwich med glassfiberarmert vinylester i hudlaminatene og hovedsakelig PVC-skum i kjernen.

Horsmon trekker også frem at kompositter er det enerådende materialvalget i store vindmølleblader. Det planlegges blader med lengde opp til 60 m. Det benyttes en kombinasjon av glass- og karbonfiber i disse bladene. De dimensjoneres med levetid på 25 år under utmattingsbelastninger.

Vakuump assistert injisering (VARTM) har blitt den fortrukne produksjonsmetoden for å lage store strukturer i komposittmaterialer. I tillegg til fartøyskrog lages det også hele deksstrukturer i sandwich med innebygde stivere og lastbærende elementer ved slik vakuump assistert injisering. I slike deksstrukturer kan det også integreres åpninger til luker i samme produksjonstrinn. Et eksempel på en stor struktur lagd ved injisering er et 44 m langt skrog. Produsenten hevder at bruk av injisering medfører besparelse i arbeidskostnader sammenlignet med håndopplegg på nær 50 %.

3.2 Structural application of composites in the U.S. Navy

Dr. Erik Rasmussen, Naval Surface Warfare Center, oppsummerte i et foredrag fra 2005 (2) eksempler på strukturelle anvendelser av kompositter i U.S. Navy. Foredraget ble innledet med en oversikt over aktuelle produksjonsmetoder, materialer og viktige lastscenarier for bruk i U.S. Navy.

Aktuelle produksjonsmetoder

Krav til metode: Ikke bruk av autoklav, rimelig kostnad for verktøy/former, lavt poreinnhold, høyt fiberinnhold, mulig å oppskalere.

Aktuelle metoder: Vakuump assistert injisering (VARTM), Resin injection resirculation Molding (RIRM), Lav temperatur prepreg, UV-herdende resiner

Aktuelle materialer (resiner, armeringsfiber, armeringer og kjernematerialer):

Vinylester, polyester, fenol; E- og S2-glassfiber, karbonfiber; Vevd roving, tunge strikkede armeringer; balsa tre, polymerskum.

Typiske laster og andre krav: De mest aktuelle lasttypene for dem var dynamiske og statiske laster, bøyning av skrogbjelke, laster fra passerende bølger, grønn sjø og skipsbevegelser. I kampsituasjoner kommer også sjokklaster, eksplosjonslaster og laster fra småkaliber ammunisjon. Krav til oppførsel i brann er viktig og i den forbindelse brannspredning, brannmotstand og strukturell integritet i brann.

Eksempler på aktiviteter for å ta i bruk kompositt-/sandwichmaterialer ble gjennomgått. Dette omfatter bl.a.:

U.S. Navy arbeidet bl.a. med å utvikle en helikopter hangar for fartøyer i komposittmaterialer. De lages nå i stål. Arbeidet omfatter å utvikle designløsninger for hangaren og dørene til hangaren som møter alle skipskrav. Utviklingen skal føres frem til produksjon og installasjon av hangar med dører på et fartøy og skal demonstrere at bruk av kompositter er et reelt alternativ for skip i U.S. Navy. Testene omfatter bl.a. sjokktesting, branntesting og testing av effekt av lynnedslag.

Et annet stort utviklingsarbeid som pågår i US Navy er utvikling av hele skrog basert på komposittmaterialer. Skrog til korvetter med lengde på ca. 280 fot. Motivene er vektreduksjon, økt skipsytelse, sammenlignbare kostnader med stål og økt fleksibilitet i skroget. Utviklingen baseres innledningsvis på fremstilling av skrogseksjoner i halv størrelse med utgangspunkt i seksjoner som veier ca 10 tonn. Ulike produksjonsprosesser undersøkes (VARTM, UV-VARTM, lavtemperatur og UV-herdende prepreg). Skrogseksjonen utsettes for fullskala bøye og kollapstester og sjokktester ved at seksjonene utsettes for eksplosjonspåkjenninger.

U.S. Navy arbeider også med en gjennomførbarhetsstudie av å lage et stort hurtiggående fartøy helt i komposittmaterialer. (All - Composite High Speed Vessel -CHSV). Karakteristiske dimensjoner for fartøyet var: LOA – 90,6 m, LWL – 73,3 m, BOA – 22,3 m, Design hastighet – 40 kts, deplasement – 1989 tonn. Viktige elementene i utviklingen var design, fremstilling og testing av komponenter og fremstilling av en fullskala baugseksjon for å demonstrere konseptet. Viktige elementer i dette var materialvalg, utforming av skrogstrukturer, strukturanalyser og gjennomføring av strukturelle tester, installasjon av utstyr og prosedyrer for reparasjon. Løsninger basert på E-glass-vinylester, karbonfiber-vinylester og karbonfiber-epoksy ble vurdert.

I forbindelse med implementering av løsninger i kompositt-/sandwichmaterialer investerer U.S. Navy i FoU relatert til skjøter og skjøteforbindelser. Det omfatter bl.a. å utvikle design, retningslinjer for utforming av skjøteforbindelser, metoder for å analysere slike forbindelser og bestemmelse av kritiske testdata.

Et annet utviklingsprosjekt er bygging av hangar og integrert overbygning i komposittmaterialer til et 186 m langt fremtidig krigsskip. Overbygningen var 40 m lang, 15 m bred og 18 m høy. Det ble benyttet en sandwichkonstruksjon i overbygningen med karbonfiberarmert vinylester i hudlaminatene og en kjerne av balsatre.

US Navy uttaler til slutt at de nå investerer mye ressurser i å ta i bruk komposittmaterialer i større omfang. De uttaler også at det finnes god kompetanse i ingeniørmiljøene og nødvendige metoder for design og analyser og at nødvendige testdata er tilgjengelige. De sier også at effektive og rimelige produksjonsmetoder er tilgjengelige i dag for fremstilling av store strukturer i kompositter. De sier avslutningsvis at komposittmaterialer vil ha økende betydning for fremtidige fartøyer i US Navy.

3.3 Fremstilling av kompositt- og sandwichpaneler ved pultrudering

En bedrift i USA informerer (3) om at de produserer panelstrukturer med bredde opp til 10 fot basert på pultrudering. Bedriften produserer 10 000 kg ferdige komposittstrukturer ved pultrudering pr. time. For effektivt produserte pultruderte strukturer nærmer kostnadene seg råvarekostnadene. Bedriften hevder å kunne produsere paneler basert på pultrudering med glass- og karbonfiberarmering. De kan også produsere sandwichpaneler med opp til 90 mm kjerne av balsatre ved pultrudering.

Det hevdes at et sett skipspaneler produsert ved pultrudering vil koste tilnærmet halvparten av tilsvarende paneler fremstilt ved injisering (VARTM). Materialkostnadene utgjør 82-85 % av panelkostnadene. Det kan på denne måten produseres 8-10 fot brede paneler. Panelene kan også produseres med integrerte skjøter. Det arbeides med å utvikle et brannresistent kjernemateriale som dannes under selve produksjonsprosessen. Denne prosessen hvor kjernematerialet dannes under pultruderingen bidrar til å redusere panelkostnadene og panelene tilfredsstiller kravene til brannresistens i henhold til UL-1709.

Bedriften har også utviklet en luke basert på kompositter. Utgangspunktet var en nåværende lukekonstruksjon i stål som veide ca 135 kg. Den nyutviklede luken basert på komposittmaterialer (delvis i sandwich) veide ca 35 kg, noe som tilsvarer en vektreduksjon på nær 75 %. Kostnadene for komposittluken ble hevdet å være tilnærmet lik kostnadene for luken i stål og med redusert behov for vedlikehold blir levetidskostnadene gunstige. En kontinuerlig klemanordning rundt omkretsen av luken sikrer at den holder tett selv med bevegelser i omkringliggende deksstruktur.

Det er også utviklet en akterrampe basert på pultruderte polyuretanprofiler. Det hevdes å gi en svært skaderesistent struktur. Den hevdes å være mer skaderesistent enn aluminiumsstrukturen den erstattet, samtidig som maling blir overflødig. Den polyuretanbaserte strukturen medfører også en vektreduksjon på ca 50 %.

3.4 Produksjon basert på kompositt-/sandwich ved tradisjonelt verft

John Vonli og Glenn Eliassen fra Umoe Mandal AS holdt et foredrag (4) om teknologioverføring og opplæring i produksjonsteknologi for kompositt-/sandwichmaterialer for implementering i skipsbygging.

Krav om økt hastighet, nye skrogformer (katamaran, SES, etc), reduserte kostnader (mannskap, vedlikehold), pålitelighet og til signaturer fører til økt fokus på bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i skipsdesign.

Utviklingen av militære fartøyer i kompositter hos Umoe Mandal var basert på definerte funksjonskrav. Gjennom testing av materialer og prosesser kunne antallet materialkvaliteter redusert betraktelig. Antallet resiner ble redusert fra 7 til 3 og antallet armeringer fra 3 til 2. I tillegg ble ulike typer og kvaliteter av kjernematerialer og systemer for passiv brannbeskyttelse utprøvd.

Et viktig ledd i produksjonen av fartøyene i sandwich hos Umoe Mandal var å etablere en rasjonell produksjonslinje for fremstilling av sandwichpaneler ved injisering. Den ble optimalisert med hensyn på tid for opplegg av armeringer og injiseringstid. Det ble utviklet betingelser som ga repeterbar materialkvalitet, repeterbare egenskaper og repeterbare vektter.

En viktig faktor i utviklingsprosessen var opptrening av arbeidsstokken i produksjon basert på komposittmaterialer.

En seksjon av det nedre skroget (6,5 x 7 x 3 m) ble valgt som demonstrasjonseksempel for å dokumentere at et verft som normalt produserte stålfartøyer kunne produsere skip i kompositter med tilstrekkelig kvalitet. Denne seksjonen inneholdt alle typer materialer som var aktuelle for fartøyet. Fremstilling av denne demonstrasjonsseksjonen ble gjennomført for å få svar på to viktige spørsmål:

- Kan skipsbyggere med erfaring fra stålskip bygge skip i kompositter
- Blir kvaliteten på produktet repeterbar

Denne demonstrasjonsseksjonen ble også benyttet til opplæring av et arbeidsteam om kompositter og om produksjonsteknologi. Medlemmene i teamet som hadde erfaring fra stål, ble gitt 40 timer introduksjonsopplæring i kompositteknologi og 100 timers produksjonsopplæring. Etter denne opplæringen produserte teamet over 370 m² med sandwichpaneler.

I forbindelse med demonstrasjonsseksjonen ble det utprøvd 4 resinsystemer, 5 kjernematerialer og to limtyper for skjøter. Arbeidet omfattet dessuten utprøving av ulike skjøter, skottgjennomføringer, utstyrfundamenter og sammenkobling av paneler.

Konklusjonen fra denne demonstrasjonsstudien var at skipsbyggere som er vant til å arbeide med stål har få problemer med å tilpasse seg arbeid med kompositt-/sandwichmaterialer. Erfaringen fra arbeidet med denne demonstrasjonsseksjonen ble også utnyttet til å utvikle pålitelige opplæringsmetoder og til å redusere behovet for arbeidskraft i ulike operasjoner. Det viste også at det ville være mindre behov for oppsyn og overvåking under produksjonen. Den overordnede konklusjonen var at typiske skipsverft vil være i stand til å implementere produksjon basert på kompositt-/sandwichmaterialer.

3.5 Helikopterhangar i kompositt på en fregatt

Som en del av det europeiske prosjektet EUCLID RTP3.21 ble det gjennomført en konseptstudie (5) for bygging av en helikopterhangar på en fregatt i kompositt-/sandwichmaterialer. Denne hangaren var opprinnelig bygd i stål. Konseptstudien var et samarbeid mellom en rekke partnere. Norske deltagere var Det Norske Veritas, Umoe Mandal og FiReCo. Øvrige deltagere kom fra England, Frankrike, Italia og Nederland.

Helikopterhangaren ble valgt som case for å demonstrere bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i overbygninger på store stålfartøyer med spesiell vekt på militære fartøyer. Målet var å kvalifisere komposittløsninger for realistiske påkjenninger og realistiske driftsbetingelser. Det ble tatt utgangspunkt i et basisdesign som var lignende det som ble benyttet i overbygget på den franske fregatten Lafayette. Alternative designløsninger ble diskutert og basert på dette ble et nytt forbedret design valgt og utgjorde grunnlaget for det endelige designet av helikopterhangaren. Det ble lagt vekt på design og modellering av skjøter (metall/komposittskjøter, T-skjøter og skjøting av stivere), på å kombinere tester og modellering for å prediktere oppførsel og på å inkorporere resultater i retningslinjer for design av overbygninger på militære fartøyer. Det ble lagt vekt på å utvikle løsninger med tilstrekkelig brannsikkerhet. Kravene reflekterer bruk i militære fartøyer og omfatter både innvendige og utvendige eksponeringslaster.

Testingen som ble gjennomført som et ledd i å verifisere designløsninger for helikopterhangaren omfattet bl.a.:

- Testing av materialer (statisk, dynamisk (utmattning), kombinert utmattningstesting og miljøeksponering, brannegenskaper)

- Testing av skjøteforbindelser (statisk (kompresjon, strekk, bøy), dynamisk (bl.a utvendig eksplosjonsbelastning), temperatursykling, brann)
- Testing av fullskala seksjoner med skjøter (eksplosjon (utvendig og innvendig), eksplosjon med fragmenter, brann, brann etter treff av fragmenter)

Det ble utviklet produksjonsprosedyrer for alle kritiske detaljer og prosedyrer for å demonstrere pålitelighet av skjøter basert på å kombinere testing og modellering. Det ble også funnet frem til pålitelige ikke destruktive test og kontrollmetoder. Det ble vist at konstruksjoner med kompositter var pålitelige og krevde lite vedlikehold. Det ble også vist at termisk sykling, utmatningsbelastninger og lang tids eksponering i realistisk miljø under belastning og med varierende temperatur ikke representerte vesentlige problemer for kompositt/metallskjøtene for overbygninger.

Basert på den endelige designløsningen for helikopterhangaren i kompositt-/sandwichmaterialer ble det beregnet en vektreduksjon på 60 % sammenlignet med den opprinnelige konstruksjonsløsningen i stål. Der ble beregnet at de initiale byggekostnadene for løsningen i kompositt/sandwich ville bli 40-50% høyere enn før alternativet i stål. Denne kostnadsforskjellen ville imidlertid ha liten betydning for total kostnaden for skipet. Det ble imidlertid understreket at løsningen i kompositt/sandwich ville føre til en reduksjon i kostnader i driftsfasen av skipet ved lavere vekt, mindre behov for vedlikehold og mannskap til dette. En analyse av levetidskostnader (LCC) vil gi et bedre grunnlag for kostnadssammenligning.

En hovedkonklusjon som ble trukket fra denne konseptstudien var at den har bidratt til å styrke grunnlaget for mer utstrakt bruk av komposittmaterialer i militære fartøyer. Det bør også legges til at denne helikopterhangaren er designet og dimensjonert ut fra krav og belastninger som er typiske for militære fartøyer. Disse kravene er betydelig strengere enn for fiskefartøyer.

3.6 Lettvektskonstruksjoner for skipskonstruksjon

I en artikkel som ble skrevet i av P. Noury et al i 2002, "Lightweight construction for advanced shipbuilding – recent development (6)", gis det en oppsummering av vurderinger i forbindelse med å ta i bruk lette materialløsninger i skipsdesign. Artikkelen er bl.a. basert på erfaringen fra europeiske forskningsprosjekter. Den inneholder mye nyttig informasjon i forbindelse med å ta i bruk lette materialer i skipsbygging.

I løpet av de siste 20-30 år har bruk av aluminium og polymerbaserte komposittmaterialer i skipsbygging stadig økt. Sivile anvendelser omfatter ikke bare hurtiggående fartøyer men også store deler av overbygninger på store passasjerfartøyer. Militære anvendelser omfatter minesveipere, raske patruljebåter og overbygninger på store militære fartøyer.

Hovedgrunnene som trekkes frem i artikkelen for å fokusere på økt bruk av lette konstruksjonsmaterialer i skipsbygging er:

- Tillater økt lastekapasitet for skip med gitt størrelse
- Tillater høyere hastighet
- Reduserer drivstofforbruk og miljøutslipp for en gitt last og en gitt tilbakelagt distanse

For skip med mange dekk trekkes det frem fordelene ved å bruke lette materialer i de øvre dekk med hensyn til å senke tyngdepunktet og dermed forbedre stabiliteten og med hensyn til å oppnå høyere høyde/bredde forhold. Det siste er relevant for fiskefartøyer.

Mange regulerende dokumenter for skip er beskrivende og reflekterer for eksempel i stor grad hva som kan oppnås med en struktur laget i stål. Disse kravene er oppstått over år slik at det oppnås et

balansert design i stål som er i overensstemmelse med kravene. Et eksempel er kravene i SOLAS konvensjonen at strukturelle materialer i mange områder skal være ikke brennbare. Dette kravet har lenge utelukket effektivt bruk av kompositter, selv om det kan utvikles løsninger basert på komposittmaterialer som gir bedre sikkerhet i brann enn aksepterte løsninger i stål. Dette har nå blitt tatt hensyn til i nye reguleringer som tillater bruk av nye løsninger dersom det kan demonstreres ved risikoanalyse at sikkerheten er ekvivalent eller bedre enn aksepterte løsninger.

De viktigste elementene som trekkes frem i forbindelse med vurdering av kostnader for marinefartøyer er:

- produksjonskostnader inkludert kostnader for materialer, verktøy/former og arbeid
- driftskostnader knyttet til inspeksjon, vedlikehold, reparasjon, modifikasjoner, utskiftning og mannskap

For å vurdere forskjeller mellom ulike designløsninger basert bla. på bruk av ulike materialer bør også fordeler ved økt hastighet, forbedret manøvreringsevne, vektreduksjon og ved å innebygge multifunksjonelle egenskaper i strukturene inkluderes.

En spesiell utfordring ved bruk av kompositter i skipskonstruksjoner er skjøter mellom kompositt/sandwich og stål for eksempel ved innfesting av overbygninger i kompositt på stålskrog. For sandwichkonstruksjoner er T-skjøter en vanlig metode som også brukes mye i sivile fartøyer. Svakheten for denne typen skjøt ligger i bøying ved belastninger på tvers. Dette er ikke noe stort problem ved anvendelse i sivile skip hvor slike bøyebelastninger kan unngås. I marinefartøyer oppstår imidlertid slike belastninger fra innvendige eksplosjoner. Kravene til skjøter og belastningene de utsettes for er mindre i sivile fartøy hvor våpeninduserte belastninger som gjelder for marinefartøyer ikke er aktuelle.

Limforbindelser får økt oppmerksomhet i skipsbyggingsindustrien som en ny sammenføyningsmetode spesielt for lette konstruksjonsmaterialer. Aluminium og kompositter er nå vanlige materialvalg i overbygninger på passasjerskip og hurtiggående fartøyer og som konstruksjonsmateriale i mindre skip. Målet er å spare vekt og å gjøre produksjonen mer effektiv. Noen av fordelene ved å benytte limforbindelser er at de ikke endrer egenskapene i materialet som sammenføres, at de tillater sammenføring av forskjellige materialer, at de ikke krever varmt arbeid og at det gir fleksibilitet i byggeprosessen ved at sammenføring kan gjøres nært varmesensitivt utstyr.

Fornuftig bruk av kompositter innen skipsbygging krever forståelse av forskjellene mellom stål og komposittstrukturer. De spesifikke designkravene for en komposittstruktur avviker fra tilsvarende krav for en stålstruktur. Denne forståelsen er viktig for å utvikle optimale strukturelle anvendelser av kompositter.

Viktige utfordringer ved bruk av kompositt-/sandwichmaterialer innen skipsbygging er knyttet til bl.a. dokumentasjon av materialegenskaper, robusthet i produksjonsprosessene, metoder for effektiv ikke destruktiv inspeksjon, oppførsel i brann og effektive sammenføyningsmetoder. Utviklingen fra beskrivende krav i internasjonale forskrifter mot mer funksjonelle krav, sikkerhetsanalyser og sannsynlighetsbasert design vil gjøre det lettere å benytte materialene.

3.7 Nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter

Det har siden tidlig på 2000 tallet og frem til nå vært initiert en rekke store forskningsprosjekter for å utvikle grunnlag for økt bruk av lette konstruksjonsmaterialer innen skipsbygging. Alle de sentrale aktørene i denne bransjen har vært representert i disse prosjektene. Det omfatter bl.a. rederier, skipsverft, skipskonstruktører, klasseselskap, material- og utstyrsleverandører og

forskningsorganisasjoner. Totalt representerer disse prosjektene en meget omfattende forskningsinnsats og understreker behovet for å implementere lette konstruksjonsmaterialer i skipsbygging og for å utvikle nye innovative designløsninger. Her gis det en oppsummering av noen hovedresultater fra disse prosjektene.

3.7.1 Nye materialløsninger for fiskeflåten (2002-2005) (7)

Dette er et nasjonalt prosjekt som ble gjennomført av SINTEF Materialer og kjemi i samarbeid med SINTEF Fiskeri og havbruk. Deltagere i prosjektet var skipskonsulenter, redere, verft og produsenter. Prosjektet ble finansiert av Fiskeri og havbruksnæringens forskningsfond og administrert av Norges forskningsråd. Budsjettet for prosjektet var 4 millioner NOK. Hovedmålsettingen var å finne frem til nye materialløsninger som kan bidra til å redusere vekt, korrosjon, slitasje, vedlikeholdsbehov samt å forenkle montering og forbedre isolasjon av innredning og lasterom på fiskefartøy.

Innledende kartleggingsarbeid identifiserte 20-25 delkonstruksjoner hvor det ble uttrykt behov for å vurdere nye materialløsninger. Basert på resultatene ble det besluttet å konsentrere arbeidet om bruk av kompositt- og sandwichmaterialer og å gjennomføre konseptstudier for utvalgte komponenter/delkonstruksjoner hvor potensialet for forbedring ble ansett å være størst. Hensikten var å dokumentere de fordeler som kan oppnås. Det ble gjennomført konseptstudier for bruk av kompositt-/ sandwichmaterialer i overbygninger, løse RSW-tanker (Refrigerated Sea Water), store dekksluker og signalmaster.

Resultatene viste at det kan oppnås betydelige vektbesparelser ved å ta i bruk kompositt-/sandwichmaterialer i utvalgte komponenter på fiskefartøy. I tillegg vil det oppnås besparelser i vedlikeholdskostnader på grunn av materialenes korrosjonsresistens og lange levetid. Vektbesparelsene kan utnyttes til å bedre fartøyenes stabilitet, øke lastekapasiteten, redusere drivstofforbruk og øke hastigheten.

Resultatene viste at bruk av sandwich i overbygninger vil være konkurransedyktig i pris med isolert aluminium og gi en vektbesparelse på 50-70 %. For et overbygg på et stort fiskefartøy (52 m) kan vekten reduseres med nær 20 tonn. Analyser for et 44 m snurper/snurravadfartøy har vist at et konsept basert på løse RSW-tanker i sandwich kan gi en vektbesparelse på over 40 tonn eller nær 10 % av lettskipsvekten sammenlignet med tradisjonell stålplategarnering. Beregninger har vist at bruk av kompositt/sandwich i store luker kan gi en vektbesparelse på nær 50 % i forhold til aluminium og for et stort fiskefartøy kan vektreduksjonen bli 3-4 tonn ved å bygge lukene i kompositt/sandwich. Analyse av alternativ konstruksjonsløsning basert på komposittmaterialer for signalmasten på fiskefartøy viste at vektbesparelsen ville bli marginal i forhold til skipsvekten og at andre faktorer som kostnader, vedlikehold, interferens med elektronisk utstyr etc., vil påvirke materialvalget.

Resultatene er oppsummert i åtte separate rapporter. I tillegg til konseptstudiene er det skrevet en rapport som oppsummerer kartleggingsarbeidet og en rapport som gir en introduksjon om kompositt- og sandwichmaterialer for de som vurderer og ta dem i bruk i fiskeflåten. En egen rapport gir et sammendrag av alle resultatene. Rapportene er lagt ut på hjemmesidene til Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond.

3.7.2 CompoShip (8)

CompoShip eller som tittelen lyder “Composites on ships” er et nasjonalt prosjekt som ble initiert av NCE Maritime i Ålesund i samarbeid med Høgskulen i Ålesund og en gruppe bedrifter. Bedriftene som deltar er Ulstein Design, Hexagon Composites, Libra Plast og Brødrene Aa.

Prosjektet startet i 2007 og har et budsjett til nå på 2 millioner NOK. Av dette bidrar NCE Maritime med 0,87 millioner NOK og bedriftene bidrar med resten. Prosjektleder er Jonas Wenstrøm fra Hexagon (Devold AMT).

Det overordnede målet er å bidra til og å gjøre det lettere å ta i bruk komposittmaterialer på skip i offshore virksomheten.

Det konkrete målet med prosjektet er å utvikle og produsere en overbygning i kompositt-/sandwichmaterialer til et fartøy som benyttes i oljevirksomheten til havs. Det er et mål at denne overbygningen som erstatter eksisterende overbygning i stål, skal kunne sertifiseres i henhold til eksisterende regelverk (IMO/SOLAS). Hensikten er at en slik sertifisering vil bidra til å åpne veien for mer utstrakt bruk i skipsbygging.

Hovedfordelene som trekkes frem ved å bruke kompositt-/sandwichmaterialer i dette utviklingsprosjektet er mulighet til å redusere vekt og kostnader, utnytte nye designmuligheter, redusere miljøpåvirkning og å forbedre skipets driftsegenskaper.

Prosjektet har så langt vært konsentrert om å utvikle en designløsning for en ROV-hanger på et offshore skip tilhørende Ullstein Design. Utviklingen har vært konsentrert om en hybridløsning som kombinerer aluminium og komposittbaserte sandwichpaneler. Designet er basert på lastbærende profiler i aluminium og værbeskyttende vegger i sandwichpaneler.

Prosjektet har bl.a. omfattet spesifisering av laster, søk etter egnede materialer, dimensjonering av materialer og strukturer, brannsikkerhet, regler og forskrifter, sertifisering, kostnadsvurderinger og analyse av fordelene som oppnås.

Resultatene så langt indikerer at den nye designløsningen basert på aluminium og sandwich vil gi en vektbesparelse på ca. 70 % i forhold til den eksisterende strukturen i stål. En analyse av en designløsning basert bare på kompositt-/sandwichmateriale indikerte en vektreduksjon på opp mot 80 %. En kostnadsanalyse indikerer at hybridhangaren (aluminium og sandwich) vil bli dyrere enn den opprinnelige hangaren i stål (2,6 MNOK sammenlignet med 1,2 MNOK).

Kostnadsforskjellen vil til en viss grad oppveies av andre fordeler som oppnås med hybrid designet. De faktorene som trekkes frem er reduksjon av drivstofforbruket (beregnet til 0,5 % ved 12 knots), økning av kapasitet for dekkslast (5 %), reduksjon i vedlikeholdskostnader (75 %). Vedlikeholdskostnadene vil reduseres med nær 90 % ved en ren sandwichløsning. Vektreduksjonen som oppnås gir også mulighet for vektbesparelse på andre deler av skipet dersom det bringes inn tidlig i designfasen.

Konklusjonen i denne fasen av prosjektet var å forlate hybridløsningen for ROV-hangaren og konsentrere aktiviteten mot rene kompositt/sandwich løsninger og mot andre strukturer på fartøyet hvor fordelene ville være større både fra bygging og drift av skipet. En konklusjon var at boligområdene på fartøyene ville være en interessant anvendelse for kompositter å undersøke mer inngående.

Noen av de tilleggsfordelene som ble trukket frem knyttet til anvendelse av kompositt/sandwich i boligområdene i overbygningen var:

- Økt stabilitet ved vektreduksjon høyt oppe
- Mulighet for prefabrikering, bygging i egen komposittfabrikk
- Økt komfort for mannskapet
- Mulighet for å utvikle effektive produksjonsmuligheter

3.7.3 Lightweight construction applications at sea (LÄSS) (9, 10, 11)

Dette er et stort prosjekt som ble startet i Sverige i januar 2005. Prosjektet er støttet av VINNOVA som er det svenske motstykket til Norges forskningsråd. Deltagere i prosjektet er representanter for svensk skipsindustri, svenske materialleverandører, svenske universiteter og forskningsinstitutter og representanter for myndigheter og classeselskaper. Til sammen deltar mer enn 20 bedrifter, organisasjoner og forskningsinstitutter. Prosjektet var opprinnelig planlagt for tre år, men har fått tilleggsbevilgning fra VINNOVA for en videreføring fra 2008.

Hovedmålet med prosjektet er å utvikle nye designløsninger og nye beregningsmetoder for å legge grunnlag for økt bruk av lette materialer i skipsindustrien. Prosjektet tar opp tekniske problemstillinger som metoder for innfesting og skjøting, styrke, brannresistens, vibrasjoner, akustiske egenskaper og begrensninger i gjeldende regelverk for lettvektskonstruksjoner. For nye materialer blir det gjennomført testing og utviklet design basert på LCA/LCC (Life Cycle Analyses, Life Cycle Costs). Ved å gjennomføre konkrete konseptstudier blir også vekt- og kostnadsanalyser gjennomført. Det overordnede målet er å forbedre effektiviteten innen marin transport og øke konkurranseevnen innen svensk skips- og offshoreindustri.

Det er definert i alt seks konseptstudier som skal gjennomføres som en del av prosjektet. Fire av disse er relevante for kompositt-/sandwichmaterialer og omfatter:

1. Et helt skip laget i komposittmaterialer

Konseptstudien vil omfatte å konvertere et 24 m amfibiefartøy i aluminium til et passasjerfartøy (troppetransport) i komposittmateriale

2. Skip med skrog i aluminium og overbygning i kompositter

Konseptstudien vil omfatte uskiftning av deler av overbygget i aluminium på en 88 m lang høyhastighetsferge bygget i aluminium med et overbygg i komposittbasert sandwich. En struktur i kompositt/sandwich vil ha bedre utmattingssegenskaper, bedre lyddemping, bedre termisk isolasjon og resistens mot slagbelastninger og lavere vekt.

3 Skip med skrog i stål og overbygning i komposittmaterialer

Denne konseptstudien vil ta utgangspunkt i et Ro-Pax fartøy som i dag bygges i stål. Utgangspunktet for konseptstudien er et 188 m kombinert bil og passasjerskip hvor overbygningen i stål erstattes med komposittmaterialer

4 Tørrfrakteskip med skrog i stål og overbygning, luker og bevegelige dekk i sandwichbasert kompositt

I denne studien vil arbeidet omfatte å erstatte overbygning i stål, luker og bevegelige dekk med kompositt/sandwich på et 89 m langt frakteskip designet for innenlands kanaltransport.

Et hovedmål med konseptstudiene er å demonstrere tekniske løsninger som vil medføre minst 30 % lettere konstruksjoner med 25 % lavere total kostnad sammenlignet med konvensjonelle løsninger basert på bruk av stål.

Resultatene fra den første konseptstudien viste at design av fartøyet i kompositt/sandwich med glassfiberarmering ville gi en vektbesparelse på ca. 30 % i forhold til aluminium. Ved bruk av sandwich med karbonfiberarmering ville vektbesparelsen bli nær 45 %. I den andre konseptstudien hvor deler av et overbygg i aluminium erstattes med en sandwichkonstruksjon ble vektbesparelsen beregnet til ca 10 % med bruk av glassfiberarmering og nær 40 % ved bruk av karbonfiberarmering. For de to siste konseptstudiene hvor konstruksjoner i stål erstattes med sandwichkonstruksjoner basert på glassfiberarmering ble vektbesparelsen beregnet til 50-60 %.

Kostnadsberegninger så langt for konseptstudie 1 har vist at det vil være billigere å bygge det 24 m lange fartøyet i komposittbasert sandwich sammenlignet med dagens løsning i aluminium. Dette skyldes bl.a. at behovet for motorkraft blir mindre.

Generelt har prosjektet vist at bruk av avanserte lettvektsmaterialer som komposittbasert sandwich fører til noe høyere initiale byggekostnader og at beregning av levetidskostnader (LCC) er nødvendig for å demonstrere de økonomiske gevinstene ved å implementere disse nye lette materialløsningene. For konseptstudiene 3 og 4 viser foreløpige estimater at implementeringen av de nye materialløsningene blir økonomisk lønnsomme etter 2 – 5 år.

Problemstillinger knyttet til brannsikkerhet har vært sentrale i prosjektet og det er gjennomført omfattende småskala og fullskala branntester for å komme frem til materialløsninger som kan sertifiseres i henhold til SOLAS (Safety of Life at Sea). Filosofien med hensyn til brannsikkerhet i LÄSS-prosjektet har vært å tilfredsstillе alle funksjonskravene innefor HSC (High Speed Crafts) regelverket i IMO. Disse er tilsvarende eller strengere enn de tilsvarende kravene i SOLAS konvensjonen.

For komposittmaterialer som er brennbare har det vært nødvendig med noen form for brannbeskyttelse eller brannisolasjon for å tilfredsstillе regelverkene i SOLAS og HSC som gjelder for de fartøystypene som benyttes i de konseptstudiene som er definert. I tillegg til tistrekkelig brannisolasjon for å tilfredsstillе kravene er det også lagt vekt på finne frem til en brannisolasjonsløsning med lav vekt. Det er gjennomført en rekke branntester for å finne frem til optimale isolasjonsløsninger og for å finne frem til konstruksjonsløsninger som tilfredsstillе funksjonskravene til oppførsel i brann.

Det er gjennom disse branntestene funnet frem til løsninger for dekk og skott som tilfredsstillе kravene i HSC regelverket i IMO til 60 minutter i brann (FRD 60, Fire Resticting Division for 60 minutes). Testen for å tilfredsstillе FRD 60 er den samme som testen i SOLAS for å tilfredsstillе kravene til A 60 med den forskjell at testen for FRD 60 utføres med belastning på panelene og dermed er strengere.

Kravene til FRD 60 og A60 ble også oppnådd for testing av kompositt/sandwich paneler med gjennomføringer. For panelene som tilfredsstillte kravene til FRD 60 og A60 var vekten av isolasjonen for de to typene brannisolasjon som ble utprøvd henholdsvis som $6,9 \text{ kg/m}^2$ og $7,5 \text{ kg/m}^2$. Dette ble ansett å være meget bra og sammenlignbart med isolasjonsvekten som benyttes på stål for å oppnå A 60.

Et viktig redskap for å vurdere sikkerhet i brannsituasjoner er å gjennomføre risikoanalyser for å vise til ekvivalent sikkerhet med tradisjonelle konstruksjonsmaterialer og å etablere et helhetssystem for å ivareta sikkerhet ved brannsituasjoner.

3.7.4 KOMPOSAND (12, 13, 14 og 15)

KOMPOSAND er et treårig dansk forskningsprosjekt som omfatter analyse, design og produksjon av lastbærende kompositt og sandwich konstruksjoner. Hensikten er å integrere utvikling av designløsninger og fremstillingsprosesser på en måte som bidrar til at strukturene blir optimalisert både med hensyn til strukturell oppførsel og produksjon. Fire industribedrifter og tre forskningsorganisasjoner deltar i prosjektet. Vindmølleindustrien er sterkt representert på industrisiden sammen med råvareleverandører og pultruderingsbedrifter. Den fullstendige prosjektittelen er: "Integreret Design og Procesering af Lette Komposit- og

Sandwichkonstruksjoner”. Prosjektet startet i 2005 og avsluttes i 2008. Budsjettet for hele prosjektperioden er ca. 19 millioner kroner.

Bakgrunnen for prosjektet er den sterkt økende anvendelsen av kompositt- og sandwichmaterialer innen en rekke ulike industriområder hvor lav vekt kombinert med høy styrke og stivhet er viktig. De områdene som trekkes frem i tilknytning til dette prosjektet er fremstilling av vindmøllevinger, skipsbygging, komponenter og strukturer til transportformål (tog, biler, lastebiler, etc.), kjølekontainere, bygningselementer med mer. Felles for disse anvendelsene er at kravene om lav vekt og høy styrke/stivhet er koblet til krav om lavt energi/drivstofforbruk, kollisjonssikkerhet, korrosjonsresistens, akustisk og termisk isolasjonsevne, demningsegenskaper og designfrihet.

KOMPOSAND har som overordnet målsetting å gi deltagerne et betydelig teknologisk og kunnskapsmessig løft innen design, analyse og fremstilling av konkurransedyktige produkter for verdensmarkedet. Denne overordnede målsettingen ble søkt løst ved utvikling og implementering av nye designverktøy som omfatter nye metoder og simuleringsverktøy for å minimalisere kostnadene fra idé til ferdig produkt samtidig som kravene til ytelse opprettholdes på et høyt nivå. Krav til pålitelighet, strukturell integritet og lang levetid trekkes frem som en viktig konkurranseparameter idet kostnader forbundet med reparasjon og vedlikehold er betydelige for mange anvendelser. Det er et mål i prosjektet å bidra til å opprettholde høy ytelse samtidig med at kostnadene reduseres for å bidra til at sandwichkonstruksjoner kan komme i gruppen av produkter hvor høy kvalitet og ytelse kombineres med lave kostnader.

KOMPOSAND er bygd opp av to typer prosjekter. Bedriftsorienterte prosjekter (Virksomhetsprosjekter, VP'er) som er rettet mot produkt- og bedriftsspesifikke problemstillinger. Her er det lagt vekt på å definere prosjekter som krever kompetanse og kunnskap og som har et betydelig markedsmessig potensial. Den andre typen prosjekter benevnes teknologiprojekter (TP'er). Disse er mer generiske og metodeorienterte og går på tvers av de bedriftsorienterte prosjektene og skal bidra til synergi i disse. I teknologiprojektene tas det sikte på å utvikle ny kunnskap og forståelse og nye teoretiske, numeriske og eksperimentelle metoder. Målet er at resultatene skal implementeres og realiseres i de bedriftsorienterte prosjektene. Innenfor KOMPOSAND ble det definert 6 bedriftsorienterte prosjekter (VP'er) og 4 teknologiprojekter (TP'er)

Prosjektet har oppnådd anvendbare resultater på en rekke av de områder som det er arbeidet med i prosjektet. Dette gjelder blant annet forbedring av design og fremstilling av lastbærende sandwichkonstruksjoner, design og optimalisering av lette paneler for ballistisk beskyttelse, forbedret design og fremstilling av limforbindelser og innen kvalitetssikring og anvendelse av ikke destruktive inspeksjonsmetoder (NDI). De deltagende bedriftene har brukt resultatene til å forbedre og optimalisere sine produktprogrammer både med hensyn til ytelse og kostnader og til utvikling av nye teknologier og markedsområder.

Det er tatt ut patent på to nye oppfinnelser i prosjektet. Den første var i forbindelse med utforming av sammenføyninger mellom kjernemateriale, endeavstivninger og innsatser slik at uønskede lokale spenningskonsentrasjoner reduseres. Det har bidratt til å forbedre både statisk styrke og utmattingslevetid for slike sammenføyninger. Disse resultatene har resultert i utarbeidelse av praktiske retningslinjer for design.

Det andre patentet gjelder såkalte ”peel stoppere” i sandwichkonstruksjoner som skal bidra til å redusere vekst av delamineringer. Konseptet er utprøvd og dokumentert eksperimentelt og ved omfattende teoretiske og numeriske analyser. Målet er å utvikle enda mer effektive ”peel stoppere” og å benytte resultatene til å forutsi styrke og levetid av sandwichstrukturer med

innebygde ”peel stoppere”. Videre arbeid vil bl.a. omfatte å implementere peel stopperne i en integrert fremstillingsprosess for sandwichpaneler. Resultatene vil bidra til å øke sikkerhet mot kollaps på grunn av delaminering og til å forbedre skaderesistens betydelig i forhold til eksisterende sandwichstrukturer. Aktuelle anvendelsesområder som trekkes frem hvor slike peel stoppere kan brukes med fordel omfatter skipsskrog, vindmøllevinger, tankkonstruksjoner og lastbærende sandwichelementer til lastebiler, tog og busser.

Et annet viktig resultat av prosjektet er utdanning av spesialister innen kompositt og sandwichteknologi. Som et ledd i prosjektet er det utdannet tolv sivilingeniører med design av mekaniske systemer som spesialområde. I tillegg er det satt i gang fire doktorgardsstudier (PhD) i tilknytning til KOMPOSAND.

3.7.5 SAFEDOR (16, 17, 18 og 19)

SAFEDOR et stort såkalt integrert prosjekt (IP) finansiert av EU-kommisjonen innenfor sjette rammeprogram. Kortnavnet SAFEDOR står for ”Design, Operation and Regulation for Safety). SAFEDOR hevdes å være det første prosjektet i denne størrelsen som sikter mot å utvikle et risikobasert regelverk for skipsindustrien med tilhørende designverktøy. Hovedmålet med prosjektet er å forbedre sikkerheten innen marin transport og å øke konkurranseevnen i europeisk skipsindustri ved å integrere sikkerhet som et mål for skipsdesign og risikovurdering i regelverket for godkjenning. SAFEDOR sikter mot å utvikle en ny og konsistent metodikk for risiko basert design og godkjenning av skip.

Prosjektet startet i februar 2005 og vil løpe i 4 år frem til slutten av 2009. Prosjektet har et totalbudsjett på ca. 160 millioner kroner hvorav støtten fra EU kommisjonen utgjør ca. 96 millioner kroner. Prosjektet har 53 partnere fra 14 forskjellige europeiske land. Deltakerne består av redere, skipsverft, utstyrsleverandører, ingeniørfirmaer/konsulenter, dataprogram (software) utviklere, forskningsinstitutter, universiteter og klasseselskap. Prosjektkoordinator er det tyske Lloyd (Germanischer Lloyd AG). Norske deltagere i prosjektet er Det Norske Veritas, Umoe Shat-Harding AS, Brødrene Aa AS, Color Line Marine AS, Leif Hoegh & Co AS og Lund, Mohr og Giaever-Enger Marin AS.

I dag er de viktigste tekniske kravene som regulerer drift av skip til havs styrt av regelverket til IMO (the International Maritime Organization). I tillegg har klasseselskapene etablert regelverk som styrer konstruksjon og design av skip. En konsekvens av dette er at skipsdesign i stor grad begrenses av slike regler og forskrifter som i stor grad er beskrivende og ikke i så stor grad basert på funksjonelle krav.

Hovedtemaet i SAFEDOR er en risikobasert tilnærming til skipsdesign og godkjenning av skip. Sikkerhet tas i bruk som et tilleggsmål i designprosessen sammen med de tradisjonelle kravene til for eksempel hastighet og lasteevne. Risiko benyttes som et mål til å evaluere effektivitet av designendringer med hensyn til sikkerhet. Ved å etablere et slikt risikobasert regime for design og godkjenning vil det bli lettere å realisere innovative skip og marine transportløsninger som ikke kan godkjennes med dagens regelverk. Dette kan for eksempel omfatte nye designløsninger, bruk av nye materialer og nye funksjoner som utfordrer regelverket i SOLAS. Produksjonskostnadene hevdes også å kunne reduseres ved en slik risikobasert tilnærming. En viktig forutsetning for risikobasert design er nødvendig kunnskap for å dokumentere overensstemmelse med akseptkriterier. Dokumentasjon av ekvivalent sikkerhet er det mest brukte prinsipp for godkjenning av skip hvor det er benyttet risikobasert design.

Aktivitetene i SAFEDOR rettet mot å nå de overordnede målsettingene omfatter fire hovedområder:

- utvikling av metoder og verktøy for å realisere risikobasert design
- utvikling av rammer for et risikobasert regelverk
- anvendelse på design av skip og skipssystemer
- støttefunksjoner (opplæring, kurs, seminarer og resultatspreding)

Som en del av SAFEDOR-prosjektet (punktet om anvendelse ovenfor) blir det gjennomført utvikling av en serie konkrete designløsninger for skip for å validere og implementer denne nye risikobaserte metodikken for design og godkjenning av skip. Dette omfatter utvikling av åtte innovative designløsninger for skip og inkluderer to cruiseskip, tre RoPax skip, et tankskip for gass, et oljetankskip og et containerskip. Fokus i disse vil rettes mot designløsninger som vil gi økt sikkerhet, men som av formelle årsaker ikke kan godkjennes basert på dagens regelverk. Konseptstudiene er ferdig og de to beste og mest innovative designløsningene vil bli valgt basert på fem kriterier, økonomi, miljø, sikkerhet, gjennomførbarhet og utfordring av regelverk. Disse konseptene vil bli bearbeidet videre i siste del av prosjektet og omfatte designstudier som tar i bruk fulle risikoanalyser.

En av disse åtte konseptstudiene var å anvende risikobaserte designprinsipper for en overbygning i kompositt-/sandwichmaterialer på et RoPax skip. Etter at de åtte konseptstudiene nevnt foran ble evaluert av et ekspertpanel kom denne ut som den beste og fikk dermed bevilgning for videre utvikling av designløsningen i siste del av prosjektet. Denne konseptstudien ble gjennomført som et samarbeid mellom Det Norske Veritas AS, FiReCo AS og Stena Rederi AB. Hovedpunktene i denne studien er oppsummert i en egen artikkel (20) som ble presentert på midtvegskonferansen i SAFEDOR som ble avviklet i mai 2007.

3.7.5.1 Risikobasert design av kompositt overbygning

Resultatene av denne konseptstudien som ble gjennomført som en del av SAFEDOR-prosjektet er oppsummert i en egen artikkel (20). Noen hovedpunkter er oppsummert her.

Det er gjennomført en undersøkelse av de fordelene som kan oppnås for et RoPax Skip ved å introdusere en lettvekts overbygning i komposittmaterialer som erstatning for dagens løsning i stål. Det nye overbygningsdesignet ble basert på bruk av sandwichpaneler. Anvendelsen av materialene i denne typen skip har imidlertid vært svært begrenset fordi SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) reglene krevde at skrog, overbygninger, strukturelle dekk og skott skal konstrueres i stål eller andre ekvivalente materialer (CH II-2 Reg 11). Andre ekvivalente materialer betyr i denne sammenheng ikke-brennbare materialer (CH II 2 Reg 3.33). Disse reglene har frem til nå hindret bruk av komposittmaterialer i lastbærende strukturer på skip som godkjennes i henhold til SOLAS regelverket.

SOLAS ble nylig utvidet med en ny bestemmelse, Regulation 17 in CH II-2, som tillater godkjenning av alternative designløsninger forutsatt at sikkerheten for den alternative løsningen kan dokumenteres ved en ingeniørmessig analyse. En løsning i kompositt/sandwich kan betraktes som en slik alternativ designløsning og forutsatt at tilstrekkelig brannsikkerhet ved en slik løsning kan dokumenteres åpner nå SOLAS konvensjonen for godkjenning av slike designløsninger.

Utgangspunktet for denne konseptstudien var en stor overbygningsmodul på et RoPax skip med lengde ca. 200 m og en dødvekt på 7500 tonn. Basisdesignet for den nye overbygningsmodulen ble utviklet basert på dagens "state of the art" innen sandwichteknologi. Det ble valgt å benytte glassfiberarmert vinylester i hudlaminatene og balsatre og PVC-skum som kjernematerialer. Alt

det innvendige inkludert lugarmoduler og dekorative overflatepaneler ble basert på standard kommersielle løsninger som tilfredsstillende bestemmelser i SOLAS.

Resultatene viste at vekten på overbygningens modul i kompositt/sandwich var bare 40 % av vekten av den eksisterende løsningen i stål. Denne vekten inkluderer vekten av all brannbeskyttelse og termisk isolasjon og representerer den reelle vektforskjellen mellom ny og tradisjonell designløsning installert om bord på skipet. Kostnaden for denne vektreduksjonen ble anslått til ca. 40 kroner pr. kg. Hvorvidt dette er kommersielt akseptabelt avhenger hvordan fartøyet brukes. Det ble gjennomført analyser som viste at denne kostnadsøkningen kunne forventes å bli tilbakebetalt etter ett til to års drift.

Det ble gjennomført en omfattende risikobasert designprosess for denne overbygningensstrukturen i komposittmaterialer. Risikoene ble vurdert basert på tilgjengelig brannstatistikk, brannsimuleringer, branntester og simulering av evakueringsprosessen. Det ble dokumentert et tilfredsstillende nivå av sikkerhet for denne nye risikobaserte designløsningen. Dette lettvektsdesignet for overbygningen kan betraktes som en alternativ løsning slik det er definert i SOLAS og vil derfor kunne godkjennes i henhold til SOLAS CH II-2 Reg. 17. Dette gir etter forfatternes mening utsikter til å kunne implementere mer effektive og konkurransedyktige designløsninger for handelsskip i tiden som kommer.

3.7.6 DE-LIGHT Transport (21)

DE-LIGHT Transport er et flernasjonalt prosjekt som støttes av EU-kommisjonen innenfor 6. rammeprogram som vil undersøke design og fremstilling av lette sandwichstrukturer for anvendelse i skip, tog og transportkontainere. DE-LIGHT er i EU sammenheng en såkalt STREP, et strategisk målrettet forskningsprosjekt. Prosjektet har til sammen 19 deltagere fra tolv europeiske land. Prosjektkoordinator er Center of Marine Technologies e.V. (CMT) i Hamburg, Tyskland. Det Norske Veritas (DNV) er eneste norske deltager. Prosjektet startet i november 2006 og vil løpe frem til oktober 2009.

Et gunstigere forhold mellom nyttelast og vekt hevdes å være en nøkkelfaktor for å bidra til at europeiske transportsystemer blir mer konkurransedyktige og får mindre innvirkning på miljøet. Lette konstruksjoner basert på nye innovative materialløsninger og mer effektivt design antas å kunne bidra vesentlig til å nå et slikt overordnet mål.

En målsetting med prosjektet er å utvikle ny banebrytende teknologi og industrielle anvendelser av lette sandwichstrukturer. Det legges vekt på å utvikle sikre og miljøvennlige transportsystemer for de ulike transportsektorene som bidrar til reduserte drifts og byggekostnader. Prosjektet adresserer derfor problemstillinger knyttet til både produksjon og drift av lettvektsstrukturer basert på sandwich.

DE-LIGHT Transport tar sikte på promotere økt bruk av sandwichkonstruksjoner gjennom å utvikle teknologi som bidrar til å realisere robuste designløsninger i sandwichmaterialer. Dette vil blant annet omfatte:

- Utvikling av et designverktøy for sandwich for ulike materialkombinasjoner.
- Utvikling av strategier for sammenføyninger, montering og utrustning.
- Utvikling av test og valideringsprosedyrer for å komme frem til nøyaktige og pålitelige metoder for å fastsette ytelse i forhold til krav

De teknologiene som er nevnt i punktene over vil bli demonstrert i prosjektet ved design og fremstilling av seks utvalgte prototypstrukturer. Disse vil bl.a. inneholde dekk og dekkshusstrukturer for skip, en jernbanevogn og en transportkontainer. Risikobaserte

designprinsipper vil bli anvendt for alle disse for å sikre at de nye designløsningene er i overensstemmelse med gjeldende lover og regler.

Det er etablert et nært samarbeid mellom dette europeiske DE-LIGHT-prosjektet og LÄSS-prosjektet i Sverige. Blant annet vil prosjektene omfatte felles definerte "case studier" og det vil bli samarbeidet om resultatspredning i form av felles temadager. Det vil også bli etablert et formelt opplegg for tilgang og utveksling av resultater.

3.7.7 BONDSHIP (22)

BONDSHIP var et stort europeisk prosjekt med overordnet målsetting å introdusere sammenføyning ved liming innen skipsbygging som en industriell prosess for å sammenføye lettvektsmaterialer og for sammenføyning av ulike materialer og strukturer.

Prosjektets fulle navn var: "Bonding of light weight materials for cost effective production of high speed craft and passenger ships". Prosjektet ble finansiert av EU-kommisjonen innen EU's femte rammeprogram (Competitive and Sustainable Growth). Prosjektet startet i april 2000 og ble avsluttet i juni 2003. Budsjettet for prosjektet var ca. 37 millioner kroner. Prosjektet har bygd opp en egen nettside hvor de viktigste resultatene er oppsummert (22). På denne hjemmesiden finnes også en oversikt over publikasjoner som er utgitt i regi av prosjektet.

Deltagerne i prosjektet bestod av forskningsorganisasjoner (skips- materialforskning), skipsverft, rederier, skipskonstruktører, classeselskap og material- og utstysleverandører. Det var til sammen tretten deltagere fra syv forskjellige land. Prosjektleder var Det Norske Veritas (DNV). I tillegg til DNV deltok også FiReCo AS fra Norge.

Prosjektets ambisiøse overordnede målsetting krevde at deltagerne bearbeidet mange ulike problemstillinger knyttet til limte sammenføyninger for å utvikle den nødvendige kompetanse for å implementere liming som en ny sammenføyningsmetode innen skipsbygging. Deltagerne samarbeidet om å finne frem til nøkkelfaktorer for å lykkes med å bruke liming som sammenføyningsmetode. De viktigste var sammenføyning av ulike materialer, sammenføyning av tynne materialer og behov for å kompensere for store relative bevegelser. Den største utfordringen var mangel på kunnskap og erfaring med langtidsegenskaper til limte forbindelser for anvendelse på skip. Grunnlaget for godkjennelse som ble utviklet innen BONDSHIP utgjør imidlertid en alternativ tilnærming til dette problemet i mange situasjoner.

Noen av fordelene ved å bruke liming som sammenføyningsmetode er at egenskapene til materialene som skal sammenføyres ikke endres, den kan brukes til å sammenføye ulike materialer, det krever ikke varmt arbeid slik at degradering og risiko for brann unngås og det bidrar til høy grad av fleksibilitet i byggeprosessen.

BONDSHIP har generert omfattende testdata for limte forbindelser som omfatter både korttids styrkeegenskaper og langtidsegenskaper som utmatting, aldring og siging. Det er gjennomført "case studier" for utvalgte anvendelser hvor ytelse av sammenføyningene er dokumentert. Dette har omfattet design, modellering og fullskala testing av forbindelsene og utvikling og utprøving av produksjonsprosedyrer. Det vist at liming som sammenføyningsmetode er kostnadseffektiv og det er utviklet en godkjennelsesprosedyre for limforbindelser som også tar hensyn til usikkerhet om langtidsegenskapene.

Det viktigste resultatet i BONDSHIP utgjøres imidlertid av utarbeidelsen av BONDSHIP guidelines (22) som oppsummerer erfaringene fra arbeidet i prosjektet. Målsettingen var å oppsummere alle trinnene i prosessen for å designe, bygge og inspisere de ulike typer av limte forbindelser for anvendelse på skip. Det er spesielt fokusert på sammenføyning av lette materialer

og på sammenføyning av forskjellige materialer. BONDSHIP guidelines består av to dokumenter. Et "Recommend Practice" dokument (BONDSHIP guidelines: Recommended Practice) og et som inneholder regler og forskrifter (BONDSHIP guidelines: Code). Begge dokumentene kan bestilles fra prosjektets hjemmeside eller ved henvendelse til Det Norske Veritas.

Det gis uttrykk for at BONDSHIP Guidelines som forligger som et offentlig tilgjengelig dokument og som inneholder omfattende og fullstendige retningslinjer kan bidra til raskere implementering av liming som sammenføyningsmetode innen skipsbygging.

3.7.8 EUCLID RTP3.21 (23, 24)

Dette er et prosjekt som ble gjennomført innen EUCLID programmet. EUCLID står for European Co-operation for the Long Term in Defence og er et militært forskningssamarbeid i Europa mellom land som er medlemmer av WEAG (Western European Armaments Group). Den fulle tittelen på EUCLID RTP3.21 var: "Survivability, Durability and Performance of Naval Composite Structures". Til sammen deltok 24 bedrifter fra seks europeiske land. De seks landene var Danmark, Frankrike, Nederland, Italia, England og Norge. Totalbudsjettet for EUCLID RTP3.21 var 12 millioner USD. Norske deltagere var Det Norske Veritas AS, Umoe Mandal AS og FiReCo AS.

Det overordnede målet som ble formulert for dette prosjektet var:

Å styrke det teknologiske grunnlaget for bruk av komposittmaterialer i stor skala på marinefartøyer slik at fartøyene og strukturer på fartøyene kan designes og dimensjoneres pålitelig ved bruk av modellering og metoder for prediktering av feil

Andre mål som ble formulert inkluderte bl.a.:

- Utvikle og anvende en metode for å prediktere ytelse av alternative designløsninger
- Redusere sårbarheten til komposittstrukturer for marinefartøy
- Redusere levetidskostnadene til marinefartøy med komposittstrukturer
- Kvantifisere konkurransedyktigheten til komposittstrukturer sammenlignet med tradisjonelt design i stål
- Etablere eller forbedre modelleringsverktøy for å prediktere sårbarhet av marine komposittstrukturer
- Etablere eller forbedre modelleringsverktøy for å prediktere levetidskostnader

Disse målsettingene ble søkt oppnådd ved å arbeide med en konkret anvendelse som "case". Den anvendelsen som ble valgt var en overbygning i komposittbasert sandwich på en fregatt med stålskrog. Det viktigste resultatene knyttet til denne konseptstudien er gjengitt i kapittel 3.5 foran (5).

Her refereres noen hovedpunkter med hensyn til bruk av kompositter i marinefartøyer som trekkes frem i sluttrapporten fra prosjektet (24) som er datert 23. februar 2004.

Rapporten uttrykker en trend de siste årene mot økt bruk av komposittmaterialer i militære fartøyer. Prosjektet har utviklet et bedre grunnlag for design og fremstilling av pålitelige komposittstrukturer med lang levetid. Prosjektet viste at den strukturelle vekten ved bruk av kompositter kunne halveres sammenlignet med tradisjonelle stålstrukturer. Selv om byggekostnadene normalt er høyere for komposittstrukturer sammenlignet med stål ble det klart uttrykt at komposittstrukturer vil bidra til en signifikant reduksjon av driftskostnader og dermed levetidskostnader. For ytterligere økning i bruken av kompositter på et bredere marked trekkes det frem som viktig å adressere følgende områder:

- Langtidsegenskaper til kompositt/stål sammenføyninger
- Systemer for å sikre konsistens og kvalitet i produksjon
- Økt kunnskap om oppførsel ved innvendige eksplosjoner
- Videreutvikling av brannsikringssystemer for økt sikkerhet

Pålitelighet for strukturer sikres normalt ved å dokumentere overensstemmelse med egnede regler og forskrifter for design og dimensjonering. Det benyttes sikkerhetsfaktorer for å ta hensyn til usikkerhet og variasjon i egenskaper. Variasjon i egenskaper som oppstår under produksjonen har vært en usikkerhet for komposittmaterialer og ført til at det benyttes forholdsvis høye sikkerhetsfaktorer. Slik variasjon er spesielt kritisk for skjøter fordi de ofte er kritiske komponenter og fordi styrken i skjøter er følsom for variasjoner under fremstillingen. Dette er spesielt viktig for marinefartøyer som er utsatt for eksplosjonsbelastninger. Prosedyrer for å sikre kvalitet og reproducerbarhet under produksjonen må bygges inn i verftenes kvalitetssikrings-systemer og kompletteres med tiltak for å kvalifisere personell for slik produksjon. En annen viktig faktor er oppfølging av erfarne inspektører. I forbindelse med prosjektet Euclid RTP3.21 er det utviklet retningslinjer som inneholder generelle krav til kvalitetssikring og til kvalifisering av personell som skal sørge for å minimalisere kvalitetsvariasjoner i de ferdige strukturer og produkter.

De undersøkelsene og testene som ble utført viste at oppførselen til godt beskyttede kompositt-/sandwich strukturer i brann er meget god og at slike strukturer kan brukes med stor pålitelighet når de nødvendige forholdsregler tas.

En annen konklusjon er at strategien for å bekjempe en brann i en kompositt-/sandwichstruktur vil være noe forskjellig fra stålstrukturer. Det er ikke behov for å kjøle ned den utvendige brannbarrieren. Strategien vil omfatte metoder for å kunne bekjempe brannen fra utsiden og derfor også omfatte nødvendig verktøy for å skjære åpninger for å komme til med brannslukningsutstyr. Det er viktig at personell med ansvar for brannbekjempelse får nødvendig opplæring i hvordan en brann i kompositt-/sandwich strukturer best skal bekjempes.

En av de viktigste fordelene ved å bruke kompositt/sandwich i fartøyer er vektreduksjon. Ved vurdering av kompositt/sandwich i militære fartøyer ble det i EUCLID RTP3.21 funnet at basert på "state of the art" kompositteknologi ville vekten ved å benytte kompositt/sandwich som konstruksjonsmateriale medføre en vekt på kun 40 % av en tradisjonell konstruksjon i stål. Det understrekes at dersom løsningen basert på bruk av kompositt/sandwich hadde blitt designet bare basert skipstekniske belastninger uten å motstå våpenrelaterte laster ville vekten kommet ned i ca 30 % av stålvekten.

Rapporten fremholder at hoveddelen av livssyklus kostnadene for fartøyer utgjøres av kostnaden i fartøyenes driftsfase. Pålitelige estimater er avhengige av at driftserfaring foreligger. Det fremheves at nye konstruksjoner i kompositt/sandwich kan gi lavere livssyklus kostnader enn tradisjonell konstruksjon i stål på grunn av bl.a.:

- kompositter er korrosjonsresistente noe som reduserer behovet for daglig og periodisk vedlikehold
- Redusert behov for daglig vedlikehold kombinert med redusert behov for personell til kjøling i f m brannsituasjoner vil gi grunnlag for ytterligere reduksjon av driftskostnader
- Vektreduksjon kan utnyttes til mer effektivt skipsdesign og dermed til å redusere drivstoffkostnadene
-

3.8 Materialvalgsvurderinger for kompositter i marinefartøy

Dette kapitlet inneholder noen hovedpunkter fra en artikkel skrevet (25) av S. Vallbo fra Kockums, Karlskronavarvet i Sverige om vurderinger i forbindelse med materialvalg når det

gjelder bruk av kompositter i marinefartøy basert på erfaringer knyttet til bygging av den svenske Visby-klasse korvetten på 72 m.

En av de viktigste fordelene som trekkes frem ved å benytte kompositt-/sandwich design er mulighetene til å skreddersy materialeegenskapene. Friheten i valg av materialer trekkes også frem som en utfordring fordi det ikke bare påvirker de mekaniske egenskapene men også vekt, kostnader, arbeidsmiljø, muligheter for gjenvinning og ikke strukturelle egenskaper som brannresistens, varmeresistens, elektrisk ledningsevne, signaturer og produserbarhet.

Problemstillingen ved materialvalg til skip basert på å benytte polymerbaserte kompositter omfatter bl.a.:

- Det er en mengde krav som må tilfredsstilles
- De finnes et stort antall materialkombinasjoner å velge mellom

En tilnærming er å gjøre som flyindustrien å begrense antall materialkombinasjoner ved å benytte standardiserte og utprøvde materialkombinasjoner med tilhørende produksjonsprosesser. Fordelen med en slik tilnærming er god kontroll med kvaliteten, ulempen er høye kostnader og liten fleksibilitet.

Den vanlige tilnærmingen til materialvalg i skipsindustri som bruker komposittmaterialer som konstruksjonsmateriale er å utvikle prosjektspesifikke standarder fremfor å følge nasjonale eller internasjonale standarder. Hovedgrunnen er at det ofte er et lite antall fartøyer i hver serie og ikke så omfattende krav fra lovgivning og forskrifter som det er i flyindustrien.

Materialvalg for en komposittstruktur for marinefartøyer baseres på et stort antall krav og vurderinger. Overordnede krav defineres ofte av sluttbrukeren og omfatter for eksempel krav til lave livssyklus-kostnader og overlevelsessevne. Tekniske krav som implementere slike overordnede krav omfatter spesifikke krav til strukturvekt, hastighet og for marinefartøyer også signaturkrav med hensyn til å bli oppdaget. Praktiske krav med hensyn til å oppnå overordnede og tekniske krav kan for eksempel være krav til håndtering og lagring av materialer, miljøkrav i produksjon og toleranser for strukturelle deler.

Områder som trekkes frem som viktige elementer for vurdering i en materialvalgsprosess omfatter bl.a.:

- Miljøresistens (varme, kulde, fuktighet, sollys (UV), nedbør)
- Miljøkrav (nasjonale og internasjonale lover og regler)
- Belastninger (kort- og langtid mekaniske laster, slag, vibrasjoner)
- Elektriske egenskaper (elektromagnetisk, radarrefleksjon, lyn (spesielt for militære fartøy))
- Produksjon (metoder, verktøy, arbeidsmiljø, transport/lagring)
- Diverse (brann, resirkulering, lyd, isolasjon)
- Materialleverandører (relasjoner, leveringstider, kompetanse, kvalitet)
- Vekt (tetthet, egenskaper pr. kilo)
- Kostnader (transport, garantier, lagring, håndtering, egenskaper pr. krone)
- Risiko (teknisk og økonomisk risiko)
- Mekaniske egenskaper (kritiske egenskaper, testmetoder, spredning)

I kostnadssensitive prosjekter har ofte lave materialkostnader høy prioritet. Det er imidlertid viktig å ikke bare vurdere innkjøpskostnadene men også materialkostnadene for det endelige produktet. Et dyrt materiale kan ha bedre mekaniske egenskaper slik at materialbehovet reduseres. Det trekkes frem at det i en slik sammenheng er viktig å vurdere hvordan materialvalget influerer på den komplette fartøysløsningen og ikke begrense det til materialkostnaden. Den svenske

Visby-korvetten er et godt eksempel på dette. I dette fartøyet ble det valgt å benytte karbonfiber i komposittlaminatene til skroget i stedet for glassfiber. Det førte til at skroget ble dyrere. Vektreduksjonen som ble oppnådd ved å velge karbonfiber tillot imidlertid valg av mindre motorer som igjen førte til redusert drivstofforbruk og til at størrelsen på drivstofftankene kunne reduseres. Erfaringene var at disse positive effektene ved å velge karbonfiber i stedet for glassfiber mer enn kompenserte for de økte kostnadene for selve skroget.

I forbindelse med materialvalgsprosessen for den svenske Visby-korvetten ble det gjennomført en evaluering av ulike materialkombinasjoner ved å benytte kostnads- og vekteffektivitet for ulike komposittlaminater. Basert på data for mekaniske egenskaper, kostnader og tetthet ble det gjort en beregning av relativ egenskap per vekt- og kostnadsenhet for aktuelle laminater. Basert på dette ble det beregnet to parametere:

- Relativ stivhets-kostnadseffektivitet definert som E-modul/kilopris gitt som MPa/NOK
- Relativ stivhets-vekt effektivitet definert som E-modul/tetthet gitt som MPa/kg/m³

Disse parameterne viste noe lavere verdier for karbonfiberlaminatene sammenlignet med glassfiberlaminatene når det gjaldt stivhet pr krone men betydelige høyere verdier med hensyn til stivhet pr kilo. Det trekkes frem at et slikt ”design to cost” eller design to weight” prinsipp bare kan benyttes dersom kritiske materialparametere er godt definert. For sandwichkonstruksjoner er dette rett frem når det gjelder i-planet belastninger hvor typiske materialparametere er styrke og stivhet i strekk og kompresjon. Identifisering av kritiske materialparametere for sandwichstrukturer utsatt for sidevegs trykkbelastninger er imidlertid noe mer komplisert.

Det materialkonseptet som ble valgt for den svenske Visby-korvetten er hovedsakelig basert på sandwich med karbonfiberarmert vinylester i hudlaminatene og PVC skum i kjernen. Hovedbegrunnelsen for å velge en komposittløsning og spesielt basert på sandwich ble oppsummert i følgende punkter:

- Mekaniske egenskaper som gir et konsept med høye stivhet-vekt og styrke-vekt forhold som bidrar til et lettvektsdesign
- God evne til å motstå belastninger fra undervanns eksplosjoner (fra miner)
- Innebygd lyd- og vibrasjonsdemping
- Et ikke metallisk konsept som gir lav magnetisk signatur
- Lave vedlikeholdskostnader fordi korrosjon er fraværende
- Lav strukturvekt som medfører lavt drivstofforbruk sammenlignet med bruk av konvensjonelle konstruksjonsmaterialer. Lav vekt gir også lav trykksignatur i vannet
- Innebygd termisk isolasjon som betyr lav infrarød signatur. Den innebygde isolasjonen i sandwichløsningen er også kostnadseffektiv fordi tilleggsisolasjon for økt komfort ikke er nødvendig

De fleste av disse begrunnelsene for materialvalget vil også være gyldig når det gjelder vurderinger for bruk av slike sandwichløsninger i store fiskefartøy.

Det understrekes at det i en materialvalgsprosess er viktig å fokusere på forskriftsgitte og obligatoriske krav og på krav som bidrar til å diskvalifisere visse materialløsninger før evaluering av mekaniske egenskaper startes. Det vil redusere faren for uønskede overraskelser senere i prosessen. Det er viktig å identifisere kritiske materialparametere og evaluere disse i tilknytning vekt og kostnader for å finne frem til de mest vekt- og kostnadseffektive materialene og materialkombinasjonene. Det understrekes at en slik evaluering ikke bare må begrenses til materialene men til å omfatte innflytelse på den komplette fartøysløsningen.

Kravene til høy fleksibilitet tilfredsstilles ved det valgte lettvekstdesignet. Det tillater også bruk av forskjellige typer av nyttelast for ulike oppdrag. Det fremheves til slutt at den valgte designløsningen med lav vekt realiserer krav til lave livssyklus-kostnader som gir et fartøy med lavt drivstofforbruk. Det legges også vekt på at løsningen basert på kompositt-/sandwichmaterialer gir lave vedlikeholdskostnader bl.a. fordi materialene ikke er utsatt for korrosjon.

3.9 Miljøkonsekvenser ved bruk av kompositt/sandwich i skip

I tilknytning til det svenske LASS-prosjektet (se foran) er det gjennomført en studie på miljømessige konsekvenser over levetiden for fartøyer og fartøysstrukturer bygd i kompositt-/sandwichmaterialer. Dette er oppsummering av en artikkel (26) skrevet av Hedlund-Åstrøm og Luttrøpp ved KTH, Sverige i forbindelse med arbeid på LÄSS-prosjektet.

Sandwichskroget til den svenske Visby-korvetten ble brukt som eksempel. Det understrekes at informasjon om materialsammensetningen er en forutsetning for å oppnå sikker og effektiv bearbeiding av avfall fra slike fartøy. I denne artikkelen er det spesielt to avfallsegenskaper knyttet til demontering av skip som er diskutert. Det er innhold av farlige stoffer og metallinnsatser. Informasjon om innhold av farlige stoffer er viktig med hensyn lover og regler knyttet til ytre miljø og til arbeidsmiljø. I forbindelse med prosessen for demontering av fartøyer er skipsbygger, skipsbruker, avfallsselskap og arbeidskraft involvert. Spesielt for de to siste gruppene er informasjon om innhold av farlige stoffer og metall viktig. Innhold av metall representerer en verdi, mens innhold av farlige stoffer representerer et ansvar som medfører kostnader.

Polymerbaserte kompositter består av flere ulike typer av materialer. Det er fibere, resiner, tilsatsstoffer og i sandwichstrukturer også kjernematerialer. Resinene som brukes i skip og strukturelle anvendelser er hovedsakelig herdeplaster som ikke kan smeltes. Dette virker kompliserende inn på avfallshåndteringsprosessen. Innhold av farlige stoffer og innhold av metaller er to viktige faktorer i forbindelse med resirkulering som i utgangspunktet helst bør vurderes allerede i designfasen av fartøyer. Et eksempel er sammenføyningen mellom forskjellige materialer i fartøyer med stålskrog og kompositt/sandwich overbygning. For innfesting av en overbygning i kompositt/sandwich på et stålskrog benyttes det ofte metallinnsatser i komposittstrukturen for innfesting til stålet med bolter eller nagler.

Det er flere faktorer som tilsier økt fokus på avfallshåndtering knyttet til bruk av kompositter på skip. Bruken av kompositt-/sandwichmaterialer er sterkt økende, konstruksjonsmaterialene består av en blanding av mange ulike typer materialer og strengere lovgivning knyttet til deponering av avfall.

Et viktig anvendelsesområde for komposittmaterialer og spesielt kompositter med glassfiberarmering er på den marine sektor. Fritidsbåter utgjør en stor andel. I Norge er det antatt at det årlig vil (fra 2005 til 2015) være behov for å vrake ca. 32000 slike båter. I Sverige er det akkumulerte forbruket av kompositter til fritidsbåter i perioden fra 1965 til 1997 estimert til å utgjøre ca. 700 000 tonn. I tillegg til disse båtene skjer det også en kraftig utvikling i bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i større fartøyer både til forsvarsformål og til sivile formål. Den økte bruken av komposittmaterialer på det marine området resulterer i større mengder med avfall fra produksjon og fremover også fra produkter som vrakes etter utløpt levetid. Utvikling av strategier for å resirkulere kompositter fra slike fartøyer vil derfor få økt aktualitet i tiden fremover.

På grunn av økte miljøkrav i form av lovgivning er avfallshåndtering et problem som i økende grad skaper bekymring i komposittindustrien. For denne materialgruppen er det ikke utviklet

effektive metoder for å resirkulering og det er heller ikke utviklet markeder for resirkulert materiale slik det er for stål og aluminium. Det finnes metoder i mindre skala basert både på mekanisk og kjemisk resirkulering. Det arbeides også med behandling av avfall fra komposittprodukter i forbindelse med sementindustrien. Her vil matrisematerialet bidra med energi til sementovnene og glassfibrene vil inngå som en bestanddel i sementen. Det arbeides med å få dette akseptert som materialgjenvinning i EU-kommisjonen.

Eksempler på lovgivning som er aktuelle er produsentansvarslovgivningen hvor den som fremstiller et produkt er ansvarlig for mottak og behandling når levetiden er over og produktet skal vrakes. Denne lovgivningen er implementert for emballasjematerialer, elektriske og elektroniske produkter og bildekk. Denne lovgivningen er utformet slik at den fremmer behandling av avfall i henhold til avfallshierarkiet: Unngå avfall, ombruk av avfall, resirkulering, energigjenvinning, deponering.

ELV-direktivet (End of Life Vehicle) fra EU som gjelder bilindustrien har meget strenge krav til resirkulering hvor 95 % av bilen skal gjenvinnes. Av dette skal minst 85 % gå til ombruk og resirkulering og maksimalt 10 % til energigjenvinning. I det nye EU-direktivet for elektriske og elektroniske produkter fra 2005 (WEEE) er det satt krav til at 75 % skal gå til materialgjenvinning. I tillegg til slike direktiver kommer også forskrifter mot deponering av både brennbart og organisk avfall.

Det er sannsynlig at grupper av produkter som i dag ikke er omfattet av spesifikke produktansvarsdirektiver også i nær fremtid vil bli påvirket av lignende reguleringer. Det pågår diskusjoner i EU om direktiver rettet mot å etablere ansvar for hele produktenes livssyklus fra vogge til grav. Denne tankegangen betegnes IPP (Integrated product policy) og understreker viktigheten av å planlegge resirkulering og vraking av nye produkter allerede tidlig i designfasen.

For skipsstrukturer arbeider IMO (Internasjonal Maritime Organisation) med sikkerhet i skipsindustrien og for renere hav. De har utviklet retningslinjer for resirkulering av skip som går under betegnelsen "green passport". Et slikt pass skal inneholde informasjon som bidrar til å gjøre resirkulering av skip lettere og følge skipet gjennom levetiden. Eksempler er informasjon om materialer og spesielt innhold av farlige stoffer, informasjon om endringer i design og utstyr. Dette er imidlertid ikke et påbud, det er opp til eieren av skipet å bestemme den informasjonen som legges inn.

I artikkelen presenteres et system for å karakterisere og identifisere egenskaper til avfall fra komposittmaterialer. Hver egenskap blir identifisert ved et system av tre og fire bokstaver som inneholder nøkkelinformasjon om avfallsegenskaper. Det omfatter materialkomponenter, farlige stoffer og oppførsel, kjemisk innhold, metalliske komponenter og innsatser og størrelse. Et slikt system ble utprøvd for Visby-korvetten og de fleste av de nødvendige avfallsegenskapene kunne identifiseres i forhold til en slik liste. Det ble konkludert med at kunnskap med hensyn til innhold av metalliske komponenter og farlige stoffer i skroget til Visby-korvetten ville være viktige strategiske faktorer for en effektiv avfallshåndtering.

I denne artikkelen er det utviklet en modell for å vurdere ulike metoder for avfallshåndtering spesielt for komposittmaterialer. Med denne modellen som bl.a. er basert på innføring av et merkesystem, fremkommer informasjon om avfallsmaterialene i form av avfallsegenskaper for de ulike behandlingsprosessene. En slik informasjon er avgjørende for resirkuleringsprosessen og bør etter forfatterens mening bli inkludert i "Green Passport" for å lette resirkulering av fartøyer inkludert behandling av komposittmaterialer.

3.10 Nytt forskningsprosjekt på resirkulering av fritidsbåter i kompositter

Det ble i april 2008 startet et nytt forskningsprosjekt i Norge med tittelen: Gjenvinning av komposittmaterialer fra fritidsbåter. Dette er et brukerstyrt innovasjonsprosjekt (BIP) som støttes av Norges forskningsråd og de deltagende industribedriftene. Prosjektet dekker hele verdikjeden fra råvareleverandører og produsenter til gjenvinnings-/avfallsselskap og bransjeorganisasjoner. Deltagere i prosjektet fra starten er: Veolia Miljø AS, Reichhold AS, Henrik J Askviks Sønner AS, CompoTech, Norsk Industri, Norsk komposittforbund og SINTEF Materialer og kjemi. Prosjektledelsen er hos SINTEF Materialer og kjemi.

Hovedmålet for prosjektet er å utvikle et bærekraftig system for å materialgjenvinne komposittmaterialer fra fritidsbåter. For å nå dette overordnede målet ble det også formulert følgende delmål:

- Å definere miljømessige og effektive logistikk-løsninger for innsamling og gjenvinning
- Å karakterisere egenskapene til avsetningsmateriale fra to utvalgte metoder (mekanisk og kjemisk) for gjenvinning av komposittmaterial
- Å definere anvendelsesområder og produkter hvor avsetningsmaterialet kan inngå og demonstrere det på utvalgte caser

Forskningsinnsatsen i prosjektet vil være avgjørende for å realisere målet om å skape et bærekraftig system for å materialgjenvinne komposittmaterialer fra fritidsbåter. Arbeidet vil bli fokusert på to hovedområder:

- Prosjektet skal vise hvordan det er mulig å lage råstoff som kan inngå i nye produkter, eller med andre ord at det finnes et marked for avsetningsmaterialer fra komposittmaterial
- Prosjektet skal bidra til å utvikle kostnadseffektive løsninger for innsamling, transport og sortering

Det er avgjørende at disse to perspektivene blir adressert i et samlet prosjekt for å kunne etablere et pålitelig kostnads/inntekts bilde.

Prosjektet fokuseres spesielt på å utvikle løsninger for resirkulering av komposittmaterialer fra fritidsbåter. Resultatene vil imidlertid være anvendbare i et mye bredere perspektiv og representere resirkuleringsløsninger som kan anvendes for komposittmaterialer generelt. Det vil derfor dekke et stort behov i komposittindustrien for å finne effektive og gode løsninger for materialgjenvinning av produkter og produksjonsavfall.

Det er stor interesse for prosjektet og flere bedrifter har ytret ønske om å komme med som deltagere i prosjektet. Prosjektet vil også være nyttig i forhold til en fremtidig økt bruk av kompositt-/sandwichmaterialer i fiskefartøy.

3.11 Holdning hos rederier til lettvektsmaterialer

I tilknytning til det svenske LÄSS-prosjektet ble det utført et hovedfagsarbeid av to sivilingeniørstudenter med tittelen: "Lättviktsmaterial för fartyg - En undersökning av svenska rederiers attityd". Målet med oppgaven var å kartlegge holdningen i den svenske rederibransjen til å ta bruk lette konstruksjonsmaterialer og hvilke faktorer som påvirker denne holdningen. Kartleggingen omfattet også å undersøke om det var forskjeller i holdning mellom ulike grupper av rederier. Undersøkelsen ble konsentrert om kompositt/sandwichmaterialer. Resultatene antas også å være representative for norske rederiers holdning.

Undersøkelsen ble utført ved å sende spørreskjemaer til i alt 75 svenske skipsrederier som driver passasjer eller lasteskip. Spørreskjemaet ble besvart av administrerende direktør eller teknisk sjef

på 39 av disse rederiene. Med en såpass høy svarprosent antas resultatene å være relativt representative for svenske skipsrederier.

Resultatene av denne undersøkelsen viste at svenske rederier har en overveiende positiv holdning til å anvende lettvektsmaterialer (kompositter) i sine fartøy og de ser også et stort behov for nye materialer innen skipskonstruksjon. Over 50 % av dem som deltok i undersøkelsen svarte at de hadde en klar overveiende positiv holdning. Undersøkelsen har også påvist viktige faktorer som påvirker de forskjellige rederienes holdning til lettvektsmaterialer.

Rederienes oppfatning av hvordan bruk av lettvekstkonstruksjoner påvirker forholdet mellom pris og ytelse for et fartøy påvirker også den holdningen de uttrykker til å ta i bruk lettvekstkonstruksjoner. De som er tvilsomme til at fartøyenes ytelse vil øke uttrykker en mer negativ holdning. Dette viser at det er svært viktig å fremskaffe god dokumentasjon på de fordeler som kan oppnås når det gjelder økt ytelse og kostnader for at bruken av lettvektsmaterialer skal introduseres raskere og i større omfang. Undersøkelsen viste imidlertid en tendens til at rederiene så flere fordeler enn ulemper med en overgang til mer bruk av lette materialer.

Undersøkelsen viste også at rederienes interesse og behov for mer bruk av lettvektsmaterialer påvirker den holdningen de uttrykker. De som uttrykker interesse for utviklingen innen bruk av lettevektsmaterialer (spesielt kompositt/sandwich) og innen fartøyskonstruksjon er mer positive til å ta i bruk kompositt/sandwich. De rederiene som opplever behov for nye materialer og lettere fartøy uttrykker også den samme holdningen. Undersøkelsen viste generelt at det finnes et stort behov i rederinæringen for å utvikle lettere skip. Dette bidrar også til den generelt positive holdningen.

Undersøkelsen viste at majoriteten av de svenske rederiene har manglende kunnskap om hvordan de skal ta i bruk kompositt-/sandwichmaterialer og at et det kreves et høyere kunnskapsnivå for å kjøpe og drive skip hvor lette materialer tas i bruk. Begrenset kompetanse om materialene i rederiene bidrar til usikkerhet om og på hvilken måte lettvekstkonstruksjonen kan påvirke rederienes virksomhet. Dette påvirker holdningen til å ta i bruk disse nye materialene i negativ retning. Det var stor overensstemmelse i svarene på dette området. Det viser at oppbygging av kompetanse i rederiene om disse materialene er en av de viktigste faktorene som kan bidra til å påvirke holdningen til bruk av nye materialer og til større utbredelse i bruk av lette konstruksjoner i skip.

Usikkerheten som følger med et lavt kunnskapsnivå om materialene bidrar også til at få rederier ser reelle muligheter til å teste ut bruk lettvekstkonstruksjoner i mindre skala. Bare en liten del av de som deltok i undersøkelsen svarte at de hadde økonomi i rederiene til å utføre slik uttesting. Disse rederiene viste også en mer positiv holdning til bruk av kompositt-/sandwichmaterialer.

Usikkerhet og manglende kunnskap bidrar også til at mange rederier anser den økonomiske risikoen forbundet med å ta i bruk lette materialer som relativt stor. De rederiene som vurderer risikoen som stor har også overveiende en mer negativ holdning til lettvektsmaterialer.

Undersøkelsen viser også at det er forskjell i holdning til å ta bruk kompositt-/sandwichmaterialer mellom de ulike rederiene som avhenger av den typen skip de bruker i sin virksomhet. Rederier som baseres på frakt av passasjerer med ferger eller RoPax fartøyer er generelt mer positive til lette materialer enn rederier med virksomhet basert på tankskip.

Til tross for at undersøkelsen overveiende viste en positiv holdning til nye lette materialer og et behov for å utvikle lettvekstkonstruksjoner og for lettere fartøyer var det bare et fåtall av rederiene som hadde fartøy med slike lettvektsmaterialer i drift. En viktig faktor som bidrar til begrenset

utbredelse er at rederiene opplever usikkerhet om hvordan bruk av slike lette materialer vil fungere hos dem. Det dreier seg om store investeringer i noe de føler ikke er testet skikkelig ut. Dette underbygges av at de fleste rederiene som var med i undersøkelsen uttrykte at de så relativt stor økonomisk risiko i en overgang til lette materialer og at det manglet grundige og positive kostnadsberegninger som grunnlag for en slik beslutning.

Det uttrykkes også at den begrensede utbredelsen er et uttrykk for konservatisme i bransjen og at den store majoriteten av rederier bare synes å være villige til å investere i ferdigutviklede og godt utprøvde løsninger. Forfatterne påpeker at for å motvirke slik konservatisme og bidra til økt bruk av lette konstruksjonsmaterialer er prosjekter som LÅSS viktige. Prosjektet viser stor interesse og behov for materialene ved at mange rederier deltar. Rederiene er interessert i de fordelene som kan oppnås og prosjekter av denne typen er viktige for å fremskaffe nødvendig dokumentasjon og samtidig bidra til å øke kunnskapsnivået og dermed til et bedre beslutningsgrunnlag for å implementere lettvektskonstruksjoner.

4 Konseptstudie for å bygge store fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer

Basert på resultatene av kartleggingsarbeidet forslås det å gjennomføre en konseptstudie for å bygge store fiskefartøy (40-60 meter) i kompositt-/sandwichmaterialer. Fiskefartøy er spesielt godt egnet for å lages i kompositt/sandwich fordi de har mange dekk og stor høydeforskjell mellom bunn og øverste dekk. Det gir høyt treghetsmoment og en bøyestiv konstruksjon.

Viktige elementer i en slik konseptstudie vil være å bidra til økt kunnskap hos rederne, frembringe pålitelige data om vektreduksjon og kostnader inkludert analyse av levetidskostnader. Dette vil redusere skepsis til å ta i bruk nye materialer. Det er tatt kontakt med aktuelle deltagere som representere skipskonsulenter med erfaring fra design av store fiskefartøy, skipsverft med erfaring fra bygging av fartøy i sandwich, ingeniørfirma med erfaring i design og dimensjonering av fartøyer i stål og sandwich og materialleverandører. De har alle sagt seg interessert i å delta. Det forutsettes også aktiv deltagelse fra redere.

4.1 Bakgrunn og begrunnelse for gjennomføring av en konseptstudie

Det pågår stor aktivitet på den internasjonale arena for å implementere designløsninger basert på lette konstruksjonsmaterialer i skipsbygging. Dette vises bl.a. ved de store forskningsprosjektene det er referert til i rapporten. Det understreker behovet for å implementere lettvektsløsninger i skipskonstruksjon. Det er i denne forbindelse størst fokus på å implementere løsninger basert på kompositt-/sandwichmaterialer. Resultater fra forskningsprosjekter har vist at det oppnås vektbesparelser på 50 % eller mer ved å erstatte tradisjonelle konstruksjoner i stål med designløsninger i kompositt-/sandwichmaterialer. Da er også vekt av brannbeskyttelse tatt med. For anvendelser med mindre strenge krav til brannbeskyttelse vil vektbesparelsen bli høyere. Erfaring fra bygging av fiskefartøy opp til 90 fot viser at lettskipsvekten for slike fartøy blir i størrelsesorden 50 % lettere enn tilsvarende fartøy i stål.

Resultatene indikerer at de initiale byggekostnadene blir noe høyere for løsninger i kompositt/sandwich, men at investeringene på grunn av reduserte driftskostnader blir lønnsomme i løpet av 2-5 års drift. Det er behov for bedre dokumentasjon av kostnader og analyse av levetidskostnader. Vektreduksjonen som oppnås ved å bruke kompositt-/sandwichmaterialer som konstruksjonsmateriale kan også utnyttes til kostnadsreduksjon og ytterligere vektreduksjon dersom den vurderes fra starten i en designprosess.

Det er utviklet løsninger som tilfredsstillende funksjonskravene til brannresistens i IMO/SOLAS regelverkene (FRD 60 og A60). Resultatene har vist at teknologien for å bygge store fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer er tilgjengelig. Det er vist at skipsbyggere med erfaring fra stål med begrenset opplæring vil ha få problemer med å tilpasse seg bygging basert på kompositt-/sandwichmaterialer. En konklusjon er også at typiske skipsverft vil være i stand til å implementere produksjon basert på kompositt-/sandwichmaterialer.

Det er spesielt to fordeler som er viktige ved å bygge fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer. Det ene er at vektreduksjon gir mulighet for betydelig reduksjon i drivstofforbruk og kostnader til drivstoff. Dette er en betydelig kostnad som med den kraftige prisstigningen vi opplever på drivstoff utgjør en trussel for lønnsomheten for fiskere. Ytterligere synergi kan oppnås ved å implementere vektreduksjonspotensialet i designfasen f.eks. ved at behovet for motorkraft kan reduseres. Den andre faktoren er å mulighet for økt fart. Høyere marsjhastighet kan bety store økonomiske gevinster ved levering av fangst. Andre fordeler som trekkes frem ved å bygge fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer er:

- Lavere vekt vil også gjøre båtene enklere å manøvrere og gi lettere bevegelser i sjøen og mindre slitasje på bruk ved fiske i dårlig vær.
- Vektreduksjon vil også gi mulighet for økt lastekapasitet.
- Betydelig reduksjon av vedlikeholdskostnader
- Fartøy i sandwich vil være ferdig isolert
Det vil ikke være problemer med kondensdannelse som kan bidra til fuktighet, korrosjon, raskere aldring og luktproblemer. Dette vil også bidra til bedre komfort for mannskapet.
- Enkle å reparere og bygge om
Fartøy i kompositt/sandwich hevdes å være ukompliserte å reparere, enkle å bygge om og raskere og billigere å utruste

4.2 Hovedpunkter i en konseptstudie

Målsettingen med en slik konseptstudie for å bygge store fiskefartøy i kompositt/sandwich vil være å utvikle en designløsning for et konkret fartøy og benytte den til å belyse og dokumentere gevinster, kartlegge problemområder og vise hvordan disse kan løses. Viktige faktorer vil være vektreduksjon, analyse av kostnader og levetidskostnader, behov for vedlikehold, effekt på drivstofforbruk og hastighet og byggemetoder. En slik konseptstudie vil utvikle det nødvendige beslutningsgrunnlag for redere til vurdere å bygge fiskefartøy i kompositt-/sandwichmaterialer og bidra til å øke kunnskapsnivået om materialene i denne gruppen. For å oppnå det er det viktig at de deltar aktivt i gjennomføringen av konseptstudien.

Planen er å benytte en snurper med lengde på 50-60 m som er bygget eller planlegges bygget i stål som utgangspunkt for en slik konseptstudie. En snurper er valgt fordi den har store RSW-tanker hvor tidligere arbeid har vist at bruk av sandwich har et betydelig potensial for vektbesparelse. Generalarrangement, spesifikasjoner, 3D DAK tegninger og vektanalyser vil foreligge for dette fartøyet. En slik studie vil vise hvilket potensial som ligger i å benytte kompositt/sandwich som konstruksjonsmateriale med hensyn til bl.a. vekt, hastighet, drivstofforbruk, vedlikeholdskostnader og lastekapasitet. Hovedpunktene i konseptstudien vil omfatte:

1) Design og dimensjonering av skrog med integrerte RSW-tanker

Denne oppgaven vil bl.a. omfatte:

- Utarbeidelse av foreløpige skroglinjer med basis i hoveddimensjoner og mulig vektreduksjon
- Gjennomgang av regelverk og kartlegging av eventuelle begrensninger som hindrer optimal materialbruk

- Samle informasjon om stålbåter og komposittbåter
- Vurdere konstruksjonsendringer i forhold til stål basert bl.a. på å utnytte sandwichpaneler som bærende konstruksjonselementer og på at RSW-tankene inngår som en integrert del av skrogkonstruksjonen.
- Bygge opp og modellere deler av skroget og gjennomføre en innledende dimensjonering av skrogets hovedelementer basert på lastscenarier og krav i gjeldende regelverk. Dette vil gi grunnlag for å fastlegge materialløsninger.

2) Struktur og vektberegninger

Arbeidet vil omfatte analyse av komponenter/delkonstruksjoner som kan lages i kompositt/sandwich (f. eks. overbygninger, dekk, master, luker, utstyr). Her vil resultater fra tidligere arbeid bli implementert. Basert på dette arbeidet vil det bli utarbeidet et grovanslag på vekt.

3) Stabilitetsberegninger

- Med utgangspunkt i vektdata og skrogdefinisjon vil det bli gjennomført stabilitetsberegninger for ulike kondisjoner.
- Basert på stabilitetsberegningene vil en eventuell revurdering av skroglinjer og skrogdesign bli vurdert.

4) Arrangement

Oppgaven vil omfatte utarbeidelse av forslag til arrangementsløsninger med hensyn til funksjon, styrke og vektfordeling.

5) Kartlegge problemområder ved konstruksjon i kompositt/sandwich og vurdere løsninger

Det vil være en del problemområder knyttet til å lage store fiskebåter hovedsakelig i kompositt/sandwich. Disse vil bli kartlagt under gjennomføringen og ved gjennomgang av regelverk i oppgave 1). Denne oppgaven vil omfatte en systematisk gjennomgang av disse med målsetting å skissere hvordan problemene kan løses. Eksempler på slike problemområder er:

- Fundamenter for store vinsjer og kraner og annet tungt utstyr
- Vurdere skaderesistens og designløsninger for å tilfredsstille krav til isklasse
- Krav til brannsikkerhet

6) Utarbeide design for et stort fiskefartøy i kompositt/sandwich

Konseptstudien vil oppsummeres i en rapport hvor ulike mulige konstruksjonsløsninger skisseres. Denne oppgaven vil også inneholde vurdering av byggemåte og hvordan konseptet kan realiseres.

7) Utarbeide kostnads- og vektsammenligninger med sammenlignbart fartøy konstruert i stål

Basert på designet som utvikles for løsningen basert på kompositt-/sandwich og data fra det sammenlignbare fartøyet i stål vil kostnader og vekt for de alternative designløsningene bli analysert og sammenlignet. Som en del av denne oppgaven vil også kostnader i driftsfasen bli analysert som grunnlag for å sammenligne levetidskostnader. Dette vil inkludere drivstoffkostnader og vedlikeholdskostnader.

Konseptstudien vil bli gjennomført i nært samarbeid mellom deltagerne i prosjektet og utnytte den kompetansen de representerer. Til sammen vurderes dette å utgjøre den kompetansen som er nødvendig for å gjennomføre en slik konseptstudie. Ved behov vil annen kompetanse bli trukket inn i arbeidet.

Det vil bli lagt vekt på at resultatene av en slik konseptstudie skal illustrere gjennomførbarheten av å lage store fiskefartøy i kompositter og omfatte den dokumentasjon som er nødvendig for å vurdere anskaffelse av store fiskefartøy konstruert i kompositt-/sandwichmaterialer. Konseptstudien skal også belyse komponenter og delkonstruksjoner som er egnet for å lages i disse materialene.

Konseptstudien kan bidra til å legge grunnlag for å bygge store fiskefartøy (40-60m) i kompositt/sandwich. Det hevdes allerede i dag at norskproduserte fiskefartøy i sandwich opp til 70 fot er konkurransedyktig med tilsvarende fartøy produsert i stål. Dersom det skulle vise seg at det er kostnadseffektivt å bygge store fiskefartøy i kompositt/sandwich kan resultatene bidra til at store fiskefartøy i sin helhet kan bygges i Norge. Dersom det blir en realitet vil slike fartøy også kunne bli en viktig eksportartikkel.

Resultatene av en slik konseptstudie kan bidra til betydelig vektbesparelse og dermed gi grunnlag for lavere drivstofforbruk, økt hastighet og økt lastekapasitet for store fiskefartøy. Resultatene kan også bidra til betydelig reduksjon av vedlikeholdskostnader for fiskefartøy og til økt komfort for mannskapet.

Konseptstudien vil bidra til å heve kunnskapen om kompositt-/sandwichmaterialer blant skipskonsulenter og redere og øke fortroligheten med bruk av slike materialer og dermed bidra til en mer optimal materialbruk i fiskeflåten.

5 Referanser

- 1) Horsmon, A, "Large Composite Structures, Foredrag ved NSRP Product Design & Material Technology, Panel Meeting, July 20-21, 2005, Everett WA, USA
- 2) Rasmussen, E, "Overview of Structural Applications of Composites in the U.S. Navy, Foredrag ved NSRP Product Design & Material Technology, Panel Meeting, July 20-21, 2005, Everett WA, USA
- 3) Fanucci, J, "High Performance Composite Ship Structures", Foredrag ved NSRP Product Design & Material Technology, Panel Meeting, July 20-21, 2005, Everett WA, USA
- 4) Vonli, J, Eliassen, G, "Production Technology Transfer and Demonstration for Large Composite Naval Vessels", Foredrag ved NSRP Product Design & Material Technology, Panel Meeting, July 20-21, 2005, Everett WA, USA
- 5) Eliassen, G, McGeorge, D, "Composite Material Superstructures on Steel Naval Vessels", Resultater fra EUCLID RTP3.21, Foredrag ved NSRP Product Design & Material Technology, Panel Meeting, 2005, Everett WA, USA
- 6) Noury, P, Hayman, B, McGeorg, D, "Lightweight Construction for Advanced Shipbuilding – Recent Development", Artikkel fra: 37th Wegent Summer School, Etsin, Madrid, November 2002
- 7) Stokke, R, "Nye materialløsninger for fiskeflåten – Sammendrag av resultater", SINTEF Rapport STF80MK A05170, mai 2005, 12s
- 8) Wenström, J, "Oppsummering CompoShip", Privat kommunikasjon, juni 2008
- 9) LÄSS - Lightweight construction applications at sea (LÄSS), Prosjektets hjemmeside, www.lass.nu
- 10) Hertzberg, T, LÄSS Annual Report November 2006, year 2, Borås, Sverige
- 11) Hertzberg, T, "Lightweight construction applications at sea", Foredrag på LÄSS-konferansen i Borås, 31. oktober, 2007

- 12) KOMPOSAND, "Integreret Design og Procesering af Lette Komposit- og Sandwichkonstruktioner", Prosjektets hjemmeside: www.komposand.dk
- 13) Thybo Thomsen, O, "Forskning i komposit- og sandwichkonstruktioner", Teknisk Nyt Special, 41/2005
- 14) Jakobsen, J, Thybo Thomsen, O, "Forbedret kompositkonstruktion", Plast Panorama nr. 3, 2008
- 15) Brøndsted, P, "Ny viden om komposit- og sandwichkonstruktioner", Plast Panorama nr. 3, 2007
- 16) SAFEDOR, "Design, Operation and Regulation for Safety", Prosjektets hjemmeside: www.safedor.org
- 17) Sames, P.C, "Risk-based Ship Design, Approval and Operation", SAFEDOR-SC-2007-08-10-GL-public-presentation-2007, Last modified 2007-10-13
- 18) SAFEDOR-I-SC-2007-05-GL-fact-sheet-for-owners-rev-0.doc, SAFEDOR-I-SC-2007-05-GL-fact-sheet-for-yards.doc, SAFEDOR-I-SC-2007-05-GL-fact-sheet-for-suppliers.doc
- 19) SAFEDOR, "Annual Public Report Year 2", Document ID: SAFEDOR-D-7-2-6-Annual Public Report-y2, 2007-06-11
- 20) McGeorg, D, Høyning, B, Nordhammar, H, "Risk Based Design – A Case Study on Composite Superstructures", SAFEDOR- The Mid Term Conference, May 2007
- 21) DE-LIGHT Transport, Prosjektets hjemmeside: www.delight-trans.net
- 22) BONDSHIP, " Bonding of light weight materials for cost effective production of high speed craft and passenger ships", Prosjektets hjemmeside: <http://research.dnv.com/bondship/>
- 23) EUCLID RTP3.21, "Survivability, Durability and Performance of Naval Composite Structures", Prosjektets hjemmeside: http://research.dnv.com/euclid_rtp3.21/
- 24) McGeorge, D, EUCLID RTP3.21, Survivability, Durability and Performance of Naval Composite Structures, "FINAL REPORT (PUBLIC), Report No. 2004-3073 Rev. 1, Det Norske Veritas, 2004-02-23.
- 25) Vallbo, S, "Material Selecton Considerations for Polymer Composite Structures in Naval Ship Applications", Journal of Sandwich Structures and Materials, Vol. 7, September 2005, pp 413 - 429
- 26) Hedlund-Åström, A, Luttrupp, C, "Access of Hazardous and Metallic Integrated Objects at Dismantling of Sandwich Ship Structures Through Effective Information Handling", International Conference on Dismantling of Obsolete Vessels, Glasgow, 2006
- 27) Nilsson, J, Söderlund, L, "Lättviktsmaterial för fartyg - En undersökning av svenska rederiers attityd", Examensarbete LiTH-EKI-EX – 2006/013-SE, Linköpings Tekniska Högskola, Ekonomiska Institutjonen, 2006-01-31

