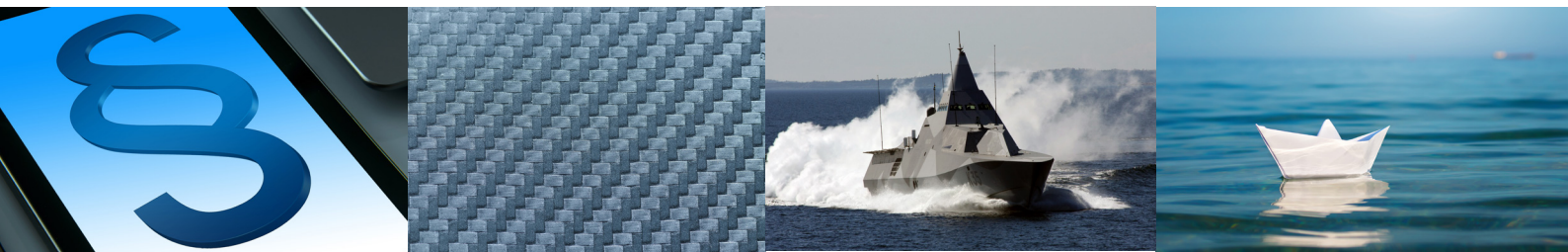


LIGHTHOUSE REPORTS

# Kompositer för en hållbar sjöfart



En förstudie utförd inom Trafikverkets branschprogram Hållbar sjöfart som drivs av Lighthouse.

Publicerad November 2022

## **Kompositer för en hållbar sjöfart**

### **Författare**

Tekn. Dr. Peter Sjögren (RISE)

Tekn. Dr. Anna Sandinge (RISE)

Tekn. Dr. Zhiyuan Li (Chalmers)

### **I samarbete med**

FMV

Green City Ferries

SAAB Kockums

Swede Ship Composite AB

Poseidon Konsult AB

BPAB

Teknos

Detta projekt har genomförts inom Trafikverkets branschprogram Hållbar sjöfart, som drivs av Lighthouse.

## Summary

This pre-study “Composites for sustainable shipping” was carried out as a response to the lightweight industry's desire to map the remaining barriers that still prevent more and larger applications of composite materials in shipping. Ever since the first-generation Visby corvettes were launched in the early 2000s, the industry has shown that it is possible to manufacture large composite ships with good strength and seaworthiness with low maintenance requirements. Despite this, the potential of modern lightweight materials for shipping is underutilized.

Essentially, the stumbling blocks can be divided into three areas: Fire properties, competence, and economy. To this can be added uncertainty during operation in cold climates (ice properties) and recycling issues, as obstacles to more widespread use of composites. Within the framework of this study, ice calculations were carried out to demonstrate new methods of optimising composite hulls, and the results of an earlier preliminary study were supplemented with fire tests for new fire protections at the request of the industry. Furthermore, the results of the preliminary study show that composites have a given place in future shipping in several and new ways.

With the rise of electric powertrains, just as for the aviation and automotive industries, light weight is a prerequisite to be able to go from a fuel with a high energy density to one with a lower. Lightweight is an enabler for an electric fleet. Electric operation and fossil-free energy carriers also mean direct innovation opportunities linked to material selection. Structural batteries, airframe technology, thermally and electrically conductive lightweight materials are areas we see emerging in the wake of the progress of electric operation.

## Sammanfattning

Förstudien ”Kompositer för en hållbar sjöfart” genomfördes som ett svar på lättviktsindustrins vilja att kartlägga de stötestenar som fortfarande hindrar fler och större tillämpningar av kompositmaterial inom sjöfarten. Allt sedan den första generationens Visby-korvetter sjösattes under tidigt 2000-tal har industrin visat att det går att tillverka stora fartyg i komposit med goda hållfasthets- och sjöegenskaper med låga underhållskrav. Trots detta så är potentialen i moderna lättviktsmaterial för sjöfarten underutnyttjad.

I huvudsak kan stötestenarna delas upp i tre områden: brandegenskaper, kompetens och ekonomi. Därtill kan läggas osäkerhet vid drift i kalla klimat (isegenskaper) och återvinningsfrågor, som hinder för mer utbrett nyttjande av kompositer. Inom ramen för studien genomfördes isberäkningar för att visa på nya metoder att optimera kompositskrov och en tidigare förstudies resultat kompletterades med brandprover för nya brandskydd på begäran från industrin. Samtidigt visar förstudiens resultat att kompositer har en given plats i framtidens sjöfart på flera och nya sätt.

Med framväxten av elektriska drivlinor är, precis som för flyg- och bilindustri, lättvikt en förutsättning för att kunna gå från ett bränsle med hög energidensitet till ett med lägre. Lättvikt är en möjliggörare för en eldriven flotta. Eldrift och fossilfria energibärare innebär också direkta innovationsmöjligheter kopplade till materialval. Strukturella batterier, bärplansteknik, termiskt och elektriskt ledande lättviktsmaterial är områden vi ser växa fram i kölvattnet av eldriftens framfart.

## Förkortningar

CFD	Computational Fluid Dynamics
FEM	Finita Element Metoden
HSC	High Speed Craft
ILO	International Labour Organisation
IMO	International Maritime Organization
SBI	Single Burning Item
SOLAS	Safety of Life at Sea
TSFS	Transportstyrelsens författningssamling

## Innehåll

1	Inledning.....	8
1.1	Bakgrund .....	8
1.2	Temat.....	8
1.3	Projektets mål.....	8
1.4	Metod.....	9
1.4.1	Arbetsmöten.....	9
1.4.2	Tematisering vid nätverksseminarier.....	10
1.4.3	Metod för isoler på kompositsskorv.....	10
1.4.4	Metod för brandskyddsprov .....	10
1.4.5	Rapport och kommunikation.....	10
1.4.6	Avgränsningar .....	11
2	Regelverk och kompositers brandegenskaper.....	11
2.1	Relevanta regelverk.....	11
2.1.1	SOLAS Regel 17 .....	11
2.1.2	High Speed Craft-koden.....	12
2.1.3	TSFS 2017:26 .....	12
2.1.4	NATO ANEP 77.....	13
2.2	Relevanta brandprover .....	14
2.2.1	FTP-koden.....	14
2.2.2	Konkalorimeter .....	15
2.3	Principgodkännanden – Kandidater och Uppdelning.....	15
2.4	Resultat från arbetet i projektet angående Regelverk för brandsäkerhet.....	16
2.5	Brandskyddssystem för fartyg.....	16
2.5.1	Svällande (intumescent) system .....	16
2.5.2	Brandbeständiga matris och kärnmaterial.....	17
2.5.3	Integrerade system.....	17
2.5.4	Sammanställning av egenskaper hos passiva skydd.....	17
2.6	Resultat från kompletterande brandprov för svällande (intumeserande) färg ...	17
3	Buller och vibrationer.....	18
3.1	Bullerregelverk .....	19
3.1.1	Havsmiljö.....	19
3.1.2	Ombord .....	19
3.1.3	Militära tillämpningar och marina mätningar.....	19

3.2	Akustik ombord fartyg med elektrisk drivlina.....	19
3.3	Lösningar för bullerproblematik.....	20
3.3.1	Massdämpare.....	20
3.3.2	Beräkning.....	20
3.3.3	Vibrationsdämpare.....	20
3.3.4	Akustiskt isolerade kompositer.....	20
3.3.5	Akustiska svarta hål.....	20
3.4	Relevanta projekt och institutioner .....	21
4	Elektrifiering.....	21
4.1	Bärplansteknik.....	21
4.2	Strukturella batterier .....	21
4.3	Kompositvätgastankar.....	21
5	Isförmåga.....	21
5.1	The case study vessel.....	22
5.2	Numerical simulations of the resistance in fractured ice.....	23
5.3	Risk of hull damage due to ice collision.....	25
6	Produktion, återvinning och hållbara materialval.....	28
6.1	Produktion av fartyg och båtar i kompositmaterial .....	28
6.1.1	Digitala tvillings av fabriker.....	30
6.1.2	Ändringar och retro-fit.....	31
6.1.3	Cirkulär produktion: Problembeskrivning / motivering .....	31
6.2	Pågående projekt.....	32
6.3	Export för en global klimatomställning.....	32
7	Sammanfattning .....	33
7.1	Resultat från förstudien.....	33
7.2	Projektidéer i sammanfattning.....	33
7.2.1	RAMSSES Materialdatabas .....	33
7.2.2	Utveckla en skalad variant av FTP Pt 10 och bättre prediktion genom konkalorimeterresultat till större prov som FTP Pt. 10.....	34
7.2.3	Akustisk dämpning .....	34
7.2.4	Handbok för infästningar i kompositer med aktuell dragprovs data för vanliga laminat och sandwichkonstruktioner.....	34
7.2.5	Livscykelanalyser baserade på elektriska drivlinor.....	34
7.2.6	Standard för Regel 17 .....	35
7.2.7	Utvärdera förändringar av FTP Pt. 5 prov .....	35

7.3	Forum för vidare utveckling .....	36
7.3.1	SMTF CELESTE.....	36
7.3.2	SARGASSO .....	36
7.3.3	S-LÄSS.....	36
7.3.4	E-LASS .....	36
7.3.5	LIGHTer nod Västra Götaland.....	37
8	Referenser.....	38
	Appendix 1 – Brandtest av flamspridning.....	39
	Appendix 2: Genomförda R17-bedömningar för lättviktskonstruktioner på fartyg.....	47
	Tunöfärjan.....	47
8.1	Norwegian Future.....	47
8.2	Nödgeneratorhus på ro-ro-däck .....	48
8.3	SIGMA 12-13.....	48
8.4	Siem Cicero .....	49
8.5	Oshima lastluckor. ....	50
8.6	Barmen-färjan.....	50
8.7	Överbyggnad på RoRo-fartyg i komposit.....	51
8.8	Olika applikationer.....	51
8.9	RAMSSES Demo-case med fokus på kompositer.....	53



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Utvecklingen och byggnationen av första generationens Visby-korvetter blev startskottet för ett kompositbaserat lättviktsfokus inom skeppsbyggnad som tidigare varit mest inriktat på mindre fartyg och fritidsbåtar. Möjligheten att bygga större fartyg, helt eller delvis, av kompositmaterial sågs vara ett möjligt sätt att få ner vikten och på så sätt antingen kunna bära mer last eller reducera bränsleförbrukningen. Kort därefter formades S-LÄSS, nätverket för lättvikt till sjöss. Närverkets uppgift var att, genom samverkan mellan industri, akademi och institut, dela erfarenheter i nya forsknings och industriprojekt. Nätverket växte och under 2010-talet så bildades det Europeiska nätverket E-LASS enligt S-LÄSS modell. Genomslaget blev stort och för att dåvarande SP (nu RISE) skulle ha tid att driva E-LASS så lät man 2016 S-LÄSS bli ett vilande. Några år senare annonserades att en ny generation Visby-korvetter var under utveckling i Sverige, vilket ökade behovet för mer nationell samverkan än innan.

När S-LÄSS åter uppstartades 2020 konstaterades att det mesta som rör problematik kring användning av lättviktsmaterial till sjöss numera är väl beforskat. Idag ligger utmaningen i kompetens, kunskapsspridning och i att informera samhällsaktörer om lättviktsmöjligheterna. Detta sågs som en viktig uppgift för det återuppstartade nätverket. Dock framfördes att det också fortfarande finns områden att utveckla mer kunnande inom och när aktörer i branschen genom S-LÄSS på ett årsmöte röstade på vilka de områdena var, kom de fram till följande: brandegenskaper, kompetens, drift i kalla klimat (isegenskaper), återvinning, ekonomi och produktionsteknik.

## 1.2 Teman

Baserat på de frågeställningar som S-LÄSS hade formulerat tematiserades denna förstudie genom arbetsmöten med de industripartners som medverkade i förstudien, och experter inom respektive tema medverkade på mötena löpande under förstudiens genomförande.

- brandegenskaper
- kompetens
- drift i kalla klimat (isegenskaper)
- återvinning
- ekonomi och produktionsteknik.

## 1.3 Projektets mål

Förstudiens mål har varit att formulera problemställningar baserat på identifierade barriärer och att utveckla lösningsstrategier med syfte att underlätta kommersialisering av lättviktskonstruktioner till sjöss. I studien ingår även att definiera typiska lättviktsapplikationer för SOLAS-fartyg och fartyg som lyder under svenska regelverk och är avsedda för närsjöfart. SOLAS är den internationella konventionen för säkerhetsregler ombord på fartyg. Projektresultaten kommer användas som underlag till ett större projekt där målet är erhållande av principgodkännande från myndigheter och klass för dessa

lättviktsapplikationer, för att göra dem lätt applicerbara på olika fartyg. Målsättningen är således att ta fram strategier och lösningar som bidrar till att fler lättviktsinitiativ realiserar.

I tillämpningsområden där låg vikt eftersträvas utgör polymera fiberkompositer i regel ett bättre alternativ än stål. Fördelarna är bland annat högre styrka per viktenhet, större designfrihet, samt bättre korrosionsbeständighet, vilket i sin tur minskar behovet av underhåll. I marina tillämpningar skapas en mer hållbar sjöfartsnäring genom att lättare fartyg är mer bränsleeffektiva och ger mindre utsläpp som följd. Viktbesparingarna möjliggör även för alternativa drivmedel i högre utsträckning.

Trots stora miljöfördelar och goda mekaniska egenskaper har tillämpningen av fiberkompositer i fartygsstrukturer varit begränsad. Inom förstudiegruppen fanns omfattande kompetens och kunskap om att bygga fartyg i fiberkomposit. Genom kunskaps- och erfarenhetsutbyte utvecklades lösningsstrategier för att adressera de identifierade hindren. Vidare diskuterades typiska lättviktsapplikationer för SOLAS-fartyg och fartyg som lyder under svenska regelverk. Ett annat mål med projektet var att formulera projektförslag som kan drivas i mer specifika men större projekt än denna förstudie i sig. Detta skulle då leda till att förstudiens huvudsakliga mål uppfylls, att genom kompositlösningar anpassade för nya energibärare på fartyg möjliggöra effektivare och klimatsmartare transporter på vattnet.

## 1.4 Metod

Resultaten i förstudien Kompositer för hållbar sjöfart har i huvudsak tagits fram genom tematiserade diskussioner i arbetsmöten och genom tematiserade seminarier (S-LÄSS). I fallet med brandegenskaper och kalla klimat användes fallspecifika forskningsmetoder för att utreda dem enskilt.

### 1.4.1 Arbetsmöten

De medverkande aktörerna i förstudiens möten och arbete var:

- RISE koordinerade förstudien och engagerade också experter inom brandskydd, kompositåtervinning, produktionsteknik, buller och ljud
- Chalmers experter inom hållfasthet för kompositer
- SAAB Kockums
- Försvarets Materielverk (FMV)
- Green City Ferries
- Swede Ship Marine / Composite
- BPAB
- Teknos

Arbetsmötena fokuserade på

- Brandsäkerhet – Regel 17-analys, se 2.1.1 för mer information
- Buller och ljuddämpning
- Hållbarhet och cirkulära materialflöden
- Lättvikt som en möjliggörare för elektrifiering
- Brandsäkerhet – High Speed Craft-koden, se 2.1.2 för mer information

## 1.4.2 Tematisering vid nätverksseminarier

De inledande diskussionerna inspirerade också teman för S-LÄSS och E-LASS seminarier

- S-LÄSS våren 2021: Lättvikt som möjliggörare för elektrifiering
- S-LÄSS hösten 2021: Hållbara material och återvinning
- E-LASS 2022: Produktionsteknik (Ulsteinvik, Norge)

## 1.4.3 Metod för islaster på kompositkorv

En vanlig fråga kring kompositers begränsningar är dess hållfasthet under vinterförhållanden. Som del i förstudien exemplifierade Chalmers hur en designmetodik baserad på islaster för komposit kan utformas. För ingående beskrivning se kapitel 5 (engelska). Motstånd vid is modellerades med DEM, diskret elementmetod, medan luft- och vattenmotstånd beräknades med Volume of Fraction-metoden, CFD. Detta kombinerades sen i simuleringsverktyget STAR-CCM+. Slutligen kunde skrovets påkänning av islasterna beräknas genom finita element metoden (FEM) i ABAQUS.

## 1.4.4 Metod för brandskyddsprov

Fem prover genomfördes inom ramen för förstudien, detta för att komplettera intressanta resultat från en tidigare studie KOMPIS (finansierad av Västra Götalandsregionen). Syftet med KOMPIS var att knyta samman lokala företag för att utveckla kompetensen inom komposit. Ett litet antal material sattes ihop till en testmatris för att utvärdera dess brandegenskaper. Proverna beskrivs mer ingående i kapitel 2.6. Provplattorna tillverkades av BPAB och skickades till Teknos för målning. Slutligen skickades de till RISE brandlaboratorier i Borås för provning enligt SOLAS FTP-kod del 5.

I korthet utförs SOLAS FTP-kod del 5. så att Provkroppen (laminatet) monteras i provhållaren tillsammans med det, enligt standarden, specificerade underlaget. Provkroppen som är vertikalt placerad under provningen utsätts för värmestrålning från en strålningspanel. I nederkant längs med provkroppens ena kortsida tänds en pilotlåga. Tiden när provkroppen antänds noteras samt tiden då flammorna når markeringar var 50:e mm på provkroppen. Annat som också noteras är tiden då flamfronten på centrumlinjen slocknar, den förbrända längden noteras samt eventuell förekomst av brinnande droppar.

## 1.4.5 Rapport och kommunikation

Den här rapporten är slutdokumentationen av förstudien: ”Komposit för en hållbar sjöfart”. Förstudien har presenterats under pågående studie vid S-LÄSS-nätverkets årliga seminarium 2021 och på det europeiska nätverkets (E-LASS) årliga seminarium 2022 som hölls i Ulsteinvik. En projektpresentation har också publicerats på E-LASS hemsida [www.e-lass.eu](http://www.e-lass.eu). Vidare kommer studien presenteras vid LIGHTHOUSE mellanårskonferens för branschprogrammet Hållbar sjöfart under vintern 2022.

### 1.4.6 Avgränsningar

Initialt identifierades ett behov av att ta fram ett verktyg för att öka kunskapen kring Regel-17 analyser. Men de industripartners som deltog i projektet representerade alla mindre fartyg som klassificeras enligt HSC. Detta bidrog till att fokus flyttades något från Regel-17-analyser till att handla om bedömningar enligt HSC-koden, där denna typ av alternativ design inte behöver utredas. Istället finns preskriptiva krav formulerade och baserade på brandskyddproverna SOLAS FTP-koden del 5, 10 och 11.

## 2 Regelverk och kompositers brandegenskaper

### 2.1 Relevanta regelverk

Ett av de främsta hindren för den ökade användningen av fiberkomposit i varvsindustrin är bristen på tydlighet och osäkerhet kring brandteknisk riskanalys. Det saknas kunskap och erfarenhet om hur analysen ska utformas för att uppfylla funktionskraven, processen är lång och tidskrävande, och slutligen är resultatet av analysen förknippat med stor osäkerhet. Osäkerheten förstärks av att SOLAS funktionskrav lämnar stort tolkningsutrymme i bedömningen. Dessutom beror regeltillhörigheten på vilken typ av fartyg som avses klassas, vilket leder till olika regelverk. Regelverken är ofta baserade på storlek, syfte och fartområde eftersom de faktorerna antas beskriva fartygets riskprofil.

Sandinge, Ukaj och Sjögren skriver i sin rapport från KOMPIS-projektet (Sandinge, Ukaj, & Sjögren, 2022):

” Nästan två decennier efter införandet av regel 17 kvarstår flertalet utmaningar som begränsar användningen av fiberkomposit i fartyg, bland annat:

- avsaknad av kompositmaterial som uppfyller de högsta brandskyddskraven;
- eftersom det finns en avsaknad av kompositmaterial som uppfyller de högsta brandskyddskraven finns det även ett behov av provmetoder som främjar material- och produktutveckling;
- okunskap bland kunder om att det finns varv som besitter såväl teknik som kompetens att bygga fartyg i komposit till konkurrenskraftiga priser; och
- människors uppfattningar och attityder till användningen av brännbara material i transportmedel

#### 2.1.1 SOLAS Regel 17

SOLAS kapitel II-2 (del F) Regel 17, kort kallad ”Regel 17”, säger att brandsäkerhetsdesign och -arrangemang kan avvika från de föreskrivande kraven i del B, C, D, E eller G (i kapitel II-2), förutsatt att utformningen och arrangemangen uppfyller brandsäkerhetsmålen och funktionskraven i föreskrifterna. När brandsäkerhetsdesign eller arrangemang avviker från de preskriptiva kraven ska en teknisk analys utföras, baserad på riktlinjerna i MSC / Circ.1002 [4], nedan kallad ”Circular 1002”. Dessa riktlinjer tillåter användning av prestationsbaserade metoder för brandsäkerhetsteknik för att verifiera att brandsäkerheten för en alternativ design är likvärdig eller bättre jämfört med brandsäkerheten enligt

föreskrivande regler, ett begrepp som ofta kallas ”ekvivalensprincipen”. Eftersom det inte finns några allmänna uttryckliga kriterier för den nödvändiga nivån för brandsäkerhet, måste brandsäkerheten i den alternativa designen jämföras med den för en design baserad på de preskriptiva kraven, det vill säga en referensdesign. Med hänsyn till osäkerheten vid jämförelse av nivåer av brandsäkerhet bör den tekniska analysen baserad på Regel 17 visa att den alternativa utformningen och arrangemangen rimligen uppnår brandsäkerhet motsvarande för en design utformad efter det preskriptiva reglerna.

Några uttryckliga kriterier för den krävda brandsäkerhetsnivån har tillhandahållits i bilaga A till cirkulär 1002 genom ändring av MSC.1 / Circ1552. Denna bilaga användes i den kvantitativa analysen för att fastställa att minsta säkerhetsmarginaler uppnås med avseende på säker evakuering från det drabbade utrymmet med kapselbäddar.

Tvetydigheten exemplifieras ytterligare när man jämför SOLAS Kapitel II-2/2 där det står att mängden brännbart material skall reduceras, vilket kan tolkas som en inskränkning i möjligheten att använda fiberkomposit som konstruktionsmaterial. Samtidigt säger då Regel 17 att alternativa konstruktioner och skyddsarrangemang kan användas under förutsättning att samma nivå av säkerhet uppnås som om detaljkraven hade följts.

### 2.1.2 High Speed Craft-koden

Med utvecklingen av många nya typer av höghastighetsfartyg (HSC) under 1980- och 1990-talen, beslutade IMO att anta nya internationella bestämmelser som hanterar de speciella behoven för denna typ av fartyg. 1994 antog IMO den internationella säkerhetskoden för höghastighetsfarkoster (HSC-koden) resolution MSC.36 (63). Samma år antog IMO ett nytt SOLAS kapitel 10 - Säkerhetsåtgärder för höghastighetsfarkoster, vilket gör HSC-koden obligatorisk för höghastighetsfarkost byggd den 1 januari 1996 eller senare. SOLAS kapitel 10 antogs i maj 1994 och trädde i kraft den 1 januari 1996.

HSC-koden gäller för höghastighetsfartyg som används på internationellt vatten, inklusive passagerarfartyg som inte går i mer än fyra timmar i operativ hastighet från en tillflyktsort i full last och för lastfartyg med en bruttodräktighet på 500 och mer som inte går mer än åtta timmar från en tillflyktshamn. Koden kräver att alla passagerare förses med en sittplats och att inga slutna sovplatser finns för passagerare. Sedan år 2000 är HSC-koden obligatoriskt för nya fartyg. HSC-koden från 2000 ersatte då 1994 HSC-kod.

FTP-koden innehåller två brandprov som är unika för HSC-koden

Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerheten på höghastighetsfartyg är Transportstyrelsens ratificering av HSC-koden 2000 och benämns TSFS 2009:102.

### 2.1.3 TSFS 2017:26

De svenska nationella föreskrifterna TSFS 2017:26 trädde i kraft 2017, för nationell fart. Dessa föreskrifter är baserade på funktionella krav. En av avsikterna med de nya föreskrifterna är att möjliggöra alternativ design, okonventionella tekniska lösningar och på detta sätt vara teknikneutral. Det finns enligt TSFS 2017:26 tre vägar framåt för den redare som vill bygga i komposit. De kan kortfattat beskrivas som:

Fartyget byggs enligt ett etablerat och sammanhållet regelverk, exempelvis HSC-koden

1. Redaren visar genom analys att fartyget uppfyller föreskriftens funktionskrav. Här kan den redare som vill förenkla sin analys välja att bygga sitt fartyg i material som uppfyller kriterierna för "Fire-restricting materials" och "Fire-resisting divisions"
2. Den redare som är beredd att ta sig an en mer krävande process kan välja att inkomma med en brandteknisk analys där MSC.1/Circ.1574 (det vill säga brandsäkerhetsvägledning vid tillämpning av Regel 17) kan ge vägledning
3. En kombination av ovanstående metoder. Om en redare väljer ett regelverk som, för det aktuella fartyget, inte kan verifiera överensstämmelse med samtliga funktionskrav i TSFS 2017:26 kan en gapanalys göras. Sedan kan redaren genom analys verifiera överensstämmelse med de funktionskrav som inte omhändertas genom regelverket.

#### 2.1.4 NATO ANEP 77

Eftersom örlogsfartyg inte räknas som "SOLAS-fartyg" utan lyder under NATO:s Naval Ship Code, Allied Naval Engineering Publication (ANEP) 77 finns det större möjligheter att, ur ett regelverksperspektiv, bygga fartyg med lägre kommersiell risk eftersom regelverket är flexiblere och fartygsdesigner inte riskerar hamna i tvetydiga regelverksdiskussioner med klass och flaggstat. (ABS, 2021).

I den internationella konventionen om säkerhet till sjöss (SOLAS) fastställs också minimisäkerhetsstandarder för konstruktion, utrustning och drift. Dock kan marinfartyg ofta inte följa SOLAS av flera skäl: 1. Örlogsfartyg är utformade för att maximera uppdragskapaciteten och de föreskrivande kraven för SOLAS är ofta opraktiska. 2. Marinfartyg utför unika uppdrag som att bära och använda ammunition, transportera stridsmakter med vapen och genomföra påfyllning till sjöss (ibland på väg). 3. Livräddningsutrustning på marinfartyg skiljer sig från de som finns på kommersiella fartyg 4. Systemegenskaper inbyggda i designen står för de unika rollerna som ett krigsfartyg.

Naval Ship Code, publicerad av NATO som Allied Naval Engineering Publication (ANEP) 77, möjliggör en internationellt accepterad säkerhetsstandard - riktad mot IMO-konventioner och resolutioner - som ska tillämpas på militära ytfartyg stridande och icke-stridande.

Naval Ship Code är också ett funktionsbaserat regelverk snarare än ett som förlitar sig på preskriptiva krav. Tidigare var kraven specifika och detaljorienterade (som från en byggspecifikation) och verifierades med operativa tester eller andra metoder. Idag specificeras de huvudsakliga målen, vilket ger designern möjligheter och friheten att innovera samtidigt som man uppnår en motsvarande säkerhetsnivå (ABS, 2021). Naval Ship Code fastställer en miniminivå för säkerheten för örlogsfartyg.

Naval Ship Code är tillämplig på alla icke-kärnkraftsdrivna ytfartyg som tillhör eller drivs av väpnade styrkor, kustbevakning, annan skydds- och säkerhetsorganisation.

## 2.2 Relevanta brandprover

### 2.2.1 FTP-koden

Internationella sjöfartsorganisationen IMO har utvecklat brandsäkerhetsbestämmelser för internationella kommersiella fartyg inom ramen för den internationella konventionen för säkerheten för människoliv till sjöss (SOLAS). I juli 1998 införde IMO Fire Test Procedures Code (FTP Code), som innehåller brandtestprocedurer för brandsäkra konstruktioner och material som används ombord på fartyg. FTP-koden använder i grunden brandtester från International Standards Organisation ISO, som täcker obrännbarhet, brandbeständighet, brandfarlighet, spridning av lågor, rök och toxicitet hos konstruktioner och material.

Typgodkännanden för FTP beviljas för produkter som kommer att tillverkas kontinuerligt (på samma sätt som testade prover) med testning utförd av godkänt laboratorium, där RISE har ett av dessa.

IMO 2010 FTP-koden är komplex med tanke på antalet produkter den gäller för och de olika testkraven och kriterierna. Det är viktigt för tillverkare att förstå kraven när de utvecklar produkter.

Del 1 tar upp obrännbarhet. Testprocedurer liknar de som finns i ISO 1182, där fem prover testas i en röruv och exponeras för 750°C i 30 minuter. Kontrollmätningar för fukthalt, organiskt innehåll och densitet krävs också.

Del 2 fokuserar på rök och toxicitet för ytmaterial för skott, foder eller tak; golvbeläggningar; primära däcköverdrag; och plaströr.

Del 3 testar brandmotstånd "A", "B" och "F" klassindelningar för en mängd olika produkter: strukturell isolering, däckmontering, genomgående tak, skottpaneler, fönster, branddörrar, kabelgenomföringar, rörgenomföringar, kanal. genomföringar och spjäll.

Del 4 omfattar branddörrskontrollsystem.

Del 5, som använts i den här förstudien, mäter flamspridning för ytmaterial för skott, väggar och tak; golvbeläggningar; primära däcköverdrag; isolering för kalla servicesystem; och lim som används för "A", "B" och "F" klassindelningar. Minst tre prover bedöms för kritiskt flöde vid släckning (flamspridning), värme för ihållande förbränning, total värmeavgivning, maximal värmeavgivningshastighet och i vissa fall producerade brinnande droppar.

Del 6 av koden lämnades avsiktligt tom.

Del 7 gäller för vertikalt stödda textilier, såsom gardiner eller draperier.

Del 8 omfattar stoppade möbler och

Del 9 fokuserar på sängkläder som filtar, kuddar, täcken/sängöverkast och madrasser.

Del 10 och 11 är specifika för HSC-koden. Del 10 avser brandbegränsande material, speciellt ytmaterial på skott, vägg- och takbeklädnader och material som används för interiöra byggdelar. Del 11 är för brandbeständiga indelningar och innehåller kriterier för brandbeständiga egenskaper. Den innehåller kriterier för isolering och integritet.

### 2.2.2 Konkallorimeter

Konkallorimeter används för att göra en första gallring av material. Tillsammans med simuleringsprogrammet ConeTools™ kan man göra en bedömning om ett mer omfattande prov som FTP Del 5 och FTP Del 10 är värda att genomföra, alltså om materialet har en chans att klara dem.

Inom byggindustrin kan konkallorimeterns resultat skalas till deras motsvarighet till FTP Pt. 10 det vill säga SBI-test (Single Burning Item) genom simulering, men kan inte garantera lyckade resultat. Simuleringsverktyget är dessutom gjort för träprodukter och inte armerad plast.

## 2.3 Principgodkännanden – Kandidater och Uppdelning

Godkännande av kompositstrukturer i fartygskonstruktioner är upp till varje flaggstat och klassningssällskap, och riktlinjer som specifikt behandlar kompositstrukturer behöver utvecklas för att öka tillförlitligheten i design- och konstruktionsfasen av nybyggnadsprojekt som nyttjar kompositstrukturer.

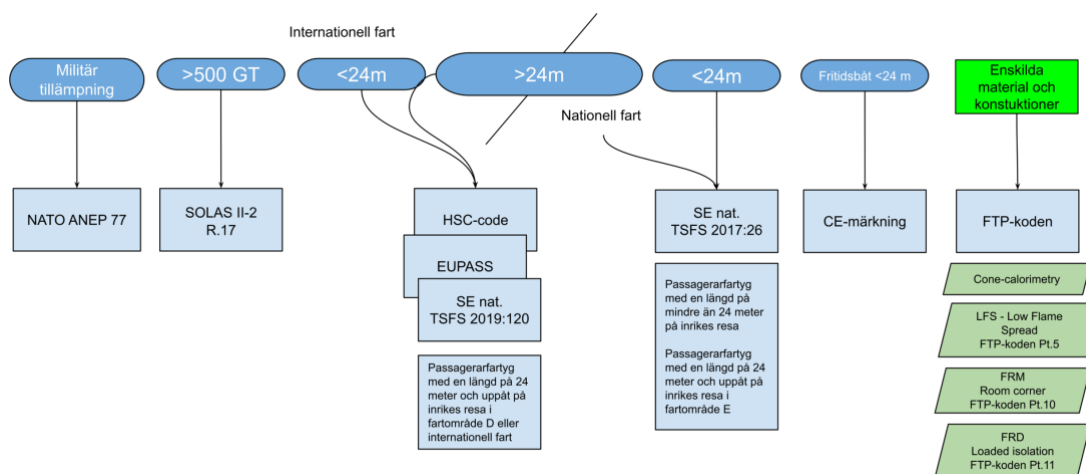
2016 förslags från dåvarande SP (idag RISE) att riktlinjerna för kompositstrukturer bör vara mer fokuserade på att ange en procedur för hur man ska utvärdera och säkerställa strukturella och brandintegritetsegenskaper. Riktlinjerna bör vidare rekommendera acceptanskriterier och exemplifiera lämpliga lösningar och begränsningar (Sandinge, Ukaj, & Sjögren, 2022).

För att åstadkomma det föreslås en uppdelning på olika typer av användning av FRP, dvs härdplast förstärkt med glasfiber eller kolfiber, -kompositstrukturer, såsom:

- A. mindre komponenter (lucka, enkeldäck eller skott, bogvisir, etc.);
- B. större delar (t.ex. däckshus eller överbyggnadsmodul);
- C. Byte (det vill säga ombyggnad/retrofit) av invändiga stålkonstruktioner (t.ex. FRP-komposit med isolering);
- D. hela fartyg (litet fartyg).



## 2.4 Resultat från arbetet i projektet angående Regelverk för brandsäkerhet



Figur 1: Sammanfattning av relevanta regelverk vid konstruktion av fartyg och båtar i kompositmaterial med avseende på brandsäkerhet.

Definitionen i Regel 17 om att ett material måste visa ekvivalens med ett obrännbart material diskvalificerar kompositmaterial för användning i bärande strukturer på SOLAS-fartyg. Kompositmaterial har däremot använts på andra förtjänstfulla sätt. Några av dem har riskbedömts av RISE och redovisas under Appendix 2.

På grund av de stora osäkerheterna i godkännandeprocessen för kompositmaterial tillämpas de olika regelverken ofta på ett kombinerat sätt, precis som beskrivs för TSFS 2017:26 i delkapitel 2.1.3. för att klass och flaggstat skall vara bekväma med ett godkännande av ett tidigare prövat material eller konstruktion. Det kan till exempel innebära att en fartygsdesign som skall klassas och godkännas enligt HSC-koden också behandlas med en riskbedömningsprocess enligt Regel 17. Ett annat fall är sjötaxi, som ofta är av mindre slag och kanske skulle kunna klassas likt en fritidsbåt, men istället klassas utifrån HSC. Mindre färjor som inte är snabbgående, men har de övriga karakteristika som ett HSC, klassas på samma sätt. Detta sker i dialog mellan redare, fartygskonstruktör, flaggstat och klassningssällskap. Därför är det viktigt vid nya typer av konstruktioner eller material att tidigt inleda denna dialog för att inte låsningar skall inträffa sent i processen.

## 2.5 Brandskyddssystem för fartyg

Många av dagens kompositlösningar kräver ett skyddande lager av isolering för att uppfylla brandkraven. Detta leder till en önskad ökning i vikt, en större kostnad och en minskning i utrymme.

### 2.5.1 Svällande (intumescent) system

**Svällande färg:** Det finns många typer av svällande färger på marknaden, många av dem är utvecklade för träkonstruktioner inom byggsektorn. Svällande färgs designprincip är att vid upphettning avge ett tjockt lager kol, vilket skapar en obrännbar barriär samtidigt som

det isolerar den underliggande strukturen. Färgen målas direkt eller efter specialgrundfärg på laminatet.

**Svällande gelcoat:** Gelcoat, det vill säga det yttersta lagret i en kompositstruktur (som kräver ytfinish) integrerar svällförmåga på samma sätt som svällande färger. Skillnaden är att detta skyddande lager är en del av laminatet och gjuts tillsammans med matris och fibrer.

**Utanpåliggande isolering:** Utanpåliggande isolering har den nackdelen att den inte kan ta upp laster i strukturen och är därför en ren extra kostnad som adderar extra vikt i fartygets materielsystem.

Exempel på utanpåliggande isolerande skivor är: FiReCos XFire-system med FireCore, FireBarrier och FireLiner. Litecore Marine Panel bygger på kalciumsilikat, vilket är vanligt material för isolering av rör. Vid isolering av väggytor är det lätt och effektivt men också relativt dyrt och innebär ett tidskrävande montage; Firemaster panel: Sandwichstruktur baserat på en kärna av stenull och laminat av tunnplåt, saluförs av Morgan Thermal Ceramics.

FjordPanel: FjordPanel® är en silikatskumbaserad kompositpanel förstärkt med basaltfiber och uppfyller och den enda panel som idag är godkänd i FRM, det vill säga FTP del 10 och del 5.

### 2.5.2 Brandbeständiga matris- och kärnmaterial

Även den bärande strukturen, alltså kompositen i sig kan innehålla brandskyddande medel eller material. Det finns till exempel obrännbara kärnor. För obrännbara kärnor är ofta problemet att de har sämre lastupptagande förmåga än brännbara motsvarigheter, vilket förhindrar deras tillämning i den lastbärande konstruktionen. Utmaningen är den samma som för utanpåliggande **isolerande** paneler, vilket beskrevs i föregående avsnitt.

### 2.5.3 Integrerade system

Integrerade system arbetar in brandegenskaperna i bärande struktur- och produktionsprocesser. Generellt kan sägas att den här typen av system lider av två problem. Dels svåra tillverkningsprocesser, dels försämrade strukturella egenskaper. Ett exempel på ett sådant system är Saertex LEO som svällande ytmaterial med svårantändliga kärnmaterial.

### 2.5.4 Sammanställning av egenskaper hos passiva skydd

I skrivande stund finns inga integrerade system eller matris- och kärnmaterial som klarat FRM- testet, dvs room corner enligt IMO FTP Code Part 10, och på så vis skulle kunna kvalificeras sig att konstruera icke isolerade strukturer med lastbärande förmåga för SOLAS eller HSC-fartyg.

## 2.6 Resultat från kompletterande brandprov för svällande (intumeserande) färg

Brandproverna i KOMPIS-projektet (Sandinge, Ukaj, & Sjögren, 2022) visade en lovande kombination av fenolhartskomposit och svällande färg i ett FTP Pt.5-prov (spread of flame). I den aktuella provserien gick det däremot inte att dra några slutsatser om hur

mycket av fenolhartsen kontra den svällande färgen som stod för resultaten. För att bestämma detta och ge industrin ett bättre beslutsunderlag för vidareutveckling av kombinationer av de två materialen genomfördes inom ramen för den här förstudien en provserie med FTP Pt.5-prov som redovisas i sin helhet i Appendix 1.

Sammanfattningsvis kan sägas att nya prov med det fenolhartsbaserade laminatet provades med kolfiber (eftersom det är vanligare för större fartyg och båtar än glasfiber som användes i KOMPIS). För att utreda hur mycket av brandskyddet som kom från fenolharts laminatet och hur mycket som kom från brandskyddsfärgen från Teknos som användes, så testades även en ett rent vinylesterlaminat med brandskyddsfärg utan fenollager under.

Proverna visade på två problem:

1. För det fenolbaserade laminatet exploderade små fickor av vatten som bildade ånga i laminatet under proven. Detta ledde till att brandskyddsfärgen bokstavligen sköts av från laminatet, vilket kan förstöra provutrustningen. I samtliga 3 prov med detta laminat hände samma sak. Detta är farligt för människor eftersom ett sådant laminat vid upphettning riskerar skjuta heta bitar på människor i närheten och exponerar även laminatet för brand, vilket ger snabbare antändning.
2. De rena vinylesterproven hade problem med vidhäftningen av brandskyddsfärgen. Vid samtliga 2 prov hårdnade färgen i värmen och föll av laminatet som äggskal, vilket brandexponerade laminatet som antände. Den svällande brandskyddsfärgen bedöms ändå ha stor potential men vidhäftningsproblematiken måste hanteras för att kunna gå vidare med prov i t.ex. FTP del 10.

### 3 Buller och vibrationer

Lättare och styvare strukturer och byggnadselement överför, och i vissa fall förstärker, ljud. Frågan är komplex, medan ett lättare enkellaminat kan överföra ljud på ett mindre fördelaktigt sätt än t.ex. stål så kan en sandwichpanel med en kärna dämpa ljud mycket bättre trots att den är lättare än motsvarande stålplåt.

Ur ett skeppsbyggnadstekniskt perspektiv finns det flera områden där buller och andra ljud behöver kontrolleras och hanteras.

1. Buller som stör marina organismer, detta kan vara propeller, motor och utrustning ombord
2. Buller ombord för de som arbetar på fartyget eller de som färdas som passagerare
3. Buller som signatur inom marinens farkoster

I samtliga fall skiljer man mellan impulsljud och kontinuerligt ljud. Impulsljud kan uppstå exempelvis vid pålning av en brygga eller en hiss ombord ett fartyg, medan kontinuerligt ljud är ljud som avges från en motor eller skrov.

Som forskningsdisciplin är NVH (Noise, vibration and harshness) det vill säga Buller, vibrationer och hårdhet (NVH) en kompetens som är knuten till produktutveckling inom fordonsindustrin. Buller och vibrationer kan mätas, men hårdhet är en subjektiv egenskap som mäts antingen via juryutvärderingar eller med analytiska verktyg som kan ge resultat som återspeglar mänskliga subjektiva intryck, vilket tillhör fältet psykoakustik. För buller och vibrationer ombord fartyg skiljer man på källorna (Bermano, Boote, Pais, & S, 2015):

- (1) Hydrodynamiska (skrov, propeller, roder etc.)
- (2) Aerodynamiska (överbyggnad, master, fläktsystem etc.)
- (3) Mekaniska (motorljud, dörrar, ramper etc.)
- (4) Elektriska (aktuatorer och elmotorer etc.)

## 3.1 Bullerregelverk

### 3.1.1 Havsmiljö

Undervattensstrålat buller från kommersiella fartyg kan ha negativa konsekvenser både på kort och lång sikt på det marina livet, särskilt marina däggdjur. IMO arbetar med åtgärder för att minska undervattensbuller, inklusive riktlinjerna för reduktion av undervattensbuller från kommersiell sjöfart för att hantera negativa effekter på marint liv MEPC.1/ Circ.833, ”Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life”

### 3.1.2 Ombord

Ombord styrs buller och vibrationer av internationellt av ILO (Convention concerning the Protection of Workers against Occupational Hazards in the Working Environment Due to Air Pollution, Noise and Vibration, 11 Jul 1979) och IMO-resolutionen MSC.337(91) ”Code on noise levels on-board ships”. I Sverige skall Transportstyrelsen (TSFS 2019:56: Transportstyrelsens föreskrifter om arbetsmiljö på fartyg) följas som baseras på de föregående med vissa tillägg från Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2005:15)

### 3.1.3 Militära tillämpningar och marina mätningar

Många örlogsfartyg har ett krav på kavitationsstarthastighet (cavitation inception speed = CIS). Detta är den högsta hastigheten med vilken fartyget kan manövreras utan kavitation på propeller eller andra skrovfästa detaljer så som roder. Förutom att kavitation över tid förstör propellern så avger de kollapsande gasbubblorna ljud.

## 3.2 Akustik ombord fartyg med elektrisk drivlina

Som nämndes i kapitlets inledning är ”harshness” ett upplevt ljud som inte kan kvantifieras genom mätning. När buller från huvud- och hjälpmaskiner minskas i och med elektriska drivlinor kan andra ljud som från ventilation upplevas störande trots att deras faktiska ljudnivå är lägre än den från en tidigare dieselmaskin eller -aggregat.

Samtidigt ger de låga akustiska signaturen ombord fartyg med elektrisk drivlina nya möjligheter för marina mätningar och marinens farkoster i form av smygteknik. Däremot kan de högfrekventa ljuden från en elektrisk drivlina utgöra svårigheter att dämpa i sig.

Från ett kompositperspektiv leder en mindre bullrig miljö ombord till en mer förlåtande konstruktionsrymd, där en del av de dämpare och andra åtgärder som tidigare beskrivits här inte längre är nödvändiga.

## 3.3 Lösningar för bullerproblematik

### 3.3.1 Massdämpare

Massdämpare används t.ex. inom byggindustrin för att minska svängning och vibrationer i höghus. De var också vanliga förr för att stabilisera fartyg mot vågrörelser, så kallade anti-rollgyron. Idag används ofta stabiliseringsfenor för samma syfte där behovet av att minska fartygsrörelser är stort, som för yachter och oceanografiska mätningar. Massdämpare har dessutom problemet att de baseras på att man tillför massa, vilket kompositernas syfte att var att minska från början. Därför behöver man arbeta mer proaktivt och strategiskt med bullerproblematik för kompositfartyg, med beräkningsmodeller och punktinsatser för att isolera bort buller och vibrationer.

### 3.3.2 Beräkning

Inom fordonsindustrin är buller och vibrationsanalyser del av produktutvecklingsmetodologin där FEM och CFD används för att förbättra komforten redan på simuleringsstadiet, en praktik som blir allt vanligare även om sjöfarten (Bermano, Boote, Pais, & S, 2015). Vid beräkning utgår man från komponentnivån och arbetar sig utåt till den omgivande miljön via systemet (fartyget).

### 3.3.3 Vibrationsdämpare

Det finns många produkter som är anpassade för vibrationsdämpning ombord fartyg (e.g. Sylomer®) där specifika maskiner eller strukturer kan utrustas med dämpning så som däck, skott, aggregat, luckor, dörrar. Det finns även vibrationsdämpande mattor som klarar IMO:s FTP-kod pt 2 och 5. Vid vibrationsdämpning kan även ”rum-i-rum” konstrueras så att det inre rummet är isolerat från vibrationer och buller. Det är en dyr och komplex lösning men effektivt ur ett dämpningsperspektiv.

### 3.3.4 Akustiskt isolerade kompositer

Det finns även många sandwichpaneler på marknaden som erbjuder ljuddämpning. Tyvärr baseras de naturligt på elastiska kärnmaterial, vilka i sig inte alltid lämpar sig som konstruktionselement.

### 3.3.5 Akustiska svarta hål

I RAMSESS-projektet prövades passiv strukturell dämpning med så kallade akustiska svarta hål (De-Luca & Paboeuf, 2021). Principen är att för paneler introducera skålformade håligheter där mitten av varje skål har en nära-noll-tjocklek, vilket gör att vibrationer dämpas ut i panelen. Flera sådana ”skålar” i ett mönster över en panel gör att dess vibrationskaraktäristik blir mer gynnsam ur ett ljudkomfortsperspektiv.

Författarna sammanfattar att: akustiska svarta hål är ett intressant designverktyg som gör det möjligt att lägga till dämpning till en panelliknande struktur, som kabinväggar, framförallt de som är gjorda i komposit som har en hög specifik styvhet. Akustiska svarta hål är ett växande forskningsområde med många tillämpningar. ”Skålarna” försvagar däremot varje panels hållfasthet, vilket gör att detta inte är en framkomlig väg i de flesta element med lastbärande förmåga.

### 3.4 Relevanta projekt och institutioner

Farkost och solidmekanik vid KTH driver flera projekt inom Buller och NVH.

## 4 Elektrifiering

Elektrifiering har många fördelar ur ett sjötransportperspektiv, primära utsläpp minskar genom att en fossilfri energimix kan användas och buller och vibrationer minskar när förbränningsmotorer ersätts av elmotorer. Men elektrifieringen har i många fall problemet att vikten ökar på grund av batteriers låga energidensitet. Därför fungerar lättvikt som en möjliggörare för elektrifiering av sjötransporter.

### 4.1 Bärplansteknik

En stor utmaning som uppstår när man elektrifierar ett fartyg till fossilfri framdrivning är begränsningar i räckvidden och det finns inga självklara vägar för att lösa detta. Men under de senaste åren, tack vare nya framsteg inom tillverkning och design av kompositmaterial, har bärplansbåtar med elektrisk framdrivning framträtt som en mycket attraktiv lösning som inte bara erbjuder hög hastighet till låg kostnad utan också förbättrad komfort ombord när det gäller rörelser och buller.

En bärplansbåt minskar energiförbrukningen med 80 % jämfört med dess traditionella motsvarighet. Samtidigt är detta ett område på framväxt där avancerad utformning av kompositer kan användas för att uppnå passiv styrning av bärplanet till en låg vikt. På grund av bärplanets placering under ytan är det heller inte föremål för diskussioner om brandskydd.

### 4.2 Strukturella batterier

Något längre fram i tiden än bärplan ligger strukturella batterier, det vill säga att nyttja bärande strukturer till att också bära energi. Forskargrupper på KTH och Chalmers jobbar nu på låga TRL-nivåer men med lovande resultat där kolfiber kan laddas i sig självt.

### 4.3 Kompositvätgastankar

Ett tredje område där kompositer utgör ett helt nytt tillämpningsområde för sjöfarten är vätgastankar. Tankar som är lättare och tätare än sina metalliska alternativ torde vara intressanta för den mängd av fartygskoncept som nu designas för vätgasdrift, exempelvis Gotland Horizon och Green City Ferries Beluga 24.

## 5 Isförmåga

Isförmåga är en egenskap som ofta diskuteras till kompositers nackdel. Frågan i sig har utretts av Johan Edvardsson och kollegor och redovisas i rapporten ”Lättviktsfartyg och vinterförhållanden” (Edvardsson, 2016). Edvardssons slutsats är att det är viktigt att inte överdimensionera fartyget mot att kunna bryta is utan att istället anpassa fartyget så att det fungerar så bra som möjligt i huvudoperationsfallet och därefter kunna operera med begränsningar då det blir is. Följande del är skriven på engelska av förstudiens ansvarige för Isförmåge-avsnittet.

In this study, the ice-going performance of ship hulls made of composite material was studied using sophisticated numerical tools. A search-and-rescue (SAR) boat with a composite hull was employed as the case study vessel. Two main concerns about ships' ice-going performance were focused on: 1) resistance induced by ice, and 2) potential hull damage due to collision with ice.

## 5.1 The case study vessel

Despite the increasing number of composite ships, large ships with a length of 100 m and larger are still built using traditional steel or aluminum (Lowde, o.a., 2022). Composite materials are utilized for hull construction of ships of smaller sizes, in particular for high-speed vessels that require lighter hull weights, such as naval vessels, workboats, fast ferries, lifeboats, etc. In this study, we take as the case study vessel a SAR boat of a new design, which is supposed to operate in Swedish coastal waters and lakes where ice is expected to be encountered in winter. The hull of this SAR boat is made of fibre-reinforced polymer (FRP) matrix composites. Figure 2 illustrates the case study boat. The vessel particulars are presented in Table 1.



Figure 2: The case study vessel (photo courtesy: POSEIDON KONSULT AB)

Table 1: The particulars of the SAR boat

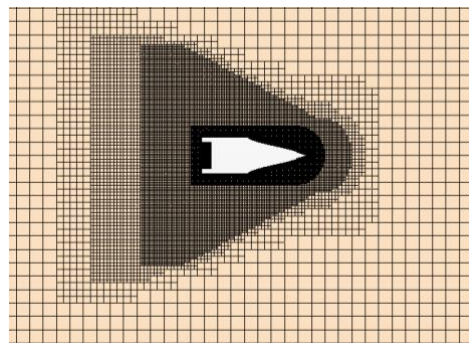
Length over all (LOA) [m]	13.6
Length waterline (LWL) [m]	12.5
Beam over all (BOA) [m]	4.5
Beam waterline (BWL) [m]	4.4
Displacement [ton]	15.5
Draft [m]	0.92
Service speed [kn]	45+

## 5.2 Numerical simulations of the resistance in fractured ice

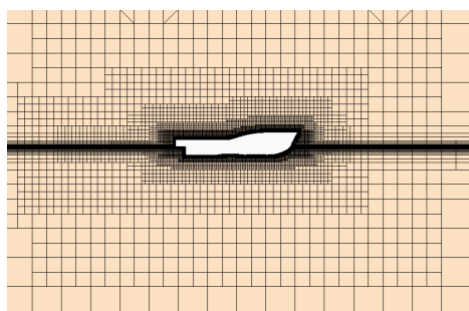
There are different types of ice in Swedish sea waters and lakes. In general, the ice a ship may encounter can be divided into two main categories. The first category is termed level ice, which is an ice field that covers a large area of water surface. The other category can be termed fractured ice, which is either new ice that has not become a consolidated ice sheet or level ice broken by icebreakers or waves. There are other types of sea ice such as ice ridge, which is often very thick and requires icebreaker assistance. In this study, we focus on resistance from fractured ice, as well as hull damage due to collision of level ice.

The ice resistance of this study is investigated numerically using the state-of-the-art tool STAR-CCM+, which is a commercial software based on the combined Computational Fluid Dynamic (CFD) and Discrete Element Method (DEM) method. The free surface simulation using STAR-CCM+ between the air and water was modelled by the volume of fraction (VOF) method, while the ice is modelled by the DEM particles. Based on STAR-CCM+, the CFD-DEM coupling process was applied in the simulation. The CFD-DEM coupling is a kind of Euler-Lagrangian coupling approach in which the fluid phase is considered the continuum phase described in the Euler method, and the unbreakable model ice particles are discrete elements described in the Lagrangian method. In particular, the finite volume method (FVM) is used to solve the fluid phase.

In this study, the CFD-DEM model is a one-way coupling. Figure 3 shows the mesh layout of the model, in which relatively high resolutions are applied to the regions where ship-wave-ice interactions are expected to happen. In this work, the full scale is in use in the CFD-DEM simulations. The model is composed of a total cell number of around  $2 \times 10^6$  fluid and up to  $0.4 \times 10^6$  DEM particles, depending on the ice concentration.

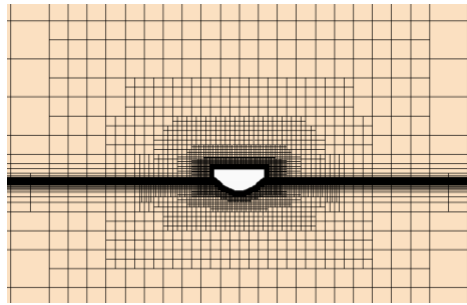


(a) Plan view



(b) Profile view





(c) Front view

Figure 3: The mesh layout of the STAR-CCM+ model

The ship-ice interaction scenarios in this study are supposed to simulate the navigation of the SAR boat in a fractured ice field. The encountered ice is assumed to be ice floes of a square shape of 2x2 m. The ice thickness is assumed to be 0.2 m, which is considered representative of winter navigation in Swedish waters. Various ice concentrations are considered in this study, with an ice concentration range of 0.5 to 0.9, leading to different values of ice resistance. Figure 4 illustrates a ship-ice interaction scenario with an ice concentration of 0.7.

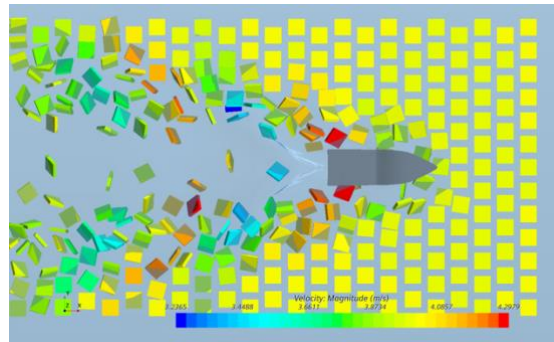


Figure 4 : An example of the ship-ice interaction scenario

*The ship's speed is another critical factor related to the resistance. When sailing in ice, the ship's speed will be significantly lower than the designed service speed. The speed reduction in ice is because of two reasons. Firstly, when ice exists in water, the ship resistance will increase significantly, resulting in involuntary speed loss. Secondly, in most cases, ship speed must be slowed down voluntarily to avoid potential damage to the hull and propeller due to the ship-ice interaction. In this work, the SAR boat is assumed to sail at much lower speeds in comparison to the designed high speed in open waters, which are also dependent on the ice concentrations. Three speeds; 5, 8 and 11 knots, were simulated for the SAR boat under the ice concentration of 0.7. The resistances are plotted in*

Figure 5. The red line shows the resistance due to ice, while the blue line represents the water resistance. The total resistance is represented by the black line. It is observed that the resistance under such an operational condition of ship speed and ice environment is up to 33.5 kN. From such simulations, we will be able to find out the maximum achievable speed for various ice conditions for the case study vessel. The simulation tool can also be utilized to design new vessels regarding required propulsion power.

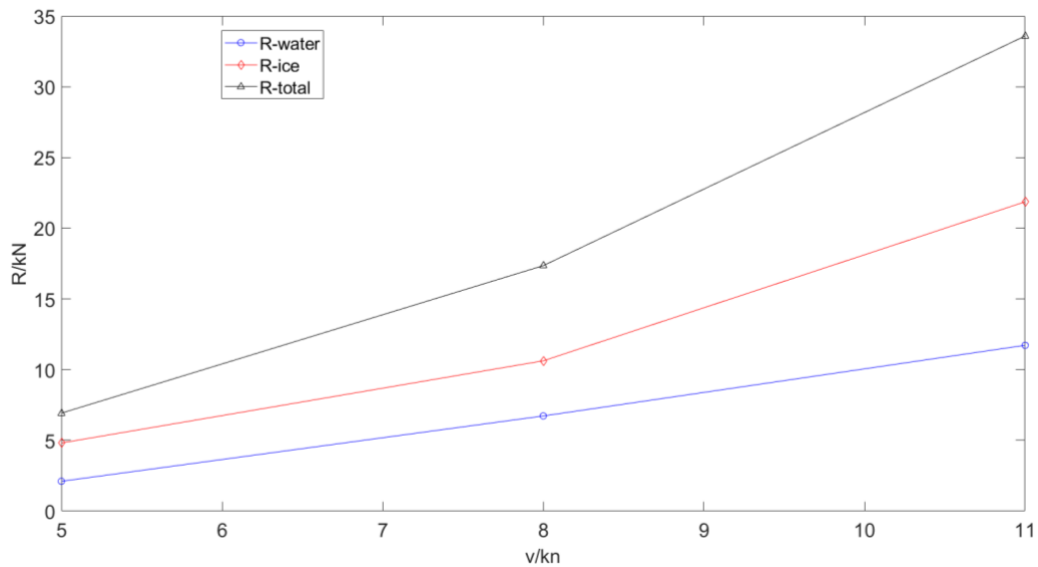


Figure 5: The simulated ice resistances.

### 5.3 Risk of hull damage due to ice collision

Ship-ice collisions and the ship's crashworthiness are crucial for commercial vessels without structural reinforcement against ice. Research on ice collision of composite ships is much less than on ships made of steel. The purpose of this study is to investigate composite hulls' crashworthiness under ship-ice collisions. The same SAR boat mentioned in the previous sub-section was taken as the case study vessel. This study is carried out through numerical simulations using ABAQUS, which is based on the non-linear finite element method.

This study focused on side collision. It is assumed that the SAR boat collides with the edge of the level ice sheet when navigating in ice-infested waters at a moderate speed. This is based on the scenario that the SAR boat sails in old ice channels that were opened by icebreakers, which is rather common for winter navigation in the Baltic Sea. Figure 6 illustrates the side collision scenario: the SAR boat with an original speed  $V_0$  first collides with Ice Sheet  $h_1$  at the Location 1 at the bow, gaining a side speed, then collides with Ice Sheet  $h_2$  at the Location 2 at the side. The collision at Location 2 is deemed more critical and was focused on in this study.

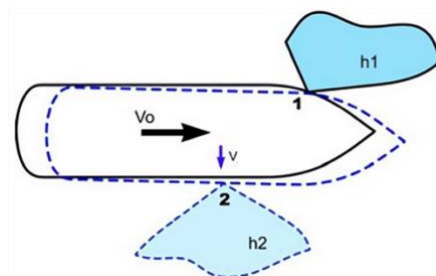


Figure 6: The ice collision scenario

The hull structure is made of carbon fibre reinforced polymer HS300/ET223 (Feng & Aymerich, 2014). Table 2 listed the elastic and fracture properties of HS300/ET223 carbon fibre epoxy resin matrix composite. The stacking sequence of the multidirectional laminate is taken as [0/45/90/-45].

Table 2: HS300/ET223 carbon fibre epoxy resin matrix composite

E (GPa)	E <sub>2</sub> (GPa)	$\nu_{12} = \nu_{13}$	$\nu_{23}$	$\rho$ (kg/m)	X <sub>T</sub> (MPa)	X <sub>C</sub> (MPa)	Y <sub>T</sub> (MPa)	Y <sub>C</sub> (MPa)
122	6.2	0.35	0.5	1600	1850	1470	29	140

A finite element model was created for the mid-ship section with a segment length of 4m, using the FEM code Abaqus. 4-node quadrilateral linear reduced-integration element (S4R) is employed for both the plate and the stiffener. The plate thickness is 10mm. The stiffener is a hat-shaped structure, with a thickness of 8mm. The hat-shape structure is shown in Figure 7. The bonding type between the plate and the stiffener is set to be “tie”. The mesh size is in the range of 10mm×10mm. The sea ice is simplified as a rigid body, assumed to be hemispherical with a diameter of 0.5m.

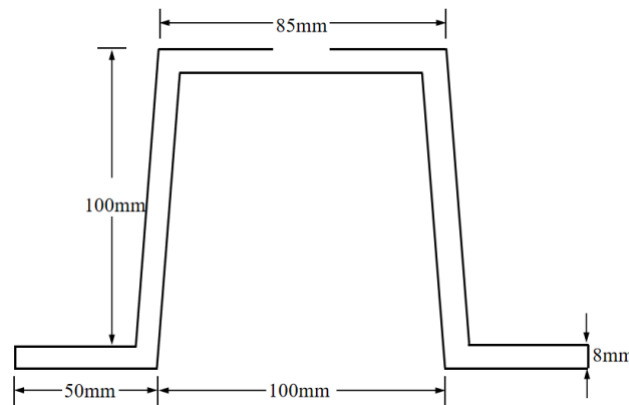


Figure 7: The hat-shape stiffener structure

Three different impact locations on the ship-side structure were simulated, as shown in Figure 8. These impact locations represent various structural configurations of the hull side. Location 1 is the joint point of the longitudinal and transverse stiffeners. Location 2 is in the middle of the longitudinal stiffener, while location 3 is in the middle of a side plating. The initial collision speed is set as 2m/s.

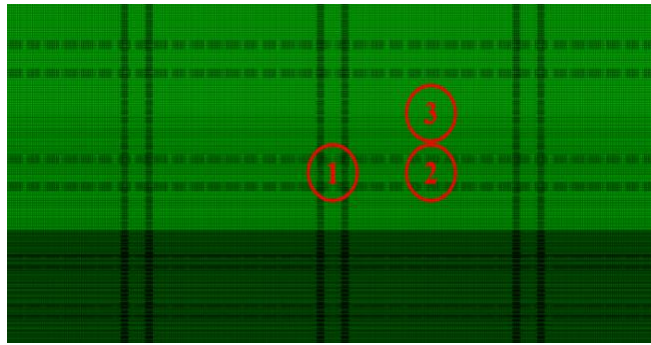


Figure 8: The impact locations on the ship side structure

The impact simulations were carried out using Abaqus/Explicit. The material damage evolution with the Chang-Chang failure criterion and the stiffness progressive degradation method was implemented by making use of the VUMAT subroutine. Cohesive cells were employed to simulate delamination damage at the interface layer of the laminate. Figure 9 shows the von Mises stresses and deformation of the side structure at the impact locations. It is observed that for the investigated impact scenarios, the deformation at location 3 is greater than the other locations, which implies this location is most critical concerning hull damage under ice collision.

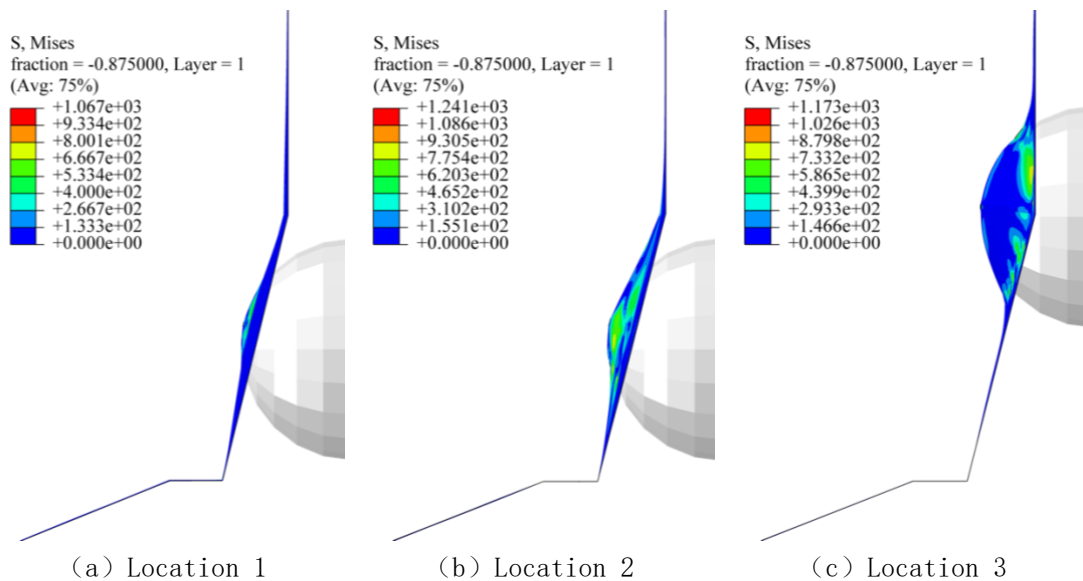


Figure 9: von Mises stresses and deformation of the side structure at the impact locations

In addition, the energy absorption capacities of the various structural members at the different locations were also investigated. Figure 10 shows the energy absorption curve, and Table 3 shows the energy absorption ratio among the various side hull structural members. It is observed that the energy absorption of location 2 and location 3 are equivalent, while the energy absorption of location 1 is significantly less. It is also found that, during the impact, the longitudinal at position 1 plays a major role in energy

absorption. The impact energy is absorbed by both the longitudinal and the plate at location 2. At location 3, in contrast, the impact energy is mainly absorbed by the plate where the stiffeners are located relatively far away. In general, the hat-shaped stiffeners have good energy absorption capacity, which needs to be reinforced if we want improved ice-going performance of a composite hull.

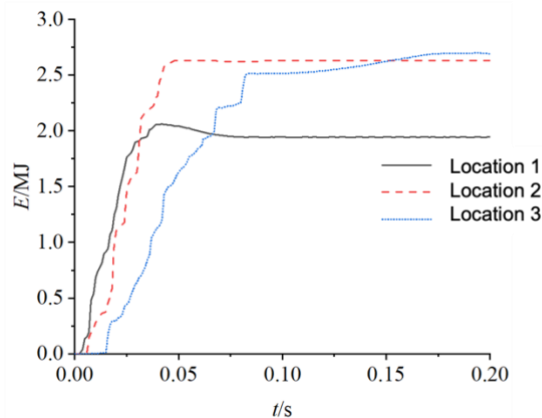


Figure 10: The energy absorption curve

Table 3: Energy absorption ratio of the side structural members

Side structural member	Location 1	Location 2	Location 3
Plate	14.9%	40.1%	98.0%
Longitudinal stiffener	15.8%	59.8%	1.9%
Transverse stiffener	69.3%	0.1%	0.1%

## 6 Produktion, återvinning och hållbara materialval

### 6.1 Produktion av fartyg och båtar i kompositmaterial

RISE har arbetat med automatisering av komposittillverkning i mer än 20 år, syftet har då främst varit att möjliggöra rationell tillverkning i högre volymer till rimlig kostnad. Som exempel kan nämnas skärning och hantering av torra vävar med skärmaskin och robot, även förimpregnerad s.k. prepreg har skurits och hanterats med robot i flera projekt såsom Triple Use, Robust och G5Demo-2 tillsammans med flyg- och fordonsindustrin.

Tillverkning av lindade förformor med robot i olika former och för olika ändamål där harts injiceras i ett senare steg har också genomförts, liksom lindning av fiberförstärkningar där förstärkningen senare gjuts in i en formsprutad termoplastdetalj. I projekten har främst fibermaterial som glas- och kolfiber använts men även naturfiber som flax har använts i vissa projekt.

För målet i projektförslaget om cirkulära produktionsflöden har RISE erfarenhet från det VINNOVA-finansierade projektet ”ReComp - Cirkulära strömmar från glasfiberkomposit”. Där undersöktes en teknisk lösning där både glasfiber- och plastkomponenter från uttjänta glasfiberhårdplastkompositer (GFRP) från vind-, båt-, fordons- och byggnadsindustrin återvinns via en kemisk process (solvolys, HTL) baserad på miljövänliga lösningsmedel. I det här projektförslaget kommer resultat från ReComp vävas in genom att beakta dess principer redan på produktionsstadiet.

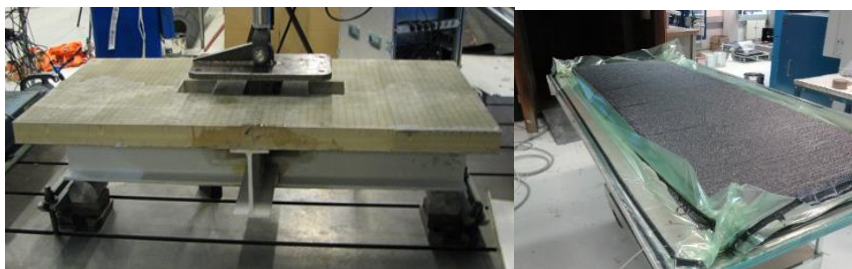
RISE har mer än 20 års erfarenhet från flera marina EU-projekt inom strukturell design med FE-analys, mekaniska tester, produktion av demonstrator, kostnadsberäkningar, mm för fartyg och båtar från svenska och europeiska varv. Nedan presenteras de aktiviteter som RISE utfört i tidigare EU-projekt.

I ThroughLife-projektet har RISE utvecklat en komposit soldäcksdesign för en flodkryssare byggd av Meyer Werft. Tolv alternativa koncept inklusive fossil- och biobaserad komposit optimerades med FEA. En linfiberkomposit sandwichpanel tillverkades med vakuuminfusion och från linfiberkomposit sandwichpanelen skars balkar. Balkarna testades under 3-punktsböjning för att verifiera noggrannheten hos FE-modeller.

I BESST-projektet har RISE genomfört mekanisk testning av limfogar under torra och våta förhållanden, och med olika ytbehandling före limning och testning av kompositdäckstrukturer för fartyg från Saab Kockums.

I MoveIt-projektet har en genomförbarhetsstudie utförts av de förlängningsstrukturer som ska införas vid mittfartyget för inlandsfartyg. Kostnad och ekonomiska aspekter av strukturer har bedömts. RISE analyserade 4 olika kompositstrukturer (Kolfiber eller glasfiberkomposit och sandwich eller enskilda paneler) och jämförde med en stålvariant.

I RAMSSES-projektet har RISE tillverkat några demo-fall för olika varv: en vägg ombord för Meyer Werft, ett soltak för Baltic Workboats och ett bildäck för Flow Design. Tillverkningsoptimering för en PFA / glasfiber prepreg sandwichpaneler utfördes RISE.

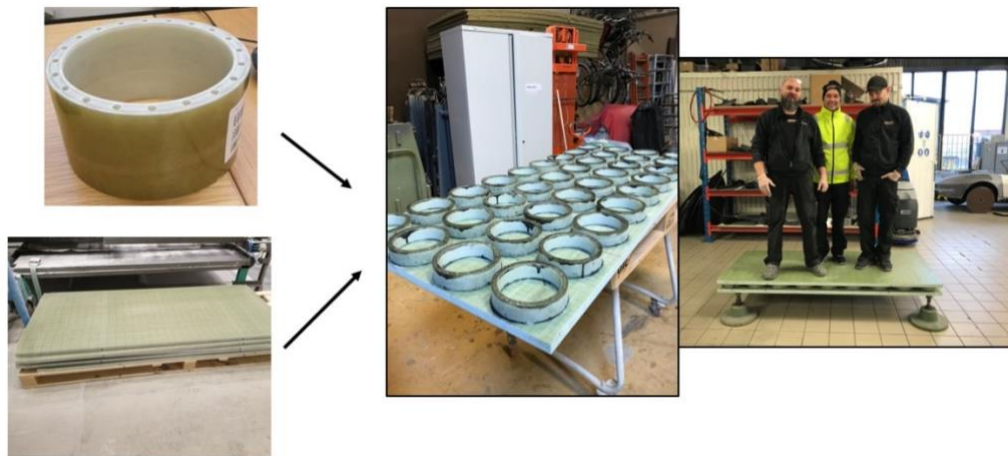


*Figur 11: Product manufacturing for the RAMSSES project.*

Två RISE projekt har tittat nyligen närmare på problematiken med hantering av uttjänta kompositer. Det första, nyligen avslutat ”Rekovind – Kemisk återvinning av glasfiberkomposit (GFRP) från Vindturbinblad”, där RISE utökade sin kompetens inom denna problematik med avseende på utveckling av innovativa återvinningslösningar och cirkulära frågeställningar av glasfiberkompositer från vindturbinblad. I det andra pågående

projektet ReComp<sup>1</sup>, som beskrevs ovan, fortsätter arbetet med flera branscher (fordon, bygg, båt och vind) som använder stora volymer av glasfiberkompositer, med fokus på återvinning och återanvändning av de framtida materialströmmarna. Aktivitet relaterade till certifiering av uttjänta kompositstrukturer pågår inom ReComp med LTU, och planeras att utvecklas vidare i flera kommande projekt.

RISE har under 2019 inlett flera samarbeten inom detta forskningsfält och aktivt letat industripartners för projekt inom återanvändning av kompositstrukturer. I januari 2020 startade RECINA-projektet<sup>2</sup>, där man avser att använda produktionsspill från ABB:s kompositrör för konstruktion av ett brodäcksystem. En demonstrator har redan tillverkats av RECINA projektpartner Composite Design, se Figur 13, och mekaniska provningar ska göras under våren 2021.



Figur 12: Brodäck utvecklat i RECINA projektet från uttjänta GFRP från produktion från ABB och Podcomp

Sweco, RISE och Chalmers har tillsammans initierat två examensarbeten (2020 och 2021) där möjligheten till att återanvända uttjänta GFRP vindturbinblad för olika infrastruktur och byggnadskonstruktioner undersökts.

### 6.1.1 Digitala tvillingar av fabriker

Produktion av kommersiella och marina fartyg i varvsmiljö är en process med en stor del av manuellt arbete, komplexitet och engångsserier. Att använda digitala tvillingteknologier i denna bransch har potentialen att kraftigt minska kostnad och öka kvalitet och övergripande processsäkerhet. Chalmers SIILab har genomgående erfarenhet av utveckling av digitala tvillingar för produktionssystem och tillsammans med RISE Polymera material och kompositer, som jobbar med digitala tvillingar för enskilda processer kan både hög och låg upplösning fångas i simuleringsmodeller. Införandet av ett digitalt tvillingfartyg, dvs ett fartyg som betonar tillverknings- och produktionsprocessen, skulle därmed minska riskerna och öka förutsägbarheten för en kostsam process. Utmaning: Utveckla en digital dubbel rammetod - för varvsindustrin som arbetar med tillverkning av kompositmaterial.

<sup>1</sup> RECOMP - Cirkulära strömmar av glasfiberkomposit (Vinnova, Dnr. 2018-04132)

<sup>2</sup> RECINA project (2020) RISE, Sweden - Reuse of composite parts for infrastructure applications

### 6.1.2 Ändringar och retro-fit

En aspekt som ofta framhålls till kompositers nackdel är svårigheterna att ändra eller eftermontera delar eller komponenter när ett skrov väl fabricerats. Detta beror på att infästningar för tyngre belastningar ofta gjuts in i skrovformen och då blir infästningar efter färdig skorvform ofta sämre eller rent av dåliga. I förstudien har två svar på den här problemtiken framhållits.

- (1) Beräknings och simuleringsverktyg är viktigare i ett produktionsförfarande där ändringar i efterhand är svårare eller direkt olämpliga.
- (2) Enklare infästningar och ad-hoc lösningar som fungerar finns, men det är ett hantverkskunnande som idag är affärshemligheter hos kompositvarv eller enskilda båtbyggare.

### 6.1.3 Cirkulär produktion: Problembeskrivning / motivering

Problematiken kring hur man tar hand om produkter gjorda av fiberkomposit (glas- eller kolfiber), från produktionsavfall eller efter deras livstid återstår och växer i flera sektorer (bil, båt, vind, energi). Då inget producentansvar för kompositstrukturer finns idag, ligger ansvaret för sluthantering av dessa produkter hos ägaren.

***För att göra båttillverkningen helt cirkulär, måste man hitta en lösning för hantering av kompositavfall vid produktion.*** Under tillverkningen av en båt produceras samtidigt som båten flera kilo avfall i form av härdat harts, icke impregnerade fiber, samt mindre och större kompositdelar som sågas från däck för att skapa öppningar för olika ändamål.

FRP, dvs härdplast förstärkt med glasfiber eller kolfiber, kan idag inte återvinnas på ett hållbart sätt där återvunnet material kan användas i andra produkter, i synnerhet för glasfiberkomposit. Kolfiber har ett högre värde än glasfiber, och därför har fler processer för återvinning av kolfiberkomposit tagits fram. För glasfiberkomposit, är förbränning i stort sett en ineffektiv lösning. Detta på grund av att huvudkomponenten är glasfiber – ett oorganiskt material som inte kan förbrännas, vilket leder till stora askrester från förbränningen. Dessa botten- och flygaskor går till deponi, vilket inte heller är problemfritt<sup>3</sup>.

#### ***Ingen hållbar återvinningsprocess idag***

Idag går uttjänta kompositdelar till avfallsförbränning, cementindustrin<sup>4</sup> och deponi. Ingen av dessa kortsiktiga lösningar är optimerade för att ta vara på materialresurserna.

#### ***Lösning 1 – inkludera cirkulär tänkande under produktion***

En lösning på detta miljöproblem är att utveckla nya cirkulära affärsmodeller för återanvändning av produktionsavfall genom hantering redan på fabriken. Återanvändning av kompositdelar som exempelvis konstruktionsmaterial för olika nya produkter. Det finns en stor potential att behålla förädlingsvärdet hos dessa nytillverkade kompositdelar och ge dem ett "andra liv" då de ofta är mekaniskt starka. Detta leder till en ökad hållbar

---

<sup>3</sup> "Så undviker vi att skapa fler gift öar", SvD 2019

<sup>4</sup> Scott Francis, Decommissioned wind turbine blades used for cement co-processing, Composite World, 2019



återanvändning av kompositavfall och ger samtidigt en kostnadseffektiv och hållbar båtproduktion.

### ***Lösning 2 – Öka kvalitetssäkring av producerade komponenter***

Att tidigt i produktionen inkludera olika verktyg som snabbt kan identifiera avvikelser i produktens kvalitet kan drastiskt minska mängden av produktionsavfall. Detta ska förstås implementeras utan att för stor negativ påverkan på produktionstakten. Nya icke-förstörande metoder, med avancerade och automatiserade verktyg, bör ersätta empiriska och manuella metoder som oftast använts idag.

## **6.2 Pågående projekt**

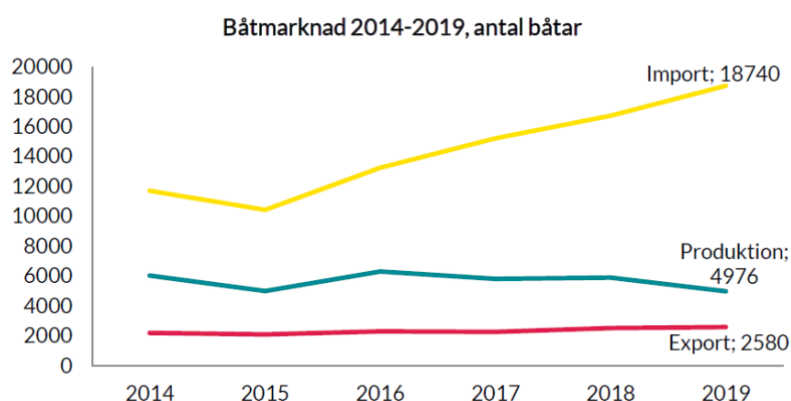
Fibre4Yards-projektet ”Tillverkningsteknik för fiberkomposit med automatisering och modulkonstruktion inom skeppsvarv” är ett treårigt Horisont 2020 projekt som började våren 2021 med en budget på totalt 7,5 MEUR. Målet är att bidra till att behålla det europeiska ledarskapet inom skeppsbyggnad och underhåll inom komposit. Projektet syftar till att överföra, anpassa och kombinera målinriktad avancerad produktionsteknik från andra konkurrensutsatta industrisektorer för att bygga en Shipyard 4.0-miljö. Det är också värt att nämna EU-projektet FIBREGY som liknar Fibre4Yards men med fokus på havsenergitillämpningar så som vind och våg.

## **6.3 Export för en global klimatomställning**

Det finns ca 820 000 fritidsbåtar i Sverige och 6 miljoner i Europa. Av de svenska båtarna uppskattas 92% vara i sjödugligt skick. Ungefär hälften av Sveriges fritidsbåtar räknas som småbåtar, det vill säga, är kortare än 6 m. 18% har ruff. 2015 var median båtåldern 27 år där 30% av alla båtar var byggda 1980 eller tidigare. Det finns med andra ord stor potential till positiv klimatomställning i det generationsskifte av fritidsbåtar som borde ske inom ett par år, där mer hållbara materialval och elektrifiering kan ge stor positiv klimatpåverkan. I Sverige tillverkas ca 5 000 – 6 000 båtar per år varav 95 % räknas som småbåtar, 6 m eller mindre<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Källa: Fakta om båtlivet i Sverige 2019 (Sweboat, 2019); Båtlivsundersökningen 2015 (Transportstyrelsen, 2016).



Figur 13: Import kontra export av båtar i Sverige mellan 2014-2019

Medan marknaden för elektriska fritidsbåtar fortfarande är liten globalt - cirka 15 000 båtar såldes förra året - förväntas marknaden öka till 70 000 i slutet av 2029. Tyvärr hålls potentialen tillbaka eftersom utsläppsreglerna och inköpssubventionerna som har hjälpt till att driva elbilsförsäljningen ännu inte matchas för sjöfarten. Men förändringarna är på väg och Norge, som är världsledande när det gäller antal elbilar per capita, bekräftade i februari 2021 planerna att förbjuda utsläpp från fartyg i vissa fjordar fram till 2026.

## 7 Sammanfattning

### 7.1 Resultat från förstudien

Förstudien baseras på de diskussioner som fördes under arbetsmötena för specifika ämnen kopplade till kompositers roll i lättvikt för sjöfarten. Förstudien har lett till att gällande regelverk kan presenteras på ett med överskådligt sätt, och på så sätt få intressenter att snabbare sätta sig in i vilket regelverk som är relevant för deras tillämpning. Förstudien har också lett till samarbeten om nya projektansökningar kopplade till brandskydd, hållbarhet och produktionsteknik. Utöver arbetsmöten genomfördes beräkningar och metodredovisningar för vinterförhållanden och kompletterande brandskyddsprov som visat på nya intressanta resultat för industri och akademi.

### 7.2 Projektidéer i sammanfattning

#### 7.2.1 RAMSSES Materialdatabas

Det råder förvirring om vilka material som klarat vilka prover inom industrin. Dels eftersom misslyckade kommersiella prov inte redovisas av tillverkare, dels eftersom förståelsen för provmetoderna är låg hos konstruktörer och varv. För forskningsprojekt likt denna förstudie kan resultat, även misslyckade, redovisas men de är få i jämförelse med de kommersiella prov som genomförs. Inom ramen för RAMSSES, ett större EU-finansierat projekt, har ambitionen varit att påbörja en materialdatabas med test-data där både forskare och företag kan lägga in sina provresultat, från bland annat brandprov. Materialdatabasen är under utveckling och kommer att bli offentlig på [www.e-lass.eu](http://www.e-lass.eu) under 2022.

### 7.2.2 Utveckla en skalad variant av FTP Pt 10 och bättre prediktion genom konkalorimeterresultat till större prov som FTP Pt. 10.

FTP Pt 10 som också har en motsvarande ISO-standard (ISO 5660-1) är som konstaterats i förstudien ett dyrt och omfattande prov. Inom byggindustrin använde man länge den motsvarande ISO-standarderna vid prov men man insåg att detta var ett hinder när man vill gallra ut nya material och materialkombinationer. Istället utvecklades SBI (Single Burning Item) där provkroppen är en sektion av materialet 1x1,5m. Exempel på produkter som kan testas med denna metod är alla typer av byggprodukter, till exempel de som ingår i den europeiska byggproduktförordningen, CPR, eller som finns i nationella bestämmelser, till exempel tapeter, färgsystem, akustikskivor och beläggningar.

Metoden ger förutom fördelarna med CE-märkning även viktig information om byggprodukternas brandegenskaper och används därför ofta i produktutvecklings-sammanhang och processoptimering. Denna testmetod är inte möjligt idag för den maritima sektorn. Men om det var tillåtet skulle det påskynda och sänka kostnaderna för att gallra ut lämpliga materialkandidater för tillämpningar ombord. Vidare skulle konkalorimeter-data kunna studeras för att utveckla bättre prediktionsmetoder för kompositer.

### 7.2.3 Akustisk dämpning

Frågeställningarna kring akustisk dämpning det vill säga problem med buller och vibrationer, förenar de kommersiella och militära tillämpningarna. Inom ramen för den här förstudien har ingen projekttidé formulerats inom detta område. Men det råder en samstämmighet om att ett systemperspektiv behövs där kunskap om akustiskt beteende hos fartyg är central. I sådant fall bör en gruppering formeras med experter på buller och vibrationspåverkan för miljö, personer och tekniska system.

### 7.2.4 Handbok för infästningar i kompositer med aktuell dragprovs data för vanliga laminat och sandwichkonstruktioner.

En punkt som återkom i diskussionerna under arbetsmötena, framför allt när produktionsteknik diskuterades, var praktisk och beprövad erfarenhet vid tillverkning av fartyg och båtar i komposit. I många fall krävs enklare infästningar i och lagningar av komposittillverkade delar. Idag är konstruktören lämnad att endera använda teori eller tillverkarens specifika anvisningar vid montage och lagningar. I många fall är instruktionerna konservativa och svåra att genomföra. Genom att dokumentera och publicera enklare prov av till exempel infästningar direkt i laminat med följande dragprovsdata skulle många montage kunna förenklas. Därför förslås som en möjlig fortsättning ett projekt med fokus på: Test av slag, punktlaster och lagningsmetoder för vanliga kompositer och byggnadselement.

### 7.2.5 Livscykelanalyser baserade på elektriska drivlinor

Flera studier har visat hur man genom att bygga lättare fartyg med kompositer kunnat överträffa stål- och aluminiumskrov i livscykelprestanda, se till exempel (Hedlund-Åström & Tasala Gradin, Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Analysis of Innovative Vessel, The CargoXpress., 2015) (Hedlund Åström, 2009) (Hedlund-Åström & Olsson, 1998)

(Burman & Kutteneuler, 2010). Resultaten bygger till stor del på den insparade vikten och följaktligen den lägre bränslekonsumtionen, vilket resulterar i färre koldioxidekvivalenter över fartygets livstid. Men i och med att nya och äldre fartyg nu går över till eldrift och utsläppen i driftfasen av ett fartygs livstid minimeras håller inte argumentet om livstidsbesparingar längre. Det vore därför intressant att omanlysra fall från förr med ett elektrifierat användarfall. Insikten leder frågeställningen vidare till hur bättre komposit kan utvecklas med cirkulära materialflöden.

### 7.2.6 Standard för Regel 17

En av svårigheterna i godkännandeprocessen för fartyg som är konstruerade av komposit är hur bland annat Regel 17 och associerade riskanalyser genomförs i praktiken. Det är en nödvändigt att varje riskanalys utgår från det aktuella fallet, därför är repeterbarheten begränsad. Däremot skulle en godkännandeprocess kunna dokumenteras i en fallstudie där resultaten leder till ett mer standardiserat tillvägagångsätt än tidigare. Det skall dock nämnas att de ”cirkulär” som författas med målet att hjälpa beslutsfattare i konstruktionsprocessen delvis fyller detta behov, i huvudsak MSC / Circ.1002. Tillsammans med de dokumenterade forskningsprojekten där Regel 17 tillämpas i Appendix 2 borde detta vara en bra början på ett sådant arbete.

### 7.2.7 Utvärdera förändringar av FTP Pt. 5 prov

En del i att öka nyttjandet av komposit ligger i att bättre anpassa testmetoder så att de representerar användarfallen. Prov enligt del fem i FTP-koden genomförs genom att provplattan fästs i en stålram som fjäderbelastas bakifrån. En värmeskärm med given effekt riktas mot provet och en pilotlåga tänds i dess ena ända, se Figur 14. Testmetoden är från början utvecklad för att prova färger på exempelvis stål. Provet skall ha samma ingående material och lager som det laminat som skall användas på det tilltänka fartyget. I fallet där en sandwichkomposit skall provas så är ofta kanterna exponerade detta leder till att kärnmaterialet oftast utsätts för mer värme- och flampåverkan än om samma material hade dolda helt i ett skott eller däck, se orange pilar i Figur 14. Ett del-fem prov blir således till kompositernas nackdel. Under projektet diskuterades olika sätt att komma runt detta problem. Ett sätt vore att alltid laminera runt kärnmaterialet istället för att såga proven ur större paneler och eventuellt brandskyddsmåla kanterna om det är avsikten för laminatet i övrigt. Ett annat sätt vore använda mer brandisolerande material i själva inspänningsramen så att inte flammor eller överdrivet mycket värme kryper in runt kanterna vid provning.



Figur 14. Proving av reaktion vid brandpåverkan enligt FTP-koden, part 5.

### 7.3 Forum för vidare utveckling

Diskussioner har förts inom ramen för förstudien om relevanta forum för vidare utveckling av både resultat och nu etablerade samarbeten, vilka kort beskrivs nedan.

#### 7.3.1 SMTF CELESTE

Svenskt Marintekniskt Forums projektutvecklingsverktyg CELESTE innehåller underkategorin ”Material, skrov och underhåll” där frågor om framtidens brandskydd kan drivas vidare i samarbete med industrin men även frågor om hållbarhet, buller och produktionsteknik är relevanta områden att lyfta inom CELESTE.

#### 7.3.2 SARGASSO

Sargasso är en fristående plattform för öppen innovation med fokus på marinteknik, idéer om nya projekt och bestående utmaningar kan hanteras genom Sargasso efter att förstudien avslutats.

#### 7.3.3 S-LÄSS

S-LÄSS, som initierande nätverk av förstudien i sig har tagit del av preliminära resultat och dessa kommer i sin helhet presenteras vid nästa årsmöte.

#### 7.3.4 E-LASS

För att driva frågor med internationella samarbetspartners rekommenderas E-LASS nätverk som en god mottagare av frågeställningar som den nationella sammanslutningen av olika anledningar vill bredda.

### 7.3.5 LIGHTer nod Västra Götaland

Det pågående strategiska innovationsprogrammet [LIGHTer](#):s nod Västra Götaland har till uppdrag att på ett likande sätt som förstudien belysa nya möjligheter till lättviktsapplikationer baserad på den pågående elektrifieringen av många av våra transportslag, där sjöfarten är ett.

## 8 Referenser

- ABS. (den 09 Februari 2021). *ABS, 2021, NAVAL SHIP CODE COMPLIANCE* . Hämtat från <https://ww2.eagle.org/>: <https://ww2.eagle.org/en/Products-and-Services/global-government/naval-ship-code-compliance.html>.
- Bermano, C., Boote, D., Pais, T., & S, M. (2015). DEVELOPMENT OF AN NVH METHODOLOGY. *Design & Construction of Super & Mega Yachts*. Genoa, Italy: RINA.
- Burman, M., & Kutteneuler, J. (2010). Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of the Hull of a High Speed Craft. *Composite structures*.
- De-Luca, J.-C., & Paboeuf, S. (2021). Passive Structural Damping with Acoustic Black Hole. *E-LASS #14*. [https://e-lass.eu/media/2021/02/04\\_Presentation-ABH-ELASS-Jan21.pdf](https://e-lass.eu/media/2021/02/04_Presentation-ABH-ELASS-Jan21.pdf) .
- Edvardsson, J. (2016). *Lättviktsfartyg och vinterförhållanden*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. S-LÅSS och Offshore Väst.
- Feng, D., & Aymerich, F. (2014). Finite element modelling of damage induced by low-velocity impact on composite laminates. *Composite Structures*, 108: 161-171.
- Hedlund Åström, A. (2009). Life Cycle Perspective for Light Weight Ship Structures in Terms of Cost and Environmental Effects. . *International Conference on Light Weight Design for Marine Structures* . Glasgow, UK.
- Hedlund-Åström, A., & Olsson, K. A. (1998). *The Fourth International Conference on Sandwich Construction*, (s. A comparative LCA study on a boat structure). Stockholm.
- Hedlund-Åström, A., & Tasala Gradin, I. (2015). Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Analysis of Innovative Vessel, The CargoXpress. *International Conference on Lightweight Design of Marine Structures*. Glasgow.
- Lowde, M., Peters, H., Geraghty, R., Graham-Jones, J., Pemberton, R., & Summerscales, J. (2022). The 100 m Composite Ship? *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (3) 408.
- Sandinge, A., Ukaj, K., & Sjögren, A. (2022). *Kompositlösningar inom sjöfarten-KOMPIS*. Borås: RISE.

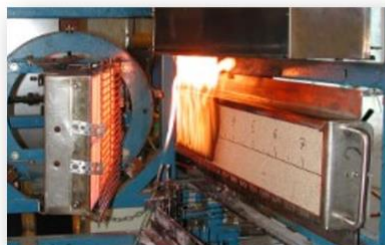
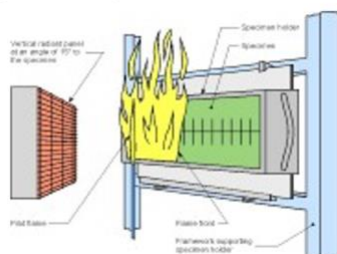
## Appendix 1 – Brandtest av flamspridning

I detta appendix presenteras resultaten av brandprovning enligt IMO FTP Code 2010 Part 5, flamspridning, på de utvalda kompositlösningarna.

### Surface flammability, Spread of flame IMO FTP Code Part 5

The specimen is vertically positioned during test and exposed to heat radiation from a radiation panel and a pilot flame.

The time when the specimen is ignited and the time when the flame reaches every 50 mm mark along the specimen is noted. Time to flame out of the flame front on the center line, burnt length and any occurrence of burning droplets are noted.



1  
2

RI  
SE

### Surface flammability, Spread of flame – IMO FTP Code Part 5

Performance criteria

Test parameter		Bulkhead, wall and ceiling linings	Floor coverings	Primary deck coverings
Critical Flux at Extinguishment	CFE (kW/m <sup>2</sup> )	≥ 20.0	≥ 7.0	≥ 7.0
Heat for sustained burning	Q <sub>sb</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	≥ 1.5	≥ 0.25	≥ 0.25
Total heat release	Q <sub>t</sub> (MJ)	≤ 0.7	≤ 2.0	≤ 2.0
Peak heat release rate	Q <sub>p</sub> (kW)	≤ 4.0	≤ 10.0	≤ 10.0
Burning droplets		Not produced	No more than 10 burning drops	Not produced

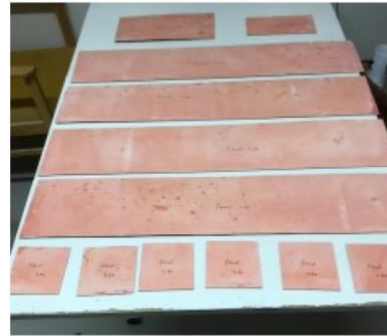
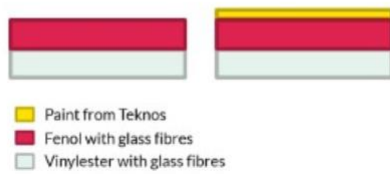
1  
3

RI  
SE



## Material selection in the KOMPIS project

- Hybrid with vinylester and phenol
  - Reinforced with glass fibres
  - Phenolic skin acting as fire barrier
  - Vinylester provides strength
- Fibre content: 52 %



RI  
SE

## Tested products – KOFS

### Product 1 – Vinylester/Carbon fibres

Material:  
4 lager kolfiberBx 0600 impregnerad med Vinylester Dio#100-M700 (härdatrigonox239)



RI  
SE

## Tested products – KOFS

### Product 2 – Vinylester/Glass fibres

Material:  
4 lager glasfiber Bx0600 impregnerad med Vinylester Dio#100M700 (härdat i trigonox239).



RI  
SE

## Tested products – KOFS

### Product 3 – Phenol /Carbon fibres + Vinylester/Carbon fibres

Material:  
2 lager Bx0600 kolfiber, impregnerat med Fenolplast Hexion Cellbond 2042 X01 (härdat i Phenocat 10 motformyta)  
2 lager kolfiber Bx0600 impregnerad med Vinylester Dio#100M700 (härdat i trigonox239).



RI  
SE

## Tested products – KOFS

### Product 4 – Phenol/Carbon fibres + Vinylester/Glass fibres

Material:  
 2 lagar glasfiber Bx 0600 impregnerad med Vinylester Dio 9100M700 (härdare Trig onox 239) .  
 Primad med SikaPrime+215  
 2 lagar Bx 0600 kolfiber, impregnerat med Fenolplast Hexion Cellobond J2042X01 (härdare Phencat 10) motformyta



RI  
SE

## Surface flammability, Spread of flame – IMO FTP Code Part 5

Product		CFE (kW/m <sup>2</sup> )	Qsb (MJ/m <sup>2</sup> )	Qt (MJ)	Qp (kW)	Burning droplets
Painted Fenol Vinylester*	Test 1	>50	NI	NI	NI	No
Product 1 – Vinylester/Carbon fibres	Test 1	37.5	6.7	1.9	1.3	No
Product 2 – Vinylester/Glass fibres	Test 1	46.6	.**	1.3	1.8	No
	Test 2***	46.6	.**	0.5	0.7	No
Product 3 – Phenol /Carbon fibres + Vinylester/Carbon fibres	Test 1	No data was recorded due to early termination of test. Pieces of laminate shot out from the sample and stuck to the radiation panel. Due to risk of damage to equipment, the test was terminated.				
Product 4 – Phenol/Carbon fibres + Vinylester/Glass fibres	Test 1	No data was recorded due to early termination of test. Pieces of laminate shot out from the sample and stuck to the radiation panel. Due to risk of damage to equipment, the test was terminated.				

\* Results from KOMPIS project.

\*\* Not calculated since the flame front did not reach the 175 mm mark.

\*\*\* Additional pre-treatment of laminate surface before application of coating.

NI = No Ignition




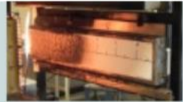




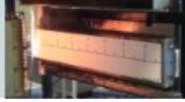

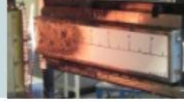

CFE – Critical Flux at Extinguishment  
 Qsb – Heat for sustained burning  
 Qt – Total heat release  
 Qp – Peak heat release rate

RI  
SE

## Flame spread – KOFs panels

Product	Time in test: 30s	1 min	2 min	10 min
Product 1 Vinylester/ Carbon fibres				
Product 2 Vinylester/ Glass fibres				
Product 3 Phenol / Carbon fibres + Vinylester/ Carbon fibres				
Product 4 Phenol/ Carbon fibres + Vinylester/ Glass fibres				

## Flame spread Painted Fenol Vinylester from KOMPIS project

Test no	Time in test 30s	1 min	2 min	10 min
1				
2				
3				

DL  
SE

## Flame spread – KOFS panel, Product 2

Vinylester/  
Glass fibres

Sample after  
test



RI  
SE

## Flame spread – KOFS panel, Product 3

Phenol / Carbon fibres +  
Vinylester/Carbon fibres



Pilot flame went out after 1 min of test time. It was re -ignited manually.

1 min 30 s: Large piece of coating fell from surface.

2 min 15 s: Small piece of laminate shot out from specimen into radiation panel.

2 min 20 s: Small piece of laminate shot out from specimen into radiation panel. Burning at the radiation panel.

Pilot flame went out again after 2 min 30s of test time. Test was terminated.

RI  
SE

## Flame spread – KOFS panel, Product 3

Phenol / Carbon fibres +  
Vinylester/Carbon fibres

Sample after  
test



RI  
SE

## Flame spread

Small pieces of laminate shot  
out from the specimen and  
stuck to the radiation panel.



RI  
SE

## Flame spread – KOFS panel, Product 4

Phenol / Carbon fibres +  
Vinylester/Carbon fibres  
with SIKA primer



1 min 15 s: Small piece of laminate shot out from specimen into radiation panel. Pilot flame went out.

1 min 17 s: Small piece of laminate shot out from specimen into radiation panel.

1 min 18 s: Small piece of laminate shot out from specimen into radiation panel. Test was terminated.

**RI  
SE**

## Appendix 2: Genomförda R17-bedömningar för lättviktskonstruktioner på fartyg

Detta appendix samlar exempel på verkliga fall där en R17 bedömning gjorts för lättviktskonstruktioner på olika typer av fartyg.

### Tunöfärjan

Tunöfärjan i forskningsprojektet Eco-Island ferry. Liten ö-färja helt i komposit. Rapport finns [här](#).



### 8.1 Norwegian Future

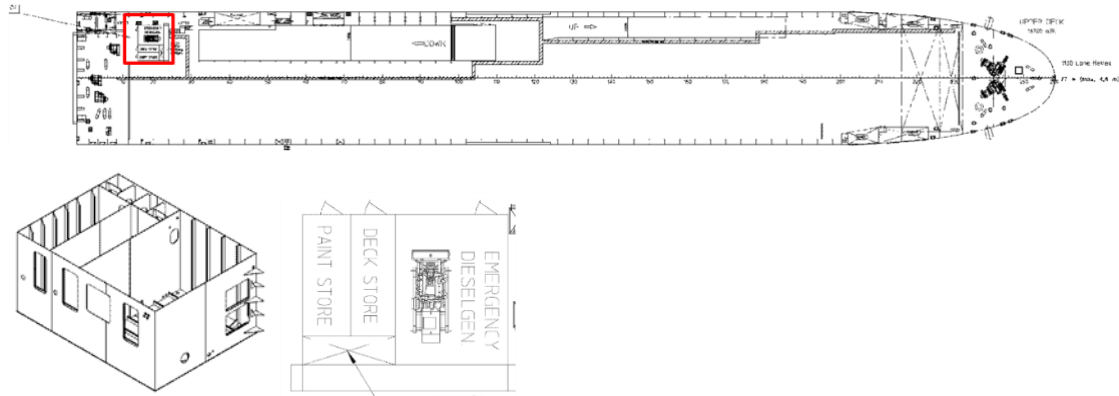
Norwegian Future i forskningsprojektet BESST tillsammans med Meyer Werft. Kryssningsfartyg med 15 däck, varav 5 komposit. Rapport finns [här](#).





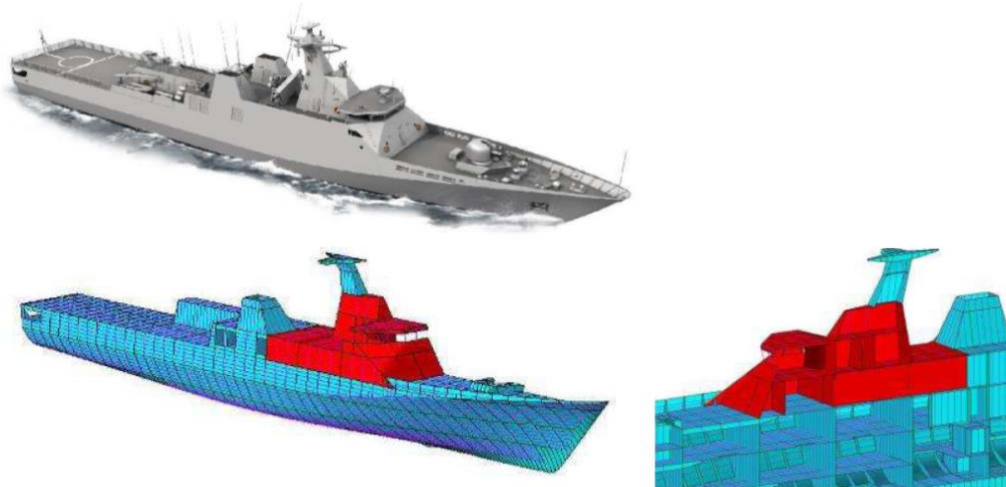
## 8.2 Nödgeneratorhus på roro-däck

Nödgeneratorhus på roro-däck i forskningsprojektet BESST tillsammans med FSG. Rapport finns [här](#).



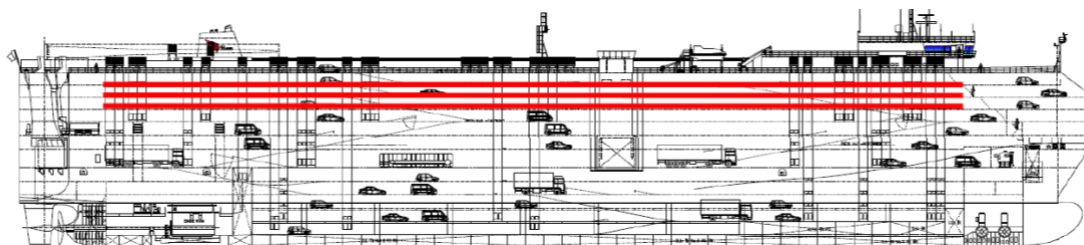
## 8.3 SIGMA 12-13

Överbyggnad på militärt fartyg (offshore patrol SIGMA 12-13) i forskningsprojektet BESST tillsammans med Damen. Rapport konfidentiell.



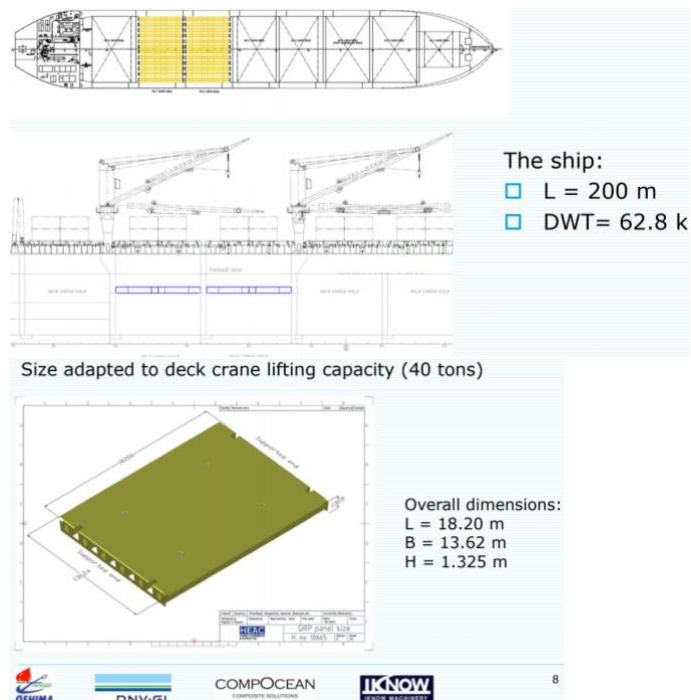
## 8.4 Siem Cicero

Siem Cicero fordonstransportfartyg carrier med däckpaneler i komposit i ett rorolastutrymme. Kommersiellt projekt tillsammans med Uljanik. Rapport konfidentiell, men mer information finns [här](#).



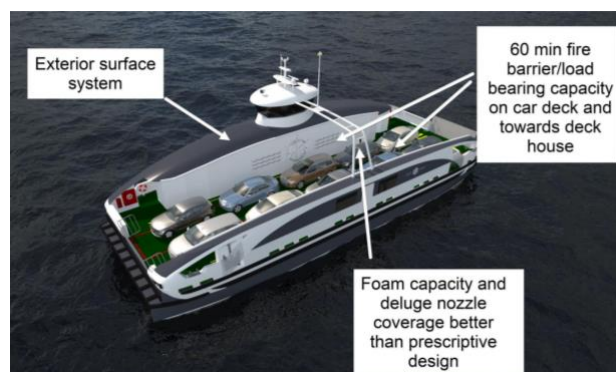
## 8.5 Oshima lastluckor.

Oshima lastluckor. Kommerciellt projekt tillsammans med DNV. Rapport konfidentiell, men mer information finns [här](#).



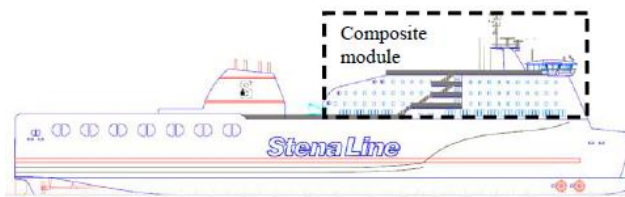
## 8.6 Barmen-färjan

Barmen-färjan helt i komposit. El-driven färja i nationell fart (kort övergång). Kommerciellt projekt tillsammans med cDynamics och Molöy varv. Rapport konfidentiell, men mer information finns [här](#) på s 220ff och [här](#) på s 205ff.



## 8.7 Överbyggnad på RoRo-fartyg i komposit

Överbyggnad på RoRo-fartyg i komposit, kopplat till Stena Germanica men kallades i detta sammanhang F-MAX. Kombinerat kommersiellt projekt (DNV) och forskningsprojekt SAFEDOR och LÄSS. Publicerat som del av bok [här](#).



## 8.8 Olika applikationer

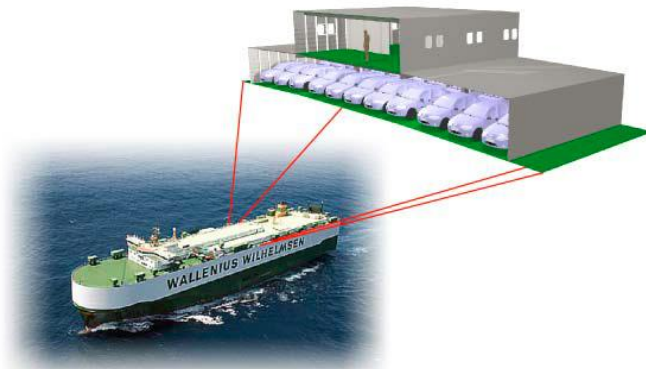
Olika applikationer i forskningsprojektet LASS (ej R17-bedömningar, men för inspiration). Mer information finns [här](#).



LASS: Överbyggnad på HSC-katamaran i komposit (istället för i aluminium).



LASS: Fordonstransportfartyg med överbyggnad i komposit.



LASS: Boendemodul på offshore-plattform i komposit.



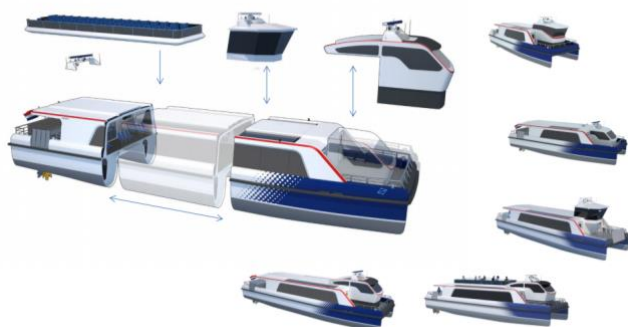
LASS: Lastluckor, lastskott (grain bulkhead) och däckshus på lastfartyg i komposit.



Tanklightmodule, forskningsprojekt (ej R17), mer information [här](#).



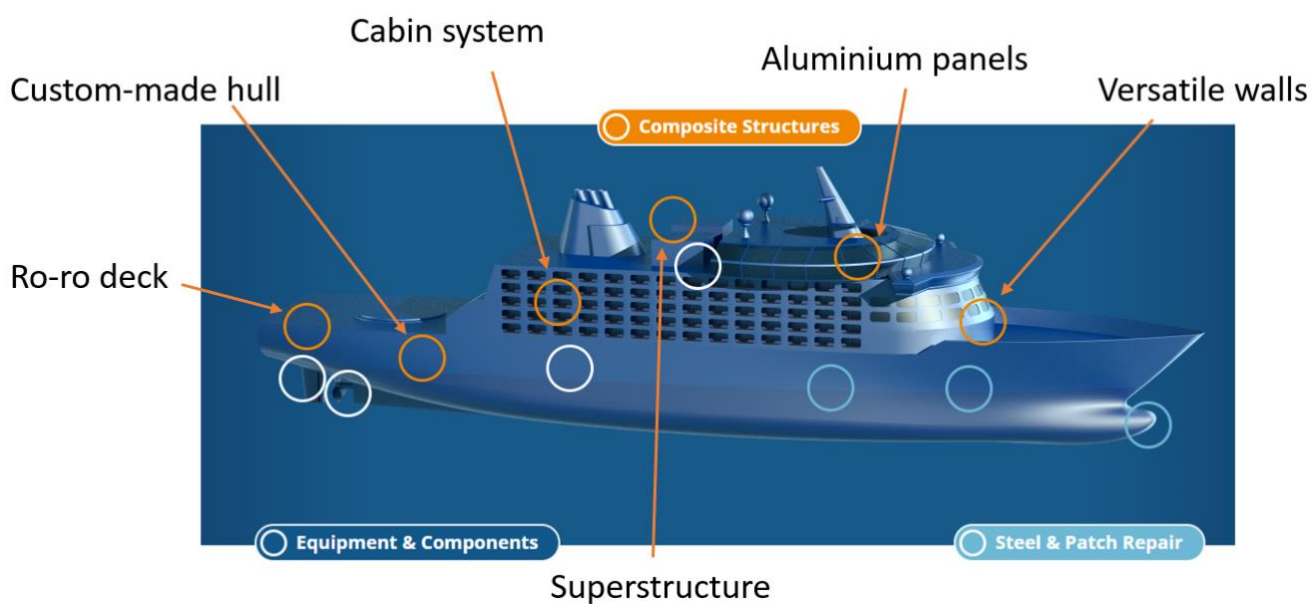
Waterbus tillsammans med Damen. Kommersiellt projekt där RISE supportat i brandriskbedömning. Flera applikationer finns in nationell fart. Mer information [här](#).



## 8.9 RAMSSES Demo-case med fokus på kompositter

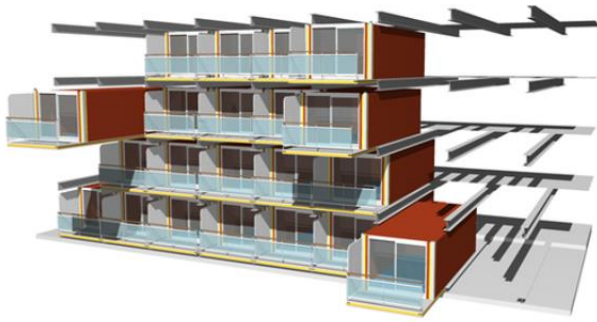
[Ramsses Project: Ramsses Project \(ramsses-project.eu\)](http://ramsses-project.eu)

Generell bild av de olika democasen som finns i RAMSSES. Nedan finns kort beskrivning av de som utvecklar lösningar i komposit.



### WP10 & WP18

Hytt i kompositmaterial (sandwich), både vägg och golv. Två olika lösningar av materialval har gjorts, ett av WP10 (Podcomp och NetComposites) och ett av WP18 (Chantiers de l'Atlantique och Hutchinson).

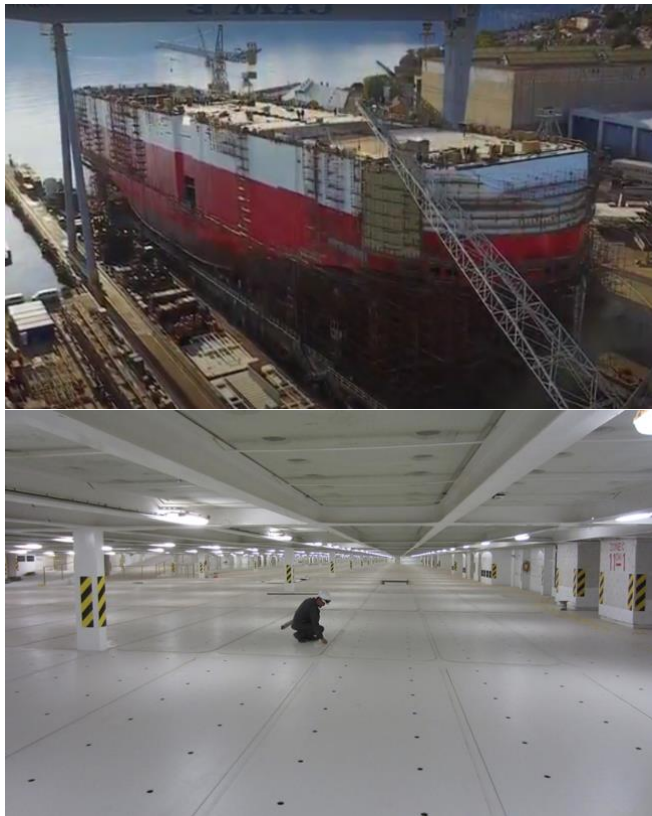


#### **WP13**

Integrering av system för innerväggar och överbyggnad på kryssningsfartyg.  
Sandwichkonstruktion av kompositmaterial och brännbar kärna (Meyer Werft).

#### **WP14**

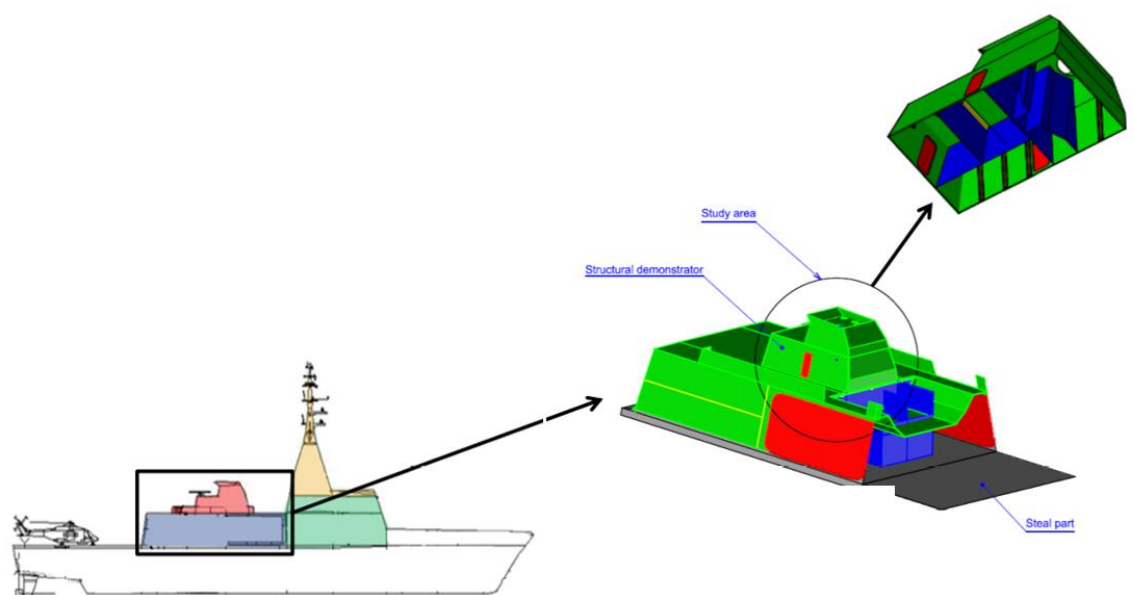
Roro däck i komposit eller i en kombination av komposit och metall (Flow ship design).  
Video finns här: [RAMSSES – Modular non-metallic decks for RoRo vessels - YouTube](#)



## WP16

Överbyggnad i komposit på ett ståldäck (Naval Group). Flera olika materialval har undersökts.

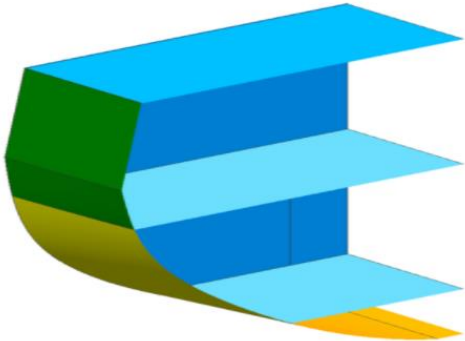
Presentation på E-LASS finns [här](#)





## WP17

Skrov på ett offshorefartyg helt i komposit (Damen). Video finns här: [RAMSSES - one-shot vertical infusion of a 6m high hull structure - YouTube](#)





Lighthouse samlar industri, samhälle, akademi och institut i triple helix-samverkan för att stärka Sveriges maritima konkurrenskraft genom forskning, utveckling och innovation. Som en del i arbetet för en hållbar maritim sektor initierar och koordinerar Lighthouse relevant forskning och innovation som utgår från industrin och samhällets behov.

**Lighthouse – för en konkurrenskraftig, hållbar och säker maritim sektor med god arbetsmiljö**



LIGHTHOUSE PARTNERS



LIGHTHOUSE ASSOCIATE MEMBERS

