

LIGHTHOUSE REPORTS

H2 – by the book



**Ett innovationsprojekt som genomförts inom Trafikverkets
branschprogram Hållbar sjöfart som drivs av Lighthouse.
Publicerad februari 2024**

www.lighthouse.nu

H2 – by the book

Preskriptiva regler kan vara hämmande för innovationer mot en hållbar sjöfart. För innovativa lösningar, exempelvis vätgasdrivna fartyg, tillåter lagstadgade regelverk för sjöfart därför en alternativ designprocess enligt MSC.1/Circ.1455 *Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments*. Projektet syftar till att analysera och klargöra de steg som ingår i den alternativa designprocessen fokuserat på ett vätgasdrivet fartyg.

Författare

Tobias Olsson, Jonatan Gehandler, Joanne Ellis, Ellinor Forsström, RISE Reserach institutes of Sweden

I samarbete med

GreenCityFerries, Transportstyrelsen, DNV och Uppsala universitet

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

Summary

H2 – by the book is a project that aims to analyze and clarify the steps included in the alternative design process for hydrogen-powered ships, according to MSC.1/Circ.1455 Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments.

The project has been based on a real ship design that is under development, the Beluga 24, which is a high-speed passenger ship planned to be equipped with fuel cells and compressed hydrogen as fuel. The ship is covered by EU Directive 2009/45/EC on safety regulations and safety standards for passenger ships, which has been incorporated into Swedish law through the Swedish Transport Agency's regulations (TSFS 2019:120) on passenger ships on domestic voyages. In the absence of specific rules for hydrogen, i.e., a fuel with a low flash point, the functional requirements found in the IGF code become dimensioning. However, interim guidelines for hydrogen are in the process of being drawn up within the IMO.

The project has carried out the following activities:

- Analysis of applicable rules and requirements.
- Basic risk analysis (HAZID, workshop 1) for the hydrogen installation on Beluga 24
- Technology categorization of hydrogen storage, bunkering and fuel cells according to MSC.1/Circ.1455 (workshop 2).
- Gap analysis of selected functional requirements from the IGF code (workshop 2).
- Further analysis of "medium" and "high" risk scenarios (workshop 2).

The project discusses the status of existing and upcoming regulations and guidelines for hydrogen-based ships, as well as how the design process for other ship types would differ. The conclusions are that the process for alternative design is complex and resource-intensive, but that at the same time it should not come as a surprise that goal- and function-based regulations are difficult to meet when there are no prescriptive rules to follow - a critical part of the work is to establish acceptance criteria that correspond a conventional design. At the same time, there is rapid development of prescriptive rules for hydrogen that will facilitate the design process going forward.

In the risk analyses performed, it has been assumed that certified and type-approved marine equipment is used, which has simplified the implementation. Some areas need to be evaluated further: it has however been possible to find solutions that reduce the risk in areas if identified as high and medium risk. The project also suggests some areas for further work such as, standardization of assessment criteria in the initial risk analyses, assessment of hydrogen emissions via vent mast, certification and approval of vessels covered by TSFS 2017:26 and development of final design. In addition to this report, a Quick Guide has been produced to clarify the key steps in the alternative design process.

Sammanfattning

H2 – by the book är ett projekt som syftar till att analysera och klargöra de steg som ingår i den alternativa designprocessen för vätgasdrivna fartyg, enligt MSC.1/Circ.1455 *Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments*.

Projektet har utgått från ett verkligt fallfartyg, Beluga 24, som är ett höghastighetspassagerarfartyg som planeras att utrustas med bränsleceller och komprimerad vätgas som bränsle. Fartyget omfattas av EU-direktiv 2009/45/EG om säkerhetsbestämmelser och säkerhetsnormer för passagerarfartyg, som i svensk rätt införlivats genom Transportstyrelsens föreskrifter (TSFS 2019:120) om passagerarfartyg på inrikes resa. I brist på specifika regler för vätgas, ett bränsle med låg flampunkt, blir de funktionskrav som finns i IGF-koden dimensionerande. Interimriktlinjer för vätgas är dock på väg att tas fram inom IMO.

Projektet har genomfört följande aktiviteter:

- Analys av tillämpliga regler och krav.
- Grundläggande riskanalys (HAZID, workshop 1) för vätgasinstallationen på Beluga 24
- Teknikkategorisering av vätgasförvaring, bunkring och bränsleceller enligt MSC.1/Circ.1455 (workshop 2).
- Gapanalys av utvalda funktionskrav från IGF-koden (workshop 2).
- Ytterligare analys av ”medel” och ”höga” riskscenarier (workshop 2).

Projektet diskuterar statusen för existerande och kommande regelverk och riktlinjer för vätgasbaserade fartyg, samt hur designprocessen för andra fartygstyper skulle skilja sig. Slutsatserna är att processen för alternativ design är komplex och resurskrävande men att det samtidigt inte bör komma som en överraskning att mål- och funktionsbaserade regelverk är svåra att uppfylla när det saknas preskriptiva regler att följa – en kritisk del av arbetet är att etablera acceptanskriterier som motsvarar en konventionell design. Samtidigt sker en snabb utveckling av preskriptiva regler för vätgas som kommer underlätta designprocessen framöver. I de genomförda riskanalyserna har det antagits att marinanpassad, certifierad och typgodkänd utrustning har använts, det har förenklats genomförandet. Några områden behövde utvärderas ytterligare men det har varit möjligt att hitta lösningar som minskar risken i farområden om identifierats som hög- och medelrisk. Projektet föreslår också några områden för fortsatt forskning så som, standardisering av bedömningskriterier vid de initiala riskanalyserna, bedömning av vätgasutsläpp via ventmast, certifiering och godkännande av fartyg som omfattas av TSFS 2017:26 och utveckling av slutgiltig design. Förutom denna rapport har en Quick Guide tagits fram för att klargöra de viktigaste stegen i den alternativa designprocessen.

Förord

Vi som har jobbar med projektet *H2 – by the book* vill passa på att skänka ett stort tack till alla som har varit involverade under projektets gång. Allt ifrån alla projektgruppsdeltagare som visat stort intresse och engagemang från början till slut, något som också gäller projektets väldigt kunniga och hjälpsamma referensgrupp. Därutöver har projektet väckt ett oväntat stort intresse hos andra aktörer inom industrin som hjälpt till, kommit med feedback och gjort det som först såg som omöjligt, möjligt, dvs att få rätsida på det mycket komplexa område som regelverk, regelverskutveckling och desingodkännande inom alternativa bränslen inom sjöfarten. Sist men inte minst vill vi rikta ett stort tack till projektets beställare Lighthouse som vi hoppas kommer uppskatta läsningen av denna rapport.

Stort tack och trevlig läsning!

/Projekttagarna i H2-By the book

Innehåll

1	Inledning.....	7
1.1	Introduktion	7
1.2	Syfte.....	8
1.3	Avgränsning.....	8
1.4	Läsanvisning	9
1.5	Fallfartyget Beluga 24 från Green City Ferries.....	10
2	Metod	12
2.1	Kartläggning av tillämpliga regler och krav	12
2.2	Grundläggande riskanalys (HAZID).....	12
2.3	Gapanalys av utvalda funktionskrav.....	14
2.4	Ytterligare riskanalysarbete.....	14
3	Bakgrund: Vätgas, regler och beslutsprocess	15
3.1	Vätgas.....	18
3.2	Regelverk i en traditionell design	19
3.3	Regelverk i en alternativ design	21
3.4	Beslut- och godkännandeprocess enligt MSC.1-Circ.1455.....	22
3.5	Kategorisering av teknik enligt MSC.1/Circ.1455.....	26
3.6	IGF-kodens funktionskrav	29
3.7	Etablerande av acceptanskriterier	29
4	Resultat: Alternativ design enligt MSC.1-Circ.1455.....	31
4.1	Kategorisering av vätgasteknik	31
4.2	Grundläggande riskanalys (HAZID).....	33
4.3	Gapanalys av utvalda funktionskrav från IGF-koden.....	35
4.4	Ytterligare riskanalysarbete.....	40
5	Diskussion och Slutsatser.....	44
5.1	Status existerande och kommande regelverk/riktlinjer.....	46
5.2	Slutsatser.....	46
5.3	Förslag på fortsatt arbete och utredningar.....	47
6	Referenser.....	48
	Bilaga 1: IGF-kodens mål och funktionskrav	50
	Bilaga 2: HAZID Worksheet.....	52
	Bilaga 3: Quick-guide” Alternative Design”	53

1 Inledning

1.1 Introduktion

H2 – by the book är en fortsättning på förstudien *Säker vätgasinstallation ombord* (Bach, Andersson, Forsström, Jivén, Lundström & Bildberg 2022) som genomfördes under 2021 inom ramen för Trafikverkets branschprogram Hållbar sjöfart, som drivs av Lighthouse. Ett av resultaten från förstudien var att frågan om regelverk och designgodkännande är fortsatt komplicerad och att mycket ansvar läggs på redaren som måste använda sig av metoden för alternativ design vilket ofta innebär en svårstyrd, dyr och omfattande process. Detta eftersom det fortsatt saknas uttömmande heltäckande regelverk för hur vätgas ska hanteras som bränsle ombord. Mycket ansvar läggs på den enskilda redaren att påvisa att installationen ger samma säkerhetsnivå som en konventionell drivlina. Detta utan att det finns allmänt accepterade guider och kvantitativa värden på vad ett sådant underlag ska innehålla. Flera pågående forsknings- och demonstrationsprojekt har identifierat frågan om avsaknad av preskriptiva regelverk som ett av de största hindren som återstår för att vätgas ska kunna börja användas på bredare front inom sjöfarten.

Det pågår också mycket arbete hos flera klassificeringssällskap att omvärdera och utarbeta nya riktlinjer och regelverk för att underlätta bedömningen av vätgasdrivlinor. Dock saknas fortfarande tydliga och effektiva godkännandeförfaranden för de redare som ställs inför denna process idag. Ett för detta projekt relevant forskningsinitiativ är DNV:s *MarHySafe* projekt som också arbetar med att ta fram en mer genomtänkt och lätthanterlig metodik för klassningen av vätgasbaserade fartyg, i likhet med det arbete som detta projekt fokuserar på. Där *MarHySafe* och *H2 – by the book* skiljer sig från varandra är frågan om vilka fartygsklasser som berörs.

Detta projekt syftar till att analysera godkännandeprocessen för utformningen av ett ”höghastighetspassagerarfartyg” som omfattas av ”EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2009/45/EG om säkerhetsbestämmelser och säkerhetsnormer för passagerarfartyg” som i svensk rätt införlivats genom ”Transportstyrelsens föreskrifter (TSFS 2019:120) om passagerarfartyg på inrikes resa”. Fartyget ska enligt 4 § TSFS 2019:120 även ”uppfylla en erkänd organisations regler om skrov, maskineri och elektrisk installation” vilket motsvarar artikel 6 1.a) i direktiv 2009/45/EG. Anledningen till att denna fartygsklass valts ut som fokus för detta projekt är dels för att utgöra ett komplement till den forskning som nu pågår på annat håll, dels och kanske främst för att det finns en efterfrågan och ett behov hos denna målgrupp. Det saknas idag tydliga rutiner och metoder för att hantera vätgasinstallationer för denna typ av fartyg hos såväl myndigheter som industri och rederier. Dessutom är det också mycket som talar för att det är just inom kustnära och reguljär trafik som vätgas kommer introduceras först, innan det etableras i större skala inom den

större sjöfarten. Detta på grund av ett mindre bränslebehov, tillgänglighet på vätgas och reguljära trafikmönster.

Projektiden är att utarbeta en guide för hur den alternativa designprocessen enligt MSC.1/Circ.1455 går till. Detta görs utifrån ett verkligt fall, d.v.s. ett rederi som står inför denna utmaning.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att analysera och klargöra de steg som ingår i den alternativa designprocessen utifrån de regelverk som existerar för att fartyg ska kunna godkännas och certifieras.

Målet är att beskriva processen hur regelverken kan tillmötesgå på ett mer effektivt och tillförlitligt sätt. I detta arbete ingår även att identifiera de gap som finns mellan de nya och existerande regelverken för vätgas jämfört med traditionella installationer. Projektet har utgått ifrån ett verkligt fall med en redare med en preliminär bränslecellsdesign för ett kommande fartyg, Beluga 24.

Projektet har genomförts av en projektgrupp bestående av;

- RISE/SSPA: Ellinor Forsström, Jonatan Gehandler, Joanne Ellis, Tobias Olsson
- GreenCityFerries: Niclas Kling
- Transportstyrelsen: Mattias Hörnquist
- DNV: Hannes von Knorring, Nathaniel Frithiof
- Uppsala Universitet: Björn Samuelsson

Med stöd av en referensgrupp med följande organisationer;

Sjöfartsverket, Powercell, Vattenfall, Södahl & Partners AB, Kustbevakningen, Echandia, Gustavsvik Utveckling AB, Vätgas Sverige, Bureau Veritas, Skärgårdsredarna, Icelandic New Energy Ltd.

1.3 Avgränsning

Projektet avser en alternativ design för vätgas enligt MSC.1/Circ.1455 och andra lagstadgade regelverk. Preskriptiva klassregler som skulle motsvara en konventionell designprocess har inte tillämpats då dessa helt saknades vid projektets början.

En fullständig alternativ designprocess enligt MSC.1/Circ.1455 genomförs inte inom ramarna för detta projekt, fokus ligger på att utforska de tidiga stegen i processen. Det är först i ett skarpt läge som hela omfattningen av godkännandet och certifieringen blir känd.

1.4 Läsanvisning

Fallfartyget, Beluga 24, beskrivs i nästkommande stycke. I kapitel 2 beskrivs metoden för rapporten. I kapitel 3 beskrivs regler och beslutsprocesser med fokus på Beluga 24. Kapitel 4 presenterar resultatet av fyra utvalda delar i den alternativa designprocessen för Beluga 24: kategoriseringen av system och komponenter i vätgasdrivlinan, den initiala riskanalysen, det fortsatta riskanalysarbetet och den gapanalys som genomfördes i workshopformat. Kapitel 5 innehåller en diskussion av statusen för existerande och kommande regelverk, hur designprocessen för andra fartygstyper skulle skilja sig och avslutas med slutsatser samt förslag om vidare arbete och utredningar.

1.5 Fallfartyget Beluga 24 från Green City Ferries


Fallfartyget för projektet är Green City Ferries (GCF) konceptfartyg Beluga 24, utrustad med bränsleceller och komposittankar fyllda med komprimerad vätgas för att driva bränslecellerna. Utöver detta finns det även batterier ombord som arbetar tillsammans med bränslecellerna i det helt elektrifierade framdrivningssystemet. En beskrivning av fartygets grundläggande data finns i Tabell 1. Det finns också en variant av Beluga 24 som endast är utrustad med batterier för vilken designen är mer utvecklad, den har dock ingen påverkan på detta projekt. När fartyget omnämns är det den vätgasdrivna varianten av Beluga 24 som avses, om inget annat anges.

Under projektets gång har designen av Beluga 24 utvecklats för att möta de utmaningar som användning av vätgas utgör ombord på ett fartyg. Det innebär också att designen av fartyget befinner sig i ett tidigt stadium där det inte ännu är läge att hålla ett nybyggnadsmöte med Transportstyrelsen.

Både vätgasförvaring och bränsleceller innehåller komponenter och system som i hög grad är nya och tämligen obeprövade i marina miljöer. För dessa komponenter och system kommer en alternativ designmetodik behöva användas för att godkänna och certifiera fartyget eftersom det saknas preskriptiva regler. Metodiken baseras i hög grad på riskanalytiska verktyg för att validera designen med avseende på säkerhet. En viktig förutsättning i projektet har varit att genomgående använda typgodkänd och marinanpassad utrustning.

Typgodkännande (eng. Type Approval) betyder att utrustningen är certifierad av ett klassningssällskap mot ett antal standarder relevanta för användningsområdet. Det kan vara ett krav från klassningssällskapet att det finns ett typgodkännande för att få användas ombord i en installation. Typgodkännande ger också tillverkaren möjlighet att självcertifiera serietillverkade produkter. För vissa produkter t.ex. bränsleceller, behöver ofta en representant från klassningssällskapet dessutom närvara för att bevittna tester innan produkten certifieras (eng. Product Certificate) som en del av typgodkännande. Det förväntas att förfarandet (att använda typgodkänd och marinanpassad utrustning) kommer minska omfattningen av riskanalytiska verktyg som behöver appliceras för att utvärdera designen eftersom utrustningen är certifierad för marint bruk. Andra delar av Beluga 24 är välkända sedan tidigare, till exempel krav kopplade till skrovets hållfasthet, fartygets stabilitet och arrangemang av livräddningsflottar. För dessa kan en konventionell process användas. Dessa delar av designen berörs endast ytligt eller inte alls i projektet.

Tabell 1. Data för Green City Ferries fartyg Beluga 24.

	Enhet	Green City Ferries – Beluga 24
		
Längd (LOA)	m	26,0
Bredd	m	9,3
Djupgående	m	1,45
Hastighet (max/marsch)	kn	32/25–30
Installerad effekt	kW	1 240
Passagerare	antal	147
Besättning	antal	2-3
Flagga		Svensk
Fartområde		E (D ¹)
Framdrift		4 x vattenjet med elmotor och bränsleceller (PEMFC)
Bränsle och energilagring		Komprimerad vätgas: 254 kg fördelat på 8 klassgodkända tankar @ 25 MPa. Batterier: Storlek (kWh) inte fastställd.
Skrovmaterial		Kolfiberkomposit
Övrigt		Utrustad med bärplan

¹ Lägsta fartområde som går att tillämpa med avseende på regler för fartygstypen (HSC-koden) är D även om den rent faktiskt planeras trafikera område E enligt TSFS 2009:8. Det innebär dock inget hinder för fartyget att trafikera fartområde E som ligger närmare kusten än D.

2 Metod

Projektet bygger på följande metoder:

- En kartläggning av tillämpliga regler och krav
- Grundläggande riskanalys (HAZID)
- Ytterligare riskanalys
- Gapanalys av utvalda funktionskrav

2.1 Kartläggning av tillämpliga regler och krav

En kartläggning har gjorts över de regler som gäller för fartyg med vätgasbaserade drivlinor med fokus på fallfartyget (Beluga 24). Befintliga processer för ett designgodkännande har beskrivits och områden har identifierats där förtydligande kan göras för att skapa en smidigare process för den redare som står inför denna process. En kategorisering av ny teknik enligt MSC.1/Circ.1455 utfördes i workshopformat för den tänkta vätgasdrivlinan.

2.2 Grundläggande riskanalys (HAZID)

Detta arbetspaket fokuserade på den initiala riskanalys, eller ”HAZID”, som ingår i det preliminära bedömningsunderlaget för en vätgasbaserad drivlina enligt MSC.1/Circ.1455. En HAZID (faroidentifieringsworkshop), genomfördes av DNV med relevanta aktörer (industrirepresentanter, referensgruppsdeltagare och områdesexperter).

Tabell 2. Deltagare inklusive roller i den grundläggande riskanalysen (HAZID, Workshop 1).

Namn	Företag	Roll/expertis
Thomas Saleman	PowerCell	Teknikleverantör - Bränsleceller
Mattias Hörnquist	Transportstyrelsen	Transportstyrelsen (Administrationen)
Niclas Kling	GCF/Poseidon Konsult	Koncept- och designansvarig
Ellinor Forsström	RISE	Projektledare H2 – By the book
Joanne Ellis	RISE	Projektdeltagare – Expert, riskanalys Projektdeltagare – Expert,
Tobias Olsson	RISE	fartygsdesign
Jonatan Gehandler	RISE	Projektdeltagare – Expert, riskanalys
Helena Hermansson	RISE	Vätgasexpert landapplikationer
Björn Samuelsson	Uppsala universitet	Expert samhällsbyggnad och industri
Nathaniel Frithiof	DNV	Facilitator
Hannes von Knorring	DNV	Sekreterare
Pär Olsson	Euromekanik	Teknikleverantör – Tank och lagringsystem
Claes Domeij	Euromekanik	Teknikleverantör – Tank och lagringsystem
Amanda Töreskog	Euromekanik	Teknikleverantör – Tank och lagringsystem

Innan riskanalysen genomfördes togs följande dokumentation fram och låg till grund för genomförandet:

- Funktionsbeskrivning av fartyget.
- Generalarrangemang
- Vätgasarrangemang (bränslesystem)
- Luftintag för bränsleceller
- Kylsystem för bränsleceller
- Tankplan
- Ventilationsarrangemang ink. luftsluss(ar)
- Brandisoleringsplan
- Farliga zoner (eng. *Hazardous zones*)
- Funktionsbeskrivning av framdriften
- Brandsläckningssystem
- Länsvattensystem

Workshopen hölls och dokumenterades på engelska. Befintliga riskreducerande åtgärder dokumenterades och riskscenarierna graderades med en femgradig skala för sannolikhet och konsekvens, vilket vägdes samman till en ”låg” (grön), ”medel” (gul) eller ”hög” (röd) riskgradering, enligt riskmatrisen presenterad i Figur 1.

			Severity					
			1	2	3	4	5	
			None	Minor	Significant	Severe	Catastrophic	
People			None / insignificant	Single or minor injuries	Multiple or severe injuries	Single fatality or multiple severe injuries	Multiple fatalities	
Asset			None / insignificant	Local equipment damage	Non-severe ship damage	Severe damage	Total loss	
Environment			None / insignificant	Minor air or water pollution (short time)	Significant air or water pollution.	Severe pollution	Catastrophic pollution	
Likelihood	5	Frequently	Occurs several times per year per ship					
	4	Very likely	Occurs several times per year per operator					
	3	Likely	Has been experienced by most operators					
	2	Unlikely	An incident has occurred in industry					
	1	Remote	Not expected, never heard of in industry					

Figur 1 Riskmatrisen som användes för att gradera identifierade risker vid den initiala och det fortsatta riskanalysarbetet.

2.3 Gapanalys av utvalda funktionskrav

IGF-koden föreskriver funktionskrav för bränslen med låg flampunkt. Utifrån kartläggningen av regler och krav valdes ett antal funktionskrav ut i IGF-koden som bedömdes vara utmanande för Beluga 24. En gapanalys genomfördes i workshopformat för ett antal utvalda funktionskrav som utmanar en vätgasdrivlina.

2.4 Ytterligare riskanalysarbete

Med utgångspunkt i det arbete som gjordes i och med HAZID och tillämpliga krav för vätgas har vissa utvalda delar i den kvantitativa delen av riskbedömningen utvecklats vidare i enlighet med processen i MSC.1/Circ.1455. Utifrån den initiala riskanalysen gjordes en fortsatt analys av de riskscenarier som identifierades som ”höga” (röda) eller ”medel” (gula). Referensvärden, metoder, och simuleringar för framtida fördjupade analyser har identifierats. Projektet har även studerat hur liknande riskvärderingar/referensvärden tagits fram för alternativa designar. En workshop hölls och dokumenterades på engelska. Den ytterligare analysen av utvalda funktionskrav från IGF-koden och vätgasrisker arbetades fram i dialog med relevanta industrirepresentanter, berörda myndigheter och områdesexperter.

Tabell 3. Deltagare inklusive roller i det fortsatta riskanalysarbetet (Workshop 2).

Namn	Företag	Roll/expertis
Thomas Saleman	PowerCell	Teknikleverantör - Bränsleceller
Mattias Hörnquist	Transportstyrelsen	Transportstyrelsen (Administrationen)
Niclas Kling	GCF/Poseidon Konsult	Koncept- och designansvarig
Ellinor Forsström	RISE	Projektledare H2 – By the book
Joanne Ellis	RISE	Sekreterare
Tobias Olsson	RISE	Facilitator
Jonatan Gehandler	RISE	Facilitator
Sixten Dahlbom	RISE	Sekreterare
Paul Adams	RISE	Vätgasexpert
Björn Samuelsson	Uppsala universitet	Expert samhällsbyggnad och industri
Mikael Johansson	DNV	Klassrepresentant, DNV

3 Bakgrund: Vätgas, regler och beslutsprocess

För att godkänna och certifiera att ett fartyg får användas till sjöfart kan generellt en av två olika tillvägagångssätt användas: genom flaggstaten eller genom en erkänd organisation som flaggstaten delegerat ansvaret för tillsyn till, till exempel ett klassningssällskap. Beroende på fartygstypen, hur fartyget är utformat och vilka tekniska system som ingår ombord kan omfattningen av certifieringen och godkännandet variera samt vem som utför den. Syftet med godkännandet och certifieringen är bland annat att säkerställa att fartyget ger betryggande säkerhet mot sjöolyckor. Utan godkännande och certifiering kan fartyget inte betraktas som sjövärdigt och får därför inte användas i den tänkta verksamheten, se bland annat 2 kap. 1§ i fartygssäkerhetslagen (2003:364).

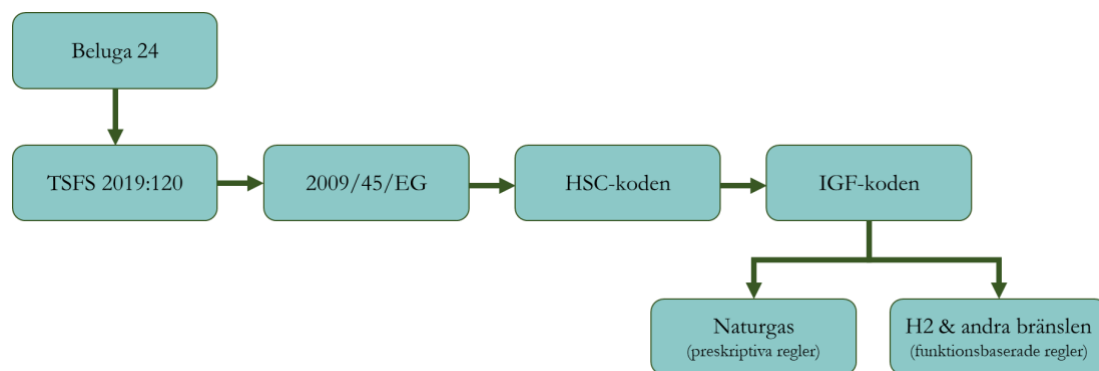
I processen för att godkänna och certifiera ett fartyg verifieras att fartyget uppnår gällande regler och standarder, först genom att etablera vilka regler och standarder som fartyget omfattas av och sedan genom att granska den dokumentation som krävs för att nå ett godkännande. För höghastighetspassagerarfartyg som faller inom EU-direktiv 2009/45/EG är det Transportstyrelsen (TS) som godkänner fartyget i egenskap av att representera flaggstaten.

Principiellt förekommer det två olika former av regelverk: preskriptiva och mål- eller funktionsbaserade². Preskriptiva regelverk innehåller tekniska detaljkrav medan funktions- och målbaserade krav formuleras efter *vad* som ska uppnås men inte *hur* det ska göras. För att verifiera att en design når en funktion eller ett mål är det ibland möjligt att till exempel applicera en vedertagen standard, ett värde eller ett annat preskriptivt regelverk. Saknas det däremot underlag, så som vid användande av vätgas, behövs en alternativ designprocess som verifierar att en säkerhet ekvivalent med traditionella lösningar uppnås. Detta kan verifieras med hjälp av riskanalytiska verktyg.

En alternativ designprocess kan även användas för att utmana enskilda preskriptiva regler som en design önskar frångå. Gemensamt för att verifiera en design, oavsett om preskriptiva eller mål- och funktionsbaserade regelverk används, är att acceptanskriterier måste etableras. I preskriptiva regelverk behöver regler uppfyllas enligt dess tekniska detaljkrav medan mål- och funktionsbaserade regelverk verifieras genom att följa en alternativ designprocess och därigenom komma överens om applicerbara standarder, referensvärden eller en acceptabel risknivå i en riskanalys som acceptanskriterier.

² Strukturen i ett mål- eller funktionsbaserade regelverk skiljer på mål ("goals") och funktionskrav ("functional requirements"). En utförlig beskrivning finns i MSC.1/Circ.1394/Rev.2 *Generic Guidelines for Developing IMO Goal-based Standards*.

En sammanställning av lagstadgade regelverk som Beluga 24 omfattas av med fokus på installationen av bränsleceller och vätgas som bränsle är presenterad i Tabell 4. En överblick på hur de hänger ihop presenteras i Figur 2.



Figur 2. En överblick av de huvudsakliga regelverken för design av fartyg och med fokus på användande av vätgas ombord på Beluga 24. En utförlig förklaring till hur regelverken samverkar finns i avsnitt 3.2.

Tabell 4. Sammanställning av övergripande regelverk för Beluga 24 med fokus på användande av vätgas och en alternativ designprocess.

Utgivare (år)	Förkortning	Komplett namn
IMO (2020)	SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
IMO (2021)	HSC 2000 Code	International Code of Safety for High-Speed Craft
EC (2009)	Directive 2009/45/EG	Safety rules and standards for passenger ships
IMO (2016)	IGF Code	International Code of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels
TS (2019)	TSFS 2019:120	Transportstyrelsens föreskrifter om passagerarfartyg på inrikes resa
TS (2019)	TSFS 2019:4	Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om maskininstallation, elektrisk installation och periodvis obemannat maskinrum
IMO (2001)	MSC.1-Circ.1002	Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety
IMO (2018)	MSC.MEPC.2/Circ.12/Rev.2	Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process
IMO (2019)	MSC.1-Circ.1212	Revised guidelines on alternative design and arrangements for SOLAS chapters II-2 and III
IMO (2013)	MSC.1-Circ.1455	Guidelines for the approval of alternative and equivalents as provided for in various IMO instruments
IMO (2022)	MSC.1-Circ.1647	Interim guidelines for the safety of ships using fuel cell power installations
IMO (2023)	CCC 9/3	Draft Interim Guidelines for Ships Using Hydrogen as Fuel

3.1 Vätgas

Väte är det kemiska grundämnet med symbolen 'H' och atomnummer 1, det är alltså det lättaste grundämnet. Vätgas är färglös, luktfritt, smaklös, giftfritt och mycket brännbart. Normalt existerar väte som en gas bestående av två väteatomer med formeln H_2 . Detta innebär att väte har en mycket hög lyftkraft, eller ”buoyancy” med en densitet på $0,08 \text{ kg/m}^3$ jämfört med $1,23 \text{ kg/m}^3$ för luft, och en hög diffusivitet, dvs. förmåga att spädas ut, tränga igenom material eller blandas upp. Tillsammans gör det att vätgas vanligtvis sprids och späds ut snabbare än andra bränslen vid läckage. Resultatet är att vätgasutsläpp i det fria ofta skapar mindre riskfyllda situationer än utsläpp av andra bränslen med låg flampunkt.

Vätgas har också en mycket låg viskositet och tillsammans med hög diffusivitet innebär det att det är mycket svårt att förhindra läckage i system som innehåller vätgas. Dessutom är vätgas också känt för att orsaka försprödning av kolmetallegeringar (Molkov 2012; Osman et al. 2022).

Vätgas har ett brett antändlighetsområde i luft. Den viktigare undre brännbarhetsgränsen är 4 %, vilket liknar den för naturgas och är bättre än till exempel bensin och diesel med 1 %. Den lägre antändningsgränsen under transienta förhållanden, till exempel för utsläpp utomhus, är dock ännu högre, runt 8 %. Över 10 % krävs för att nå en långsam deflagrering (d.v.s. explosion). Explosionsgränserna för vätgas är i storleksordningen 10 – 60 %. Vid brand är strålningen till andra objekt ofta i samma storleksordning eller lägre än andra bränslen.

Nära stökiometriska (dvs. när syrgastillgången motsvarar den mängd som krävs för fullständig förbränning) blandningar, 30–40 % vätgas i luft, har vätgas en mycket hög förbränningshastighet vilket innebär att det är mer benäget än de flesta andra gaser att orsaka explosioner och till och med gå från deflagration till detonation i begränsade utrymmen. En detonation kan ske över 18 % (Spoelstra 2020). Vätgas-luftblandningar på cirka 30 % har en mycket låg antändningsenergi (0,017 mJ), och högtrycksläckor kan till och med antändas utan någon synlig antändningskälla, exempelvis på grund av elektrostatisk laddning. Detta gör att vätgas i de flesta högtrycksincidenter antänds direkt (d.v.s. resulterar i en jetflamma och inte den farligare fördröjda antändningen som resulterar i en explosion). Vid låga (och höga) koncentrationer är antändningsenergin för väte jämförbar med den för naturgas (Molkov 2012).

Bränslen med flampunkt under 60° C definieras i SOLAS som bränsle med låg flampunkt vilket kräver ytterligare hantering. HSC-koden tillåter dock bränslen med flampunkt ned mot 35° C under vissa förutsättningar. I alla andra fall gäller reglerna i IGF-koden. Till skillnad från exempelvis diesel har vätgas (liksom till exempel naturgas eller bensin) en så låg flampunkt att ett utsläpp kan antändas vid normal temperatur av en liten antändningskälla. Vätgas har en jämförelsevis

låg volymetrisk energitäthet, vilket gör att höga tryck behöver användas när gasen lagras i komprimerad form, liknande hur exempelvis komprimerad naturgas (CNG) lagras.

3.2 Regelverk i en traditionell design

De tekniska kraven för godkännande av ett höghastighetspassagerarfartyg i nationell trafik styrs av föreskriften TSFS 2019:120 *Transportstyrelsens föreskrifter för passagerarfartyg på inrikes resa* med stöd av följande definitioner och paragrafer:

Höghastighetsfartyg: fartyg med en *maxhastighet* (m/s) av minst $3,7\nabla^{0,1667}$ där ∇ utgör fartygets displacement (m³) vid konstruktionsvattenlinjen

Höghastighetspassagerarfartyg: höghastighetsfartyg som medför fler än tolv *passagerare*, med undantag av fartyg av *klass* B–D med displacement vid konstruktionsvattenlinjen mindre än 500 m³ och *maxhastighet* mindre än 20 knop

Maxhastighet: fart som uppnås vid den största kontinuerliga framdrivningseffekt för vilken fartyget vid största driftvikt och i lugnt vatten är certifierat

Passagerarfartyg: fartyg som medför fler än tolv *passagerare*

1 § Dessa föreskrifter gäller passagerarfartyg med en skrovlängd av minst 24 meter, och höghastighetspassagerarfartyg oavsett skrovlängd, på inrikes resa.

2 § Föreskrifterna gäller inte...

9. fartyg som uteslutande används i fartområde E...

4 § Fartyg ska uppfylla en erkänd organisations regler om skrov, maskineri och elektrisk installation, eller likvärdiga regler som tillämpas av flaggstaten i enlighet med artikel 11.2 i Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/15/EG av den 23 april 2009 om gemensamma regler och standarder för organisationer som utför inspektioner och utövar tillsyn av fartyg och för sjöfartsadministrationernas verksamhet i förbindelse därmed. (TSFS 2021:88)

11 § Höghastighetspassagerarfartyg ska uppfylla artikel 6.4 i direktiv 2009/45/EG. (TSFS 2021:88)

Föreskriftens första paragraf gör gällande att passagerarfartyg över 24 meter samt höghastighetspassagerarfartyg oavsett skrovlängd omfattas av TSFS 2019:120.

Enligt den andra paragrafen undantas däremot fartyg som uteslutande används i fartområde E, det vill säga trafik i det allra närmaste kustbandet. Fartyg i fartområde E, oavsett om de är höghastighetspassagerarfartyg eller inte, omfattas

av det nationella regelverket TSFS 2017:26 *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om fartyg i nationell sjöfart* eftersom det saknas gemensamma EU-bestämmelser för detta fartområde. Sjöfart på inre vattenvägar omfattas dock av TSFS 2018:60 *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om fartyg i inlandssjöfart* gällande kravnivån avseende fartygets konstruktion och utrustning genom direktiv 2016/1629/EG.

För att möta kraven i TSFS 2019:120 4§ är TS tolkning att fartyget behöver ha ett klasscertifikat utställt av ett godkänt klassningssällskap. Det existerar inga likvärdiga regler annat än de som tillhandahålls av klassen.

Fartyg i nationell trafik undantas normalt ur HSC-koden men genom 11§ i TSFS 2019:120 och direktiv 2009/15/EG måste höghastighetspassagerarfartyg uppfylla HSC-koden. TSFS 2019:120 omfattar endast fartområde A till D vilket betyder att fartyg som trafikerar det lägre området E men omfattas av TSFS 2019:120 rent praktiskt kan byggas efter regler som råder för område D. HSC-kodens regelverk är framtaget speciellt för höghastighetsfartyg. Dessa skiljer sig ofta från traditionella fartyg, till exempel använder de ofta material annat än stål och är konstruerade för avsevärt högre hastighet vilket ställer annorlunda krav för att garantera säkerheten ombord. HSC-koden är på så sätt ett bättre anpassat regelverk för dessa typer av fartyg. Grunden är att säkerhetsstandarden minst ska motsvara den som finns för traditionella fartyg av stål med konventionell framdrift, fartyg som normalt sett omfattas av SOLAS om de trafikeras internationellt.

Syftet med direktiv 2009/45/EG är bland annat att införa en enhetlig säkerhetsnivå för höghastighetspassagerarfartyg som används på inrikes resor och harmonisera bestämmelserna för passagerarfartyg som används på EU-nivå. Direktivet kallas ofta för EU-pass-direktivet eftersom det fastställer regler för passagerarfartyg på inrikes resa inom EU. Artikel 6.4 (a) i direktiv 2009/45/EG beskriver att höghastighetspassagerarfartyg, med samma definition som i TSFS 2019:120, ska uppfylla SOLAS regel X/3 vilken specificerar att fartyg som omfattas av HSC-koden och har certifikat utställda genom HSC-koden likställs med certifikat utställda genom SOLAS. Fartyg som omfattas av HSC-koden behöver på så sätt inte uppfylla både SOLAS alla krav och HSC-koden samtidigt.

Ett höghastighetspassagerarfartyg som rör sig inom ramarna för ovanstående regelverk (SOLAS, HSC-koden samt en erkänd organisations regler om skrov, maskineri och elektrisk installation beskriven i TSFS 2019:120, 4 §) kan applicera preskriptiva regelverk i en traditionell designprocess, i annat fall krävs en alternativ designprocess beskriven i 3.3.

3.3 Regelverk i en alternativ design

Introduktionen av ny teknik och inte minst nya bränslen utmanar de traditionella, etablerade reglerna inom skeppsbyggnation eftersom de utgår från andra förutsättningar, till exempel gasformiga bränslen och bränslen med låg flampunkt. För att redare och skeppsbyggare inte ska hämmas i utveckling och innovationsarbete öppnar regelverk upp för alternativ design, det vill säga alternativ till traditionella, preskriptiva och etablerade lösningar under förutsättning att det leder till högre eller ekvivalent säkerhet. Balansgången ligger i att öppna upp tillräckligt för att låta innovation ske utan att säkerheten försämrans genom att för lite tillsyn och kontroll utövas. Ekvivalens bedöms från nivån i lagstadgade (eng. *Statutory*) regelverk så som till exempel SOLAS eller MARPOL, vilka generellt har uppkommit eller reviderats efter större olyckor.

Myndigheten som har mandat för att ta beslut om en alternativ design anses möta de mål och funktionskrav som krävs för att nå ekvivalent säkerhet omnämns som Administrationen. I Sverige fyller TS den rollen och endast de kan godkänna en alternativ design. Motsvarande roll för den som söker godkännande från Administrationen omnämns som Submitter, vilket till exempel kan vara redaren, konstruktören eller en grupp bestående av flera aktörer.

Den kritiska frågan för fartyg som använder bränslen med låg flampunkt är hur installationen behöver anpassas med avseende på brandskydd eftersom risken för olyckor genom brand ökar. Vätgas är ett bränsle med låg flampunkt, vilket avviker från många etablerade reglers grundförutsättningar. Det krävs därför en design där ekvivalent säkerhet kan uppvisas, för detta existerar IGF-koden, den internationella standarden för fartyg som använder bränsle med låg flampunkt. Vägledning för hur ekvivalent säkerhet ska uppnås ges genom en målbeskrivning och funktionskrav, (se Bilaga 1: IGF-kodens mål och funktionskrav). För naturgas finns föreskrivande regler i IGF-koden för hur målen och funktionskraven ska nås.

För vätgas finns inget preskriptivt regelverk eller några helomfattande preskriptiva riktlinjer för hur ett komplett arrangemang ska installeras och opereras. Under 2022 gav IMO ut tillfälliga riktlinjer ("interim guidelines") för installation av bränsleceller ombord baserat på funktionskraven i IGF-koden, genom publikationen av MSC.1-Circ.1647. Dessa täcker dock inte andra system så som lagring av bränslet ombord. En av IMO:s underkommittéer, CCC (Carriage of Cargoes and Containers), är i processen att etablera omfattande men tillfälliga riktlinjer för vätgas baserat på IGF-koden, dessa förväntas dock inte finnas på plats förrän tidigast under den senare halvan av 2024.

Fartyg som är föremål för internationella regler och avser använda bränsle med låg flampunkt finner stöd för alternativ design i svensk rätt genom TSFS 2019:4 (Femte avdelningen). Den alternativa designen ska analyseras och presenteras inom ramarna för riktlinjerna presenterade i MSC.1-Circ.1212 och MSC.1-Circ.

1455. Mål och funktionskrav i bedömningen om ekvivalent säkerhet hämtas från IGF-koden.

Rent praktiskt kommer den alternativa designprocessen för Beluga 24 tillämpas med stöd från ett klassningssällskap för att erhålla ett klasscertifikat – det finns inte någon annan erkänd organisation som har likvärdiga regler för skrov, maskineri och elektrisk installation. Även om den alternativa designprocessen genomförs genom ett klassningssällskap är det TS i rollen som Administration som godkänner och certifierar den alternativa designen i slutändan.

För fartyg som omfattats av det nationella regelverket TSFS 2017:26 och som valt en alternativ designmetodik har TS delat in processen för verifiering i två olika spår: den förenklade och den utökade processen för riskhantering (TS 2023). I de fall där det används system och utrustning som är typgodkända och avsedda för marint bruk förenklas processen avsevärt. I de fall där det används system och utrustning som inte är typgodkända och avsedda för marint bruk krävs en fullständig analys och process för riskhantering enligt MSC.1-Circ.1455. I de fall där delar av system och utrustning är typgodkända och avsedda för marint bruk kan den förenklade processen användas där de möter funktionskrav, resterande funktionskrav behöver analyseras genom en fullständig process.

Typgodkännandet och marinanpassningen behöver oavsett innefatta användningsområdet, t.ex. kan inte tankar för naturgas användas för vätgas om typgodkännandet och marinanpassningen inte uttryckligen medger det.

Kompleta system för lagring av vätgas, till exempel tank, ventil och smältsäkring (TPRD, släpper ut gasen vid brand), som innehåller typgodkända komponenter enligt standarder för stationär eller vägtransport kan kräva att ytterligare krav följs för fartygstillämpningar – på grund av ytterligare miljöpåfrestningar som exponering för till exempel vibrationer, stötar, saltvatten och solljus. För vissa typer av utrustning såsom bränsleceller behövs förutom typgodkännande även ett produktcertifikat (PC). Detta kräver att varje specifik enhet kontrolleras.

3.4 Beslut- och godkännandeprocess enligt MSC.1-Circ.1455

Administrationen använder tillvägagångssättet för godkännande som finns beskrivet i MSC.1-Circ.1455. Det bygger på en transparent och strukturerad process uppdelad i olika faser och pekar bland annat på riskanalytiska verktyg och tekniker för att analysera och utvärdera alternativa designförslag. Processen finns avbildad i Figur 3 och består av två huvudparter: Submitter och Administration, där den första kan representeras av redaren, konstruktören eller en grupp bestående av flera aktörer och den senare av TS. En översiktlig uppdelning av processen kan göras i fem olika steg enligt listan nedanför med tre distinkta milstolpar (se även Quick-guide i bilaga 3). En indikation på arbetsfördelningen mellan parterna står inom parentes.

Den första milstolpen är att utveckla en preliminär design och arrangera ett möte med Administrationen för att etablera förutsättningar och acceptanskriterier. Den andra milstolpen nås när den preliminära designen godkänns av Administrationen mot etablerade acceptanskriterier. I den tredje och sista milstolpen godkänns den slutgiltiga designen, ibland under fortsatta krav på uppföljning efter driftsättning.

1. Utveckling av en preliminär design (Submitter).
2. Godkännande av preliminär design (Administration).
3. Utveckling av slutgiltig design (Submitter).
4. Tester och analyser av slutgiltig design, ibland i flera iterationer mot steg 4 (Administration & Submitter).
5. Godkännande av slutgiltig design (Administration).

Processen initieras av att Submitter, med stöd från till exempel klassen, underleverantörer, varv, externa experter och designteam, utvecklar en preliminär design, presenterar projektet för Administrationen och beskriver vilka regler som eventuellt utmanas – ett så kallat ny- eller ombyggnadsmöte. Administrationen gör en utvärdering av den preliminära designen för att fastslå om eller var designen utmanar etablerade regelverk samt till vilken grad riskanalytiska verktyg behöver appliceras. Resultatet är ett dokument som beskriver kraven och den formella process som Submitter behöver följa för att nå ett preliminärt godkännande. Det är fullt möjligt att Administrationen anser att designen inte utmanar etablerade regelverk tillräckligt för att motivera några extra åtgärder, i så fall handlar det i stället om en konventionell godkännandeprocess. Det är även här (*Definition of approval basis*) som acceptanskriterier arbetas fram mellan Submitter och Administration, en ytterst viktig del som kan innebära att flera möten behöver hållas, se även kapitel 3.7 för vidare förklaring.

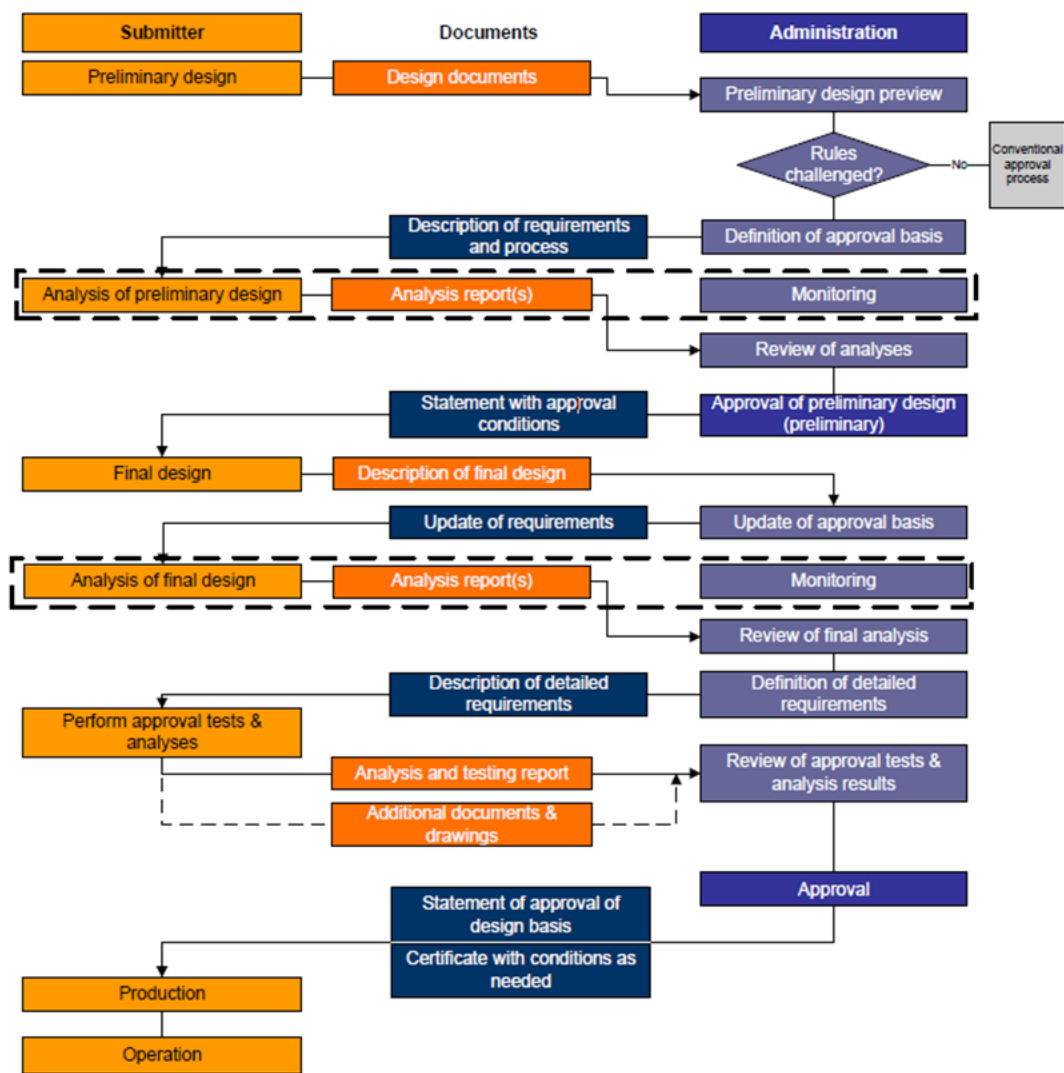
I den fortsatta utvecklingen av den preliminära designen (*Analysis of preliminary design*) är det Submitters uppgift och ansvar att tillmötesgå de krav Administrationen ställt. Det involverar åtminstone att en eller flera HAZID:s hålls, ibland följt av ytterligare riskanalyser. Omfånget beror på Administrationens bedömning av hur mycket den preliminära designen avviker från etablerade regelverk. Syftet är både att identifiera faror med designen och att fånga upp skyddsåtgärder som redan finns på plats för att möta olika faror.

Administrationen gör därefter en utvärdering av redarens underlag enligt tidigare ställda krav. Om designen och underlaget anses vara genomförbart och lämpligt utan att några ”showstoppers” har identifierats kan Administrationen utfärda ett godkännande av den preliminära designen (*Approval of preliminary design (preliminary)*) tillsammans med vilka krav som måste uppfyllas för att få ett slutgodkännande. Detta ska inte likställas med att den slutgiltiga designen kommer bli godkänd, snarare att processen och designarbetet kan fortlöpa.

Nästa stora steg för Submitter är att utveckla en slutgiltig och mer detaljerad design (*Final design*). Den ska följa tidigare preliminära analyser, utfall och

redogörelser från Administrationen. En mer detaljerad design gör det möjligt att öka förståelsen för hur designen fungerar och bygga förtroende för alternativa systemlösningar. Med det utvecklade underlaget kan Administrationen behöva utfärda en uppdatering av de krav och nödvändiga steg som Submitter måste ta för att kunna erhålla en godkännande av den slutgiltiga designen (*Update of approval basis*). Uppdateringen är en följd av att designen har förtydligats och att risker har analyserats i mer detalj. Processen fortlöper i hög grad enligt samma mönster som vid godkännandet av den preliminära designen men med mycket högre noggrannhet (*Analysis of final design*). Det är möjligt att utvecklingen av den slutliga designen kräver flera iterationer och utvärderingar för att möta de etablerade och uppdaterade kraven.

Vid ett lyckat genomförande där designen mött de uppsatta acceptanskriterierna kan Submitter erhålla ett godkännande för den slutgiltiga designen (*Approval*). Det kan ske under vissa förutsättningar, som att särskilda system eller komponenter inspekteras, testas och övervakas noggrant en period efter driftsättande.



Figur 3. Beslut- och godkännandeprocess enligt MSC.1-Circ.1455 för alternativ design. Hämtad från IMO MSC.1-Circ.1455 (2013).

3.5 Kategorisering av teknik enligt MSC.1/Circ.1455

För att kunna uppskatta den preliminära omfattningen av analysprocessen för att nå ett designgodkännande kan Tabell 5 användas för att kategorisera en design, system eller teknik ombord. Tabellen innehåller två huvudområden: Applikation (*Application area*) samt teknikstatus (*Technology status*). Applikationen är uppdelad i känd eller ny applikation (*Known* eller *New*) medan teknikstatus är antingen beprövad, begränsad fälthistorik eller obeprövad (*Proven*, *Limited field history* eller *New or Unproven*). Vidare ges följande definitioner för ny teknik respektive beprövad teknik:

A new technology is a technology that has no documented track record in a given field of application, i.e. there is no documentation that can provide confidence in the technology from practical operations, with respect to the ability of the technology to meet specified functional requirements. This implies that a new technology is either:

- .1 a technology that has no track record in a known field;*
- .2 a proven technology in a new environment; or*
- .3 a technology that has no track record in a new environment.*

A proven technology has a documented track record in the field for a defined environment.

Med hjälp av Tabell 5 kan en projektkategori mellan 1 och 4 definieras där vidare ledning ges i Tabell 6. En sammanfattning av dem ges nedanför:

- Kategori 1, d.v.s. känd applikation av beprövad teknik (*Known application of proven technology*), använder en konventionell godkännandeprocess (motsvarande *Conventional approval process* i Figur 3) eftersom det i hög omfattning finns preskriptiva regelverk att följa och inga regler anses utmanas i någon större omfattning.
- Kategori 2, d.v.s. känd applikation av teknik med en begränsad fälthistorik eller ny applikation av beprövad teknik (*Known application of a technology with a limited field history/New application of proven technology*).
- Kategori 3, d.v.s. ny applikation av teknik med en begränsad fälthistorik eller känd applikation av obeprövad teknik (*New application of a technology with a limited field history/ Known application of a new or unproven technology*).
- Kategori 4, d.v.s. ny applikation av obeprövad teknik (*New application of novel or unproven technology*).

För kategori 2, 3, och 4 behöver en alternativ design användas där riskerna omhändertas genom riskhantering. Med en högre kategorisering ökar bland annat kraven på omfattningen på riskanalyserna, kvalifikationerna på deltagarna i analyserna samt villkor för rapportering och uppföljning när fartyget väl är slutgodkänt och operativt. Ur ett riskbedömningsperspektiv krävs en

grundläggande riskanalys (*Basic risk assessment*) för kategori 2, 3, likväl som 4. Den stora skillnaden ur riskanalyssynpunkt handlar om nivån på det fortsatta riskanalysarbetet (*Further analysis requirements*) där kategori 4 kräver en full kvantitativ riskanalys av alla scenarier, medan kategori 2 eller 3 enbart kräver en semikvantitativ (kategori 2) eller kvantitativ (kategori 3) riskanalys för riskscenarier som är ”medium” och ”high”. En vägledning av kraven som ställs beroende på teknikkategori finns i Tabell 6.

Tabell 5. Kategorisering av ny teknik. Hämtad från IMO MSC.1-Circ.1455 (2013).

Categorization of new technology			
	Technology status		
Application area	<i>Proven</i>	<i>Limited field history</i>	<i>New or unproven</i>
<i>Known</i>	1	2	3
<i>New</i>	2	3	4

Tabell 6. Vägledning för vilka krav som ställs beroende på teknikklassificering. Hämtad från IMO MSC.1-Circ.1455 (2013).

Project Category	Known application of proven technology (conventional process)	Known application of a technology with a limited field history/New application of proven technology	New application of a technology with a limited field history/ Known application of a new or unproven technology	New application of novel or unproven technology	Activity performed by:
Requirements	(1)	(2)	(3)	(4)	
Basic risk assessment	Not required	Required (unless rule challenge deemed insignificant or of negligible impact on safety and environment)	Required	Required	Submitter (yard, supplier)
Further analysis requirements	Not required	Depending on basic risk assessment outcome. Hazards medium or high, if any, may be examined further, at least by semi-quantified analysis	Semi-quantified assessment. All hazards medium and high may be examined by means of quantified analysis	Quantified risk assessment to all risk contributions (due to the novelty of the design, it may not be possible to rank such hazards credibly. Hence, all may be examined in depth)	Submitter in cooperation with the Administration
Qualifications of analysts	N/A	Operational experience General knowledge of risk assessment techniques	Operational experience. In-depth experience with risk assessment. Some knowledge of analysis techniques	Operational experience Risk assessment and analysis experts	N/A
Applied rules and guidance	Existing prescriptive rules (SOLAS, MARPOL, relevant codes, national, regional, and international legislation, prescriptive class rules)	Existing prescriptive rules where no rule challenge prevails (SOLAS, MARPOL, relevant codes, national, regional, and international legislation, prescriptive class rules) applicable standards if available from other industrial sectors, class guidance on risk-based approval as applicable	IMO circulars on alternative arrangements, class guidance on risk based approval, other relevant industry standards	IMO circulars on alternative arrangements, class guidance on risk based approval	N/A
Potential additional tests, surveys, and compliance control (after commissioning)	As per Safety Management System (SMS) and existing regulation	Internal surveying. Additional review at safety related events subject to recording and corrective action	Internal/external surveying, recording and additional intermediate surveys of risk-based features, if deemed necessary	Continuous monitoring and review subject to reporting to the Administration until a sufficient level of experience is gained	Submitter (operator)
Review by third party	Considered	Considered	Considered	Recommended	N/A

3.6 IGF-kodens funktionskrav

IGF-koden utvecklades för att skapa en internationell standard för fartyg som använder bränsle med låg flampunkt, men som inte täcks av IGC-koden. Innehållet adresserar alla områden som berörs vid användandet av bränsle med låg flampunkt. Målet är bland annat att skapa förutsättningar för säker och miljövänlig design, konstruktion och drift av fartyg som använder bränsle med låg flampunkt. Totalt innehåller IGF-koden 18 funktionskrav. För naturgas, i komprimerad eller kryogen form, finns det preskriptiva regler för hur funktionskraven ska nås. För alla andra bränslen med låg flampunkt måste en alternativ design genomföras för att demonstrera att fartyget uppfyller funktionskraven. Det finns interimriktlinjer under utveckling genom IMO:s underkommitté CCC för vätgas och andra bränslen. Avsikten är att ta fram preskriptiva regler så som har gjorts för naturgas genom IGF-kodens Part A-1. Funktionskraven i interimriktlinjerna för vätgas (CCC 9/3) är liknande motsvarande i IGF-koden men innehåller ytterligare ett funktionskrav, d.v.s. totalt 19 funktionskrav. Publiceringen av dessa förväntas ske tidigast under 2024.

För att skapa en uppfattning om hur funktionskraven ska tolkas för att förstå *vad* som ska uppnås har Tabell 11 i Bilaga 1 tagits fram. Tabellen kartlägger vilka funktionskrav som är aktuella i vilka kapitel för bränslet naturgas, d.v.s. preskriptiva regler för hur ett i vissa fall liknande, gasformigt bränsle med låg flampunkt ska hanteras. Tabell 11 och IGF-kodens preskriptiva regler för naturgas ger på så sätt en fingervisning att utgå ifrån för att kunna verifiera att designen möter funktionskravens målsättningar.

3.7 Etablerande av acceptanskriterier

Där det är möjligt att peka på ett etablerat regelverk eller internationell standard, till exempel sådant som används för att verifiera säkerheten på landinstallationer, kan det göras för att möta hela eller delar av funktionskrav. Ytterligare verifiering eller analys kan krävas för att fullt ut beakta skillnader mellan land och den marina miljön.

Omfånget och applikationen måste oavsett accepteras av Administrationen.

Acceptanskriterier kan på så sätt vara en eller flera standarder, regler, koder eller liknande som parterna enats om. Där det saknas etablerade regelverk, internationella standarder eller där Administrationen inte anser att något av de regelverk som eventuellt skulle kunna refereras till är tillräckliga måste riskerna i fartyget omhändertas genom riskhantering.

För att använda riskhantering som verifiering av ekvivalent säkerhet behöver acceptanskriterier etableras för vad som är en tolerabel risk. Arbetet sker tidigt i processen enligt MSC.-Circ.1455, i samråd mellan Submitter och Administrationen, och är en del av *Definition of approval basis*. Det är mot dessa acceptanskriterier som den slutgiltiga designen utvärderas – om designen inte kan uppfylla acceptanskriterierna kan inte heller fartyget godkännas och certifieras. Acceptanskriterierna beror på hur stort behovet av ytterligare analys är. Inom ramen för en kvalitativ eller semikvantitativ riskanalys kan kriterier för analys, beräkningar eller simuleringar ställas upp för ”medel” eller ”hög” riskscenarier. Inom ramen för en kvantitativ riskanalys kan kvantitativa

kriterier sätts upp för den totala risken vilket då inkluderar alla riskscenarier. Den s.k. ALARP-principen skulle då kunna användas för att motivera ett praktiskt och ekonomiskt rimligt skydd. Vidare information om kvantitativa acceptanskriterier och ALARP-principen finns i MSC.MEPC.2/Circ.12/Rev.2 *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process*.

4 Resultat: Alternativ design enligt MSC.1-Circ.1455

4.1 Kategorisering av vätgasteknik

Följande system och vätgaskomponenter valdes ut för att kategoriseras utifrån Tabell 5 och Tabell 6 i avsnitt 3.5 baserat på MSC.1-Circ.1455. En förutsättning för Beluga 24 är att ingående komponenter är typgodkända och certifierade för marint bruk.

- Bunkring av vätgas
- Vätgastankutrymme samt vätgastankar
- Bränslecellsrum samt bränslecell

4.1.1 Teknikstatus

Vätgas har använts under en längre tid inom industrin. Den globala vätgasproduktionen 2019 var cirka 70 miljoner ton³, vilket betjänade industrier som raffinaderi, kemi, metall, gödningsmedel, livsmedelsförädling, halvledarproduktion och kraftverk. Däremot har inte vätgas lagrats, transporterats eller använts som fordonsbränsle i hög utsträckning, även om en stor ökning av antalet vätgasfordon skett på sistone. Det finns i storleksordningen 50 000 vätgasfordon i världen⁴. Teknik för komprimerad vätgas har dock många likheter med exempelvis komprimerad naturgas (CNG) som använts i större utsträckning med runt 50 000 vägfordon i enbart Sverige. CNG lagras och bunkras på liknande sätt som vätgas, men har en förbränningsmotor i stället för en bränslecell.

- Bunkring av *vätgas* har i begränsad utsträckning skett inom industrin samt inom fordonsindustrin för vätgas, men tekniken för bunkring av *gas* har använts i stor utsträckning och under lång tid.
=> **Limited field history/Proven (in non-marine environments)**
- Förvaring av vätgas i komprimerad form utomhus, liksom förvaring av komprimerad gas i allmänhet är en väl beprövad teknik. För vätgas finns en del nya aspekter såsom väteförspridning som har med metaller att göra, vilket omfattas av befintliga standarder. Komposittankar har använts under en längre tid för exempelvis vägfordon och transport av gaser. För vägfordon används mycket höga tryck, i storleksordningen 70 MPa. För Beluga 24 är designtrycket 25 MPa då det vid genomgången inte fanns marint godkända tankar för 70 MPa. Det antas också att tankarna är marinanpassade och har ett typgodkännande hos ett klassningssällskap.
=> **Proven (in non-marine environments)**

³ Internationell-och-nationell-sammanställning-av-vätgas-och-vätgasklusters-utveckling
<https://ei.se/download/18.213fc9e217f2a7937fd568/1645703506659/Internationell-och-nationell-sammanst%C3%A4llning-av-v%C3%A4tgas-och-v%C3%A4tgas-klusters-utveckling.pdf>

⁴ <https://www.statista.com/statistics/1291480/hydrogen-fueled-road-vehicles-worldwide/>
<https://www.hydrogeninsight.com/transport/the-number-of-hydrogen-fuel-cell-vehicles-on-the-worlds-roads-grew-by-40-in-2022-says-ica-report/2-1-1444069>

- Bränsleceller för vätgas är ingen ny teknik. De första bränslecellerna uppfanns av Sir William Grove 1839. Den första kommersiella användningen av bränsleceller kom nästan ett sekel senare av Francis Thomas Bacon 1932⁵. Den första bussen som drivs av en bränslecell färdigställdes 1993 och sedan dess har flera bränslecellsfordon byggts i Europa, Asien och USA. Det antas också att bränslecellerna är marinanpassade och har ett typgodkännande hos ett klassningssällskap. Även om ett fåtal fartyg finns med bränsleceller från och med 2023, till exempel Maas and the Sea Change, finns det så lite operativ erfarenhet att det inte kan sägas att de är bevisade i en marin miljö.
=> **Proven (in non-marine environments)**

4.1.2 Applikation

Att använda vätgas som fartygsbränsle anses vara nytt. Det finns stor erfarenhet med naturgas som fartygsbränsle både flytande i kryogen form samt som komprimerad. Även om naturgas är snarlikt är det inte helt jämförbart med vätgas.

=> **New for marine application**

4.1.3 Kategori

Därmed kan vätgassystemen kategoriseras utifrån Tabell 5 som kategori 2 (ny applikation av beprövad teknik), alternativt som kategori 3 (ny applikation av teknik med en begränsad fälthistorik), vilket även var en slutsats från workshopen där frågan diskuterades. På workshopen noterades också att en designförutsättning för Beluga 24 är att använda marinanpassad och typgodkänd utrustning och att riktlinjer från IMO finns för bränslecellsinstallationer. Det är dock otydligt exakt hur marinanpassad och typgodkänd utrustning påverkar kategoriseringen och analysbehovet. Rimligtvis minskar analysbehovet jämfört med om icke marinanpassad och typgodkänd utrustning skulle användas.

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell

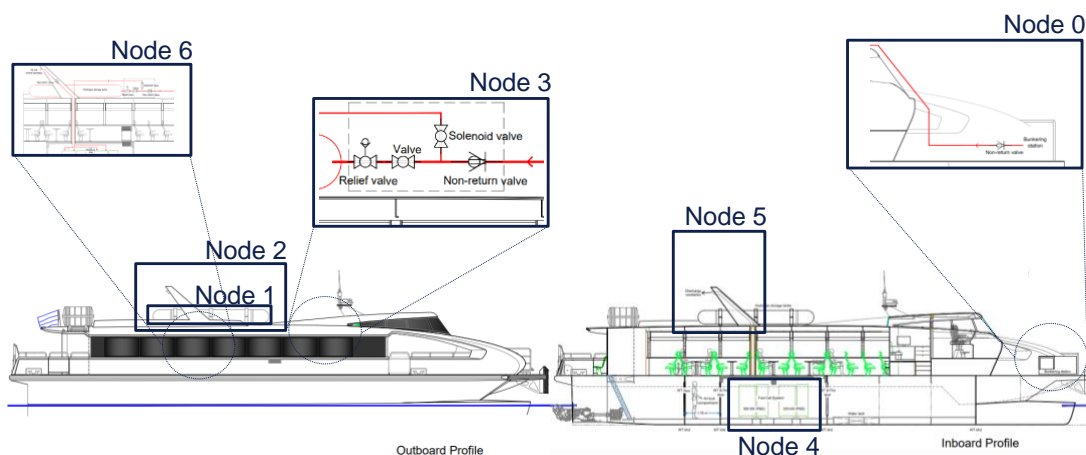
Tabell 7. Kategorisering av vätgasteknik för Beluga 24.

Categorization of new technology			
Application area	Technology status		
	<i>Proven</i>	<i>Limited field history</i>	<i>New or unproven</i>
<i>Known</i>	1	2	3
<i>New</i>	2: Vätgastankutrymme samt vätgastankar Bränslecellsrum samt bränslecell	3: Bunkring av vätgas	4

4.2 Grundläggande riskanalys (HAZID)

Vätgasrelaterade system för Beluga 24 är markerade som sju olika noder enligt Figur 4.

- Node 0: Bunkering Station
- Node 1: Compressed Hydrogen Fuel Tanks
- Node 2: Fuel Storage Hold Space
- Node 3: Fuel manifold
- Node 4: Fuel Cell Room
- Node 5: Ventilation mast – Hazardous spaces
- Node 6: Piping between hold space and fuel cell space



Figur 4. Vätgasområden (noder) på Beluga 24 som ingick i HAZID.

Faror för dessa noder identifierades och gicks igenom på en HAZID workshop 15 maj 2023 med resultat i Bilaga 2. Eftersom en förutsättning för Beluga 24 är att använda typgodkända komponenter kommer fokus för riskbedömningen vara på systemnivå (dvs. vi ifrågasätter inte om tank och bränsleceller är säkra, det är redan bevisat genom typgodkännande). Tre identifierade riskscenarier graderades av workshopdeltagarna till en ”medel” eller högre risknivå av deltagarna på workshopen, se Tabell 8.

Tabell 8. Identifierade riskscenarier med riskgradering ”medel” eller högre (på engelska), se även riskmatris i Figur 1.

ID	Hazard	Consequence	Risk ranking
0.0.0	Bunkering		
0.1.1	Loss of containment in forward area of vessel. There may be hydrogen left in pipes since bunkering operations.	<ul style="list-style-type: none"> - Leakage of gas which could form explosive gas mixture, leading to explosion - Leakage of gas which could lead to gas/jet fire, leading to fire escalation (carbon fibre) 	Medium (Likelihood=5, Severity=2)
1.0.0	Compressed hydrogen tank hold space		
1.1.2	Loss of containment	<ul style="list-style-type: none"> - Leakage of gas which could form explosive gas mixture, leading to explosion - Leakage of gas which could lead to gas/jet fire, leading to fire escalation (carbon fibre) 	Medium (Likelihood=2, Severity=5)
4.0.0	Fuel cell room		
4.1.1	Loss of containment	<ul style="list-style-type: none"> - Leakage of gas which could form explosive gas mixture, leading to explosion? - Leakage of gas which could lead to fire or fire escalation. 	Medium (Likelihood=3, Severity=3)

4.3 Gapanalys av utvalda funktionskrav från IGF-koden

Funktionskrav nr 1, 4, 5, 7, 12 och 18 valdes ut för en gapanalys på workshopen, **se tabell 9**.

Tabell 9 Analys av utvalda funktionskrav från IGF-koden (på engelska).

IGF functional req.	Preliminary design	Gap	Method / test	Criterion
1. "The safety, reliability and dependability of the systems shall be equivalent to that achieved with new and comparable conventional oil-fueled main and auxiliary machinery."	This req. considers many aspects of the IGF-Code. As a starting point, ensure all other requirements are met.	Difficult to quantify and compare new system with conventional systems.	Compare diesel-fueled with hydrogen-fueled in general?! -statistics for incidents is available for oil-fueled only... Expert judgement?!	The safety, reliability, and dependability of hydrogen-fueled should be equivalent to oil-fueled (by expert judgement)
4. "Hazardous areas shall be restricted, as far as practicable, to minimize the potential risks that might affect the safety of the ship, persons on board, and equipment."	Follow prescriptive method -> Large vent mast outlet and resulting gas jet.	Too large gas jet. Critical heat radiation in case of ignition (for humans) not explicitly defined. Too large hazardous Area?!	CFD + Experiments? Research project needed to find better vent mast design concept?	Hazardous area (ATEX) standard that defines the boundaries for hazardous areas: EN 60079-10-1 (ignition sources within the area are considered) Reference value for heat radiation from jet flame (5 kw/m ²) or deflagration (10 kW/m ²) to humans.

IGF functional req.	Preliminary design	Gap	Method / test	Criterion
5. "Equipment installed in hazardous areas shall be minimized to that required for operational purposes and shall be suitably and appropriately certified."	<p>Compartment with fuel cell installation was initially defined as hazardous area with airlock.</p> <p>Ventilation outlets defined as HA.</p>	<p>Might not need to classify the compartment with fuel cell installation as a hazardous area, no need for airlock system.</p> <p>Vent mast, issue, see above.</p>	<p>Classify hazardous zone according to EN 60079-10-1</p> <p>Fully enclose all parts dealing with hydrogen in the fuel cell.</p>	<p>Type approval / Product Certificate (PC) for fuel cell installation with hazardous area limited to the cabinet.</p>
7. "System components shall be protected against external damages."	<p>Placement of tanks according to IGF-Code 5.3.3.</p> <p>Structural fire resistance against fire inside passenger compartment below the tanks.</p> <p>Valves/manifold are protected.</p> <p>Tanks are considered to be very sturdy.</p>	<p>-Tanks are not protected (from above). What is the probability of falling objects from above (large enough to damage tanks)?!</p> <p>-Tanks are most likely only approved to land based standards (according to current prescriptive rules from class societies).</p>	<p>Ensure that tanks and all other hydrogen equipment handle marine conditions including salt and sun exposure in type approval/PC.</p>	<p>Type approval / PC for tanks and other hydrogen equipment.</p> <p>Show that likelihood is below 1 occurrence per 10 000 year or install grid/shelter/protection to protect the tank(s).</p>

IGF functional req.	Preliminary design	Gap	Method / test	Criterion
<p>12. “Fuel containment system and machinery spaces containing source that might release gas into the <u>space</u> shall be arranged and located such that a fire or explosion in either will not lead to an unacceptable loss of power or render equipment in other compartments inoperable.”</p>	<p>This only refers to FC with connections since tanks are in the open.</p> <p>FC is designed to only leak outside through ventilation. Installation is designed for smaller fire or explosion (see HAZID 2.1.1).</p> <p>See also 18. Below.</p>	<p>No. The design considers this.</p>		
<p>18. “A single failure in a technical system or component shall not lead to an unsafe or unreliable situation.”</p>	<p>Power system including tanks, FC and battery is divided into two parts so that a failure in one of the hulls should be limited to one half. Power etc. is then taken from the intact half. The ship must be designed against the class notation FC (Fuel Cell) which has a long</p>	<p>Minor gap to also cover tanks, tank manifold, possibly ventilation and the like.</p>	<p>Suitable method such as HAZOP, FMEA, SIL, RAMS, or LOPA.</p>	<p>Verify that “A single failure in a technical system or component shall not lead to an unsafe or unreliable situation.”</p>

	history (DNV) whereby the safety philosophy of the fuel cell is taken into account and approved (see also TSFS 2019:120 § 4).			
--	---	--	--	--

4.3.1 Säkert och tillförlitligt vätgassystem (funktionskrav 1)

Funktionskrav 1 säger att vätgassystemens säkerhet och tillförlitlighet ska vara likvärdig med den som uppnås av jämförbara konventionella oljedrivna system. Det är svårt att kvantifiera säkerheten i till exempel SOLAS eftersom den har tillkommit eller förändrats, liksom andra internationella konventioner, vid större olyckor. Funktionskravet inkluderar även många olika aspekter. Ett angreppssätt är en expertbedömning som visar att säkerheten och tillförlitligheten hos vätgasdrivna fartyg är likvärdiga med konventionella.

4.3.2 Ventmast design gap (funktionskrav 4 och 5)

En ventmast används för att tömma systemet på vätgas, exempelvis vid en brand eller inför underhåll. De vägledningarna som ges ger en onödigt stor HA (eng. *Hazardous Area*) för gasjeten från ventmasten. HA definieras i standard EN 60079-10-1. ATEX⁶ beaktar antändningskällor inom HA området. Kritisk värmestrålning för jetflammar är inte definierad för människor. Ett möjligt referensvärde för värmestrålning från jetflamma för oskyddade människor under kortare tid är i intervallet 5 – 10 kW/m² (Runefors 2022).

4.3.3 Vätgastankars skydd mot extern skada (funktionskrav 7)

Placering av tankar är på väderdäck i enlighet med (CCC 9/3)⁷. Arbetet som utförts inom CCC 9/3 för att uppfylla funktionskrav 7 avser placering av tankarna (B/5 från sidorna etc) och är till för mekaniskt skydd. För Beluga 24 är ventiler eller manifoldrar skyddade mot mekanisk åverkan. Även om tankarna anses vara mycket robusta så är de inte skyddade uppifrån - Vad är sannolikheten för fallande föremål ovanifrån (tillräckligt stor för att skada tankar)? En riskbaserad lösning är att visa att sannolikheten är mindre än 1 förekomst per 10 000 år, alt. ALARP eller att installera galler/skydd för att skydda tankarna.

Vidare är tankarna sannolikt godkända enligt landbaserade standarder (enligt gällande föreskrifter från klassningssällskapen). Det bör säkerställas att tankar och all annan vätgasutrustning hanterar marina förhållanden inklusive salt- och solexponering i typgodkännande eller PC.

4.3.4 Bränslecellsinstallation (funktionskrav 12)

Angående funktionskrav 12 uppgav Thomas Saleman från PowerCell att deras system täcker detta krav. Rummet med bränsleceller klassas därmed inte som en gasfarlig zon och det krävs därför ingen luftsluss innan rummet, vilket den

⁶ [Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres \(europa.eu\).](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0034)

⁷ 5.13 Compressed Hydrogen Arrangements "Compressed hydrogen storage is only recommended to be on open deck locations in open air" and seems to apply to the Functional requirement 6 "Unintended accumulation of explosive, flammable or harmful gas concentrations should be prevented."

preliminära Beluga 24 designen tog höjd för. Detta beror på de dubbelmantlade rören, inkapslingen och andra designfunktioner såsom ventilation som säkerställer att vätgas förblir i gastäta ("gas tight") utrymmen.

4.4 Ytterligare riskanalysarbete

4.4.1 Simuleringar och beräkningar från litteraturen

Sandia National Laboratories har gjort simuleringar av ett bränslecellsrum och en ventmast på ett vätgasdrivet fartyg (Blaylock et al. 2022).

4.4.2 Läckage från bränslecellsinstallation i rum

Läckande vätgas från lågt tryck styrs i hög grad av vätgasens låga densitet ("buoyancy") och har en snabb diffusion och utspädning med omgivande luft. Sandia National Laboratories i USA har simulerat läckande vätgas i bränslecellsrummet (ett ESD, "Emergency Shut Down", skyddat maskinrum där vätgasalarmet ska stoppa bränslecellen och bränsletillförsel, vilket kräver att vätgasalarmet och ventilationen inom bränslecellsinstallationen fallerar, ett s.k. "double failure") för olika ventilation i rummet, från 0, 15, 30, ..., till 75 ACH ("Air Change per Hour"). Man fann att den läckande gasen snabbt späds ut med luft, även vid 0 ACH. För de simulerade fallen var området med brännbar blandning (4 % eller mer) mycket litet med en marginell påverkan av ventilationen. Vid över 15 ACH kan inte takmonterade vätgasdetektorer ens detektera (0,4% eller mer) någon vätgas (Blaylock et al. 2022).

4.4.3 Gasjet från ventmast

Ett gasutsläpp från högt tryck såsom vätgastankar ger en momentum-kontrollerad jetflamma, d.v.s. ger i princip samma jetflamma oavsett vind- eller utsläppsriktning såsom neråt eller uppåt. Sandia National Laboratories i USA har simulerat jetflamman från en ventmast kopplad till 10 stycken 28 kg, 25 MPa vätgastankar. Detta resulterar i ett brännbart vätgasområde (4%) nära en 100 m hög jetflamma. Beräkningar som RISE genomfört indikerar att jetflamman, om gasen antänds, blir i storleksordningen 50 m hög.

Notera att en gasmolnsexplosion kan ske, vilket exempelvis hände i Stockholm 3 mars 1983 när ca 13,5 kg vätgas vid 20 MPa läckte ut genom en rörkoppling (6 mm). Skadorna vid händelsen i Stockholm var omfattande: 16 skadade personer; 10 skadade fordon; fasaden på den närmaste byggnaden skadades svårt; krossade fönster inom en radie av cirka 90 m (Venetsanos et al. 2003). Blaylock et al. (2022) menar att ett säkerhetsavstånd i praktiken är elliptiskt men kan approximeras med ett klot med center vid ventmastens utlopp och en radie som motsvarar vätgasjetens längd. Detta skulle täcka in hela Beluga 24.

4.4.4 Fortsatt analys av "medel" eller "höga" riskscenarier

Vid workshopen och vid efterföljande projektmöte gicks riskscenarierna i

Tabell 8 igenom igen och uppdaterades utifrån nya designförändringar eller kunskaper om de ingående farorna, vilket resulterade i bedömningen i Tabell 10.

4.4.4.1 Bunkring – gasutsläpp (ID 0.1.1)

Angående bunkring och fyllning så är det vid anslutnings- och fränkopplingsaktiviteter som läckor i allmänhet uppstår (för land- och vägfordon, enligt Paul Adams). För designen kommer principen om kaskadfyllning att användas, och detta är inte ett nytt koncept – det har använts för landbaserad applikation.

Notera att dubbla block- och avtappningsventiler (eng. *double block and bleed valves*) hade lagts till designen baserat på den initiala riskanalysen. Det noterades att för LNG måste alla rör inverteras efter bunkring. Interimriktlinjerna för vätgasdrivna fartyg (CCC 9/3) indikerar detsamma. Spolning av ledningarna med inert gas efter bunkring skulle minska risker kopplat till vätgasledning efter bunkring såsom brand eller explosion. Samtidigt finns det risker med LNG som är en flytande kryogas, vilket betyder att den är mycket kall och att ett tryck kan byggas upp i ledningen när LNG värms upp, vilket inte kan hända för komprimerad vätgas.

En temperaturhöjning i tankarna sker vid bunkring. Effekterna av detta kan variera beroende på om det är en komposit- eller metalltank, eller om den har ett plast- eller metallfoder. Plasten i komposittankar är känsliga för temperaturer över 85 grader C, vilket innebär en risk att tanken förlorar sin hållfasthet och att behållaren brister, vilket leder till en tryckkärlexplosion när trycket jämnas ut momentant till atmosfärstryck. Detta bör utredas ytterligare. Inga passagerare är tillåtna under bunkringen, men passagerare måste passera bunkringsområdet när de går ombord, dock inte nödvändigtvis under pågående bunkring.

Själva bunkringsförfarandet behöver analyseras vidare ur ett människa-teknik ("Human factors") perspektiv, förslagsvis genom en HAZOP ("hazard and operability studies") utifrån de organisatoriska förutsättningar som kommer gälla för den personal som bunkrar.

4.4.4.2 Vätgastankar – skada på tankmanifolder (ID 1.1.2)

Vätgastankarna förutsetts vara typgodkända. TPRD anses vara ett obligatoriskt krav för vätgastankar.

En ändring efter den initiala riskanalysen är att ett mekaniskt skydd nu finns över tankmanifoldern. Ett mekaniskt skydd över tankarna diskuterades, samt ett eventuellt skydd mot solstrålning. Solen kan orsaka tryckförändringar och försvaga kompositmaterial. Det kan vara ett problem om tanken fylls på kvällen eller svalare delar av dagen. Trycket inuti tanken kan då bli högre än tillåtet, vilket skulle kunna resultera i en skada på tanken. Vad som kan tillåtas beror på vad tankarna är typgodkända för, vilket behöver följas. Ett annat förslag var att

överväga att placera ventiler inuti tanken. Detta skulle ge mekaniskt skydd mot att ventilen slås av eller rörbrott eftersom gasflödet då fortfarande kan stängas av. Oavsett är det viktigaste att ha en design som gör att ledningar går av och inte flaskhalsen med ventilen. En fördel med att ha ventilen utanpå är att den kan inspekteras. Akustiska eller ”Optical Gas Imaging”, OGI, läckageindikatorer bör övervägas. Detta nämns nu i IMO:s interimriktlinjer för vätgasdrivna fartyg (CCC 9/3).

4.4.4.3 Vätgastankar – ventilering (ID 1.1.2)

Förvaringsmängd och förvaringstrycket av vätgas som Sandia simulerade ovan är mycket lik Beluga 24 designförslag, vilket kan ge en liknande gasjet om gasen från alla tankar ventileras samtidigt så som reglerna idag föreslår, vid exempelvis en extern brandfara. Värmestrålning från en eventuell jetflamma är problemet. Ett värsta scenario kan vara vid kaj med byggnader, andra fartyg, eller mycket människor i närheten. Gruppen diskuterade om det vore bättre att ha flera utsläppspunkter i stället för en och ifall ventilationsmasterna då kan vara lägre.

Paul Adams noterade att för vägfordon som drivs av vätgas finns det en hel del frihet med hur TPRD-ventilerna placeras. Bussar och lastbilar ventilerar i allmänhet rakt upp, men för bilar är ventileringen ibland i ungefär 45 graders vinkel mot vägytan. För marina applikationer har ventileringen ännu inte föreskrivits. En balans mellan att tömma tankarna så snabbt som möjligt och få en stor gasjet, kontra att tömma mer långsamt och eventuellt riskera en ruptur av tanken, vilket är det värsta scenariot, behöver hittas. Här har en hel del arbete gjorts på vägfordonssidan som det går att bygga vidare på. En trend är att gå mot fler och mindre TPRD utlopp. I CCC 9/3⁸ står att en lösning behöver hittas från fall till fall som ger en tillräckligt hög mast för att skydda struktur och människor från en jetflammas strålning. Interimriktlinjerna kräver också en modellering av utströmmande vätgas och dess utspädning.

4.4.4.4 Bränsleceller – gasutsläpp (ID 4.1.1)

Vätgas i detta utrymme är lågtryck för PowerCell (och de flesta andra bränslecell-system). En gastät inkapsling⁹ för bränslecellerna används av PowerCell, och verkar vara fallet för de flesta andra tillverkare. Detta innebär

⁸ Note: CCC 9/3, paragraph 6.4.1.4 states that the outlet from the tank venting system should "be arranged such that the height of vent exits is normally not to be less than B/3 or 6 m, whichever is greater; and ...". Also paragraph 9.8.3.1 states that the "Case by case gas dispersion assessments/simulations are needed in order to be able to adequately size and determine the location of the vent mast. The vent mast height should be sufficient to prevent thermal radiation from affecting the personnel and structures onboard."

⁹ Note: CCC 9-3, Interim Guidelines for Hydrogen-Fuelled Vessels working group: "The Group considered the proposal to allow gas-safe machinery spaces only and to totally exclude ESD protected machinery spaces for the purpose of these interim guidelines. While the majority of the Group preferred to use the gas-safe concept at least as default solution, the Group did not agree to totally exclude the application of ESD protected machinery space concepts at this stage".

att utrymmet på utsidan av bränslecellskåpen anses vara gassäkert utrymme (ingen HA-klassning).

Tabell 10 Uppdaterad bedömning av ”medel” eller ”höga” riskscenarier (på engelska).

ID	Hazard	Risk reduction measures	Risk ranking
0.0.0	Bunkering		
0.1.1	Loss of containment in forward area of vessel. There may be hydrogen left in pipes since bunkering operations.	Double block-and-bleed valves and non-return valves	Reduced to low (likelihood=2, severity=2)
1.0.0	Compressed hydrogen tank hold space		
1.1.2	Loss of containment	Manifold is covered by a protective guard	Still at medium (likelihood=2, severity=5)
4.0.0	Fuel cell room		
4.1.1	Loss of containment	Cabinet is classed as Hazardous Area 2. Fuel cell room is limited to the part of FC that may contain hydrogen. The compartment where the FC is located is then a non-hazardous compartment.	Reduced to low (likelihood=3, severity=2)

5 Diskussion och Slutsatser

Klassningssällskapens preskriptiva regelverk har utvecklats under en lång tid med mycket erfarenhet i grunden. Det är viktigt att förstå att preskriptiva regelverk är utmanande att hålla aktuella eftersom dessa behöver uppdateras ofta då nya situationer leder till nya erfarenheter och nya tekniska detaljkrav. Klassens regelverk uppdateras normalt två gånger om året, vilket visar på utmaningen att hålla dessa uppdaterade. Mål- och funktionsbaserade regelverk, d.v.s. alternativet till preskriptiva regelverk, är ett sätt att möta utmaningen genom att beskriva *vad* som ska uppnås men inte *hur*, framför allt vid införandet av ny teknik där det finns lite eller ingen erfarenhet. Samtidigt är kanske det största hindret hos redare som intresserar sig för ny teknik bristen på preskriptiva regler, vilket gör det kostsamt i tid och resurser att bevisa att ny teknik är säker, speciellt för projekt som är banbrytande.

TS lyfter avsaknaden på specifika föreskrifter som en av orsakerna till problem vid introduktionen av batterier ombord på fartyg i nationell trafik, en teknisk lösning som är mer mogen än vätgas. En design som accepteras idag riskerar att möta motstånd nästa gång den appliceras då mer kunskap och fakta finns tillgänglig. Det har på så sätt varit svårt att veta vilka lösningar som kommer accepteras när jämförande analyser eller riskanalyser används, d.v.s. när preskriptiva regler inte använts (Trafikanalys 2022). TS uttrycker dock att dagens lagstiftning och föreskrifter är tillräckliga kring alternativ design men att reglerna samtidigt lägger en stor börda på redaren när det gäller att visa att fartyget är sjövärdigt. Det bör vara välkänt för den som är insatt i sjöfartens regelverk att mål- och funktionsbaserade regelverk är mycket resurskrävande att uppfylla – det ställs stora krav på den som önskar genomföra en alternativ design.

Det har också framgått att MSC.1/Circ.1455 är det enda verktyget som finns lagstadgat för att utvärdera, godkänna och certifiera design som avviker från den konventionella processen och kan användas för i princip alla sakområden¹⁰. Administrationen har på så sätt inga andra alternativ än att applicera cirkuläret och arbeta från processen och metodiken det föreskriver. För att processen ska löpa smidigt är det viktigt att ta kontakt med TS (eller Administrationen) tidigt i projektet, dels för att applicera metoden korrekt, dels för att etablera var en alternativ designprocess behövs samt vilka acceptanskriterier som behöver uppnås.

MSC.1/Circ.1455 ger ingen vägledning kring hur system och utrustning som är typgodkänd och anpassad för marint bruk ska kategoriseras. DNV (2021) har

¹⁰ Se även MSC.1/Circ. 1002 för arrangemang och alternativ design som rör brandsäkerhet samt MSC.1/Circ. 1212 för arrangemang och alternativ design som rör SOLAS kapitel II-1 samt kapitel III.

tidigare gjort bedömningen att både bränsleceller och lagringstankar för vätgas ombord på fartyg är nya och obeprövade teknologier i ett nytt användningsområde, vilket ger båda dessa den högsta kategorin – även om de använts i fordon på land. Det framgår dock inte om ett typgodkännande och anpassning för marint bruk skulle förändra kategoriseringen.

I *H₂ – By the book* görs en egen utvärdering som kategoriserar både bränsletankar och bränsleceller som kategori 2, bland annat genom stöd från att komponenterna antas vara typgodkända, anpassade och certifierade för marint bruk. Vid utvärderingen fanns det ingen höjd tagen för att preskriptiva regler för vätgasininstallationer från klassningssällskapen existerade, vilket annars skulle kunna betyda att det finns tillräckligt med underlag för att kategorisera dessa som kategori 1 – en konventionell godkännandeprocess (se Tabell 6).

TS uppger att det är rimligt att ett typgodkännande och anpassning för marint bruk skulle kunna ge en lägre kategorisering av tekniken, beroende på vad typgodkännande omfattar och vilka standarder det är testat mot. Erfarenheter från introduktionen av stora batterisystem för framdrift i nationell trafik pekar tydligt mot att typgodkända och marinanpassade komponenter och system minskar behovet av riskanalytiska verktyg för att godkänna och certifiera ett fartyg. Det är samtidigt viktigt att förstå att ett typgodkännande från ett klassningssällskap inte uppstår i ett vakuum av regler. Erfarenheten från batterisystem visar att klassningssällskapen kräver typgodkända batterier för att installationen ska kunna godkännas genom deras preskriptiva regler. Innehållet i typgodkännandet (och certifierandet av produkten) är därför anpassat och avvägt mot det sammanhållande preskriptiva regelverket för installationen. Det är fullt rimligt att det skulle ställas motsvarande krav på komponenterna i en vätgasininstallation och därför behandlas på ett sätt som motsvarar godkännandet av batteriinstallationer ombord – både från TS och klassningsbolagens sida. Fartyg som omfattas av klassens regler på installation, så som höghastighetspassagerarfärjor, och som använder typgodkända komponenter bör dessutom på sikt kunna falla under en konventionell process för godkännande när det finns etablerade regelverk att följa.

I förlagan till det här projektet, *Säker vätgasininstallation ombord*, var ett resultat från den HAZID som genomfördes gällande en tänkt retrofit till vätgasdrift:

An explosion in the fuel cell spaces or the hydrogen storage spaces constitutes the largest risk according to the HazID results. As described in chapter 5.2.2, a leakage in the hydrogen storage space was rated as an event that is “common” (4 out of 5 on the likelihood scale [...]). An explosion following a leakage in the hydrogen storage space or fuel cell space might cause major damage to ship or high risk of fatalities. It should be noted that a leakage does not necessarily lead to an explosion.

Man ansåg också att en ny design skulle vara enklare än att anpassa ett befintligt fartyg för vätgasdrift. Beluga 24 kommer kunna hantera dessa två explosionsrisker i slutna utrymmen genom att dels placera vätgastankarna på däck, och dels genom en gastät bränslecellsinstallation. Därmed kan vi glädjas över att utvecklingen mot säkrare vätgasininstallationer ombord fortgår! Risker som återstår för senare projekt handlar om hur ventmasten kan designas på ett smart sätt och rör detaljfrågor såsom att anpassa standarder för landapplikation till förhållanden till sjöss.

5.1 Status existerande och kommande regelverk/riktlinjer

IMO:s underkommitté CCC arbetar för att ta fram heltäckande preskriptiva regler för vätgasdrivna fartyg i linje med IGF-kodens funktionskrav, motsvarande de som finns för naturgas (CCC 9/3). Dessa finns idag som utkast på tillfälliga regler (eng. *draft interim*) och förväntas bli färdiga absolut tidigast under 2024 men fortfarande vara betecknade som tillfälliga (*interim*). Under sommaren 2023 publicerade ett klassningssällskap regler för användande av vätgas ombord, baserat på IGF-kodens preskriptiva regler för naturgas (LR 2023a; LR 2023b). Under hösten har ytterligare ett klassningssällskap publicerat preskriptiva regler för användande av vätgas ombord (BV 2023). Sammantaget gör det att riskanalysbehovet minskar och att det bör vara fullt möjligt att följa en konventionell designprocess.

5.2 Slutsatser

Projektet syftade till att analysera och klargöra de steg som ingår i den alternativa designprocessen utifrån de regelverk som existerar för att fartyg ska kunna godkännas och certifieras. De viktigaste stegen i processen har gått igenom utifrån ett verkligt fall (bränslecellsdesign för Beluga 24) som dock inte har påbörjat godkännandeprocessen i skarpt läge med Administrationen. Som ett stöd har en Quick Guide tagits fram på engelska och svenska som en mer lättillgänglig sammanfattning över processen, se Bilaga 3.

Processen för alternativ design är komplex och resurskrävande och lägger ett stort ansvar på den som utvecklar designen för att visa ekvivalent eller högre säkerhet jämfört med konventionella fartyg. En kritisk del är att etablera acceptanskriterier som designen ska möta. Det kan därför vara så att ett stort designarbete utförs men att designen inte når acceptanskriterierna och därför inte kan godkännas. Mål- och funktionsbaserade regelverk, så som IGF-koden, ger på så sätt stor frihet i utformandet genom att beskriva *vad* designen ska uppnå utan att begränsa innovationskraften genom att beskriva *hur* det ska göras.

En viktig förutsättning har varit att det genomgående används certifierade, typgodkända och marinanpassade komponenter. De genomförda riskanalyserna

indikerade att det fanns områden som behövde utvärderas ytterligare men att det var möjligt att hitta lösningar som minskade risken i de faroområden som identifierades som hög- och medelrisk.

5.3 Förslag på fortsatt arbete och utredningar

Under projektets gång har ett flertal olika frågeställningar kommit upp som det inte funnits utrymme för inom detta projekt att jobbar vidare med. Däremot är detta frågor och områden som är av stort intresse att utreda djupare och om möjligt skapa fortsatt arbete och utredningar;

Standardisering av bedömningskriterier för riskanalyser

En fråga som varit högaktuell genom hela projektets gång är hur olika säkerhetsaspekter och risker ska bedömas i de initiala riskanalyserna vid en process för designgodkännande. Idag saknas tydliga riktlinjer inom området som beskriver vad som är ”säkert nog” och detta gäller inte bara på nationell nivå. Frågan blir mer komplex med tanke på att hur dessa bedömningar görs samtidigt skiljer sig mellan flaggstater och de myndigheter som i respektive land ansvarar för besluten. En slutsats är därför att detta är intressant fråga för ett fortsättningsprojekt som då skulle kunna samla flera klassningssällskap och myndigheter i första hand i de nordiska länderna för att arbeta fram en gemensamma bedömningskriterier.

Utsläpp av vätgas via ventmast

Ett utsläpp via en ventmast som dimensioneras enligt gällande praxis för landbaserad vätgasindustri är inte nödvändigtvis en optimal lösning för fartyg. För vägfordon har en trend skett där man släpper ut gasen i dels flera, dels mindre hål, vilket ger mindre potentiella jetflammar och gasmoln, och en snabbare utspädning av gasen med omgivande luft. Framtida utredningar skulle kunna ta fram ett liknande koncept specifikt anpassat för fartyg.

Certifiering/godkännande av fartyg enligt TSFS 2017:26

Certifiering och godkännande av fartyg som omfattas av TSFS 2017:26, d.v.s. fartyg i fartområde E eller passagerarfartyg under 24 meter, som önskar använda vätgas faller inte uteslutande inom en erkänd organisations (klassningssällskapens) regler för skrov, maskineri och elektrisk installation. Dessa fartyg omfattas i stället av Transportstyrelsens mål- och funktionsbaserade regelverk. Ett sådant projekt skulle kunna testa möjligheten att använda sig av jämförande analys eller riskanalys enligt TSFS 2017:26 14§, i kombination med MSC.1/Circ.1455, för att verifiera att säkerheten är ekvivalent eller högre än ett konventionellt fartyg.

6 Referenser

Bach, A., Andersson, S., Forsström, E., Jivén, K., Lundström, H., Bildberg, N. (2022). *Safe Hydrogen Installation on-board*. Göteborg: Lighthouse.

BV. (2023). NR678 *Hydrogen-fuelled ships*. Hämtad 2023-12-01 från www.bureauveritas.com.

Blaylock, M. L., Gitushi, K. M. & Klebanoff, L. E. (2022). *Hydrogen gas dispersion studies for a fuel cell vessel – Vent mast, fuel cell room, bunkering*. Sandia National Laboratories, SAND2022-1275 O.

DNV. (2021). *Handbook for Hydrogen-fuelled Vessels*. MarHySafe JDP Phase 1 1st Edition (2021-06). Hämtad 2023-02-16 från www.dnv.com.

IMO. (2013). *MSC.1-Circ.1455 Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments*.

IMO. (2016). *International code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels (IGF Code)*.

IMO. (2022). *MSC.1-Circ.1647 Interim guidelines for the safety of ships using fuel cell power installations*.

IMO. (2023). *CCC 9/3. Draft Interim Guidelines for Ships Using Hydrogen as Fuel*.

LR. (2023a). *Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels July 2023 - Appendix LR3 - Requirements for Ships Using Hydrogen as Fuel - Part A General Requirements for Ships Using Hydrogen as Fuel*. Hämtad 2023-11-10 från <https://r4s.oneocean.com>.

LR. (2023b). *Rules and Regulations for the Classification of Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels July 2023 - Appendix LR3 – Requirements for Ships Using Hydrogen as Fuel - LR Part A-1 Specific Requirements for Ships Using Hydrogen as Fuel*. Hämtad 2023-11-10 från <https://r4s.oneocean.com>.

Molkov, V. (2012). *4.04 – Hydrogen safety engineering: the state-of-the-art and future progress*. *Comprehensive renewable energy*, 97-129.

Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Hefny, M., Al-Muhtaseb, A., & Rooney D. W. (2022). *Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review*. *Environ Chem Lett* 20, 153–188.

Runefors, M. (2020). *Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen – Beräkningsunderlag*. Avdelningen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Spoelstra, M. (2020). *Safety aspects relating to the use of hydrogen in confined spaces*. Institute for Safety, Arnhem, NL.

Trafikanalys. (2022). *Förutsättningar och styrmedel för ökad elsjöfart*. Hämtad 2023-11-10 från www.trafa.se.

TSFS 2019:12. *Transportstyrelsens föreskrifter om passagerarfartyg på inrikes resa*.

TSFS 2019:4. *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om maskininstallation, elektrisk installation och periodvis obemannat maskinrum*.

TSG 2023–1338. *Transportstyrelsens riktlinjer för elektrifiering av fartyg*.

Venetsanos, A. G., Huld, T., Adams, P. & Bartzis, J. G. (2003). *Source, dispersion and combustion modelling of an accidental release of hydrogen in an urban environment*. *Journal of Hazardous Materials* 105(1–3): 1-25.

Bilaga 1: IGF-kodens mål och funktionskrav

Tabell 11. Jämförande sammanställning av var IGF-kodens funktionskrav återfinns i kodens kapitel.

Req.	Chapter												Functional requirement text
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	
3.2.1	x	x	x	x	x	x				x	x	x	The safety, reliability and dependability of the systems shall be equivalent to that achieved with new and comparable conventional oil-fuelled main and auxiliary machinery.
3.2.2		x					x	x	x	x			The probability and consequences of fuel-related hazards shall be limited to a minimum through arrangement and system design, such as ventilation, detection, and safety actions. In the event of gas leakage or failure of the risk reducing measures, necessary safety actions shall be initiated.
3.2.3	x											x	The design philosophy shall ensure that risk reducing measures and safety actions for the gas fuel installation do not lead to an unacceptable loss of power.
3.2.4							x			x			Hazardous areas shall be restricted, as far as practicable, to minimize the potential risks that might affect the safety of the ship, persons on board, and equipment.
3.2.5	x	x	x				x	x	x				Equipment installed in hazardous areas shall be minimized to that required for operational purposes and shall be suitably and appropriately certified.
3.2.6	x		x		x								Unintended accumulation of explosive, flammable or toxic gas concentrations shall be prevented.
3.2.7							x	x		x			System components shall be protected against external damages.
3.2.8	x	x	x		x			x	x	x			Sources of ignition in hazardous areas shall be minimized to reduce the probability of explosions.
3.2.9			x									x	It shall be arranged for safe and suitable fuel supply, storage, and bunkering arrangements capable of receiving and containing the fuel in the required state without leakage. Other than when necessary for safety reasons, the system shall be designed to prevent venting under all normal operating conditions including idle periods.
3.2.10			x						x				Piping systems, containment and over-pressure relief arrangements that are of suitable design, construction and installation for their intended application shall be provided.
3.2.11			x	x	x					x	x	x	Machinery, systems, and components shall be designed, constructed, installed, operated, maintained, and protected to ensure safe and reliable operation.
3.2.12	x						x	x	x				Fuel containment system and machinery spaces containing source that might release gas into the space shall be arranged and located such that a fire or explosion in either will not lead to an unacceptable loss of power or render equipment in other compartments inoperable.
3.2.13				x	x	x				x	x		Suitable control, alarm, monitoring and shutdown systems shall be provided to ensure safe and reliable operation.
3.2.14							x	x	x				Fixed gas detection suitable for all spaces and areas concerned shall be arranged.
3.2.15	x						x			x	x		Fire detection, protection and extinction measures appropriate to the hazards concerned shall be provided.
3.2.16						x				x		x	Commissioning, trials and maintenance of fuel systems and gas utilization machinery shall satisfy the goal in terms of safety, availability, and reliability.
3.2.17	x	x		x	x	x	x		x		x	x	The technical documentation shall permit an assessment of the compliance of the system and its components with the applicable rules, guidelines, design standards used, and the principles related to safety, availability, maintainability, and reliability.
3.2.18										x	x		A single failure in a technical system or component shall not lead to an unsafe or unreliable situation.

<p>...ensure that operational procedures for the loading, storage, operation, maintenance, and inspection of systems for gas or low-flashpoint fuels minimize the risk to personnel, the ship and the environment and that are consistent with practices for a conventional oil fuelled ship whilst taking into account the nature of the liquid or gaseous fuel</p> <p>...provide for the arrangement of control, monitoring and safety systems that support an efficient and safe operation of the gas-fuelled installation as covered in the other chapters of</p> <p>...provide for electrical installations that minimize the risk of ignition in the presence of a flammable atmosphere.</p> <p>...provide for the ventilation required for safe operation of gas-fuelled machinery and</p> <p>...provide for the prevention of explosions and for the limitation of effects from explosion.</p> <p>...provide for fire protection, detection and fighting for all system components related to the storage, conditioning, transfer and use of natural gas as ship fuel..</p> <p>...provide safe and reliable delivery of mechanical, electrical or thermal energy.</p> <p>...ensure safe and reliable distribution of fuel to the consumers.</p> <p>...provide for suitable systems on board the ship to ensure that bunkering can be conducted without causing danger to persons, the environment or the ship.</p> <p>...ensure the safe handling of fuel, under all operating conditions, to minimize the risk to the ship, personnel and to the environment, having regard to the nature of the products</p> <p>...provide that gas storage is adequate so as to minimize the risk to personnel, the ship and the environment to a level that is equivalent to a conventional oil fuelled ship.</p> <p>...provide for safe location, space arrangements and mechanical protection of power generation equipment, fuel storage systems, fuel supply equipment and refuelling systems.</p>
<p>The goal is this chapter is to...</p>

Bilaga 2: HAZID Worksheet

ID	Hazard	Cause	Consequence	Preventive safeguards	Mitigating safeguards	Risk Ranking (Health & Safety)			Recommendation	Comments
						L	S	Risk		
0.0.0 Bunkering										
0.1.1	Loss of containment in forward area of vessel. There may be hydrogen left in pipes since bunkering operations.	<ul style="list-style-type: none"> - Ship-to-ship collision - Grounding - Falling objects - Physical impact from people (passengers or crew). Passengers are often in the front of the vessel. - Material failure/ fatigue - Corrosion - Interference with mooring system (mechanical impact) - External fire that breaches pipe-work or heating up the gas - Failure/leaking of the non-return valves - Smoking passengers - Etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Leakage of gas which could form explosive gas mixture, leading to explosion - Leakage of gas which could lead to gas/jet fire, leading to fire escalation (carbon fibre) 	<ul style="list-style-type: none"> - Marine grade equipment, appropriate for hydrogen (e.g. steel grade, thickness) - Periodic maintenance scheme checking e.g. embrittlement - Equipment tested for vibrations and vessel movements - Fire detection inside and fire main with hoses 	<ul style="list-style-type: none"> - Non-return valve - Limited volume of the system - Well-ventilated open-air installation (no obstructions upwards) 	return valve	2		<ul style="list-style-type: none"> - Add shut-off valves at each end. Possibly double-block-and-bleed, to be determined further work 	<ul style="list-style-type: none"> - The most dangerous scenario is if there is a pipe breach, and only a non-return valve stopping high pressure gas entering the bunkerline - Consider double-wall pipes (breach does not lead to loss of containment) - Purge pipes after bunkering. - Double block-and-bleed valves instead of non-return valves - Shielding the vessel structure from fire, that does not restrict the hydrogen from escaping - Place piping far from the ship side. - In the forward section, piping has to be placed on the side as this is where passengers get on and off, place bikes etc. Restrict access from passengers. - Fully welded pipes - Fixed fire extinguisher system (water-based system) in the passenger area (not a requirement). - Weak point could be introduced to protect the tanks - No-smoking - No electrical installations near piping - Consider additional heat radiation due to steam for hydrogen combustion compared to natural gas
1.0.0 Compressed hydrogen tank hold space (top aft part)										
1.1.1	External heat load on the cylinder	<ul style="list-style-type: none"> - External fire, most likely in the passenger compartment - Fire from the fuel cells via the ventilation shaft - Fire from debris (e.g. leaves) gathered in the tank area - Sun heating the cylinders leading to increased pressure than bunkered (e.g. bunkering during the night at 10 degrees and then 30+ degrees in the day) 	<ul style="list-style-type: none"> - Tank burst/failure, leading to risk of explosion or detonation, leading to risk of injury, additional tank ruptures - Jet flame when TPRD is activated, leading to fire on the composite 	<ul style="list-style-type: none"> - Nothing combustible in the passenger compartment (fire-resistant material, all furniture made of aluminium etc.) - TPRDs installed pointing upwards (through a vent mast) - If there is no fire extinguishing system, HSE code requires smoking is not allowed - Installation of fire resistant material in ventilation shaft (60 minutes) - Outlets of safety valves and ventilation shaft placed such that fire does not reach the tanks 	<ul style="list-style-type: none"> - Tanks installed in open air - No obstructions above - 6m distance between tanks and operating compartment 	2	2		<ul style="list-style-type: none"> - Temperature and pressure relief device 	<ul style="list-style-type: none"> - Consider fire extinguishing in passenger compartment - Consider fire division between passenger ceiling and tank area - Operational measure: Consider pressure differences from day to night when bunkering to limit risk of sun increasing pressure - Alternatively consider increased safety margin with higher design/working pressure - Explosion free tanks (composites with plastic that melts, releasing hydrogen through the composite fibres - "leak before burst" / "controlled burning") - Emergency (remote) shut-off valve in case of fire can be for each cylinder and not per set - TPRDs should be directed upwards (away from other cylinders and deck) - Consider fire extinguishing system in the passenger compartment or cool deckhead from above (Hydra ferry has this for its liquid hydrogen)
1.1.2	Loss of containment	<ul style="list-style-type: none"> - Damage to manifold connection and/or shut-off valves - Mechanical impact (falling objects from bridges, cranes, ship collision). Does not have to rupture the tank but shear/cut of a connection (e.g. pipe before shutoff valve) which is its weakest point - TPRD releasing 	<ul style="list-style-type: none"> - Leakage of gas which could form explosive gas mixture, leading to explosion - Leakage of gas which could lead to gas/jet fire, leading to fire escalation (carbon fibre) 	<ul style="list-style-type: none"> - Two-section valves with automatic emergency shut-off functionality - TPRDs installed pointing upwards (through a vent mast) - Structural integrity of the piping, designed for vessel movement and vibrations 	<ul style="list-style-type: none"> - Tanks installed in open air - No obstructions above - 6m distance between tanks and operating compartment - Pressure sensor (location TBD) 	2	5		<ul style="list-style-type: none"> - Emergency shut-off valve on each cylinder - Tank orifice flow reduction valve (e.g. 0.1 kg/s) - Adding mechanical protection over the tank connection points - Determining hazardous zone from ventilation shaft/pipe through dispersion analysis / prove area is safe. Vent mast integration should be considered with different configurations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consider pressure-drop monitoring and ultrasound measurement warning. This to be done on inlet (bunkering) and each tank. - Consider gratings/net over tanks and piping (weak points) to prevent mechanical damage - Consider distance between tanks, life-saving equipment and ventilation zones from the airlock (which could contain hydrogen) - Consider automatic shut-off valves in case of emergency (which would need to shift to battery-electric drive to keep heading) - Consider placing of piping away from ship side (risk of collision) - Note: Could consider system that calculates gas coming out from tanks based on pressure and temperature on each cylinder, and compared to calculation of consumption of fuel cells
4.0.0 Fuel cell room										
4.1.1	Loss of containment	<ul style="list-style-type: none"> - Breach of the flexible connection to the fuel cell system due to wear and tear 		<ul style="list-style-type: none"> - Double-walled piping ventilated with air - Cabinet designed to handle small explosion (2.5 bar). Explosion could go into ventilation, which have an underpressure and gas detection. Explosion does not lead to fire in the cabinet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limited electrical components in the fuel cell cabinet - Unburnt hydrogen or fire can be detected in the cabinet, which would trigger emergency shutdown device 	3	3		<ul style="list-style-type: none"> - Ventilate or pressurise with nitrogen in the annular space 	<ul style="list-style-type: none"> - Note: For double pipings, second layer of pipes can be overpressured/purged with nitrogen. Pressure drops due to breach in both layers are detected. The second layer ends at the fuel cell cabinet. - Note: Second layer could be pressurised nitrogen with pressure valve, instead of being continuously purged. - Note:
	Fire in the fuel cell room	<ul style="list-style-type: none"> - Fire in the battery system due to thermal runaway - Off-gas events from battery ignited by electrical components causing fire or explosion - Fire in electrical motors (fans, sea water pumps) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuel cell system will fail at higher ambient (45) temperatures (especially VFD of air compressor), and loss of power from that side of the hull. - At even higher temperatures, the fuel cell system would suffer permanent damage 	<ul style="list-style-type: none"> - Air circulation in the room, which can be evacuated in the case of thermal runaway of the battery system. - Gas from the batteries can be detected at very small amounts and can be diluted. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fire detecting and firefighting 	n/a	n/a	n/a	<ul style="list-style-type: none"> - Separate space for battery 	<ul style="list-style-type: none"> - Note: Battery size is unknown. Is the battery large enough to "trigger" DNV battery rules which is 20 kWh per space. If it is larger, the batteries need their own room. - Is the room zone 1 or 2? This depends on the battery system sizing and design. Can off-gas go into the room, then it is zone 2. - Note on redundancy: Fuel cell stack output can be reduced down to zero for 10-15 minutes. Start-up ~10s. - Note: Battery system could be separately ventilated for off-gas, in gas-tight enclosure. - Risk evaluation skipped due to recommendation
4.1.2	Mechanical damages to fuel cell cabinets (e.g. falling over)	<ul style="list-style-type: none"> - Dampers breaking due to much higher impact than designed (e.g. grounding) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuel cell stacks breaking - Loss of containment 	<ul style="list-style-type: none"> - Dampers designed according to high speed code using expected operational profile and a worse case scenario 		n/a	n/a	n/a		<ul style="list-style-type: none"> - Considered to be managed by the design rules. To be confirmed that the design criteria are sufficient.
5.0.0 Ventilation outlet (purging outlet)										
5.1.1	Lightning strike directed into fuel cell system	<ul style="list-style-type: none"> - Fuel cell not sufficiently grounded 	<ul style="list-style-type: none"> - Unknown 	<ul style="list-style-type: none"> - Potentially possibly to ground through cable to plate in hull 	<ul style="list-style-type: none"> - N/A 	n/a	n/a	n/a		<ul style="list-style-type: none"> - Note: This needs a separate review
5.1.1	Explosive mixture in the anode purging outlet	<ul style="list-style-type: none"> - Normal operation 	<ul style="list-style-type: none"> - Smaller explosion (triggered by anything, e.g. static electricity at the outlet) - Explosion could cause backblow which could damage stack 	<ul style="list-style-type: none"> - N/A 	<ul style="list-style-type: none"> - N/A 	3	1			<ul style="list-style-type: none"> - Note: The anode outlet could be connected with nitrogen purging - Note: Outlet could be fitted with flame arrestor to stop back-blow
	Hydrogen pushed through the water drainage	<ul style="list-style-type: none"> - No water in water lock, due to drying out or vessel tilting 				n/a	n/a	n/a		<ul style="list-style-type: none"> - Note: Design of water lock so as to keep hydrogen from escaping
5.1.2	Hydrogen dissolved in the drainage water mixture	<ul style="list-style-type: none"> - Normal operation 				n/a	n/a	n/a		<ul style="list-style-type: none"> - Note: hydrogen dissolves very slowly



Quick guide: Alternative Design (MSC.1/Circ.1455)

If you are challenging prescriptive rules or would like to use components, systems or a ship design where rules are missing or not fully developed, you need to apply the **Alternative Design process**. With this you are able to verify that the level of safety of your design is at least equivalent to that of a conventional ship.

Innovation is a continuous force but cannot be allowed on board a ship at the expense of reduced safety. To avoid limiting the powerful effects of innovations, statutory regulations permits Alternative Design based on principles and a process laid out in *MSC.1/Circ.1455 Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments*.

In Sweden, it is generally the Swedish Transport Agency (Transportstyrelsen), serving as the Administration, that assesses the extent to which the process needs to be applied and gives final approval to certify that a ship is seaworthy when using Alternative Design. Depending on identified risks and deviations from prescriptive rules, the process in MSC.1/Circ.1455 may be applied in part or fully, as determined by the Administration.

Alternatives fuels as an example

All fuels carry some form of risk to people, the environment or property. Fuels with a flash-point below 60° Celsius is defined as a low flash-point fuel, requiring further assessment by applying the IGF Code. Highly toxic fuels, while not necessarily also being a low flash-point fuel, would also deviate from prescriptive rules and hence require further assessment. The primary objective is to demonstrate that the application has a higher or equivalent level of safety as a conventional fuel, such as diesel oil.

The importance of acceptance criteria

To verify an equivalent level of safety, acceptance criteria needs to be developed where any prescriptive rules are challenged and deemed significant. Acceptance criteria are usually a prescriptive set of class rules, a recognized standard used in a similar application somewhere else, a performance criteria or various risk assessment tools where an acceptable level of risk has been determined. While anything may be used or combined, the acceptance criteria need to be agreed upon with the Administration. *Continue reading on the next page for more information.*

Prel. Design

M1

The process is initiated

The alternative design approval process is initiated when the Submitter arranges a start-up meeting with the Administration for a preliminary design preview and establishes a definition of the approval basis which includes the acceptance criteria. It may require several meetings to reach Milestone 1.

Analysis of preliminary design

In the request for a preliminary approval, at least one HAZID must be performed, where it is highly recommended to invite the Administration as an observer. Basic information about the design is required before the HAZID begins including where deviations from prescriptive rules are identified. Participants need to be qualified and have relevant skills to participate. The preliminary risk analysis can be based on previous HAZIDs and existing regulations, standards and best practice, and should focus on the risks unique to the current design. The risk analysis work is simplified if certified equipment is used. The Administration then makes an assessment of the work.

Analysis of preliminary design

M2

If the design is deemed feasible and suitable with no "showstoppers" identified, the Administration can issue an approval of preliminary design with a set of conditions to achieve final approval, thereby reaching Milestone 2.

Final design & Analysis of final design

In the final design phase, a more detailed version of the design is developed by elaborating the preliminary design with respect to risk control options already identified. The requirements to be met in the approval basis to reach final approval may be adjusted as the level of understanding is increasing. The analysis of the final design is more detailed but similar to the preliminary design phase. It may contain an update of the HAZID to identify risks arising from developing the design from preliminary to final, extending to a full quantitative risk analysis with detailed test requirements to confirm assumptions, demonstrate performance, controlling quality and defining operation and maintenance procedures. It is recommended to invite the Administration to meetings, all risk assessment workshops and request their attendance at appropriate stages of tests.

Final design & Analysis of final design

M3

After performing analyses and tests, and a successful review, the Administration issues a certificate and statement of final approval when they are confident that all potential hazards and failure modes for the alternative design have been addressed and acceptance criteria are achieved. The final approval may be issued with certain conditions to inspect, test and monitor certain systems a period after commissioning. Milestone 3 is reached.

Start-up meeting agenda:

- Project presentation
- Drawings and certificates
- Categorization of techn.
- Parties involved
- A project time table
- Regulations affected
- Definition of approval basis
- Division of approval between the Administration and Recognized Organizations



Acceptance criteria:

- 1) Prescriptive rules or international standards, e.g., for road vehicles – with possible marine adaptation.
- 2) Risk assessment:
 - A) Criteria for further analysis, calculations, or simulations of "medium" and "high" risk scenarios (Qualitative or semi-quantitative risk analysis).
 - B) Risk measure for what is a tolerable risk for all risk scenarios combined (Quantitative risk analysis).



Further reading:

- ▶ IMO: [MSC.1/Circular.1455](#) Alternative design
- ▶ DMA: [Circular no. 030](#) Circ.1455 summary

- ▶ IMO: [MSC.1-Circ.1647](#) Interim guidelines for fuel cell power installations
- ▶ IMO [CCC 9/3](#) Draft interim guidelines for ships using hydrogen as fuel

RISE Research Institutes of Sweden

www.ri.se / info@ri.se

Version: 01 (Published 2024)

Division Safety & Transport

Fire & Maritime departments

Latest version: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/h2-by-the-book>

RISE



Lighthouse gathers leading maritime stakeholders through a Triple-Helix collaboration comprising industry, society, academies and institutes to promote research, development and innovation within the maritime sector with the following vision:

Lighthouse – for a competitive, sustainable and safe maritime sector with a good working environment



LIGHTHOUSE PARTNERS



LIGHTHOUSE ASSOCIATE MEMBERS

