

Strukturellt brandskydd på marina farkoster

*– Analytisk dimensionering av
brandsektioneringar samt utvärdering av
flexibla brandtätningar genom viktat urval*

***Emelie Karlsson
David Vinberg***

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lund University, Sweden

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5311, Lund 2009

Strukturellt brandskydd på marina farkoster
– Analytisk dimensionering av brandsektioneringar samt utvärdering av flexibla brandtätningar genom viktat urval

Emelie Karlsson
David Vinberg

Lund 2009

Titel: Strukturellt brandskydd på marina farkoster
Title: Structural fire protection on naval vessels

Författare: Emelie Karlsson och David Vinberg
Handledare: Patrick Van Hees & Henrik Tehler (Brandteknik)
Anders Håkansson (Kockums AB)

Report **5311**
ISSN: **1402-3504**
ISRN: **LUTVDG/TVBB—5311—SE**

Number of pages: 137

Sökord

Brandklassning, flexibla brandtätningar, riskanalys, händelsetråd, intervallsanalys, viktat urval, strukturellt brandskydd, ubåt, acceptanskriterier, ALARP

Keywords

Fire resistance classification, flexible fire seals, risk analysis, event tree analysis, interval analysis, weighted decision analysis, structural fire protection, submarine, acceptance criteria, ALARP.

.

Abstract

This master thesis is written at the request of Kockums AB to solve the need for flexible fire barriers on submarines, particularly for the future submarine class A26. The report uses event tree analysis to demonstrate that a lower fire resistance classification for decks and bulkheads, compared to the prescriptive rules, is sufficient to obtain a satisfactory level of safety. The thesis also includes a product search with a simplified weighted decision analysis to determine which product is best suited to use at the flexible joints.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2009.

Avdelningen för Brandteknik och
Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

”Esse non videri”

Att vara men inte synas

Latinsk devis för ubåten Sjöormen II

Förord

Efter ett långt och hårt arbete står vi nu i slutfasen av vårt examensarbete och inser att vi aldrig hade klarat detta på egen hand. Därför vill vi passa på att tacka ett antal personer som gjort det här projektet möjligt.

Det största tacket går till Anders Håkansson, vår handledare på Kockums AB. En bättre handledare hade vi knappast kunnat få! Tack för all tid och allt engagemang som du har lagt på oss och framförallt tack för alla skratt! Vi hoppas att vi är värda våra Daimstrutar nu!

Ett stort tack till Hans Jönsson och Pål Almén som tog emot oss på Kockums och gav oss uppdraget från allra första början. Ett examensarbete blir så mycket mer om man får arbeta med en verklig frågeställning och vi har hela tiden känt att resurser och engagemang funnits för vårt arbete.

Tack till Jan Stenwall och Maths Witt på 13-trappor för att ni på bästa och roligaste vis förklarade stöttålighetens och bullersignaturens mysterier för oss. Även tack till Marina Wilhelmsson och Kjell Larsson för att ni ställt upp och plockat fram all information vi bett om under arbetets gång. Vi vill även passa på att tacka alla på 12-trappor för trevliga fredagar med vindragning, fika, trevligt sällskap och inte minst kanotpolo!

Ett stort tack till våra handledare på LTH, Patrick van Hees och Henrik Tehler, för hjälp, goda råd och knuffar i rätt riktning.

Till sist vill vi rikta ett speciellt tack till Christer Meigård, den bästa kontorskamrat man kan önska sig. Tack för alla roliga historier och framförallt tack för förevisningen av handdatorn!

David och Emelie
September 2009

Sammanfattning

De flesta marina brandsäkerhetsbestämmelser har utvecklats för att i huvudsak gälla ytfartyg. Den här typen av bestämmelser är i allmänhet omöjliga att tillämpa fullt ut ombord en ubåt, främst med tanke på fartygets mycket speciella krav på prestanda. Detta examensarbete utgår från kraven gällande brandsektionering ombord fartyg och behandlar två huvudfrågeställningar: krav på brandklassning av skott och durkar samt användandet av flexibla brandtätningar.

Krav på brandklassning av skott och durkar utreds genom en riskanalys med syfte att fastställa om det preskriptiva kravet att konstruera enligt klass A60 är nödvändigt eller överdrivet konservativt. Riskanalysen delas in i sex steg. Det första steget är en övergripande genomgång av det strukturella brandskyddet ombord A26 samt vilka preskriptiva krav på brandklassning som är aktuella. Steg två är en systembeskrivning av ubåten som delas in i två delar: en strukturell och en dynamisk modell. Steg tre är att kartlägga vad som är skyddsvärt. Här definieras de funktioner som är viktiga att upprätthålla för att undvika total förlust av ubåten och/eller många dödsfall. Steg fyra i riskanalysen är en riskinventering som för varje utrymme ombord ubåten redogör för typ av brandbelastning, möjliga tändkällor och kritiska system.

I steg fem genomförs analysen med händelseträdsmetodik som utgår från bashändelsen att en brand har initierats och följs av fem olika parametrar som sedan påverkar händelseförloppet och utgången av varje sluthändelse. Sannolikhetsbedömningarna för de olika parametrarna baseras dels på tillgänglig litteratur och statistik, och dels på expertutlåtanden av olika slag. För att ta hänsyn till den osäkerhet som råder genomförs en intervallanalys kring samtliga parametrar. Brandtemperaturen i varje sluthändelse är hämtad ur en extern brandteknisk analys och jämförs med de temperaturer som ett A15, A30 respektive A60 skott är testade för. Resultatet presenteras som sannolikheten för brandspridning, givet att en brand uppstår. För att sätta resultaten från riskanalysen i ett sammanhang utgörs del sex av riskvärdering enligt två olika principer, dels genom ett kvalitativt resonemang och dels genom att fastställa acceptanskriterier att jämföra den beräknade risken med. De preskriptiva reglerna säger att konstruktionselementen ska vara konstruerade enligt klass A60, men riskanalysen visar att klass A15 är tillräcklig för att bibehålla en tillfredställande säkerhet.

Krav på brandsektionering ombord ubåten innebär att durkar och skott måste svetsas samman med skrovet. Detta medför att betydligt mer ljud kan fortplantas genom konstruktionen och ut i vattnet. Dessutom måste vissa delar av konstruktionen vara flexibla gentemot varandra för att klara explosioner. För att bibehålla ubåtens bullersignatur och stöttålighet krävs därför att sektioneringarna kan genomföras med någon form av elasticitet, vilket i sin tur innebär ett behov av att använda flexibla brandtätningar. Det övergripande syftet med denna del av examensarbetet är att fastställa vilka krav som är rimliga att ställa på flexibla brandtätningar. Målet är att ta reda på om det finns någon produkt på marknaden idag som uppfyller dessa krav. Analysen genomförs i tre steg. Det första steget är att fastställa vilka krav som är rimliga att ställa på de flexibla brandtätningarna. Attribut har tagits fram dels ur regler och föreskrifter och dels genom funktionsbaserade resonemang. Totalt definieras tolv olika attribut: flexibilitet, isolering, täthet, tålighet mot vatten och olja, emissioner, inköpspris, montering, underhåll, livslängd, förändringar, allmänt intryck, samt ljud- och ljusisolering.

Steg två är en produktsökning som resulterade i att fyra olika produkter valdes ut till slutvärderingen. För att rangordna dessa fyra (steg tre) används en metod baserad på viktat urval som inkluderar samtliga attribut i jämförelsen, men tar hänsyn till hur viktigt attributet i sig är för applikationen. Samtliga attribut tilldelas ett relevansvärde mellan 1-3 som anger hur viktigt attributet är för de flexibla brandtätningarna. Prestandan för varje enskilt attribut hos en given produkt graderas med ett attributvärde mellan 1-5. Attributvärdet multipliceras sedan med motsvarande relevansvärde, och summan av dessa produkter blir produktens totala betyg. Således bör den produkt som har högst totalt betyg väljas för applikationen. *Viking firestop flexible sealing* får högst betyg med relativt god marginal. Produkten består av gummikomposit varvat med lager av armering som kombinerar flexibilitet, vattentäthet och brandskydd. Den används bland annat på oljeplattformen Sleipner och har även använts i Storbritanniens ubåtar i Astute-klassen. Den är certifierad för användning på fartyg och offshore enligt IMO Resolution A.754(18) och finns i brandteknisk klassning upp till H120.

Summary

Most regulations for fire safety on marine vessels have been developed to apply to surface vessels. These types of provisions are generally impossible to fully apply aboard a submarine, particularly in view of some very specific submarine performance requirements. This master thesis is based on the requirements for fire compartmentation on board ships and addresses two main issues: requirements for fire rating of bulkheads and decks, and the use of flexible fire seals.

Requirements for fire rating of bulkheads and decks are investigated through a risk analysis to determine whether the prescriptive requirement to construct to class A60 is necessary or overly conservative. The risk analysis is performed in six steps. The first step is a comprehensive review of the structural fire protection aboard the A26 and the current prescriptive requirements for fire rating. Step two is a system description of the submarine, which is divided into two parts: a structural and a dynamic model. Step three is to define which critical systems need to be maintained at all times, i.e. where loss of one of these functions could lead to total loss of the submarine and/or death of crewmembers. Step four in the risk analysis is a risk inventory that for each compartment aboard the submarine sets out the type of fire load, potential ignition sources and critical systems.

Step five is risk estimation with event tree analysis, which commence with the base event *start of fire* and is followed by five different parameters that affect the events and the final outcome. Probabilities for the different parameters are based partly on available literature and statistics, and partly on expert opinions of various kinds. In order to take into account the uncertainties, an interval analysis is conducted on all parameters. Fire temperatures in each final event is taken from an external fire engineering analysis and is compared with the temperatures that A15, A30 and A60 elements are tested for. The results are presented as the probability of fire spread, given that a fire occurs. To put the results of the risk analysis in context, part six is a risk evaluation according to two different principles: a qualitative reasoning and by setting acceptance criteria to compare the calculated risk with. The prescriptive rules state that structural components must be designed according to Class A60, however the risk analysis concludes that the A15 classification is sufficient to maintain a satisfactory safety level.

Requirements for fire compartmentation aboard the submarine bring that decks and bulkheads must be welded to the hull. This enables much more noise to propagate through the structure and into the water. In addition, certain parts of the structure must be flexible towards each other to cope with explosions. In order to maintain the noise signature and shock resistance, the compartmentation must be implemented with some form of elasticity, which in turn implies a need to use flexible fire seals. The overall purpose of this part of the thesis is to identify the requirements that are reasonable to ask for in flexible fire seals. The goal is to find out if there are any products on the market today that meet these requirements. The analysis is carried out in three steps. The first step is to identify the requirements that are reasonable to ask for in flexible fire seals. Attributes have been developed from rules and regulations and by function-based reasoning. A total of twelve different attributes are defined: flexibility, isolation, integrity, water and oil resistance, emissions, price, installation, maintenance, durability, refitting, light- and sound insulation and general impression.

Step two is the product search which resulted in four different products being selected for final evaluation. In order to rank these four (stage three) a method was used that is based on weighted selection. It includes all attributes in the comparison, but takes into account how important the attribute itself is for the application. Each attribute is assigned a relevance value 1-3 which indicates how important the attribute is for the flexible fire seals. The performance of each attribute of a given product is graded with an attribute value 1-5. The attribute value is then multiplied by the corresponding relevance value, and the sum of these products is the total score of that product. Thus, the product that receives the highest overall rating should be selected for the application. *Viking firestop flexible sealing* got the best score with a relatively large margin. The product is made of rubber composite with layers of reinforcement that combines flexibility, water resistance and fire protection. It is used on the oil platform Sleipner and has also been used in British submarines in the Astute class. It is certified for use on ships and offshore under the IMO Resolution A.754 (18) and is available in fire resistance rating up to H120.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	MÅL OCH SYFTE	1
1.2	FRÅGESTÄLLNING	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR	2
1.4	VETENSKAPLIG METOD	2
1.4.1	Metod	2
1.4.2	Metodik	3
1.4.3	Arbetsgång	3
1.5	BAKGRUND	4
1.5.1	Ubåtar	4
1.5.2	A26	5
1.5.3	Funktionsbaserad design ombord ubåtar	5
1.6	TERMER OCH DEFINITIONER	6
2	LAGAR, REGELVERK OCH FÖRESKRIFTER	11
2.1	ALLMÄNT	11
2.2	IMO	11
2.2.1	SOLAS	12
2.3	SJÖFARTSVERKET	12
2.3.1	SJÖFS 2008:16	13
2.4	RMS	13
2.4.1	RMS-F	14
2.5	UKR	14
2.6	BRANDSKYDD ENLIGT RMS-F & UKR	14
	BRANDKLASSNING AV SKOTT OCH DURK	15
3	RISKHANTERING	17
3.1	DEFINITION AV RISK	17
3.2	RISKTYPER	17
3.3	RISKHANTERING	17
3.3.1	Riskanalys	18
3.3.2	Olika kategorier av riskanalyser	19
4	METOD RISKANALYS	21
4.1	GRUNDFÖRUTSÄTTNINGAR	21
4.2	DEFINITION AV SYSTEMET	21
4.3	SKYDDSVÄRDA FUNKTIONER	21
4.4	RISKINVENTERING	21
4.5	ANALYS	22
4.6	RISKVÄRDERING	22
5	STRUKTURELLT BRANDSKYDD A26	23
5.1	BRANDKLASSNING	23
5.2	SKOTT OCH DURKAR	24
5.3	DISPOSITION A26	25
5.4	BRANDZONER	26
5.5	PRESKRIPTIV KLASSNING AV BRANDZONSGRÄNSER	27
6	SYSTEMBESKRIVNING	29
6.1	STRUKTURELL MODELL	29
6.2	DYNAMISK MODELL	29
6.3	SYSTEMSÄKERHET	31
6.4	SKYDDSVÄRT	31
6.5	RISKINVENTERING	33
6.5.1	Maskinrum och hjälpmaskinrum	33
6.5.2	Utrymmen för elektrisk utrustning	34

6.5.3	Kontrollrum	35
6.5.4	Övriga utrymmen	35
6.6	UBÅTSOLYCKOR	37
6.7	BRANDSÄKERHET OMBORD UBÅT	38
6.7.1	Förhindra uppkomst av brand	38
6.7.2	Minimera konsekvenserna av brand	38
6.7.3	Detektion, larm och bekämpning	38
7	ANALYS	41
7.1	INTERVALLANALYS	41
7.1.1	Brandutrymme	41
7.1.2	Storlek på brand	42
7.1.3	Tillförlitlighet detektionssystem och utrymningslarm	43
7.1.4	Sannolikhet att besättningen släcker en brand	43
7.1.5	Tillförlitlighet släcksystem	44
7.1.6	Konsekvens	44
7.2	RESULTAT	46
8	RISKVÄRDERING	47
8.1	KVALITATIVT RESONEMANG	47
8.2	RISKVÄRDERING EFTER ACCEPTANSKRITERIER	48
8.2.1	ALARP	49
8.2.2	Värdering av brandrisken ombord A26	50
	FLEXIBLA BRANDTÄTNINGAR	53
9	METOD	55
9.1	KONSTRUKTION	55
9.1.1	Prestanda	55
9.2	PRODUKTSÖKNING	55
9.3	PRODUKTVAL	55
9.3.1	Relevansvärde	56
9.3.2	Attributvärde	56
9.3.3	Utvärdering	56
10	KONSTRUKTION	57
10.1	GRUNDKONSTRUKTION	57
10.2	STÖTTÅLIGHET	58
10.3	BULLERSIGNATUR	59
10.4	PLACERING AV BRANDTÄTNINGAR	60
10.4.1	Svårigheter	60
10.5	PRESTANDA	62
10.5.1	Flexibilitet	62
10.5.2	Isolering och täthet	62
10.5.3	Tålighet mot vatten, olja och mögel	62
10.5.4	Emissioner	63
10.5.5	Inköpspris, montering & underhåll	63
10.5.6	Livslängd	63
10.5.7	Förändringar	63
10.5.8	Övrigt	64
10.5.9	Allmänt intryck	64
10.5.10	Sammanfattning prestanda	64
11	PRODUKTSÖKNING	65
11.1	VAD FINNS PÅ MARKNADEN?	65
11.2	TÄNKBARA ALTERNATIV	65
11.2.1	KBS FIR-A-FLEX™	66
11.2.2	MCL Unitex Firetex skirt seal system	67
11.2.3	Viking firestop flexible sealing	68
11.2.4	Tayfire seismic seal	70

12	PRODUKTVAL	71
12.1	RELEVANSVÄRDE	71
12.1.1	Flexibilitet	71
12.1.2	Isolering och täthet	72
12.1.3	Tålighet mot vatten, olja och mögel	72
12.1.4	Emissioner	72
12.1.5	Inköpspris, montering & underhåll	72
12.1.6	Livslängd	72
12.1.7	Förändringar	72
12.1.8	Övrigt	72
12.1.9	Allmänt intryck	73
12.2	ATTRIBUTVÄRDE	73
12.2.1	Flexibilitet	73
12.2.2	Isolering	73
12.2.3	Täthet	73
12.2.4	Tålighet mot vatten, olja och mögel	73
12.2.5	Emissioner	73
12.2.6	Inköpspris och montering	74
12.2.7	Underhåll	74
12.2.8	Livslängd	74
12.2.9	Förändringar	74
12.2.10	Övrigt	74
12.2.11	Allmänt intryck	74
12.2.12	KBS FIR-A-FLEX™	76
12.2.13	Firetex skirt seal system (Firetex double module seal)	78
12.2.14	Viking firestop flexible sealing	80
12.2.15	Tayfire seismic seal	82
12.3	UTVÄRDERING	84
13	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	85
13.1	BRANDKLASSNING AV SKOTT OCH DURK	85
13.1.1	Resultat	85
13.1.2	Diskussion	85
13.1.3	Metodval	87
13.2	FLEXIBLA BRANDTÄTNINGAR	89
13.2.1	Resultat	89
13.2.2	Rekommendationer	89
13.2.3	Diskussion	90
13.2.4	Metodval	90
	REFERENSER	91
	APPENDIX A – SJÖFS 2008:16, BILAGA 1, DEL F	97
	APPENDIX B – BRANDSKYDD ENLIGT RMS-F & UKR	99
	APPENDIX C – SYSTEMBESKRIVNING	103
	APPENDIX D – SYSTEMSÄKERHET	109
	APPENDIX E – 2-ZONSMODELL	113
	APPENDIX F – BERÄKNING AV SANNOLIKHETER ENLIGT TRIANGELFÖRDELNING	117
	APPENDIX G – HÄNDELSETRÄD	119
	APPENDIX H – BERÄKNINGSGÅNG FÖR HÄNDELSETRÄDSANALYS	125
	APPENDIX I – RISKMATRISER	129

APPENDIX J – STANDARDER.....	131
APPENDIX K – AVFÄRDADE PRODUKTER.....	135
APPENDIX L – KONTAKTUPPGIFTER	137

1 Inledning

De flesta, om inte alla, marina brandsäkerhetsbestämmelser har utvecklats för att i huvudsak gälla ytfartyg. Dessa bestämmelser uttrycks ofta som en uppsättning preskriptiva regler, där ett fartyg betraktas som säkert så länge det uppfyller ett antal givna designkrav. Den här typen av bestämmelser är i allmänhet omöjliga att tillämpa fullt ut ombord en ubåt, främst med tanke på fartygets mycket speciella krav på prestanda med avseende på faktorer som begränsade utrymmen, stöttålighet och fortplantning av ljud i konstruktionen. Detta examensarbete utgår från kraven gällande brandsektionering ombord fartyg och behandlar två huvudfrågeställningar: krav på brandklassning av skott och durkar samt användandet av flexibla brandtätningar.

Befintliga svenska ubåtar har i huvudsak en enda sektionering mitt i båten. Vid händelser av typen brand eller vatteninträngning är tanken att besättningen ska kunna rädda sig till den andra (oskadade) sektionen som sista utväg. I Sjöfartsverkets föreskrifter (SJÖFS) 2008:16 finns dock krav på multipla brandsektioneringar. Detta kan medföra att vissa konstruktionselement blir såväl dyrare som mer skrymmande jämfört med ett oklassat konstruktionselement eller ett konstruktionselement med lägre brandklassning. Durkar och skott som svetsas samman med skrovet möjliggör också att betydligt mer ljud kan fortplantas genom konstruktionen och ut i vattnet. Dessutom måste vissa delar av konstruktionen vara flexibla gentemot varandra för att klara exempelvis en nära minsprängning. För att bibehålla ubåtens bullersignatur och stöttålighet krävs därför att sektioneringarna kan genomföras med någon form av elasticitet, vilket i sin tur innebär ett behov av att använda flexibla brandtätningar.

Kraven på brandsektionering är inte nya utan var i kraft även vid konstruktionen av tidigare svenska ubåtar. Eftersom det ansågs omöjligt att konstruera enligt föreskrifterna och samtidigt bibehålla ubåtens prestanda förbisågs dock kraven på brandsektionering ombord ubåtar. Sedan förra gången Kockums AB nykonstruerade ubåtar har dock såväl internationella som svenska föreskrifter uppdaterats och möjliggör nu alternativa utformningar av exempelvis strukturellt brandskydd. Med alternativ utformning av brandskyddet ombord en ubåt går det att komma betydligt närmare de preskriptiva reglerna än vad som gjorts tidigare. Detta går även hand i hand med ett modernare synsätt som betraktar ubåten inte bara som en krigsmaskin utan även som en arbetsplats i fredstid.

1.1 Mål och syfte

Målet med detta examensarbete är dels att utvärdera om kraven på brandklassning av skott och durkar är rimliga eller överdrivet konservativa (vilket var en hypotes från Kockums AB), och dels att ta fram ett koncept för användandet av flexibla brandtätningar i brandzonsgränser ombord A26. Detta ska ske genom att fastställa krav på strukturellt brandskydd för durkar och skott som monteras med flexibel brandtätning mellan skott/skrov, durk/skrov respektive skott/durk. Syftet är att det framtagna konceptet ska uppfylla gällande krav på strukturellt brandskydd och samtidigt tillåta konstruktionen att uppfylla ubåtsspecifika krav.

1.2 Frågeställning

De grundläggande frågeställningarna för detta examensarbete är:

1. Är det rimligt att konstruera brandklassade durkar och skott ombord en ubåt enligt de preskriptiva kraven? Eller kan en riskanalys visa att en lägre brandklassning är fullt tillräcklig för att uppnå tillfredsställande säkerhet ombord ubåten, jämfört med ett fartyg som uppfyller de preskriptiva kraven med avseende på strukturellt brandskydd?
2. Vilka krav är rimliga att ställa på flexibla brandtätningar mellan konstruktionselement ombord ubåten? Finns det någon produkt/material på marknaden idag som uppfyller dessa krav? Om flera lämpliga produkter identifieras, vilken utgör det bästa alternativet för den aktuella applikationen?

1.3 Avgränsningar

Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om brandskydd, branddetektering och brandsläckning på SOLAS-fartyg byggda den 1 juli 2002 eller senare (SJÖFS 2008:16) kommer att tillämpas vid projektering och konstruktion av A26. Dock finns flertalet ubåtsspecifika faktorer som medför att kraven i dessa regler inte kan mötas fullt ut. I dessa fall kommer alternativa lösningar genom funktionsbaserad design att tillämpas för att uppnå tillfredsställande säkerhet. Detta gäller för hela ubåtens konstruktion. Detta examensarbete kommer dock endast att behandla kraven gällande strukturellt brandskydd.

Luckor och kabelgenomföringar behandlas inte i detta examensarbete då Kockums AB anser att de konventionella lösningar som finns på marknaden idag är fullt tillräckliga.

1.4 Vetenskaplig metod

Inom den vetenskapliga metoden är det viktigt att skilja på metod och metodik. I detta avsnitt beskrivs de metoder och metodiker som legat till grund för arbetet med de olika faserna av detta examensarbete.

1.4.1 Metod

Med metod avses på vilket vetenskapligt sätt som ett ämne ämnas närmast, behandlas och skrivs om i ett arbete. Medvetenhet i metodval är ett viktigt steg på vägen mot att nå vetenskapliga resultat. Exempel på vanliga vetenskapliga metoder är deskriptioner, fallstudier och hypotesprövningar (Ejvegård, 2003). Metoder kan vara kvantitativa eller kvalitativa beroende på vilken karaktär problemställningen har. *Kvantitativa* metoder genererar numeriska observationer och resultat. Exempel på kvantitativa metoder inkluderar användandet av mätningar, beräkningar och/eller statistik under exempelvis experiment eller tester. *Kvalitativa* metoder använder inga siffror eller tal utan genererar resultat i form av beskrivande formuleringar (Backman, 1998).

I Del 1 genomförs en riskanalys för att avgöra om de preskriptiva kraven på strukturellt brandskydd ombord ubåtar är rimliga eller överdrivet konservativa. Metoden för riskanalysen är relativt omfattande och beskrivs i detalj i Kapitel 4.

I Del 2 används komparation – jämförelse, som metod i analysen av de flexibla brandtätningarna, se Kapitel 9 för detaljerad beskrivning av metoden. De ingående attributen beskrivs såväl kvalitativt som kvantitativt. Vid komparation är det viktigt att ta hänsyn till följande:

1. Enheterna som ingår i analysen måste gå att jämföra
2. De attribut hos enheterna som ska jämföras kan behöva generaliseras och/eller sortförvandlas
3. Såväl likheter som olikheter skall beskrivas (Ejvegård, 2003).

1.4.2 Metodik

Med metodik avses det sätt på vilket material samlas in för att kunna göra exempelvis beskrivningar, jämförelser eller hypoteser inom det valda ämnet. Exempel på vanliga vetenskapliga metodiker är intervjustudier, litteratursökningar och innehållsanalys. Med litteratur avses i stort sett allt tryckt material så som böcker, artiklar, rapporter och uppsatser (Ejvegård, 2003). Den huvudsakliga metodiken för examensarbetet har varit litteraturstudier och till viss del intervjuer för att få fram material och underlag till respektive analys.

1.4.3 Arbetsgång

Examensarbetet har till största del genomförts på Kockums AB:s huvudkontor i Malmö. Detta har varit en förutsättning för kunskapsinhämtning och förståelse gällande ubåtars konstruktion och funktion. Arbetsgången med tillhörande metodik kan huvudsakligen beskrivas i följande faser:

Uppstart med grundläggande bakgrundsforskning.

Genom litteraturstudier, samtal med personal från olika avdelningar på Kockums AB samt studiebesök på befintliga svenska ubåtar skapades en djupare förståelse för problemställningen. Exempel på delfrågor som ställdes under denna fas var:

- Hur är en ubåt uppbyggd (ubåtsspecifika krav och problem)?
- Vilka är kraven på brandklassade skott/durkar ombord en ubåt och vilka är svårigheterna med att uppnå detta?
- Vad innebär ovanstående för krav på prestanda på de flexibla brandtätningarna?

Brandklassning av skott och durk.

En riskanalys genomfördes i denna del för att utreda om tillfredställande brandskydd kan uppnås genom analytisk dimensionering (funktionsbaserad design) jämfört med att konstruera enligt de preskriptiva reglerna. Målet med riskanalysen var att undersöka om en lägre brandklassning är fullt tillräcklig för att uppnå tillfredställande säkerhet ombord ubåten jämfört med ett fartyg som uppfyller de preskriptiva kraven. Analysen genomfördes med händelseträdsmethodik som utgår från bashändelsen att en brand har initierats. Den framräknade risken värderades sedan enligt två olika principer: dels genom ett kvalitativt resonemang som förs som en diskussion kring en jämförelse mellan en ubåt helt konstruerad enligt de preskriptiva reglerna och en ubåt med alternativ brandteknisk design, och dels genom att sätta risken i relation till acceptanskriterier som FMV tillämpat på tidigare svenska ubåtar. Detta kombineras med ALARP-principen. Metoden och metodiken för riskanalysen beskrivs utförligt i Kapitel 4.

Flexibla brandtätningar.

Målet med denna del var att komma fram till en eller flera lämpliga produkter att användas som flexibla brandtätningar och slutligen identifiera det bästa alternativet. Metodiken var inledningsvis sökningar via Internet. Efter en omfattande genomgång av marknaden kunde ett stort antal koncept och produkter uteslutas och den fortsatta sökningen fokuseras på ett antal huvudkoncept som bedömdes som tänkbara alternativ. Detta följdes av att kontakt etablerades med de företag som stod bakom dessa produkter. Kontakt med företagen skedde huvudsakligen genom e-post och telefonsamtal men också genom personliga möten. Efter att djupare kunskap kunnat inhämtas med hjälp av företagen valdes ett antal produkter ut till slutvärdering.

De flexibla brandtätningarna bedöms ha flera tydligt definierade och önskvärda attribut men där de olika attributen inte är av lika stor vikt för ett optimerat val. Därför användes en metod baserad på viktat urval för att rangordna produkterna. Metoden inkluderar samtliga attribut i jämförelsen men tar hänsyn till hur viktigt attributet i sig är för applikationen. Varje attribut tilldelas ett relevansvärde, medan produkterna/materialet ges ett attributvärde (betyg) för varje attribut. Dessa attributvärden multipliceras sedan med motsvarande relevansvärde, och summan av dessa produkter blir produktens/materialets totala betyg. Således bör den produkt som har högst totalt betyg väljas för applikationen.

Dokumentationen av rapporten skedde löpande under arbetets gång. Kapitel 1 och 2 är gemensamma för de båda huvudfrågeställningarna medan övriga kapitel är indelade efter respektive analys (*Brandklassning av skott och durk* och *Flexibla brandtätningar*). Slutsatser och diskussioner för båda huvudfrågeställningarna sammanfattas i Kapitel 13.

1.5 Bakgrund

I detta avsnitt presenteras en kort ubåtshistorik, dels sett till hela världen och dels inriktat på den svenska utvecklingen. Då resultatet av detta examensarbete främst är avsett att tillämpas på ubåtsprojektet A26 görs även en kortare presentation av detta. Slutligen redogörs översiktligt för funktionsbaserad design av brandsäkerheten ombord ubåtar, då detta i sig utgör grundförutsättningen för detta examensarbete.

1.5.1 Ubåtar

Enda sedan amerikanen David Bushnell konstruerade den första användbara ubåten *Turtle* år 1776 har utvecklingen ständigt gått framåt. År 1900 tog USA sin första moderna ubåt i drift, en konstruktion som kom att ligga till grund för den första svenska ubåten HMS *Hajen* år 1904. De första ubåtarna var små och bräckliga, de hade kort uthållighet i uläge och kunde endast framföras i mycket låg hastighet. Men deras förmåga att uppträda dolt samt den dödliga slagkraften av torpeder bidrog till att deras potential snabbt insågs och fruktades (Granholt, 2003).

Ubåtsutvecklingen tvingades raskt framåt av den snabba utvecklingen av motmedel mot ubåtar som skedde under 2:a världskriget. Ett stort steg på vägen blev uppfinningen av snorkelmasten som tillåter ubåten att köra sina dieselmotorer även i uläge då luft kan sugas in utifrån, vilket innebar en möjlighet att ladda upp batterierna utan att inta ytläge. År 1954 sjösatte USA den första atomdrivna ubåten *USS Nautilus* och sedan dess har alla ubåtar delats in i två kategorier: atomdrivna eller konventionella (dieselektriska) (Granholt, 2003).

Svensk ubåtsteknik har räknats bland de världsledande avseende konventionella ubåtar sedan HMS *Sjöormen II* sjösattes år 1967. År 1980 började Kockums AB anpassa stirlingmotorer för ubåtsbruk och år 1988 försågs HMS *Näcken II* med AIP (Air Independent Propulsion). Sverige är idag det enda land i världen med en helt AIP-utrustad ubåtsflotta (Granholt, 2003).

Sedan *Hajen* år 1904 har inte mindre än 84 svenska ubåtar konstruerats och tjänstgjort i den svenska flottan (Granholt, 2003). Sverige har exporterat en ubåt till Danmark (*Näcken*) och i dagsläget fyra ubåtar till Singapore (*Sjöormenklassen*). Kockums AB har även byggt och levererat sex stycken ubåtar av *Collinsklass* till Australien (Kockums I).

1.5.2 A26

Detta examensarbete är framtaget främst för projektet A26. A26 är en fortsättning på projektet *Viking*, som inleddes som ett nordiskt samarbete mellan Sverige, Norge och Danmark för att ta fram en ny ubåt. Då både Norge och Danmark vid olika tidpunkter har dragit sig ur är detta nu enbart ett svenskt projekt med det nya arbetsnamnet A26.

Framtidens marina styrkor kommer att behöva en operativ förmåga som sträcker sig över ett betydligt bredare spektrum av uppgifter än idag. I takt med att säkerhetsklimat och hotbilder förändras i världen ökar de funktionella kraven på marina enheter och kräver en förmåga som sträcker sig bortom den traditionella uppgiften att bekämpa fiendens fartyg. Med stor sannolikhet kommer en del fokus riktas mot att kunna verka i kustnära områden. Målsättningen med projektet A26 är att skapa en ubåt väl anpassad för både traditionella och nya hotbilder och scenarier, såväl i svenska vatten som på den internationella arenan. A26 ska bli en dieselelektrisk ubåt med AIP och kommer att utrustas med anpassningsbara högteknologiska system för att möta framtida hotbilder. Ubåten kommer att vara 64 m lång och ha ett ytdeplacement på 1740 ton (Kockums II). Exempel på huvudförmågor för A26 är:

- Förmåga att genomföra bevakning, underrättelsetjänst och rekognoseringsuppdrag utan upptäckt.
- Traditionella uppgifter som bekämpning av fientliga ubåtar och/eller ytfartyg, såväl i krig som under fredsbevarande operationer i konflikttrabbade områden.
- Specialuppdrag.
- Utgöra del av kommunikationsnätverk och upprätthålla förmåga trots krigföring mot detta.
- Stealthsignatur, uthållighet och överlevnad (Kockums II).

1.5.3 Funktionsbaserad design ombord ubåtar

I SOLAS (International convention for the Safety Of Life At Sea) beskrivs en funktionsbaserad metod för att skapa alternativa lösningar för design och konstruktion av brandsäkerhetssystem som accepteras av de stater som tillhör IMO (International Maritime Organization). Detta möjliggör för konstruktören att genom brandtekniska riskanalyser visa för myndigheter att en funktionsbaserad design av brandskyddet är ekvivalent eller bättre, jämfört med det brandskydd som skulle uppnås genom att applicera de preskriptiva reglerna.

1.6 Termer och definitioner

AIP – Air Independent Propulsion, luftoberoende framdrivningssystem exempelvis stirlingmotorer eller bränsleceller.

Akterskepp – Bakre delen av ett fartyg.

ALARP – As Low As Reasonably Practicable.

Alternativ utformning av brandskydd – Brandskyddsåtgärder som avviker från detaljkraven men som uppfyller syftet och funktionskraven.

AMS – Auxiliary Machinery Space/Hjälpmaskinrum.

Attribut – Används i analysen som benämning på egenskaper hos ett material, exempelvis isolerande förmåga, vikt eller inköpspris.

Ballasttank – Tank som innehåller luft vid ytläge och fylls med vatten för att nå uläge. För att gå från uläge till ytläge pressas vattnet ur ballasttankarna genom att blåsa in tryckluft.

BC – Battery Compartment/batterirum.

Besättning – Ibland endast syftande på manskapet, ibland åsyftande hela den påmönstrade bemanningen. I detta examensarbete avses hela bemanningen inklusive befäl.

Blåsning av ballasttankar – Den kraftigast verkande åtgärden för att ta upp en skadad ubåt till ytan. Blåsning sker normalt med hjälp av komprimerad luft som strömmar från högtrycksförråd till ballasttankar.

Bordläggning – Skrovets beklädnad, utanpå spanten.

Bottom hull – Skrovbotten.

Brandzon – Slutet begränsat område där släckmedel eller rök, inom en angiven tid, inte kan sprida sig till intilliggande utrymme.

Brandzonsgräns – Brandklassad strukturell avskiljning mellan brandzoner.

Brattbergbox – Brand- och trycksäker kabelgenomföring baserad på ett modulsystem.

BS – British Standards.

Bullersignatur – Det ljud som avges från ubåten.

Byssa – Kortform av Kabyss (eng. galley), benämning på köket på ett fartyg.

Cabin – Hytt.

CR – Control Room/kontrollrum.

Dagtank diesel och Stirling – Liten brännolja-tank med reducerat tryck.

Dieselelektrisk – Se *konventionell ubåt*.

DNV – Det Norske Veritas.

Dubbel säkerhet – Säkerhetsnivå där två av varandra helt oberoende fel måste föreligga samtidigt för att icke tolerabel risk, orsakad av fel i tekniskt system, skall kunna uppstå.

Durk – Golv ombord fartyg.

Död räkning – Navigationsmetod där positionen bestäms genom beräkningar utifrån startposition, kurs och fart.

EES – Electronic Equipment Space/ Elutrustningsutrymme.

ES – Equipment Space/ Utrustningsutrymme.

FMV – Försvarets materielverk.

Fogbredd – Avståndet mellan de konstruktionselement mellan vilka en flexibel brandtätning ska monteras.

Fri uppstigning – Nöduppstigningsmetod för individuell räddning från förlist ubåt. Kan genomföras ned till djup på cirka 180 meter, ju större djup desto större risk för tryckfallssjuka. Fri uppstigning sker från en speciell sluss ombord ubåten med en för ändamålet avsedd dräkt.

FTP Code – International code for application of Fire Test Procedures.

Förskepp – Främre delen av ett fartyg.

HMS – Hans Majestäts Skepp.

IMO – International Maritime Organization.

Individrisk – Med individrisk avses oftast risken för en individ att omkomma och denna uttrycks vanligen som risk per år. Begreppet används för att begränsa risken för enskilda arbetare och enskilda individer i samhället.

ISO – International Organization for Standardization.

Klassificeringssällskap – Organisationer som certifierar, utför inspektioner och utövar tillsyn av fartyg. Exempelvis DNV, IACS och Lloyd's register of shipping.

Kolfilter – Filter som används för att filtrera luften från exempelvis odörer, dieselångor och lösningsmedel.

Konstruktionselement – Används här som gemensam beteckning på skott, durkar, spant, skrov och liknande.

Konventionell ubåt – Ubåt som drivs av batterier i uläge och är beroende av luft från ytan för att kunna ladda upp dessa. Batterierna laddas av dieselmotordrivna generatorer.

Kritiskt system – System ombord ubåten vars felfunktion äventyrar upprätthållande av en eller flera skyddsvärda funktioner.

Krängningsprov – Praktisk undersökning av nybyggt eller ombyggt fartyg för att bestämma fartygets systemtyngdpunkt. Med långa pendellod mäts krängningen (lutning åt ena sidan) när tunga vikter flyttas sidledes på fartyget.

Köl – Fartygets botten.

Lastfartyg – Fartyg som inte är ett passagerarfartyg.

LOX – Liquid Oxygene, flytande syre. Syre i nedkyld flytande form som medförs ombord ubåtar med stirlingmotorer.

Långskeppsled – Längdled.

Manuell släckning – Släckinsats för att bekämpa brand där besättningen använder sig av brandsläckare eller utrustade rökdykare.

MR – Machinery Room/Maskinrum.

Mäss – (Eng. mess), besättningens matplats och sällskapsutrymme.

Nödkonsol – Konsol från vilken kritiska system kan nödmanövreras.

Passage – Tryckfast utrymme som sammanbinder tryckfasta avdelningar.

Passagerarfartyg – Fartyg som medför fler än 12 passagerare.

PMR – Propulsion Motor Room.

Preskriptiv – Enligt föreskrivna regler.

RMS – Regler för militär sjöfart (Försvarsmaktens regler för det militära sjösäkerhetssystemet).

RMS-F – Regler för militär sjöfart, del innehållande regler och normer för örlogsfartygs sjövärdighet.

Samhällsrisk – Samhällsrisk definieras som sambandet mellan frekvens av en oönskad händelses tänkbara scenarier och de konsekvenser som dessa genererar. Vanligtvis anges frekvensen i antalet händelser per år och konsekvensen i antal omkomna. Kriterier för samhällsrisk används för att begränsa risken för utsatta befolkningsgrupper inom vissa lokala områden eller för samhället i sin helhet.

Sanitary – Sanitetsanläggning exempelvis toaletter.

Sektionering – Avskiljning mellan sektioner för att exempelvis förhindra brandspridning.

SFS – Svensk författningssamling.

SJÖI – Sjöfartsinspektionen, numera Transportstyrelsen.

SJÖFS – Sjöfartsverkets författningssamling.

Skott – Väggbord fartyg.

Skrov – Fartygets kropp, utgörs av bordläggning, skott och spant.

Sluthändelse – Ett möjligt utfall i ett händelsetråd, återfinns längst till höger i den grafiska framställningen av trädet.

Släckzon – Brandzon eller del av brandzon med installerat fast släcksystem.

Släckzonsgräns – Strukturell avskiljning mellan släckzoner. Fungerar som avgränsning mellan olika typer av släcksystem (exempelvis gas/vatten) samt för att hålla främst gasen instängd i släckzonen där den ska verka.

Snorkelmast – Hög- och sänkbar mast med vilken ubåten kan suga in luft ovanför vattenytan och köra sina dieselmotorer under ytan.

SOLAS – the International Convention for the Safety Of Life At Sea.

SOLAS-fartyg – Fartyg som omfattas av SOLAS 1974.

Sonar – Förkortning av Sound Navigation And Rangeing. Tekniken bygger på att utnyttja ljudvågors förmåga att fortplantas bra i vatten. Passiv sonar använder hydrofoner för att lyssna efter ljud från andra fartyg medan aktiv sonar sänder ut ljudpulser i vattnet för att sedan avläsa ekot dessa ger från andra föremål.

Solid amine system – System för koldioxidrening av luften.

Spant – Fartygets revben.

Spantfack – Utrymme mellan spant.

Standardbrandprov – Prov där provstycken av de aktuella konstruktionselementen i en provugn utsätts för temperaturer som motsvarar standardbrandprovets tid/temperaturkurva enligt FTP-koden.

Stirlingmotor – Värmemotor där förbränningen ej sker i cylindrarna som på en förbränningsmotor. I stället drivs cylindrarna av en arbetsgas som värms upp genom extern förbränning. Syre tillförs i form av LOX. Stirlingmotorn är mycket tyst eftersom det är en konstant förbränningsmotor jämfört med en explosionsmotor.

Strukturellt brandskydd – Brandskyddstekniska åtgärder i form av brandklassade konstruktionselement.

Stöttålighet – Ubåtens förmåga att klara påverkan från undervattensexlosioner av olika slag.

Tankfartyg – Lastfartyg som är konstruerat eller anpassat för transport i bulk av flytande flambara produkter.

Trim – Fartygets lutning i långskeppsled.

Tryckfast skott – Ett tryckfast skott delar in volymen inom tryckskrovet i tryckfasta avdelningar och/eller passager.

Tryckfast avdelning – Del av volymen inom tryckskrovet, avgränsad av skrov och tryckfasta skott, där maximalt tillåtet antal personer ombord kan vistas längre tid.

Tryckskrov – Den del av fartygets skrov som är beräknat att motstå det yttre sjövänttrycket ner till ett på förhand fastställt djup.

UKR – Ubåtssäkerhet: Krav och Rekommendationer (FMV:s styrande regler och rekommendationer för ubåtssäkerhet).

Utläge – När ballasttankarna fylls med vatten och ubåten sjunkit ned under ytan.

Väntevärde – I riskanalysen i detta examensarbete används medelvärde som väntevärde.

Vätgasreduktion – Katalytisk process för att hantera vätgasen som ventileras från batterirummen. Processen innebär kraftig värmeutveckling.

WSC – Weapon Stowage Compartment (torpedrum), utrymme ombord där torpeder förvaras och torpedtuberna laddas.

Ytdeplacement – Ubåtens vikt (vikten av den vattenmassa som ubåten undantränger) när den befinner sig i ytläge.

Ytläge – När ubåten flyter på ytan och ballasttankarna är fulla med luft.

ÖB – Överbefälhavare.

Örlogsfartyg – Alla fartyg och svävare, oavsett vad de är avsedda att användas till och oavsett storlek, som tillhör Försvarsmakten eller som står under militärt befäl.

2 Lagar, regelverk och föreskrifter

I detta kapitel görs en systematisk genomgång av de regelverk och föreskrifter som direkt eller indirekt påverkar design och konstruktion av en ny ubåt.

2.1 Allmänt

Internationella regler för fartygssäkerhet återfinns i FN-konventionen SOLAS (the International Convention for the Safety Of Life At Sea). Till detta kommer en del tilläggskrav som överenskommit i FN-organet IMO (International Maritime Organization) samt de olika ländernas egna tolkningar och tillämpningsbestämmelser. I Sverige är kraven i SOLAS satta i kraft genom Sjölagen (SFS 1994:1009), Fartygssäkerhetslagen (SFS 2003:364) och Sjöfartsverkets föreskrifter (Räddningsverket, 1994).

Enligt Förordning om säkerheten på örlogsfartyg (SFS 2003:440) gäller vissa delar av Fartygssäkerhetslagen (SFS 2003:364) även örlogsfartyg. Sjöfartsverkets föreskrifter om tillämpning av förordningen om säkerhet för örlogsfartyg (SJÖFS 2005:11) anger hur regler för örlogsfartygs sjövärdighet skall utvecklas. Sjöfartsverkets författningshandbok har inte några byggnadsregler för fartyg utan hänvisar till de olika klassificeringssällskapens regler. Detta gäller även för örlogsfartyg som skall dimensioneras, konstrueras, byggas, utrustas, underhållas och kontrolleras i enlighet med gällande klassregler, samt i enighet med Försvarets normer (Försvaretsmakten, 2006).

På grund av örlogsfartygs speciella karaktär och användningsområden går det ej att direkt tillämpa Sjöfartsverkets författningshandbok inom alla områden, varför militära tillämpningsbestämmelser har utarbetats. Regler för örlogsfartygs fartygssäkerhet baseras i stor utsträckning på SOLAS, SJÖFS och andra regler för civil sjöfart. Vid sammanställningen av Regler för militär sjöfart (RMS) har ofta regler för lastfartyg, bland annat avseende stabilitet, brandskydd och utrustning, använts för utarbetande av regler för örlogsfartyg. Reglerna gäller i den omfattning som anges i RMS. Detta innebär inte att örlogsfartyg betraktas som lastfartyg eller ska följa regler för lastfartyg annat än vad som anges i RMS (Försvaretsmakten, 2006).

Internationellt delas fartyg generellt in i tre huvudtyper: passagerarfartyg, lastfartyg och tankfartyg. Att örlogsfartyg likställs med lastfartyg kan närmast beskrivas med dess definitiva olikheter med passagerarfartyg och tankfartyg. Av uppenbara skäl kan ubåtar inte likställas med någon typ av ytgående fartyg, men räknas ändå till lastfartygen i flertalet regelverk av samma anledning som övriga örlogsfartyg. Avseende brandskydd fastställs detta i RMS-F § 11.14.1:

Ubåtars brandskydd skall minst motsvara den nivå SJÖFS 2004:31¹ Bilaga 1 anger för lastfartyg med de undantag och tillägg som detta regelverk innebär.

2.2 IMO

International Maritime Organization är ett FN-organ som grundades genom en konvention som antogs under FN-konferensen i Genève år 1948, men som sattes i kraft först 10 år senare. Då var IMO den första internationella organisationen som skulle ägna sig enbart åt maritima frågor. Frågor rörande sjösäkerhet samt miljöskydd av marina miljöer har sedan starten varit organets huvudsakliga arbetsområden. Målet är att skapa ramverk av regler som kan antas och implementeras såväl nationellt som internationellt för att omfatta en så stor del som möjligt av den internationella sjötrafiken. IMO har 166 medlemsstater, däribland Sverige (IMO, 2009).

¹ Ersatt av SJÖFS 2008:16

Organisationens arbete bedrivs dels av ett råd och en församling och dels i ett antal kommittéer. Exempel på kommittéer är the Maritime Safety Committee (MSC) och the Marine Environment Protection Committee (MEPC), med tillhörande undergrupper, däribland Fire Protection (FP). De olika underkommittéerna utarbetar bland annat säkerhetsbestämmelser som sedan beslutas av huvudkommittén, i detta fall MSC, och därefter fastställs av församlingen. De beslut som därvid fattas sammanställs till resolutioner och konventioner som sedan antages av medlemsländerna (Räddningsverket, 1994). I sitt arbete har IMO till dags datum antagit 40 konventioner och över 800 koder och rekommendationer. De medlemsstater som tar del av och skriver under en konvention är skyldiga att införa dess regler i nationens egen lagstiftning. Koder och rekommendationer är dock inte obligatoriska att anta (IMO, 2009).

2.2.1 SOLAS

Den första versionen av SOLAS (the International Convention for the Safety Of Life At Sea) antogs redan år 1914 genom ett internationellt samarbete och som ett resultat av förlisningen av Titanic år 1912. IMO höll sin första konferens år 1960 och övertog då detta arbete samt antog en ny version av SOLAS som sattes i kraft år 1965. Denna version behandlade ett stort antal områden förknippade med fartygssäkerhet, bland dessa kan nämnas maskin och elinstallationer, stabilitet, brandskydd, livräddningsutrustning och frakt av farligt gods. Den senaste uppdateringen av SOLAS gjordes år 1974, varför man i dagligt tal brukar kalla konventionen SOLAS 74 (IMO, 2009).

Kapitel II-2 i SOLAS behandlar brandsäkerhet ombord fartyg med avseende på brandskydd, branddetektering och brandsläckning. I kapitlet listas detaljerade brandskyddsbestämmelser för alla typer av fartyg samt speciella regler för exempelvis passagerarfartyg och oljetankers. Brandskyddsbestämmelserna innehåller regler för indelning av fartyget i vertikala och horisontella zoner genom termiska och strukturella avgränsningar, strukturell och termisk separering av bostadsutrymmen från övriga utrymmen i fartyget, begränsad användning av brännbart material, upptäckande, begränsning och släckning av en brand i det utrymme där den uppstått, skydd av utrymningsvägar och angreppsvägar för brandbekämpning, omedelbar tillgång till brandsläckningsutrustning samt minimering av risken för antändning av brännbara gaser från lasten (IMO, 2004).

I Upplaga 2004, Kapitel II-2, Del F beskrivs en funktionsbaserad metod för att skapa alternativa lösningar för design och konstruktion av brandsäkerhetssystem. Detta möjliggör användandet av funktionsbaserad design av brandskydd ombord fartyg (IMO, 2004). Del F lades till under en omstrukturering av Kapitel II-2 vid revideringen av SOLAS år 2000 och trädde i kraft 1/7 2002 (IMO, 2009). En separat skrift, *Guidelines for alternative design and arrangements for fire safety*, Kompletterar Del F med riktlinjer och anvisningar (IMO, 2001).

2.3 Sjöfartsverket

Sjöfartsverket är en statlig myndighet som har sina uppgifter angivna i regeringens instruktion samt i det årliga regleringsbrevet. En av Sjöfartsverkets huvuduppgifter är att verka för en säker sjöfart, där ingen dödas eller allvarligt skadas. En viktig del av arbetet är att utfärda svenska föreskrifter och säkerhetsnormer. Dessa reglerar bland annat hur fartyg ska konstrueras, byggas, underhållas, framföras och bemannas. Sjöfartsverkets föreskrifter benämns SJÖFS. Sjötransportssystemet ska anpassas till de krav som följer av detta. Svenska och utländska fartyg i svenska farvatten ska uppfylla de regler som gäller i Sverige. Det är Transportstyrelsen (den del på Sjöfartsverket som tidigare hette Sjöfartsinspektionen, numera flyttad till Sjöfartsavdelningen på Transportstyrelsen) som utfärdar krav samt kontrollerar att rederier och fartyg uppfyller dessa (Johnson, 2009).

2.3.1 SJÖFS 2008:16

SJÖFS 2008:16 är Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om brandskydd, branddetektering och brandsläckning på SOLAS-fartyg byggda den 1 juli 2002 eller senare (ersätter SJÖFS 2004:31). Huvudmålen med dessa föreskrifter är att minimera risken för att bränder och explosioner uppstår ombord, minimera risken för personskador, minimera risken för skador på fartyget, dess last och miljön, maximera möjligheten att innesluta, kontrollera och kväva bränder och explosioner i de utrymmen där de uppstår samt att ge tillräckliga och lättillgängliga utrymningsmöjligheter åt de ombordvarande. Del C, Regel 9 i SJÖFS 2008:16 behandlar brandindelningar och ligger till grund för problemställningarna i detta examensarbete. Vid tolkningen av dessa föreskrifter appliceras kraven för *lastfartyg* på ubåtens konstruktion. Syftet med Regel 9 är att en brand ska kunna inneslutas i det utrymme där den uppstår. För att uppnå detta ska följande funktionskrav uppfyllas:

- Fartyget ska delas av termiska och strukturella indelningar
- Den termiska isoleringen av indelningarna ska ta hänsyn till brandriskerna i de utrymmen som den avskiljer
- Brandintegriteten ska bibehållas i öppningar och genomföringar

Regel 9 § 2.3 reglerar brandintegritet hos skott och durkar på lastfartyg. Utöver de särskilda bestämmelser om skotts och durkars brandintegritet som föreskrivs på andra ställen i dessa föreskrifter ska brandintegriteten hos alla skott och durkar vara lägst den som anges i Tabell 9.5 (skott) och 9.6 (durk) i Regel 9. Bilaga 1 Del F beskriver översiktligt ett tillvägagångssätt för alternativ utformning av brandskydd medan Bilaga 3 innehåller detaljerade anvisningar. Metoden beskrivs utförligare i Appendix A.

2.4 RMS

RMS (Regler för militär sjöfart) består av åtta delar med regler för det militära sjösäkerhetssystemet enligt nedan. Dessa regler skall tillämpas för all verksamhet inom Försvarmakten med örlogsfartyg och/eller dykare, samt de stödsystem och den infrastruktur som erfordras för att tillgodose kraven på militär sjösäkerhet (Försvarmakten, 2006).

RMS-G (Gemensam)

Innehåller gemensamma och allmänna delar för hela regelverket.

RMS-S (Sjösäkerhetssystem)

Innehåller regler för det militära sjösäkerhetssystemet.

RMS-P (Personal)

Innehåller regler för bemanning, behörigheter och vila.

RMS-D (Drift)

Innehåller regler om fartområden samt skötsel och arbete med elanläggningar, ansvar och behörigheter, samt reglering av materielunderhåll.

RMS-M (Marin yttre miljö)

Innehåller regler för förebyggande av luft- och vattenföroreningar från örlogsfartyg.

RMS-F (Fartygssäkerhet)

Innehåller regler och normer för örlogsfartygs sjövärdighet.

RMS Författningar

Innehåller föreskrifter med mera från Sjöfartsverket samt lagar och förordningar.

RMS- Dyk

Innehåller säkerhetsinstruktioner för dykeriverksamhet.

2.4.1 RMS-F

För arbetet i detta examensarbete har endast RMS-F tagits i beaktande då problemställningar rörande brandsäkerhet naturligt faller under och regleras i Del F – fartygssäkerhet.

För varje örlogsfartyg som avses utvecklas, inköpas eller inhyras skall ett uppstartningsmöte arrangeras med Militära Sjösäkerhetsinspektionen varvid ägarföreträdaren, designansvarig, beställare samt tänkt kontrollansvarig (exempelvis ett klassningssällskap) skall delta. Baserat på detta möte fastställs vilken utgåva av RMS-F som skall tillämpas och i vilken utsträckning kommande förändringar av regelverket skall beaktas (Försvarmakten, 2006).

Kapitel 4 i RMS-F behandlar äldre ubåtar, vilket avser ubåtar byggda innan 040401. För ubåtar byggda efter 040401 tillämpas Kapitel 11. Utöver de ubåtsspecifika reglerna i detta kapitel gäller även de allmänna och gemensamma regler för örlogsfartyg som listas i Kapitel 6. Numrering och rubriksättning i Kapitel 11 är till största del gemensam med UKR (Ubåtssäkerhet: Krav och Rekommendationer) som är FMV:s (Försvarets materielverk) designanvisning för ubåtssäkerhet, se Avsnitt 2.5 nedan.

Reglerna i kapitel 11 uttrycks i huvudsak på ett funktionellt sätt och är endast i begränsad omfattning utformade som preskriptiva regler. Detta ställer ökade krav på en dokumentation av designen av ubåten som kan styrka att funktionella regler uppfyllts.

2.5 UKR

UKR (Ubåtssäkerhet: Krav och Rekommendationer) är FMV:s styrande regler och rekommendationer för ubåtssäkerhet. Dokumentet har i stort sett samma indelning som RMS-F 2007 kapitel 11. UKR utgör tillsammans med RMS de sjö- och ubåtssäkerhetskrav som ställs på ubåtar. UKR är en sammanställning av erfarenhetsgrundade principer och lösningar som tillsammans skall utgöra grunden för ubåtssäkerhetsarbete vid modifieringar och nybyggnation i syfte att uppnå god ubåtssäkerhet. Grundförutsättningarna i UKR är att säkerheten inte skall eftersättas av ekonomiska skäl, onödigt tekniskt komplicerade lösningar skall undvikas samt att principen om dubbel säkerhet skall gälla genomgående. Undantag från krav och regler ur UKR kan beviljas av FMV (Försvarets materielverk, 2008).

2.6 Brandskydd enligt RMS-F & UKR

Kapitel 14 *Brandskydd* i UKR motsvarar Kapitel 11.14 *Ubåtar: Brandskydd* i RMS-F i numrering och rubriksättning. De bägge regelverken är lika men ej identiska i brandskyddskapitlet, det finns dessutom en del stycken i det ena regelverket som ej tas upp i det andra och vice versa. Brandskyddet ombord A26 ska vara i enlighet med såväl UKR som RMS-F. I Appendix B redogörs för de paragrafer som bedöms som viktiga för syftet med detta examensarbete, oavsett vilket regelverk de tillhör.

Brandklassning av skott och durk

3 Riskhantering

Detta kapitel innehåller inledande allmän bakgrundsinformation kring risk och riskhantering. Syftet är främst att introducera de grundläggande begrepp och tankegångar inom riskhantering som används i detta examensarbete för de läsare som ej har riskbakgrund.

3.1 Definition av risk

Det finns flera åsikter om hur risk skall definieras. Detta examensarbete utgår från det tekniska synsättet där risk kan ses som en sammanvägning av sannolikheten för att en händelse skall inträffa samt de negativa konsekvenser händelsen i fråga kan leda till. Kaplan (1997) menar att risk kan definieras som svaret på tre frågor:

- Vad kan hända? (S)
- Hur stor är sannolikheten att det händer? (L)
- Vad är konsekvenserna av händelsen? (X)

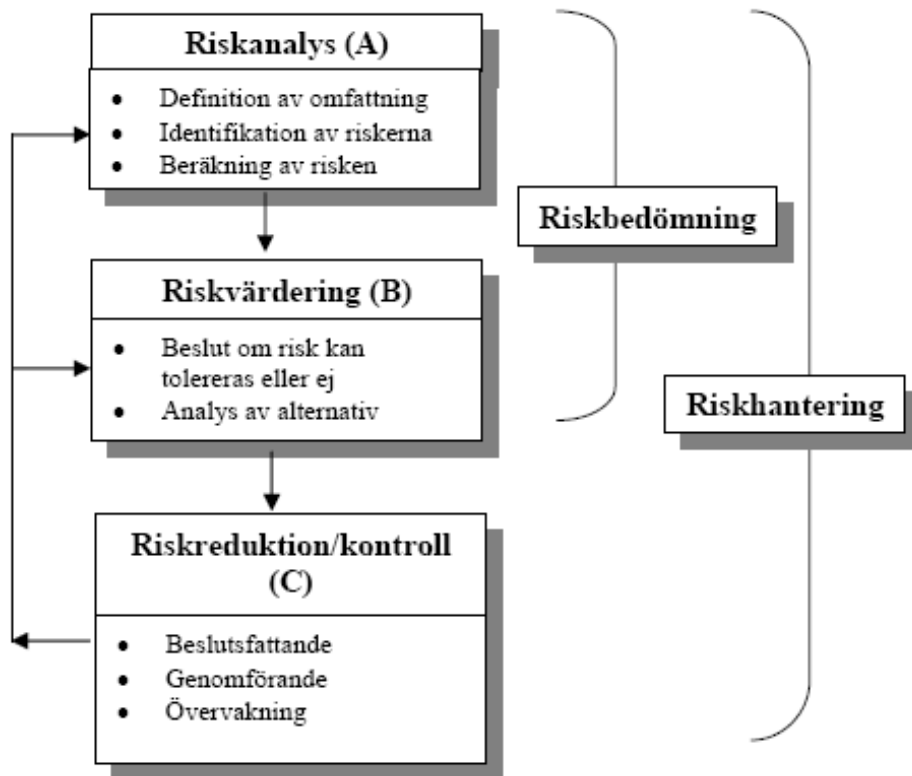
Svaren på dessa frågor kan uttryckas som en trippel: (S, L, X). Genom att formulera trippeln som ett uttryck: $R = \{ \langle S_i, L_i, X_i \rangle \}_c$ fås en uppsättning svar på de tre frågorna, där i står för ett specifikt scenario och c står för complete, för att förtydliga att vi vill veta svaret för samtliga möjliga händelser. Risk är därmed summan av alla scenarier, sannolikheten för att de skall inträffa samt den konsekvens som då uppstår. I det tekniska perspektivet ligger fokus oftast på en eller ett par aspekter, exempelvis dödsfall och personskada. Målet är att genomföra en analys som är fri från subjektiva värderingar där ingen skillnad görs i hur olika personer ser på och värderar konsekvenserna av en händelse.

3.2 Risktyper

Risker kan klassificeras och kategoriseras på flera olika sätt och efter olika kriterier. Analysen utgår från olycksrisker, där förhållandet mellan orsak och effekt är tydlig och lätt att identifiera. Den mänskliga säkerheten och förhindrande av skada är centrala aspekter (Nilsson, 2003).

3.3 Riskhantering

Den standardiserade definitionen av riskhantering enligt International Electrotechnical Commission, IEC (1995), är hela den process från vilken risker och riskkällor identifieras till och med det att beslut tas om ifall de skall åtgärdas eller ej. Processen kan delas in i de tre stegen riskanalys, riskvärdering och riskreduktion, se Figur 3.1 nedan. Riskanalysen kan beskrivas som en strukturerad process för att identifiera sannolikheten och omfattningen av de negativa händelser som en aktivitet, anläggning eller ett system kan ge upphov till. I det andra steget tas ställning till huruvida de identifierade riskerna kan accepteras och vilka alternativ som eventuellt föreligger. De första två stegen (A+B) benämns riskbedömning. Om riskerna anses oacceptabla vid riskvärderingen försöker man i det tredje steget reducera eller kontrollera riskerna. Alla tre steg tillsammans benämns riskhantering. (Nilsson, 2003). Detta examensarbete är i första hand en riskanalys som innehåller rekommendationer till vilka beslut som bör tas, och är därmed en del av riskbedömningen. Vilka beslut som fattas är upp till Kockums AB. Riskhantering är sedan en kontinuerlig process som hela tiden måste uppdateras under projektets gång om förändringar införs och förutsättningarna ändras.



Figur 3.1 – Riskhantering (Nilsson, 2003)

3.3.1 Riskanalys

Den första delen i en riskbedömning är själva analysdelen. Tillvägagångssättet varierar beroende på vad bedömningen avser. Nedan redovisas ett exempel på hur en riskanalys kan genomföras i sex steg för tekniska system. Analysen i detta examensarbete följer till stor del detta tillvägagångssätt.

1. Definition av systemet som skall analyseras samt omfattning av analysen.

Avgränsningar, antaganden och begränsningar fastställs och de beslut som behöver tas identifieras.

2. Identifikation av riskkällor och genomförande av en initial konsekvensvärdering.

Här beslutas om åtgärder skall utföras för att eliminera eller reducera faran, om analysen skall avslutas på grund av att riskkällorna är insignifikanta eller om man skall fortsätta med riskuppskattning. Några metoder för riskidentifikation är komparativa metoder (exempelvis systemchecklistor), fundamentala metoder (exempelvis What if?-analyser) och logiska diagram metoder (exempelvis felträdsanalys och händelseträdsanalys)

3. Riskuppskattning

Här bedöms de initierande händelserna, följden av dem, skadereducerande inslag och hur frekvent de skadliga konsekvenserna inträffar. Riskuttrycket $R = \{ \langle S_i, L_i, X_i \rangle \}_c$ kvantifieras. Det är viktigt att fastslå huruvida riskuppskattningen reflekterar hela risken eller endast en del av den. En osäkerhetsanalys kan användas för att bestämma variationen eller graden av noggrannhet i resultatet från modellerna.

4. Verifikation

En formell utvärdering bör utföras av någon utanför projektet. Avgränsningar och kritiska antagen bör granskas för att försäkra sig om att de är trovärdiga. Vidare bör bekräftas att analysen använder de för ändamålet rätta metoderna och modellerna samt undersöka om utredningen går att utföra av andra än de som ursprungligen gjort den.

5. Dokumentation

Hela riskanalysprocessen bör dokumenteras. Styrkor och svagheter med olika riskmått skall förklaras och osäkerheterna kring riskuppskattningarna skall uttryckas på ett sätt så att den tilltänkte läsaren förstår vad som menas.

6. Uppdatering

Om riskhanteringsprocessen är kontinuerligt pågående bör analysen utformas så att den kan uppdateras under systemets, händelsens eller aktivitetens livscykel. (Nilsson, 2003).

3.3.2 Olika kategorier av riskanalyser

Grovt sett kan riskanalyser kategoriseras som kvalitativa, semikvantitativa eller kvantitativa. Ett annat sätt är att karaktärisera riskanalyser som deterministiska eller probabilistiska.

Kvalitativa metoder används främst för att identifiera risker och är mest tillämpliga i den första delen av riskanalysen. Måtten som används för att bedöma riskkällans risknivå är oftast av typen stor, liten etcetera. Syftet är ofta att jämföra olika risker inbördes.

Semikvantitativa metoder är mer detaljerade i sin uppbyggnad än de kvalitativa och innehåller till viss del numeriska mått på konsekvenser och sannolikheter för att en oönskad händelse skall inträffa. Dessa behöver inte vara exakta utan kan beteckna storleksordningar för att kunna rangordna och jämföra olika alternativ förenade med olika risker.

De *kvantitativa* metoderna är helt numeriska och baseras på oundvikliga osäkerheter i beräkningsmodeller och indata. Dessa osäkerheter fortplantas genom beräkningarna och ger en motsvarande osäkerhet i slutresultatet (Nilsson, 2003). Kvantitativa riskanalyser kan delas in i deterministiska och probabilistiska riskanalyser.

I en *deterministisk riskanalys* ligger tyngdpunkten i konsekvensbedömningar och sannolikheten är här av underordnad betydelse. Exempel på detta är ”värsta tänkbara händelse (worst case)” där den teoretiskt mest omfattande konsekvensen som kan inträffa beräknas och utgör dimensionerande händelse. Riskmättet ges av omfattningen av skadan från den möjliga händelsen, oavsett dess sannolikhet (Gawlowski et al, 2009). Med detta synsätt är beräkningarna på den säkra sidan, men nackdelen är att stora resurser kan komma att läggas på att förhindra mycket osannolika skadehändelser. I metoden ”dimensionerande skadehändelse” görs istället försök att uppskatta det troligaste värsta fallet som i praktiken kan inträffa (Slettenmark, 2003).

I en *probabilistisk riskanalys* ligger tyngdpunkten på sammanvägningen av sannolikheten för en skadehändelse och konsekvensen av denna. Metoden möjliggör optimering av skyddsåtgärder. Nackdelarna är att det ofta är svårt att få tillgång till tillförlitlig frekvens- och sannolikhetsdata (Slettenmark, 2003). En fördel gentemot den deterministiska riskanalysen är att den probabilistiska riskanalysen inte är begränsad till ett antal fördefinierade scenarion. I stället är det möjligt att beakta alla möjliga starthändelser och varje fall bidrar med sin sannolikhet till det totala riskmåttet (Gawłowski et al, 2009). Skillnaden mellan deterministiska och probabilistiska riskanalyser är i grund och botten att den senare även tar hänsyn till sannolikheter/frekvenser. Dessa bygger till största del på historiska data och statistik vilket är som tidigare nämnts vanligen det svåraste att ta fram när det gäller riskberäkningar. Detta beror bland annat på att de händelser för vilka frekvensen söks oftast är mycket sällan förekommande, i vissa fall har händelserna aldrig ens inträffat. I brist på generisk data kan dock skattningar utföras med stöd av litteratur och expertis (Slettenmark, 2003).

Riskanalysen i detta examensarbete är i huvudsak probabilistisk, och innehåller både kvantitativa och kvalitativa resonemang.

4 Metod riskanalys

Det grundläggande syftet med denna riskanalys är att undersöka om det är rimligt att konstruera brandklassade durkar och skott ombord ubåten enligt de preskriptiva kraven. Alternativet till detta är att genom en analys visa att en lägre brandklassning är fullt tillräcklig för att uppnå tillfredställande säkerhet ombord ubåten (jämfört med ett fartyg som uppfyller de preskriptiva kraven med avseende på strukturellt brandskydd). I detta kapitel beskrivs metodval och metodik för riskanalysen.

4.1 Grundförutsättningar

Det första steget i riskanalysen är att skapa en grundläggande förståelse för strukturellt brandskydd i allmänhet och strukturellt brandskydd på marina farkoster och konstruktioner i synnerhet. För att uppnå detta inleds analysen med en övergripande genomgång av det strukturella brandskyddet ombord A26. Detta görs genom att först beskriva brandklassning av byggnadsdelar på fartyg jämfört med byggnadsdelar i hus. Därefter presenteras dispositionen av utrymmen ombord ubåten, vad de olika brandzonerna innehåller samt vad detta medför för preskriptiva krav på brandklassning av de durkar och skott som utgör brandzonsgränserna.

4.2 Definition av systemet

Steg två i riskanalysen är att göra en systembeskrivning. Systembeskrivningen av ubåten delas in i två delar: en *strukturell* och en *dynamisk* modell. Den strukturella modellen beskriver hur ubåten är konstruerad och uppbyggd rent fysiskt medan den dynamiska modellen beskriver ubåtens funktioner samt de system och komponenter som utgör dessa. I systembeskrivningen ingår även en kortare beskrivning av Försvarens systemsäkerhetsarbete.

4.3 Skyddsvärda funktioner

Steg tre i riskanalysen är att kartlägga vad som är skyddsvärt. Här definieras de funktioner som är viktiga att upprätthålla och avgränsningar av detta görs i system, tid och rum. För att definiera vad som är skyddsvärt ombord en ubåt utgås i detta examensarbete från huvudriskkällor, det vill säga där konsekvensen av riskkällans vådahändelse är total förlust av ubåten och/eller många dödsfall.

4.4 Riskinventering

Steg fyra i riskanalysen är en riskinventering. Detta genomförs som en förenklad riskinventering baserad på en brandteknisk analys som genomfördes inom projektet Viking (Kockums III). Inventeringen är uppdelad efter de olika avdelningarna ombord ubåten och för varje utrymme redogörs för typ av brandbelastning, möjliga tändkällor och kritiska system inom utrymmet. Efter riskinventeringen presenteras statistik över ubåtsolyckor och fartygsbränder. Här ges även en beskrivning av brandskyddet ombord en ubåt med fokus på hur bränder förhindras, minimeras och bekämpas.

4.5 Analys

Analysdelen genomförs med händelseträdsmetodik som utgår från bashändelsen att en brand har initierats. De parametrar som sedan påverkar händelseförloppet och utgången av varje sluthändelse är brandens placering, brandens storlek, om detektionssystemet utlöser, om manuell släckning lyckas och om släcksystemet utlöser. Detta ger 18 sluthändelser för varje utrymme. Då samma parametrar ingår i analysen av alla utrymmena kommer alla händelseträd att ha identisk form, där endast sannolikheterna för brandspridning och startutrymme skiljer sig. Därav presenteras resultaten som ett komplett händelseträd i grafisk form endast för ett utrymme för att illustrera problemställningen medan resultaten för övriga utrymmen presenteras i tabellform.

Sannolikhetsbedömningarna för de olika parametrarna baseras dels på tillgänglig litteratur och statistik, och dels på expertutlåtanden av olika slag. Riskanalysen är i huvudsak probabilistisk, men med vissa deterministiska utgångspunkter då exempelvis konsekvensen ”total förlust av ubåt” kan sägas utgöra ett worst case scenario. För att ta hänsyn till den osäkerhet som råder genomförs en intervallanalys kring samtliga parametrar. Brandtemperaturen i varje sluthändelse är hämtad ur en brandteknisk analys som genomfördes inom projektet Viking (Kockums III) och jämförs med de temperaturer som ett A15, A30 respektive A60 skott är testade för. Konsekvensen anges absolut, det vill säga antingen överstiger brandtemperaturen skottets klassning eller så gör den inte det. Resultatet presenteras som sannolikheten för brandspridning, givet att en brand uppstår.

4.6 Riskvärdering

För att sätta resultaten från riskanalysen i ett sammanhang avslutas analysen med en riskvärdering enligt två olika principer, dels genom ett kvalitativt resonemang och dels genom att fastställa acceptanskriterier att jämföra den beräknade risken med. Det kvalitativa resonemanget förs som en diskussion kring en jämförelse mellan en ubåt helt konstruerad enligt de preskriptiva reglerna och en ubåt med alternativ brandteknisk design, vilket i detta fall innebär en lägre brandklassning. Resultatet från riskanalysen diskuteras även med avseende på de skyddsvärda funktionerna. I den andra delen av riskvärderingen jämförs resultaten från analysen med acceptanskriterier som FMV tillämpat på tidigare svenska ubåtar. Detta kombineras med ALARP-principen.

5 Strukturellt brandskydd A26

I detta kapitel görs en övergripande genomgång av det strukturella brandskyddet ombord A26 genom att först beskriva hur brandklassning av byggnadsdelar på fartyg görs jämfört med byggnadsdelar i hus. Därefter presenteras dispositionen av utrymmen ombord ubåten, vad de olika brandzonerna innehåller samt vad detta medför för preskriptiva krav på brandklassning av de durkar och skott som utgör brandzonsgränserna.

5.1 Brandklassning

Brandmotståndet hos byggnadsdelar, material och konstruktioner på land indelas i olika brandtekniska klasser eller kombinationer av dessa. De olika klasserna specificerar vilka typer av funktionskrav som uppnås av produkten ifråga. Normalt innehåller klassbeteckningen även en siffra som anger vilken minsta tid funktionskraven uppfylls vid en standardiserad provning. Exempel på funktionskrav är bärförmåga, integritet, isolering, strålning, mekaniskt motstånd och brandskydd av beklädnad (SP, 2009). Nedan presenteras definitioner av bärförmåga, integritet och isolering vilka alla är viktiga begrepp även för klassning av fartygskonstruktioner.

Bärförmåga – R

Bärförmåga betecknas med bokstaven R och är ett byggnadselements förmåga att motstå brand på en eller fler sidor, vid en specificerad last under en tidsperiod utan att förlora sin stabilitet. Funktionskravet varierar beroende på konstruktionstyp:

- Element belastade i böjning (exempelvis bjälklag, balkar) där kravet ställs på deformationshastighet och maximal nedböjning.
- Axiellt belastade element (exempelvis pelare, väggar) där kravet ställs på deformationshastighet och maximal deformation (SP, 2009).

Integritet – E

Integritet betecknas med bokstaven E och är förmågan hos ett separerande byggnadselement att hindra brand från att sprida sig till den oexponerade sidan genom läckage av lågor eller heta gaser. Vid prov av elementets integritet bedöms följande parametrar:

- Sprickor eller öppningar som överstiger en viss dimension
- Antändning av en bomullstuss
- Ihållande lågor på den oexponerade sidan (SP, 2009)

Isolering – I

Isolering betecknas med bokstaven I och är förmågan hos ett byggnadselement att bibehålla temperaturen på den oexponerade sidan under en viss nivå. Generellt mäts dels maximal temperaturstegring i någon enskild punkt som inte får överstiga 180 K, samt en medeltemperaturstegring på vissa punkter som inte får överstiga 140 K (SP, 2009).

Exempel på klassning är EI 30, vilket betyder att konstruktionen är brandtät (E) och isolerande (I) under 30 minuter. Brandteknisk klassindelning av material som ska användas på fartyg överensstämmer inte med den klassindelning som används för byggnader i land.

5.2 Skott och durkar

Det material som används i brandsäkra eller brandfördröjande konstruktioner ombord fartyg skall vara godkänt enligt de normer som fastställts av IMO. Eftersom dessa normer är internationellt fastställda innebär det att ett material som används i ett svenskt fartyg inte nödvändigtvis skall vara provat i Sverige. Huvudsaken är att provet är gjort av en godkänd provningsanstalt samt att det utförts i enlighet med uppställda krav (Räddningsverket, 1994).

Klass A

Material av Klass A utgörs av obrännbara skott eller durkar som uppfyller följande villkor:

1. De skall vara konstruerade av stål eller annat likvärdigt material
2. De skall vara stagade på lämpligt sätt
3. De skall vara konstruerade så att de under ett 60 minuter långt standardbrandprov förhindrar att rök och lågor tränger igenom
4. De skall vara isolerade med godkänt obrännbart material på ett sådant sätt att medeltemperaturen på den oexponerade sidan av materialet inte stiger mer än 139 grader över begynnelsestemperaturen och att temperaturen inte heller på någon enda punkt av denna sida stiger mer än 180 grader över begynnelsestemperaturen inom följande tidsperioder:

Klass A-60	60 minuter
Klass A-30	30 minuter
Klass A-15	15 minuter
Klass A-0	0 minuter

Ett helt oisolerat stålskott släpper igenom värme utan någon tidsfördröjning och klassas således som Klass A-0, men ska fortfarande uppfylla punkterna 1-3 ovan (Räddningsverket, 1994).

Klass B

Material av Klass B utgörs av brandfördröjande skott, durkar, innertak eller beklädnader som uppfyller följande villkor:

1. De skall vara så konstruerade att de under den första halvtimmen av standardbrandprovet kan förhindra att lågor tränger igenom.
2. De skall ha en sådan isolerförmåga att medeltemperaturen på den oexponerade sidan av materialet inte stiger mer än 139 grader över begynnelsestemperaturen och att temperaturen inte heller på någon enda punkt av denna sida stiger mer än 225 grader över begynnelsestemperaturen inom följande tidsperioder:

Klass B-15	15 minuter
Klass B-0	0 minuter

3. De skall vara konstruerade av godkända obrännbara material och alla material som ingår i konstruktionen och uppförandet skall vara obrännbara, dock kan brännbar fanér tillåtas om de uppfyller speciellt angivna krav.

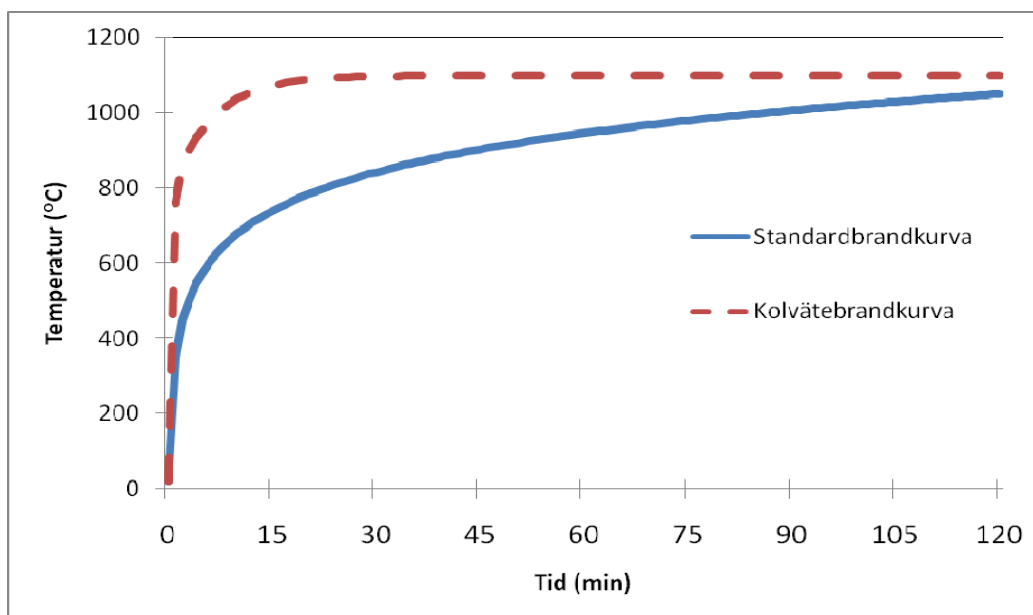
Ett skott av Klass B skall förhindra genombrott av *låg*or under ett 30 minuter långt brandprov. Röken kan således tränga ut genom skarvar, dörrposter och liknande redan från första början (Räddningsverket, 1994).

Klass C

Material av Klass C är godkända obrännbara material som inte behöver undergå särskild brandprovning. Det ställs alltså inga krav på genomträngning av rök och lågor eller temperaturstegring (Räddningsverket, 1994).

Övriga brandtekniska klasser

Utöver brandteknisk klass A, B och C ovan finns ett par klasser där materialet testas för andra påfrestningar än ett standardbrandprov. Exempel på dessa är H (kolvätebrand) och J (jetflamma). Vid ett standardbrandprov används en brandkurva som motsvarar en brandutveckling som kan väntas i vanlig inredning och byggnadsmaterial. Brandkurvan för en kolvätebrand (exempelvis bränslepölbrand) är betydligt mer intensiv (Microtherm, 2009). Se Figur 5.1 nedan för jämförelse av temperaturutveckling för respektive kurva. Jet fire innebär att materialet testas för exponering av jetflammar (MBI, 2009).

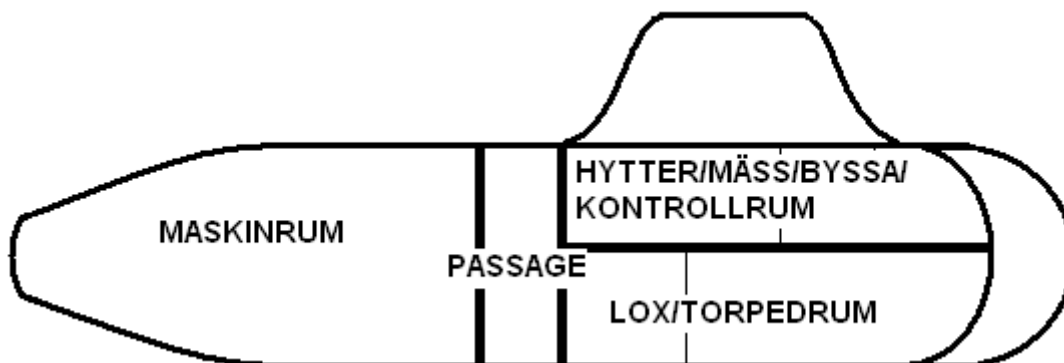


Figur 5.1 – Diagram över standardbrandkurva och kolvätebrandkurva

Ett A15 skott behöver klara isoleringskraven i 15 minuter, då temperaturen uppnår 740 °C. Motsvarande temperaturer för A30 och A60 är 840 °C respektive 945 °C.

5.3 Disposition A26

Här presenteras en översiktlig disposition över de olika huvudutrymmena ombord A26 för att ge läsaren en referensmall inför kommande avsnitt. Se Figur 5.2 för principskiss över A26.



Figur 5.2 – Disposition A26

5.4 Brandzoner

I dagsläget är planen att A26 ska delas in i ett antal olika brandzoner enligt Figur 5.3 nedan. Denna indelning kan komma att ändras vid framtida projektering men är vad som ligger till grund för utredningen i detta examensarbete.

Fartyg ska delas in i termiska och strukturella indelningar som beaktar brandriskerna i utrymmena med målsättningen att brand ska kunna inneslutas i det utrymme där den uppstår (SJÖFS 2008:16). I UKR definieras brandzon enligt följande: ”Brandzon är ett slutet begränsat område där släckmedel eller rök, inom en angiven tid, inte kan sprida sig till intilliggande utrymme” (Försvarets materielverk, 2008).

SJÖFS 2008:18, Del C, Regel 9 § 2.3 behandlar skott och durkar på lastfartyg och är därmed de regler som ska appliceras på A26 enligt RMS-F § 11.14.1. Vid bestämning av brandklassning av skott och durkar ska de utrymmen som dessa avskiljer först klassificeras enligt kategorierna 1 – 11 enligt nedan:

- 1) Kontrollstationer
- 2) Korridorer
- 3) Bostadsutrymmen
- 4) Trappor
- 5) Arbetsutrymmen med låg brandrisk
- 6) Maskinrum av kategori A
- 7) Andra maskineriutrymmen
- 8) Lastutrymmen
- 9) Arbetsutrymmen med hög brandrisk
- 10) Öppna däcksutrymmen
- 11) Roroutrymmen och fordonsutrymmen

Om det är ovisst vilken kategori ett utrymme tillhör ska det anses tillhöra den kategori som medför de strängaste kraven. Mindre utrymmen som är belägna inom större utrymmen ska anses vara separata utrymmen om öppningen mellan utrymmena är mindre än 30 procent av avgränsningens yta. Brandklassningen av alla skott och durkar ska vara lägst den som anges i tabell 9.5 (skott) och 9.6 (durk) i Regel 9 enligt ovan.

I Tabell 5.1 nedan redogörs för vilka brandzonerna är, vilken kategori de tillhör samt vilken beteckning de generellt har på ritningar och liknande. Besättningens hytter, mässen, byssan och kontrollrummet kommer att utgöra en brandcell tillsammans (den brandprojektering som möjliggör detta är oberoende av detta examensarbete och tas inte upp här).

Tabell 5.1 – Förteckning brandzoner

Brandzon	Kategori	Beteckning
Maskinrum	6	MR
Passage	4	T
Hytter/Mäss/Byssa/Kontrollrum	3/3/9/1	ACC/MESS/GALLEY/CR
LOX-tankar	9	LOXC
Torpeddurk	8	WSC

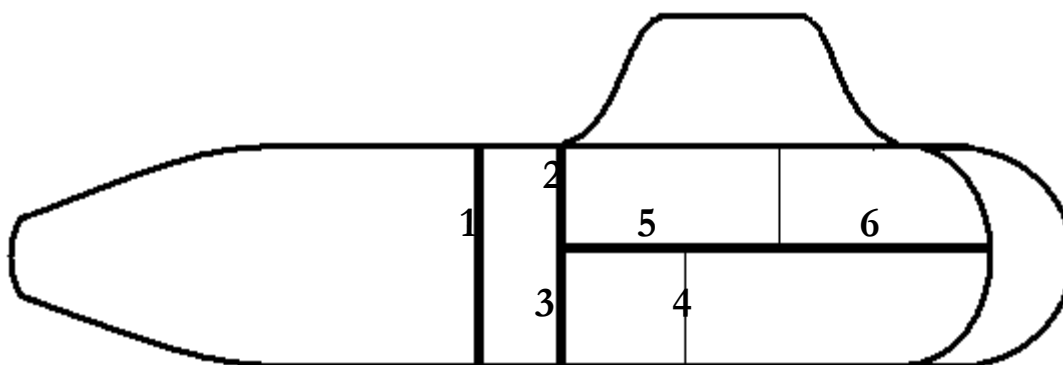
5.5 Preskriptiv klassning av brandzonsgränser

När brandcellerna identifierats och kategoriserats enligt Avsnitt 5.4 ovan så kan brandzonsgränserna emellan dem klassas enligt Tabell 9.5 (skott) och 9.6 (durk) i SJÖFS 2008:16, Regel 9. Brandzonsgränserna och dess brandklassning sammanfattas i Tabell 5.2 och Figur 5.3 nedan. Notera att Brandzonsgräns 2 och 3, mellan passagen och Hytter/Mäss/Byssa/Kontrollrum respektive LOX-tankarna, kommer att vara av klass A60. Detta för att Brandzonsgräns 5 och 6 är av klass A60, då brandzonen inte kan sluta i tomma intet måste den vika av antingen uppåt eller nedåt genom Brandzonsgräns 2 eller 3. Detta innebär att både Brandzonsgräns 2 och 3, det vill säga hela det förliga tryckfasta skottet i passagen, kommer att konstrueras till A60. Notera även att den preskriptiva klassningen som beskrivs i detta kapitel inte tar hänsyn till resultatet av riskanalysen.

Tabell 5.2 – Förteckning brandzonsgränser

Nr	Brandzonsgräns	Kategorier	Tabell	Brandklassning
1	MR \leftrightarrow T	6 \leftrightarrow 4	9.5	A60
2	T \leftrightarrow ACC etc.	4 \leftrightarrow 3/9/1	9.5	A0
3	T \leftrightarrow LOXC	4 \leftrightarrow 9	9.5	A0
4	LOXC \leftrightarrow WSC	9 \leftrightarrow 8	9.5	A0
5	ACC etc. \leftrightarrow LOXC	1 \leftrightarrow 9	9.6	A60
6	ACC etc. \leftrightarrow WSC	3/9/1 \leftrightarrow 8	9.6	A60

Det kommer även att konstrueras ett skott av klass A0 mellan Hytter/Mäss/Byssa och Kontrollrummet. Detta för att skapa en släckzonsgräns mellan två släckzoner som har olika typer av fasta släcksystem installerade (vattendimma i Hytter/Mäss/Byssa och gasformigt släckmedel i Kontrollrummet).



Figur 5.3 – Brandzoner och brandzonsgränser ombord A26. Grova streck visar skott/durk av klass A60 och tunna streck visar skott av klass A0.

6 Systembeskrivning

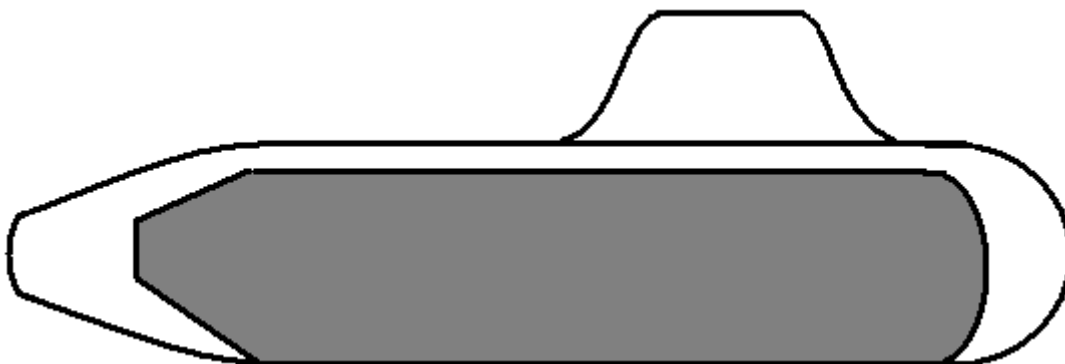
Som diskuterats i Kapitel 4 är nästa steg i riskanalysen avseende brandklassning av skott och durkar att göra en systembeskrivning. Systembeskrivningen av ubåten delas in i två delar: en strukturell och en dynamisk modell. Den strukturella modellen beskriver hur ubåten är konstruerad och uppbyggd rent fysiskt medan den dynamiska modellen beskriver ubåtens funktioner samt de system och komponenter som utgör dessa. Av naturliga skäl blir systembeskrivningarna relativt omfattande. I detta kapitel presenteras därför endast en sammanfattning av systembeskrivningarna som finns i sin helhet i Appendix C.

6.1 Strukturell modell

Ubåtens skrov är i huvudsak uppbyggt av ett tryckskrov och ett formskrov. Tryckskrovet är den del av fartygets skrov som är beräknat att motstå det yttre sjövattnetrycket ner till ett på förhand fastställt djup. Tryckskrovet visas som den skuggade delen i Figur 6.1 nedan. Tryckskrovet skall också motstå stötpåverkan från undervattensexlosioner och liknande.

Verkan av ett vatteninbrott kan begränsas genom att dela upp tryckskrovet i två eller flera tryckfasta avdelningar. Svenska ubåtar har generellt en arrangemangslösning med två tryckfasta avdelningar och mellanliggande sluss. Tryckfast skott mellan tryckfasta avdelningar skall dimensioneras så att räddning av instängd personal kan ske ned till kollapsdjupet minst en gång. Tryckskrovet innefattar också de tankar som ingår i dess struktur, exempelvis ballasttanken som fylls med vatten när ubåten ska dyka och trimtanken som möjliggör viktfordelning i längskeppsled (Försvarets materielverk, 2008).

Formskrovet ansluter till tryckskrovet och utgör i huvudsak ubåtens visuella form. Dess syfte är att ge en god hydrodynamisk form, omge och/eller bära utrustning placerad utanför tryckskrovet samt utgöra ett gångdäck för besättningen vid ytläge (Försvarets materielverk, 2008).



Figur 6.1 – Tryckskrov och formskrov

6.2 Dynamisk modell

Av naturliga skäl innefattar en ubåt en enormt stor mängd olika system och komponenter som möjliggör ett brett spektra av funktioner. Dessa funktioner innefattar allt från att dyka med ubåten, skjuta en torped, tända belysningen, manövrera ubåten och spola på toaletten. Att göra en komplett systembeskrivning är såväl komplicerat, som tidkrävande och anses inte tjäna syftet med detta examensarbete. Nedan görs istället en övergripande beskrivning av huvudsystemen ombord en ubåt med utgångspunkt i RMS-F och UKR. Viss vikt har lagts vid vilka system som kan komma att kopplas till det skyddsvärda (se Avsnitt 6.4).

Styr- och balanssystem

Med styr- och balanssystem avses system som reglerar ubåtens djup, kurs, trim och vikt. Såväl ordinarie-, reserv- som nödsystem för reglering av djup, kurs, trim och vikt betraktas som säkerhetskritiska system. Det skall vara möjligt för en ensam person att styra ubåtens kurs, djup och trim (Försvarmakten, 2006).

Länssystem

Ubåten länssystem ska kunna transportera vatten från alla kölar till ubåtens utsida, vid alla djup ner till det minsta kollapsdjupet. Länssystemet tömmer också tankar, främst ballasttankarna när ubåten ska inta ytläge (Kockums IV).

Viktreglersystem, Trimsystem och Dyksystem

Viktreglersystemet anpassar ubåtens vikt i uläge med avseende på exempelvis konsumtion av mat, vatten, bränsle och ammunition i förhållande till omkringliggande vattens densitet (Kockums IV). Trimsystemet möjliggör kontroll av ubåtens longitudinella balans i uläge. Dyksystemet ska säkerställa att ubåten på ett säkert sätt kan inta och bibehålla såväl ytläge som uläge (Försvarmakten, 2006).

Stabilitet, flytbarhet och manöveregenskaper

Ubåten skall ha en betryggande stabilitet i yt- och uläge samt i övergången däremellan (Försvarmakten, 2006).

Maskinanläggningar

Framdrivningsmaskineriet i en svensk ubåt består av ett antal stora och vitala komponenter. Vid framdrift i uläge drivs propellern av massiva batterier, som har en drifttid på ett par dagar men med hjälp av den luftberoende stirlingsmotorn blir drifttiden i uläge ett par veckor (Kockums IV). Batterierna laddas upp av dieselmotorer som även är det främsta systemet för framdrift i ytläge. Ubåtar med stirlingsmotorer kräver någon form av system för lagring och distribution av syre. Syre kan lagras som en kemisk förening, nerkylt i flytande form (LOX) eller som gas under högt tryck (Försvarets materielverk, 2008).

Övriga maskinsystem

Bland maskinsystem räknas även kylsystem, tryckluftsystem, ventilationssystem, oljesystem, säkerhetssystem och hushållningssystem av olika slag.

Elektriska installationer

Ombord ubåten finns en elektrisk *huvudkraftkälla* med tillräcklig kapacitet för att försörja alla elsystem vid normal drift. Med huvudkraftkälla avses dieselgeneratorer och/eller huvudbatterier och/eller annan kraftkälla med tillräcklig kapacitet.

Tillgänglig elektrisk nödkraft skall vara tillräcklig att försörja alla funktioner som är väsentliga för säkerheten i en nödsituation, med beaktande av de funktioner som kräver samtidig försörjning. Alla elektriska funktioner som är nödvändiga för att behålla ubåten i normal drift och under normala boendeförhållanden skall fungera utan hjälp av *nödkraftkälla* (Försvarmakten, 2006).

Vapensystem

De grundläggande kraven på förmåga hos en ubåt är att den ska kunna genomföra övervakningsuppdrag, offensiva aktioner mot ytfartyg och andra ubåtar, minläggningsuppdrag och självförsvar. För att klara dessa uppdrag kan ubåten utrustas med en mängd olika vapensystem så som torpeder, missiler, minor och motmedel samt system för att hantera, avfira och leda dessa (Kockums VI).

I ubåtens kontrollrum samverkar olika system för ledning av ubåten. Utöver vapensystemen finns här exempelvis kommunikations- och navigationssystem. Bland huvudfunktionerna för det totala ledningssystemet kan nämnas insamling av data, hotutvärdering, elledning, kommunikation med samverkande enheter och träningssimuleringar (Kockums VI).

Utrustning och system för nöd och räddning

Ubåten är utformad och utrustad så att tolerabel säkerhet för personal kan tillgodoses vid nödsituationer. Dimensionerande tid för ubåt i nöd i uläge är 7 dygn. Utrustning och system för ombordvarandes överlevnad skall minst dimensioneras för maximalt tillåtet antal personer ombord och skall medge överlevnad i varje avdelning, även om annan avdelning är oåtkomlig (Försvarmakten, 2006).

6.3 Systemsäkerhet

Handbok för systemsäkerhet – HSystSäk (Försvarmakten, 1996) innehåller Försvarmaktens interna föreskrifter och riktlinjer för bedrivande av systemsäkerhetsverksamhet avseende försvarmaktens olika system. Det övergripande ansvaret för att försvarmaktens system är tillräckligt säkra mot olyckor som skulle kunna skada människor, egendom eller miljö ligger på ÖB. Det är även ÖB:s ansvar att fastställa riktlinjer för vad Försvarmakten ska anse vara en tolerabel risknivå. Ett flertal olika lagar och förordningar ställer krav på de egenskaper ett system ska ha för att inte skada personal, egendom eller miljö. Exempel på dessa är Arbetsmiljölagen, Produktansvarslagen och Miljöskyddslagen. Systemsäkerhetskrav ska gälla för ett systems hela livslängd. Se Appendix D för utförligare beskrivning av Försvarmaktens systemsäkerhetsarbete.

6.4 Skyddsvärt

Medan den klassiska riskanalysen är inriktad mot att storleksbestämma risken, sätter en sårbarhetsanalys det skyddsvärda systemet i fokus. I stället för att ställa frågan om hur sannolikt det är att en riskkälla orsakar en vådahändelse och vilka konsekvenser detta kan ge upphov till, syftar sårbarhetsanalysen till att försöka identifiera vad som är skyddsvärt, vad som kan hota det skyddsvärda, vilka angreppspunkterna är och hur förmågan ser ut att stå emot och hantera olika former av påfrestningar. Sårbarhet betecknar hur mycket och hur allvarligt ett system påverkas av en händelse och graden av sårbarhet bestäms av förmågan att förutse, hantera, motstå och återhämta sig från händelsen. Medan riskanalysen betonar en riskkällas sannolikhet och potentiella konsekvenser av en vådahändelse, lyfter sårbarhetsanalysen även fram den förebyggande och skadereducerande förmågan hos ett system. En viktig koppling mellan de två analysformerna är att risker som identifierats vid riskanalysen kan användas som underlag för att bedöma ett objekts eller systems sårbarhet (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2009).

Det första steget i en sårbarhetsanalys är att kartlägga vad som är skyddsvärt. Med andra ord definieras det som är viktigt att skydda och avgränsningar av detta görs i system, tid och rum. För att definiera vad som är skyddsvärt ombord A26 utgås i detta examensarbete från huvudriskkällor. Vad som utgör huvudriskkällor ombord en ubåt bestäms av den konsekvens som en vådahändelse av riskkällan kan orsaka. För att en riskkälla skall klassas som en huvudriskkälla ombord en ubåt skall konsekvensen av riskkällans vådahändelse vara total förlust av ubåten och/eller många dödsfall, det vill säga en icke tolerabel konsekvens. Under systemsäkerhetsarbete vid utveckling av ny ubåt skall vådahändelser av huvudriskkällor enligt definitionen ovan alltid utgöra topphändelser vid analys (Försvarets materielverk, 2008). Nedan listas exempel på topphändelser som kan orsaka förlust av ubåt och/eller besättning:

- Förlust av strukturell styrka
- Förlust av stabilitet
- Förlust av förmåga att manövrera vertikalt
- Förlust av förmåga att utestänga sjövattnen
- Förlust av andningsbar atmosfär
- Fatal brand
- Fatal explosion

Med utgångspunkt i ovanstående lista väljs följande funktioner ombord ubåten som skyddsvärda:

1. Upprätthållande av strukturell styrka
2. Upprätthållande av stabilitet
3. Upprätthållande av förmåga att manövrera vertikalt
4. Upprätthållande av förmåga att utestänga sjövattnen
5. Bibehållande av andningsbar atmosfär
6. Undvikande av fatal brand och/eller fatal explosion

Med hänsyn till ubåtens syfte samt möjliga verksamhets- och användningsområden läggs följande skyddsvärda funktioner till listan:

7. Upprätthållande av kapacitet för självförsvar och motattack
8. Möjliggöra räddning av överlevande besättning från skadad/förlist ubåt

En återblick på Avsnitt 6.1 och 6.2, där en strukturell och en dynamisk modell av ubåten beskrivs, visar att huvuddelarna av dessa modeller representerar funktioner och system som används för att upprätthålla de skyddsvärda funktionerna ovan. Exempel på detta med motsvarande primära skyddsvärda funktioner inom () listas nedan:

- Tryckskrov och formskrov (1, 2, 3, 4, 8)
- Styr- och balanssystem (2, 3, 7)
- Länssystem (2, 3, 4, 8)
- Viktreglersystem, trimsystem och dyksystem (2, 3, 8)
- Stabilitet, flytbarhet och manöveregenskaper (2, 3, 7)
- Maskinanläggningar (3, 7)
- Övriga maskinsystem (3, 5, 6, 7, 8)
- Elektriska installationer (3, 5, 7, 8)
- Vapensystem (7)
- System för ledning och navigation (7)
- Utrustning och system för nöd och räddning (5, 8)

Att göra en fullständig risk och sårbarhetsanalys för hela ubåten inklusive samtliga av dess system och delsystem bedöms vara ett mycket omfattande och komplext arbete som kräver god ubåtskännedom såväl som övrig teknisk kompetens. Framförallt ligger en sådan fullständig analys utanför frågeställningen i detta examensarbete. En naturlig avgränsning är att inrikta riskanalysen mot riskkällor som kan föra med sig en vådahändelse i form av brand och/eller explosion.

6.5 Riskinventering

I detta avsnitt presenteras en förenklad riskinventering baserad på en brandteknisk analys som genomfördes inom projektet Viking (Kockums III). Inventeringen är uppdelad efter de olika avdelningarna ombord ubåten och för varje utrymme redogörs i en separat tabell för typ av brandbelastning, möjliga tändkällor och kritiska system inom utrymmet.

6.5.1 Maskinrum och hjälpmaskinrum

Statistiken som presenteras i Stycke 7.1.1 visar att bränder i maskinrum är klart dominerande avseende vilket utrymme som branden startat i. Maskinutrymmen blir högriskutrymmen av naturliga skäl då bland annat uppvärmt bränsle leds under högt tryck i rörledningar tätt intill heta ytor, elutrustning och andra tänkbara antändningskällor. Till detta kommer att det finns god lufttillförsel genom mekaniska fläktar till dessa utrymmen (för ubåtar gäller detta när dieselmotorerna körs, exempelvis under snorkling). Således finns goda förutsättningar för att brand skall uppstå i maskinrum och liknande utrymmen. En av de allra vanligaste orsakerna till brand i maskinrum är oljeläckage. Olja under högt tryck som genom vådahändelse sprutar mot heta ytor, generatorer eller annan elutrustning kan antändas. Det är därför nödvändigt att alla heta avgasrör och liknande är isolerade på ett fullgott sätt.

Andra förekommande brandorsaker i maskinrum är exempelvis varmgång, kolvar som skär, lager som går varma samt vevhusexplosioner. Det finns även en risk för självantändning av vissa material. Träsor, trassel och tågvirke tillverkat av naturfibrer som dränkts in med animala eller vegetabiliska oljor oxideras relativt snabbt, och om inte den värme som bildas vid oxidationen avleds kan självantändning ske. Ett grundligt och kontinuerligt genomfört underhåll samt skötsel av maskineri är en förutsättning för att kontrollera brandrisken i dessa utrymmen och minska riskerna för olyckor (Räddningsverket, 1994). Se Tabell 6.1-6.4 nedan för brandbelastning, tändkällor och kritiska system i MR & PMR, AMS 1 & 2 samt botten hull under AMS 2.

Tabell 6.1 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i MR & PMR

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Dieselmotorer	Varma ytor på avgassystemet	Batteriventilation
Kablar	Vätgasreduktion	Roderstyrning
Elskåp	Elkablar	Propellermotor
Smörjolja	Elektriska system	Framdrivningskonsol
Spillolja	LOX-system	Rör och ventiler för nödblåsning av ballasttankar
Hydraulolja		
Dagtank diesel och Stirling		
Hydraulolja		
Kolfilter		
Arbetsbänk		

Tabell 6.2 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i AMS 1

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Kablar	Elsystem	Viktkompensationssystem
Elskåp		Solid amine system
Hydraulsystem		Nödbatteri
Kolfilter		Kylvattensystem

Tabell 6.3 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i AMS 2

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Kablar	Elsystem	Hydraulpump för styrning
Elskåp	Kablar	
Hydraulpumpar		
Kolfilter		

Tabell 6.4 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i Bottom hull under AMS 2

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Smörjolja	Hydraulolja	–
Spillolja	Kablar	
Hydraulsystem		

6.5.2 Utrymmen för elektrisk utrustning

Kortslutning, för liten ledningsarea, felaktiga säkringar eller avsaknad av säkringar är vanliga brandorsaker på fartyg. Andra tänkbara orsaker är gnistbildning på grund av avskavd isolering på ledningar samt elektriska värmeelement placerade så att de kan komma i kontakt med brännbart material (Räddningsverket, 1994). Se Tabell 6.5-6.7 nedan för brandbelastning, tändkällor och kritiska system i ES 1, 2 & 3 samt EES.

Tabell 6.5 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i ES 1

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Hydraulsystem	Elsystem	–

Tabell 6.6 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i ES 2 & EES

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Kablar	Elsystem	Eventuellt
Elskåp		

Tabell 6.7 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i ES 3

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Kablar	Elsystem	Torpedmotmedel
Kemiska rökgranater		
Brännoljesystem		

6.5.3 Kontrollrum

I kontrollrummet trängs en stor mängd elektrisk utrustning, installationer, konsoler och system på en liten yta. Av alla utrymmen ombord finns här flest kritiska system men risken för brand utgörs nästan uteslutande av möjliga elfel, eventuellt i kombination med ledningar för hydraulolja och/eller bränsle. Samtidigt är kontrollrummet konstant bemannat så fort ubåten är i tjänst. Besättningen bör kunna upptäcka och bekämpa en eventuell brand i dess initialskede. Se Tabell 6.8 nedan för brandbelastning, tändkällor och kritiska system i CR.

Tabell 6.8 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i CR

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Kablar	Elsystem	Manöversystem
Elskåp		Kommunikationssystem
Hydraulsystem		Vapenledningssystem
Smörjolja		Nödkonsol
		Sonarsystem
		Stridsledningssystem
		Navigationssystem
		Optiska sensorer
		Nödbatteri

6.5.4 Övriga utrymmen

En stor skillnad mellan elektriska installationer ombord ubåtar och ytfartyg är kapacitet, syfte och användning av batterier. Ubåtars batterier har en mycket stor inneboende energimängd som kan utnyttjas i både ordinarie drift och nöd, till skillnad från ytfartygsgeneratorer som endast levererar energi då de är i drift (Försvarets materielverk, 2008). Vid framdrift i uläge kan propellern drivas av batterierna med en drifttid på ett par dagar (Kockums IV). Batteri med en kapacitet överstigande 20 kWh skall placeras i batterirum med mekanisk ventilation (Försvarmakten, 2006). Vid laddning av blybatterier utvecklas vätgas och om exempelvis ventilationen skulle stanna i ett sådant läge uppstår stor explosionsfara. Ombord ubåten finns utrustning för vätgasreduktion som genom en katalytisk process binder vätgasen som ventileras från batterirummen. Se Tabell 6.9 nedan för brandbelastning, tändkällor och kritiska system i BC.

Tabell 6.9 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i BC

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Oskyddade kablar	Elsystem	Batterier för framdrivning
Vätgas		
Plaströr		

Besättningens utrymmen i form av exempelvis byssa, mäss och hytter är direkt jämförbara med ytfartyg ur brandrisksynpunkt. Här finns inga kritiska system men mycket brännbart material. Se Tabell 6.10-6.11 nedan för brandbelastning, tändkällor och kritiska system i besättningsutrymmen.

Tabell 6.10 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i Galley

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Fett	Varma ytor	–
Förpackningar	Elektrisk utrustning	
Kolfilter		

Tabell 6.11 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i Cabin, Sanitary and Mess

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Textiler	Elsystem	–
Stoppning		
Träinredning		
Papper		

I WSC förvaras torpeder men utrymmet kan inte jämföras med ett vanligt lastutrymme på grund av ammunitionens inneboende explosiva karaktär. En av de största riskerna i WSC är den väteperoxid som används för torpedernas framdrivning i vattnet. Väteperoxid avger lätt syre och kan vid kontakt med organiska ämnen orsaka brand eller explosion. Risk för explosion finns också i slutna behållare som utsätts för hastig tryckökning. Väteperoxid sönderdelas mycket snabbt till syrgas och vatten vid kontakt med vissa metaller och deras salter (exempelvis järn, krom, koppar och bly) och kan även bilda giftiga och explosiva gaser (Swed Handling AB, 2006).

Väteperoxidångor kan antändas och det föreligger allvarig explosionsfara om ångorna utsätts för öppen eld. Ämnet kan även antända andra brännbara material, exempelvis kan kläder och skor som varit i kontakt med ämnet självantända (Swed Handling AB, 2006). Se Tabell 6.12 nedan för brandbelastning, tändkällor och kritiska system i WSC.

Tabell 6.12 – Brandbelastning, tändkällor och kritiska system i WSC

Brandbelastning	Tändkällor	Kritiska system
Transport av stridspetsar	Elsystem	Torpedtuber
Brännoljesystem	Väteperoxid	
Hydraulsystem		

6.6 Ubåtsolyckor

Det är svårt att ta fram officiell statistik över ubåtsolyckor och dess orsaker. De flesta länder tenderar av naturliga skäl att hålla uppgifter om försvarets verksamhet hemliga. Större katastrofer som innebär att en ubåt sjunker eller försvinner, alternativt att flera besättningsmän omkommer når oftast världspresen. Detaljer kring olyckan och dess orsaker kan dock förbli sekretessbelagda och i vissa fall okända. Olyckor och tillbud som inte innebär förlust av ubåten och bara några få skadade eller omkomna försvinner dock lätt ur statistiken. Den svenska ubåtsflottan är i sammanhanget relativt liten, ingen förlisning och endast ett fåtal allvarliga tillbud har till dags datum drabbat det svenska ubåtsvapnet.

Trots bristen på offentlig statistik går det ändå att bilda sig en uppfattning om hur många ubåtskatastrofer som skett i modern tid och vad som varit de vanligaste orsakerna bakom dessa. USA tog sin första moderna ubåt i tjänst år 1900 och sedan dess har cirka 800 ubåtar tjänstgjort i den amerikanska flottan. På dessa dryga 100 år har 28 allvarliga olyckor inträffat i fredstid med följande fördelning av orsak (Peacetime Submarine Accidents, 2009):

Förlisning	9
Kollision	6
Brand/explosion	6
Grundstötning	4
Vatteninträngning	2
Dykolycka	1

Storbritannien sjösatte sin första ubåt år 1901 och har på dessa dryga 100 år haft 25 allvarliga olyckor i fredstid med följande fördelning av orsak (Peacetime Submarine Accidents, 2009):

Förlisning/grundstötning	3
Kollision	10
Brand/explosion	8
Vatteninträngning	4

Frankrike har haft 7 allvarliga ubåtsolyckor (+ 1 reaktorincident) sedan andra världskrigets slut med följande fördelning av orsak (Peacetime Submarine Accidents, 2009):

Förlisning/grundstötning	4
Kollision	1
Brand/explosion	1
Vatteninträngning	1

Bland dessa totalt 60 ubåtsolyckor var 15 stycken (25 %) orsakade av brand eller explosion. Brandsäkerhetsarbetet ombord ubåtar innebär ett omfattande analysarbete med tanke på den stora mängd möjliga orsaker till en brand som finns närvarande. Rysslands ubåtsvapen har drabbats av tre allvarliga bränder sedan slutet av kalla kriget. Två av dessa orsakades av haveri i ett hydrauloljesystem medan den tredje branden uppkom i samband med reparation i ett elsystem (Kudrik et al, 1997).

6.7 Brandsäkerhet ombord ubåt

Brand ombord är en av de absolut största riskerna för en ubåt och dess besättning i såväl krig som kris och fredstid. I designen av brandsäkerhetssystemen (aktiva såväl som passiva) ombord ubåten prioriteras undvikandet av att brand bryter ut över huvud taget. Om detta misslyckas är nästa prioritet att förhindra att branden sprider sig, att minimera konsekvenserna av branden, samt att detektera, larma och slutligen släcka branden (Kockums IV). En annan stor risk för ubåten är explosioner. Vid laddning av blybatterierna utvecklas vätgas och om exempelvis fläktarna skulle stanna i ett sådant läge uppstår stor explosionsfara. Det bör inte heller glömmas bort att ubåten kan medföra stora mängder ammunition (Räddningsverket, 1994).

6.7.1 Förhindra uppkomst av brand

Att förhindra att brand bryter ut ombord ubåten är dels beroende av design, konstruktion och materialval och dels beroende på besättningens korrekta agerande. De största brandriskerna bedöms utgöras av elektrisk utrustning och utrustning som innehåller brandfarliga ämnen. För att minska risken för elbrand bör system konstrueras med minimal risk för kortslutning eller överbelastning. Förebyggande åtgärder kan bestå av exempelvis säkringar eller värmebrytare. Bränslebränder uppkommer främst i systemet som använder bränslet samt under förvaring eller förflyttning av bränslet mellan tankar och maskiner. Förebyggande åtgärder inkluderar robusta rörsystem och undvikande av att stora mängder brandfarlig vätska förångas i tankarna (Kockums IV).

6.7.2 Minimera konsekvenserna av brand

Den enklaste åtgärden för att minimera konsekvenserna av brand är att dela in ubåten i brandzoner och små brandsäkra utrymmen, exempelvis skåp. I händelse av brand ombord måste ubåten dels kunna ta sig till ytan för att bekämpa branden och ventileras ut brandrök och dels kunna ta sig tillbaka in till hamn. För att kunna genomföra detta är det vitalt att vissa funktioner och system kan hållas intakta även under brand. Exempel på dessa är:

- Bibehålla tryckskrovets integritet
- Användandet av djuproder och framdrivning för att ta sig till ytan
- Möjlighet att blåsa ballasttankarna för att ta sig till ytan
- Använda system för brandbekämpning
- Inte förse branden med ytterligare brännbara ämnen
- Förhindra att giftiga gaser sprider sig (Kockums IV)

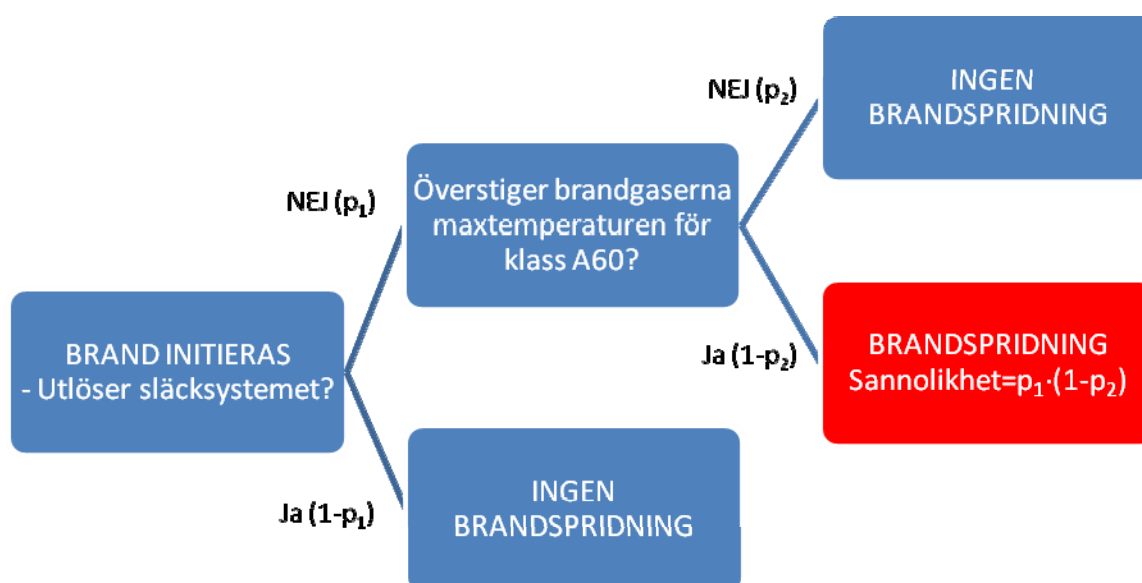
6.7.3 Detektion, larm och bekämpning

För att upptäcka och hantera en uppkommen brand är ubåten försedd med detektion och alarmering. Bekämpning av brand ombord kan ske antingen automatiskt eller manuellt. Automatisk brandbekämpning består av aktiva släcksystem. Ombord A26 kommer dessa troligtvis att utgöras av vattendimma och någon typ av gasformigt släckmedel. Besättningen står för den manuella brandbekämpningen och effektiviteten av denna är starkt förknippad med i vilket skede branden upptäcks. En brand som upptäcks i ett tidigt skede kan i bästa fall släckas av besättningen med hjälp av handbrandsläckare. Det finns även utrustning och utbildade rökdykare ombord som kan bekämpa en brand som hunnit växa sig större (Kockums IV).

Ubåten kan med sina elektriska motorer, omformare, huvudtavla och blybatterier betraktas som ett enda stort elektriskt ställverk. Detta innebär att vatten i många utrymmen inte kan användas som släckmedel. Dessutom innebär brandbekämpning med sjövatten en risk att sänka ubåten på grund av den ökade vikten, därtill finns det inget utrymme för att medföra vatten enbart avsett för brandbekämpning. Utöver utlösning av gasformigt släckmedel kan släckning eventuellt utföras med lättskum. Detta kan dock enbart ske i ytläge då övertrycket och brandröken måste ventileras bort för att få ut skummet. Det kan vara svårt eller omöjligt att lyckas med detta i praktiken. Ett alternativ kan vara att stänga alla luckor till brandrummet och även stoppa tilluften (Räddningsverket, 1994).

7 Analys

I detta kapitel jämförs de preskriptiva kraven på brandsektioneringar, det vill säga klass A60, med lägre krav: klass A30 respektive A15. Analysen genomförs med händelseträdsmetodik som utgår från bashändelsen att en brand har initierats. De parametrar som sedan påverkar händelseförloppet och utgången av varje sluthändelse är brandens placering, brandens storlek, om detektionssystemet utlöser, om manuell släckning lyckas och om släcksystemet utlöser. Ett förenklat händelseträd visas i Figur 7.1, det kompletta händelseträdet redovisas i Appendix G. Samma händelseförlopp utvärderas för de tre brandklassningsalternativen, och sedan jämförs sannolikheterna för brandspridning för att avgöra hur stor skillnaden i risk är mellan alternativen. Sannolikhetsbedömningarna för de olika parametrarna baseras dels på tillgänglig litteratur och statistik och dels på expertutlåtanden av olika slag. För att ta hänsyn till den osäkerhet som råder genomförs en intervallanalys kring samtliga parametrar.



Figur 7.1 – Förenklat händelseträd med brandklassning enligt de preskriptiva kraven, klass A60.

7.1 Intervallanalys

I följande stycken diskuteras parametrarna i analysen mer ingående och såväl kvalitativa som kvantitativa resonemang förs kring sannolikhetsbedömning och intervallanalys.

7.1.1 Brandutrymme

Som diskuterats i Avsnitt 6.6 är det svårt att ta fram officiell statistik över ubåtsolyckor och dess orsaker, dels beroende på att informationen ofta hålls hemlig och dels beroende på att det statistiska underlaget av naturliga orsaker i vilket fall är relativt magert. Trots ubåtars stora olikheter med yfartyg finns det ändå en hel del likheter som möjliggör jämförelser med dessa. Precis som ett passagerarfartyg eller ett lastfartyg har också ubåten maskinrum, byssa, mäss, hytter, utrymmen för elektrisk utrustning, förråd och så vidare. Med den bakgrunden bedöms det rimligt att använda internationell statistik över fartygsbränder för att få en fingervisning om brandriskerna ombord ubåtar.

Enligt statistik från Kustbevakningen (2008) startar 60 % av alla fartygsbränder i maskinrum eller inredningar medan cirka 25 % av fartygsbränderna startar i elektriska anläggningar, förråd och kök. Statistik som förs av the Institute of London Underwriters (ILU) visar att mellan 100-300 fartyg världen över skadas i bränder och/eller explosioner varje år. I genomsnitt 40 av dessa fartyg förloras totalt. Enligt ILU:s statistik utgör maskinrum och tillhörande områden det i särklass vanligaste startutrymmet för brand (knappt 50 % av bränderna). Lastutrymmen kommer på andra plats (men kan inte anses direkt tillämpbara på en ubåt) medan drygt 7 % av de studerade bränderna startade i elektriska installationer (Räddningsverket, 1994). De brandtillbud som har inträffat i svenska ubåtar de senaste 20 åren har varit i maskinutrymmen och elektriska installationer (Klingberg, 2009). Med detta som bakgrund bedöms det vara hög sannolikhet för brand i maskinutrymmen, medelstor sannolikhet för brand i utrustningsutrymmen, kök och elutrustningsutrymme, och låg sannolikhet för brand i övriga utrymmen, relativt varandra. Sannolikheterna har uppskattats enligt Tabell 7.1.

Tabell 7.1 – Sannolikhet för startutrymme givet att brand har uppstått

Utrymme	Sannolikhet
PMR	0.12
MR	0.12
AMS1	0.12
AMS2	0.12
BC1	0.12
ES1	0.06
ES2	0.06
ES3	0.06
EER	0.06
Galley	0.06
Bottom Hull	0.025
CR	0.025
Cabin, Sanitary and Mess	0.025
WSC	0.025
Summa	1.00

7.1.2 Storlek på brand

I de simuleringar som presenteras nedan är de dimensionerande bränderna så kallade ”värsta troliga” bränder. Långt ifrån alla bränder har dock potentialen att uppnå denna magnitud. Enligt Särndqvist och Holmstedt (2000) kan bränder i byggnader delas upp i tre kategorier. Till den första kategorin hör bränder där ett enstaka föremål brinner. Branden sprider sig inte från föremålet och täcker ofta samma yta när den detekteras som när den släcks. Detta kan bero på att avståndet mellan startföremålet och annat brännbart material är för stort för att branden ska sprida sig.

Även om det finns risk för brandspridning kommer många av bränderna, om de inte släcks, att slockna på grund av att bränslet tar slut. Cirka 50 % av alla bränder i byggnader hör till denna kategori. Till den andra kategorin hör bränder som täcker en yta från cirka 1 m² upp till storleksordningen 50 m². Hit hör bränder som sprider sig över en mer än tio gånger så stor yta som när den detekterats. Denna typ utgör cirka 30 % av alla bränder. Den tredje kategorin utgörs av de största bränderna som hunnit växa sig så stora att de inte kan släckas offensivt med räddningstjänstens tillgängliga metoder. Även om detta inte är direkt överförbart till ubåtsbränder ligger det, tillsammans med expertbedömningar (Klingberg, 2009) till grund för antagandena i detta examensarbete. Bränderna delas upp i tre kategorier:

1. Enstaka föremål som självslocknar, representeras av en brand på 100 kW, sannolikhetsintervall mellan 60-80 %.
2. Bränder begränsade till startföremålet, representeras av en brand på 500 kW, sannolikhetsintervall mellan 15-30 %.
3. Bränder som omfattar ett helt utrymme, representeras av en brand på 2000 kW, sannolikhetsintervall mellan 1-5 %.

7.1.3 Tillförlitlighet detektionssystem och utrymningslarm

Med fungerande larm avses kombination av rökdetektor, branddator och utrymningslarm. Tillförlitligheten hos ett brandlarmssystem kan uppskattas till 85 %, 92 % eller 97 % beroende på servicenivån (Johansson, 1999). Moderna detektorer som testas kontinuerligt under drift har visats ha en väldigt hög tillförlitlighet, upp till 99,999977 %. Det är dock osäkert om dessa system löper större sannolikhet att drabbas av fel på andra ställen än i detektorerna, och dessutom är det osäkert vilket system som kommer att användas ombord A26. Därför sätts sannolikheten för fungerande detektionssystem och utrymningslarm till intervallet 92-97 %, efter de två högre servicenivåerna enligt Johansson (1999), eftersom servicenivån är hög ombord ubåtar.

7.1.4 Sannolikhet att besättningen släcker en brand

För att få en uppfattning om hur sannolikt det är att besättningen släcker en brand görs jämförelser med statistik från vanliga byggnader. Sannolikheten för att personalen släcker en brand i olika typer av vårdbyggnader uppskattas till 66-77 % (Johansson, 1999). Det kommenteras dock att detta inte bara behöver bero på att personalen i vårdbyggnader är bättre tränad för att släcka bränder, utan kan också bero på andra orsaker, exempelvis att bränslet tar slut eller att ett sprinklersystem släcker branden. I analysen görs dock bedömningen att den vanligaste anledningen till att bränder inte blir okontrollerbart stora är att personalen släcker dem.

Besättningen ombord en ubåt finns alltid nära till hands och har utbildning och regelbunden träning för brandbekämpning. Under en veckas drift utförs minst två övningar. Handbrandsläckare finns strategiskt utplacerade i hela ubåten, och maximal insatstid är mellan 1/2-1 minut. Besättningen går alltid rond ombord minst var 45e minut, vid dieseldrift påbörjas rond minst var 20e minut. Med detta i åtanke borde sannolikheten för att besättningen lyckas släcka en brand vara minst lika hög som för att personalen i vårdbyggnader släcker en brand. De senaste 20 åren har mindre än fem brandtillbud inträffat ombord svenska ubåtar. Samtliga kunde släckas med handbrandsläckare, med undantag för branden på HMS Neptun, där en kortslutning i batterierna medförde att släckning med halonsystemet misslyckades och att hela akterskeppet brann (Klingberg, 2009). Då sannolikheten för en lyckad insats ökar ju tidigare den påbörjas, är denna starkt sammanlänkad med att detektionssystem och utrymningslarm fungerar. Förutsatt att detektionssystem och utrymningslarm fungerar sätts sannolikheten till intervallet 70-90 %. Om detektionssystem och utrymningslarm inte fungerar antas intervallet till 20-40 %.

7.1.5 Tillförlitlighet släcksystem

Enligt en sammanställning av tillgänglig statistik är tillförlitligheten för automatiska sprinklersystem från de flesta källor runt 90 % (Malm & Pettersson, 2008). Den högsta tillförlitligheten som anges är 99,5 %. Enligt Hall (2007) är tillförlitligheten för släcksystem med koldioxid samma som för sprinkler (90 % för aktivering och släckning), medan det statistiska underlaget för andra släcksystem med exempelvis halon eller halonersättningsmedel är för litet för att ge en rättvis uppskattning. Tillgänglig statistik pekar alltså på att tillförlitligheten för gassläcksystem, som har ett mindre statistiskt underlag än sprinklersystem, är i samma storleksordning som tillförlitligheten för sprinklersystem. Tillförlitligheten för släcksystemen ombord A26, som kommer utgöras av någon form av gassläcksystem och/eller vattendimma, antas därför ligga i intervallet 90-99,5 % med utgångspunkt från sprinklerstatistiken. Det höga intervallet sätts eftersom tillsyn och underhåll av systemet sker med kortare intervall ombord en ubåt jämfört med i byggnader.

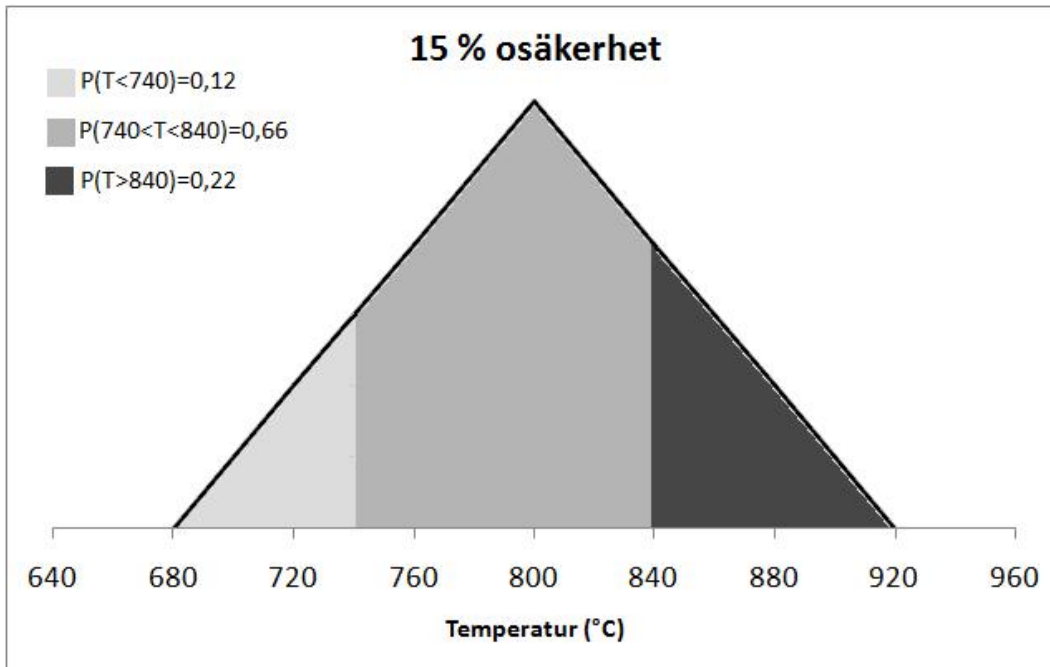
7.1.6 Konsekvens

Som sluthändelse redovisas sannolikheten för brandspridning, vilket antas ske då temperaturen på brandgaserna överskrider de maxtemperaturer som brandklassning A15, A30 respektive A60 är testade för (cirka 740°C, 840°C respektive 945°C). Att dessa temperaturer uppnås behöver inte betyda att branden omedelbart sprider sig till intilliggande utrymme så att skyddsvärda system kommer till skada eller att besättning avlider. Därmed är det svårt att kvantifiera risken som individrisk, samhällrisk eller förväntad kostnad. Därför görs det förenklade antagandet att brandspridning sker vid dessa temperaturer, och eftersom konsekvenserna av detta rimligtvis borde vara desamma oavsett brandklassning jämförs istället sannolikheterna för att brandspridning sker.

Temperaturerna är uppskattade utifrån en omfattande CFD-analys (Computational Fluid Dynamics) som gjordes för projektet Viking (Kockums III). Simuleringarna gjordes i programmet FDS4 (Fire Dynamics Simulator). Trots att en del förändringar har gjorts sedan projektet övergick till A26 är geometrin och brandbelastningen praktiskt taget densamma, varför dessa resultat anses vara giltiga. Simuleringar har gjorts för scenarier där släcksystem antas begränsa och släcka branden, samt för scenarier där branden tillåts fortgå obehindrat. För simuleringar där branden begränsas och släcks uppgår temperaturen aldrig till några kritiska värden för det strukturella brandskyddet. För simuleringar där branden tillåts fortgå obehindrat blir branden syrekontrollerad efter 2-4 minuter, och temperaturen hamnar i intervallet 450-900 °C, se Tabell 7.2. Detta motsvarar bränder av kategori 3. Kategori 1-bränderna kan jämföras med de simuleringar där branden begränsas och släcks, där inga kritiska temperaturer uppnås. Eftersom inga CFD-simuleringar gjorts för bränder av kategori 2 baseras dessa på en jämförelse med 2-zonsmodellering som redovisas i Appendix E. Resultatet av denna är att det inte bedöms finnas någon risk för att brandgastemperaturerna överskrider gränsvärdena för brandspridning för bränder av kategori 2. Risk för brandspridning finns alltså endast för bränder av kategori 3.

CFD-simuleringar medför ett antal osäkerheter, såväl på grund av modellen i sig som av användarens antaganden. Detta bör särskilt beaktas vid underventilerade bränder. Jämförelser med experiment har visat att FDS förutser temperaturer med en avvikelse på som mest 25 % (Holmstedt et al, 2008). Det bör påpekas att FDS tenderade att överskatta temperaturen jämfört med experimenten, men eftersom detta inte är helt fastställt och då det även finns stora osäkerheter i experimenten sätts ett temperaturintervall på $\pm 10-15$ % av det simulerade värdet.

Sannolikhetsfördelningen av temperaturvariationen antas likna en triangel-fördelning, med det simulerade värdet som mest troligt, se Figur 7.2. Om simuleringen gett en maxtemperatur på 800°C, ges sannolikheten att temperaturen i verkligheten skulle överstiga 740°C intervallet 0,88-0,97. På samma sätt ges sannolikheten att temperaturen skulle överstiga 840°C intervallet 0,13-0,22, medan sannolikheten att temperaturen skulle överstiga 945°C sätts till 0. Uträkningar av sannolikheter för triangel-fördelningarna redovisas i Appendix F.



Figur 7.2 – Triangel-fördelning av sannolikhet för temperaturvariation

Tabell 7.2 – Sannolikheter för temperaturvariation

Utrymme	T Simulering °C	$p(T > 740)$	$p(T > 840)$	$p(T > 945)$
PMR	450	0	0	0
MR	450	0	0	0
AMS1	650	0-0.003	0	0
AMS2	800	0.88-0.97	0.13-0.22	0
BC	500	0	0	0
ES1	700	0.09-0.19	0	0
ES2	700	0.09-0.19	0	0
ES3	400	0	0	0
Galley	650	0-0.003	0	0
EER	700	0.09-0.19	0	0
Bottom Hull	250	0	0	0
CR	600	0	0	0
Cabin, Sanitary and Mess	900	1	0.85-0.94	0.13-0.22
WSC	550	0	0	0

7.2 Resultat

Händelseträdsanalysen utgår från bashändelsen att en brand har initierats. Eftersom syftet med denna analys är att jämföra olika brandklassningar på sektioneringen spelar brandfrekvensen i realiteten inte någon roll, då denna kommer att vara samma oavsett vilket alternativ som väljs. Då samma parametrar ingår i analysen av samtliga utrymmen kommer alla händelseträdd att ha identisk form där endast sannolikheterna skiljer sig. Därav presenteras resultaten för endast ett utrymme (AMS 2) som ett komplett händelseträd i grafisk form för att illustrera problemställningen, se Appendix G. Händelseträden för de övriga utrymmena ser alltså likadana ut, fast med andra sannolikheter för konsekvenserna enligt Tabell 7.2 ovan. De händelsekedjor som kan orsaka oönskad konsekvens är att en brand av kategori 3 inte släcks manuellt eller av de fasta släcksystemen. Sannolikheten för brandspridning redovisas i Tabell 7.3 nedan, beroende på om klass A15, A30 eller A60 väljs. Fullständig beräkningsgång redovisas i Appendix H.

Tabell 7.3 – Sannolikhet för brandspridning

Klassning	A15	A30	A60	Skillnad A60 vs A30	Skillnad A60 vs A15
Högsta värde	$3 \cdot 10^{-4}$	$8.5 \cdot 10^{-5}$	$9.4 \cdot 10^{-6}$	$7.6 \cdot 10^{-5}$	$2.9 \cdot 10^{-4}$
Lägsta värde	$8.4 \cdot 10^{-7}$	$2.1 \cdot 10^{-7}$	$1.9 \cdot 10^{-8}$	$1.9 \cdot 10^{-7}$	$6.5 \cdot 10^{-7}$
Väntevärde	$5.8 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$5.6 \cdot 10^{-5}$

Eftersom sluthändelsen beror av flera variabler med relativt stora osäkerheter blir intervallet mellan högsta och lägsta värde ganska stort. De stora osäkerheterna påverkar dock resultatet oavsett vilken brandklassning som väljs. Om till exempel sannolikheten för fungerande detektionssystem får ett högre värde, medför detta en minskad sannolikhet för oönskad konsekvens oavsett om klass A15 eller A60 väljs. Därför används väntevärdet i den fortsatta diskussionen.

Skillnaden i sannolikhet för brandspridning mellan klassning A60 och A15 är $5.6 \cdot 10^{-5}$, vilket kan tolkas på följande vis: Om det uppstår 100 000 bränder utgör klass A60 ett bättre skydd än klass A15 vid 5,6 av dessa. Klass A15 är tillräckligt för att stå emot 99 994,2 av bränderna medan klass A60 är tillräckligt för att stå emot 99 999,8 av bränderna. Skillnaden mellan klass A60 och klass A30 är 1,4 bränder av 100 000. Skillnaden mellan de tre klasserna är alltså relativt liten, speciellt med hänsyn till den låga brandfrekvensen ombord ubåtar.

8 Riskvärdering

För att sätta resultaten från riskanalysen i ett sammanhang görs i detta kapitel en riskvärdering enligt två olika principer, dels genom ett kvalitativt resonemang och dels genom att fastställa acceptanskriterier att jämföra den beräknade risken med.

8.1 Kvalitativt resonemang

Följande diskussion är en jämförelse mellan en ubåt helt konstruerad enligt de preskriptiva reglerna och en ubåt med alternativ brandteknisk design, vilket i detta fall innebär en lägre brandklassning. Det är viktigt att påpeka att ekvivalent säkerhet inte kan uppnås med en lägre brandklassning. Däremot kan det argumenteras för varför den lägre brandklassningen skulle kunna vara tillräcklig för ett tillfredställande brandskydd. Grundförutsättningen för jämförelsen är att ubåtarna är helt identiska bortsett från klassningen av skott och durk. Detta innebär alltså att sannolikheten för att brand ska uppstå är lika stor, sannolikheten för att den uppstår i ett specifikt utrymme är lika stor, samt att sannolikheten för att skyddsvärda system i startutrymmet kommer till skada är lika stor.

I Kapitel 7 visades att skillnaden i sannolikhet för brandspridning mellan klassning A60 och A15 är $5,6 \cdot 10^{-5}$. Detta innebär att om 100 000 bränder uppstår, utgör klass A60 ett bättre skydd än klass A15 vid 5,6 av dessa. Klass A15 är tillräckligt för att stå emot 99 994,2 av bränderna medan klass A60 är tillräckligt för att stå emot 99 999,8 av bränderna. Skillnaden mellan klasserna är alltså relativt liten, speciellt med hänsyn till den låga brandfrekvensen ombord ubåtar.

I Avsnitt 6.4 gjordes en översiktlig kartläggning över vad som är skyddsvärt ombord ubåten. Som utgångspunkt för att definiera det skyddsvärda användes ubåtens huvudriskkällor, det vill säga riskkällor för vilka konsekvensen av riskkällans vådahändelse kan innebära total förlust av ubåten och/eller många dödsfall. Med utgångspunkt i detta valdes följande funktioner ombord ubåten som skyddsvärda:

1. Upprätthållande av strukturell styrka
2. Upprätthållande av stabilitet
3. Upprätthållande av förmåga att manövrera vertikalt
4. Upprätthållande av förmåga att utestänga sjövattnet
5. Bibehållande av andningsbar atmosfär
6. Undvikande av fatal brand och/eller fatal explosion
7. Upprätthållande av kapacitet för självförsvar och motattack
8. Möjliggöra räddning av överlevande besättning från skadad/förlist ubåt

En återblick på den strukturella och den dynamiska modellen för ubåten, visar att huvuddelarna av dessa modeller representerar funktioner och system som används för att upprätthålla de skyddsvärda funktionerna ovan. Vidare visar riskinventeringen i Avsnitt 6.5 att i princip samtliga utrymmen ombord innehåller ett eller flera av dessa kritiska/skyddsvärda system.

Det bör beaktas att syftet med det strukturella brandskyddet är att förhindra en brand från att sprida sig från den brandzon där branden initieras. Sålunda påverkar funktionen av det strukturella brandskyddet samtliga skyddsvärda funktioner 1-8 ovan genom att skydda säkerhetskritisk utrustning, dock endast så länge den befinner sig i angränsande brandzoner. Med detta som bakgrund bör det diskuteras om det finns andra brandtekniska åtgärder som kan påverka risken för total förlust av ubåten och/eller många dödsfall mer än det strukturella brandskyddet. Med utgångspunkt i frågeställningen för detta examensarbete diskuteras här endast brandtekniska åtgärder, det bör dock påpekas att det troligtvis finns en stor mängd ubåtstekniska åtgärder som på andra sätt kan påverka riskbilden ombord ubåten. Nedan listas exempel på övriga brandtekniska åtgärder:

- Detektionssystemet kan förbättras för att öka sannolikheten för att en brand upptäcks och kan bekämpas innan den spridit sig från startföremålet. Exempel på detta är att installera fler detektorer som sitter tätare. Olika typer av detektorer (exempelvis rök-, flam- och samplande detektorer) kan användas i olika utrymmen beroende på vilket alternativ som är mest optimalt för just det utrymmet.
- Utöver brandsläckare och rumsskydd i form av fasta släcksystem kan särskilt kritiska komponenter och system förses med punktskydd. Exempel på detta kan vara ett litet separat automatiskt släcksystem i ett elskåp eller i en konsol. På samma sätt kan extra detektorer placeras i särskilt avskilda utrymmen eller utrymmen med förhöjd risk.
- Tätare kontroller, underhåll och övningar kan bidra till att öka tillförlitligheten i systemet.

En viktig aspekt av resultatet från riskanalysen är att brand i AMS 2 bidrar till 2/3 av den totala risken för fatal brand. AMS 2 är lokaliserat i akterskeppet tillsammans med bland annat MR och PMR. Alla dessa utrymmen tillhör den högsta nivån avseende sannolikt startutrymme för brand. Om både besättningen och de aktiva släcksystemen misslyckas med att släcka en brand i akterskeppet kan besättningen ändå med stor sannolikhet sätta sig i skydd i förskeppet. För att branden ska sprida sig till förskeppet måste den först ta sig igenom slussen vilket innebär två tryckfasta, brandklassade skott med minst en meter luftspalt och minimalt med brännbart material emellan. Detta resonemang gäller givetvis även för brandspridning från förskeppet till akterskeppet.

8.2 Riskvärdering efter acceptanskriterier

Ett annat sätt att bedöma resultatet och värdera risken som fastställs i en riskanalys är att sätta upp någon typ av kriterier att utvärdera resultaten mot. Acceptanskriterier bör fastställas oberoende av den faktiska riskanalysen (Vanema et al, 2008). Det finns många olika sätt att fastställa acceptanskriterier på, vanligtvis genom jämförelser av olika slag så som med andra risker, naturrelaterade risker, risker vi normalt accepterar och tidigare beslut (Skjong, 2002). Meningen med acceptanskriterier är att de ska definiera vad som är en acceptabel nivå på säkerhet och samtidigt svara på frågor som: hur säkert är tillräckligt säkert (Kourmatzis, 2000)? Ett sätt att ange acceptanskriterier är att säga att ”risken för en besättningsman att omkomma får inte vara högre än 10^{-x} per år”. Ett vanligt krav inom fartygs- och offshoreindustrin är dock att acceptanskriterier ska användas tillsammans med den så kallade ALARP-principen (As Low As Reasonably Practicable). Generellt innebär användandet av ALARP-principen beslutssituationer som är mer komplexa och som involverar såväl ledningen som den tekniska expertisen för att hitta optimerade lösningar (Aven et al, 2006). Vid riskvärderingar för fartyg kan såväl individrisk som samhällsrisk användas. Individrisken speglar en besättningsmans riskexponering under ett år medan samhällsrisken även tar hänsyn till hela besättningen, besättning på andra fartyg, eventuella passagerare och människor som befinner sig i land (Vanema et al, 2008).

8.2.1 ALARP

ALARP står för "as low as reasonably practicable" och innebär i kort att väga risken mot de uppoftningar, tid och pengar som krävs för att kontrollera den. Således beskriver ALARP den förväntade nivå som exempelvis arbetsplatsrisker kontrolleras på. Användandet av ALARP möjliggör målstyrning av riskhanteringsarbetet jämfört med ett strikt preskriptivt förfarande.

"Reasonably practicable" är ett mer komplext begrepp än exempelvis "physically possible" men i grund och botten handlar ALARP om att väga risken mot de uppoftningar som krävs för att ytterligare minska den. Exempelvis om kostnaderna för en åtgärd är mycket höga medan den minskar risken endast marginellt är det troligt att risken redan är ALARP och ytterligare förbättringar inte är motiverade. Under andra omständigheter kan förbättringar som är relativt enkla och billiga att genomföra innebära en betydande riskbegränsning (HSE, 2009).

I många fall kan ett beslut nås utan ytterligare analys. Men det finns vissa fall (ofta i högriskindustrier eller vid ny teknik med potentiellt allvarliga konsekvenser) där situationen är otydligare och en mer detaljerad jämförelse krävs. Svårigheten är att risk och uppoftningar vanligtvis inte mäts i samma enheter. I dessa fall kan en kostnadsnyttoanalys (CBA) ge ytterligare insikter. I en CBA konverteras både risk och uppoftningar till en gemensam enhet (pengar) så att de kan jämföras. Principen med ALARP säger att åtgärden måste införas, så länge inte uppoftningen är grovt oproportionerlig i förhållande till risken. Hur mycket kostnaderna kan uppväga fördelarna innan de bedöms grovt oproportionerliga beror på faktorer som hur stor risken är från början (HSE, 2009).

Genom att tillämpa ALARP-principen i riskvärderingen delar acceptanskriterierna in risknivån i tre olika områden: oacceptabel, ALARP och försumbar. Risker som hamnar inom ALARP-regionen kan minskas med åtgärder som först utvärderas enligt CBA. Denna metod rekommenderas av IMO vid riskvärdering på fartyg. Följande exempel är hämtat från en riskanalys som genomförts för fartyg som fraktar kondenserad naturgas och visar individrisken för en besättningsmedlem (Vanema et al, 2008):

Oacceptabel risk per år	$>10^{-3}$
ALARP-område	$10^{-6}-10^{-3}$
Försumbar risk per år	$<10^{-6}$

Resultatet av en riskanalys som värderas enligt ALARP visar vilken potential det finns för riskreduktion. Det finns flertalet olika metoder för att mäta och genomföra CBA, exempelvis rekommenderar IMO att bruttokostnaden och nettokostnaden för att rädda ett liv beräknas enligt ekvationerna 1 & 2 nedan där BK = bruttokostnad, NK = nettokostnad, ΔC = kostnad, ΔR = riskförändring och ΔB = ekonomisk vinning genom att införa åtgärd. IMO föreslår att åtgärder ska införas om BK eller NK understiger 3 miljoner US\$ (Vanema et al, 2008). För att genomföra dessa beräkningar krävs dock en betydligt djupare och mer tidskrävande studie än vad som bedöms rymmas inom frågeställningen i detta examensarbete.

$$BK = \frac{\Delta C}{\Delta R} \quad (1)$$

$$NK = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R} \quad (2)$$

8.2.2 Värdering av brandrisken ombord A26

För att värdera risken för fatal brand ombord A26 som beräknats enligt Kapitel 7 jämförs denna med acceptanskriterier som FMV tillämpat på tidigare svenska ubåtar. Detta kombineras med ALARP-principen som bedöms vara mycket användbar för den aktuella frågeställningen kring nivå på strukturellt brandskydd. Som diskuterats i analysen innebär en brand som överskrider maxtemperaturen inte definitivt att skyddsvärda system i intilliggande utrymmen kommer till skada eller att besättning skadas eller avlider. Att maxtemperaturen överskrids är dock en oönskad konsekvens med potential för katastrof ombord en ubåt. För riskvärderingen görs det förenklade antagandet att en brand som överskrider maxtemperaturen för skottet/durken kommer att spridas till intilliggande brandzon *och* innebära att en eller flera besättningsmedlemmar dör (antingen som direkt konsekvens av branden eller till följd av att säkerhetskritisk utrustning skadas). Enligt ovanstående resonemang anses detta antagande vara konservativt.

Det finns i dagsläget inga fastställda acceptanskriterier för projektet A26, därav tillämpas här de acceptanskriterier som Försvarmakten satte upp för ubåt typ Gotland och ubåt typ Södermanland (Försvarmakten, 2002). Försvarmakten ställer upp separata acceptanskriterier för personskada, egendomsskada och miljöskada. Miljöskador anses ligga utanför frågeställningen i detta examensarbete. Se Appendix I för fullständiga riskmatriser. För personskada används här allvarlighetsgraden *katastrof* och för egendomsskada används allvarlighetsgraden *systemförlust*. Detta ger:

Oacceptabel risk per år	$\geq 10^{-3}$
Försumbar risk per år	$< 10^{-3}$

Detta kan jämföras med DNV:s krav och IMO:s förslag på acceptanskriterier för individrisk som anger samma gräns för vad som är en oacceptabel risk men som även anger ett ALARP-område (Kourmatzis, 2000)(Skjong, 2002):

Oacceptabel risk per år	$> 10^{-3}$
ALARP-område	$10^{-6} - 10^{-3}$
Försumbar risk per år	$< 10^{-6}$

Resultatet kan även jämföras med en studie på brittiska krigsfartyg som visar att individrisken för en besättningsman i Royal Navy är $4 \cdot 10^{-5}$ per år vilket anses som acceptabelt (Bain & Dobson, 2008).

Enligt riskanalysen i detta examensarbete är sannolikheten för brandspridning, givet att brand uppstår, $5,8 \cdot 10^{-5}$ (väntevärde) om klass A15 väljs. Om brandfrekvensen ombord *en* ubåt antas vara $0,1 \text{ år}^{-1}$, vilket är rimligt med tanke på att *totalt* fem tillbud inträffat ombord svenska ubåtar de senaste 20 åren, blir frekvensen för brandspridning ungefär $5,8 \cdot 10^{-6} \text{ år}^{-1}$, vilket skulle anses som tolerabelt för ubåt typ Gotland och Södermanland, samt hamna inom ALARP-området enligt DNV och IMO. Detta gäller för väntevärdet i intervallanalysen. Enligt det värsta tänkbara fallet i intervallanalysen är sannolikheten för brandspridning, givet att brand uppstår, $3 \cdot 10^{-4}$, vilket motsvarar frekvensen $3 \cdot 10^{-5} \text{ år}^{-1}$. Även denna frekvens anses som tolerabel för ubåt typ Gotland och Södermanland, samt hamnar inom ALARP-området enligt DNV och IMO. Om brandspridning, som definierat i detta examensarbete, omedelbart leder till att besättningen avlider, hamnar individrisken i ungefär samma storleksgrad som i Royal Navy. När resultaten från detta examensarbete jämförs med acceptanskriterier för risk bör det påpekas att brand inte är den enda risken ombord en ubåt, och att samtliga risker vid summering skall hamna i det acceptabla området. Brand är dock den absolut största risken, följd av vatteninträngning. I det här fallet anses det passiva brandskyddet vara tillfredsställande eftersom frekvensen för brandspridning

hamnar inom dessa acceptanskriterier med god marginal om klass A15 väljs. Exempelvis befinner sig risken inom det acceptabla området även om den dubblas. För slutsatser och vidare diskussion, se Kapitel 13.

Flexibla brandtätningar

9 Metod

Det övergripande syftet med denna del av examensarbetet är att fastställa vilka krav som är rimliga att ställa på flexibla brandtätningar mellan konstruktionselement ombord ubåten. Målet är att ta reda på om det finns någon produkt/material på marknaden idag som uppfyller dessa krav. Om flera lämpliga produkter identifieras måste det avgöras vilken som utgör det bästa alternativet för den aktuella applikationen.

9.1 Konstruktion

Det första steget är att skapa en grundläggande förståelse för den designfilosofi som Kockums AB utgår ifrån vid konstruktion av ubåtar och vilka funktionskrav som ställs på ubåten när den är i tjänst. Tyngdpunkten läggs på att definiera begreppen *stöttålighet* och *bullersignatur*, vilka är de funktionskrav som ligger till grund för problemställningen. Konstruktionskapitlet redogör även för var de flexibla brandtätningarna ska placeras samt vilka förväntade svårigheter som kan komma att påverka produktsökningen.

9.1.1 Prestanda

Den viktigaste delen i kapitlet om konstruktion är att fastställa vilka krav som är rimliga att ställa på de flexibla brandtätningarna. I sökandet efter lämpliga befintliga produkter på marknaden måste dessa initialt nå upp till en definierad minsta nivå på prestanda för att komma ifråga. Attribut för att bedöma produkternas förutsättningar att användas i applikationen har tagits fram dels ur de regler och föreskrifter som presenteras i Kapitel 2 och dels genom funktionsbaserade resonemang. Totalt definieras tolv olika attribut, exempel på dessa är flexibilitet, isolering, täthet, inköpspris och livslängd.

9.2 Produktsökning

Efter det att kraven på prestanda fastställts enligt ovan inleddes produktsökningen med sökningar via Internet, där svar söktes på bland annat följande delfrågor:

- Vad finns på marknaden idag avseende flexibla brandtätningar? Finns det exempel på tillämpningar i marina konstruktioner?
- Vilka svårigheter finns med dessa produkter (exempelvis pris, installation, tillgänglighet, klassning för marint bruk)?

Efter en omfattande genomgång av marknaden fokuserades den fortsatta sökningen på två huvudkoncept som bedömdes som tänkbara alternativ: sandwichelement av höglastiskt skum och brandsäkra dukar av olika gummi- eller kompositmaterial. Detta följdes av att kontakt etablerades med de företag som stod bakom dessa produkter. Efter att djupare kunskap inhämtats valdes fyra olika produkter ut till slutvärderingen. De fyra produkterna presenteras utförligt i slutet av Kapitel 11.

9.3 Produktval

De flexibla brandtätningarna bedöms utgöra en relativt enkel komponent ombord ubåten, med flera tydligt definierade och önskvärda attribut men där de olika attributen inte är av lika stor vikt för ett optimerat val. Därför används en metod baserad på viktat urval för att rangordna resultaten ur produktsökningen. Huvudkonceptet är att metoden inkluderar samtliga attribut i jämförelsen men tar hänsyn till hur viktigt attributet i sig är för applikationen. Ett lågt pris ska exempelvis inte kunna väga upp att en produkt avger giftiga ämnen. På så vis minskar risken att ett relativt oviktigt attribut får för stor vikt vid beslutet och vice versa.

9.3.1 Relevansvärde

Processen inleds med att definiera relevansvärden. Dessa värden talar om hur viktigt ett visst attribut är för den aktuella applikationen enligt nedan:

1. Mindre viktigt.
2. Viktigt
3. Väldigt viktigt.

Detta följs av att samtliga attribut tilldelas ett relevansvärde, exempelvis tilldelades *flexibilitet* relevansvärde 3 då detta anses som ett mycket viktigt attribut för de flexibla brandtätningarna. Med samma resonemang tilldelades exempelvis *ljud- och ljusisolering* relevansvärde 1 då dessa attribut är mindre viktiga i sammanhanget. Tilldelningen av relevansvärden skedde intuitivt och i samråd med personal från de berörda avdelningarna på Kockums AB.

9.3.2 Attributvärde

Attributvärdet graderar prestandan för varje enskilt attribut hos en given produkt. Attributen betygsätts individuellt enligt skalan nedan. I det fall en prestanda är okänd eller uppgiften osäker görs en uppskattning med avsikten att underestimera snarare än att överestimera för att vara konservativ.

1. Oacceptabelt
2. Dåligt
3. Tillfredställande
4. Bra
5. Mycket bra

I Avsnitt 12.2 görs en systematisk genomgång och gradering av samtliga attribut hos de fyra produkterna.

9.3.3 Utvärdering

Som beskrivits ovan tilldelas varje attribut ett relevansvärde mellan 1 och 3, medan produkterna/materialet ges ett attributvärde (betyg) mellan 1 och 5 för varje attribut. Dessa attributvärden multipliceras sedan med motsvarande relevansvärde, och summan av dessa produkter blir produktens/materialets totala betyg. Således bör den produkt som har högst totalt betyg väljas för applikationen.

Relevansvärde	X
Attributvärde	Y
Totalt betyg	$\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i$

10 Konstruktion

Ubåtar från Kockums AB konstrueras enligt en designfilosofi som lyder 3SUP, där ledorden är:

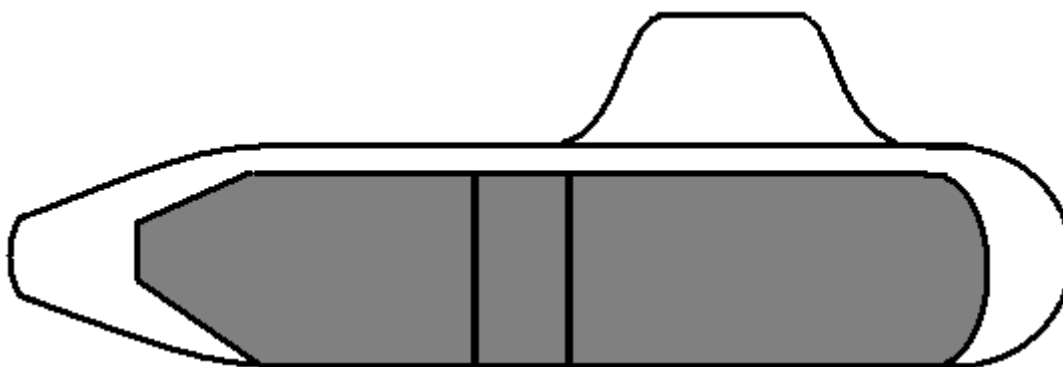
Säkerhet
Stöt
Signaturer
Underhållsmässighet
Produktivitet

Säkerheten sätts alltid i första rummet och ubåten designas för att utgöra en så säker arbetsplats som praktiskt är möjligt för besättningen, i såväl fredstid som i skarpa situationer. Brand och/eller explosion samt vatteninträngning är de största hoten mot ubåten och dess besättning. *Stöt* avser design av ubåten för att klara verkan av undervattensexlosioner från exempelvis minor och sjunkbomber. *Signatur* är en beteckning på hur ett fartyg uppträder fysiskt, det vill säga identifierbara signaler som ubåten ger ifrån sig eller reflekterar. Ubåten designas med en strävan att ha så låga signaturer som möjligt. Exempel på signaturer är buller, magnetism och IR. Låga signaturer försvårar bland annat upptäckt och identifiering av ubåten. *Underhållsmässighet* betecknar hur lätt åtkomligt maskiner, apparatur och olika system är monterade ombord ubåten, det vill säga hur lätt det är att utföra underhåll och reparationer. Med *produktivitet* avses hur komplicerat det är att konstruera och bygga ubåten (Witt, 2009).

Stöt och signatur utgör en delmängd av ubåtens *stridsduglighet*, tillsammans med exempelvis antal och typ av sensorer, vapenlast och uthållighet. Säkerhet, stöt, signatur och underhållsmässighet är delmängder i ubåtens *överlevnadsgrad* (Witt, 2009).

10.1 Grundkonstruktion

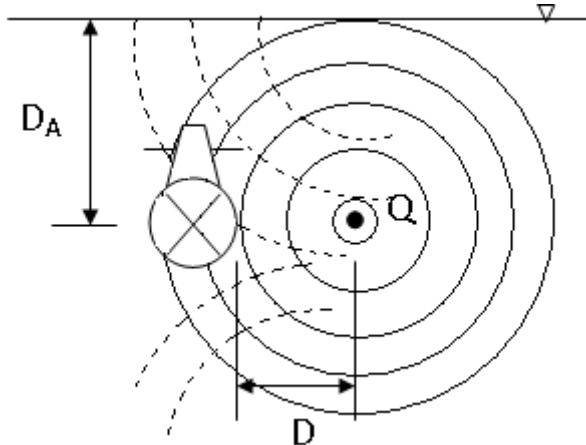
Som beskrivits i Avsnitt 6.1 är ubåtens skrov uppbyggt av ett tryckskrov och ett formskrov. Tryckskrovet är den del av fartygets skrov som är beräknat att motstå det yttre sjövattnetrycket ner till ett på förhand fastställt djup. Det skall också motstå stötpåverkan från undervattensexlosioner. Tryckfasta skott delar in volymen inom tryckskrovet i tryckfasta avdelningar och passager (Försvarets materielverk, 2008).



Figur 10.1 – Tryckskrov och tryckfasta skott

10.2 Stöttålighet

Som tidigare nämnts är ubåtens förmåga att klara undervattensexlosioner från exempelvis minor och sjunkbomber (benämns i fortsättningen laddning) en viktig faktor för dess stridsduglighet och överlevnadsförmåga. Vid en undervattensexlosion bildas en tryckvåg som utbreder sig sfäriskt från laddningen, detta i form av en primärvåg som följs av sekundära periodiska vågor i avtagande styrka. Ubåten kommer främst att utsättas för tryckvågor som utbreder sig direkt från laddningen, men kan också påverkas av tryckvågor som reflekterats i antingen vattenytan eller i sjöbotten. Intensiteten i tryckvågorna bestäms av typen av laddning, dess vinkelräta avstånd till ubåten (D), laddningens vikt (Q) och vattendjupet (D_A) (Stenvall, 2009).



Figur 10.2– Tryckvågor från laddning i vatten, streckade vågor har reflekterats i vattenytan eller havsbotten

Tryckvågorna kommer att utsätta ubåtsstrukturen för tryckkrafter och accelerationskrafter som kan resultera i skador på ubåtens struktur och utrustning. Effekten blir olika beroende på om tryckvågen träffar struktur fylld med vatten (forms-krovet) jämfört med struktur fylld med luft (trycks-krovet). Skillnaden ligger i tryckvågens övergång mellan olika medier. När tryckvågen träffar en vattenfylld struktur förs kraften enkelt över till vattnet och endast en liten del av energin går in i konstruktionen. När tryckvågen däremot träffar en luftfylld struktur är överföringen av energi från vatten till luft betydligt trögare vilket leder till att en stor del av energin tas upp av konstruktionen och accelererar denna. Detta innebär också att utrustning som endast delvis är fylld med vatten kan utsättas för kraftiga lokala accelerationer och skadas (Stenvall, 2009).

Ovanstående resonemang innebär att ubåtens utrustning och system måste skyddas dels från själva tryckvågen och dels från accelerationen av strukturen. Accelerationen kan medföra stora förskjutningar såväl som höga spänningar i materialet. För att skydda viktig utrustning ombord mot verkan av undervattensexlosioner monteras utrustning och system med elastiska delar som ska dämpa verkan av stötpåkänning. Metoder för detta berör utrustning såväl som hela durkar uppställda på gummielement och rörsystem monterade med flexibla delar. Med dessa metoder kan påverkan från en stötpåkänning reduceras med en faktor 10 – 1000 (Stenvall, 2009).

För att kvantifiera påverkan av undervattensexlosioner vid design av en ubåt konstrueras och skyddas ubåten och dess utrustning efter olika stötnivåer. Konstruktionen ska klara rörelser vid den lägsta stötnivån ett ouppräkneligt antal gånger. Om ubåten utsätts för påverkan på den lägsta stötnivån ska full funktion bibehållas. Vid påverkan på den högsta stötnivån ska besättningen fortfarande klara sig oskadd medan ubåten ska klara att ta sig tillbaka till basen med reducerad kapacitet (Stenvall, 2009).

10.3 Bullersignatur

Ubåten har en stor taktisk fördel gentemot andra marina fartygstyper genom att den kan operera dolt. Moderna ubåtar verkar företrädesvis i uläge och den största röjningsrisken utgörs därmed av utstrålat buller (Bowin, 1995). Ubåtsjakt kan genomföras av exempelvis ytstridsfartyg, andra ubåtar och helikoptrar och innefattar åtgärder för att upptäcka, lokalisera och bekämpa ubåtar (NE, 2009). Ubåtsjaktenheter är utrustade med bland annat aktiva och/eller passiva sonarer för att upptäcka och lokalisera mål under ytan. Ubåten har en stor fördel i att den inte syns, men med dagens antiubåts teknik är det lika viktigt att den hörs så lite som möjligt. Buller från ubåten ökar inte bara risken för upptäckt, det försämrar även prestanda på ubåtens egna hydrofonsystem (Bowin, 1995).

Det finns en stor mängd olika bullerkällor ombord en ubåt och dessa delas primärt in i två kategorier, stationära och transienta. Stationära bullerkällor avger buller kontinuerligt med en relativt konstant nivå. Detta sker främst antingen från olika maskiner ombord (exempelvis pumpar, generatorer och fläktar) eller från vattenströmningar runt skrovet (exempelvis från propellern). Transienta bullerkällor avger buller med kort varaktighet (mindre än en sekund) från exempelvis friktion, glapp, strypljud och tryckstötter i hydraulik, start och stoppslag (Bowin, 1995).

Ljudet från en bullerkälla ombord ubåten når det omgivande vattnet via i huvudsak tre olika utbredningsvägar: stom-, rör- eller luftburet ljud. Stomburet ljud utbreder sig som vibrationer i strukturer så som durkar eller skrov. Rörburet ljud utbreder sig genom vibrationer och/eller tryckpulser i rörsystem medan det luftburna ljudet utbreder sig som tryckpulsationer i luftrummet ombord. Ofta måste mer än en utbredningsväg per källa beaktas (Bowin, 1995).

För att försvåra upptäckt av ubåten med sonar är det alltså viktigt att minimera den mängd ljudvägor som fortplantas från ubåtens konstruktion ut i det omgivande vattnet. Lösningen på detta problem (utöver att installera så tysta maskiner som möjligt) är nästan exakt den samma som att skydda ubåten mot verkan från undervattensexlosioner. Skillnaden är att i det första fallet dämpas rörelser utifrån och in i ubåten, medan rörelser dämpas inifrån och ut för att göra ubåten så tyst som möjligt (Witt, 2009). Dämpningen i utbredningsvägarna ökar ubåtens bullerprestanda/minskar dess bullersignatur och kan ske på olika sätt beroende på vilken typ av utbredning som ska dämpas. Stomburet ljud dämpas bäst genom elastisk uppställning, dels av bullerkällan i sig och dels av hela durken. Rörbundet ljud dämpas främst genom luddämpare i rörsystemet. Luftburet ljud dämpas generellt genom att kassetter med ljudabsorberande material placeras i spantfacken samt ibland även genom att vissa bullerkällor inkapslas under bullerhuvar. Den största nackdelen med samtliga metoder för dämpning är att de är utrymmeskrävande på den redan trånga ubåten (Bowin, 1995).

Som diskuterats ovan monteras utrustning och system ombord med flexibla delar för att dämpa verkan av stötpåkänning från undervattensexpllosioner samt för att dämpa amplituden på vibrationerna från exempelvis en motor. Dessa flexibla delar är företrädesvis tillverkade i olika typer av gummimaterial (Stenvall, 2009).

För att fastställa om ett specifikt gummimaterial dämpar amplituder på ett effektivt sätt kan ett antal mätningar av specifika egenskaper genomföras:

- Överföringsfunktioner – materialet kan dämpa vissa frekvenser men överföra andra.
- Formfaktorer – materialet kan få olika dämpande egenskaper beroende på hur det formas vid monteringen.
- Impedans – olika krafter genererar olika stora vibrationer.

I övrigt måste det i konstruktionen tas hänsyn till att inget kan klämma den elastiska uppställningen i sig eller klämmas fast av elementet så att en ljudbrygga uppstår (Witt, 2009).

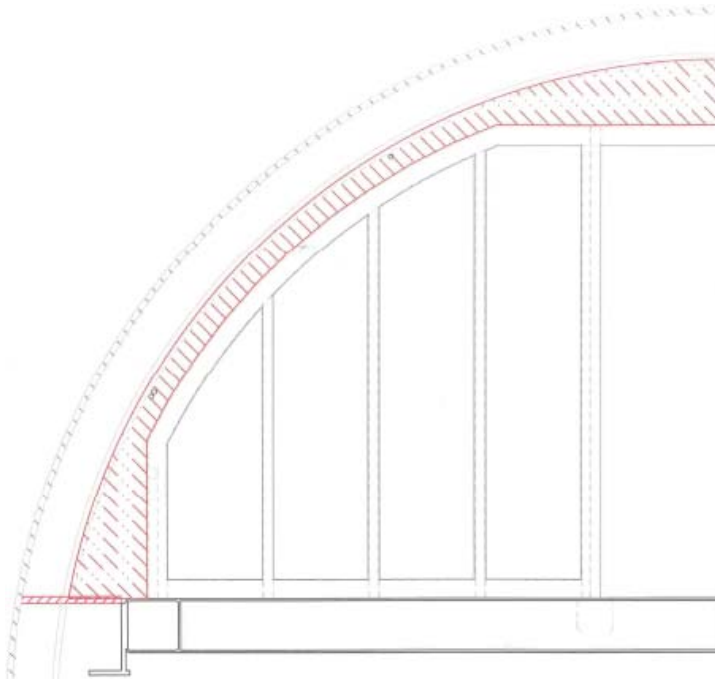
10.4 Placering av brandtätningar

Av konstruktionstekniska skäl måste de två trycksäkra skotten som avgränsar passagen vara fastsvetsade mot skrovet, därav kommer det inte att behövas några flexibla brandtätningar i denna del av konstruktionen. Flexibla brandtätningar ska däremot appliceras runt hela perimetern på den stora durken i förskeppet, dels i infästningen mot skrovet och dels i infästningarna till det förliga respektive akterliga trycksäkra skotten. De två A0 skotten (mellan Hytter/Mäss/Byssa och Kontrollrummet respektive mellan LOX-tankarna och WSC) skall även de förses med flexibla brandtätningar, dels i infästningen till skrovet och dels i infästningen till den stora durken i förskeppet. Med den stora durken i förskeppet avses Brandzonsgräns 5 och 6 (se Figur 5.3 i Avsnitt 5.5)

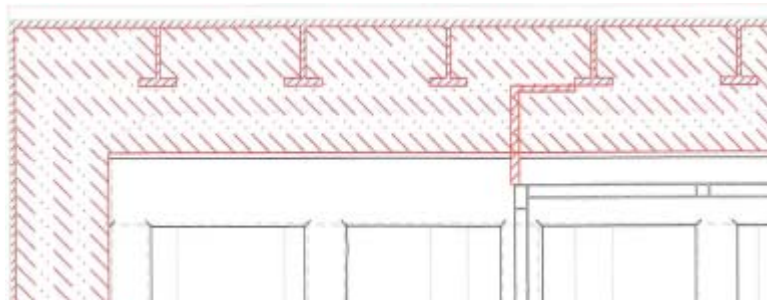
10.4.1 Svårigheter

Utöver att finna ett material med de egenskaper som krävs för en flexibel brandtätning så utgör även kraven på design/montering ett komplext problem:

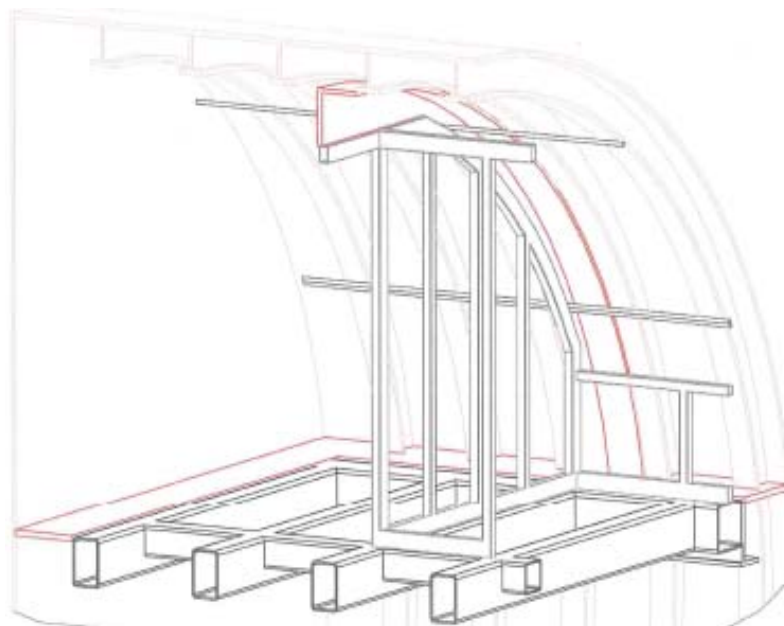
- Kraven på flexibilitet i materialet är tredimensionellt, det vill säga rörelser i form av kompression, expansion och skjuvning måste tillåtas.
- Tätningarna kommer att utsättas för såväl högfrekventa små belastningar som lågfrekventa stora belastningar.
- Materialet måste vara så pass flexibelt att det dämpar vibrationer/fortplantning av ljud.
- Även vid frånvaro av läckage eller spill kommer tätningarna att exponeras för konstant tillförsel av fukt på grund av kondens i ubåten.
- Konstruktionselementen och dess kontaktytor är ej jämna eller symmetriska. Konstruktionen medför en stor mängd hörn och böjar som i sin tur innebär att fogbredden inte är konstant (Se Figur 10.3 på nästa sida).
- Hålrummen mellan spanten måste också tätas och i dessa spantfack kan en stor mängd kabel- och rör genomföringar förekomma (Se Figur 10.4 på nästa sida).
- I knutpunkten mellan durken, skrovet och något av A0-skotten kommer tätningen att behöva täta mot en mötande tätning (Se Figur 10.5 på nästa sida).



Figur 10.3 – Tätning skott/skrov, fogbredden ej konstant



Figur 10.4 – Tätning durk/skrov (ovanifrån), spantfackens geometri



Figur 10.5 – Tätning skott/skrov och durk/skrov möts i knutpunkt

10.5 Prestanda

Vid val av modell och material till de flexibla brandtätningarna måste dessa först nå upp till en definierad minsta nivå på prestanda för att komma ifråga. Attribut för att bedöma produkternas förutsättningar att användas i applikationen har tagits fram dels ur de regler och föreskrifter som presenteras i Kapitel 2 och dels genom funktionsbaserade resonemang. Nedan listas de attribut som valts ut och jämförts vid bedömningen av modeller och material till de flexibla brandtätningarna. En del attribut presenteras med ett specifikt krav på prestanda, andra attribut anses som viktiga men formuleras istället som ett önskemål.

10.5.1 Flexibilitet

Som tidigare diskuterats är grundförutsättningen för att brandsektionera A26 att sektioneringarna kan genomföras med någon form av elasticitet, detta för att bibehålla ubåtens bullersignatur och stöttålighet. En flexibel infästning mellan durk/skrov, skott/skrov eller skott/durk dämpar vibrationer som fortplantar sig genom konstruktionen. På samma sätt ökar flexibla infästningar ubåtens stöttålighet mot tryckvågor i vattnet efter exempelvis en minsprängning genom att tillåta olika delar i konstruktionen att röra sig gentemot varandra. Krav på prestanda på tätningens flexibilitet är att den ska kunna röra sig 100 mm i alla riktningar vid maxbelastning samt 40-50 mm i alla riktningar ett ouppräkneligt antal gånger (se Avsnitt 10.2). Materialet får inte vara för styvt utan måste kunna dämpa amplituder på ett effektivt sätt (se Avsnitt 10.3).

10.5.2 Isolering och täthet

Enligt SJÖFS 2008:16 ska en brand kunna inneslutas i det utrymme där den uppstår. I UKR definieras brandzon som ett slutet begränsat område där släckmedel eller rök, inom en angiven tid, inte kan sprida sig till intilliggande utrymme (Försvarets materielverk, 2008). Som beskrivs i Avsnitt 5.2 ska skott/durkar av Klass A vara så konstruerade att de under ett 60 minuter långt standardbrandprov förhindrar att rök och lågor tränger igenom. De skall dessutom förhindra att medeltemperaturen på den oexponerade sidan av materialet stiger mer än 139 grader över begynnelsetemperaturen och att temperaturen i någon enda punkt av denna sida stiger mer än 180 grader över begynnelsetemperaturen. Dessa villkor gäller för Klass A-60 under minst 60 minuter och för Klass A-0 i 0 minuter (släpper igenom värmen utan någon tidsfördröjning). Oavsett ska ett skott av Klass A förhindra genombrott av *rök och lågor* under ett 60 minuter långt brandprov (Räddningsverket, 1994). Beroende på var de flexibla brandtätningarna ska appliceras (förutsatt att hänsyn tas till resultatet av riskanalysen i detta examensarbete) ska de uppfylla kraven för minst Klass A15.

10.5.3 Tålighet mot vatten, olja och mögel

Även under normalt bruk är det rimligt att anta att tätningen kommer att utsättas för exempelvis fuktig luft, sötvatten, saltvatten, olika former av olja med mera. Viktigt att notera är att ubåten är utrustad med flera hydrauliska system och att hydraulolja är särskilt aggressiv. Ett problem med den höga luftfuktigheten och kondensen ombord en ubåt är att det lätt bildas mögel som kan skada materialet. Givetvis bör exponeringsnivåerna hållas så låga som möjligt, men såväl små som stora läckage av olika substanser kan förekomma. Likaså kraftig kondens som rinner längs skrovet och kan komma att samlas upp av tätningen. Exponering för vatten och oljor kan påverka materialet så att det får förändrade/försämrade egenskaper eller kortare livslängd. Exempelvis kan ett material som absorberar vatten bli tungt och flyttas ur sin position, medan ett material som absorberar olja kan bli brännbart på ett helt annat vis än vad som avsetts.

10.5.4 Emissioner

Av naturliga orsaker är atmosfären ombord ubåten sluten och det finns begränsade möjligheter till ventilation. Det är därför viktigt att materialet i de flexibla brandtätningarna inte avger giftiga substanser då det värms upp. Detta kan tyckas vara ett mindre problem då en brand ändå skulle innebära närvaron av giftiga brandgaser. Det måste då beaktas att tätningen även påverkar atmosfären i de utrymmen som gränsar till brandrummet. Följaktligen bör alltså tätningen inte enbart förhindra att brand och rök sprider sig, utan också ha sådana egenskaper att den inte avger farliga substanser även från den oexponerade sidan av materialet (beroende på i vilket utrymme branden startar gäller dessa egenskaper givetvis för båda sidor av tätningen i normaldrift). Enligt IMO:s krav ska material testas enligt ISO 5659:1994 för toxicitet (se Appendix J för närmare beskrivning av relevanta standarder).

10.5.5 Inköpspris, montering & underhåll

Inköpspris, montering och underhåll är attribut som tillsammans starkt påverkar den totala kostnaden för de flexibla brandtätningarna. Den grundläggande målsättningen är att det totala priset ska vara så lågt som möjligt. En bra start på detta är att finna en produkt/material med ett rimligt inköpspris. Monteringen och installationen av de flexibla brandtätningarna ombord ubåten bör vara så lätt som möjligt. Detta inkluderar faktorer som att inga specialverktyg behöver inskaffas och att utförandet är relativt okomplicerat. En längre monteringsstid kostar mer pengar. Med samma resonemang bör behovet av underhåll vara minimalt och på en sådan nivå att det räcker med de mindre årsöversynerna (se Stycke 10.5.6 nedan) för att kontrollera tätningens skick.

10.5.6 Livslängd

Väl på plats måste brandtätningarna fungera i många år framöver. Den totala livslängden för en svensk ubåt är cirka 30 år. För A26 listas en *minsta* livslängd på 30 år som ett krav från FMV. Den optimala brandtätningen skulle ha en lika lång livslängd, men om tätningen behöver bytas ut ett par gånger under ubåtens livslängd och detta är enkelt genomförbart kan detta godtas. Dels utsätts allt material ombord för naturligt slitage, dels åldras materialet och kan då få förändrade egenskaper. Under en ubåts livstid genomförs flertalet större och mindre översyner. Vid årsöversyner ligger ubåten i docka i ungefär 10 veckor medan bland annat underhållsarbeten genomförs. Större översyner (generalöversyn) genomförs med sexårsintervall. Ubåten ligger då i docka i ungefär ett halvår medan större underhållsarbeten och ombyggnationer sker. Vid dessa tillfällen finns då möjlighet att byta ut tätningen om så behövs. FMV:s ambition är att generalöversynerna för A26 ska kunna genomföras med åttaårsintervall. Målsättningen med detta examensarbete är att finna ett material och en konstruktion av de flexibla brandtätningarna som håller så länge som möjligt.

10.5.7 Förändringar

Marina fartyg, inklusive ubåtar, genomgår kontinuerliga moderniseringar och förändringar efter behov. Gammal utrustning byts ut och nya funktioner med tillhörande apparatur tillkommer, vilket medför ett krav på att de flexibla tätningarna måste kunna ändras efter hand. Detta kan innebära allt från att tillfälligt montera bort en tätning för att ge extra arbetsutrymme till att ge plats åt nya kablar och rör som i vissa fall kan ha en diameter på upp till 100 mm. Alla dessa förändringar måste resultera i att den ursprungliga prestandan hos tätningen återställs. Optimalt är en tätning som medger kabel- och rör genomföringar.

10.5.8 Övrigt

Övriga önskvärda egenskaper är exempelvis att de flexibla brandtätningarna ska ljus- och ljudisolera mellan de olika brandzonerna.

10.5.9 Allmänt intryck

Allmänt intryck är avsett att spegla den intuitiva känsla som uppkommit kring produkten vid produktökningen och kontakten med leverantören/tillverkaren. Faktorer som tydlig information, huruvida produkten är etablerad på marknaden, vilka applikationer produkten använts i tidigare samt intresse och bemötande från leverantören vägs samman i det allmänna intrycket.

10.5.10 Sammanfattning prestanda

I Nedanstående tabell presenteras en sammanfattning av de olika attributen hos ett material/produkt (enligt föregående stycken) samt de krav på prestanda som måste mötas för att materialet/produkten ska komma ifråga.

Tabell 10.1 – Sammanfattning prestanda

Attribut	Krav	Önskemål
Flexibilitet	100 mm (40-50 mm) rörelse i xyz-led	–
Isolering	A0/≥A15	–
Täthet	A0/≥A15	–
Tålighet mot vatten, olja och mögel	Prestandan får ej påverkas av vad som kan väntas vid normal användning	Så bra som möjligt
Emissioner	Ej avge giftiga substanser vid uppvärmning	–
Inköpspris	–	Så lågt som möjligt
Montering	–	Så lätt och snabb som möjligt
Underhåll	–	Så lite som möjligt
Livslängd	–	Så lång som möjligt
Förändringar	Ska gå att genomföra	Penetrationer genom materialet möjliga
Övrigt	–	Ljud och ljusisolering
Allmänt intryck	–	–

11 Produktsökning

Det bedöms som en stor kostnadsvinst att finna en lämplig produkt som redan finns på marknaden jämfört med att utveckla en ny produkt från grunden. Förutsättningarna för detta blir dock att det går att finna en produkt som uppfyller alla krav på prestanda för applikationen (se Avsnitt 10.5).

11.1 Vad finns på marknaden?

De flesta flexibla brandtätningar på marknaden är utformade för att förhindra brandspridning genom kabel- eller rörgenomföringar. Brandtätning av fogar förekommer också, men behandlar normalt spalter på millimeternivå och är alltså ej avsedda för de dimensioner som är aktuella ombord A26. Vid brandtätning av fogar används vanligen akrylbaserade brandskyddsmassor och polyuretanbaserade skum.

De tätningsmetoder som kan uteslutas direkt är exempelvis keramiska tätningar, brandskyddsmålning och olika gel/fogmassor. Detta eftersom dessa tätningar inte klarar rörelser utan att spricka eller lossna samt inte når upp till önskad spaltbredd. Alla typer av hårda tätningar utelämnas också då dessa skulle överföra vibrationer.

Lösningar med svällande färg eller tejp bedöms inte heller vara tillämpliga. Dessa metoder bygger på att materialet sväller och tätar genomföringen då det utsätts för värmepåverkan. För att få önskad funktion krävs en väl utvecklad brand. Risken finns därmed att brandgasspridning sker innan materialet hunnit svälla upp. Även för dessa metoder kan spaltbredden dessutom sannolikt utgöra ett problem.

Bland de möjliga lösningar som finns tillgängliga på marknaden bedöms nedanstående två huvudkoncept vara värda att undersöka närmare. Med huvudkoncept avses att det finns en mängd olika tillverkare som erbjuder snarlika men ej identiska produkter.

- Sandwichelement av högelastiskt skum belagda med ett flexibelt ytskikt som expanderar vid brand. Konstruktionen används normalt för väggar och bjälklag för att klara av byggelementens rörelser vid brand samt seismisk påverkan. Lösningar finns för avstånd upp till 150 mm.
- Brandsäkra dukar av gummikomposit eller keramiska material. Dessa används bland annat på oljeplattformar där höga krav på flexibilitet, vattentäthet och brandskydd ställs. Lösningen används främst för genomföringar men har även använts som tätning mellan trapphus och omgivande konstruktion samt som tätning mellan däck och omgivande väggar.

11.2 Tänkbara alternativ

Efter en omfattande genomgång av marknaden kunde ett stort antal produkter uteslutas och den fortsatta bedömningen fokuseras på de produkter som bedömdes som tänkbara alternativ. I följande stycken presenteras de fyra produkter som, efter att djupare kunskap inhämtats från leverantörer valdes ut till slutvärderingen. De produkter som uteslutits redan innan slutvärderingen presenteras kort i Appendix K. Samtliga leverantörer som kontaktats finns listade i Appendix L med kontaktuppgifter.

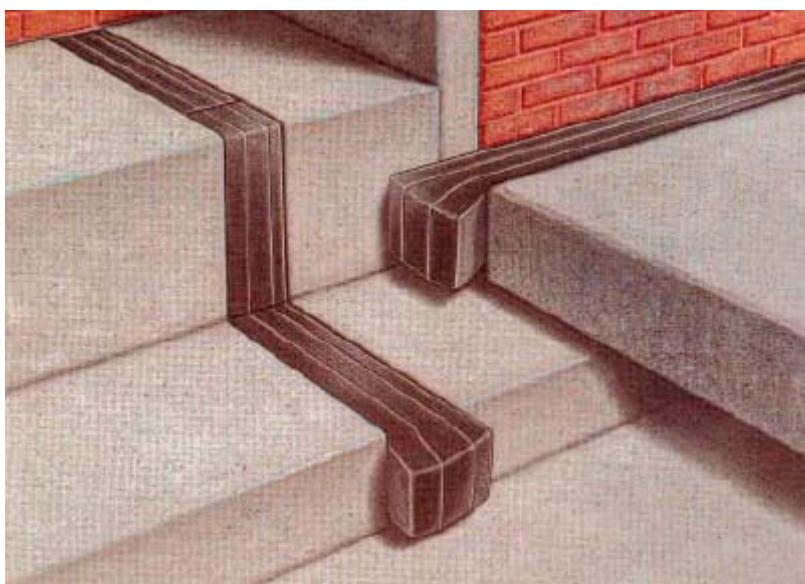
11.2.1 KBS FIR-A-FLEX™

KBS FIR-A-FLEX™ är en fjädrande brandfog för väggar och bjälklag som är utvecklad för att klara byggelementens rörelse vid brand och vid seismisk påverkan. Produkten består av sandwichelement av höglastiskt skum belagda med svällande ytskikt. KBS FIR-A-FLEX™ är provad enligt ISO 834 samt prEN 1366-4 i en särskild testtrigg som simulerar 3-D rörelser i fogar under brandpåverkan (skjuv, tryck och drag med upp till 60 % återfjädring) och finns för fogbredder från 10 till 110 mm i brandteknisk klass EI 30 till EI 60. Produkten pressas samman och förs in i fogen. När lamellerna släpps fixeras fogen utan behov av limning eller annan åtgärd. Vid risk för påverkan av kemikalier eller väta skall produkten behandlas med KBS FIR-A-FLEX™ 501 (KBS, 2009). Regelbunden översyn av sådant fogmembran krävs. Livstiden för användning inomhus är minst 20 år (Sandgren, 2009).

KBS FIR-A-FLEX™ har inte testats för toxicitet, så ett test enligt ISO 5659:1994 krävs innan produkten kan användas i ubåtsmiljö. Då andra tillverkare av liknande produkter avrått från svällande ytskikt på grund av de toxiska ämnen som frigörs vid brand befaras att denna produkt inte kommer nå upp till kraven (Goudie, 2009).

År 2005 genomfördes ett produktutvecklingsprojekt på Kockums AB av fyra studenter från Maskiningenjörsprogrammet på LTH för att lösa problemet med flexibla brandtätningar (Emond et al, 2005). Förslaget var att använda FIR-A-FLEX™ mellan U-balkar som svetsas fast i spant och durk. Då produkten inte är testad för denna typ av installation kan lösningen ej anses uppnå kraven utan att nya test utförs. Framförallt bedöms det vara sannolikt att U-balken skulle utgöra en värmebrygga och att isoleringskraven därmed inte uppnås. En 110 mm bred fog med 60 % fjädring räcker heller inte för att tillgodose de rörelsekrav som ställs. En specialdesignad bredare fog och nya tester av denna krävs om produkten skall användas. Det är osäkert om genomföringar kan göras genom materialet med bibehållen prestanda då leverantören ej svarat på detta. I tidigare nämnda produktutvecklingsprojekt (Emond et al, 2005) redogörs dock för en metod där genomföringar görs genom materialet och sedan förseglas med en tätningssmassa.

Kostnaden för KBS FIR-A-FLEX™ är cirka 300 kr per meter (Sandgren, 2009). Detta pris gäller dock för en smalare fog än vad som krävs och exklusive U-balkar för infästning.



Figur 11.1 – KBS FIR-A-FLEX™ (KBS, 2009)

11.2.2 MCL Unitex Firetex skirt seal system

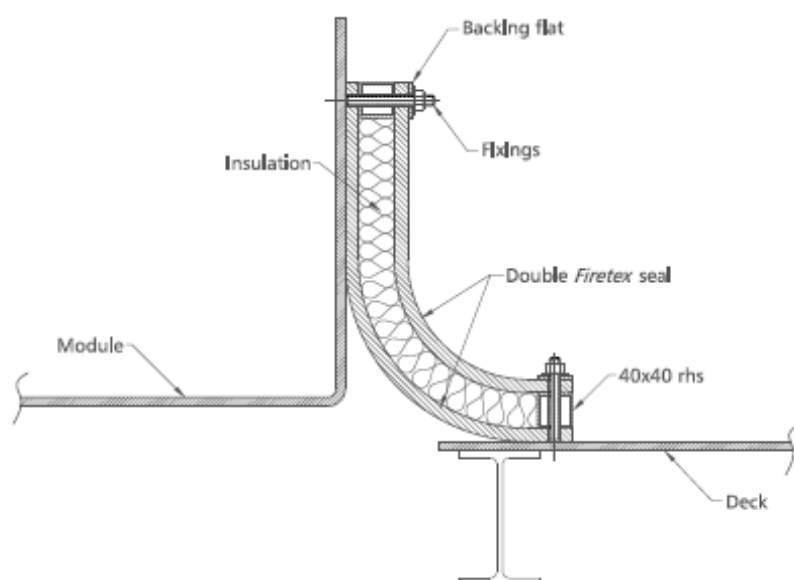
Firetex skirt seal system består av en duk som fästs med bultar i durk, skott och skrov. Duken består av ett dubbelt lager av Firetex med en keramisk filt som isolering emellan. Firetex består av fem skikt: isokeramväv med nät av rostfritt stål, nickelfolie, silikatfiberisolering, aluminiumfolie och glasduk. Materialet är inte flexibelt i sig, utan flexibiliteten kommer från extra material som tar upp rörelserna. Det är möjligt att göra genomföringar genom själva materialet.

Firetex skirt seal system är testad enligt IMO Resolution A.517 (13)² och är klassad för A60-H120 med följande förutsättningar:

1. Vid användning i kombination med skott av klass H-60.
2. Maximal öppning 800 mm x 1000 mm (höjd x bredd), med tätning på 1120 mm x 1320 mm.
3. Tillverkning skall ske i enlighet med ett kvalitetsledningssystem. (Lloyds Register, 2004).

Produkten har inte testats för toxicitet, så ett test enligt ISO 5659:1994 krävs innan den kan användas i ubåtsmiljö. *Firetex skirt seal system* tål fukt och saltvattenstänk, men är inte designad för att vara nedsänkt i vatten eller utsättas för upprepade översvämningar. För extrema förhållanden kan den förbättras med en extra silikonbeläggning. Produkten är även beständig mot olja, men själva silikonbeläggningen är inte helt oljebeständig och lämpar sig inte för att vara i konstant kontakt med olja. (MCL, 2009).

Firetex skirt seal system kan installeras i efterhand och kräver inga specialverktyg. Dukarna tillverkas i raka längder med kanter förberedda för hopsättning. Hörn, böjar och T-stycken kan tillhandahållas vid behov. Förutsatt att den inte utsätts för mekaniskt våld skall den hålla hela installationens livstid. Kostnaden för materialet är cirka 4 800 kr per kvadratmeter. Detta inkluderar ej infästningar eller extra arbete som kan behövas för komplexa hörn eller t-sektioner (Aslin, 2009).



Figur 11.2 – Firetex skirt seal system (MCL, 2009)

² Ersatt av Resolution A.754(18)

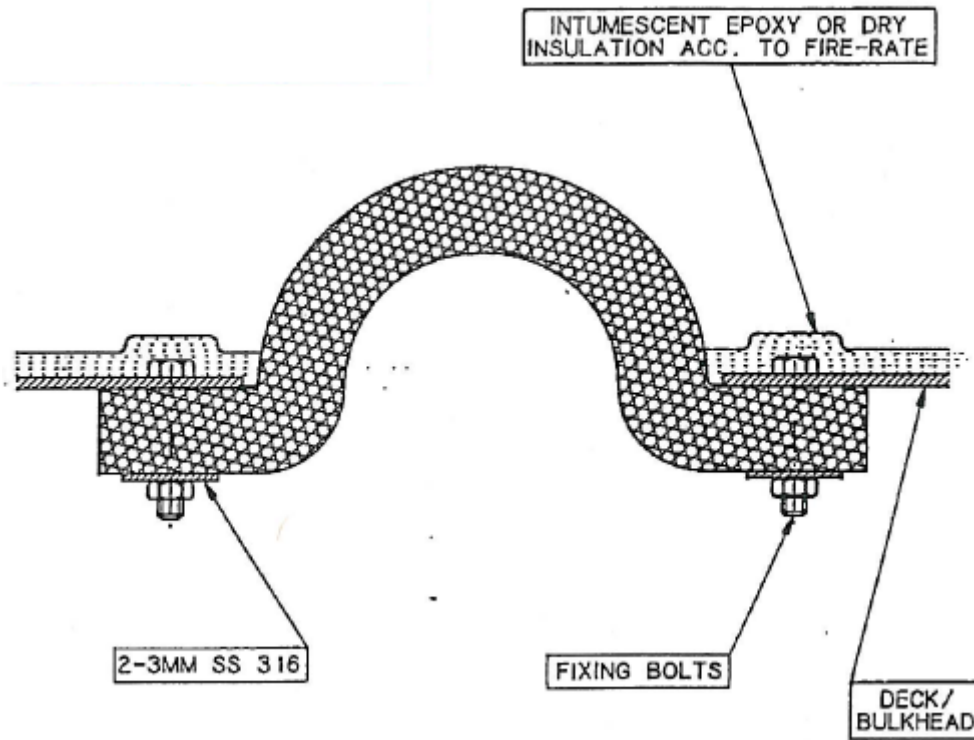
11.2.3 Viking firestop flexible sealing

Viking firestop flexible sealing består av gummikomposit varvat med lager av armering som kombinerar flexibilitet, vattentätthet och brandskydd. Den används bland annat på oljeplattformen Sleipner som en flexibel tätning runt en utrymningsbrygga och på oljeplattformen Troll Oil för att tätta öppningarna mellan däck och omgivande väggar. Produkten har även använts i Storbritanniens ubåtar i Astute-klassen (Roeningen, 2009). Den är certifierad för användning på fartyg och offshore enligt IMO Resolution A.754(18) och finns i brandteknisk klassning upp till H120 (DNV, 2005).

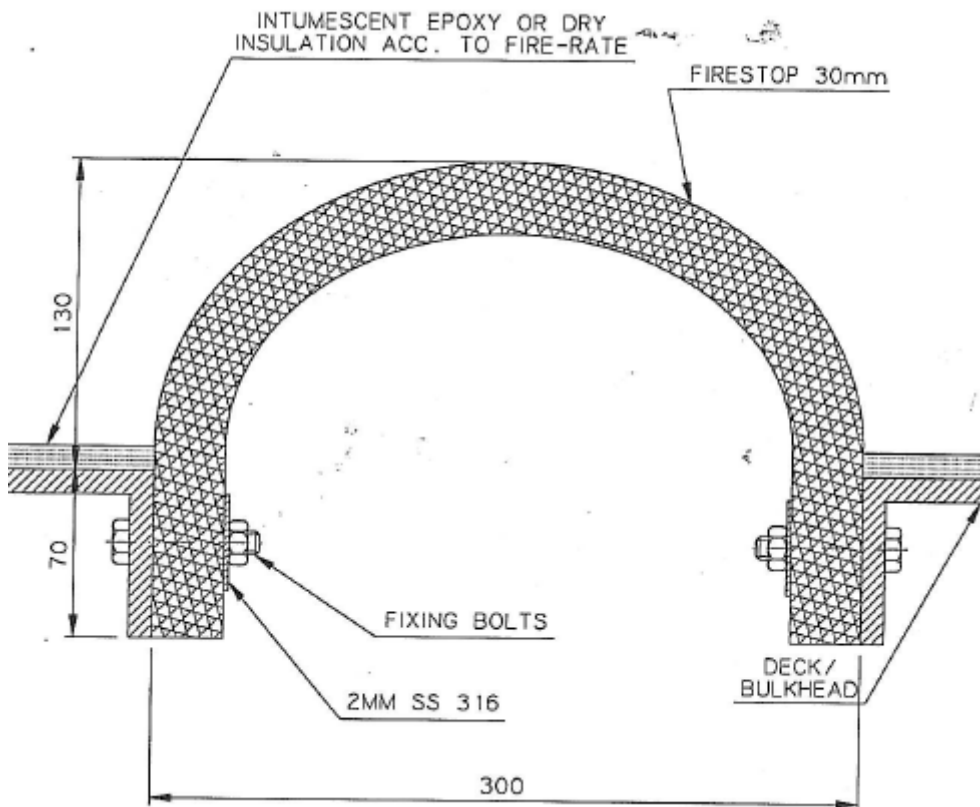
Viking firestop flexible sealing kan designas för att klara av 100 mm rörelse i tre riktningar. Flexibiliteten beror på hur många lager armering respektive gummikomposit som används, vilket i sin tur beror på vilka brandtekniska krav som ställs. Generellt gäller att produkten blir tjockare och därmed mindre flexibel ju högre brandklassning som krävs. Materialet har installerats för avstånd från 1500 mm ner till nästan ingenting alls. Hörnbitar byggs oftast separat och fästs till resterande tätning ombord. Det är även möjligt att göra genomföringar genom själva materialet. Genomföringar av kablar och mindre rör kan tätas med vanliga Brattbergsboxar. Trelleborg Offshore Norway föredrar att göra en tillsyn av området för att lösa de problem som kan uppstå vid installation. Detta gäller även vid större förändringar av tätningen så som grövre rör genomföringar. Installationen kan göras av kunden själv med support från en medarbetare från Trelleborg Offshore Norway (Roeningen, 2009).

Materialet är testat för toxicitet enligt Defence Standard 02-713 Issue 2, men IMO kräver test enligt ISO 5659:1994 med tillägg enligt FTP code. Standarderna är ej direkt jämförbara och vidare undersökningar krävs.

Viking firestop flexible sealing har använts på oljeplattformar i över 20 år och tål att utsättas för både olja och saltvatten. Normalt krävs inget underhåll under en livstid på 30 år. Materialet uppges ha goda egenskaper för bullerisolering. Det är svart och släpper inte igenom något ljus. Kostnaden beror mycket på komplexiteten av området som skall tätas och vilka isoleringskrav som ställs och kan därför variera mellan 2 500 – 12 000 kr per meter (Roeningen, 2009). Se Figurer på nästa sida.



Figur 11.3 – Viking firestop flexible sealing monterings eksempel 1 (DNV, 2005)



Figur 11.4 – Viking firestop flexible sealing monterings eksempel 2 (DNV, 2005)

11.2.4 Tayfire seismic seal

Tayfire seismic seal består av en laminerad glasduk som fästs mellan två färdigborrade järn. Den är testad för en maxbredd på 180 mm. 100 mm rörelse i två riktningar borde enligt tillverkaren inte vara några problem, men för att klara av tre riktningar måste modifikationer göras i materialet för att göra det mer flexibelt. Produkten kan tillverkas för att passa vid hörn, men rundade böjar kan eventuellt bli ett problem (Lilley, 2009).

Tayfire seismic seal är testad enligt BS 476:Part 20, som i princip överensstämmer med IMO Resolution A.754(18) vad gäller brandbelastning och isoleringskrav, upp till brandklass EI90 (Warringtonfire, 2005). Eftersom ingen rörelse inducerades under testet kan man inte med säkerhet säga hur detta skulle påverka produktens prestanda vid en riktig brand. Materialet har ej heller testats för genomföringar.

Produkten innehåller en viss del klorerat material och kväve, vilket skulle kunna leda till att väteklorid och vätecyanid bildas vid brand. Ett toxicitetstest enligt ISO 5659:1994 krävs innan produkten kan användas i ubåtsmiljö. Materialet tål både olja och vatten. Den har inte någon nämnvärd ljudisoleringsförmåga, och släpper till viss del igenom ljus. Visuell inspektion av tätningen bör genomföras kontinuerligt, men den bör hålla för en livslängd på 30 år, om inte ännu längre. Kostnaden för produkten beror på hur komplex installationen blir, men ligger i normala fall på cirka 1 000 – 1 400 kr per meter (Lilley, 2009).



Figur 11.5 – Tayfire seismic seal

12 Produktval

Att välja det lämpligaste materialet för en applikation kan beskrivas som ett multiattributivt beslutsproblem. Att optimera materialvalet leder till såväl högre prestanda som högre driftsäkerhet (Savadogo & Shanian, 2009). En genomtänkt metod för materialval är speciellt viktigt när produkten har många önskvärda attribut men där de olika attributen inte är av lika stor vikt för ett optimerat val. Savadogo och Shanian (2009) beskriver ett antal metoder för materialval till komplexa applikationer. Dessa metoder är generellt baserade på matematiska datorprogram och kan lösa optimeringsproblem med hög grad av komplexitet.

De flexibla brandtätningarna bedöms utgöra en relativt enkel komponent ombord ubåten med tydligt definierade attribut. Därför används en förenklad variant ur Savadogo och Shanian (2009) för att rangordna resultaten ur produktsökningen. Denna förenklade metod har även tidigare använts av Kockums AB för komponentval (Kindt, 2009) och baseras på ett val mellan olika produkter med multipla attribut av olika vikt. Huvudkonceptet är att metoden inkluderar samtliga attribut i jämförelsen, men tar hänsyn till hur viktigt attributet i sig är för applikationen.

12.1 Relevansvärde

Processen inleds med att tilldela varje attribut ett relevansvärde, ett värde som talar om hur viktigt ett visst attribut är för den aktuella applikationen. Ett vanligt problem kan vara att alla attribut initialt upplevs som lika viktiga. Ett första steg är då att försöka vikta de olika attributen gentemot varandra (Bäckström & Wiberg, 2001). Det finns en stor mängd olika metoder för viktning som lämpar sig olika bra beroende på beslutsproblemets karaktär. Viktningen kan exempelvis vara erfarenhetsbaserad, kriteriebaserad eller rent intuitiv (Bergman et al, 2006).

För produktvalet i detta examensarbete görs viktningen intuitivt och till viss del erfarenhetsbaserat. En svårighet med intuitiv viktning är att vara konsekvent (Bergman et al, 2006) men med den relativt låga komplexiteten hos produkten anses metoden vara tillräckligt tillförlitlig. Varje typ av attribut tilldelas ett relevansvärde enligt nedan:

1. Mindre viktigt.
2. Viktigt
3. Väldigt viktigt.

Där *mindre viktigt* innebär att attributet är mer i formen av ett önskemål än ett krav, medan *viktigt* innebär att attributet är väldigt eftersträvarvärt hos produkten. *Väldigt viktigt* innebär att attributet är en förutsättning för att uppnå den eftersökta funktionen hos de flexibla brandtätningarna. I nedanstående stycken diskuteras och väljs relevansvärden för de attribut som valts ut och avhandlats i tidigare kapitel.

12.1.1 Flexibilitet

Flexibilitet är ett krav för att brandsektioneringarna ombord A26 ska kunna genomföras med någon form av elasticitet. Detta görs för att bibehålla ubåtens bullersignatur och stöttålighet och utgör grundförutsättningen för detta examensarbete. Flexibilitet ges relevansvärde 3.

12.1.2 Isolering och täthet

Skott/durkar av Klass A ska vara så konstruerade att de under ett 60 minuter långt standardbrandprov förhindrar att rök och lågor tränger igenom. De skall dessutom förhindra att temperaturen på den oexponerade sidan når viss nivå över begynnelsestemperaturen. Beroende på var de flexibla brandtätningarna ska appliceras (förutsatt att hänsyn tas till resultatet av riskanalysen i detta examensarbete) ska de uppfylla kraven för minst Klass A15. Isolering och täthet ges relevansvärde 3

12.1.3 Tålighet mot vatten, olja och mögel

Även under normalt bruk är det rimligt att anta att tätningen kommer eller kan komma att utsättas för exempelvis fuktig luft, sötvatten, saltvatten, olika former av olja med mera. Tålighet mot vatten, olja och mögel ges relevansvärde 2.

12.1.4 Emissioner

Av naturliga orsaker är atmosfären ombord ubåten sluten och det finns begränsade möjligheter till ventilation. Följaktligen bör tätningen inte enbart förhindra att brand och rök sprider sig, utan också ha sådana egenskaper att den inte avger farliga substanser från den oexponerade sidan av materialet vid brandpåverkan. Emissioner ges relevansvärde 2.

12.1.5 Inköpspris, montering & underhåll

Inköpspris, montering och underhåll är attribut som tillsammans starkt påverkar den totala kostnaden för de flexibla brandtätningarna. Den grundläggande målsättningen är att det totala priset ska vara så lågt som möjligt. Inköpspris, montering och underhåll kan därför var och en för sig ges relevansvärde 1.

12.1.6 Livslängd

Väl på plats måste brandtätningarna fungera i många år framöver. För A26 listas en minsta livslängd på 30 år som ett krav från FMV. Den optimala brandtätningen skulle ha en lika lång livslängd, men om tätningen behöver bytas ut ett par gånger under ubåtens livslängd och detta är enkelt genomförbart kan detta godtas. Målsättningen är att finna ett material och en konstruktion av de flexibla brandtätningarna som håller så länge som möjligt. Livslängd ges relevansvärde 2.

12.1.7 Förändringar

Ubåtar genomgår kontinuerliga moderniseringar och förändringar efter behov. Detta medför ett krav på att de flexibla tätningarna måste kunna ändras efter hand. Dessa förändringar måste resultera i att den ursprungliga prestandan hos tätningen återställs. Möjlighet till förändringar ges relevansvärde 3.

12.1.8 Övrigt

Övriga önskvärda egenskaper är att de flexibla brandtätningarna ska ljus och ljudisolera mellan de olika brandzonerna. Ljus- och ljudisolering ges relevansvärde 1.

12.1.9 Allmänt intryck

Faktorer som huruvida produkten är etablerad på marknaden, vilka applikationer produkten använts i samt intresse och bemötande från leverantören vägs samman i det allmänna intrycket. Även om det allmänna intrycket utgör ett kvalitativt och i viss mån subjektivt mått på produkten så kan det säga en hel del om produkten och lösningen som helhet. Det allmänna intrycket ges relevansvärde 2.

12.2 Attributvärde

Attributvärdet graderar prestandan för varje enskilt attribut hos en given produkt. Attributen betygsätts individuellt enligt skalan nedan. I det fall en prestanda är okänd eller uppgiften osäker görs en uppskattning med avsikten att underestimera snarare än att överestimera för att vara konservativ. Attributvärdet anges enligt följande skala:

1. Oacceptabelt
2. Dåligt
3. Tillfredställande
4. Bra
5. Mycket bra

I följande stycken görs en genomgång av hur attributvärden bedöms.

12.2.1 Flexibilitet

För att få attributvärde 5 måste produkten klara rörelser på 100 mm i tre riktningar och klara av varierande fogbredder utan att några modifieringar eller speciallösningar krävs. Produkter med potential att klara kraven om omfattande modifieringar görs tilldelas attributvärde 2.

12.2.2 Isolering

För att få attributvärde 5 ska produkten vara testad enligt IMO Resolution A.517(13)³ (eller annan ekvivalent standard) och uppnå klass A15 eller högre. Produkt som är testad enligt jämförbar standard för applikationer på land utan modifieringar tilldelas attributvärde 4. Om produkten testats under modifierade förhållanden tilldelas attributvärde 2 eller 3 beroende på modifieringarnas magnitud.

12.2.3 Täthet

För täthet gäller samma gradering som för isolering.

12.2.4 Tålighet mot vatten, olja och mögel

För att få attributvärde 5 ska produkten tåla hög exponering under 30 år utan att några egenskaper påverkas. Lägre attributvärden ges om extra beläggningar krävs samt om regelbunden översyn och underhåll krävs.

12.2.5 Emissioner

För att få attributvärde 5 ska produkten vara testad enligt ISO 5659:1994 (eller annan ekvivalent standard). Om produkten klarat kraven för en liknande standard ges attributvärdet 3 eller 4 beroende på hur stora skillnaderna är. Har inga test genomförts ges attributvärdet 2.

³ Ersatt av Resolution A.754(18)

12.2.6 Inköpspris och montering

Attributen *inköpspris* och *montering* upplevs som särskilt svåra att ge ett attributvärde. Det måste exempelvis tas i beaktande att en ubåt kan kosta ett par miljarder kronor att konstruera och bygga. Detta medför att ett material för de flexibla brandtätningarna som kostar ett par hundra kronor per meter kan tilldelas samma attributvärde som en produkt som kostar ett par tusen kronor per meter då skillnaden däremellan har minimal påverkan på det totala priset för ubåten. Erfarenheten på Kockums AB är dessutom att det totala priset för en produkt påverkas mer av hur komplicerad den är att installera (specialverktyg, externa konsulter och mantimmar) än det faktiska inköpspriset. Vid tilldelning av attributvärde har produkterna jämförts sinsemellan, då exakta kravnivåer är svåra att fastställa.

12.2.7 Underhåll

För att få attributvärde 5 ska produkten i princip kunna klara sig helt utan underhåll under hela ubåtens livslängd. Om regelbunden översyn och eventuella behandlingar krävs ges attributvärde 3 (att lägre värde inte ges beror på att ubåten ändå genomgår en genomgående översyn varje år)

12.2.8 Livslängd

För att få attributvärde 5 ska produkten ha en livslängd på minst 30 år i den krävande miljö som kan väntas ombord ubåten. Hänsyn har tagits till om produkten har använts i liknande miljöer tidigare. Produkter som enligt tillverkaren *troligtvis* skulle klara detta får attributvärde 4. För kortare livslängd ges lägre attributvärde.

12.2.9 Förändringar

För att få attributvärde 5 ska produkten tillåta att förändringar görs under ubåtens livstid, framförallt gällande rör- och kabelgenomföringar. Vid osäkerheter kring detta ges ett lägre attributvärde som delvis baseras på tillverkarens egen inställning till om det skulle fungera eller ej.

12.2.10 Övrigt

Övriga egenskaper som ljus- och ljudisolering och eventuella övriga positiva kvaliteter påverkar attributvärdet. Inga direkta kravnivåer ställs för detta attribut, utan produkterna jämförs sinsemellan.

12.2.11 Allmänt intryck

Bedömningen för detta attribut är mer intuitiv och har inga direkta kravnivåer, men tillverkarnas egen entusiasm och samarbetsvilja spelar stor roll för attributvärdet.

I följande stycken görs en systematisk genomgång och gradering av samtliga attribut hos de produkter som presenterades i Kapitel 11

Denna sida har avsiktligt lämnats blank

12.2.12 KBS FIR-A-FLEX™

För detaljerad beskrivning av produkten se Stycke 11.2.1

Tabell 12.1– Utvärdering av KBS FIR-A-FLEX™

Attribut	Attributvärde	Motivering
Flexibilitet	2	Materialet är testat för skjuv, tryck och drag med upp till 60 % återfjädring för fogbredder från 10 till 110 mm, dock krävs att fogen är jämbred vilket ej är fallet ombord A26. En 110 mm bred fog med 60 % fjädring räcker dessutom inte för att tillgodose de rörelsekrav som ställs. En specialdesignad bredare fog och nya tester av denna krävs om produkten skall användas.
Isolering	2	Materialet finns i brandteknisk klass EI 30 till EI 60 och är testat enligt ISO 834 samt prEN 1366-4. Detta innebär att materialet teoretiskt motsvarar brandteknisk klass A60 men ej är testat enligt IMO standard. Förslaget att använda FIR-A-FLEX™ mellan U-balkar som svetsas fast i spant och durk är inte testat. Det bedöms dock vara sannolikt att U-balken skulle utgöra en värmebrygga och att isoleringskraven därmed inte uppnås.
Täthet	3	Materialet finns i brandteknisk klass EI 30 till EI 60 och är testat enligt ISO 834 samt prEN 1366-4. Detta innebär att materialet teoretiskt motsvarar brandteknisk klass A60 men ej är testat enligt IMO standard.
Tålighet mot vatten, olja och mögel	3	Vid risk för påverkan av kemikalier eller väta skall produkten behandlas med KBS FIR-A-FLEX™ 501. Regelbunden översyn av sådant fogmembran krävs. Uppgift om beständighet mot mögel saknas.
Emissioner	2	KBS FIR-A-FLEX™ har inte testats för toxicitet. Då andra tillverkare av liknande produkter avrått från svällande ytskikt på grund av de toxiska ämnen som frigörs vid brand befaras att denna produkt inte kommer nå upp till kraven.
Inköpspris	3	Kostnaden för KBS FIR-A-FLEX™ är cirka 300 kr per meter. Detta pris gäller dock för en smalare fog än vad som krävs samt exklusive U-balkar för infästning.
Montering	3	Produkten pressas samman med lameller och förs in i fogen utan behov av limning eller annan åtgärd. Det är svårt att bedöma hur detta skulle fungera ombord ubåten. Kompletterande lösning krävs för spantfacken.

Attribut	Attributvärde	Motivering
Underhåll	3	Se <i>tålighet mot vatten, olja och mögel</i> .
Livslängd	3	Livstiden för användning inomhus är minst 20 år. Det är oklart huruvida detta är direkt överförbart på en ubåtsmiljö, dessutom beräknas ubåtens livslängd till 30 år.
Förändringar	3	Det är osäkert om genomföringar kan göras genom materialet med bibehållen prestanda då leverantören ej svarat på detta. I tidigare nämnda produktutvecklingsprojekt (Emond et al, 2005) redogörs dock för en metod där genomföringar görs genom materialet och sedan förseglas med en tätningsmassa.
Övrigt	3	Det är osäkert om materialet isolerar mot ljud och ljus då leverantören ej svarat på detta. Baserat på materialets konstruktion antas dock att så troligtvis är fallet.
Allmänt intryck	2	Konceptet med FIR-A-FLEX™ skiljer sig ganska markant från de övriga produkterna som har analyserats. Konstruktionen gav ett bra första intryck då den föreföll såväl enkel som robust, men närmare studier visade snart att produkten inte möter kraven för varken flexibilitet eller isolering och att det dessutom krävs en kompletterande lösning för spantfacken. Detta kombinerat med att andra tillverkare av liknande produkter avrått från denna typ av applikation på grund av de toxiska ämnen som frigörs vid brand ger i slutändan ett dåligt allmänt intryck.

12.2.13 Firetex skirt seal system (Firetex double module seal)

För detaljerad beskrivning av produkten se Stycke 11.2.2

Tabell 12.2 – Utvärdering av Firetex skirt seal system

Attribut	Attributvärde	Motivering
Flexibilitet	3	Materialet är inte flexibelt i sig, utan flexibiliteten kommer från extra material som tar upp rörelserna. Leverantören har skickat en provbit av materialet, hantering av denna får produkten att framstå som ”knölig och prasslig”.
Isolering	5	Produkten är testad enligt IMO Resolution A.517 (13) ⁴ och är klassad för A60-H120.
Täthet	5	Se <i>isolering</i> .
Tålighet mot vatten, olja och mögel	3	Produkten tål fukt och saltvattenstänk, men är inte designad för att vara nedsänkt i vatten eller utsättas för upprepade översvämningar (kan förbättras med en extra silikonbeläggning). Produkten är även beständig mot olja, men själva silikonbeläggningen lämpar sig inte för att vara i konstant kontakt med olja. Uppgift om beständighet mot mögel saknas.
Emissioner	2	Produkten har inte testats för toxicitet, test enligt ISO 5659:1994 krävs innan den kan användas i ubåtsmiljö. Hantering av provbiten väcker misstankar om att ytskiktet eventuellt kan innehålla exempelvis PVC.
Inköpspris	3	Kostnaden för materialet är cirka 4 800 kr per kvadratmeter. Detta inkluderar ej infästningar eller extra arbete som kan behövas för komplexa hörn eller t-sektioner.
Montering	4	Produkten kan installeras i efterhand och kräver inga specialverktyg. Dukarna tillverkas i raka längder med kanter förberedda för hopsättning. Hörn, böjar och T-stycken kan tillhandahållas vid behov och skulle krävas för bland annat spantfacken. Produkten fästs med bultar i durk, skott och skrov.
Underhåll	2	Uppgift om underhållskrav saknas.
Livslängd	4	Förutsatt att produkten inte utsätts för mekaniskt våld skall den enligt leverantören hålla hela ubåtens livstid.

⁴ Ersatt av Resolution A.754(18)

Attribut	Attributvärde	Motivering
Förändringar	5	Det är möjligt att göra genomföringar genom själva materialet.
Övrigt	3	Baserat på provbiten som leverantören skickade antas att materialet isolerar mot ljus. Ljudisoleringsförmågan är okänd.
Allmänt intryck	3	Leverantören skickade en provbit av materialet men har i övrigt uttryckt viss tveksamhet kring produktens lämplighet för den aktuella applikationen. Vid hantering av provbiten upplevs att de olika skikten till viss del rör sig gentemot varandra varvid materialets förmåga att bibehålla prestanda efter flera års rörelser ifrågasätts.

12.2.14 Viking firestop flexible sealing

För detaljerad beskrivning av produkten se Stycke 11.2.3

Tabell 12.3 – Utvärdering av Viking firestop flexible sealing

Attribut	Attributvärde	Motivering
Flexibilitet	4	Produkten kan designas för att klara av 100 mm rörelse i tre riktningar. Flexibiliteten beror på hur många lager armering respektive gummikomposit som används. Materialet har viss inneboende flexibilitet, resten kommer från extra material som tar upp rörelserna
Isolering	5	Produkten är certifierad av DNV för användning på fartyg och offshore enligt IMO Resolution A.754(18) och finns i brandteknisk klassning upp till H120.
Täthet	5	Se <i>isolering</i> .
Tålighet mot vatten, olja och mögel	4	Produkten har använts på oljeplattformar i över 20 år och tål att utsättas för både olja och saltvatten. Det finns inget dokumenterat skydd mot mögel men tillverkaren uppger att det aldrig tidigare uppkommit som ett problem trots de fuktiga miljöer som produkten använts i.
Emissioner	3	Materialet är testat enligt Defence Standard 02-713 Issue 2, men IMO kräver test enligt ISO 5659:1994 med tillägg enligt FTP code för toxicitet. Standarderna är ej direkt jämförbara och vidare undersökningar krävs.
Inköpspris	3	Kostnaden beror mycket på komplexiteten av området som skall tätas och vilka isoleringskrav som ställs och kan därför variera mellan 2 500 – 12 000 kr per meter.
Montering	4	Produkten har installerats för avstånd från 1500 mm ner till nästan ingenting alls. En fördel är att produkten kan fästas i spant och skrov innan durken lyfts på plats. Hörnbitar byggs vanligen separat och fästs till resterande tätning ombord. Trelleborg Offshore Norway föredrar att göra en tillsyn av området för att lösa de problem som kan uppstå vid installation. Installationen kan göras av kunden själv med support från en medarbetare från Trelleborg Offshore Norway.
Underhåll	5	Normalt krävs inget underhåll under en livstid på 30 år.

Attribut	Attributvärde	Motivering
Livslängd	5	Tillverkaren uppger att produktens livslängd troligtvis kommer att överstiga ubåtens livslängd.
Förändringar	5	Det är möjligt att göra genomföringar med kablar och mindre rör genom själva produkten, dessa kan tätas med vanliga Brattbergsboxar. Vid större rör genomföringar eller förändringar av tätningen föredrar Trelleborg Offshore Norway att göra en tillsyn av området för att lösa de problem som kan uppstå vid installation.
Övrigt	3	Produkten uppges ha goda egenskaper för bullerisolering (leverantören har ännu inte uppvisat testresultaten som styrker detta). Den är svart och släpper inte igenom något ljus.
Allmänt intryck	5	Viking firestop flexible sealing har använts på oljeplattformar i över 20 år. Den används bland annat på oljeplattformen Sleipner som en flexibel tätning runt en utrymningsbrygga och på oljeplattformen Troll Oil för att tätta öppningarna mellan däck och omgivande väggar. Produkten har även använts i Storbritanniens ubåtar i Astute-klassen. Tillverkaren har från det att första kontakten etablerades varit mycket engagerad och tjänstvillig.

12.2.15 Tayfire seismic seal

För detaljerad beskrivning av produkten se Stycke 11.2.4

Tabell 12.4 – Utvärdering av Tayfire seismic seal

Attribut	Attributvärde	Motivering
Flexibilitet	2	Produkten är testad för en maxbredd på 180 mm. 100 mm rörelse i två riktningar borde enligt leverantören inte vara några problem, men för att klara av tre riktningar måste modifikationer göras i materialet för att göra det mer flexibelt.
Isolering	3	Tayfire seismic seal är testad enligt BS 476:Part 20 som kan anses vara ekvivalent med ISO 834 och uppnår en brandteknisk klassning upp till EI90. Eftersom ingen rörelse inducerades under testet kan man inte med säkerhet säga hur detta skulle påverka produktens prestanda vid en riktig brand.
Täthet	3	Se <i>isolering</i> .
Tålighet mot vatten, olja och mögel	4	Materialet tål både olja och vatten. Uppgift om beständighet mot mögel saknas.
Emissioner	2	Materialet har inte testats för toxicitet, men innehåller en viss del klorerat material och kväve, vilket skulle kunna leda till att väteklorid och vätecyanid bildas vid brand.
Inköpspris	3	Kostnaden för tätningen beror på hur komplex installationen blir, men ligger i normala fall på cirka 1000 – 1400 kr per meter.
Montering	3	Materialet fästs mellan två färdigborrade järn och kan tillverkas för att passa vid hörn. Rundade böjar kan dock eventuellt bli ett problem.
Underhåll	3	Visuell inspektion av tätningen bör genomföras kontinuerligt.
Livslängd	4	Leverantören uppger att produkten bör hålla för en livslängd på minst 30 år.
Förändringar	2	Produkten har ej testats för genomföringar.

Attribut	Attributvärde	Motivering
Övrigt	2	Produkten har inte någon nämnvärd ljudisoleringsförmåga och släpper till viss del igenom ljus.
Allmänt intryck	2	Leverantören har varit mycket tillmötesgående men uttryckt tveksamheter kring produktens lämplighet för den aktuella applikationen. Dessutom måste produkten modifieras i avseende på flexibilitet för att komma ifråga.

12.3 Utvärdering

Vid utvärderingen multipliceras relevansvärdet med attributvärdet för varje attribut och summeras till ett slutbetyg för varje produkt. Produkter som fått attributvärde 1 (oacceptabelt) i bedömningen av ett attribut som har relevansvärde 2 eller 3 (viktigt eller väldigt viktigt) sorterades ut innan utvärderingen och presenteras kort i Appendix K.

Tabell 12.5 – Summering av utvärdering

Attribut	Flexibilitet	Isolering	Täthet	Tålighet mot vatten, olja och mögel	Emissioner	Inköpspris	Montering	Underhåll	Livslängd	Förändringar	Övrigt	Allmänt intryck	Summa
Relevansvärde	3	3	3	2	2	1	1	1	2	3	1	2	
<u>Produkt</u>													
KBS FIR-A-FLEX™	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	62
Firetex skirt seal system	3	5	5	3	2	3	4	2	4	5	3	3	90
Viking firestop flexible sealing	4	5	5	4	3	3	4	5	5	5	3	5	106
Tayfire seismic seal	2	3	3	4	2	3	3	3	4	2	2	2	65

Utvärderingen ovan resulterar i följande rangordning av de fyra produkterna (se Avsnitt 13.2 för slutsatser, rekommendationer och diskussion):

1. Viking firestop flexible sealing (106 p)
2. Firetex skirt seal system (90 p)
3. Tayfire seismic seal (65 p)
4. KBS FIR-A-FLEX™ (62 p)

13 Slutsatser och diskussion

I detta avslutande kapitel presenteras examensarbetets slutsatser med tillhörande diskussioner för båda frågeställningarna.

13.1 Brandklassning av skott och durk

Målet med Del 1 av detta examensarbete var att utvärdera kraven på brandklassning av skott och durkar ombord den nya ubåten A26. Frågeställningen löd: *Är det rimligt att konstruera brandklassade durkar och skott ombord en ubåt enligt de preskriptiva kraven? Eller kan en riskanalys visa att en lägre brandklassning är fullt tillräcklig för att uppnå tillfredsställande säkerhet ombord ubåten, jämfört med ett fartyg som uppfyller de preskriptiva kraven med avseende på strukturellt brandskydd?*

13.1.1 Resultat

I Kapitel 8 värderas den framräknade risken dels genom ett kvalitativt resonemang och dels genom jämförelser med acceptanskriterier. Enligt intervallanalysen i Kapitel 7 är sannolikheten för brandspridning (väntevärdet), givet att brand uppstår, $5,8 \cdot 10^{-5}$ om klass A15 väljs. Omräknat till frekvens per år skulle risken anses som tolerabel för ubåt typ Gotland och Södermanland, samt hamna inom ALARP-området enligt DNV och IMO. Detta blir fallet även för beräkningar enligt det värsta tänkbara fallet i intervallanalysen. Om brandspridning, som definierat i detta examensarbete, omedelbart leder till att besättningen avlider, hamnar individrisken i ungefär samma storleksgrad som i Royal Navy.

I Avsnitt 8.1 diskuteras att skillnaden i sannolikhet för brandspridning mellan klassning A60 och A15 är $5,6 \cdot 10^{-5}$. Detta innebär att om 100 000 bränder uppstår, utgör klass A60 ett bättre skydd än klass A15 vid 5,6 av dessa. Klass A15 är tillräckligt för att stå emot 99 994,2 av bränderna medan klass A60 är tillräckligt för att stå emot 99 999,8 av bränderna. Skillnaden mellan klasserna är alltså relativt liten, speciellt med hänsyn till den låga brandfrekvensen ombord ubåtar. Det är viktigt att notera att brandfrekvensen i sig inte påverkas av brandklassningen på konstruktionselementen utan kan förväntas vara lika ombord en ubåt konstruerad enligt de preskriptiva kraven och en ubåt med alternativ brandteknisk design, vilket i detta fall innebär en lägre brandklassning.

Slutsatsen av riskanalysen är att det är överdrivet konservativt att konstruera durkar och skott ombord A26 till brandklassning A60 och att brandklassning A15 är tillräcklig för att uppnå tillfredsställande säkerhet för ubåten och dess besättning.

13.1.2 Diskussion

När resultaten från analysen jämförs med acceptanskriterier för risk bör det påpekas att brand inte är den enda risken ombord en ubåt, och att samtliga risker vid summering skall hamna i det acceptabla området. Brand är dock den absolut största risken, följd av vatteninträngning. I det här fallet anses det passiva brandskyddet vara tillfredsställande eftersom frekvensen för brandspridning hamnar inom dessa acceptanskriterier med god marginal om klass A15 väljs. Exempelvis befinner sig risken inom det acceptabla området även om den dubblas.

Intuitivt kan det kännas mycket att minska brandklassningen med 45 minuter (från A60 till A15). Det bör dock noteras att oavsett vilken tidsklassning ett konstruktionselement har så ska ett skott eller en durk av Klass A förhindra genombrott av *rök och lågor* under ett 60 minuter långt brandprov. Detta gäller alltså även ett konstruktionselement av Klass A15 (som dock har lägre värmeisoleringsförmåga).

En central aspekt av riskanalysen är de skyddsvärda funktionerna/kritiska systemen. En jämförelse med den strukturella och den dynamiska modellen visar att huvuddelarna av dessa modeller representerar funktioner och system som används för att upprätthålla det skyddsvärda. Det måste dock beaktas att frågeställningarna i detta examensarbete rör strukturellt brandskydd. Skyddsvärd funktion nummer 6 (se Avsnitt 6.4) är visserligen ”undvikande av fatal brand och/eller fatal explosion”, men funktionen av ett strukturellt brandskydd kan ur denna aspekt endast ta vid först när en brand initierats eller en explosion skett.

Syftet med det strukturella brandskyddet är att förhindra en brand från att sprida sig från den brandzon där branden initieras. Sålunda påverkar funktionen av det strukturella brandskyddet samtliga skyddsvärda funktioner 1-8 (se Avsnitt 6.4) genom att skydda säkerhetskritisk utrustning, dock endast så länge den befinner sig i angränsande brandzoner. Det bör även poängteras att när en brand uppnår temperaturer som äventyrar det strukturella brandskyddets funktion, har skador på skyddsvärda system i startutrymmet redan uppstått. Det kan därför vara mer effektivt att satsa mer resurser på att förbättra exempelvis tillförlitligheten hos detektionssystem och släcksystem eftersom de både motverkar skador i startutrymmet *samt* skyddar mot brandspridning (se Avsnitt 8.1). Kostnaden för detta bör sättas i relation till sparad kostnad och utrymme för konstruktionselementen.

I Stycke 8.2.1 diskuteras begreppet kostnadsnyttoanalys (CBA) översiktligt och exempel ges på en beräkningsmetod som rekommenderas av IMO. Dessa beräkningar bedöms kräva betydligt större resurser än vad som ryms inom frågeställningen i detta examensarbete. Författarna rekommenderar att systemsäkerhetsavdelningen på Kockums AB utreder användbarheten av dessa analysmetoder inför kommande riskutredningar av liknande karaktär.

I Avsnitt 6.5 presenteras en förenklad riskinventering baserad på en brandteknisk analys som genomfördes inom projektet Viking (Kockums III). Inventeringen är uppdelad efter de olika avdelningarna ombord ubåten och för varje utrymme redogörs i en separat tabell för typ av brandbelastning, möjliga tändkällor och kritiska system. Denna riskinventering kan ej betraktas som fullständig, dels för att designarbetet har gått framåt sedan Viking men främst för att A26 varken är färdigkonstruerad eller byggd ännu. Riskinventeringen påverkar dock inte resultatet av analysen utan används främst för att ge en bild över den brandbelastning, möjliga tändkällor och kritiska system som normalt finns ombord en konventionell ubåt. Om framtida systemsäkerhetsanalyser av A26 genererar riskkällanalyser (se Appendix D) kan dessa användas för att uppdatera riskanalysen i detta examensarbete.

Generellt ska systemsäkerhetsarbetet sträva efter att risker för personal, egendom och miljö ska vara så låga som är *praktiskt* och *rimligt* möjligt. Riskbedömning kan spela en viktig roll i denna process då syftet med funktionsbaserad konstruktion inte är att skapa en konstruktion som aldrig fallerar, utan att någorlunda säkert kunna specificera en konstruktion som fungerar på ett sätt som genererar en tillräcklig säkerhetsnivå, vilket är fallet om klass A15 väljs. Denna brandklassning skulle även innebära en högre flexibilitet hos de flexibla brandtätningarna jämfört med om de preskriptiva kraven på klass A60 följs (se Stycke 11.2.3).

13.1.3 Metodval

Syftet med detta stycke är att kritiskt granska den valda metoden, jämföra fördelar och nackdelar med alternativa metoder samt belysa vilka förbättringar och uppdateringar som skulle kunna göras.

Riskanalysen i Del 1 av detta examensarbete utgår från händelseträdsmetodik med starthändelsen *brand uppstår*. Frekvensen för detta har uppskattats utifrån tidigare ubåtsbränder. Sedan har antagandet gjorts att det är olika sannolikt att bränderna uppstår i de olika utrymmena baserat på vilken kategori ett visst utrymme tillhör. Alla utrymmen inom samma kategori tilldelas lika stor sannolikhet. Exempelvis så anges sannolikheten att startutrymmet är MR eller PMR, givet att en brand har uppstått, till 0.12. Eftersom MR är större än PMR och innehåller mer utrustning är brandfrekvensen i verkligheten troligtvis högre där jämfört med PMR. Trots detta görs förenklingen att samtliga maskinutrymmen har samma brandfrekvens, och i realiteten påverkar detta inte resultatet av riskanalysen eftersom maxtemperaturerna ej uppnår kritiska värden för dessa utrymmen, se Stycke 7.1.6. Ett alternativt tillvägagångssätt hade varit att genom felträdsanalys för varje utrymme försöka uppskatta frekvensen för att brand uppstår just där. Detta hade även kunnat resultera i en bättre uppskattning av brändernas storlek. På grund av antalet komplexa system ombord ubåten skulle detta vara alltför tidskrävande för att rymmas i ett examensarbete. Innan alla system är färdigdesignade är det dessutom svårt att genomföra en sådan analys. Det är heller inte säkert att detta skulle tillföra något med tanke på att ännu fler osäkerheter införs. Den valda metoden innehåller förvisso stora osäkerheter även den, men genom intervallanalysen har ett försök att ta hänsyn till dessa gjorts.

Konsekvenserna av brand i de olika utrymmena har uppskattats med hjälp av en tidigare genomförd CFD-analys för projektet Viking. Då inga radikala förändringar i designen vad gäller brandbelastning eller utrymmenas storlek gjorts har dessa bedömts vara giltiga för denna analys. Alternativt hade en genomgående CFD-analys av A26 kunnat göras, men detta skulle vara alltför tidskrävande för att rymmas inom detta examensarbete. Osäkerheterna i resultaten från CFD-simuleringarna har istället tagits hänsyn till genom att lägga till ett temperaturintervall på $\pm 15\%$. De undersökningar som denna variation baseras på antyder att temperaturerna oftast överskattas snarare än underskattas i simuleringsprogrammet som använts. Antagandet att temperaturerna kan bli 15 % högre än i simuleringarna är därmed ett väldigt konservativt antagande och följaktligen på den säkra sidan. Då resultatet av riskanalysen visar att en lägre brandklassning kan väljas trots detta antagande bedöms nya CFD-simuleringar ej vara nödvändiga. Om nya simuleringar trots detta görs i framtiden i andra syften, till exempel för att kontrollera utrymnings säkerheten, kan de resultaten användas för att uppdatera riskanalysen.

Sannolikheterna för fungerande detektionssystem, släcksystem samt lyckad manuell släckning har uppskattats med hjälp av statistik från landsidan. Eftersom en ubåt är en mer extrem miljö, där detektorer kan utsättas för hög luftfuktighet och smuts från oljespill med mera, skulle antagandet att dessa har lägre tillförlitlighet än på landsidan kunna göras. Detta borde å andra sidan vägas upp av de rigorösa kontroller som görs betydligt mer regelbundet ombord en ubåt än i en byggnad.

De aktiva släcksystemen har antagits fungera oberoende av om detektionssystemet fungerar eller ej. En vidare utredning av hur dessa kommer att vara relaterade till varandra borde göras, men innan ett slutgiltigt beslut tagits för exakt vilka system som kommer att användas är detta svårt att uppskatta.

Som beskrivs i Kapitel 3 utgår riskanalysen i detta examensarbete från det tekniska synsättet på risk. Ett annat alternativ är det socialkonstruktivistiska synsättet där fokus ligger mer på hur risker tolkas och upplevs av individer och grupper. Exempel på faktorer som spelar in är ofrivillig utsatthet, brist på personlig kontroll, bristande erfarenhet och påverkan av den mänskliga faktorn. Brand är en riskkälla där orsak och konsekvens är relativt väl kända samtidigt som ubåtsbesättningen har erfarenhet och utbildning i hur tillbud skall hanteras. Då ubåtsbesättningen även själva valt ett riskfyllt arbete och är medvetna om sin situation anses de socialkonstruktivistiska aspekterna vara av försumbar betydelse för den aktuella frågeställningen.

13.2 Flexibla brandtätningar

Målet med Del 2 av detta examensarbete var att ta fram ett koncept för användandet av flexibla brandtätningar i brandzonsgränser ombord A26. Syftet var att det framtagna konceptet ska uppfylla brandkrav och samtidigt tillåta konstruktionen att uppfylla ubåtsspecifika krav. Frågeställningen löd: *Vilka krav är rimliga att ställa på flexibla brandtätningar mellan konstruktionselement ombord ubåten? Finns det någon produkt/material på marknaden idag som uppfyller dessa krav? Om flera lämpliga produkter identifieras, vilken utgör det bästa alternativet för den aktuella applikationen?*

13.2.1 Resultat

Utvärderingen i Avsnitt 12.3 resulterar i följande rangordning av de fyra produkterna.

1. Viking firestop flexible sealing (106 p)
2. Firetex skirt seal system (90 p)
3. Tayfire seismic seal (65 p)
4. KBS FIR-A-FLEX™ (62 p)

Viking firestop flexible sealing får bäst poäng och har relativt god marginal till *Firetex skirt seal system* som får näst högst poäng. Dessa båda produkter är som synes överlägsna *Tayfire seismic seal* som kommer på tredje plats och *KBS FIR-A-FLEX™* som fick lägst poäng.

13.2.2 Rekommendationer

Oavsett vilken produkt som väljs för de flexibla brandtätningarna ombord A26 bör Kockums AB göra en del ytterligare undersökningar innan den slutliga beställningen. Författarna till detta examensarbete lämnar följande rekommendationer till Kockums AB:

- Att produkten *Viking firestop flexible sealing* används som flexibel brandtätning mellan skott/skrov, skott/durk och durk/skrov där konstruktionen så kräver ombord A26.
- Att den etablerade kontakten med Trelleborg Offshore Norway bibehålls och underhålls inför kommande faser av projektet. Kontaktuppgifter finns i Appendix L.
- Att den flexibla brandtätningen testmonteras i modell eller lämplig befintlig ubåt på de ställen som bedöms som svårast. Det främsta exemplet på detta är i spantfacken, såväl de tomma som de som upptas av kabel- och rördragningar.
- Att materialet som ska användas testas så att det uppfyller de akustiska kraven. Detta innebär såväl att materialet i sig inte avger ljud under rörelse samt att det har tillräcklig förmåga att dämpa amplituden på vibrationer från durken eller skottet.
- Eventuellt måste ytterligare tester genomföras för att säkerställa att materialet uppfyller IMO:s krav enligt ISO 5659:1994 för toxicitet.
- Att Kockums AB tar hänsyn till materialkrav, industrins säkerhetskrav och övriga relevanta krav (se Appendix D) ur HSystSäk vid beställning, tillverkning och leverans av de flexibla brandtätningarna.

13.2.3 Diskussion

Att resultatet föll ut som det gjorde kan lätt härledas i Tabell 12.5. Av de fyra attribut (flexibilitet, isolering, täthet och förändringar) som hade en 3:a som relevansvärde fick både *Viking firestop flexible sealing* och *Firetex skirt seal system* tre 5:or vardera som attributvärden, samtidigt som *Tayfire seismic seal* och *KBS FIR-A-FLEX™* som högsta attributvärde fick en 3:a vardera. Av de attribut (tålighet mot vatten, olja och mögel, toxicitet, livslängd och allmänt intryck) som hade en 2:a som relevansvärde fick *Viking firestop flexible sealing* högre eller samma attributvärde som de övriga tre produkterna för samtliga attribut. De attribut för vilka *Viking firestop flexible sealing* tilldelades en 3:a i attributvärde var toxicitet, inköpspris och övrigt. Inköpspris är det enda attribut där samtliga fyra produkter fick samma attributvärde, för toxicitet och övrigt fick *Viking firestop flexible sealing* högre eller samma attributvärde som de övriga tre produkterna.

Viking firestop flexible sealing och *Firetex skirt seal system* har liknande konceptlösningar, men det är materialet i produkten som utgör den största skillnaden. *Firetex skirt seal system* fick tre 5:or i attributvärden (isolering, täthet och förändringar). *Viking firestop flexible sealing* fick 5:or i attributvärden för samma tre attribut, samt för ytterligare tre attribut (underhåll, livslängd och allmänt intryck). För inget attribut får *Viking firestop flexible sealing* lägre attributvärde än någon av de övriga tre produkterna.

13.2.4 Metodval

Produktvalet i Del 2 av detta examensarbete har gjorts med hjälp av ett förenklat viktat urval. I efterhand kan viktningen tyckas vara betydelslös eftersom produkten med högst betyg faktiskt är bäst, eller lika bra, vad gäller samtliga attribut som undersökts. De övriga produkterna kan då sägas vara dominerade av *Viking firestop flexible sealing*, det vill säga de har nackdelar i förhållande till *Viking firestop flexible sealing* utan att ha några fördelar (Hammond et al, 1999). Produkterna skulle således kunna jämföras utan någon viktning och ändå ge samma resultat.

Den använda metoden valdes innan författarna noterat att de övriga alternativen är dominerade av *Viking firestop flexible sealing* och anses vara ett strukturerat och lättöverskådligt sätt att rangordna alternativ på. Metoden visar tydligt vad som bedöms som mycket viktiga eller mindre viktiga attribut och hjälper beslutsfattaren att göra ett väldokumenterat och rättvist val. En stor fördel med den använda metoden är att en ny alternativ produkt lätt kan inkluderas i utvärderingen om detta skulle bli aktuellt i framtiden. Vissa bedömningar vad gäller attributvärdena blir till viss del subjektiva, men ett försök till kvantifiering av kraven för de olika betygsstegen har gjorts för att i möjligaste mån frångå detta. *Viking firestop flexible sealing* har även en relativt stor marginal till produkten med näst högst betyg, vilket gör den till en klar vinnare även om någon enstaka orättvis eller felaktig bedömning gjorts.

En nackdel med den valda metoden är att resultatet kan vara känsligt för vilka attribut som väljs ut att ingå i utvärderingen. Rangordningen av alternativen kan se annorlunda ut om andra eller fler attribut används eller om vissa attribut exempelvis stryks eller delas upp i delattribut. Attributen som använts i detta examensarbete togs fram dels ur de regler och föreskrifter som presenteras i Kapitel 2 och dels genom funktionsbaserade resonemang i samråd med personal från de berörda avdelningarna på Kockums AB. Dessutom valdes attributen ut innan det stod klart vilka produkter som skulle komma att ingå i slutvärderingen. Det är författarnas uppfattning att bedömningen gjorts så rättvis som möjligt.

Referenser

Aven, T., Vinnem, J.E., Vollen, F. (2006). *Perspectives on risk acceptance criteria and management for offshore applications – Application to a development project*. International journal of materials & structural reliability, Vol. 4, No 1, pp 15-25.

Aslin, A. MCL Unitex Ltd. Mailkontakt 2009-05-21

Bain, A.D., Dobson, S. (2008). *Safety Cases for Legacy Warships: A Systematic Approach*. 2008 3rd IET International Conference on System Safety, pp 1-6.

Backman, J. (1998). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur

Bergman, S., Eriksson, O., Finnveden, G., Glaumann, M., Stenbeck, S., Sundkvist, Å., Wintzell, H. (2006). *Miljöklassning av byggnader - Inventering av metoder och intressenters behov*. Avdelningen för Miljöstrategisk analys – fms, Institutionen för Samhällsplanering och miljö, Skolan för Arkitektur och samhällsbyggnad, KTH, Stockholm.

BSI (The British Standards Institution). *Fire-resistance of building materials and elements*. Tillgänglig: www.bsigroup.com (2009-07-03)

Bäckström, M. & Wiberg D. (2001). *Omvärldsanalys på en framväxande/nybildad produktmarknad*. Institutionen för industriell ekonomi och samhällsvetenskap, Avdelningen för industriell marknadsföring, Luleå tekniska universitet.

DNV (Det Norske Veritas) (2005). Det Norske Veritas Type Approval Certificate, Certificate No. F-17812.

Ejvegård, R. (2003). *Vetenskaplig metod* (3:e uppl.). Lund: Studentlitteratur

Emond, S., Hagberg, C., Mårtensson, J., Rydberg, P. (2005). *Produktutvecklingsprojekt KOCKUMS AB*. Institutionen för designvetenskaper, Avdelningen för maskinkonstruktion, Lunds tekniska högskola.

Försvarets materielverk (2008). *Ubåtssäkerhet: Krav och Rekommendationer*. Version 3.1, FMV Dokumentbeteckning 15958/2008.

Försvarmakten (1996). *Försvarmaktens handbok för systemsäkerhet – HSystSäk*. M7740-784851

Försvarsmakten (2006). *Regler för militär sjöfart RMS-F. M7749-752001.*

Gawlowski, M., Hailwood, M., Vela, I., Schönbucher, A. (2009). *Deterministic and probabilistic estimation of appropriate distances: Motivation for considering the consequences for industrial sites.* Chemical engineering and technology, Vol 32, No 2, pp 182-198.

Gojkovic, D. & Delin, M. (2005). *Brandförlopp och brandberäkningar*, i Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

Goudie, C. Nullifire Ltd. Mailkontakt 2009-06-09

Granholt, F. (2003). *Från Hajen till Södermanland – Svenska ubåtar under 100 år.* Marinlitteraturföreningen nr 89, Forum navales skriftserie nr 7, ISBN 9185944-40-8, Karlskrona.

Hall, J. R. (2007). *U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment.* National Fire Protection Association, Quincy, MA.

Hammond, J. S., Keeney R. L., Raiffa, H. (1999). *Fatta smarta beslut.* Harvard Business School Press. ISBN 91 7711 657 7

Holmstedt, G., Bengtsson, S., Blomqvist, P., Dittmer, T., Hägglund, B., Tuovinen, H., Hees, P. (2008). *Kvalitetssäkring av olycks- och skadeförebyggande arbete med brandskydd i byggnader.* Rapport 3144, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

HSE (Health and Safety Executive). *Risk management – ALARP.* Tillgänglig: <www.hse.gov.uk/risk/theory/alarplance.htm> (2009-07-14).

IEC (International Electrotechnical Commission) (1995). *International Standard – Dependability management part 3: application guide – section 9.* Risk Analysis of technological systems.

IMO (International Maritime Organization). Tillgänglig: <<http://www.imo.org/>>, (2009-04-16)

IMO (International Maritime Organization) (1998). *International code for application of fire test procedures.* ISBN 92-801-1452-2, London

IMO (International Maritime Organization) (2001). *Guidelines for alternative design and arrangements for fire safety.* London

IMO (International Maritime Organization) (2004). *SOLAS – Consolidated edition 2004*. ISBN 92-801-4183-X, London.

ISO (International Organization for Standardization). *Standards – fire safety*. Tillgänglig: <www.iso.org> (2009-07-03)

Johansson, H. (1999). *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering*. Rapport 3105, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

Johnson, A. Informationsenheten Sjöfartsverket. Mailkontakt (2009-04-29)

Kaplan, S. (1997). The Words of Risk Analysis. *Risk Analysis*. Vol 17, No 4. Sid 407-417. Society for Risk Analysis, London.

KBS (KBS Brandskydd AB). Tillgänglig: <<http://www.kbs.se/firaflex.htm>> (2009-06-29).

Kindt, S. (2009). *Carbon Dioxide Compressor for Air Purification System onboard Submarines*. Division of Heat Transfer, Department of Energy Sciences, Faculty of Engineering, Lund University, Lund

Kourmatzis, I. (2000). *Quality Management versus Risk Finance in shipping*. Mare Forum 2000: The shipping risk management forum, Athens, Greece 25-26 September 2000.

Kudrik, I., Nikitin, A. & Nilsen, T. (1997). *The Russian Northern Fleet Nuclear submarine accidents*. Bellona Report no. 2:96, Chapter 8, Tillgänglig: <<http://spb.org.ru/bellona/ehome/russia/nfl/nfl8.htm>> (2009-06-16)

Kustbevakningen (2008). *Räddningstjänstplan*. Kapitel 18, Version: 2008, 2008-05-15

Lilley, P. Tayfire International Ltd. Mailkontakt (2009-05-08).

Lloyds Register (2004). Certificate of fire approval, Certificate No. SAS F040446.

Länsstyrelsen i Stockholms län. *Vad är en risk- och sårbarhetsanalys?* Tillgänglig: <www.ab.lst.se> (2009-06-15)

Malm, D. & Pettersson, A.-I. (2008). *Tillförlitlighet för automatiska vattensprinkleranläggningar - en analys av befintlig statistik*. Rapport 5270, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

MB Industries (MBI). *Fire*. Tillgänglig: <<http://www.mbindustries.com>> (2009-06-30)

MCL Unitex Limited. *MCL Unitex Guidelines on Flexible Pipe Seals*. Tillgänglig: <http://www.tech-trade.no> (2009-04-23)

Microtherm. *Fire curves & Testing*. Tillgänglig: <<http://www.microtherm.uk.com>> (2009-06-30)

Nationalencyklopedin (NE). Tillgänglig: <www.ne.se> (2009-05-13)

Nilsson, J. (2003). *Introduktion till riskanalyismetoder*. Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund.

Peacetime Submarine Accidents. Tillgänglig: <<http://www.lostsubs.com>> (2009-06-16)

Roeningen, M. Trelleborg Offshore Norway AS. Mailkontakt (2009-04-27).

Räddningsverket (1994). *Fartygsbrandsläckning*. Karlstad.

Sandgren, M. KBS Brandskydd AB. Mailkontakt (2009-05-06).

Savadogo, O. & Shanian, A. (2009). *A methodological concept for material selection of highly sensitive components based on multiple criteria decision analysis*. Expert Systems with Applications, Vol 36, No 2, pp 1362-1370.

SJÖFS (2005:11). *Sjöfartsverkets föreskrifter om tillämpningen av förordningen (2003:440) om säkerheten på örlogsfartyg*.

SJÖFS (2008:16). *Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om brandskydd, branddetektering och brandsläckning på SOLAS-fartyg byggda den 1 juli 2002 eller senare*.

Slettenmark, O. (2003). *Risikanalyser i detaljplaneprocessen – vem, vad, när & hur?*, Länsstyrelsen i Stockholms län, ISBN 91-7281-106-4

Swed Handling AB (2006). *Säkerhetsdatablad Väteperoxid 17,5 %*. Utfärdandedatum 2006-04-12

Skjong, R. (2002). *Risk acceptance criteria: current proposals and IMO position*. Surface transport technologies for sustainable development, Valencia, Spain 4-6 June 2002.

SP (Sveriges tekniska forskningsinstitut). *Brandtekniska klasser*. Tillgänglig: <www.sp.se> (2009-04-28)

Särdqvist, S; Holmstedt, G. (2000), *Correlation Between Firefighting Operation and FireArea: Analysis of Statistics*, Fire Technology 36:2,109-130

Vanema, E., Antaño P., Østvik, I., Del Castillo de Comas, F. (2008). *Analysing the risk of LNG carrier operations*. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 93, No 9, pp 1328-1344.

Weisstein, E. W. *Triangular Distribution*, From MathWorld – A Wolfram Web Resource. Tillgänglig: <<http://mathworld.wolfram.com/TriangularDistribution.html>> (2009-07-13)

Interna källor

Bowin, M. (1995). *Ubåtskännedom: Föredrag om ubåtsbullen*, 1995-08-17

Försvarsmakten (2002). *Riskmatriser för Ubåt typ Gotland & Ubåt typ Södermanland*. 35 749:66192.

Klingberg, F. F.d. fartygsingenjör på ubåt. Muntlig källa 2009-07-07.

Kockums I. *Swedish submarines*. Sixth edition.

Kockums II. *Type A26 Submarine*. PR - broschyr.

Kockums III. *Brandteknisk analys av projektet Viking*, Firetech (2004).

Kockums IV. *Ubåtskännedom: Maskinsystem*. 1998-08-17

Kockums V. *Ubåtskännedom: AIP-teknologi*. 1998-08-17

Kockums VI. *Ubåtskännedom: Föredrag om vapensystem*. 1998-08-17

Stenvall, J. Sektionen för strukturanalys, Kockums AB, Malmö, Muntlig källa 2009-05-12.

Warringtonfire (2005). WF Test Report No. 149607.

Witt, M. Sektionen för signaturer, Kockums AB, Malmö, Muntlig källa 2009-05-12.

Appendix A – SJÖFS 2008:16, Bilaga 1, Del F

SJÖFS 2008:16, Bilaga 1 Del F beskriver översiktligt ett tillvägagångssätt för alternativ utformning av brandskydd medan Bilaga 3 innehåller detaljerade anvisningar. Metoden delas upp i följande huvudmoment:

Brandteknisk analys

En brandteknisk analys ska användas för att visa att den alternativa utformningen ger samma säkerhetsnivå som brandskyddsåtgärder enligt detaljkraven. Analysen bör följa ett etablerat tillvägagångssätt för utformning av brandskydd, baserat på brandvetenskap och teknisk erfarenhet. Detta bör i sin tur innefatta allmänt accepterade metoder, empiriska data, beräkningar, samband och datormodeller ur teknisk litteratur, exempelvis SFPE Engineering Guide to Performance-based Fire Protection Analysis and Design of Buildings.

Konstruktionsgrupp

Ägaren, fartygsbyggaren eller konstruktören bör inrätta en konstruktionsgrupp i samråd med Sjöfartsverket. Konstruktionsgruppen kan utgöras av en representant för ägaren, fartygsbyggaren eller konstruktören samt en eller flera experter med nödvändiga kunskaper och erfarenheter inom exempelvis brandskydd, konstruktion och drift, beroende på vad som krävs i den aktuella utvärderingen. Även inspektörer, operatörer, tillverkare och sjöingenjörer kan ingå i gruppen.

Preliminär kvalitativ analys

Fartyget och dess system, komponenter, utrymmen och utrustning som omfattas av analysen bör beskrivas grundligt, såväl den alternativa utformningen som konstruktion enligt detaljkraven. Vilken information som krävs beror på hur mycket man avser avvika från detaljkraven. Dessutom bör en förteckning över brandrisker upprättas och följas av en specifikation av dimensionerande brandscenarier. I nästa steg i analysen bör en eller flera preliminära alternativa utformningar utvecklas som kan jämföras med de dimensionerande värden som fastställts. Den preliminära alternativa utformningen bör också ta hänsyn till betydelsen av mänskliga förmågor och begränsningar samt fartygets drift och ledning. Det bör observeras att väldefinierade procedurer för drift och ledning kan spela en avgörande roll för att höja säkerhetsnivån.

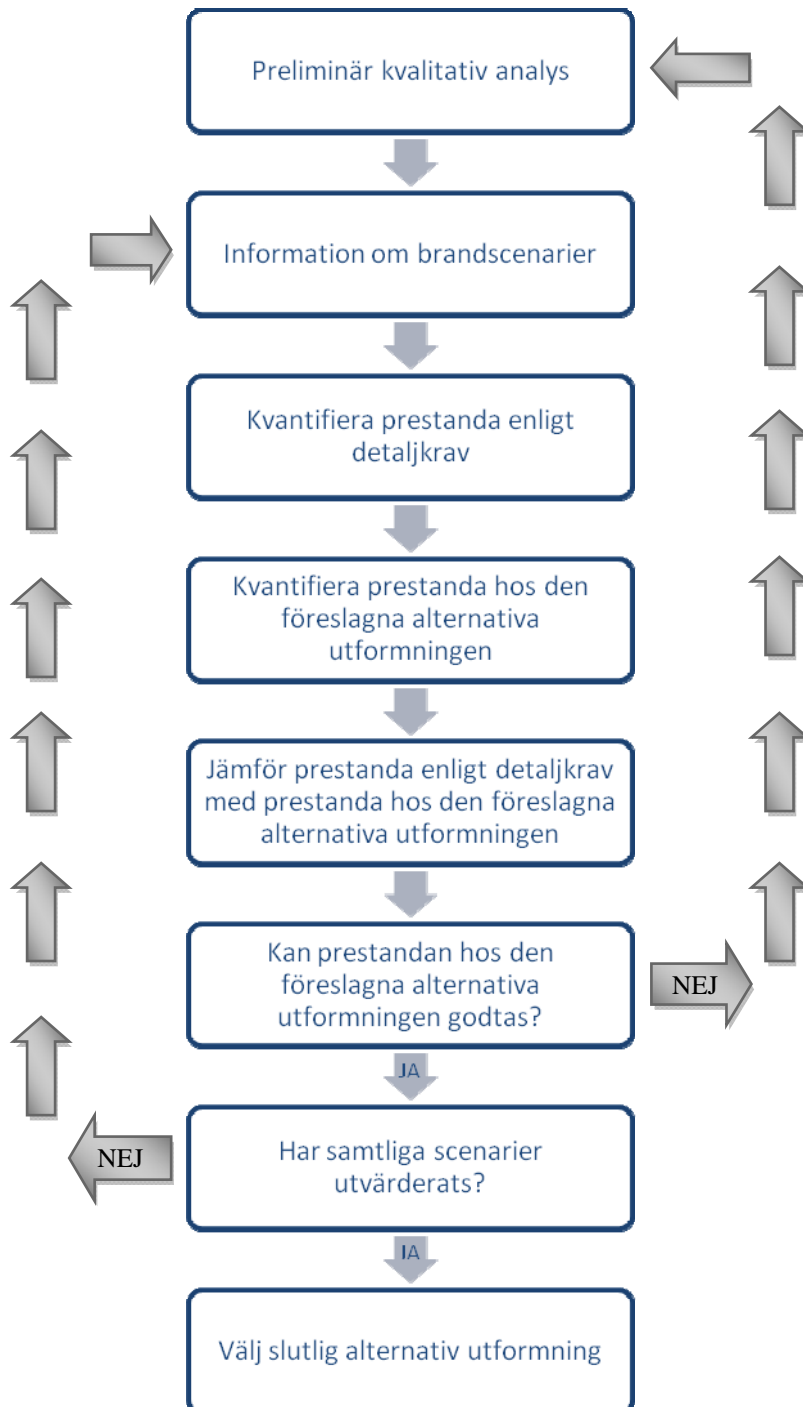
Kvantitativ analys

I den kvantitativa analysen ingår att kvantifiera de dimensionerande brandscenierna, att utveckla dimensionerande värden, att kontrollera att valda säkerhetsmarginaler är godtagbara samt att utvärdera prestanda hos preliminära alternativa utformningar jämfört med detaljkrav. Att kvantifiera de dimensionerande brandscenierna kan omfatta att beräkna effekterna av branddetektering, larm och släckning eller att beräkna konsekvenserna av brandtillväxthastighet, värmefflöde, värmeutveckling, flamhöjd, produktion av rök och giftig gas. Denna information kan sedan användas för att utvärdera de alternativa utformningar som valts ut i den preliminära analysen.

Risbedömning kan spela en viktig roll i denna process då syftet med funktionsbaserad konstruktion inte är att skapa en konstruktion som aldrig fallerar, utan att någorlunda säkert kunna specificera en konstruktion som fungerar på ett sätt som motsvarar eller är bättre än en konstruktion enligt detaljkraven. Varje utvald preliminär alternativ utformning bör analyseras enligt de utvalda dimensionerande brandscenierna för att visa att den uppfyller de dimensionerande värdena med överenskommen säkerhetsmarginal. Detta i sin tur visar att den preliminära alternativa utformningen motsvarar en konstruktion enligt detaljkrav.

Dokumentation

Eftersom den alternativa utformningen kan innebära stora avvikelser från detaljkraven bör alla steg i processen dokumenteras grundligt. Dokumentationen kan då användas vid eventuella framtida förändringar i fartygets konstruktion.



Figur A1 – Flödesschema för analys av alternativ utformning

Appendix B – Brandskydd enligt RMS-F & UKR

Kapitel 14 *Brandskydd* i UKR motsvarar Kapitel 11.14 *Ubåtar: Brandskydd* i RMS-F i numrering och rubriksättning. De bägge regelverkan är lika men ej identiska i brandskyddskapitlet, det finns dessutom en del stycken i det ena som ej tas upp i det andra och vice versa. Brandskyddet ombord A26 ska vara i enlighet med såväl UKR som RMS-F. Nedan redogörs för de paragrafer som bedöms som viktiga för syftet med detta examensarbete, oavsett vilket regelverk de tillhör.

Allmänt

RMS-F: Ubåtars brandskydd skall minst motsvara den nivå SJÖFS 2008:16 (tidigare 2004:31) Bilaga 1 anger för lastfartyg med de undantag och tillägg som anges. Ubåtars brandskydd skall, utöver av vad som framgår nedan, utformas med den metod som föreskrivs i SJÖFS 2008:16 Bilaga 3 – Anvisningar för alternativ utformning av brandskydd. De rapporter som utarbetas i samband med designarbetet behöver inte distribueras till IMO eller Sjöfartsverket. Transportstyrelsen (tidigare SJÖI) kan godkänna en alternativ utformning av brandskyddet som helt eller delvis avviker från detaljkraven i Kapitel 11/11.14. Detta förutsatt att den alternativa utformningen har genomgått en brandteknisk analys, utvärderats och godkänts enligt kraven i denna regel, uppfyller dessa föreskrifters syfte och funktionskrav samt ger samma säkerhetsnivå som brandskyddsåtgärder enligt detaljkraven i Kapitel 11/11.14.

UKR: Åtgärderna för att minimera brandrisker skall vidtas i prioritetsordningen:

1. Brandförebyggande
2. Branddetektion
3. Minimera konsekvensen av brand
4. Brandsläckning.

Ubåtens sätt att uppträda med dess slutna atmosfär medför att en brand kan få särskilt allvarliga konsekvenser. Brandsäkerhet måste således prioriteras mycket högt vid ubåtens konstruktion. Vissa konstruktioner, materialval med mera är naturligt brandfarliga, exempelvis drivmedel, smörjmedel, matfett och elektriska komponenter. Det har ofta visat sig att det är personalen ombord som upptäcker att en brand håller på att utvecklas innan det automatiska detektionssystemet har registrerat branden. Att personalen finns på plats kan således vara en riskreducerande faktor. Ubåtens system och materiel skall vara utformade så att risk för brand och explosion i möjligaste mån elimineras och så att följderna av en eventuell brand eller explosion blir så begränsade som möjligt. Om en brand uppstår skall den i så liten grad som möjligt kunna sprida sig i ubåten.

Principer för brandskydd och brandbekämpning

RMS-F: Det totala brandskyddet skall utformas med beaktande av att brand är en av de största riskerna för ubåten och dess besättning. Ubåten får inte bli tyngre under pågående brandbekämpning i uläge och brandbekämpning får inte resultera i förlust av djupkontroll eller instabilitet i trim. Det skall gå att ventilerar ut brandrök forcerat ur ubåten vid snorkelläge och ytläge. Ubåtens konstruktion skall minimera sannolikheten för uppkomst av brand, minimera risken att brand inte upptäcks eller uppföljs samt minimera konsekvensen av både större och mindre brandincidenter. Ubåtens konstruktion och utrustning skall vara sådan att fartygets besättning effektivt kan leda och genomföra brandbekämpning.

Ubåtens egenskaper med avseende på brand

RMS-F: Ubåtens brandskydd skall vara utformat med beaktande av ubåtens speciella natur. Speciellt med avseende på:

- a) Den slutna volymens inverkan på tryck, syrehalt och ventilationsbegränsningar vid brand och brandbekämpning.
- b) Den begränsade tillgången på frisk luft innebär att en brand normalt blir syrebegränsad, om branden inte släckts dessförinnan.
- c) Hydrostatiska begränsningar som begränsar kvantiteterna av vatten som kan användas för brandbekämpning och avkyllning av brandgränser.
- d) Syrekoncentrationen kan avvika från den normala atmosfärens.
- e) Ubåten är vattenomsluten vilket ger en effektiv kylning av tryckskrovet vid brand.
- f) Tryckavlastning av system med brandfarliga fluider måste hanteras inuti ubåten.
- g) En stor del av besättningen är alltid i tjänst och avstånden är små vilket kan medge snabba insatser.
- h) Det är ofta inte möjligt att separera utrymmen med hög brandrisk eller potentiellt hög brandbelastning från andra sådana utrymmen eller på annat sätt farliga eller kritiska områden.

Skrovkonstruktion och brandutbredning

RMS-F: Utrymmen med hög brandrisk skall så långt som det är praktiskt möjligt separeras från utrymmen med hög brandbelastning och från utrymmen som är vitala för personalens säkerhet och överlevnad i händelse av brand.

UKR: Utrymmen med fast installerade gasläcksystem skall ha erforderlig täthet för att säkerställa brandsläckning. Konstruktioner som innefattar elastiskt monterade plattformar eller moduler och utrymmen med isolerande väggbeklädnad skall beaktas särskilt med avseende på flamspridningsegenskaper i svåråtkomliga utrymmen, brandbekämpnings- och röktäthetskrav.

Minimering av brandkonsekvenser

RMS-F: Varje konstruktion skall vara utformad med beaktande att den kan komma att utsättas för brand. Material som avses användas för både strukturell och icke-strukturell avdelning av ubåtskonstruktionen skall utöver vad som sägs om materialval också väljas efter sin förmåga att behålla sin styrka vid de förhöjda temperaturer som kan förekomma samt sina värmeisolerande egenskaper. Avgränsningar skall dimensioneras för att tåla de momentana tryckdifferenser som kan bli följden av en brand samt konstrueras med tryckavlastning om detta krävs för att möjliggöra säker utrymning genom avgränsningen.

UKR: För att begränsa spridning av rök och gaser från en brand skall ubåten indelas i ett antal rökbegränsade zoner. Rökspridning skall förhindras mellan utrymmen med hög brandrisk och personaltäta utrymmen. Genomgående durkar skall vara röktäta och om elastiskt monterad plattform används skall anordningar finnas för att förhindra rökspridning förbi plattformen (om det utgör del av en brandindelning) där den går fri från tryckskrovet.

Brandindelningar skall dimensioneras för att minst klara av att motstå en temperaturutveckling motsvarande en dimensionerande brand i rummet under minst så lång tid att branden kan anses bli syrebegränsad i den aktuella tryckfasta avdelningen. Brandindelning skall ha sådana värmeisolerande och rökbegränsande egenskaper att en dimensionerande brand inte leder till skador i angränsande utrymmen under minst den tid det tar för branden att bli syrebegränsad i den aktuella tryckfasta avdelningen.

Systemssäkerhet

RMS-F: *Systemssäkerhet* definieras som ”Egenskapen hos ett system att inte orsaka person-, egendoms- eller miljöskada”. Ett system anses säkert då ”tolerabel risknivå” uppnåtts. Med system avses en kombination av förnödenheter, anläggningar och personal samt instruktioner och reglementen för utbildning, användning och underhåll i såväl krig, kris som fred.

UKR: Vad som utgör *huvudriskkällor* ombord en ubåt bestäms av den konsekvens som en vådahändelse kan orsaka. För att en riskkälla skall klassas som en huvudriskkälla ombord en ubåt skall *konsekvensen av riskkällans vådahändelse vara total förlust av ubåten eller många dödsfall*, det vill säga en icke tolerabel konsekvens. Huvudriskkällor för ubåt skall vara föremål för särskild kontroll och uppföljning under ubåtens hela livslängd. Denna särskilda kontroll av huvudriskkällor innebär inte att ubåtens övriga riskkällor får negligeras, det finns många andra riskkällor ombord ubåten som inte omfattas av detta begrepp

Vid systemsäkerhetsarbete i samband med modifiering av befintlig ubåt eller vid utveckling av ny ubåt skall vådahändelser av huvudriskkällor enligt definitionen ovan alltid utgöra topphändelser vid analys. Utöver detta skall också evakuering av ubåt efter inträffande av någon topphändelse vara föremål för analys. Exempel på topphändelser som kan orsaka förlust av ubåt och/eller besättning listas nedan:

- Förlust av strukturell styrka
- Förlust av stabilitet
- Förlust av förmåga att manövrera vertikalt
- Förlust av förmåga att utestänga sjövattnen
- Förlust av andningsbar atmosfär
- Fatal brand
- Fatal explosion

Appendix C – Systembeskrivning

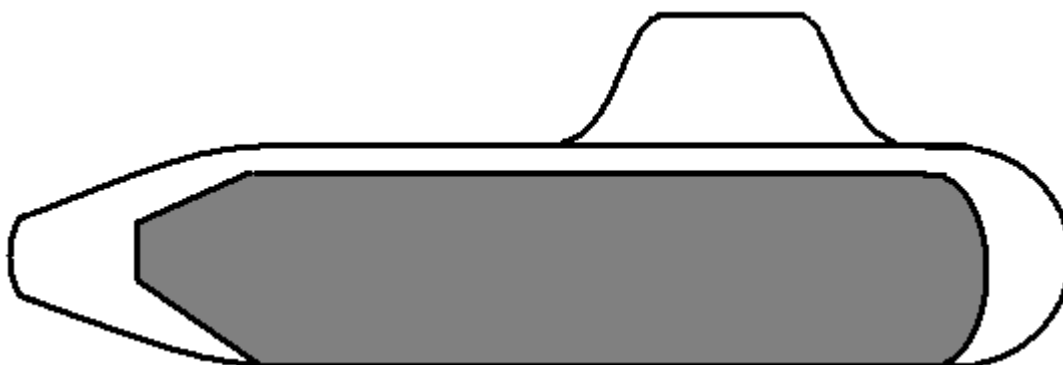
Som diskuterats i Kapitel 4 är en viktig del i riskanalysen att göra en systembeskrivning. Systembeskrivningen av ubåten delas in i två delar: en strukturell och en dynamisk modell. Den strukturella modellen beskriver hur ubåten är konstruerad och uppbyggd rent fysiskt medan den dynamiska modellen beskriver ubåtens funktioner samt de system och komponenter som utgör dessa.

Strukturell modell

Ubåtens skrov är i huvudsak uppbyggt av ett tryckskrov och ett formskrov. Tryckskrovet är den del av fartygets skrov som är beräknat att motstå det yttre sjövattnetrycket ner till ett på förhand fastställt djup. Tryckskrovet visas som den skuggade delen i Figur C.1 nedan. Dykdjup definieras som avståndet mellan vattenytan och underkanten av ubåtens köl. Operationsdykdjupet är det största dykdjup som får utnyttjas operativt. Kollapsdjup avser det minsta kollapsdjupet, vilket är det största djup som ubåten dimensioneras för. Tryckskrovets säkerhetsfaktor är förhållandet mellan kollapsdjup och operationsdjup (Försvarets materielverk, 2008). Tryckskrovet skall också motstå stötpåverkan från undervattensexlosioner och liknande.

Verkan av ett vatteninbrott kan begränsas genom att med tryckfasta skott dela upp tryckskrovet i två eller flera tryckfasta avdelningar. Svenska ubåtar har generellt en arrangemangslösning med två tryckfasta avdelningar och mellanliggande sluss. Tryckfast skott mellan tryckfasta avdelningar skall dimensioneras så att räddning av instängd personal kan ske ned till kollapsdjupet minst en gång. Skottet skall förses med genomgångsluckor så att besättningen på ett enkelt sätt kan förflytta sig till oskadad avdelning samt öppna och stänga luckorna oavsett roll- eller trimvinkel och tryckskillnad. Tryckskrovet innefattar också de tankar som ingår i dess struktur, exempelvis ballasttanken som fylls med vatten när ubåten ska dyka och trimtanken som möjliggör viktfordelning i långskeppsled (Försvarets materielverk, 2008). I tryckskrovet finns även en mängd trycksäkra luckor, ventiler och genomföringar för att möjliggöra för besättning, system av olika slag (exempelvis periskop) och vapen (exempelvis torpeder) att passera igenom.

Formskrovet ansluter till tryckskrovet och utgör i huvudsak ubåtens visuella form. Dess syfte är att ge en god hydrodynamisk form, omge och/eller bära utrustning placerad utanför tryckskrovet samt utgöra ett gångdäck för besättningen vid ytläge. Det ubåtskaraktäristiska tornet är en del av formskrovet. Kännetecknande för formskrovet är att det är vattenomflutet på bägge sidor och således inte tryckfast (Försvarets materielverk, 2008).



Figur C.1 – Tryckskrov och formskrov

Dynamisk modell

Här beskrivs en dynamisk modell över ubåten det vill säga ubåtens funktioner samt de system och komponenter som utgör dessa. Av naturliga skäl innefattar en ubåt en enormt stor mängd olika system och komponenter som möjliggör ett brett spektra av funktioner. Dessa funktioner innefattar allt från att dyka med ubåten, skjuta en torped, tända belysningen, manövrera ubåten och spola på toaletten. Att göra en komplett systembeskrivning är såväl komplicerat, som tidkrävande och anses inte tjäna syftet med detta examensarbete. Nedan görs istället en övergripande beskrivning av huvudsystemen ombord en ubåt med utgångspunkt i RMS-F och UKR. Viss vikt har lagts vid vilka system som kan komma att kopplas till det skyddsvärda (se Avsnitt 6.4). Följande definitioner anses viktiga vid diskussion kring ubåtssystem och säkerhet:

Säkerhetskritisk last är ett system, del av system eller komponent vars icke-funktion försätter material eller personal i en oacceptabel risk.

Manöverenvelop är en grafisk framställning som beskriver hur ubåten på ett säkert sätt kan manövrera i förhållande till dykdjup, fart, ytnärhet och farvattensdjup. Här tas hänsyn till blåsluftkapacitet/länskapacitet och reaktionstider vid fel som kan uppstå såsom fel på roder eller framdrivningsmaskineri, vattenläcka, isbildning i blåsluftsystem etcetera.

Med *lokal nödmanöver* avses manöver av ett system eller en komponent där "lokal" innebär att den fysiska påverkan sker så nära systemet eller komponenten som möjligt. Förutom det fysiska avståndet skall också det systemmässiga avståndet (rörlängd, kabellängd etcetera) mellan systemet eller komponenten och manöverdonet (som operatören påverkar) vara så kort som möjligt. För en nödmanöver gäller alltid att minsta möjliga komplexitet skall eftersträvas.

Styr- och balanssystem

Med styr- och balanssystem avses system som reglerar ubåtens djup, kurs, trim och vikt. Såväl ordinarie-, reserv- som nödsystem för reglering av djup, kurs, trim och vikt betraktas som säkerhetskritiska system. Det skall vara möjligt för en ensam person att styra ubåtens kurs, djup och trim (Försvarmakten, 2006). Det skall finnas minst ett nödstyrssystem för kontroll av ubåtens kurs och djup som är oberoende av ordinarie styrsystem (rodermaskineri och roder får vara gemensamt med ordinarie styrsystem). Nödstyrssystemet kan styra ubåtens rodermaskineri för kurs och djup med minsta möjliga krav på funktionalitet hos ubåtens övriga system och manövreras från en nödstyrplats skild från ordinarie styrplats. Det skall vara möjligt att lokalt nödmanövrera rodren och mekaniskt avläsa roderläge (Försvarets materielverk, 2008).

Länssystem

Ubåten länssystem ska kunna transportera vatten från alla kölar till ubåtens utsida, vid alla djup ner till det minsta kollapsdjupet. Länssystemet tömmer också tankar, främst ballasttankarna när ubåten ska inta ytläge (Kockums IV). Det skall finnas minst två huvudlänsaggregat (minst ett per tryckfast avdelning) med av varandra oberoende funktion (Försvarmakten, 2006). Om en ubåt vid största tillåtna dykdjup får ett kontinuerligt vatteninbrott så kan det inströmmade vattnet, med rimliga dimensioner på länsanläggningen endast länsas ut om läckarean är mycket liten (i storleksordningen någon cm^2). Vid en större läcka (motsvarande tvärsnittsarea som grävsta sjövattnsledningen) krävs att ubåten snabbt bringas till ytan genom blåsning av ballasttankar. Om ubåten lyckats ta sig till ytan så är det av största vikt att den kan kvarstanna i ytläge. Länskapaciteten i ytläge påverkar hur länge flytkraften kan bibehållas samt i vissa fall möjligheterna att tätta läckan.

Om ubåt hamnat i tvingande bottenläge efter ett momentant vatteninbrott så kan det vara möjligt att erhålla flytkraft genom länsning. Gränssättande faktorer är då pumpkapacitet på aktuellt boddjup, övervikt samt tillgängligt energiförråd. Länssystemets kapacitet kan alltså ha en avgörande betydelse vid två olika situationer:

1. I ytläge, efter det att ubåten tagit sig till ytan i samband med ett kontinuerligt vatteninbrott.
2. I tvingande bottenläge, efter momentant vatteninbrott (Försvarets materielverk, 2008).

Viktreglersystem, Trimsystem och Dyksystem

Viktreglersystemet anpassar ubåtens vikt i uläge med avseende på exempelvis konsumtion av mat, vatten, bränsle och ammunition i förhållande till omkringliggande vattens densitet (Kockums IV). Trimsystemet möjliggör kontroll av ubåtens longitudinella balans i uläge. Dyksystemet ska säkerställa att ubåten på ett säkert sätt kan inta och bibehålla såväl ytläge som uläge (Försvarmakten, 2006). Dessa tre system verkar främst genom att fylla, tömma och flytta vatten mellan olika tankar (regler-, trim- och ballasttankar). Ballasttankarna ska förse ubåten med flytkraft i ytläge och avlägsna flytkraften när ubåten dyker (Kockums IV). Att blåsa ballasttankar är den kraftigast verkande åtgärden för att ta upp en skadad ubåt till ytan. Blåsning sker normalt med hjälp av komprimerad luft som strömmar från högtrycksförråd och trycker ut vattnet ur ballasttankarna. Blåsning är den yttersta reserven för ubåten att utan yttre hjälpmedel kunna ta sig upp till ytan. Dyksystemen utformas så att ett dimensionerande vatteninbrott i för- eller akterskepp vid operationsdykdjup kan bemästras. Blåsflödet är av vital betydelse för ubåtens möjligheter att ta sig till ytan efter ett vatteninbrott. Blåsningssystemets funktion skall vara oberoende av elkraft och nödkoppling till övriga luftsystem skall vara möjligt (Försvarets materielverk, 2008).

Stabilitet, flytbarhet och manöveregenskaper

Ubåten skall ha en betryggande stabilitet i yt- och uläge samt i övergången däremellan (Försvarmakten, 2006). Ubåtens manöveregenskaper modelleras genom datasimuleringar och verifieras genom modellförsök bland annat för att fastställa eventuella begränsningar av ubåtens uppträdande vid olika djup och farter (Försvarets materielverk, 2008). Krängningsprov för fastställande av tyngdpunktsläge skall utföras enligt Sjöfartsverkets kungörelse med föreskrifter om fartygsstabilitet och fribord 1993:3 bilaga 2. Endast den första ubåten i en serie som byggs på samma varv måste krängningsprovas (Försvarmakten, 2006).

Maskinläggningar

Framdrivningsmaskineriet i en svensk ubåt består av ett antal stora och vitala komponenter. Vid framdrift i uläge drivs propellern av massiva batterier som har en drifttid på ett par dagar, men med hjälp av den luftberoende stirlingmotorn blir drifttiden i uläge ett par veckor (Kockums IV). Batterierna laddas upp av dieselmotorer som även är det främsta systemet för framdrift i ytläge. För att kunna köra dieselmotorer krävs luft och ubåten måste då inta snorkelläge, där ubåten ligger på ett sådant djup att den kan ta in luft till motorerna via en snorkelmast vid laddning av batterierna i uläge. Batteridrift används främst när en mycket låg bullersignatur krävs medan stirlingmaskineriet används för att uppnå lång uthållighet i uläge (Kockums V).

Maskinsystemen skall vara arrangerade så att en felaktig funktion som kan leda till ej tolerabel konsekvens för personal, miljö eller egendom inte skall kunna bli följd av ett ensamt operatörsfel. System som innehåller brännbar vätska (exempelvis dieselolja eller hydraulolja) skall utformas med beaktande av brandrisk. All bränsletillförsel till en avdelning skall kunna stoppas automatiskt vid detektering av brand i denna avdelning (Försvarmakten, 2006).

Ubåtar med stirlingmotorer medför någon form av system för lagring och distribution av syre. Syre kan lagras som en kemisk förening, nerkyllt i flytande form (LOX) eller som gas under högt tryck. Syrgas under tryck eller i koncentrerad form ökar risken för brand då förbränningshastigheten hos brännbara material ökar kraftigt vid bara några få procents ökning av syrehalten i atmosfären (Försvarets materielverk, 2008).

Övriga maskinsystem

Bland maskinsystem räknas även kylsystem, tryckluftsystem, ventilationssystem, oljesystem, säkerhetssystem och hushållningssystem av olika slag. *Kylsystemen* ombord utgörs av slingor med antingen sjövattnen eller färskvattnen. Dieselmotorerna har i huvudsak egna inbyggda kylsystem, övriga kylsystem ska främst ta hand om överskottsvärme från elektriska system och apparatur ombord. *Tryckluftsystemet* ombord ubåten är uppdelat i ett högtryckssystem och ett lågtryckssystem. Högtryckssystemet används exempelvis till nödblåsning av ballasttankar, nödandningssystemet (BIBS), fyllning av rökdykartuber och luft till torpederna. Lågtryckssystemet används till bland annat styrning av ventiler, brandspjäll och batteriventilation. *Ventilationssystemet* har två huvuduppgifter: ventilering av batterierna och vitalisering av atmosfären genom att avlägsna CO₂, CO och H₂ och tillföra syre (Kockums IV). Ventilationssystemet är även utrustat med brandspjäll som stänger vid brand för att förhindra rökspridning.

Oljesystemen utgörs bland annat av hydrauloljesystem (exempelvis för styrning av rodren) och brännoljesystem till förbränningsmotorerna. Till *säkerhetsystemen* räknas brandsläckningssystem, BIBS (built in breathing system) och LOX. Det är ej ännu fastställt vilka brandsläckningssystem som kommer att installeras ombord A26, men sannolikt kommer dessa att innefatta någon typ av gassläcksystem samt vattendimma. BIBS består av luftflaskor samt en huvudledning som löper längs hela ubåten. Till huvudledningen är ett antal förgreningar anslutna där besättningen kan koppla upp sig med andningsmasker. Systemet är främst avsett att användas vid skadebekämpning och i väntan på evakuering. Evakuering sker via luftslossen i mitten av ubåten som ska kunna nås från båda de tryckfasta avdelningarna. *Hushållningssystemen* inkluderar exempelvis färskvattnen och avlopp (Kockums IV).

Elektriska installationer

Ombord ubåten finns en elektrisk *huvudkraftkälla* med tillräcklig kapacitet för att försörja alla elsystem vid normal drift. Med huvudkraftkälla avses dieselgenerator och/eller huvudbatterier och/eller annan kraftkälla med tillräcklig kapacitet. Framdrivning skall kunna ske med reducerad hastighet även med endast en fungerande huvudkraftkälla. Den elektriska huvudkraftkällan skall bestå av minst två skilda kraftkällor. Kapaciteten på dessa kraftkällor skall vara sådan att i händelse av att en av kraftkällorna havererar, skall det fortfarande vara möjligt att försörja de funktioner som är nödvändiga för att tillgodose normal framdrift och säkerhet. Ett minimum av bekväma boendeförhållanden skall också tillförsäkras vilket åtminstone inkluderar elförsörjning till matlagning, uppvärmning, kyl- och frys, mekanisk ventilation samt sanitets- och dricksvatten. Huvudbelysningsystemet skall försörjas från den elektriska huvudkraftkällan (Försvarmakten, 2006).

Tillgänglig elektrisk nödkraft skall vara tillräcklig för att försörja alla funktioner som är väsentliga för säkerheten i en nödsituation, med beaktande av de funktioner som kräver samtidig försörjning. Alla elektriska funktioner som är nödvändiga för att behålla ubåten i normal drift och under normala boendeförhållanden skall fungera utan hjälp av *nödkraftkälla*. Elektriska funktioner som är väsentliga för säkerheten skall fungera under nödförhållanden. Placeringen av nödkraftkälla med distributionssystem skall så långt möjligt skydda mot brand eller andra skador och skall godkännas av SJÖI (Försvarmakten, 2006).

En stor skillnad mellan elektriska installationer ombord ubåtar och ytfartyg är kapacitet, syfte och användning av batterier. Ubåtars batterier har en mycket stor inneboende energimängd som kan utnyttjas i ordinarie drift och nöd till skillnad från ytfartygsgeneratorer som endast levererar energi då de är i drift (Försvarets materielverk, 2008). Batteri med en kapacitet överstigande 20 kWh (exempelvis ubåtsbatteri) skall placeras i batterirum med mekanisk ventilation (Försvarsmakten, 2006).

Vapensystem

De grundläggande kraven på förmåga hos en ubåt är att den ska kunna genomföra övervakningsuppdrag, offensiva aktioner mot ytfartyg och andra ubåtar, minläggningsuppdrag och självförsvar. För att klara dessa uppdrag kan ubåten utrustas med en mängd olika vapensystem så som torpeder, missiler, minor och motmedel samt system för att hantera, avfyra och leda dessa (Kockums VI). Vapeninstallationer ombord ubåten är arrangerade så att vapen kan lastas, lossas, hanteras, förvaras, laddas och tas tillbaka till utskjutningstub samt avfyras med tolerabel säkerhet avseende personell-, miljö- eller materiell säkerhet. Om vapensystemet är avsett för torpeder som innehåller väteperoxid finns system för hantering av dränerad väteperoxid från torped. Systemet skall kunna hantera dränerad väteperoxid även vid lastning, lossning och laddning (Försvarets materielverk, 2008).

I ubåtens kontrollrum samverkar olika system för ledning av ubåten. Utöver vapensystemen finns här exempelvis kommunikations- och navigationssystem. Bland huvudfunktionerna för det totala ledningssystemet kan nämnas insamling av data, hotutvärdering, elldledning, kommunikation med samverkande enheter och träningssimuleringar. Ett antal olika passiva och aktiva sonarer används för exempelvis navigation, identifiering av andra fartyg eller lokalisering av minor. Övervakning och navigation kan också genomföras med radar när ubåten befinner sig i ytläge. För identifiering av föremål på ytan, informationsinhämtning, målinmätning och torpedstyrning används det klassiska periskopet när ubåten befinner sig i uläge. Navigationen ombord ubåten sker främst med hjälp av sjökort, radar, optisk navigering, död räkning och satellitnavigering. Målet är att ständigt ha koll på ubåtens position, kurs och fart för att bestämma färdväg och undvika kollision och grundstötning (Kockums VI).

Utrustning och system för nöd och räddning

En ubåt som genom olycka sjunker till botten, utan att med egna medel kunna återgå till önskat djup eller till ytan, benämns sjunken ubåt och befinner sig därmed i tvingande bottenläge. En sjunken ubåt har en övertyngd beroende på vatteninträngning och i och med det vattenfylldnad. Vattenfylldnaden kan omfatta del av eller hel tryckfast avdelning och medför ett antal konsekvenser och därmed behov för personalen ombord (Försvarets materielverk, 2008).

Ubåten är utformad och utrustad så att tolerabel säkerhet för personal kan tillgodoses vid nödsituationer. Dimensionerande tid för ubåt i nöd i uläge är 7 dygn. Utrustning och system för ombordvarandes överlevnad skall minst dimensioneras för maximalt tillåtet antal personer ombord och skall medge överlevnad i varje avdelning, även om annan avdelning är oåtkomlig. Ombord ubåten finns utrustning för kollektiv eller individuell räddning, reducering av tryckuppbyggnad samt lokalisering och kommunikation av/med sjunken ubåt. Ett nödförråd med livsuppehållande förnödenheter finns och innehåller bland annat syrgas, koldioxidsabsorption, proviant, dricksvatten och läkemedel (Försvarsmakten, 2006). Ubåten är utrustad med ett fast installerat nödandningssystem som försörjer personalen med andningsluft dels i händelse av att luften ombord ubåten blir kontaminerad och dels inför fri uppstigning. Systemet distribuerar luft till personalen via ett rörsystem samt tryckreducerande andningsapparater. (Försvarsmakten, 2006).

Appendix D – Systemsäkerhet

Handbok för systemsäkerhet – HSystSäk (Försvarmakten, 1996) innehåller Försvarmaktens interna föreskrifter och riktlinjer för bedrivande av systemsäkerhetsverksamhet avseende försvarmaktens olika system. Det övergripande ansvaret för att försvarmaktens system är tillräckligt säkra mot olyckor som skulle kunna skada människor, egendom eller miljö ligger på ÖB. Det är även ÖB:s ansvar att fastställa riktlinjer för vad Försvarmakten ska anse vara en tolerabel risknivå. Ett flertal olika lagar och förordningar ställer krav på de egenskaper ett system ska ha för att inte skada personal, egendom eller miljö. Exempel på dessa är Arbetsmiljölagen, Produktansvarslagen och Miljöskyddslagen. Systemsäkerhetskrav ska gälla för ett systems hela livslängd.

Grundläggande definitioner

I HSystSäk och i detta examensarbete används följande definitioner vid diskussioner om systemsäkerhet och i riskanalysen som helhet:

System – En kombination av förnödenheter, anläggningar och personal samt instruktioner och reglementen för utbildning, användning och underhåll i såväl krig som kris och fred.

Systemsäkerhet – Egenskapen hos ett system att inte orsaka person-, egendoms- eller miljöskada. Begreppet systemsäkerhet kan utgöra en helhet som inkluderar flera olika säkerhetsformer i ett system.

Systemsäkerhetsverksamhet – Det totala arbete som bedrivs för att identifiera, kvantifiera, eliminera och/eller reducera risker förknippade med ett specifikt system under hela systemets livslängd (från utveckling till avveckling).

Riskvärdering

I HSystSäk (1996) används begreppet olycka som en definition av att personal, egendom eller miljö skadats på ett icke tolerabelt sätt. För att en olycka ska inträffa krävs alltså dels att en vådahändelse inträffar och dels att någon eller något kommer till skada. Systemsäkerhetsverksamheten inriktas i första hand mot att förhindra att en vådahändelse inträffar. Då detta ibland kan vara omöjligt att garantera fullt ut syftar systemsäkerhetsverksamheten även till att begränsa sannolikheten för att en vådahändelse inträffar och/eller minska konsekvenserna av en inträffad vådahändelse.

Generellt ska systemsäkerhetsarbetet sträva efter att risker för personal, egendom och miljö ska vara så låga som är praktiskt och rimligt möjligt. Sannolikheten att under fredstid drabbas av skada, invaliditet eller dödsfall i tjänsten bör för Försvarmaktens personal inte överstiga vad som anses som acceptabelt i det civila samhället. Viktigt att notera vid riskvärdering av system som används av Försvarmakten är att de flesta av dem är primärt avsedda att användas i en krigssituation, därav är upprätthållande av systemets stridseffektivitet väsentligt. Under såväl krig som kris och fred ställs dock krav på att systemen ska vara säkra att använda. I de fall där det uppkommer motsättningar mellan säkerhet och stridseffektivitet ska en avvägning ske mellan dessa krav (Försvarmakten, 1996).

Systemsäkerhetsprioriteringar

I Försvarmaktens systemsäkerhetsarbete ska systemlösningar som medför minimalt med risker prioriteras. Den viktigaste riskminskande åtgärden anses alltså vara att identifiera så många riskkällor som möjligt och eliminera dessa. I de fall då detta ej är praktiskt möjligt ska åtgärder genomföras enligt följande prioriteringsordning:

1. **Konstruera för minimal risk** – Exempelvis genom att undvika farliga ämnen och material, isolera farliga ämnen och material från personalen, konstruera för redundans och införa övervakande funktioner.
2. **Införa skyddsanordningar** – Exempelvis fasta eller automatiska skyddsanordningar, skyddszoner och skyddsutrustning.
3. **Införa varningsutrustning** – Exempelvis varningssignal i form av ljud och/eller ljus.
4. **Utarbeta instruktioner och utbildning** – Exempelvis instruktioner, procedurer, utbildning och träning (Försvarmakten, 1996).

Sjövårdighet

Begreppet sjövårdighet innebär i stort sett tekniska krav på utförande och funktion av fartygskonstruktion och utrustning ombord. Ett fartyg sägs vara sjövårdigt om ställda krav är uppfyllda. Sjövårdighet utgör en viktig delmängd av begreppet sjösäkerhet som även inkluderar arbetsmiljö, bemanning och last. På grund av örlogsfartygs speciella karaktär går det inte att direkt tillämpa Sjöfartsverkets författningshandbok fullt ut, istället används marina tillämpningsbestämmelser. Tillsyn av sjövårdighet genomförs av Marinens fartygsinspektion (Försvarmakten, 1996).

Materialkrav

HSystSäk (1996) listar en mängd gemensamma säkerhetskrav som anses relevanta för merparten av försvarmaktens system. Kraven delas in enligt systemets olika faser under livslängden. Nedan presenteras en kortare sammanfattning av kraven för respektive fas:

Konstruktion

Säkerhetskrav ska anges innan utveckling startar eller anskaffning av ett system sker och verifieras genom provning och analys under utvecklingens gång. System bör konstrueras så att minsta möjliga restriktioner behöver tillämpas vid transport, förvaring, handhavande, underhåll, användning och avveckling. Ett system bör konstrueras med redundans och tåla abnorma miljöer så som fientlig attack. Kritiska egenskaper och detaljer ska listas i produktokumentationen

Tillverkning

Brister och fel som kan leda till en vådahändelse ska identifieras under utvecklingen av systemet och undvikas under tillverkningen genom kvalitetssäkring och produktstyrning. Tester ska genomföras med noggrant kalibrerad testutrustning.

Underhåll

Ett systems säkerhet bör inte vara beroende av speciella underhållsåtgärder.

Industrins säkerhetskrav

Vid offertförfrågan från FMV till industrin skall industrin lämna anbud på sådant sätt att FMV kan utvärdera och jämföra systemsäkerheten mellan de olika industrierna. Säkerhetskraven kan vara ställda både på systemnivå och på delsystemnivå. Systemets miljöeffekter bör redovisas med avseende på resursförbrukning samt ekologiska effekter för mark, luft, vatten och buller. Nya konstruktionslösningar och erhållna erfarenheter kan innebära att systemsäkerhetskraven måste ändras under utvecklingen av systemet. Detta kan dock förhindras genom grundliga säkerhetskravsanalyser i ett tidigt skede (Försvarmakten, 1996).

Preliminär riskkällelista

En preliminär riskkällelista ska upprättas tidigt i verksamheten för att identifiera riskkällor och dess potentiella vådahändelser. Listan ska uppdateras när nya riskkällor upptäcks. Riskkällor kan delas in i kategorier antingen efter vad som kan ge skada eller skadans art, exempelvis energi (explosiv atmosfär, strömförande delar, fallande föremål etcetera.), vassa och rörliga delar, riskfyllda substanser (brandfarligt, frätande, giftigt etcetera.) samt övriga risker (höjd, hala ytor, kvävning, kyla, vibrationer, tryckskillnader etcetera). Vid identifiering av riskkällor bör likvärdiga system granskas och särskild vikt läggas vid olycks-/tillbudsrapporter och erfarenheter.

Preliminär riskkälleanalys

Preliminär riskkälleanalys är en systematisk procedur där system analytiskt undersöks för att avgöra risken för en vådahändelse vid exempelvis komponentfel, felaktigt handhavande eller annan felfunktion. Arbetet med riskkälleanalysen kan med fördel utgå från riskkällelistan och syftar till att vidare identifiera, dokumentera och analysera möjliga riskkällor och dess vådahändelser. Den preliminära riskkälleanalysen bör inledas så tidigt som möjligt, helst innan konstruktionen är låst, då möjligheterna är som störst att påverka utformningen av systemet för att nå en optimal säkerhetsnivå. Preliminär riskkälleanalys ska ses som ett grovt verktyg som visar var problemen finns och därmed var ytterligare systemsäkerhetsanalyser bör göras (Försvarmakten, 1996).

Säkerhetskravanalys

Syftet med säkerhetskravanalysen är att utifrån den preliminära riskkällelistan och den preliminära riskkälleanalysen identifiera relevanta säkerhetskrav för systemet. Dessa krav kan vara såväl tekniska som anknutna till lagar och föreskrifter. För alla identifierade vådahändelser ska krav ställas för att eliminera eller reducera riskerna till tolerabel nivå. Systemuppbyggnaden ska även granskas för att identifiera säkerhetskritisk växelverkan med andra system (Försvarmakten, 1996).

Systemsäkerhetsanalys

I systemsäkerhetsanalyserna utvärderas de vådahändelser som identifierats i den preliminära riskkällelistan och i den preliminära riskkälleanalysen. Målet är att utvärdera risker dels för det aktuella systemet men även växelverkan mellan system samt delsystem och dess komponenter. Systemsäkerhetsanalysen för ett system bör bland annat innehålla:

- Möjliga oönskade vådahändelser som enskilt eller i samverkan med varandra kan resultera i vådahändelse.
- Fel/händelse som enskilt kan leda till vådahändelse (enkelfel) och därmed om möjligt ska elimineras.
- Fel/händelse med gemensam orsak (common cause failures) som kan påverka flera delar i systemet och därmed om möjligt ska elimineras.
- Inverkan av kringsystem.
- Agerande från operatörer och annan personal (Försvarmakten, 1996).

Systemsäkerhetsanalysen ska utgöras av en systematisk procedur där det analyseras i vilken grad ett system är så konstruerat att det vid komponentfel, felaktigt handhavande eller annat fel kan orsaka vådahändelse. Val av analysmetod bör i huvudsak baseras på systemets konstruktion och funktion samt syftet med analysen. Annat som spelar in är huruvida analysen ska vara kvalitativ eller kvantitativ, hur detaljerat det tekniska underlaget är, vilken fas i systemets livstid som avses och vilken minsta nivå (exempelvis komponenter) som ska inkluderas. Exempel på metoder är felträdsanalys och feleffektsanalys (Försvarmakten, 1996).

Systemsäkerhetsanalyser kan även utföras med avseende på handhavande och underhåll för ett system. Syftet är att utreda huruvida handhavande och underhållsrutiner är tillräckliga för att eliminera, kontrollera eller minska identifierade fel och risker. Inom denna kategori av systemsäkerhetsanalyser faller även analyser av systemets påverkan på den yttre miljön. Exempel på metoder är händelseträdsanalys, HAZOP (hazard and operability study) och miljöeffektbeskrivningar (Försvarmakten, 1996).

När systemets konstruktion och förväntat användande samt handhavande har analyserats i de olika systemsäkerhetsanalyserna bör lämpliga användningsrestriktioner kunna utfärdas i form av manualer och säkerhetsinstruktioner (Försvarmakten, 1996).

Kravverifiering

Syftet med kravverifieringen är att utvärdera om de säkerhetskrav som ställts på systemet har verifierats på ett acceptabelt sätt. Vanliga verifieringsmetoder är exempelvis analyser, beräkningar, demonstrationer, provningar, inspektioner och granskningar (Försvarmakten, 1996).

Övrigt

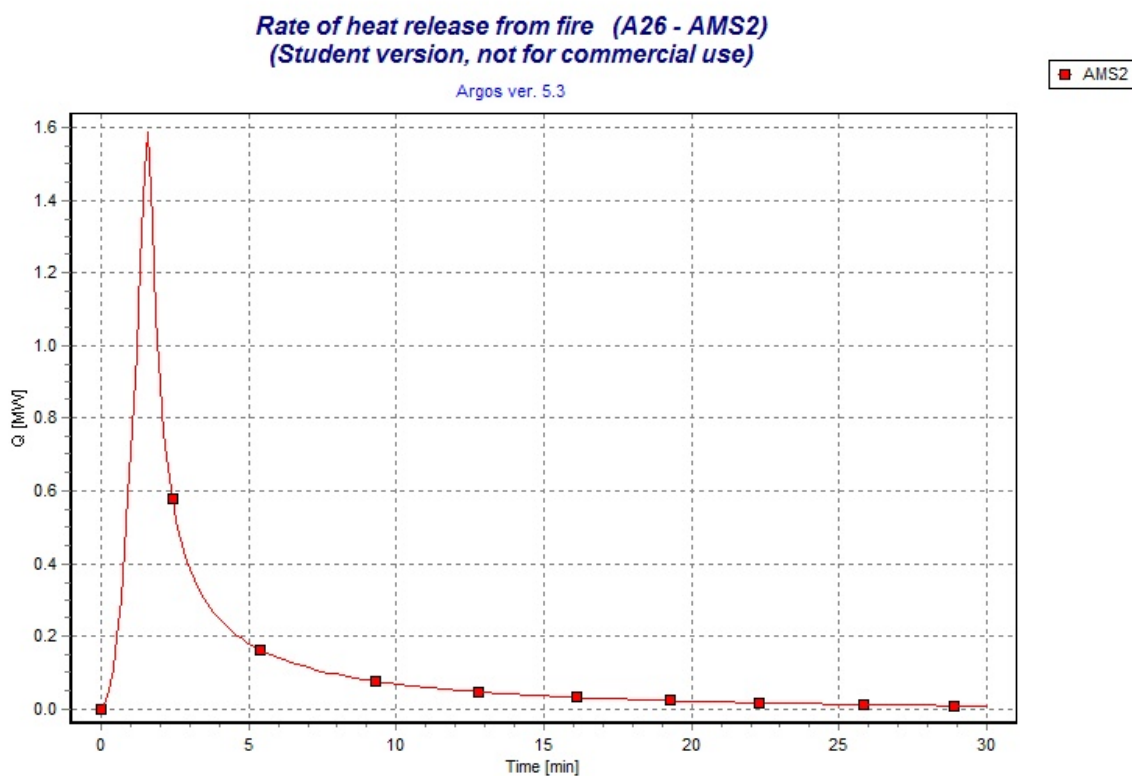
De systemsäkerhetsaktiviteter som redovisas i ovanstående stycken ska normalt följas av ett säkerhetsutlåtande med säkerhetsrapport med industrins ställningstagande till systemets säkerhet. Därefter ska förslag till hanterings och förvaringsbestämmelser lämnas. Säkerhetsgodkännandet är slutligen Försvarmaktens formella beslut på att ställda krav på säkerhet för systemet är uppfyllda samt att gällande lagar och förordningar tagits hänsyn till (Försvarmakten, 1996).

Appendix E – 2-Zonsmodell

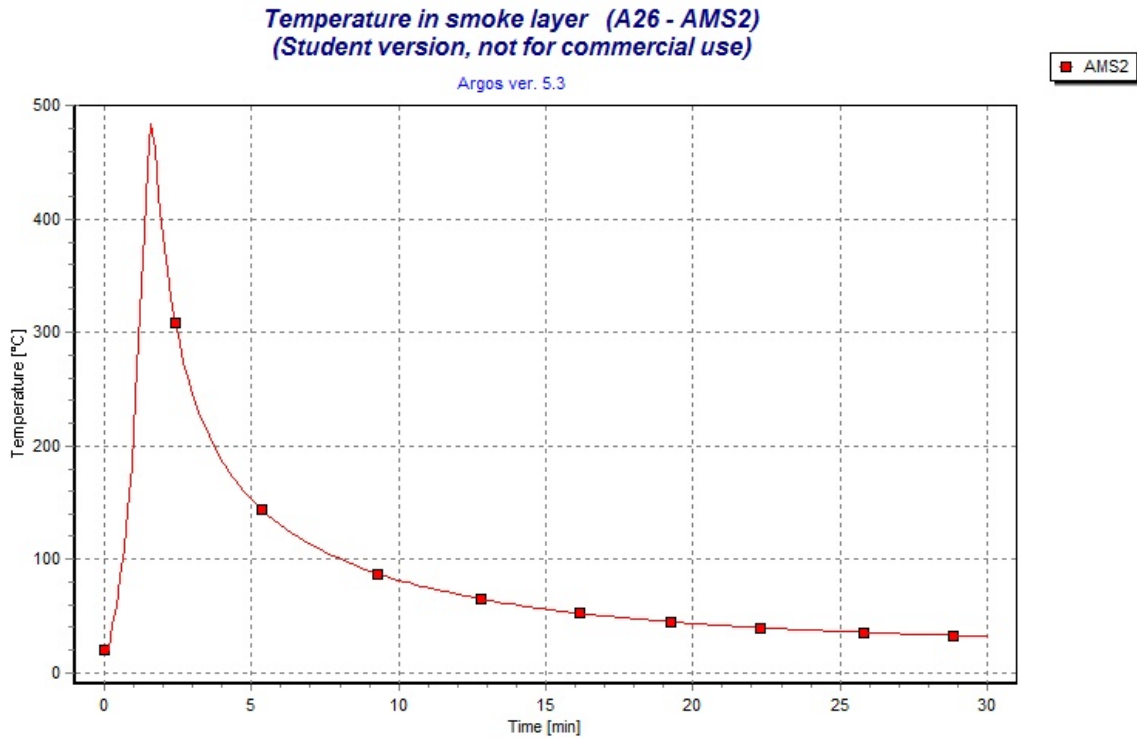
I detta appendix görs en jämförelse mellan CFD-simuleringar och 2-zonssimuleringar i AMS2 för att avgöra om en brand på 500 kW kan orsaka brandspridning, eftersom CFD-simuleringar för denna brandstorlek saknas i rapporten från projektet Viking (Kockums III). En jämförelse görs först för en brand på 2 000 kW för att bedöma rimligheten i att använda 2-zonsmodellering. 2-zonssimulering utförs här då det är signifikant mindre tidskrävande än CFD-simulering.

Principen som 2-zonsmodellen bygger på innebär att det i ett brandrum finns en tydlig skiktning mellan brandgaserna och den kalla luften. Det övre brandgaslagret innehåller endast varma brandgaser medan det undre lagret endast innehåller kall luft. De båda lagren är homogena, vilket innebär att till exempel temperaturen är densamma oavsett var i lagret man tittar. Det blir alltså samma temperatur rakt ovanför branden som i ett hörn långt borta från branden. Genom att lösa kontinuitetsekvationer för bland annat massa och energi får användaren en uppskattning av hur olika fysikaliska storheter varierar med tiden, exempelvis temperatur och brandgaslagrets höjd. Som indata anges bland annat bränslets förbränningsegenskaper, rumsgeometrier samt öppningar som fönster och dörrar. 2-zonsmodellerna är giltiga för relativt kubiska rum, där förhållandena mellan längd, bredd och höjd helst bör understiga 3. (Gojkovic och Delin, 2005)

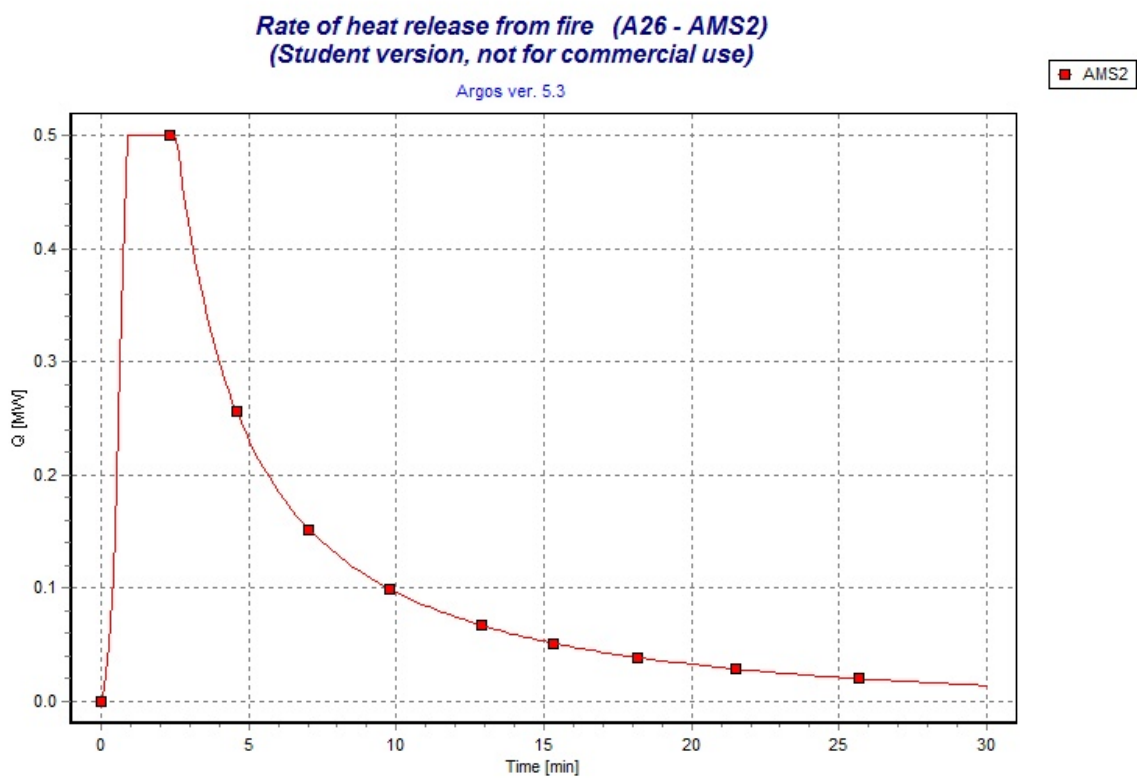
Simuleringar av brand i AMS2 har utförts i 2-zonsmodellen Argos. På grund av programmets begränsningar förenklades geometrin till ett rätblock med volym, längd, bredd, höjd och omslutningsarea bevarad så väl som möjligt. Ett hål på 0,01 m² definierades vid golvnivå för att symbolisera läckor, då helt tillslutna rum ej går att simulera. Bränder med tillväxthastighet ultrafast och maximal effektutveckling på 2000 kW respektive 500 kW simulerades. Efter ca 1 minut låg brandgaslagret vid golvnivå i båda fallen och båda bränderna blev syrekontrollerade relativt snabbt, ungefär vid samma tidpunkt som i CFD-simuleringarna. Effektutveckling och temperatur för de två simuleringarna visas i Figur E.1 - E.4.



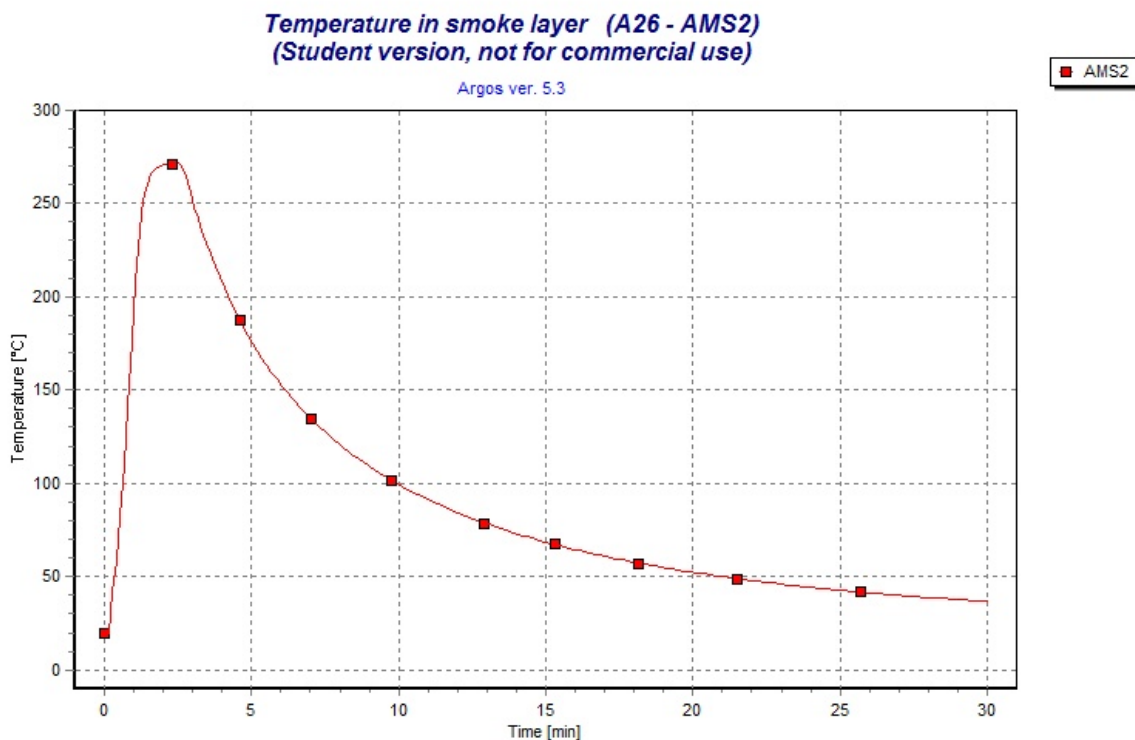
Figur E.1 – Effektutveckling i Argos, 2000 kW-brand



Figur E.2 – Medeltemperatur från Argos, 2000 kW-brand



Figur E.3 – Effektutveckling i Argos, 500 kW-brand



Figur E.4 – Medeltemperatur från Argos, 500 kW-brand

2-zonsmodeller kan alltså endast ge en medeltemperatur för brandgaslagret, medan CFD-modeller kan visa en mer detaljerad temperaturprofil med lokala skillnader. Detta medför vissa problem vid jämförelse mellan de två modellerna om stora lokala temperaturskillnader finns. För en brand med tillväxthastighet ultrafast och en maxeffekt på 2000 kW överensstämmer temperaturerna relativt väl mellan 2-zonsmodellen och CFD-simuleringen den första minuten. I CFD-simuleringen når dock sedan ungefär 1/3 av rummet en maxtemperatur på ca 800°C, medan 2-zonsmodellen simulerar att hela rummet har en maximal medeltemperatur på ca 500°C. Tvåzonsantagandet är då egentligen inte den bästa metoden med tanke på de stora lokala temperaturvariationerna, men modellen anses ändå tillräcklig för att uppskatta om en brand på 500 kW kan generera tillräckligt höga temperaturer för att orsaka brandspridning. I CFD-simuleringen finns lokala temperaturskillnader som överstiger medeltemperaturen från 2-zonsmodellen med 60 % för en brand på 2000 kW. För en brand på 500 kW ger 2-zonsmodellen en maximal medeltemperatur på ca 270°C. Om samma temperaturvariation på 60 % antas, kan lokala temperaturvariationer på upp till 430°C förväntas, vilket ligger långt under de temperaturer som ett brandklassat skott är testat för. Som tidigare nämnts är en 2-zonsmodell egentligen inte den bästa metoden för dessa förhållanden, men att den skulle ge en underskattning av temperaturen på mer än 150 %, vilket skulle krävas för att nå upp till temperaturen som klass A15 är testat för, ses som orimligt. Därmed bedöms bränder på 500 kW inte kunna orsaka brandspridning.

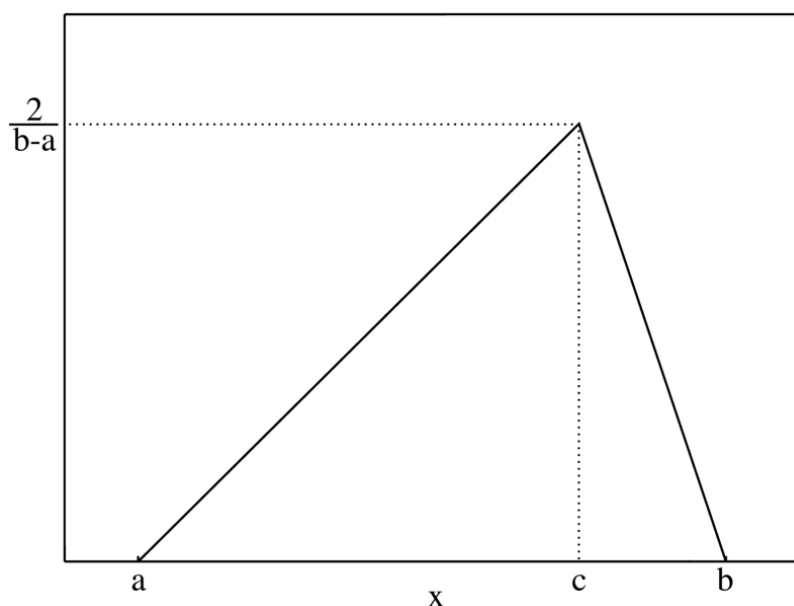
Appendix F – Beräkning av sannolikheter enligt triangelfördelning

CFD-simuleringar innefattar ett antal osäkerheter både vad gäller antaganden som görs av användaren samt i själva modellen. För att ta hänsyn till detta antas att maxtemperaturerna från simuleringarna är triangelfördelade med 15 % osäkerhet. Med det menas att temperaturen skulle kunna bli 15 % högre eller lägre i verkligheten jämfört med resultaten från simuleringarna. Sannolikheten är dock störst att temperaturen skulle anta värden i närheten av de simulerade värdena. Med hjälp av beräkningarna nedan kan sannolikheten att temperaturen överskrider ett visst värde beräknas. Beräkningar visas för ett fall med en simulerad temperatur på 800°C och 15 % osäkerhet. Beräkningar för andra temperaturer och 10 % osäkerhet utförs på samma sätt.

Triangelfördelningen är kontinuerlig med PDF (Probability Density Function)(Weisstein, 2009):

$$P(x) = \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} \quad a \leq x \leq c \quad (\text{Ekvation F1})$$

$$P(x) = \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} \quad c \leq x \leq b \quad (\text{Ekvation F2})$$

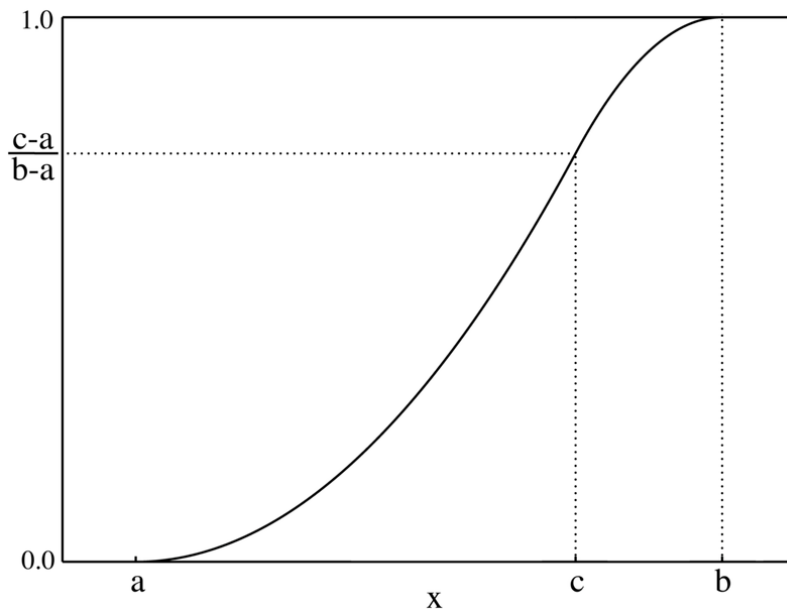


Figur F.1 – Probability Density Function för en triangelfördelning (Weisstein, 2009).

CDF (Cummulative Distribution Function), vilken anger sannolikheten för att erhålla ett värde eller lägre som utfall på variabeln, är (Weisstein, 2009):

$$P(X \leq x) = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \quad a \leq x \leq c \quad (\text{Ekvation F3})$$

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \quad c \leq x \leq b \quad (\text{Ekvation F4})$$



Figur F.2 – Cummulative density function för en triangelfördelning (Weisstein, 2009)

För en simulerad temperatur på 800°C och 15 % osäkerhet görs följande beräkningar enligt ekvation F3 och ekvation F4:

$$c = 800$$

$$a = 800 \cdot 0,85 = 680$$

$$b = 800 \cdot 1,15 = 920$$

$$P(T > 740) = 1 - P(T \leq 740) = 1 - \frac{(740 - 680)^2}{(920 - 680)(800 - 680)} = 0,88$$

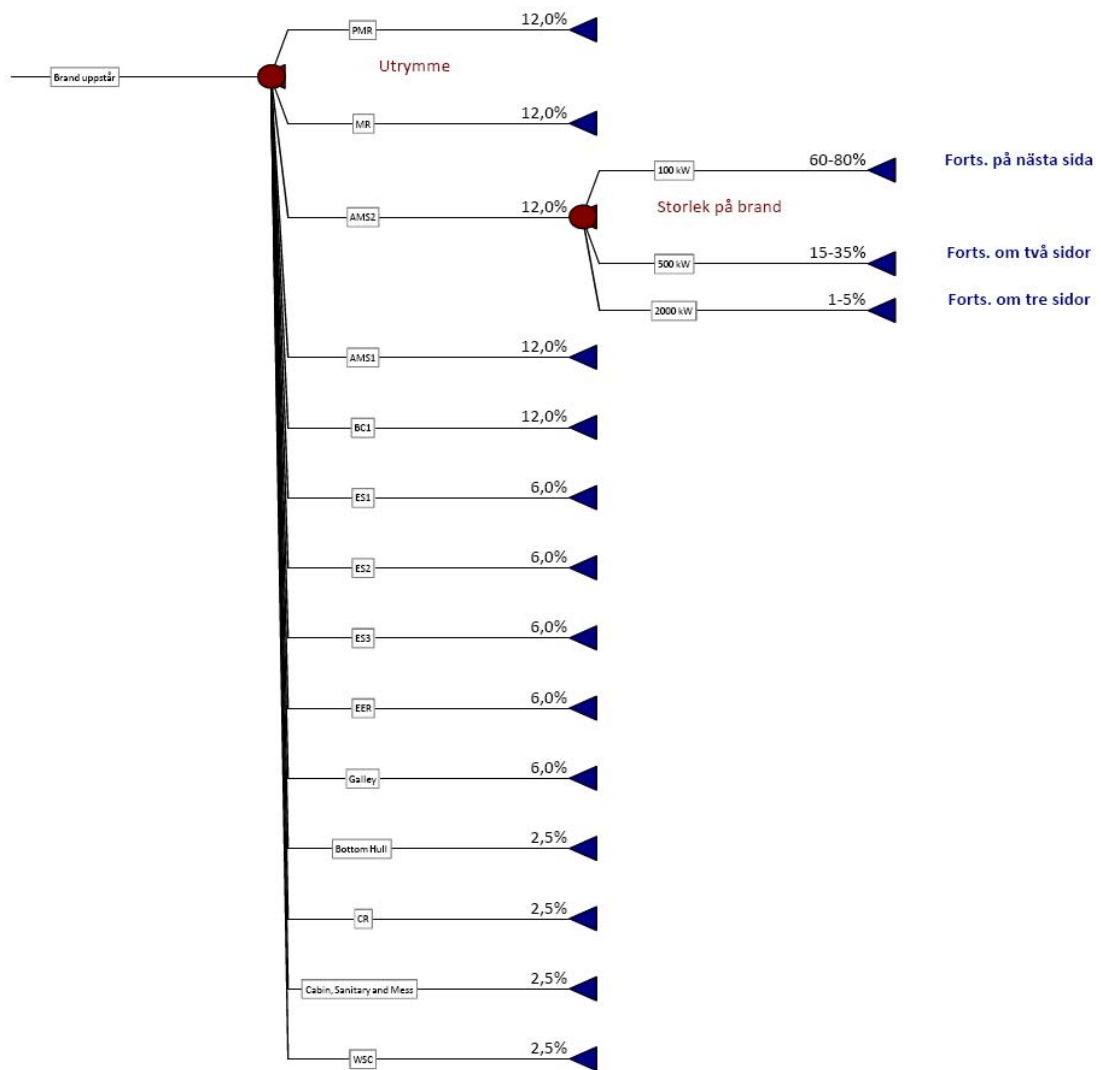
$$P(T > 840) = 1 - P(T \leq 840) = \frac{(920 - 840)^2}{(920 - 680)(920 - 800)} = 0,22$$

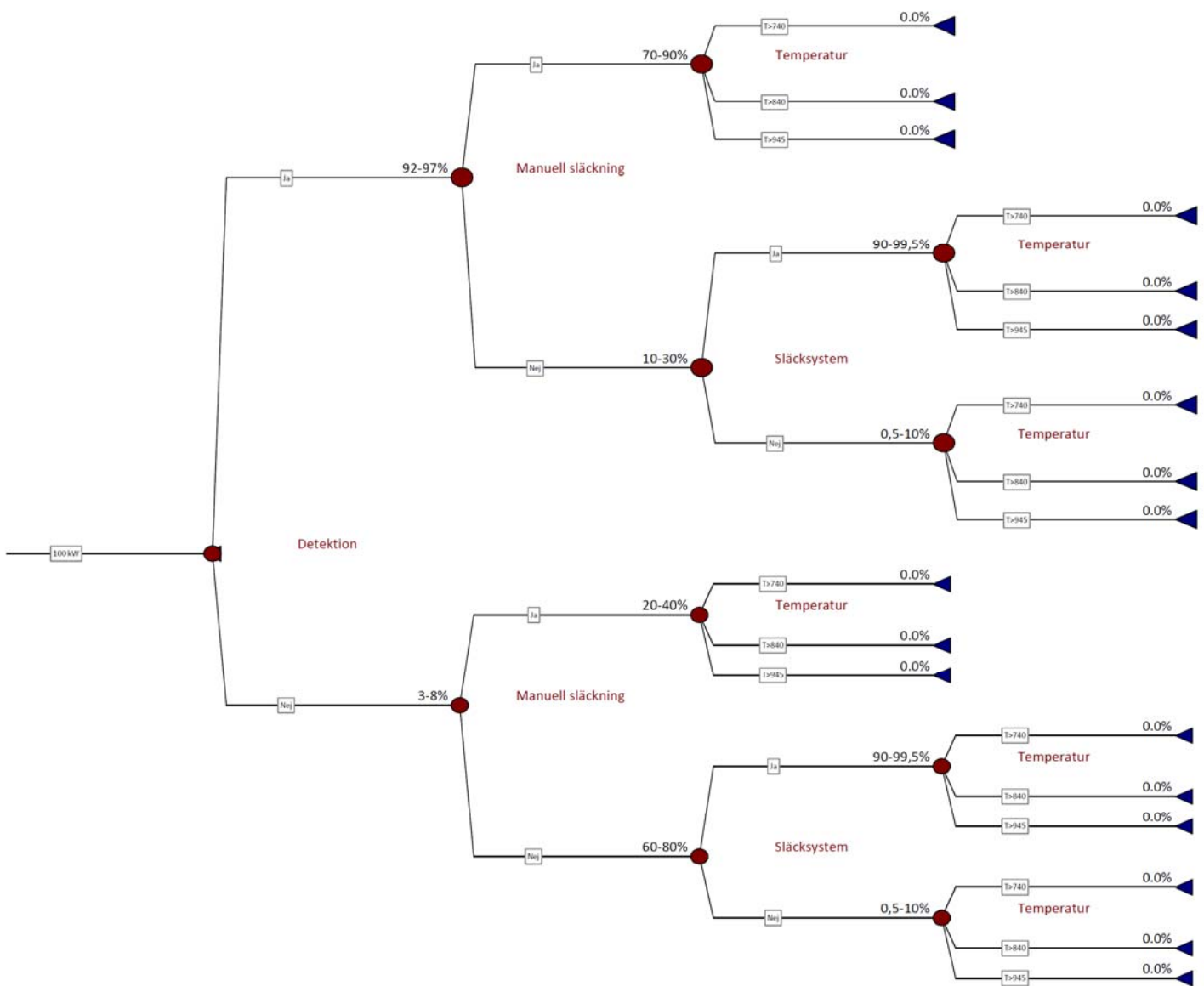
Med de antaganden som gjorts medför en simulerad temperatur på 800°C (c i beräkningarna) att temperaturen i verkligheten skulle kunna variera mellan 680-920°C (a och b i beräkningarna). Sannolikheten att temperaturen hamnar inom detta intervall är alltså 1, och sannolikheten att temperaturen hamnar utanför detta intervall är 0. Sannolikheten är större att temperaturen hamnar nära det simulerade värdet än nära intervallgränserna (toppen på triangeln i figur F.1) Med hjälp av ekvation F3 och F4 (den kumulativa sannolikhetsfördelningen) beräknas sannolikheten att temperaturen överstiger de värden som ett A15-skott respektive ett A30-skott är testade för, det vill säga 740°C och 840°C. Sannolikheten att temperaturen skulle överskrida 740°C är 0,88 och sannolikheten att temperaturen skulle överskrida 840°C är 0,22. Eftersom temperaturen som ett A60 skott är testat för, det vill säga 945°C, ligger utanför intervallet (680-920°C), är sannolikheten att denna skulle överskridas obefintlig.

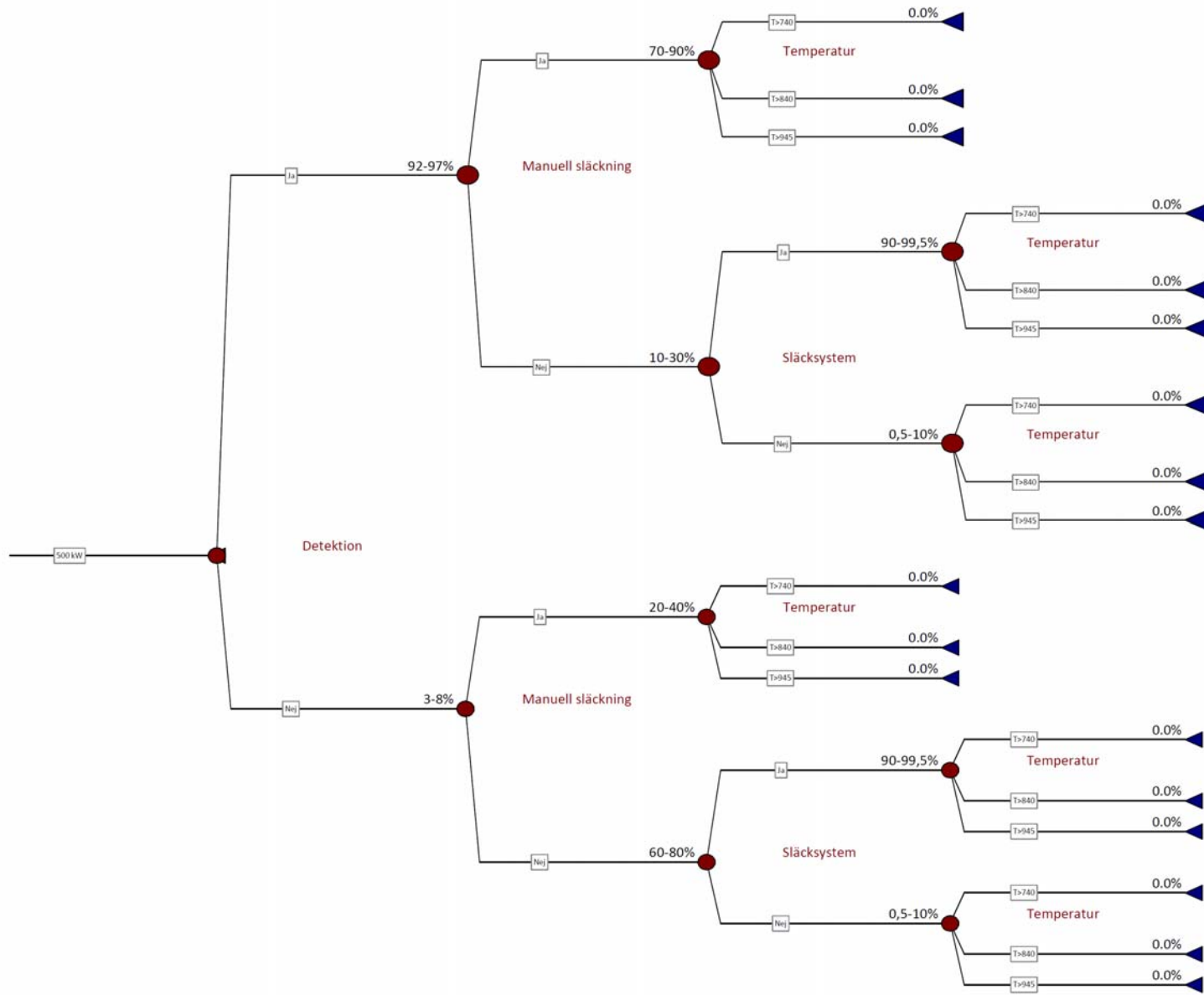
I intervallanalysen används det värde som är sämst respektive bäst för utfallet, oavsett om den kommer från 10 % eller 15 % osäkerhet. Om den simulerade temperaturen till exempel är 900°C ger 10 % osäkerhet högst sannolikhet för att A30 överskrids, medan 15 % osäkerhet ger en högst sannolikhet för att A60 överskrids. I intervallanalysen används då dessa värden för det sämsta utfallet.

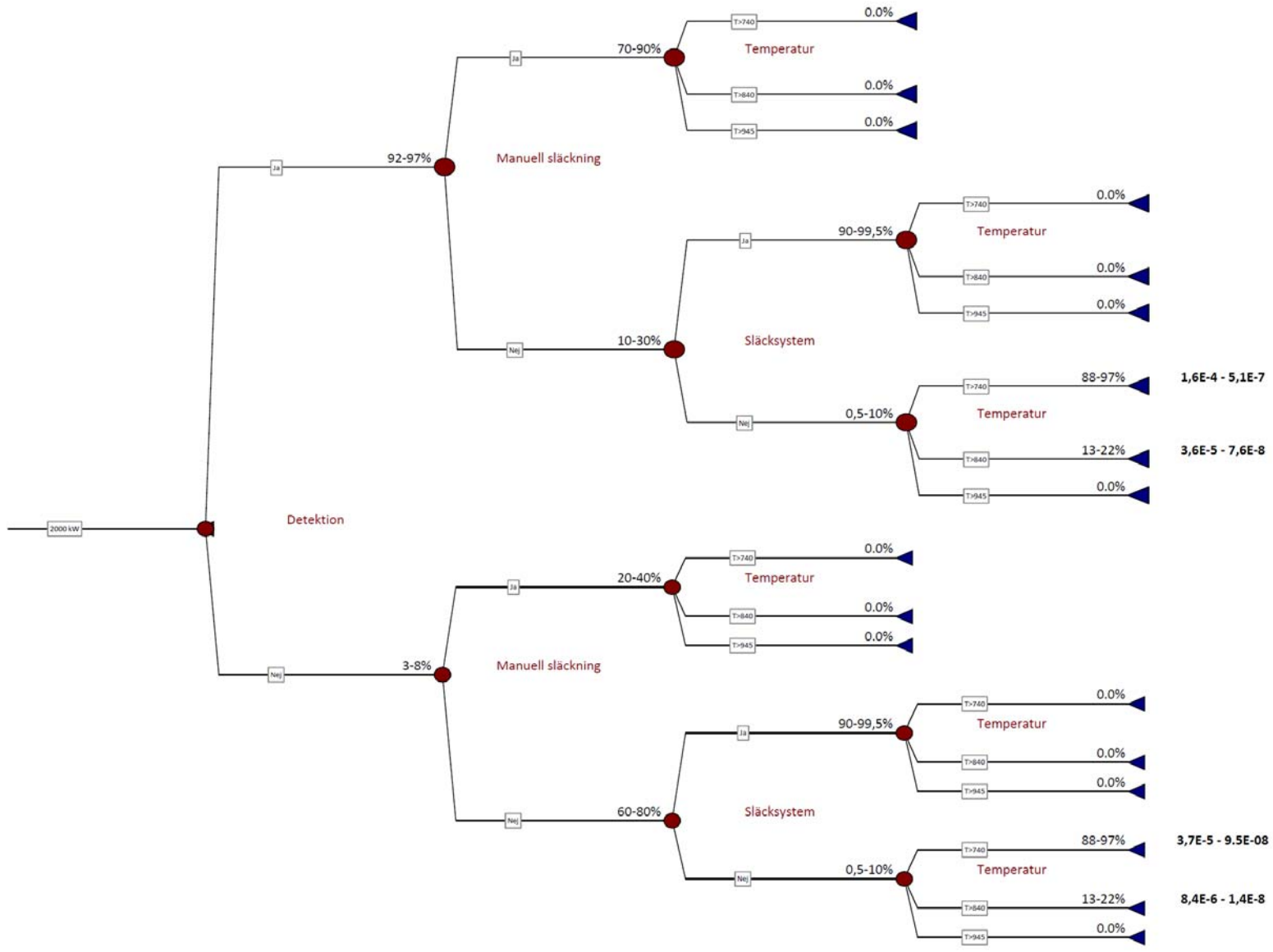
Appendix G – Händelsetråd

På sida 2-5 av detta appendix visas ett händelsetråd givet att en brand uppstår. Sannolikheten för varje händelse visas som ett intervall som anges i Kapitel 7. Händelsetrådet utvecklas fullständigt för det fall då branden uppstår i AMS2. Grenarna för de fall då brand uppstår i de andra utrymmena är identiska, bortsett från sannolikheterna för att temperaturgränserna överskrids. Därför redovisas endast ett fullständigt händelsetråd för ett av utrymmena. Resultaten för övriga utrymmen redovisas i tabellform i Appendix H. Sannolikheterna för sluthändelserna redovisas som ett intervall mellan högsta och lägsta värde, och endast för de fall då brandspridning sker.









Appendix H – Beräkningsgång för händelseträdsanalys

I detta appendix redovisas hur sannolikheten för brandspridning har beräknats. Efter grundhändelsen att brand uppstår är händelseträdet uppdelat i följande delhändelser

1. Utrymme – 14 grenar (p_{101} - p_{114})
2. Storlek på brand – 3 grenar (Klass1/Klass2/Klass3, p_{21} - p_{23})
3. Fungerande detektionssystem – 2 grenar (Ja/Nej, p_{31} - p_{32})
4. Manuell insats lyckas – 2 grenar (Ja/Nej, p_{41} - p_{42})
5. Fasta släcksystem fungerar – 2 grenar (Ja/Nej, p_{51} - p_{52})
6. Temperatur överskrider maximal testtemperatur – 3 grenar ($T > 740$ / $T > 840$ / $T > 945$, p_{6101} - p_{6314})

Sluthändelsen för händelseträdet blir *Brandspridning* eller *Ej Brandspridning*, vilket beror på vilken klassning som väljs. Totalt blir detta 1008 sluthändelser, givet att en brand uppstår. Observera att samtliga sannolikheter i delhändelserna summerar till 1, förutom p_{61} - p_{63} , eftersom p_{62} och p_{63} även räknas med i p_{61} . Om temperaturen är högre än 945°C är den naturligtvis samtidigt högre än 740°C. Sannolikheterna för delhändelse 2-5 har antagits vara oberoende av utrymme.

Det finns två händelsekedjor som kan leda till brandspridning, oavsett utrymme:

Brand av klass 3 (p_{23})
Detektionssystem fungerar (p_{31})
Manuell insats misslyckas (p_{42})
Fasta släcksystem felfungerar (p_{52})

Brand av klass 3 (p_{23})
Detektionssystem felfungerar (p_{32})
Manuell insats misslyckas (p_{42})
Fasta släcksystem felfungerar (p_{52})

Om detektionssystemet fungerar eller ej påverkar sannolikheten för att manuell insats skall lyckas eller misslyckas. För att förenkla Tabell H.1 nedan räknas de två händelsekedjorna ovan om till en:

Brand av klass 3 (p_{23})
Manuell insats misslyckas (p_4)
Fasta släcksystem felfungerar (p_{52})

Sannolikheten för att manuell insats misslyckas beräknas enligt:

$$p_4 = p_{31} \cdot \langle p_{42} | p_{31} \rangle + p_{32} \cdot \langle p_{42} | p_{32} \rangle = 0,945 \cdot 0,20 + 0,055 \cdot 0,70 = 0,2275$$

Där $\langle p_{42} | p_{31} \rangle$ är så kallad betingad sannolikhet, det vill säga sannolikheten för att manuell insats misslyckas *givet* att detektionssystemet fungerar, och $\langle p_{42} | p_{32} \rangle$ är sannolikheten för att manuell insats misslyckas *givet* att detektionssystemet felfungerar. Dessa kan summeras till en sannolikhet, p_4 för att förenkla beräkningarna. Sannolikheterna i beräkningen är väntevärden i sannolikhetsintervallen från Kapitel 7.

Sannolikheten för brandspridning, givet att klass A15 väljs, beräknas enligt:

$$P_{brandspridning} = P_{101} \cdot P_{23} \cdot P_4 \cdot P_{52} \cdot P_{6101} + P_{102} \cdot P_{23} \cdot P_4 \cdot P_{52} \cdot P_{6102} + \dots + P_{114} \cdot P_{23} \cdot P_4 \cdot P_{52} \cdot P_{6114}$$

Vilket innebär att samtliga grenar i händelseträdet summeras. Tabell H.1 visar en sammanställning av risken för brandspridning, givet att en brand uppstår, uppdelat per utrymme. Värdena i tabellen är väntevärden i sannolikhetsintervallen från Kapitel 7.

Tabell H.1 – Sammanställning av risken för brandspridning

Utrymme	P ₁₀₁₋₁₁₄	P ₂₃	P ₄	P ₅₂	P ₆₁₀₁₋₆₁₁₄ T>740	P ₆₂₀₁₋₆₂₁₄ T>840	P ₆₂₀₁₋₆₂₁₄ T>945	Brandspridning A15	Brandspridning A30	Brandspridning A60
PMR	0.12	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
MR	0.12	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
AMS1	0.12	0.03	0.2275	0.0525	0.0015	0	0	6.45·10 ⁻⁸	0	0
AMS2	0.12	0.03	0.2275	0.0525	0.92	0.18	0	3.96·10 ⁻⁵	7.74·10 ⁻⁶	0
BC	0.12	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
ES1	0.06	0.03	0.2275	0.0525	0.15	0	0	3.22·10 ⁻⁶	0	0
ES2	0.06	0.03	0.2275	0.0525	0.15	0	0	3.22·10 ⁻⁶	0	0
ES3	0.06	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
Galley	0.06	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
EER	0.06	0.03	0.2275	0.0525	0.15	0	0	3.22·10 ⁻⁶	0	0
Bottom Hull	0.025	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
CR	0.025	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
Cabin, Sanitary and Mess	0.025	0.03	0.2275	0.0525	1	0.89	0.18	8.96·10 ⁻⁶	7.97·10 ⁻⁶	1.61·10 ⁻⁶
WSC	0.025	0.03	0.2275	0.0525	0	0	0	0	0	0
							Summa	5.83·10⁻⁵	1.57·10⁻⁵	1.61·10⁻⁶

Appendix I – Riskmatriser

Nedanstående riskmatriser för personskada och egendomsskada är Försvarsmaktens acceptanskriterier vid riskvärdering av ubåt typ Gotland och ubåt typ Södermanland (Försvarsmakten, 2002). Riskvärderingen ska baseras på fartygets återstående livslängd. Ett år antas motsvara 1400 driftstimmar.

Ej tolerabel risk	ET
Begränsat tolerabel risk	BT
Tolerabel risk	T

Sannolikhet/frekvens

- A Frekvent. Bedöms kunna inträffa frekvent under fartygets återstående livstid (i genomsnitt oftare än 1 gång/år).
- B Trolig. Bedöms kunna inträffa flera gånger under fartygets återstående livstid (i genomsnitt med ett intervall på 1-5 år).
- C Tillfällig. Bedöms kunna inträffa någon gång under fartygets återstående livstid (i genomsnitt med ett intervall på 5-75 år).
- D Osannolik. Det är möjligt att händelsen inträffar (i genomsnitt med ett intervall på 75-1000 år).
- E Mycket osannolik. Händelsen bedöms inte kunna inträffa (i genomsnitt mer sällan än 1 gång/1000 år).

Konsekvens personskada

- 1 Katastrof = dödsfall
- 2 Kritisk = allvarlig personskada, det vill säga förlust av lemmar eller skador vilka kräver kvalificerad behandling och/eller där skadan ger bestående men.
- 3 Marginell = mindre allvarlig personskada, det vill säga skador som kan åtgärdas av personal på sjukhus, vårdcentral eller liknande. Skadan medför inga bestående men.
- 4 Försumbar personskada, det vill säga skador som kan skötas av sjukvårdskunnig person på plats. Skadan medför ingen arbetsförmåga efter vård.

Tabell I.1 – Riskmatris för personskador

Konsekvens	Frekvens				
	A	B	C	D	E
1	ET	ET	ET	ET	T
2	ET	ET	ET	BT	T
3	ET	BT	BT	T	T
4	BT	T	T	T	T

Konsekvens egendomsskada

- 1 Systemförlust. Fartyget obrukbart och kan ej repareras (skador>100Mkr eller tredje persons skada>1Mkr)
- 2 Allvarlig egendomsskada. Större haveri eller allvarlig skada på annans egendom (skador för 10Mkr-100Mkr eller tredje persons skada 100Kkr-1Mkr)
- 3 Mindre egendomsskada (skador för 100Kkr-10Mkr eller tredje persons skada 10Kkr-100Kkr)
- 4 Lätt egendomsskada (skador< 100Kkr eller tredje persons skada< 10Kkr)

Tabell I.2 – Riskmatris för egendomsskador

Konsekvens	Frekvens				
	A	B	C	D	E
1	ET	ET	ET	ET	T
2	ET	ET	ET	BT	T
3	ET	BT	T	T	T
4	BT	T	T	T	T

Appendix J – Standarder

I diskussionerna kring krav på de flexibla brandtätningarna förekommer ett antal olika standarder. Detta appendix innehåller en kort genomgång av respektive standard och tar upp relevanta paragrafer. Mellan liknande standarder påvisas även vissa motsvarigheter och skillnader.

FTP Code – Smoke and toxicity test

I FTP Code (International code for application of fire test procedures) Annex 1, Part 2 – *Smoke and toxicity test*, beskrivs testmetod för att undersöka optisk densitet och gaskoncentration vid förbränning av ett material (IMO, 1998).

§2.1

Test av rökutveckling skall utföras i enlighet med ISO 5659:1994 och de extra föreskrifter som finns i FTP Code.

ISO 5659:1994

Provningsen sker i en sluten kammare. Provkroppen är horisontellt belägen och utsätts för värmestrålning på tre nivåer:

25 kW/m² utan pilotlåga

25 kW/m² med pilotlåga

50 kW/m² utan pilotlåga.

När materialet utsätts för värmestrålning och börjar avge brandgaser samlas dessa upp i den slutna kammaren. Rökens täthet (genomsiktligheten) mäts med hjälp av lampa och fotocell. I det fall då FTIR-analys av brandgaserna genomförs så tas små mängder brandgaser ut från kammarens centrum för analys. En brandgasanalys per strålningsnivå utförs. Bland annat följande ämnen kan detekteras genom FTIR analys: Kolmonoxid, Saltsyra, Vätebromid, Väteflourid, Cyanväte, Kväveoxider och Svaveldioxid.

§2.2

Provbitar skall förberedas enligt A.653(16) (Surface flammability of bulkhead, ceiling and deck finish materials). Provbiten skall ha temperaturen 23 ± 2 °C och en relativ luftfuktighet på 50 ± 10 %.

§2.3

Tre provbitar skall testas under tre förutsättningar:

Infallande strålning på 25 kW/m² med pilotlåga

Infallande strålning på 25 kW/m² utan pilotlåga

Infallande strålning på 50 kW/m² utan pilotlåga

§2.4

Testet skall fortgå i minst 10 min. Om minsta värdet för ljustransmittens inte uppnås skall testet fortgå i ytterligare 10 minuter.

§2.6.2

Gaskoncentrationen som uppmäts under testet skall inte överskrida följande gränser:

CO	1450 ppm
HCl	600 ppm
HF	600 ppm
NO _x	350 ppm
HBr	600 ppm
HCN	140 ppm
SO ₂	120 ppm

Defence Standard 02-713 Issue 2

Denna standard listar krav på testmetoder för att bestämma giftigheten hos förbränningsprodukterna när en liten provbit av ett material förbränns under specificerade förhållanden.

§6.1

Små provbitar med förbestämd massa (vanligtvis cirka 1g) förbränns fullständigt i en tät kammare med en volym på 0,7-1,0 m³ med en bunsenbrännare med förblandad blå flamma med en temperatur på 1150 °C.

§6.2

Gasen i kammaren analyseras för vissa gaser. Korrektioner görs för kolmonoxid, koldioxid och kväveoxider som bildats av brännaren.

§6.3

För varje gas skalas koncentrationen (C_i) upp till för 100 g av materialet och räknas om som om förbränningsprodukterna blandats ut i exakt 1 m³ luft. Denna koncentration uttrycks sedan som ett förhållande till den kritiska faktorn (C_f) som är den koncentration som anses vara dödlig för en människa vid 30 minuters exponering. Förhållandena (C_i/C_f) summeras för alla gaser för att ge ett toxicitetsindex för materialet.

§8.2.1

Provbiten skall ha temperaturen 23 ± 2 °C och en relativ luftfuktighet på 50 ± 10 %.

Kommentar

Det är svårt att jämföra de två standarderna. *Defence Standard 02-713 Issue 2* grundar sig bland annat på fullständig förbränning av 100 g av ämnet medan FTP Code – *Smoke and toxicity test* använder en större provbit och infallande strålning

IMO Resolution A.754(18) och A.517(13)

IMO Resolution A.754(18) antogs i november 1994 och ersatte då Resolution A.517(13). Testen i resolutionen utgår från standardbrandkurvan ISO 834.

§1.1

Med brandisolering avses en konstruktions förmåga att isolera och på andra vis skydda ett område från påverkan av en brand i ett angränsande utrymme genom avskiljning. Godkännande av material ges baserat på resultat från test genomförda på konstruktionen och materialet ifråga. Test skall utföras av ett godkänt testlaboratorium. Sådana konstruktioner är A- B- eller F-klassade skott och durkar, A- B- eller F-klassade dörrar, B- eller F-klassade tak samt B- eller F-klassade ytskikt.

§1.2

Godkännande av konstruktioner är begränsade till den orientering för vilken de har blivit testade. Alltså ska skott, dörrar och beklädnader testas monterade vertikalt, medan däck och innertak skall testas monterade horisontellt. För A-klassade skott och dörrar skall båda sidor testas separat, med två separata provexemplar, för godkännande. Ett enskilt test kan godkännas om den sida som testas är här ett sämre skydd än den andra sidan.

§1.4

A-klassade avskiljningar av oisolerade stålskott och durkar utan öppningar kan anses uppnå klass A-0 utan att testas, alla andra avskiljningar, inklusive A-0 måste testas.

§1.5

Resultat från test av isolerade material får användas i större dimensioner än de som testats, förutsatt att orienteringen är densamma, det vill säga test från skott får ej tillämpas på durkar.

§1.6

Designen av provexemplaren i denna resolution är avsedda att spegla värsta möjliga scenario för att ge maximal användbarhet av klassificeringarna. Konstruktionen som testas skall, så långt som möjligt, vara representativ för hur den används ombord, inkluderat material och montering.

§2-7

§ 2-10 i Resolution A.754(18) ger detaljerade beskrivningar av olika aspekter av testmetoderna för konstruktioner och material. Exempel på detta är design av provbitar, material i provbitar, montering och undersökning av provbitar, försöksupställning, mätinstrument och testmetoder.

§8.1

Testet skall utföras enligt ISO 834: del 1, med vissa modifieringar enligt FTP Code.

§8.4.6

Observationer angående generellt beteende hos provexemplaret skall göras, exempelvis sprickor, smältning eller uppmjukning av material. Om stora mängder rök emitteras från den oexponerade sidan skall detta noteras i rapporten. Testet är dock inte designat för att indikera den möjliga graden av fara på grund av dessa faktorer.

§9.1.1

Medeltemperaturen på den oexponerade sidan får ej överskrida 140°C och inget av termoelementen får överskrida 180°C.

§9.2

Följande krav måste uppfyllas under hela tiden för testet:

- Flammor: det skall inte vara några flammor på den oexponerade sidan.
- Bomullstuss: antändning, det vill säga flammor eller glöd, av bomullstussen får ej ske vid test enligt 8.4.2 eller 8.4.3.

Förekomst av flammor på den oexponerade sidan, samt lokaliseringen av flammorna, skall registreras. I fall där det är svårt att identifiera om flammor förekommer eller inte skall en bomullstuss appliceras för att se om antändning av bomullstussen kan ske.

Test med bomullstuss används för att indikera huruvida sprickor och öppningar i provexemplaret är sådana att de kan leda till läckage av varma gaser tillräckliga för att orsaka antändning av brännbara material.

- Sprickor: Inga sprickor får uppstå enligt 8.4.4.

En 6 mm bred mätsticka får ej kunna föras genom provexemplaret så att mätstickan sticker ut i provugnen och sen kan röra sig 150 mm längs med sprickan. En 25 mm tjock mätsticka får ej kunna föras genom provexemplaret så att mätstickan sticker ut i provugnen.

§10

Beskrivning av dokumentation av försöken och vad testrapporten skall innehålla.

ISO 834

ISO 834 innehåller flera delar som specificerar testmetoder för att bestämma brandmotståndet hos olika typer av byggnadsdelar och byggnadsmaterial (ISO, 2009). Testen ska leda fram till klassificering av konstruktionselementen och materialen. Försöksuppställningen utgår från ett standardiserat brandförlopp med temperaturökning enligt standardbrandkurvan ISO 834 och klassificeringen baseras på hur länge prestandan hos provbiten/materialet uppfyller förbestämda kriterier.

BS 476

BS 476 serien beskriver procedurer för laboratorietester för att bestämma brandmotståndet hos konstruktionselement under påverkan av fördefinierade temperatur- och tryckförhållanden. Metoden innebär ett sätt att kvantifiera konstruktionselementens förmåga att motstå exponering för höga temperaturer genom kriterier för bärförmåga, integritet och isolering. En representativ provbit av konstruktionselementet utsätts för en specifik värmepåverkan och prestandan hos provbiten övervakas enligt kriterier satta i standarden. Konstruktionselementets brandmotståndsförmåga uttrycks som den tiden under vilken kriterierna för prestanda kunde upprätthållas (BSI, 2009).

prEN 1366-4

EN (European Norm) är EU:s standarder, prefixet pr indikerar att standarden är en teststandard som fortfarande inte blivit antagen. Numreringen på EN:s standarder är indelade i grupper efter vilken typ av konstruktionsprodukter som avses. Gruppen 1366 avser serviceinstallationer så som linjära tätningar (1366-4). En EN-standard är giltig i alla medlemsländer i EU.

Appendix K – Avfärdade produkter

I detta appendix presenteras kort de produkter som fått attributvärde 1 (oacceptabelt) i bedömningen av ett attribut som har relevansvärde 2 eller 3 (viktigt eller väldigt viktigt) och därmed sorterades ut innan utvärderingen.

Nullifire J2000

Vattenbeständigt svällande material som pressas ihop och fästs mekaniskt. Används för att klara av strukturella rörelser och seismisk aktivitet. Produkten avfärdades då den enligt tillverkaren inte är möjlig att använda i slutna miljöer på grund av de toxiska ämnen som frigörs vid brand.

Intuspan C

Sandwichmaterial av keramik- och glasfiberdukar som hålls fast med stålband. Används i fogar där stora rörelser kan väntas i flera dimensioner vid exempelvis seismisk aktivitet. Produkten avfärdades då den enligt tillverkaren skulle vara svår att installera i små och komplexa geometrier.

Firebreak Linear Gap Seal

Elastiskt laminerat skum som expanderar vid brand. Produkten avfärdades då den ej är oljebeständig.

Pyroplex® Linear Gap Seal

Sandwichelement med svällande ytskikt som expanderar vid brand. Produkten undersöktes ej närmare då den är av samma typ som J2000 och Firebreak Linear Gap Seal.

Firepro BJ201 Fireseal strip

Sandwichelement med svällande ytskikt som expanderar vid brand. Produkten undersöktes ej närmare då den är av samma typ som J2000 och Firebreak Linear Gap Seal.

Elastiska brandskyddsmassor

Fogmaterial som expanderar vid brand och används vid montage av dörrar, fönster och väggar. Produkten avfärdades då den endast är applicerbar på relativt små springor.

Flamsäkert brandskyddsskym

Polyuretanbaserat skum för tätning, fogning och fastsättning vid montage av dörrar, fönster och väggar. Produkten avfärdades då den ej tål stora rörelser.

Appendix L – Kontaktuppgifter

Nedan följer en lista med kontaktuppgifter till de företag och personer som kontaktats under arbetets gång.

KBS Brandskydd AB

KBS är ett svenskt företag specialiserat på passivt brandskydd.

Kontaktperson: Mikael Sandgren
Tel: 031-7851890
Fax: 031-7851891
Mobil: 0709-856045
E-post: mikael.sandgren@kbs.se
Hemsida: www.kbs.se

Besöksadress. Nääs Fabriker - Mellersta Fabriken (MF2), 448 51 Tollered

MCL Unitex Limited

MCL designar, tillverkar och installerar utrustning för att lösa problem med akustik, vibrationer och termisk expansion.

Kontaktperson Neil R. Taylor
Tel: +44 1773 761 226
Fax: +44 1773 760 408
E-post: neil.taylor@isolatedsystems.com
Hemsida: www.isolatedsystems.com

Trelleborg Offshore Norway

Trelleborg Offshore Norway tillverkar produkter för brandskydd och rostskydd för bland annat offshoreindustrin och bilindustrin.

Kontaktperson: Merete Roenningen
Tel: +47 32 232 220
Fax: +47 32 232 201
Mobil: +47 97 977 806
E-post: merete.roenningen@trelleborg.com
Hemsida: www.trelleborg.com/viking

Nullifire

Nullifire är ett brittiskt företag specialiserat på passivt brandskydd med svällande ytskikt.

Kontaktperson: Christina Goudie
Tel: +44 24 76 855 000
Fax: +44 24 76 469 547
E-post: christina.goudie@nullifire.com
Hemsida: www.nullifire.com

Tayfire International Ltd

Tayfire International tillhandahåller olika brandskyddsprodukter till privatpersoner och företag.

Kontaktperson: Petra Lilley
Tel: +44 18 21 641 007
Fax: +44 18 21 641 008
E-post: enquires@tayfire.co.uk
Hemsida: www.tayfire.co.uk

Firetherm™

Firetherm tillhandahåller lösningar för passivt brandskydd i Storbritannien och resten av världen.

Kontaktperson: Paul White
Tel: +44 13 22 551 010
Fax: +44 13 22 552 727
E-post: paul.white@firetherm.com
Hemsida: www.firetherm.com