

# Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit

*Tomas Carlsén*  
*Henrik Winkler*

---

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Report 5069, Lund 2000



# **Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit**

**Tomas Carlsén  
Henrik Winkler**

**Lund 2000**

Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit

The cutting extinguisher as a clearance and fire extinguishing tool on carbon fibre composite ships

Tomas Carlsén, Bi97  
Henrik Winkler, Bi97

**Report 5069**  
**ISSN: 1402-3504**  
**ISRN: LUTVDG/TVBB—5069—SE**

Number of pages: 62

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

Keywords:

Cutting extinguisher, HMS Visby, carbon fibre laminate, FAST, abrasive

Abstract:

In this report the cutting extinguisher is evaluated based on the cutting ability of carbon fibre laminate boards and the fire extinguishing ability. Laboratory tests and full scale tests have been carried out. Results from the tests, computer simulations and theories are discussed and compared. Suggestions and demands on improvement are presented.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2000.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 – 222 73 60  
Fax: 046 – 222 46 12

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

[brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 7360  
Fax: +46 46 222 4612

## SAMMANFATTNING

Kockums Varv AB i Karlskrona har i uppdrag från FMV börjat bygga korvetter av Visbyklass. Dessa är uppbyggda av en sandwichkonstruktion med kolfiberlaminat på vardera sidan om en kärna av skumplast, med produktnamnet Divinycell®. Detta arbete utvärderar hur väl lämpad skärsläckaren är att ha ombord på fartyget som röjnings- och släckredskap. Dessutom har sandwichkonstruktionens brandegenskaper undersökts i en konkalorimeter.

Försöken i konkalorimetern visade att materialet, då det utsattes för en infallande strålning på 35 kW/m<sup>2</sup>, antänder med hjälp av en pilotlåga vid cirka 530°C. När materialet brinner utvecklas, beroende på laminatets tjocklek, cirka 100-200 kW/m<sup>2</sup>. Detta motsvarar ungefär effektutvecklingen då träpanel brinner. Sandwichkonstruktionerna isolerar mycket bra mot värme men förlorar samtidigt all sin hållfasthet efter bara någon minuts brandbelastning. Detta beror på att kärnan krymper vid cirka 90°C och då försvinner vidhäftningen mot kolfiberlaminatet.

Skärsläckaren som har utvecklats av Cold Cut System i Kungsbacka framtogs i syfte att underlätta räddningstjänstens håltagningar i tak. Vid tester uppenbarades att den även hade en släckande effekt när den väl skurit sig genom materialet.

Skärtesterna utfördes på tre olika sandwichkonstruktioner. De valda konstruktionerna skulle motsvara en minimal, en mellan- och en maximal konstruktionstjocklek ombord på fartyget. Testerna med skärsläckaren visade att det är ett mycket kapabelt skärverktyg. Den skar genom de olika materialtjocklekarna utan problem. Ovana operatörer upplever svårigheter först vid den maximala tjockleken då det blir viktigt att hålla en optimal skärhastighet för en snabb och jämn skärning.

Den släckande kapaciteten hos skärsläckaren testades i en dubbelcontainer hos Skyddsenheten Karlskrona Sjösäkerhetsskolan, SkyEK SjösäKS. För varje släckförsök monterades en provvägg med sandwichpaneler framför en öppning och utsattes för strålningen från en brand. Brandens effekt var 3,6 MW och temperaturen blev ungefär 500°C. Efter förbrinntiderna 5 min respektive 10 min påbörjades skärning genom sandwichmaterialet. Skärningen övergick till släckning när materialet penetrerats och vatten påfördes i 30 s vid två försök (5 och 10 minuter förbrinntid) och i 60 s vid de återstående två testen. När skärsläckaren skurit genom sandwichpanelen släcktes branden på cirka 10 s. Den skärsläckare som testades gav ett vattenflöde på 28 l/min. Detta ger den en teoretisk släckkapacitet för bränder upp till 6,5 MW.

Sammanfattningsvis kan sägas att skärsläckaren skulle vara ett mycket bra komplement till vanliga strålrör. Genom att använda skärsläckaren först vid en insats för att sedan gå in och eftersläcka med strålrör sparar man tid och skadans omfattning begränsas.

Om skärsläckaren ska installeras på Visbyserien, måste dock en del justeringar göras med den nuvarande utformningen. Även med dessa justeringar åtgärdade kan den ändå inte ersätta vanliga strålrör, detta bland annat på grund av att den inte kan ge skyddande vattenskärm.



## SUMMARY

Kockums Shipyard Ltd in Karlskrona has been assigned by the Swedish DMA to start building Visby-class corvettes. These corvettes are made of a sand-wich construction with carbon fibre laminate on each side of a core, Divinycell ®. This report evaluates the suitability of the cutting extinguisher as a cutting and fire extinguishing tool on board the ship. Furthermore, by using a cone calorimeter, the fire qualities of the construction have been examined.

The cone calorimeter tests showed that the material, when exposed to a radiation level of 35 kW/m<sup>2</sup>, ignites at approximately 530°C with the use of a pilot flame. When burning, the material generates approximately 100 - 200 kW/m<sup>2</sup>, depending on the thickness of the carbon fibre layer. This is about the same amount as is generated by burning wooden panels. The sandwich construction is an excellent heat isolator, but on the other hand it loses all of its structural integrity after only about a minute of fire exposure. This is due to the fact that the core shrinks at a temperature of approximately 90°C and lose the adhesion to the carbon fibre laminate.

The cutting extinguisher, which has been developed by Cold Cut System Ltd in Kungsbacka, was made with the purpose of facilitating the fire brigade making holes in roofs. At tests it turned out that it had the side effect of extinguishing fires once it had cut through the roof material.

The cutting tests were performed on three different types of sandwich construction. The constructions were chosen to correspond to a minimum, medium and maximum laminate layer thickness as used on the ship. The cutting extinguisher tests proved that it is a very capable cutting tool indeed. It cut through the various constructions without any problems what so ever. Operators unaccustomed to the equipment will experience difficulties only with the maximum laminate layer thickness, when the need of an optimum cutting speed is essential to perform a fast and even cutting.

The extinguishing capacity of the cutting extinguisher was tested in a container at the Navy rescue school in Karlskrona. Four tests were performed and for each test a mock wall was made, containing three sandwich panels, and mounted in front of a container opening. The mock wall was exposed to the radiation from a fire of 3,6 MW in which the temperature was approximately 500°C. In two tests the fire was burning for five minutes and in two tests ten minutes before the cutting through one of the sandwich panels were initiated. The cutting turned to fire extinguishing once the sandwich panel was penetrated and water was sprayed for 30 seconds in two tests (5 and 10 minutes pre-burning) and for 60 seconds in the remaining two tests. Once the sandwich panel was penetrated the fire was put out in approximately 10 seconds. The equipment that was tested delivered a water flow of 28 litres per minute, which equals a theoretical extinguishing yield of 6,5 MW.

To sum it up, the cutting extinguisher would be an excellent complement in addition to conventional fire tools on board the Visby-class corvettes. By using the cutting extinguisher initially on a fire in a contained compartment and when a passage is made continue the remaining fire fighting with conventional nozzles, the damage would be reduced and time would be saved.

However, compared to the today's design, the cutting extinguisher would need to be adjusted in a number of ways in order to be installed on board. Even with these adjustments made it still should not replace conventional nozzles, mainly because of its inability to generate a protective water shield.





## FÖRORD

För hjälp under arbetets gång vill vi tacka:

- Pontus Nordberg, FMV och professor Göran Holmstedt, LTH för handledning och uppslag till projektet
- Sven-Ingvar Granemark, LTH för all praktisk hjälp vid försöken i brandlabbet och Karlskrona
- Lars G. Larsson och Svante Westin, CCS för utbildning, lån av skärsläckaren och övriga information
- Löjtnant Stefan Dahlberg, SkyEK SjösakS, för uppslag och information kring arbetet
- Löjtnanterna Lars Lundqvist & Conny Strömberg, SkyEK SjösakS, för praktisk hjälp vid storskaleförsöken
- Kapten Thomas Blissing för hjälp med praktiska arrangemang vid Karlskronabesöken

Dessutom vill vi tacka personal på Brandteknik, anställda på Kockums och övriga som varit behjälpliga med diverse.

Tomas Carlsén och Henrik Winkler  
Lund, december 2000



# INNEHÅLL

<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>2</b>
1.1 BAKGRUND.....	2
1.2 SYFTE .....	2
1.3 METOD .....	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR .....	3
<b>2 SANDWICHKONSTRUKTION AV KOMPOSITMATERIAL</b> .....	<b>4</b>
2.1 MATERIALETS ANVÄNDNING .....	4
2.2 BESKRIVNING AV HMS VISBY .....	4
2.3 SANDWICHKONSTRUKTIONEN.....	5
2.4 MATERIALEGENSKAPER.....	6
2.5 MATERIALETS UPPFÖRANDE VID BRANDPÅVERKAN .....	7
2.6 VAL AV KONSTRUKTION FÖR SKÄR- OCH SLÄCKFÖRSÖK.....	9
<b>3 SKÄRSLÄCKAREN</b> .....	<b>10</b>
3.1 BESKRIVNING.....	10
3.2 HANDHAVANDE .....	12
3.3 ROBUSTHET VID ÖVNINGSVERKSAMHET .....	12
3.4 SÄKERHET.....	13
3.5 FÖRÄNDRINGAR INFÖR INSTALLATION PÅ VISBY .....	14
<b>4 SKÄRFÖRSÖK</b> .....	<b>16</b>
4.1 UTFÖRANDE.....	16
4.2 RESULTAT AV SKÄRNINGARNA .....	17
<b>5 SLÄCKFÖRSÖK I CONTAINER, KARLSKRONA</b> .....	<b>18</b>
5.1 BRANDSCENARIO .....	18
5.2 SIMULERINGAR .....	18
5.3 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING .....	18
5.4 PARAMETRAR .....	20
5.5 KOMPLETTERANDE SIMULERING .....	21
5.6 RESULTAT .....	21
<b>6 SÅRBARHET VID VAPENVERKAN</b> .....	<b>24</b>
6.1 RESONEMANG KRING SLÄCKSYSTEM PÅ VISBY .....	24
6.2 SKÄRSLÄCKAREN PÅ VISBY .....	25
<b>7 SLUTSATSER</b> .....	<b>26</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>28</b>
<b>BILAGA 1 MATERIALPROVNINGAR I KONKALORIMETER</b> .....	<b>B1</b>
<b>BILAGA 2 SKÄRRESULTAT KUNGSBACKA</b> .....	<b>B7</b>
<b>BILAGA 3 FAST-SIMULERING</b> .....	<b>B9</b>
<b>BILAGA 4 CONTAINERFÖRSÖK</b> .....	<b>B13</b>
<b>BILAGA 5 BERÄKNINGAR</b> .....	<b>B17</b>



# 1 INLEDNING

## 1.1 BAKGRUND

Försvarets Materielverk (FMV) har beställt sex stridsfartyg av Kockums Varv AB. Dessa fartyg är konstruerade i ett för varvsindustrin nytt material, kolfiberkomposit, som inte medger eventuell snabb röjning genom materialet med traditionella verktyg. Ett privat företag, Cold Cut System AB (CCS), har utvecklat ett nytt redskap som går under benämningen skärsläckare. Detta redskap togs fram i syfte att underlätta räddningstjänstens takarbeten, senare tester visade även på utmärkta släckegenskaper.

FMV kontaktade då Brandteknik och ställde en förfrågan om de kunde utreda om skärsläckaren skulle vara lämplig att installera som röjningsverktyg ombord. Brandteknik bedömde detta som ett lämpligt projektarbete för två elever. Detta projektarbete utvecklades till att även omfatta kolfiberkompositens brandtekniska egenskaper samt skärsläckarens släckförmåga.

## 1.2 SYFTE

Syftet med projektarbetet har varit att utreda huruvida skärsläckaren är lämplig att installera ombord på de nya ytstridsfartygen som röjnings- och eventuellt släckverktyg. Rapporten ska ge den svenska marinen ett underlag för beslut om installation av skärsläckaren. Arbetet ingår som en del i kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering, vilken är den avslutande kursen på Brandingenjörslinjen vid Lunds Tekniska Högskola. Kursens syfte är att studenterna ska tillämpa de kunskaper som de förvärvat under studietiden och självständigt analysera och redovisa en omfattande uppgift på ett vetenskapligt och metodiskt sätt.

## 1.3 METOD

Arbetet har bestått av både teoretiska och praktiska delmoment:

- Litteraturstudier för referenser och faktauppgifter.
- Beräkningar av skärsläckarens flödeshastigheter, reaktionskrafter och släckkapacitet samt på försöksbrandens infallande strålning.
- Småskaliga materialprovningar i konkalorimeter.
- Mätningar av skärsläckarens skärhastighet i materialet hos CCS i Kungsbacka.
- Studiebesök och kurser i Karlskrona och Göteborg.
- Storskaliga släckförsök på SkyEK SjösåKS.

## 1.4 AVGRÄNSNINGAR

De småskaliga materialprovningarna utfördes på obehandlade kolfiberlaminat. Inga tester gjordes på brandskyddsbehandlade provbitar.

Skärsläckarens skärande förmåga jämförs med endast en annan typ av skärverktyg, hydrauldriven kedjesåg med diamantbelagd kedja.

Skärningar med skärsläckaren har utförts endast i kolfiberlaminat och endast i tre representativa laminattjocklekar.

Vid släckförsöken användes endast miljödiesel som bränsle i det valda brandscenariot.

Ingen hänsyn har tagits till befintliga släcksystem ombord.

Arbetet omfattar inte ekonomiska avvägningar.

## 2 SANDWICHKONSTRUKTION AV KOMPOSITMATERIAL

### 2.1 MATERIALETS ANVÄNDNING

Att använda kolfiber vid tillverkning av produkter eller konstruktioner är mycket utbrett i dagens industri. Formbarheten, styvheten och den låga vikten är några av de fördelar man får. På Kockums AB har man vidareutvecklat tillverkningen av konstruktioner i kolfiber för att producera framtidens stridsfartyg, korvett typ Visby.

### 2.2 BESKRIVNING AV HMS VISBY

De nya korvetterna av modell YS 2000 som nu byggs av Kockums AB, med Visby som det första fartyget i serien, representerar ett helt nytt sätt att bygga fartyg. Istället för att bygga en stomme som bärande konstruktion så är hela konstruktionen i Visby bärande. Det hela kan liknas vid att bygga hus av betongelement där väggar och bjälklag utgör både bärande och stabiliserande konstruktion (se bild 2.1). Vidare innebär även materialvalet med kolfiber på vardera sidan om en plastbaserad kärna också ett nytänkande i varvsindustrin. Det är denna konstruktion som kallas sandwichkonstruktion. Konstruktionslösningen är inte ny, den användes för att bygga den så kallade Landsortsserien bestående av sju minjaktfartyg. Skillnaden då var att man använde glasfiber på varje sida om kärnan /K/.



Bild 2.1 Konstruktionsuppbyggnad av HMS Visby /L/

HMS Visby är 73 m lång, 10,4 m bred och dess displacement kommer att vara cirka 600 ton (se bild 2.2). Besättningen kommer att utgöras av 41 man, varav 22 är officerare och 19 värnpliktiga. Framdrivningen kommer att skötas av dieselmotorer vid lågfart och gasturbiner vid högfart. Toppfarten kommer att vara cirka 40 knop och marschfarten ungefär 15 knop. Fartyget är byggt för att ha stealth-egenskaper, det vill säga att det skall vara svårt att upptäckas av fienden. De egenskaper man har inriktat sig på för att uppnå detta är:

**Radarsignatur:** Fartyget har helt plana ytor så att radarvågor inte studsar tillbaka till källan. Även detaljer som luftintag, ventilationsutsläpp med mera är gjorda av ett radarabsorberande material.

**Hydroakustisk signatur:** Ljudisolerade och överhuvudtaget tysta motorer som ger ett kortare upptäcktsavstånd.

**Magnetisk signatur:** Sandwichkonstruktionen som Visby är byggt av är omagnetisk och utrustningen ombord är omagnetisk så långt det är möjligt. Detta för att undvika magnetminor. Dessutom löper en magnetslinga runt fartyget, för att i möjligaste mån kompensera för de magnetfält som alstras på olika platser ombord.

**IR- och optisk signal:** Avgaserna kyls ner med vatten för att inte ge någon värmebild (IR) och likaså är ventilationsutsläppen nedkylda. Målningen av fartyget är optimerad för att det lättare ska smälta in i omgivningen.

**Röjande signaler:** Med hjälp av passiva sensorer och riktad sändning försvårar man för fiendlig spaning och signalsökande vapen.

Fartygets krigsuppgifter kommer att bestå av minröjning, ubåtsjakt, ytattack, minering, undervattensförsvär och luftförsvär. Det är det första fartyget som har kapacitet att lösa samtliga dessa uppgifter inom den svenska marinen.



Bild 2.2 HMS Visby /M/

## 2.3 SANDWICHKONSTRUKTIONEN

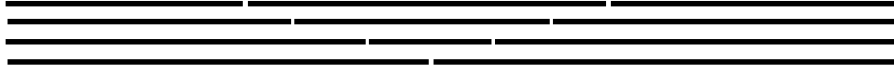
Sandwichkonstruktion är uppbyggd med kolfiberlaminat på ömse sidor om ett kärnmaterial av skumplast (Divinycell®). Kolfiberlaminatet består av olika lager kolfiberväv som sammanfogas med ett lim, en så kallad matris. Limmet är polyesterbaserat och efter härdning i vakuum fås dess vidhäftningsförmåga. Vidhäftningen mellan kärna och laminat är det som håller ihop konstruktionen och det är av största betydelse för hållfastheten att man uppnår maximal vidhäftning utan luftblåsor eller liknande.

Vid tillverkningen av sandwichkonstruktionen utgår man ifrån kärnans yta varpå ett antal kolfibermattor läggs för önskad laminattjocklek. Konstruktionen kläs sedan in i plast och via vakuumsug injekteras matrisen in i kolfibermattorna och vidhäftes samtidigt mot kärnmaterialet.

Tjockleken på kolfiberlaminatet varierar, beroende på var i fartyget konstruktionen är placerad, mellan cirka 2-8 mm. Kockums har en egen kod för att ange laminatets egenskaper, såsom antal fibermattor, kolfibrernas inbördes orientering med mera. Exempelvis innebär L774/L774 att laminatet på vardera sidan om kärnan är utformat på samma sätt. Det går inte för utomstående att tolka denna kod. För kärnan används en annan typ av beteckning där densiteten och tjockleken kan utläsas. Ett exempel på detta är H100/60, vilket betyder att densiteten är 100 kg/m<sup>3</sup> och tjockleken är 60 mm.



Grövsta konstruktionen finns i fartygets köl. Vid sammanfogningen av fartygets olika delar skarvas kolfiberskikten ihop genom överbryggingar så att skikten ligger omlott för att uppnå optimal homogenitet, skarven får varken bli starkare eller svagare än omkringliggande panel (se figur 2.1).



Figur 2.1 Principskiss över skarvning

Fördelarna med att bygga i detta material är att man sparar mycket vikt jämfört med stålfartyg. Fartyget blir omagnetiskt (för att undgå magnetiska minor), eventuella chockvågor vid detonationer dämpas då materialet är bullerdämpande. Fartyget behåller sin låga radarprofil på grund av att ytorna behåller sin planhet och reflekterar radarvågorna i andra riktningar än till källan. Stålskrov deformeras då spant svetsas fast och därför ökar risken att radarvågorna reflekterar tillbaka till källan.

## 2.4 MATERIALEGENSKAPER

Den största fördelen med sandwichkonstruktionen är att den trots sin låga vikt har lika bra hållfasthetsegenskaper som stål, och i vissa fall bättre. Dessa hållfasthetsegenskaper uppnås då kolfiberlaminaten på vardera sidan om kärnan vidhäftar på hela ytan. För att vidhäftningen ska bli optimal fräser man in spår i ett schackmönster utmed kärnans båda sidor innan man lägger på kolfiberskikten och matrisen. Svagheten i konstruktionen är kärnan. När den utsätts för hög temperatur skrupnar den ihop och då förloras all hållfasthet i konstruktionen eftersom vidhäftningen då försvinner. Enligt tillverkarens uppgift ska kärnan klara 65°C under lång tid och 80°C under kort tid innan den börjar deformeras /N/.

Den färdiga sandwichkonstruktionen har en mycket hård yta. Vid försök att göra mekanisk åverkan genom att med en slägga slå med full kraft mot ytan så lyckas man inte med mer än att rista lite i ytan.

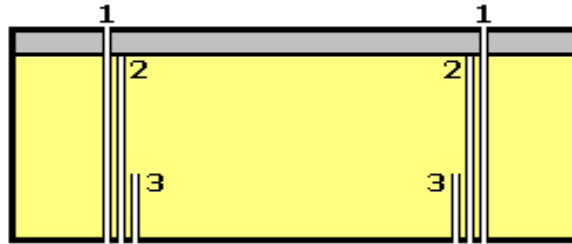
En annan nackdel med konstruktionen är att den är mycket dyr att framställa på grund av att uppbyggnaden och alla ingående komponenter är unika. Detta kommer att medföra dyra reparationskostnader om skada uppkommer på fartyget.

Som tidigare nämnts är den låga vikten en stor fördel. Genom att bygga skrovet i kolfiberkomposit reduceras vikten med ungefär 50 %, jämfört med ett traditionellt skrov av stål. Detta ger bland annat att man kan erhålla samma prestanda med mindre motorer, vilket i sin tur ger att man får bättre driftsekonomi.

De materialegenskaper som har studerats i detta arbete är av brandteknisk natur. De uppgifter som önskades var vilken effekt som utvecklas vid brand, vid vilken temperatur materialet antänder spontant och materialets allmänna beteende vid brand. För att få fram dessa uppgifter användes konkalorimetern i Brandtekniks laboratorium. Resultaten från dessa provningar kan läsas i kapitel 2.5 och laborationsuppställningen med försöksserierna redovisas i bilaga 1.

## 2.5 MATERIALETS UPPFÖRANDE VID BRANDPÅVERKAN

De brandtekniska materialegenskaperna undersöktes genom att, efter ett antal inledande provningar, utsätta fyra helt obehandlade provbitar för en infallande strålning på  $35 \text{ kW/m}^2$  i en konkalorimeter. Provbitarnas dimensioner var  $100 \times 100 \text{ mm}$ , med kärntjocklek  $30 \text{ mm}$ . Två laminattjocklekar testades,  $1,7$  och  $5,6 \text{ mm}$ , vilket gav total tjocklek på provbitarna till  $31,7$  respektive  $35,6 \text{ mm}$ . Sex termoelement monterades på vardera provbiten, två stycken på laminatytan (1), två stycken mellan kärna och laminat (2) och två stycken  $20 \text{ mm}$  ner i kärnan (3), se figur 2.2.



Figur 2.2 Principskiss av termoelementens placering

Resultatet av provningarna gav att sandwichkonstruktionen antänder vid cirka  $530^\circ\text{C}$  oberoende av laminattjocklek. När det brinner avges en effekt på  $200\text{-}220 \text{ kW/m}^2$  för  $1,7 \text{ mm}$  laminattjocklek (se diagram 2.1) respektive  $110\text{-}130 \text{ kW/m}^2$  för  $5,6 \text{ mm}$ . Denna effektutveckling är ungefär lika hög som för träpanel då den brinner /E/. Den mest bidragande delen till sandwichkonstruktionens antändning och effektutveckling bör sannolikt vara matrisen som binder ihop konstruktionen (se bild 2.1). Detta insågs efter provningar där enbart kärna och enbart kolfiberlaminat testades.

Sandwichkonstruktionerna isolerar mycket bra mot värme vilket åskådliggörs vid proverna i konkalorimetern. Även efter relativt lång tid är temperaturdifferensen stor mellan ytan och  $20 \text{ mm}$  ner i kärnan (se diagram 2.2). Då detta endast är en halv sandwichprofil inses lätt att med full kärntjocklek och kolfiberlaminat på vardera sidan skulle temperaturdifferensen vara än större genom konstruktionen. Detta bekräftades vid containerförsöken då utsidan av sandwichplattan vid handkontakt efter 10 minuters brand uppskattades ha omgivningstemperatur. Temperaturen på den brandutsatta ytan var då cirka  $400^\circ\text{C}$ .

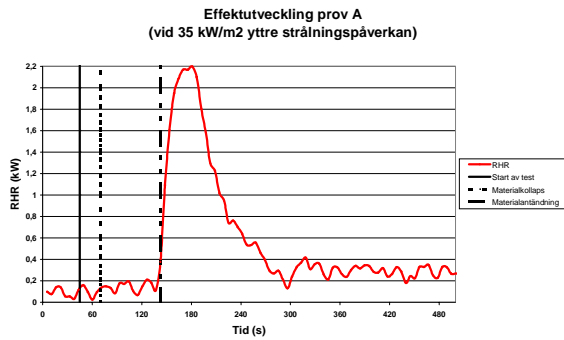


Diagram 2.1 Effektutveckling 1,7 mm laminattjocklek

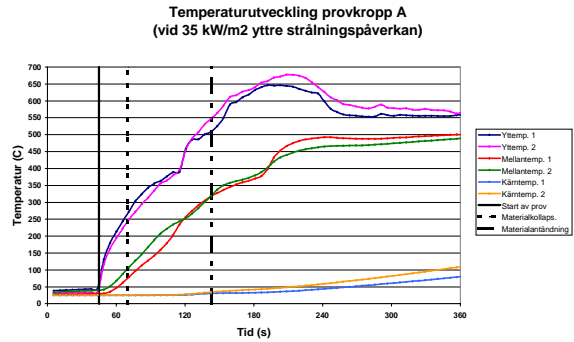


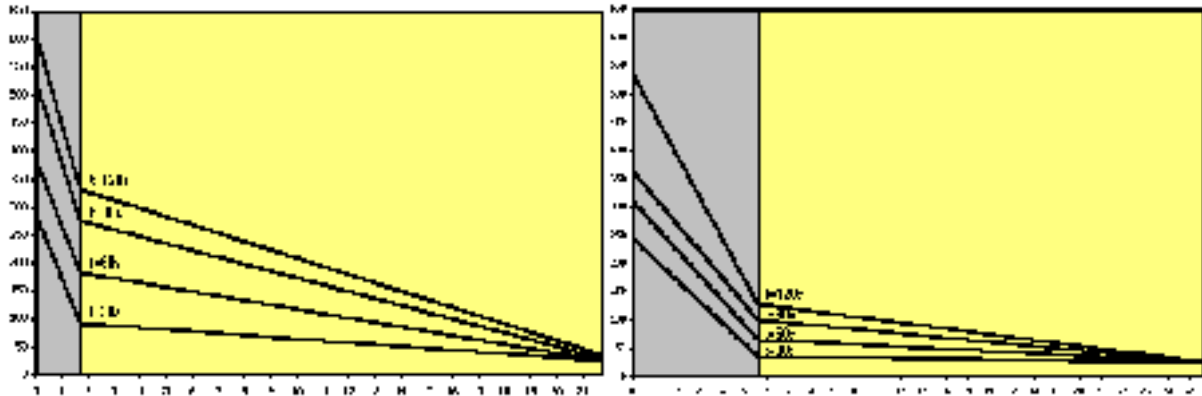
Diagram 2.2 Temperaturutveckling 1,7 mm laminattjocklek

Materialet förlorar sin hållfasthet trots de värmeisolerande egenskaperna efter bara någon minuts brandbelastning. Detta beror på att temperaturen i kontaktytan mellan laminatskikt och kärna då nått 90°C. Ungefär vid denna temperatur börjar kärnan deformeras (se bild 2.1) vilket leder till att vidhäftningen mellan laminatskikt och kärna förloras. Detta leder i sin tur till att bärigheten i utsatta delar tappas.



Bild 2.1 Bortbränd matris och deformerad kärna

För att kunna simulera värmetransporten genom olika konstruktioner kan datorprogrammet HSLAB användas. I indatafilen anges kpc (termiska egenskaper) för de olika materialen i konstruktionen. Då det inte gick att få fram kpc för kärnmaterialet kunde denna simulering inte göras utan man får istället granska resultatet från materialprovningarna för att få en uppfattning om värmeledningen genom konstruktionen. I figur 2.3 visas framtagna illustrationer över temperaturgradienten i ett tvärsnitt av konstruktionen vid olika tider.



Figur 2.3 Linjär approximation av temperaturgradienter. Till vänster 1,7 mm laminattjocklek och till höger 5,6 mm laminattjocklek (temperatur i °C på y-axeln och djup i mm på x-axeln).

För mer information om hur brandtesterna på materialet har gått till och vilken utrustning som har använts, se bilaga 1.

## 2.6 VAL AV KONSTRUKTION FÖR SKÄR- OCH SLÄCKFÖRSÖK

På grund av att ritningarna utgör sekretessbelagda handlingar kunde inte en ritningsgranskning utföras utan istället gjordes en muntlig utvärdering med sakkunniga från marinen och Kockums. Syftet var att välja ut olika, för fartyget representativa, konstruktionstjocklekar. Avsikten var att se om skärsläckaren kunde förmå att penetrera dessa paneler på tider som låg inom en rimlig gräns. Det visade sig att det inte var möjligt att välja ut några få snitt som kunde representera hela fartyget eftersom varje detalj/sektion har laminattjocklek som är optimerad efter placering och funktion. Därför valdes konstruktioner som skulle representera en max-, en min- och en mellantjocklek. Vid släckförsöken användes endast material av mellantjocklek.

Då kärnmaterialet är väldigt poröst har dess tjocklek ingen betydelse, skärsläckaren går snabbt igenom detta oavsett tjockleken. Det som var viktigt att variera var kolfiberlaminatets tjocklek, och de tjocklekar som valdes var följande:

**Max-konstruktion:** kolfiberlaminat 8 mm L774/L774 och kärna H100/60

**Mellan-konstruktion:** kolfiberlaminat 5 mm L813/L813 och kärna H100/60

**Min-konstruktion:** kolfiberlaminat 2 mm L83/L83 med kärna H80/40

## 3 SKÄRSLÄCKAREN

### 3.1 BESKRIVNING

Att skära i material med hjälp av vatten har använts länge och är utbrett i industrin. Med hjälp av att skicka vatten genom ett munstycke med liten area under högt tryck har man ett mycket fint skärinstrument. Snittytan blir ren och jämn och metoden utvecklar inte någon värme. Därför används detta hjälpmedel i så skilda saker som pusseltillverkning och kapning av pipelines.

För att kunna skära snabbare i hårdare material så tillsätter man ett finkornigt skärmedel, en så kallad abrasiv, som följer med vattenstrålen och hjälper till att skära sig igenom. CCS i Kungsbacka ville utveckla denna teknik till räddningstjänsten. Genom att sätta en skärslans på höjdfordonens korgar ville man kunna skära upp ventilationshål i tak utan att behöva gå på taket och därigenom riskera en olycka. Vid testerna visade det sig att verktyget inte bara skar igenom utan samtidigt hade en släckande förmåga.

Skärsläckaren av idag består av handtag (se bild 3.1), gummislang, pump, abrasivtank och drivmotor. Handtaget är specialdesignat för räddningstjänsten och det sitter på ett metallrör, som i ena änden har ett munstycke och i andra änden har en slangkoppling. På handtaget finns två avtryckarknappar, en för vatten och en för abrasiv, som via en radiosändare styr tillförseln från pumpen. Skärsläckarhandtaget är försett med ett vridbart anslag med vars hjälp man kan hålla munstycket stadigt på plats ovanför materialet vid skärningen. Anslaget vrids i önskad hastighet varpå munstycket förflyttas. Hävarmen på anslaget styr längden som kan skäras i en följd och den är, med nuvarande utformningen av handtaget, cirka 40 cm. Efter denna sträcka måste man lyfta och vrida tillbaka anslaget, ett så kallat omtag, för att kunna skära med precision igen. Anslaget är dessutom roterbart runt handtagets axel, vilket gör att man kan skära en sträcka vertikalt, rotera anslaget, och sedan skära horisontellt. Med hjälp av anslaget kan man även skära i en cirkel med ungefär 10 cm diameter.



Bild 3.1 Skärsläckarens handtag

I standardtanken ryms 20 liter abrasiv, vilket räcker till ungefär 18 minuters kontinuerlig skärning. Abrasivet kan i detta användningsområde bestå av järnkiseloxid eller aluminiumoxid. Abrasivkornens storlek är framsorterad i intervallet 0,25-0,8 mm, med medianvärdet 0,6 mm. De två abrasivtypernas partikelform är kantig för bästa skärförmåga. Under samtliga försök användes järnkiseloxid.

Till slangkopplingen på handtaget kopplas en smal gummislang som sitter på en slangrulle. Längden på slangen är 30 m. Pumpen, som är patentregistrerad, drivs av hydraulik och den har ungefär storleken av en portfölj. Den klarar att torrköras, det vill säga att pumpa utan vatten i sig, kontinuerligt under längre (minst 48 timmar) perioder utan att haverera. Vattnet går till pumpen via en behållare där abrasivet finns lagrad. När knappen för abrasiv trycks in, öppnas en ventil och abrasivet injekteras med vattnet. Strömningshastigheten i slangen är 4,8 m/s (se bilaga 5) vilket innebär att det för 30 meter slang tar sex sekunder innan abrasiv når munstycket. Sambandet mellan slanglängd och abrasivfördröjning kan ses i diagram 3.1.

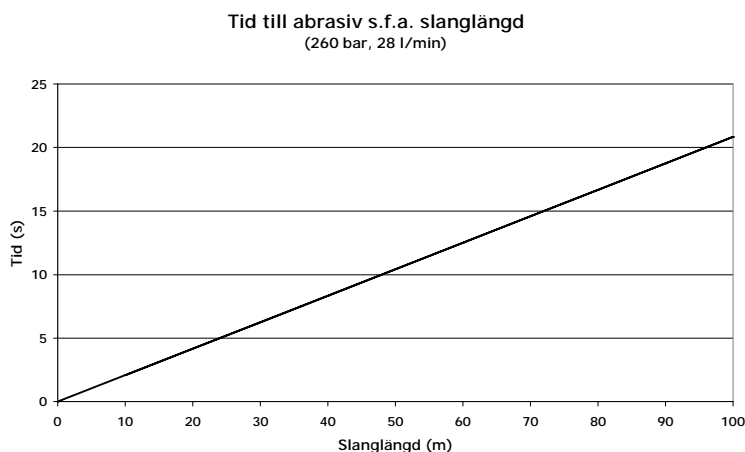


Diagram 3.1 *Abrasivfördröjning vid olika slanglängder.*

Pumpen drivs av en dieselmotor i storleksordning 70 kW, detta innebär att antingen monteras den på en räddningsbil eller så monteras utrustningen på ett släp med egen motor. Pumpen levererar vatten med ett tryck på cirka 260 bar.

Slangen har så små tryckförluster att de kan anses försumbara ( $< 0,1$  bar/m). Det arbetstryck man får vid munstycket beror då på munstyckets skick. Ju mer munstycket slits desto lägre blir arbetstrycket. Munstyckets livslängd beror på vilken typ av abrasiv som används. Aluminiumoxiden har högre hårdhet än munstycket vilket ger betydligt högre slitage på munstycket, jämfört med järnkiseloxiden som har mindre hårdhet än munstycket. För att inte tappa effektiviteten bör man byta munstycke då trycket vid mynningen går under 200 bar. Munstyckets ungefärliga livslängd är 15 minuter med aluminiumoxid och 50 timmar med järnkiseloxid.

Bästa skärverkan uppnås precis vid mynningen av munstycket och man kan skära genom minst 25 cm tjockt material. Vattenstrålen är helt uppbruten efter 5-7 m och är därefter finfördelad vattendimma som fortsätter tills luftmotståndet bromsar ner hastigheten varefter tyngdkraften drar ner dropparna mot marken. Några mätningar av kastlängd eller vattendroppstorlek har inte genomförts men bedömningen är att vattendimman når ungefär 15 m ifrån munstycket vid horisontell påföring. Vattenströmningen genom munstycket som användes vid skär- och släckförsöken var cirka 28 liter/minut.

## 3.2 HANDHAVANDE

Utrustningen är enkel att handha och lätt att lära sig. Efter bara några minuters genomgång kan man utföra sin första skärning. Reglagen på pumpen är numrerade och det finns ett flödesschema som visar vägen genom systemet med siffrorna på respektive plats. Handtaget på skärsläckaren är utformat så att man kan sätta mot axeln ordentligt och på så sätt ha kontroll över skärningen. Det behövs ingen större fysisk styrka för att skära med skärsläckaren utan det räcker med att lägga lite kroppstyngd bakom. Den teoretiska reaktionskraften blir 107 N, vilket motsvarar 11 kg (se bilaga 5). Precis som med allt annat så gäller även här att man bör öva för att uppnå skicklighet. Det gäller att veta med vilken hastighet man kan skära och det får man relativt snabbt en viss känsla för. Inledningsvis när vattnet träffar ytan så studsar det åt sidorna i en vattenkvast. Först när vattenkvasten försvinner har vattnet trängt genom materialet och då för man sakta och med jämn hastighet munstycket vidare med hjälp av anslaget.

## 3.3 ROBUSTHET VID ÖVNINGSVERKSAMHET

För att det över huvud taget skall vara värt att installera skärsläckarenheter på Visby, måste utbildning på utrustningen ske, och för att maximera utnyttjandegraden är regelbunden övning nödvändig. Detta innebär att skärsläckaren måste vara stryktålig för att klara av denna upprepade övningshantering.

Vid övning är det inte nödvändigt att använda utrustningen skarpt, det vill säga det är inte nödvändigt att blanda in abrasiv. Handhavande och utrustningens uppförande vid drift övas med fördel enbart med vatten, som skär genom mjukare material såsom spånskivor eller dylikt fullt tillfredställande. Detta gör att övningskostnaderna blir mycket låga. Genom att öva utan abrasivinblandning sparas munstycken som annars slits då abrasiv används.

Att överväga inför övningsverksamhet:

- Pumpen bör inte ta någon skada vid upprepade torrkörning, för den händelse att vattentillgången avbryts. För att minimera denna risk är det att rekommendera att man inte använder sig av en extern vattentank utan löser vattentillgången via brandpost eller liknande. Den pump som sitter på utrustningen idag klarar torrkörning, även om det givetvis inte är att rekommendera.
- Slangen bör tillverkas av ett material som är tåligt för slitage.
- Den slangrulle som används bör vara av annan modell än dagens som inte tål att slangen trycksätts innan all slang är utrullad. Vid trycksättning expanderar slangen och klämmer sönder rullen. Detta är dock ett litet problem som lätt avhjälpas med exempelvis fjädrande rulle.
- Lansens hölje är i dag tillverkat av plast, vilket man kanske bör överväga att byta till något mera slagttåligt material. Dock är det viktigt att tänka på att detta eventuellt nya material inte får ge något nämnvärt viktillskott utöver dagens material för att även fortsättningsvis kunna hanteras på ett smidigt sätt.

### 3.4 SÄKERHET

Precis som vid handhavande med vapen måste dock säkerhetsrutinerna vara väl inarbetade. Att arbeta med skärsläckaren innebär vissa risker för omgivningen och ett väl tilltaget säkerhetsavstånd är att rekommendera. Det har inte gjorts några omfattande studier på skärsläckarens riskavstånd. I rapporten *Pilotskydd vid brand – utredning och utveckling I/J* ges dock avståndet cirka 7 m utan abrasivinblandning som ofarligt för oskyddad hud.

Vid arbete med skärsläckaren är det främst ögonen som behöver skyddas från abrasivstänk. I övrigt blir man endast blöt och genom att använda någon form av larmställ tillsammans med skyddsglasögon uppnås ett fullgott skydd. Vid skärtester med hjälmvisir framkom att detta är en dålig variant då sikten omgäende blir näst intill obefintlig.

De två avtryckarna, för vattenpåföring respektive abrasivinblandning, sköts av operatören. När avtryckaren för vattenpåföring släpps upphör flödet omedelbart och därför riskeras inte en okontrollerad skärning.

Vid drift med dagens utrustning uppstår en del oljud, främst från drivmotorn, varför det är svårt att kommunicera med operatören. För att underlätta kommunikationen kan operatören utrustas med radio för samband med övningsledare/instruktör.



### 3.5 FÖRÄNDRINGAR INFÖR INSTALLATION PÅ VISBY

För att lämpa sig för installation på Visby (eller någon annan fartygsserie) måste skärsläckaren genomgå en del förändringar. Tillsammans med personal på SkyEK SjösakS har en lista sammanställts i punktform på detaljer som måste förändras från dagens utförande.

- Lansens längd inklusive slangfäste måste kortas till under 1 m, gärna 0.6 – 0.8 m. Detta för att hantering av skärsläckaren i de trånga gångarna ombord skall vara möjlig. Enligt tillverkaren bör det gå att förkorta lansen till den längd som eftersträvas. Det som tappas vid en förkortning av lansen, med dagens utformning, är sträckan man kan skära utan att lyfta och flytta anslaget. Ju kortare lans desto fler omtag vid en given skärsträcka.
- Slangen bör vara i en klar färg, eller självlysande, för att vara så synlig som möjligt i rökfylld miljö.
- Slangrullen bör vara av enklaste slag, det vill säga omagnetisk, utan återupprullning och den bör tåla trycksättning av slangen även då den är upprullad så att man vid insats inte skall behöva dra ut hela slanglängden innan insats kan påbörjas. Anledningen till att rullen bör vara av enklaste slag är att man då minimerar antalet detaljer som kan falla. Återupprullning kan lika väl ske manuellt.
- Radiosändaren i lansen som i dagsläget styr vatten- och abrasivtillförseln måste tas bort och ersättas med en annan lösning. Detta för att radiosändaren riskerar att både slås ut av, och slå ut annan elektronik ombord (EMC-krav).
- Abrasivet bör vara av typen aluminiumoxid, som är det effektivaste skärmedlet, då skärsläckaren används vid insats. Att aluminiumoxid samtidigt är det skärmedel som är elakast mot munstycket är av ringa betydelse, snabb röjning/vattenpåförsel är högsta prioritet.
- Pumpen skall drivas av ett befintligt, slutet hydraulsystem som i alla lägen är i drift och kan driva pumpen.
- Systemet måste vara klart för insats utan startprocedurer. I samma stund som lansen tas ur sitt ställ skall systemet vara aktiverat (jämför bensinpump).
- Filmbildande skumvätska skall kunna injiceras i vattnet utan extra åtgärd, på samma sätt som abrasiv.
- Det bör finnas en lans i varje brandcell på fartyget med möjlighet till viss överlappning mellan brandceller.



## 4 SKÄRFÖRSÖK

### 4.1 UTFÖRANDE

Skärtesterna utfördes hos Cold Cut System AB (CCS) i Kungsbacka med samma skärsläckarutrustning som senare användes vid de fullskaliga containerförsöken i Karlskrona. Skärningarna utfördes i de tre valda konstruktionerna som nämnts i kapitel 2.6. I min- och mellankonstruktionerna skars en provserie om 10 skärningar och i den maximala konstruktionen bestod serien av 6 skärningar. Skärsträckorna drogs vertikalt och med fullt utslag vilket gav sträckorna den ungefärliga längden 40 cm. Skärningen gjordes på tid och varje skärsträcka mättes efteråt för att ge en skärhastighet. I varje konstruktionsstorlek skars dessutom ett utrymningshål, en så kallad manslucka, ut (se bild 4.1). Utskärningen av en manslucka skulle simulera den tid det tar att skära upp ett hål att utrymma genom ombord på fartyget.



Bild 4.1 Skärförsök i sandwichkonstruktion.

De skillnader i skärhastigheter som uppkommer mellan olika operatörer beror troligen på ovana att hantera utrustningen. En ovan operatör har svårt att välja en optimal skärhastighet och tar det därför antingen lite försiktigare för att vara säker på att det blir genomskuret eller är lite ivrig för att det ska gå fort. Detta bör ändra sig efter övning, då en jämförelse mellan två vana operatörer borde ge snarlika skärhastigheter. Därför redovisas även skärhastigheter i de olika materialtjocklekarna utförda av en van operatör Svante Westin (SW), CCS, vars resultat kan ses som nära optimalt. Man kan se att ju tjockare material som ska skäras, desto större inverkan får operatörens skicklighet. Detta ses som fullt naturligt då tunna material går väldigt fort att skära igenom medan tjockare material kräver jämnare skärhastighet för att skära fullt igenom.

## 4.2 RESULTAT AV SKÄRNINGARNA

Ett medelvärde av operatörernas skärhastigheter ger:

### Skärning i min-konstruktion (laminattjocklek ~2 mm):

Medelskärhastighet: 0,52 m/min

Skärhastighet SW: 0,66 m/min

### Skärning i medelgrov konstruktion (laminattjocklek ~5 mm):

Medelskärhastighet: 0,40 m/min

Skärhastighet SW: 0,39 m/min

### Skärning i max-konstruktion (laminattjocklek ~8 mm)

Medelskärhastighet: 0,16 m/min

Skärhastighet SW: 0,30 m/min

För skärningen av manslucka gällde följande storlekar och tider:

**Håltagning (~53×40 cm), max-konstruktion:** ca 10 minuter

**Håltagning (~60×40 cm), medelkonstruktion:** ca 5 minuter

**Håltagning (~60×40 cm), min-konstruktion:** ca 4 minuter

För en noggrannare studie av skärresultaten hänvisas till Bilaga 2

Skärhastigheten i framförallt det grövsta kolfiberlaminatet är beroende av operatörens skicklighet. Från skärförsöksresultaten togs ett samband mellan skärhastigheten och laminattjockleken fram och visas i diagram 4.1.

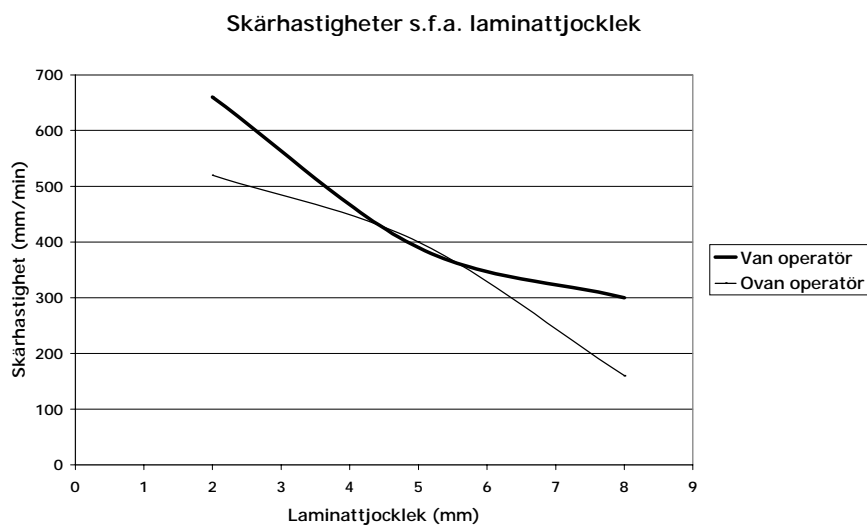


Diagram 4.1 Samband skärhastighet/laminattjocklek.

## 5 SLÄCKFÖRSÖK I CONTAINER, KARLSKRONA

Syftet med storskalaförsöken var att utsätta sandwichmaterialet för strålning från en verklig brand samt att skära igenom och påföra vatten med skärsläckaren. Detta för att bedöma skärsläckarens släckande egenskaper gentemot en realistisk brand ombord på ett fartyg.

### 5.1 BRANDSCENARIO

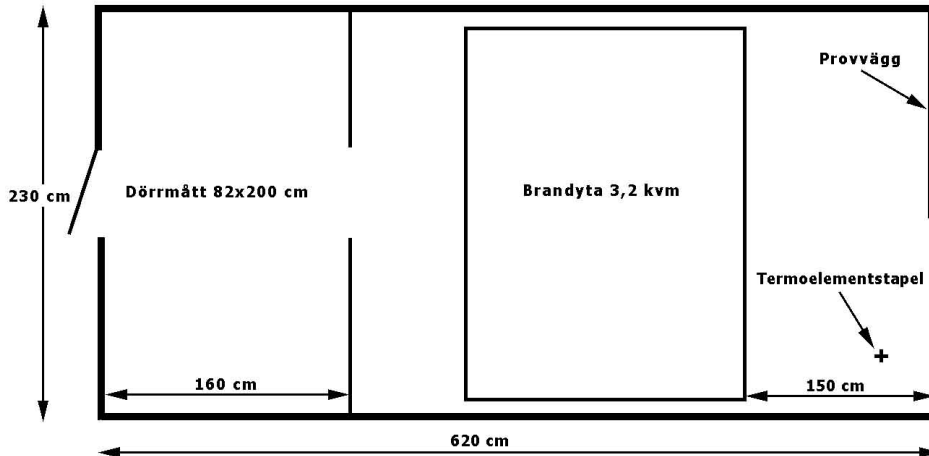
Ett storskaligt släckförsök genomfördes på en dubbelcontainer med måtten 6,2×2,4×5 m (l×b×h) på SkyEK SjösäKS. Avsikten var att försöka åstadkomma ett brandscenario som skulle kunna liknas vid en brand i något utrymme ombord på Visby. I detta fall tänktes brand i ett maskinutrymme med utspild dieselolja. Skadan kan ha orsakats av robotträff som samtidigt blockerat utrymmets dörrar. Branden antas vara kraftig, men på grund av ringa ventilation (endast ingångshål) antas ingen övertändning ske.

### 5.2 SIMULERINGAR

I containerförsöken var önskemålet en kraftig brand utan att låta övertändning ske, med brandgastemperaturer på cirka 400-500°C. För att ta reda på erforderlig pool-area vid försöken användes FAST för att simulera effekt- och temperaturutveckling vid olika pool-areor och öppningsgeometrier. Resultatet av simuleringarna blev att pool-arean valdes till 2 m<sup>2</sup> samt att den bakre dörren skulle öppnas cirka 0,5 m, se bilaga 3. Dessa förhållanden fick givetvis testas på plats då datasimuleringar sällan överensstämmer helt med verkligheten. Detta gäller särskilt för dataprogram som använder en tvåzonsmodell för att beskriva en rumsbrand, vilket FAST gör. Anledningen är att verkligheten inte är så enkel som antas i en tvåzonsmodell.

### 5.3 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING

Containern som användes var 2,4 m bred, 6,2 m lång och 5 m hög. På ena kortsidan fanns två dörrar med måtten 1,2×2,3 m (b×h) och på andra kortsidan fanns en dörr med måtten 0,85×2,05 m. Containerns inre var avgränsad med en vägg. Denna vägg var försedd med en dörr med måtten 0,85×2,05 m, som hela tiden var helt öppen. Inne i containern placerades ett kärl med den area som simulerats fram, 2 m<sup>2</sup>. I hörnet till vänster närmast provväggen inne i containern monterades en stapel med 8 termoelement på olika höjder, från 0,64 m till 2,67 m över containerns golv (se figur 5.1 och 5.3).



Figur 5.1 Översiktlig skiss av containern.

För att testa FAST-simuleringarnas resultat gjordes ett tomt försök med 2 m<sup>2</sup> dieselpool. Med tomt försök menas att ingen provvägg sattes in framför öppningen, containerns normala dörrar stängdes. Detta försök visade att brandarean var för liten, troligtvis mycket beroende på svåra yttre förhållanden med hård vind och regn som kylde containern mer än väntat. Vindriktningen var dessutom sådan att det blåste rakt in i containern genom den bakre dörren med svår turbulens bland flammorna som följde. Som resultat av detta byttes till ett kärl med måtten 1,75x1,85 m. Dessutom tillverkades ett vindskydd som förhindrade vind rakt in i containern (se bild 5.1). Ett nytt tomt försök gjordes med bättre resultat, temperaturerna nådde upp till önskade nivåer och det var betydligt mindre turbulens i containern.



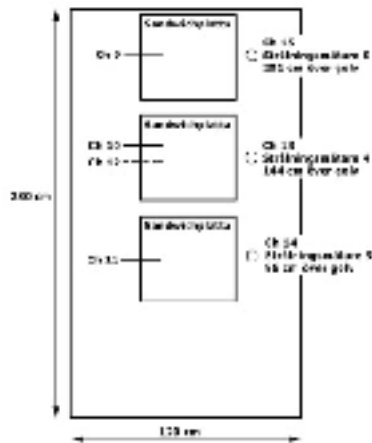
Bild 5.1 Vindskydd



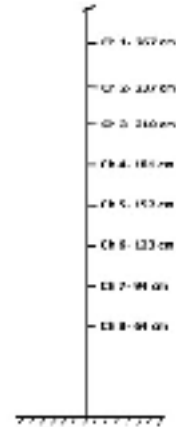
Bild 5.2 Provvägg

För att utsätta provmaterialet för brandpåverkan tillverkades fyra träregelväggar vari 3 sandwichplattor monterades i varje provvägg (se bild 5.2). Övriga ytor täcktes med gipsskivor. Den högra containerdörren öppnades på vid gavel och provväggen ställdes så den täckte denna öppning. Runt provväggen tätades de glipor som uppstod med stenull.

På provväggarna monterades ytterligare termoelement, ett på ytan av vardera sandwichplatta samt ett mellan kolfiberlagret och kärnmaterialet på den mittersta sandwichplattan (se figur 5.2). Bredvid varje sandwichplatta borrades hål i gipset och strålningsmätare modell Gunners monterades.



Figur 5.2 Översiktlig skiss av provvägg



Figur 5.3 Termoelementstapel

Termoelementen och kablarna från strålningsmätarna kopplades in i en mätpod som var placerad utanför containern, och denna var i sin tur kopplad till en dator placerad i Brandtekniks mätbuss. I datorn loggades samtliga testdata digitalt i programmet Implog 2000, samtidigt som förloppet kunde följas visuellt på skärmen. Utanför containern placerades en videokamera som spelade in de två första försöken.

## 5.4 PARAMETRAR

### BRÄNSLE

Bränslet som användes var miljödiesel med förbränningsvärmets  $\Delta H_c \approx 40$  MJ/kg och massavbrinningshastigheten  $\dot{m}'' \approx 0,04$  kg/sm<sup>2</sup>. Förbränningseffektiviteten  $\chi$  antas vara 0,7.

### BRANDSTORLEK

Vid det första tomförsöket med 2 m<sup>2</sup> pool nåddes en maxeffekt på cirka 2,2 MW och vid de resterande försöken med 3,2 m<sup>2</sup> pool blev maxeffekten cirka 3,6 MW. Dessa effekter är framräknade enligt formel:

$$\dot{Q} = A \cdot \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot \chi \quad [\text{W}] \quad \text{Ekvation 1 /C/}$$

### VENTILATION

I containern fanns två hål i taket med vardera arean cirka 0,25 m<sup>2</sup> för frånluftsventilation samt på motsatt kortsida om provväggen en dörr som då den var helt öppen gav en till/frånluftsventilationsarea på ca 1,75 m<sup>2</sup>. De tomma försöken visade att denna dörr skulle

stå helt öppen under samtliga försök, alltså inte halvöppen som simuleringarna indikerat. Förutom dessa öppningar var containern i sig otät med massa små hål.

## FÖRBRINNTID OCH SLÄCKTID

Vid de fyra försöken valdes förbrinntiden till 5 minuter vid två försök och till 10 minuter vid de två andra försöken. Vattenpåföringstiden valdes till 30 respektive 60 sekunder efter att vattenstrålen skurit genom sandwichplattan vid varje förbrinntid.

## 5.5 KOMPLETTERANDE SIMULERING

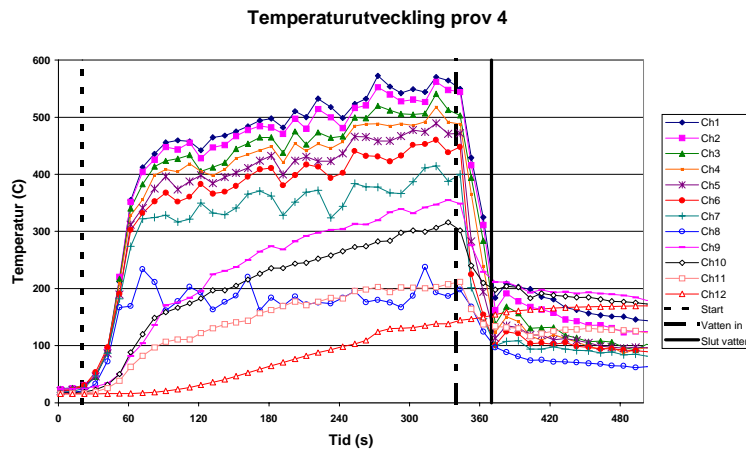
Baserat på resultat av simuleringarna inför containerförsöken valdes 2 m<sup>2</sup> brandarea. Denna brandarea gav för låga temperaturer vid proveldning på plats. Då väderförhållandena vid tillfället var svåra med hård blåst, gjordes kompletterande FAST-simuleringar efter försöken för att utröna om blåsten orsakat underdimensioneringen av brandarean. Resultatet visade att så inte var fallet. Slutligen gjordes en simulering med parametrar hämtade direkt från försöken. Den visade på högre temperaturer än i verkligheten varför slutsatsen dras att FAST i allmänhet överskattar rumsbränder. Tidigare erfarenheter från användning av FAST stöder denna slutsats. En redovisning av FAST-simuleringarna, med diagram från den försöksbeskrivande samt den kompletterande simuleringen, ges i bilaga 3.

## 5.6 RESULTAT

Sandwichplattorna blev vid samtliga försök genomskurna inom några sekunder efter påbörjad skärning, vid ett av försöken penetrerades det yttre kolfiberlagret omgående. Anledningen till detta är oklar då abrasivtillströmningen är fördröjd några sekunder på grund av att det ska transporteras från behållaren genom slangen. En tänkbar förklaring skulle kunna vara en lokal defekt i kolfiberlaminatet, en annan att en liten mängd abrasiv fanns kvar nära munstycket.

Vid samtliga försök släcktes branden helt under den tid vatten påfördes. Vattenpåföringen var 30 sekunder vid två försök och 60 sekunder vid de två andra. Enligt visuell kontroll genom hål i containerväggen tycktes flammorna vara borta inom de 10 första sekunderna vid samtliga försök. Det var något svårt att helt säkert säga att flammorna slogs ut under dessa första 10 sekunder, men temperaturkurvorna från termoelementstapelns visar på samma sak eftersom temperaturen sjunker kraftigt direkt då vattnet tränger in i containern (se diagram 5.1). Detta stöddes också av de utströmmande gaserna, som strax efter vattenpåföring ändrades från svarta brandgaser till vattenånga. Effekten av den fortsatta vattenpåföringen blev då uteslutande att kyla brandgaserna och den omgivande konstruktionen.





Tanken inför försöken var att ha väl tilltagen förbrinntid så att omgivande konstruktion skulle bli ordentligt uppvärmd, varpå vattenpåföring skulle ske en kort stund för att sedan avbrytas. Därefter skulle temperaturerna fortsätta att registreras och en ungefärlig tid till återantändning mätas. Vid dessa försök verkade dock återantändning aldrig vara nära, möjligen med anledning av för lång vattenpåföringstid. 30 respektive 60 sekunder bedömdes emellertid inte vara lång tid för vattenpåföring utan snarare mycket kort. Om en lucka för utrymning/inträngning i brandrum skulle skäras hade detta tagit betydligt längre tid, uppemot 5 minuter (se bilaga 2).

Med anledning av resultatet dras slutsatsen att efter upptagning av en manslucka in till ett mindre brandrum är branden släckt eller, då rummet är komplext utformat med eventuellt dold brand, åtminstone rejält begränsad. Man skall dock ha klart för sig att scenariot som rådde vid släckförsöken var enklast tänkbara. Branden var förvisso kraftig men rummet var litet och inga som helst obstruktioner fanns mellan branden och provväggen.



## 6 SÅRBARHET VID VAPENVERKAN

### 6.1 RESONEMANG KRING SLÄCKSYSTEM PÅ VISBY

Då hela konceptet omkring byggandet av Visby är så nyskapande är naturligtvis sekretessen hög, varför det är svårt att sätta sig in i systemens konstruktion. Strax före tryckning av denna rapport fattades beslut om släcksystem ombord på HMS Visby. Enligt muntliga uppgifter från personal vid PTK Visby kommer maskinrum att utrustas med ett gasformigt (Halotron) inerteringssystem. Dessutom kommer punktskydd, också Halotron, att installeras på vissa platser ombord. Övriga utrymmen kommer att vattensprinklas. Då den slutliga utformningen inte är klar förs nedan endast ett generellt resonemang kring släcksystem och vad som bedöms nödvändigt vid en eventuell installation av skärsläckaren ombord.

Oavsett släcksystem kommer man att ställas inför samma typ av problem, nämligen att säkerställa påföringen av släckmedlet. Vid installation av inerteringssystem rekommenderas att Halotronflaskorna monteras i nära anslutning till utrymmet som ska skyddas. Även om det kan vara lättare att samla alla flaskor i ett eller ett fåtal utrymmen och därifrån dra rörssystem till aktuella utrymmen, bör detta undvikas. Det inses lätt att ju längre rördragningar som krävs, desto större är risken att dessa rör skadas, till exempel vid vapenverkan, med följd att släckmedlet inte når fram till avsedd plats.

Samma typ av problematik gäller för vattenförsörjning. Om vattenförsörjningen är utformad som ett enda slutet system för hela fartyget löper man stor risk att en skada eller brott på ledningen ger sådant tryckfall att man efter brottet inte kan få fram vatten alls. Därför är det att rekommendera att det för vattenförsörjningens skull finns flera av varandra oberoende ledningar så att inte hela fartygets alla brandposter och sprinkleranläggningar slås ut vid skada på ett enda ställe. Denna rekommendation skulle möjligen kunna strida emot målet att hålla vikt och volym nere då extra rördragningar behövs för att skapa flera slutna kretsar som skulle säkerställa vattenförsörjningen. Åtgärden bedöms emellertid som så viktig att viktökningen bör accepteras.

Som nämnts i kapitel 3.5 måste de detaljer som uppräknats där korrigeras på tillfredställande vis för att det överhuvudtaget skall kunna bli aktuellt att installera skärsläckningssystem på fartygsserien. Dessutom bör man även här ta i beaktande problematiken angående dels vatten- och abrasivtillgång, men även högtryckspumparna som levererar vatten samt den hydraulik som driver pumparna. Det vore olyckligt om en skada på ett ställe slår ut samtliga ombordvarande skärsläckare.

Gemensamt för samtliga ovan nämnda system är att rör och ledningar i möjligaste mån bör dras på sådant sätt att de skyddas från vapenverkan och annan yttre åverkan.

## 6.2 SKÄRSLÄCKAREN PÅ VISBY

Det ursprungliga syftet med att utvärdera skärsläckarens eventuella installation ombord på Visby var för dess skärande förmåga. Den nya sandwichkonstruktionen är svår att arbeta i och då materialet är så nytt, finns det inte några verktyg som är speciellt framtagna för att arbeta i det. Mindre arbeten i materialet såsom borrar, slipning och sågning av smådetaljer kan utföras med vanliga konventionella verktyg. Kapning och grövre genomföringar kräver däremot speciella verktyg. En anledning till att man kom att tänka på skärsläckaren som ett röjande verktyg ombord, var att Kockums AB använder sig av vattenskarvning vid tillverkningen. I en stor vattenskarvingsanläggning kapas de stora panelerna som tillverkats ner till hanterbara och önskade storlekar.

Att använda härdade borrar eller diamantbollar för mindre hål, upp till cirka 10 mm, innebär inga som helst svårigheter. Vid kapning i materialet går det att använda en ordinär vinkelslip med sten- eller stålklina, stenklingen är effektivare men slits snabbare. Kapningen måste göras långsamt och rakt då det annars huggar. Detta problem förstärks då man ska kapa genom grövre konstruktioner. Klingen måste då ha stor diameter, vilket gör att kapningen blir vansklig. Vid kapning med vinkelslip frigörs mycket partikeldamm som retar andningen, varför andningsskydd är att förordas. Dessa verktyg kan användas vid traditionella underhållsarbeten. Vid akuta situationer där en snabb röjning krävs, måste dock speciellt framtagna verktyg användas. Det är vid sådana lägen som det är tänkt att skärsläckaren ska användas.

I detta arbete har endast skärsläckarens skärförmåga undersökts, men personal inom marinen har testat ett skärverktyg, hydrauldriven kedjesåg med diamantbelagd kedja. Denna användes för att såga manluckor i olika sektioner, bordläggningssektion 70 mm och inredningsskottsektion 40 mm.

I bordläggningssektionen sågades ett hål, cirka 440×330 mm, ut och denna håltagning tog 13 minuter. Detta ger ungefärlig skärhastighet 118 mm/min. I inredningssektionen var hålet 410×330 mm och detta tog 4 minuter, vilket ger ungefärlig skärhastighet 370 mm/min.

Skärtiderna med kedjesågen kan jämföras med skärsläckaren, som vid håltagningstest i motsvarande bordläggningss- och inredningsssektion (8 mm respektive 2 mm laminattjocklek) hade skärhastigheterna 186 mm/min respektive 500 mm/min. Vid håltagningarna med kedjesågen är det dock oklart vilken laminattjocklek proverna hade, vilket spelar avgörande roll för skärhastigheten. Resultaten antyder dock att skärsläckaren är ett effektivare skärverktyg, men för en direkt jämförelse de två skärverktygen emellan bör laminattjockleken vid kedjesågtesterna kontrolleras.

Om man väljer att installera skärsläckaren ombord får man inte bara ett dugligt röjningsverktyg. Vid en eventuell brand är det ett mycket bra redskap att påbörja insatsen med. Den traditionella släckningstaktiken ombord på fartyg är att stänga till dörrar för att begränsa syretillförseln och sedan kyla den omgivande konstruktionen med vatten. Denna taktik skulle passa skärsläckaren utomordentligt. Genom att först stänga till utrymmet och sedan skära igenom den dörr eller vägg där vattnet har bäst möjlighet att spridas i brandrummet, så får man snabbt en släckning och en minskad rumstemperatur. Efter någon minuts vattenpåföring med skärsläckaren kan man gå in och eftersläcka med konventionella strålrör. På fartyget är det täta och små utrymmen som gör att vattendimman lättare sprids och kan ta upp värme.

## 7 SLUTSATSER

Sandwichkonstruktionen uppvisar många bra egenskaper, både hållfasthetsmässigt och vid brandpåverkan. Om man bara ser till de brandtekniska egenskaperna gäller följande:

- Kolfiberlaminatet är mycket tätt, vilket gör att brandgaser har svårare att spridas från ett stängt utrymme.
- Materialet är svårantändligt och antänder med pilotlåga först vid höga temperaturer, cirka 500°C.
- Konstruktionen har hög värmeisolerande förmåga, då ena sidan av en vägg brinner håller andra sidan rumstemperatur i minst tio minuter.

Konstruktionens nackdel är dock att hållfastheten snabbt förloras då vidhäftningen mellan kärna och brandutsatt laminatskikt försvinner redan efter någon minuts brandpåverkan. Detta innebär att, då samtliga väggar och golv/tak är bärande konstruktioner, det inte kan tillåtas att vissa delar tappar sin bärande förmåga. Ytan måste alltså skyddas så lång tid att branden hinner bekämpas. På Visby kommer alla invändiga ytor ombord att målas med brandskyddsfärg. Viktigt att tänka på är att denna färg underhålls och inte målas över.

Skärsläckaren kan inte betraktas som ett släcksystem, och kan därför inte ersätta befintliga släcksystem, då släcksystem normalt är automatiska och alltså inte kräver manuell insats. Inte heller kan skärsläckaren ersätta konventionella slangar/strålrör, främst med anledning av att skyddande vattenskärm inte kan erhållas. Dessutom kan den inte ge stora vattenflöden och den lilla munstycksarean ökar risken för igensättning och därmed flödesavbrott. Däremot är den ett bra komplement både som skärverktyg och som släckverktyg.

En preliminär jämförelse mellan skärsläckaren och en kedjesåg med diamantbelagd kedja tyder på att skärsläckaren är det snabbare skärverktyget. Dessutom påbörjas släckning redan under skärningens gång vid användning av skärsläckaren, vilket inte är fallet med något annat skärverktyg. Att vattenskärmning i sandwichmaterial med kolfiberlaminat är den lämpligaste metoden styrks av att Kockums vid tillverkningen av de stora panelerna använder denna metod för skärning.

Vid brandbekämpning har skärsläckaren uppenbara fördelar då släckning kan påbörjas utan att öppna dörrar och eventuellt tillföra nytt syre till en underventilerad brand. Genom att påbörja insatsen med skärsläckaren skapas bättre miljö när rökdykare går in, temperaturen sänks 200 – 300 °C. Vattenångan som uppstår bör inte orsaka större obehag på grund av den ringa vattenmängden som påförs. På grund av det höga trycket blir vattnet mycket finfördelat när strålen bryts upp vilket innebär att vattnets släckkapacitet utnyttjas 50 – 500 gånger bättre än med strålrör.

Nackdelen med skärsläckaren som skärverktyg är framförallt risken att någon befinner sig bakom den vägg/dörr som skärs igenom. Vidare kan driftsäkerheten äventyras om abrasiv täpper igen och förhindrar skärning, något som absolut inte får hända vid eventuell insats. Den kanske största nackdelen för skärsläckaren är de många förändringar som måste göras på dagens utrustning, för att kunna appliceras på fartyg.

Vår åsikt är dock att med genomförda förändringar skulle skärsläckaren vara ett ypperligt röjverktyg och kompletterande släckredskap ombord.



---

## REFERENSER

- /A/ NFPA, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, NFPA, ISBN 0-87765-354-2, (Quincy, MA, 1995)
- /B/ B. Karlsson & J.G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, ISBN 0-8493-1300-7, (Boca Raton, FL, 1999)
- /C/ D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley & Sons Ltd, ISBN 0-471-90613-1, (Chichester, GB, 1999)
- /D/ N.H. Afgan & J.M. Beers, *Heat Transfer In Flames*, Scripta Book Company, ISBN 0-470-00931-4, (Washington, D.C., MD, 1974)
- /E/ B. Karlsson, *Modeling Fire Growth on Combustible Linig Materials in Enclosures*, Brandteknik LTH, Report 1009, (Lund, 1992)
- /F/ L-G. Bengtsson, *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*, Brandteknik LTH, ISRN LUTVDG/TVBB—1019—SE, (Lund, 1999)
- /G/ G. Holmstedt, *Kompendium i släckmedel och släckverkan*, Brandteknik LTH, (Lund 1999)
- /H/ J.L. Meriam & L.G. Kraige, *Engineering Mechanics – Dynamics*, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-59273-0, (USA, 1993)
- /I/ Medtherm Corporation, *Certificate of Calibration*, Medtherm Corporation, (Huntsville, AL, 1999)
- /J/ A. Fredäng & J. Hermansson, *Pilotskydd vid brand – utredning och utveckling*, Brandteknik LTH, ISRN LUTVDG/TVBB—5047—SE, (Lund, 1999)
- /K/ T. Olausson, *Släckmedel och släcksystem, alternativ för nutida och framtida stridsfartyg*, Brandteknik LTH, ISRN LUTVDG/TVBB—5057—SE, (Lund 2000)
- /L/ Kockums, Försvarsmakten & FMV, *Korvett typ Visby*, Informationsbroschyr, (2000)
- /M/ Kockumsnytt 2/2000
- /N/ Divinycell, *Technical Specification H Grade*, Materialdatabroschyr, (2000)





# BILAGA 1 MATERIALPROVNINGAR I KONKALORIMETER

## KALIBRERING AV STRÅLNING

Konkalorimetern kalibrerades så att rätt strålningsnivå erhöles i en given punkt, 77 mm under konkanten och i centrum av densamma. Detta gjordes med hjälp av en oanvänd strålningsmätare av märket Medtherm (Mod.nr. 64-10-18, Serienr. 108 681) som placerades i den givna punkten, samt Medtherms kalibreringskurva /I/. Allt utom mät huvudet på strålningsmätaren isolerades noggrant. Till mätaren kopplades en voltmeter för spänningsavläsning vid given temperatur. Konkalorimetern värmdes upp till 450°C varpå voltmeteren lästes av. Detta upprepades i steg om 50°C intervall till 1000°C. Spänningarna för respektive temperatur omvandlades med hjälp av Medtherms bifogade kalibreringsnyckel till strålningseffekt (kW/m<sup>2</sup>). Detta plottades sedan till en kalibreringskurva. Utrustningen visas i bild B.1.1.

## KALIBRERING AV RATE OF HEAT RELEASE (RHR)

Vid kalibreringen av RHR användes kemiskt ren etanol. Ett kärl med låg kant och arean  $4,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  fylldes, placerades på en våg under konen och antändes. Avbrinningshastigheten uppmättes till 0,077 g/s och den avgivna medeffekten registrerades till cirka 2,3 kW. Avbrinningshastigheten multiplicerades med  $\Delta H_{c, \text{etanol}}$  (26,78 kJ/g) och gav ett teoretiskt värde på effektutvecklingen till 2,06 kW. Skillnaden mellan dessa värden är drygt 10% och anses acceptabelt. Dock är effekter i denna storleksordning i underkant av utrustningens känslighetsområde varför siffrornas noggrannhet bör användas med försiktighet. Förbränningseffektiviteten antogs vara 1,0 för ren alkohol.

## PROVKROPPSMONTERING

Provbitar med storlek 100×100×31,7 respektive 35,6 mm (L×B×H) sågades till ur ett större stycke. Detta innebär att kärnans tjocklek halverades till 30 mm och att det inte fanns kolfiberlaminat på motstående sida. I dessa prover borrarades sammanlagt 6 stycken hål för placering av termoelement. Placeringen av hålen gjordes så att temperaturmätningar kunde ske:

- På kolfiberytan
- Mellan kolfiberlaminatet och kärnmaterialet
- 20 mm ner i kärnmaterialet

Provbitarna hade 5,6 mm respektive 1,7 mm tjockt kolfiberlaminat och samma densitet på kärnmaterialet, 195 kg/m<sup>3</sup>.

Då provstyckshållaren hade dimensionen 20×20 cm lades ett stycke kompakt mineralull in och ett hål togs upp för placering av provbitarna. Över detta lades en stålplatta med ett något mindre hål för att täcka över hela provbitens kanter (se bild B.1.2). Detta gjordes för att förhindra direkt värmepåverkan på provbitens kanter där kärnmaterialet låg bart. Termoelementen placerades i de borrarade hålen och förankrades.



Bild B.1.1 Konkalorimetern



Bild B.1.2 Färdigmonterat prov

## FÖRSÖK

Totalt gjordes försök på nio provstycken varav de fem första var av allmänorienterande karaktär. Detta innebar att provkropparnas utformning, yttre strålningspåverkan samt användande av tändkälla varierades för att observera materialens beteende. Resultaten av de fem första försöken redovisas ej.

Rökutveckling och senare också flammor noterades från stälkanternas undersida. Detta misstänktes bero på att kanterna inte isolerats tillräckligt och att kärnmaterialet deltog mycket tidigare i pyrolysen än önskvärt. För att motverka detta i möjligaste mån sågades 15 mm av kärnmaterialet bort runtom och tomrummet ersattes med först ett lager termotejp och sedan mineralull. På detta sätt utformades testseriens kvarvarande prover (se bild B.1.3 och B.1.4).



Bild B.1.3 Baksida av prov



Bild B.1.4 Baksida av prov

En annan variabel som visade sig vara viktig var den yttre strålningspåverkan från konkalorimetern. Inledningsvis sattes den yttre strålningen till  $50 \text{ kW/m}^2$ . Detta gav ett snabbt antändningsförlopp med en hög topp på energikutvecklingen. Vid prov med endast kärnmateriale sänktes strålningen till  $25 \text{ kW/m}^2$ . Förloppet blev då snarare det motsatta och materialet pyrolyserade så lite att det inte gick att antända ens med pilotlåga. Därför valdes ett mellanläge vid resterande försök med en strålningsnivå på  $35 \text{ kW/m}^2$ . En pilotlåga användes vid alla kvarvarande försök då det vid en brand kan förutsättas komma sticklågor som hjälper till att antända materialet. Pilotlågan sköttes manuellt och den tändes var tionde

sekund under försöken. De försök som utfördes på detta sätt bestod av två stycken provkroppar med 5,6 mm kolfiberlaminattjocklek och två stycken med 1,7 mm kolfiberlaminattjocklek.

## RESULTAT

I båda testserierna med vardera 1,7 och 5,6 mm laminattjocklek var överensstämmelsen mellan de båda inbördes proverna mycket god. Detta tolkades som att provningarna utfördes identiskt.

Värmetransporten skedde relativt snabbt genom kolfiberlaminatet medan kärnmaterial som väntat isolerade bra. I tabell B.1.1 nedan redovisas de viktigaste resultaten. Observera att siffrorna är ungefärliga.

	Provkropp A	Provkropp B	Provkropp C	Provkropp D
Tid till antändning (s)	100	90	140	150
RHR (kW/m <sup>2</sup> )	220	200	130	110
Tid till kollaps av konstruktionen (s)	25-35	35-45	65-75	80-90

Tabell B.1.1 *Resultat*

## FÖRKLARINGAR

Provkropp A och B: Kolfiberlaminattjocklek 1,7 mm

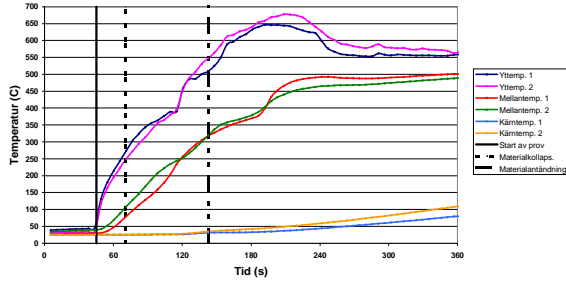
Provkropp C och D: Kolfiberlaminattjocklek 5,6 mm

RHR: Värdet är omräknat till kW/m<sup>2</sup> genom att omräkna provkroppens maximala effekt till motsvarande värde för 1 m<sup>2</sup>.

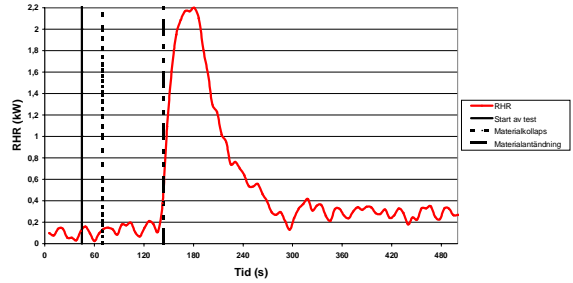
Tid till kollaps av konstruktionen: Baserat på tillverkarens uppgift att kärnmaterial garanteras full hållfasthet upp till 80°C /N/. Över denna temperatur sker volymförändringar och då försvinner hållfastheten i konstruktionen på grund av att vidhäftningen mellan kärnmaterial och laminat upphör.

# DIAGRAMRESULTAT FÖR PROV A, B, C OCH D

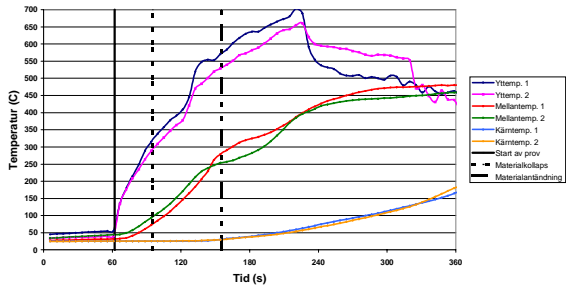
Temperaturutveckling provkropp A  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



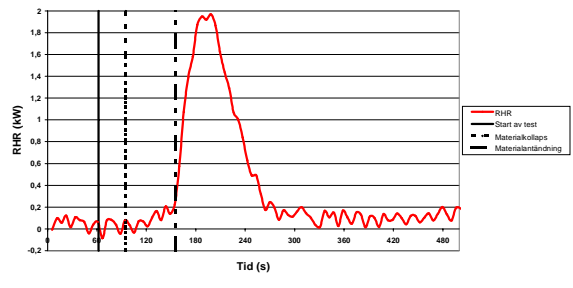
Effektutveckling prov A  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



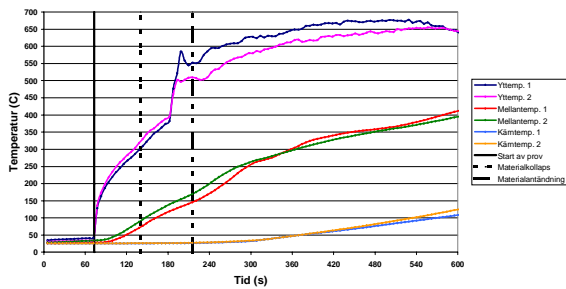
Temperaturutveckling prov B  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



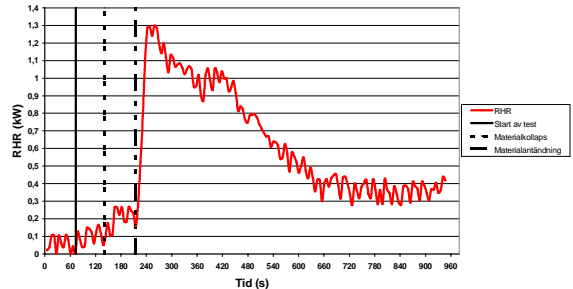
Effektutveckling prov B  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



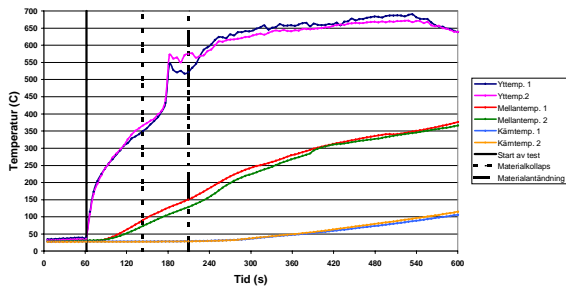
Temperaturutveckling prov C  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



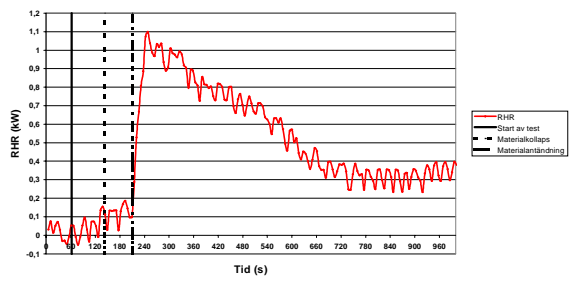
Effektutveckling prov C  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



Temperaturutveckling prov D  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



Effektutveckling prov D  
(vid 35 kW/m<sup>2</sup> yttre strålningspåverkan)



## SLUTSATSER

I obehandlat skick förlorar materialet vid brandpåverkan mycket snabbt sin hållfasthet. Limmet i konstruktionen gör att sandwichpaneler initialt ger ungefär lika hög effektutveckling som vanlig träpanel /E/.

Laminattjockleken har betydelse för effektutvecklingen, både gällande den maximala effekten och varaktigheten. Tunnare laminat ger högre maxeffekt under kortare tid medan tjockare laminat ger något lägre maxeffekt under längre tid. Troligen beror detta på att pyrolysen av limmet passerar snabbare genom kolfibermattorna ju tunnare laminaten är, det vill säga ju färre kolfibermattor som finns. I gengäld brinner tjockare paneler längre.

Försöksresultaten kan inte direkt överföras på det verkliga fallet då det inte någonstans på fartyget kommer att finnas obehandlade ytor. Alla ytor kommer, enligt uppgift från Kockums, att vara brandskyddsbehandlade. De brandskyddade ytorna kommer dessutom målas på de flesta ställen. Paneler med sådan behandling kommer att ge helt andra resultat än de obehandlade provbitar som testades.

Vid försöken noterades också att framförallt kärnmaterialet avger, både förbrända och oförbrända, gaser som troligen är extremt toxiska.



## BILAGA 2 SKÄRRESULTAT KUNGSBACKA

Nedan redovisas i tabeller samtliga skärförsök som utfördes. I tabellerna redovisas operatör, vilken sträcka som skars, tiden det tog att skära denna sträcka samt en framräknad skärhastighet. Operatörerna som utförde testerna var Henrik Winkler (HW), Tomas Carlsén (TC) och Svante Westin, CCS AB (SW). Vid skärförsöken användes utrustning som gav 28 l/min vid 260 bars arbetstryck.

### Skärning i min-konstruktion (laminattjocklek ~2 mm):

Kärnmaterial H80/40 Laminat L83/L83

Operatör	Skärsträcka (cm)	Skärtid (s)	Skärhastighet (m/min)
HW	41	58	0,42
HW	32	60	0,32
HW	40	54	0,44
HW	39	64	0,37
HW	35	65	0,32
TC	43	40	0,65
TC	43	38	0,68
TC	42	42	0,60
TC	43	36	0,72
TC	39	36	0,65

Medelskärhastighet HW: 0,38 m/min

Medelskärhastighet TC: 0,66 m/min

Medelskärhastighet: 0,52 m/min

### Skärning i medelgrov konstruktion (laminattjocklek ~5 mm):

Kärnmaterial H100/60 Laminat L813/L813

Operatör	Skärsträcka (cm)	Skärtid (s)	Skärhastighet (m/min)
HW	37	66	0,34
HW	40	63	0,38
HW	19	34	0,34
HW	25	41	0,36
HW	29	53	0,33
TC	35	58	0,36
TC	35	44	0,48
TC	38	45	0,51
TC	34	49	0,42
TC	30	38	0,47

Medelskärhastighet HW: 0,35 m/min

Medelskärhastighet TC: 0,45 m/min

Medelskärhastighet: 0,40 m/min

**Skärning i max-konstruktion (laminattjocklek ~8 mm)**

Kärnmaterial H100/60 Laminat L774/L774

Operatör	Skärsträcka (cm)	Skärtid (s)	Skärhastighet (m/min)
HW	26	106	0,15
HW	27	116	0,14
HW	20	86	0,14
TC	23	72	0,19
TC	27	80	0,20
TC	26	113	0,14

Medelskärhastighet HW: 0,14 m/min

Medelskärhastighet TC: 0,18 m/min

Medelskärhastighet: 0,16 m/min

För att få jämförande skärhastigheter från en van användare av skärsläckaren utförde Svante Westin, CCS, en skärning på tid i varje laminattjocklek. Vid detta test användes dock inte riktigt samma utrustning som vid de övriga. En ny pump gav här ett arbetstryck på 285 bar, och ett flöde på cirka 48 l/min. Denna skillnad i utrustning bör emellertid inte ha medfört avgörande skillnader i skärhastigheter. Svante Westins skärhastigheter var följande:

Laminattjocklek ~2 mm: 0,66 m/min

Laminattjocklek ~5 mm: 0,39 m/min

Laminattjocklek ~8 mm: 0,30 m/min

Skärhastigheterna från SW styrker påståendet att skillnader mellan en van och en ovan operatör märks tydligast vid grova laminattjocklekar.

Nedanstående skärningar är utförda för att simulera håltagning i fartygets konstruktion med avsikt att evakuera personal från blockerade utrymmen. Med anledning av begränsad mängd material att skära i gjordes endast en håltagning per sandwichkonstruktion.

**Håltagning (~53x40 cm), max-konstruktion:** ca 10 minuter, operatör TC

Kommentar: Ej helt genomskuret, totalt ca 15 cm fästpunkter kvar. Tveksamt om det är möjligt att forcera med våld.

**Håltagning (~60x40 cm), medelkonstruktion:** ca 5 minuter, operatör HW

Kommentar: Helt genomskuret.

**Håltagning (~60x40 cm), min-konstruktion:** ca 4 minuter, operatör HW

Kommentar: Helt genomskuret.



## BILAGA 3 FAST-SIMULERING

För att få en indikation på hur det storskaliga brandförsöket i Karlskrona skulle genomföras simulerades brandförloppet i FAST. Ingångsdata var bränslet (miljödiesel) och containerns geometrier i vilken försöken skulle utföras. Containern var en dubbelcontainer, vilket innebär att den bestod av två containrar ovanpå varandra sammanfogat till en. Containerns inre bestod av två rum med en mellanliggande öppning med måtten 0,82×2,0 m. Brandrummet hade måtten 4,6×2,4 m och det andra rummet hade måtten 1,6×2,4 m. Containern hade takluckor med en sammanlagd area av 0,5 m<sup>2</sup>. På ena kortsidan, angränsande till brandrummet, fanns två dörrar med de enskilda måtten 1,2×2,3 m. På andra kortsidan fanns en dörr med måtten 0,82×2,0 m, placerad i mitten av kortsidan. Hela containerns volym var 2,4×6,2×5 m<sup>3</sup>.

Syftet med simuleringarna var att få ett beslutsunderlag angående förbrinntid, brandens storlek och placering samt storlek på tillufts- och frånluftsöppningarna vid storskaleförsöken i Karlskrona.

För att försöket skulle fungera som tänkt, fick inte temperaturen bli för hög (ingen övertändning) då provväggen misstänktes kunna haverera innan insatsen påbörjats. Branden fick inte vara så stor att den kvävdes, den fick heller inte vara så liten att temperaturen blev för låg.

Inledningsvis gjordes 7 simuleringar där en tänkt tilluftsöppning i provväggen varierades med avseende på storlek. Den bakre dörren hölls då helt stängd. Även brandarean varierades. Efter konsultation med handledare valdes dock att förlägga tilluftsöppningen i bakre delen av containern och då utnyttja den existerande dörren där. Detta beroende på riskerna med att ha en öppning till brandrummet där skärningen skulle ske. Dessa simuleringar redovisas inte närmare.

Vid simuleringar med olika placeringar av branden framkom det att brandens placering inte inverkar alls på resultatet. Fortsättningsvis valdes att placera branden mitt i rummet. Resultaten av dessa simuleringar redovisas därför inte heller.

För att inte branden skulle självdo fick inte rökgaslagret sjunka längre ned än att drygt halva flamhöjden slog upp i rökgaslagret. Flamhöjden ges av formel:

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \quad [\text{m}] \quad \text{Ekvation 2 /B/}$$

där  $\dot{Q}$  är brandeffekten i kW och  $D$  är pooldiametern i m.

Flamhöjden blir enligt beräkningar cirka 3,5 m för en poolbrand med arean 2 m<sup>2</sup>. Detta innebär att rökgaslagret helst inte skulle sjunka under 1,5 m över golvnivå, och styrdes genom att variera tilluftsöppningen. Samtidigt önskades en temperaturnivå på cirka 500°C och detta styrdes genom att variera brandarean.

## VARIATION AV BAKRE TILLUFTSÖPPNING OCH BRANDAREA

### SIMULERING 11

Poolens area sattes till 1 m<sup>2</sup> och tilluftsöppningen var 0,5 m bred. Höjden på tilluftsöppningen var konstant 2,05 m i simuleringarna. Temperaturen blev cirka 330°C och rökgaslagrets höjd gick ner till 1,5 m över golvet. Temperaturen blev inte tillräckligt hög, brandarean ökades.

### SIMULERING 12

Arean sattes till 1,5 m<sup>2</sup> och tilluftsöppningen var 0,5 m bred. Temperaturen gick efter 4 minuter upp till cirka 430°C och rökgaslagrets höjd nådde ner till 0,7 m över golvet. Då rökgaslagret gick ned för lågt och temperaturen var något lägre än önskat ökades brandarean och tilluftsöppningen.

### SIMULERING 13

Arean sattes till 2 m<sup>2</sup> och tilluftsöppningen var helt öppen. Temperaturen blev 450°C efter cirka 5 minuter. Rökgaslagrets höjd nådde cirka 0,75 m över golvet. Temperaturutvecklingen bedömdes som lämplig, rökgaslagrets höjd var däremot fortfarande för låg.

## SLUTSATSER

Efter diverse simuleringar med variation av tilluftsöppningar framkom att bredden inte inverkar på rökgaslagrets höjd efter en viss gräns. För att temperaturen skulle bli tillräcklig ( $\sim 500^{\circ}\text{C}$ ) inne i brandrummet krävdes minst  $2\text{ m}^2$  pool-area inledningsvis i försöken. Enligt FAST skulle då rökgaslagret nå strax under 1 m hur stora tilluftsöppningar som än valdes (inom realistiska gränser). Därför inleddes försöken med en pool-area på cirka  $2\text{ m}^2$ , placerad i centrum av rummet. Tilluftsöppningen blev den bakre dörren i containern som öppnades helt.

Nedan visas rökgaslagrets höjd över golvet (diagram B.3.1) och temperaturutvecklingen (diagram B.3.2) från den simulering som utgjorde beslutsunderlaget till utformningen av släckförsöken.

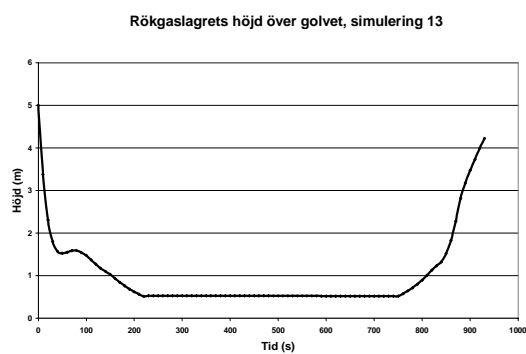


Diagram B.3.1 Rökgaslagrets höjd

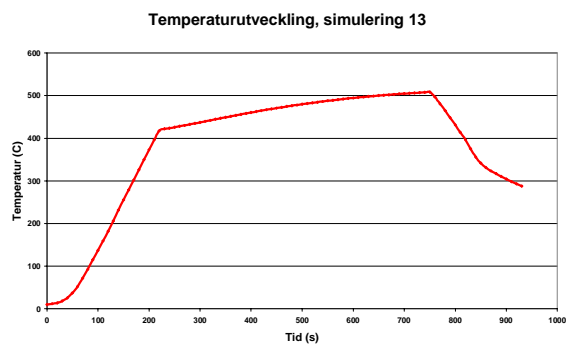


Diagram B.3.2 Temperaturutveckling

## KOMPLETTERANDE SIMULERING

Efter containerförsöken utfördes en simulering med den brandarea som valdes och de väderleksförhållanden som rådde vid försöken. Temperaturutvecklingen och rökgaslagrets höjd över golvet från den simuleringen redovisas nedan i diagram B.3.3 och B.3.4.

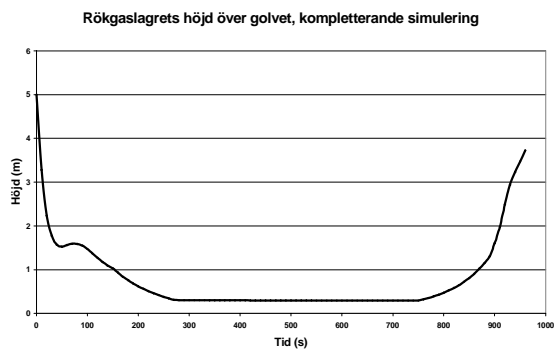
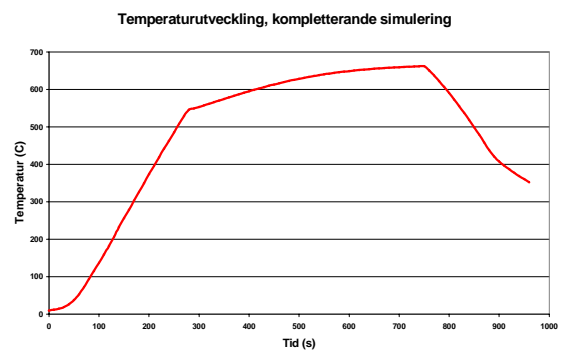


Diagram B.3.3 Rökgaslagrets höjd



B.3.4 Temperaturutveckling



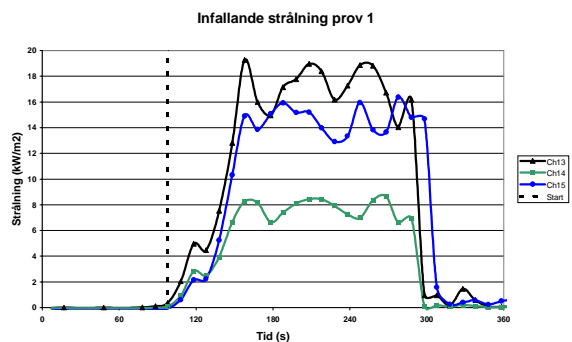
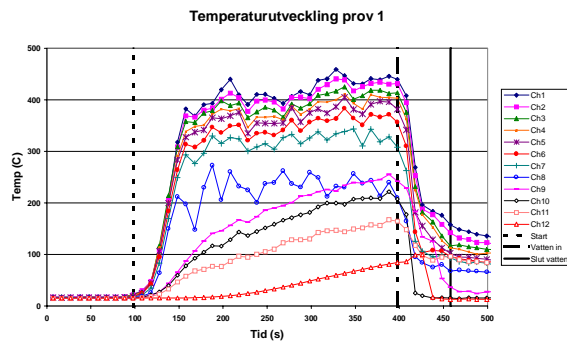
## BILAGA 4 CONTAINERFÖRSÖK

Totalt gjordes sex försök. De två första var proveldningar för kontroll av att temperatur, brandarea och ventilation var tillräcklig. Resterande fyra var släckförsök med provväggar monterade. Dessa försök hade 3,2 m<sup>2</sup> brandarea med miljödiesel som bränsle, 0,85x2,05 m till/frånluftsöppning på motstående kortsida samt 0,5 m<sup>2</sup> frånluftsöppning i taket.

Nedan redovisas resultat och kommentarer från de fyra släckförsöken.

### FÖRSÖK 1

5 minuter förbrinntid och 1 minut vattenpåföring.

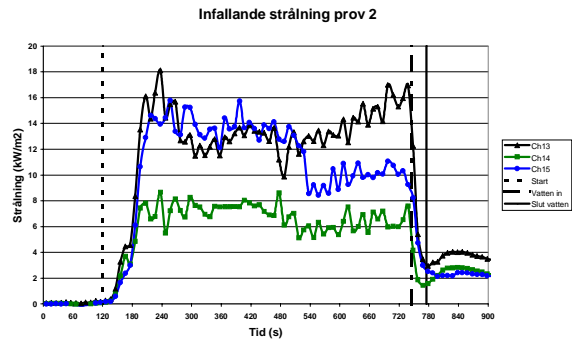
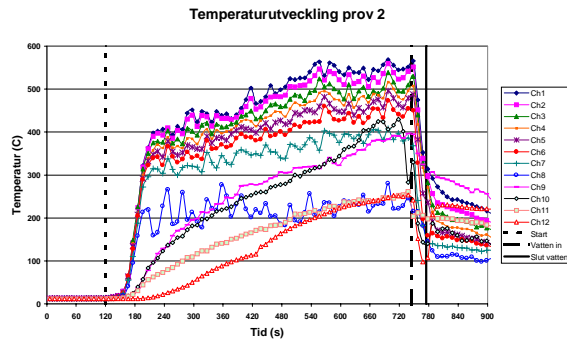


### KOMMENTAR:

Strålningsmätarna drogs ur provväggen innan skärningen påbörjades. Detta gjordes på grund av att mätarna inte var skyddade mot den väta som uppstår vid arbete med skärsläckaren. Därav den tidigare nergången av infallande strålning. Detta åtgärdades i resterande försök. Vid start av skärning var den högsta temperaturen 440°C och när vattenpåföringen avslutades var den 160°C. Sandwichplattan i mitten hade en högsta yttemperatur på 220°C, temperaturen mellan laminatskiktet och kärnmaterialet var då 85°C. Maximal infallande strålning mot plattan i mitten var 19 kW/m<sup>2</sup>. På grund av tröghet i materialet fortsätter temperaturen i kärnan att stiga efter släckning och detta noterades vid samtliga försök.

## FÖRSÖK 2

10 minuter förbrinntid och 30 sekunder vattenpåföring.

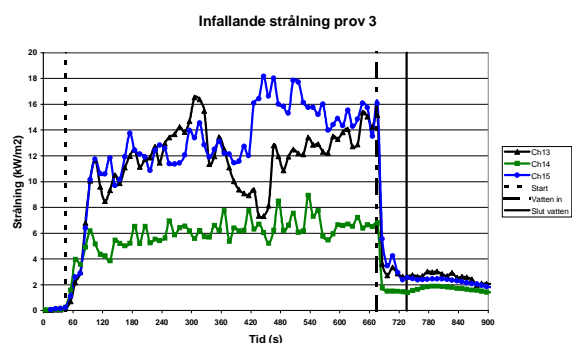
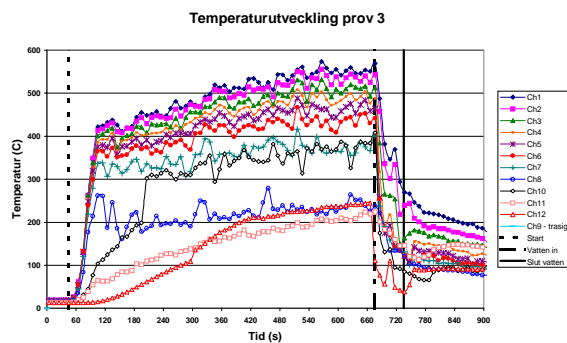


### KOMMENTAR:

Vid start av skärning var den högsta temperaturen 565°C och när vattenpåföringen avslutades var den 325°C. Den infallande strålningen hade då värdena 17 kW/m<sup>2</sup> respektive 3 kW/m<sup>2</sup>. Sandwichplattan i mitten hade en högsta yttemperatur 430°C, temperaturen mellan laminatskiktet och kärnmaterialet var då 250°C. Maximal infallande strålning mot plattan i mitten var 18 kW/m<sup>2</sup>.

## FÖRSÖK 3

10 minuter förbrinntid och 1 minut vattenpåföring

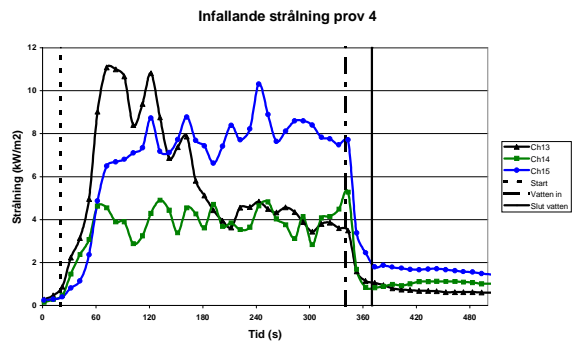
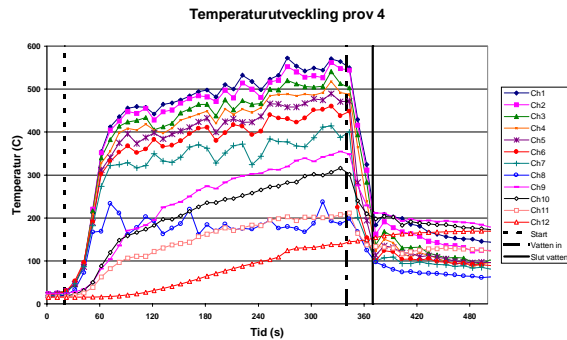


### KOMMENTAR:

Vid start av skärning var den högsta temperaturen 570°C och när vattenpåföringen avslutades var den 270°C. Den infallande strålningen hade då värdena 16 kW/m<sup>2</sup> respektive 3 kW/m<sup>2</sup>. Sandwichplattan i mitten hade en högsta yttemperatur 410°C, temperaturen mellan laminatskiktet och kärnmaterialet var då 225°C. Maximal infallande strålning mot plattan i mitten var 17 kW/m<sup>2</sup>.

## FÖRSÖK 4

5 minuter förbrinntid och 30 sekunder vattenpåföring



### KOMMENTAR:

Strålningen från samtliga mätare har vid detta försök reducerats med ungefär samma faktor, cirka 1/3. Detta kan möjligen bero på att sotflagor delvis täppt igen inloppet till strålningsmätarna. Vid start av skärning var den högsta temperaturen 550°C och när vattenpåföringen avslutades var den 210°C. Den infallande strålningen hade då värdena 8 kW/m<sup>2</sup> respektive 2 kW/m<sup>2</sup>. Sandwichplattan i mitten hade en högsta yttemperatur 320°C, temperaturen mellan laminatskiktet och kärnmaterialet var då 140°C. Maximal infallande strålning mot plattan i mitten var 11 kW/m<sup>2</sup>.





## BILAGA 5 BERÄKNINGAR

### STRÖMNINGSHASTIGHET I SLANGEN

En tillämpning av Bernoullis ekvation ger strömningshastigheten ( $v_m$ ) efter munstycket som

$$v_m = \sqrt{\frac{2 \cdot P_r}{\rho_{r,m}} + v_r^2} \quad [\text{m/s}] \quad \text{Ekvation 3 /G/}$$

där  $v_r$  är hastigheten i slang,  $P_r$  är arbetstrycket och  $\rho_{r,m}$  är den strömmande fluidens densitet, i detta fallet vatten. Då munstycksarean ( $A_m$ )  $\ll$  slangarean ( $A_r$ ) kan  $v_r$  försummas /G/.

Med följande indata:

$$P_r \approx 26 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\rho_{r,m} \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{blir } v_m = \sqrt{\frac{2 \cdot 26 \cdot 10^6}{1000}} \approx 230 \text{ m/s}$$

Strömningshastigheten ( $v_r$ ) kan nu lösas ut med hjälp av en formel för stationärt massflöde:

$$\rho_r \cdot A_r \cdot v_r = \rho_m \cdot A_m \cdot v_m \quad \text{Ekvation 4 /H/}$$

Med  $\rho_r = \rho_m$  och följande indata:

$$A_m \approx 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_r \approx 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{blir } v_r = \frac{2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 230}{1,2 \cdot 10^{-4}} \approx 5 \text{ m/s}$$

Med 100 m slang innebär detta att det tar 20 s innan abrasiv når munstycket. Denna beräkning stämmer väl överens med tester genomförda av CCS, som mätt fram tiden 22 s för 100 m slang.

## REAKTIONSKRAFTEN FRÅN MUNSTYCKET

Den bakåtriktade kraft ( $F$ ) som flödet ger upphov till ges enligt Newtons andra lag:

$$F = m \cdot a = \dot{Q} \cdot \rho \cdot v_m \quad [\text{N}] \quad \text{Ekvation 5 /G/}$$

där  $\dot{Q}$  är volymflödet genom munstycket. Med följande indata:

$$\dot{Q} = 28 \text{ l/min} \approx 47 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v_m \approx 230 \text{ m/s}$$

blir  $F = 47 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 230 \approx 108 \text{ N} \approx 11 \text{ kg}$

## SKÄRSLÄCKARENS TEORETISKA SLÄCKKAPACITET

### REMP

REMP-värdet är ett mycket effektivt hjälpmedel för att skatta hur stor brand man kan släcka med olika släckmedel. REMP-värdet (Required Extinguishing Medium Portion) är ett mått på hur bra ett släckmedel är vid släckgränsen från ett så kallat tubular tube-test /G/. Vid experimentella bestämningar av REMP-värden har högvärdiga bränslen använts, ofta propan med  $\Delta H_c = 46,45$  MJ/kg. Detta betyder att för bränslen med mindre energiinnehåll kan man reducera REMP-värdet med en faktor motsvarande kvoten mellan propans och det alternativa bränslets  $\Delta H_c$ . Då energiinnehållet i diesel är i nivå med propan används REMP-värdet för vatten utan reduktion. Vatten har mycket hög förångningsvärme vilket innebär att ett lågt REMP-värde kan antas när vatten påförs en brand i finfördelad form. Lägsta REMP-värdet för vatten är 2, vilket har använts i beräkningarna nedan. I detta antagande ingår förutsättningen att allt vatten som påförs träffar branden och förångas.

Förenklat kan REMP definieras som:

$$REMP = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_g} \quad [-] \quad \text{Ekvation 6 /G/}$$

där

$\dot{m}_s$  = massflöde släckmedel vid släckgränsen

$\dot{m}_g$  = massflöde bränsle vid släckgränsen

Skärsläckaren som användes levererade 28 l/min, vilket motsvarar 0,47 kg/s.

$$REMP = 2$$

$$\dot{m}_s = 0,47 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_g = \frac{0,47}{2} \approx 0,23 \text{ kg/s}$$

Brandeffekten ges av:

$$\dot{Q} = \dot{m}_g \cdot \Delta H_c \cdot \chi \quad [\text{W}]$$

Med följande indata:

$$\dot{m}_g \approx 0,23 \text{ kg/s}$$

$$\Delta H_c = 40 \text{ MJ/kg}$$

$$\chi = 0,7 \text{ (approximerat för dieselbrand)}$$

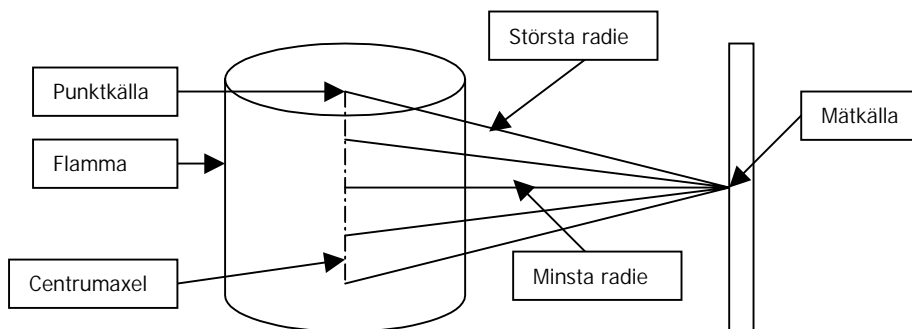
$$\text{blir } \dot{Q} = 0,23 \cdot 40 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \approx 6,5 \text{ MW}$$

Resultatet blir alltså att man teoretiskt kan släcka en 6,5 MW brand med den skärsläckare som användes under försöken. Detta motsvarar 5-6 m<sup>2</sup> dieselbrand och förutsätter att allt vatten träffar branden och förångas helt. Detta är dock svårt att uppnå med möjligt undantag för fallet då branden är i ett litet, slutet utrymme som till exempel en container.

## INFALLANDE STRÅLNING VID SLÄCKFÖRSÖK

För att kontrollera strålningsmätarnas utdata görs nedan en överslagsberäkning på den infallande strålningen. En ingenjörsmässig modell innehållande följande antaganden och förenklingar används, se även figur B.5.1:

- Flamman beskrivs av en cylinder, där lika strålningsandelar utgår från 5 punktkällor placerade på jämnt fördelat avstånd utmed cylinderns axel.
- Strålningsandelen från flamma antas till  $0,4 / D/$ .
- Strålningsnivån reduceras inte av brandgaserna.
- Runt varje punkt antas en sfär vars radie är avståndet från centrum till mätkällan. En medelradie räknas fram ur de fem punktkällornas radier.
- Brandgaserna överför energi endast genom konvektion. Strålningsandelen försummas.
- Turbulent miljö i brandrummet medför högt värmeövergångstal  $h$ , antas konstant under brandförloppet.
- Temperaturdifferensen mellan mätkälla och brandgaserna antas till ett medelvärde under brandförloppet.



Figur B.5.1 Förenkling av strålning från flamma

## BERÄKNINGAR FÖR INFALLANDE STRÅLNING

### INGÅNGSDATA:

$$A_{\text{pool}} = 3,2 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 3,6 \text{ MW}$$

$$\text{Strålningsandel} = 0,4$$

$$\text{Värmeövergångstal } h = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Delta T = 250 \text{ K}$$

$$\text{Punktkällornas medelradie till mätkällan} = 3 \text{ m}$$

### STRÅLNINGSANDEL

$$\text{Pooldiameter: } A_{\text{pool}} = 3,2 \text{ m}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 4}{\pi}} \approx 2 \text{ m}$$

$$\text{Flamhöjd: } L_f = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D = 0,235 \cdot (3,6 \cdot 10^3)^{2/5} - 1,02 \cdot 2 \approx 4,2 \text{ m}$$

$$\text{Varje punktkällas strålningsandel: } \frac{3600}{5} \cdot 0,4 = 288 \text{ kW}$$

$$\text{Medelsfärens mantelarea: } A = 4 \cdot \pi \cdot R^2 = 4 \cdot \pi \cdot 3^2 \approx 113 \text{ m}^2$$

$$\text{Sammanlagd infallande strålning från flamman till mätkällan: } \dot{Q}_{\text{strålning}} = 5 \cdot \frac{288}{113} = 13 \text{ kW/m}^2$$

### KONVEKTIV ANDEL

$$\dot{Q}_{\text{konvektiv}} = h \cdot \Delta T \quad [\text{W/m}^2]$$

Ekvation 7/B/

$$\dot{Q}_{\text{konvektiv}} = 20 \cdot 250 = 5 \text{ kW/m}^2$$

### TOTALT INFALLANDE STRÅLNING

$$\dot{Q}_{\text{strålning}} + \dot{Q}_{\text{konvektiv}} = 13 + 5 = 18 \text{ kW/m}^2$$

### KOMMENTAR

Ett vedertaget värde på strålningen vid övertändning är 20 kW/m<sup>2</sup> och temperaturen är då 500-600°C /F/. Temperaturerna vid containerförsöken var lägre än 500°C, följaktligen borde strålningen också vara lägre. Detta tyder på att containerförsöken gav relativt rättvisande värden med avseende på den infallande strålningen. Den framräknade strålningen styrker ytterligare försöksresultaten.



