

Brandsäkerhet i bilar

-värmtransport genom mellanbrädan vid
motorrumsbrand

Oscar Löfgren Ferraz
Magnus Wallin

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5054, Lund 1999

Brandsäkerhet i bilar
-värmetransport genom
mellanbrädan vid motorrumbrand

Oscar Löfgren Ferraz
Magnus Wallin

Lund 1999

BRANDSÄKERHET I BILAR – värmetransport genom mellanbrädan vid motorrumsbrand

CAR FIRE SAFETY – heat transfer through the bulkhead in engine compartment fires

Report: 5054

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB—5054--SE

Antal sidor / Number of pages: 145

Författare / Authors:

Oscar Löfgren Ferraz

Magnus Wallin

Handledare / Tutors:

Teknisk Doktor Björn Karlsson, Brandteknik

Mikael Fransson, Volvo Personvagnar AB

Abstract:

This report investigates the heat transfer through the bulkhead exposed to an engine compartment fire. Calculations are carried out with two different computer programs to solve the one dimensional heat transfer problem. Material properties are obtained by use of cone calorimeter, computer simulations, literature studies and appraisals. Conclusions are made of the possibility to predict heat transfer, through the bulkhead, in full scale tests with computer models. Further research is also discussed. (SWEDISH)

Key words:

Bulkhead, car fire, cone calorimeter, engine compartment fire, fire wall, fire test, heat transfer, HSLAB, TASEF, Volvo

Nyckelord:

Bilbrand, brandtest, HSLAB, konkalorimeter, mellanbräda, motorrumsbrand, TASEF, torpedplåt, Volvo, värmetransport

Författarna står för innehållet i rapporten.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1999.

Brandteknik
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
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

SAMMANFATTNING

Denna rapport är skriven av Oscar Löfgren Ferraz och Magnus Wallin, studenter vid Brandingenjörslinjen på Lunds tekniska högskola vid Lunds universitet. Projektet utförs i kursen Problembaserad brandteknisk riskhantering, VBR 130, vilken motsvarar 10 p. Arbetet är utfört i Lund, Göteborg och Borås hösten 1999.

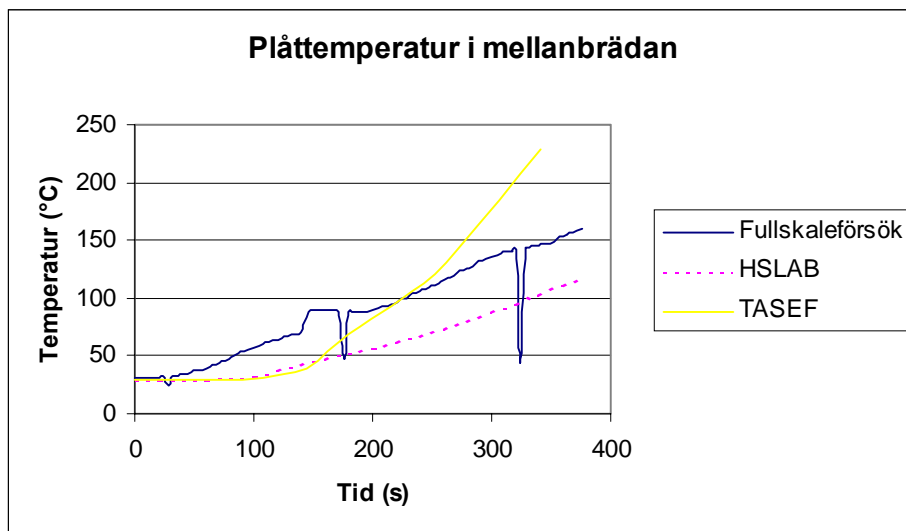
När Volvo Personvagnar AB, i utvecklandet av en ny bilmodell, idag testar brandsäkerheten sker det genom fullskaleförsök. Dessa försök utförs ofta på ännu inte serietillverkade bilar, vilket medför att testerna blir dyra och måste utföras i ett sent skede av utvecklingsprocessen. Volvo Personvagnar AB vill kunna börja arbeta med brandsäkerheten tidigare i denna process. De har av denna anledning kontaktat Brandteknik vid Lunds universitet med ett förslag till ett examensarbete, där möjligheten att ersätta eller komplettera fullskaleförsöken med datorsimuleringar undersöks.

I det här arbetet undersöks hur väl endimensionella datorberäkningar återskapar värmetransporten genom mellanbrädan (torpedväggen) vid ett fullskaleförsök av en motorrumbrand, utfört på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP, i november 1999. Utifrån dessa beräkningar och litteraturstudier dras slutsatser om möjligheterna att använda datormodeller för att simulera fullskaleförsök. Förslag ges också på hur arbetet med brandsäkerheten i personbilar hos Volvo Personvagnar AB kan utvecklas i framtiden.

Datorberäkningar utförs med hjälp av det endimensionella värmetransportprogrammet HSLAB och det tvådimensionella programmet TASEF. För att kunna utföra simuleringar tas materialparametrar för de i mellanbrädan ingående materialen fram. Genom att göra temperaturmätningar på materialprover vid försök i konkalorimeter passräknas, med hjälp av HSLAB, temperaturberoende funktioner av värmeledningstalen fram. Andra materialdata så som specifik värmekapacitet, densitet, emissionstal och konvektiva värmeövergångstal erhålls med hjälp av beräkningar, mätningar, tabellvärden, jämförelser med andra material samt ingenjörsmässiga bedömningar.

I diagrammet nedan jämförs resultatet av en simulering i HSLAB och en i TASEF med temperatur uppmätt vid fullskaleförsöket på SP. Resultaten av datorsimuleringarna visar att datormodellerna inte ger en särskilt god beskrivning av fullskaleförsöket. Simuleringarna är emellertid behäftade med stora osäkerheter. Dessa osäkerheter kan främst härledas till fyra olika källor:

- ❑ Osäkerheter som uppkommit i samband med fullskaleförsöket.
- ❑ Osäkerheter på grund av konstruktionens utformning.
- ❑ Osäkerheter i materialdata och övrig indata i datormodellerna.
- ❑ Osäkerheter i datormodellernas beräkningarna.



Simuleringarna i HSLAB visar en tendens att undersökt problem eventuellt kan simuleras, förutsatt mindre osäkerheter och ett mer sofistikerat datorprogram. Detta datorprogram skall gärna vara utvecklat för tunnare väggkonstruktioner i fordon och andra maskiner. Resultaten av beräkningarna i TASEF kan inte förklaras av författarna. De är generellt sett mycket höga. Simuleringarna i TASEF är särskilt osäkra då det är svårt för användaren att få en överblick om han har använt korrekt indata.

Diskussion och slutsatser av arbetet kan sammanfattas i följande punkter:

- ❑ Volvo Personvagnar AB ställer kravet att mellanbrädan skall motverka brandspridning i ett visst antal minuter. Vi anser att kravet bör vara kopplat till de kritiska förhållanden som kan uppstå vid en brand. Detta kan gälla hög temperatur, hög strålning och toxicitet hos pyrolyser eller brandgaser, vilka är aspekter som även bör mätas vid fullskaleförsök.
 - ❑ Vi anser att det inte är lämpligt att ersätta de fullskaleförsök som utförs för slutverifiering av mellanbrädans brandmotstånd med datormodeller. Datormodellering bedöms inkludera allt för stora osäkerheter för att på ett representativt sätt kunna prediktera värmetransporten i konstruktionen och kan inte anses innefatta den kvalitetssäkring som ett fullskaleförsök innebär.
 - ❑ Vi anser däremot att datormodellering är ett utmärkt verktyg att använda vid brandsäkerhetsarbetet i det tidiga utvecklingsstadiet av en ny bilmodell. Datorsimuleringarna kan då fungera som en kvalitativ värdering av olika materials eller materialkombinationers brandmotstånd och ge underlag för bedömningar av olika konstruktioners lämplighet i mellanbrädan, med avseende på brand.
 - ❑ Vi anser även att småskaletester kan utgöra en viktig del i utvecklingen och utvärderingen av mellanbrädans brandmotstånd. Testerna skulle då användas för att kontrollera alternativt bestämma materialparametrar, testa enskilda komponenter och hela konstruktioner, samt för visuella observationer av materialens beteende vid höga temperaturer.
-

SUMMARY

This report is written by Oscar Löfgren Ferraz and Magnus Wallin , students at the Department of Fire Safety Engineering at Lund University, Sweden. It is a part of the final year course Fire Safety Design and Risk Evaluation. The work has been conducted in Lund, Gothenburg and Borås during the autumn of 1999.

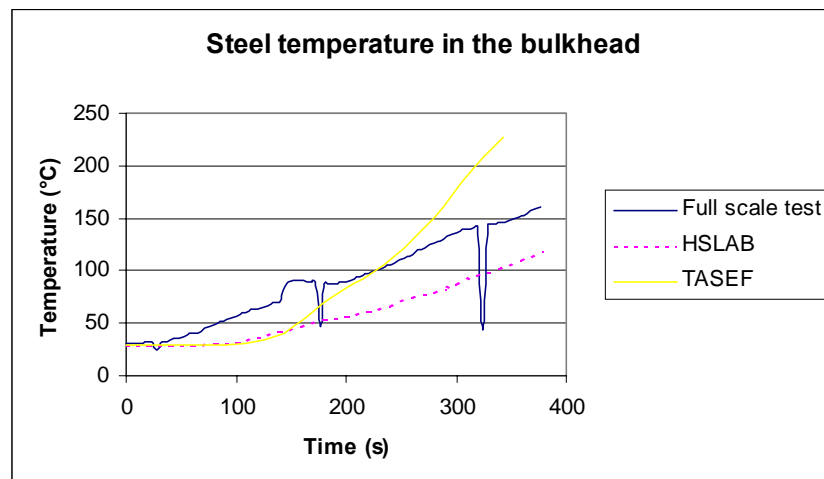
When Volvo Car Corporation develop a new car model they evaluate the fire safety through full scale test methods. These tests are carried out on prototypes, which means that the tests are expensive and have to be carried out late in the process of developing a new car model. Volvo Car Corporation wants to be able to start working with fire safety earlier in this process. Therefore the company has contacted the Department of Fire Safety Engineering at Lund University with a proposition of an examination report. The report should comprise an evaluation of the possibility to model the full scale tests with the help of computers.

In this report we investigate how well one-dimensional computer calculations can describe the heat transfer through the bulkhead. Calculations are based on and compared to a full scale test conducted at the Swedish National Testing and Research Institute, SP, in November 1999. Conclusions have been made from these calculations and a literature study, of the possibility to use computer models to simulate full scale tests. Propositions have also been given on how Volvo Car Corporation in the future can develop their work with fire safety in automobiles.

Conducted computer calculations have been made with the one-dimensional heat transfer program HSLAB and the two-dimensional program TASEF. To be able to carry out the computer simulations, material properties of the layers within the bulkhead have been determined. Temperature dependent functions of thermal conductivity have been calculated with the help of HSLAB after temperature measurements of test specimens subjected to heat in the cone calorimeter. Other material properties as specific heat capacity, density, emissivity and convective heat transfer coefficient have been determined through calculations, measurements, table values, comparison with other similar materials and appraisals by the authors.

In the diagram below, the result of one simulation in HSLAB and one in TASEF are compared to the temperature registered for the steel structure of the bulkhead at the full scale test. The result shows that the computer models don't give a satisfactory description of the full scale test. The computer simulations are though marred by great uncertainties. The uncertainties can be derived to primarily four different sources:

- ❑ Uncertainties generated at the full scale test.
- ❑ Uncertainties caused by the complex structure of the bulkhead.
- ❑ Uncertainties of the material properties and other input in the computer models.
- ❑ Uncertainties within the computer models.



The simulations in HSLAB show a tendency that the evaluated problem perhaps may be simulated in a computer model assumed less uncertainties and a more sophisticated computer model, preferably developed for thinner wall designs in vehicle and other machines. The result from the calculations in TASEF can't be explained by the authors. Generally they show very high temperatures. The simulations in TASEF are especially uncertain, as it's difficult for the user to know if he has used the correct input for the computer model, or not.

Discussions and conclusions of the project can be summarized with the following paragraphs:

- ❑ Volvo Car Corporation has set the requirement that the bulkhead must resist the spread of fire to the passenger compartment for a given number of minutes. We think that the requirement should be connected to the critical factors for humans that can occur in a car fire. This includes high temperature, high heat radiation and toxicity of smoke, which all are aspects that we think should be measured in the full scale tests.
 - ❑ We don't think that it is appropriate to replace the full scale tests, that are used to verify the fire resistance in the bulkhead, with computer modelling. Computer modelling is considered to include too many uncertainties to be able to predict the heat transfer through the design in a representative way. It does not include the quality assurance measures that a full scale test involves.
 - ❑ On the other hand we believe that computer modelling can be an excellent tool in the work of fire safety matters in the early developing stage of a new car model. Computer modelling can then be used for qualitative fire resistance measures for different materials or combination of materials. It can then serve as a basis for evaluation of different bulkhead designs.
 - ❑ We also believe that small scale tests can constitute as an important part of the developing and evaluation of the bulkhead fire resistance. These tests could be used for determining material properties, evaluating single components or the whole design and for visual observations of the behaviour of the materials when exposed to high temperature.
-

FÖRORD

Vi som har utfört detta arbete, Oscar Löfgren Ferraz och Magnus Wallin, skulle vilja tacka en hel rad människor som på olika sätt har hjälpt oss och gjort vårt arbete lättare, roligare och i vissa fall svårare.

Vi tycker att det varit intressant och spännande att i detta arbete fått röra oss på marker där få svenska brandingenjörer satt sina fötter förut. Bilindustrin var för oss båda något det gick att köpa aktier i och som kom ut med nya bilmodeller med jämna mellanrum. Nå, det var kanske att ta i lite i överkant men vi visste inte allt för mycket, framförallt inte om hur man arbetar med brandsäkerheten i personbilar. Vi har under det här arbetet lärt oss mycket nytt, inte minst om brandsäkerheten i Volvo Personvagnar AB:s bilmodeller. Vi hoppas att Volvo Personvagnar AB kan dra nytta av vårt arbete och att det ger upphov till nya idéer och uppslag. Det är också vår förhoppning att vi gett brandingenjörerna som yrkeskår bra reklam och blottat lite av den kunskap vi besitter.

Vi skulle först och främst vilja tacka våra handledare, Teknisk Doktor Björn Karlsson på Brandteknik vid Lunds universitet, samt Mikael Fransson på Volvo Personvagnar AB. Om än ni inte alltid var lätta att få tag i, visade ni hela tiden intresse för vad vi gjorde och gav oss tid när ni väl hade det.

Ett stort tack även till Ulf Göransson på Brandteknik som lagt ner många timmar på att hjälpa oss att förstå de svårare delarna av vårt arbete, samt gett oss uppslag att jobba vidare efter.

Vidare vill vi tacka Sören Gustavsson och Björn Forsberg vid Volvo Personvagnar AB för att ni hjälpt oss att ta fram mätdata och för två mycket trevliga provdagar i Borås.

Tack även till Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Framförallt Marina Milovancevic, och ni andra som hjälpte oss de två dagar vi var uppe i Borås, samt professor Ulf Wickström som låtit oss använda sitt tvådimensionella värmeledningsprogram TASEF.

Sven-Ingvar Granemark och Berit Andersson på Brandteknik samt våra klasskamrater Annevi Fredäng och Joakim Hermansson, har bidragit med ovärderlig hjälp i samband med vårt användande av konkalorimetern.

Emil, Theo, Monica, Jimmy och alla andra i Bi 96, som suttit samtidigt med oss och arbetat i V-sektionens datorsalar genom maratondagar, tills att vi fått skavsår i våra ögon. Ni har gjort tunga dagar lättare.

Vi vill avsluta med ett par tänkvärda ord från floskelkungen Rolf Zetterlund:

”Det finns inga järnvägar till framgång!” (Roffe Z kör Volvo till framgång?).

Tack,

Oscar Löfgren Ferraz

Magnus Wallin

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	SYFTE OCH MÅL.....	1
1.3	METOD	2
1.4	RAPPORTENS STRUKTUR	2
1.5	AVGRÄNSNINGAR	2
2	BRÄNDER I BILAR.....	5
2.1	STATISTIK KRING BRANDORSAKER OCH SKADOR	5
2.2	DISKUSSION KRING BRANDSÄKERHET I BILAR	6
2.3	BRANDMOTSTÅND I MELLANBRÄDAN.....	6
3	VOLVO PERSONVAGNAR AB.....	7
3.1	VERKSAMHET I ALLMÄNHET.....	7
3.2	VERKSAMHET INOM BRANDOMRÅDET	7
4	MELLANBRÄDAN.....	9
4.1	FUNKTION.....	9
4.2	KONSTRUKTION.....	9
4.3	MATERIAL	10
4.3.1	Ljudabsorbent.....	10
4.3.2	Stomljudsmatta.....	11
4.3.3	Plåt.....	11
4.3.4	Ljudmatta.....	11
4.4	GENOMFÖRINGAR.....	12
5	TEORI I VÄRMETRANSPORT	13
5.1	VÄRMELEDNING	14
5.2	KONVEKTION.....	16
5.3	VÄRMESTRÅLNING	17
5.4	VÄRMEÖVERGÅNG MELLAN GAS OCH GRÄNSYTA.....	18
6	BERÄKNINGSMODELLER	19
6.1	HANDBERÄKNINGSMODELLER.....	19
6.2	DATORPROGRAM	19
6.2.1	HSLAB	19
6.2.2	TASEF.....	21
7	TESTMETODER.....	25
7.1	SMÅSKALEFÖRSÖK	25
7.1.1	Konkalorimeter	25
7.2	FULLSKALEFÖRSÖK	27
7.2.1	Testmetod av mellanbräda - Volvo Personvagnar AB.....	27
8	BESTÄMNING AV MATERIALPARAMETRAR.....	29
8.1	DENSITET.....	29
8.2	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET	29
8.3	SPECIFIK VOLYMETRISK ENTALPI.....	30
8.4	VÄRMELEDNINGSTAL	30
8.4.1	Metod.....	31
8.4.2	Konkalorimetertester	32
8.4.3	HSLAB-simuleringar.....	34
8.4.4	Val av värmeledningstal.....	34
8.4.5	Osäkerheter vid bestämning av värmeledningstal	39
8.5	EMISSIONSTAL	40
8.5.1	Metod.....	40

8.5.2	Val av emissionstal	40
8.6	KONVEKTIVT VÄRMEÖVERGÅNGSTAL	42
8.6.1	Metod	42
8.6.2	Val av konvektivt värmeövergångstal	42
9	FULLSKALEFÖRSÖK - VOLVO PROJEKTbil, 991116	45
9.1	UTFÖRANDE	45
9.2	RESULTAT	46
9.2.1	Brandgastemperatur i motorrummet	47
9.2.2	Yttemperatur- ljudabsorbenten i motorrummet	47
9.2.3	Plåttemperatur på motorrumssidan	48
9.2.4	Yttemperatur- ljudmattan i kupén	49
9.2.5	Effektutveckling	49
10	DATORSIMULERING FULLSKALEFÖRSÖK - VOLVO PROJEKTbil, 991116	51
10.1	DIMENSIONERANDE BRANDPÅVERKAN	51
10.1.1	Volvos tidigare tester	51
10.2	SIMULERING I HSLAB OCH TASEF	52
10.2.1	Simulering i HSLAB	52
10.2.2	Simulering i TASEF	55
10.2.3	Osäkerheter i datorsimuleringarna	57
10.2.4	Slutsatser av datorsimuleringarna	60
11	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	61
11.1	KRITISKA FÖRHÅLLANDEN VID BRAND	61
11.2	BRANDSPRIDNING FRÅN MOTORRUM TILL KUPÉ	61
11.3	ANVÄNDNING AV DATORSIMULERINGAR	62
11.3.1	Ersättning av fullskaleförsök	62
11.3.2	Kvalitativ värdering	63
11.3.3	Val av datorprogram	67
11.4	RELEVANS MED FULLSKALEFÖRSÖK	67
11.5	ANVÄNDNING AV SMÅSKALETESTER	68
11.5.1	Bestämning av materialparametrar	68
11.5.2	Visuella observationer	69
11.5.3	Test av enskilda komponenter	69
11.5.4	Test av hela mellanbrädeskonstruktioner	69
11.6	FÖRSLAG TILL VIDARE FORSKNING	69
11.6.1	Brandspridning via genomföringar	69
11.6.2	Påverkan vid vanlig drift	70
11.6.3	Brandskyddsfärg på mellanbrädan	70
11.6.4	Användning av fasta släcksystem	70
11.6.5	Effektutveckling vid motorrumbränder	70
11.6.6	Brands uppkomst	70
11.7	SAMMANFATTNING AV SLUTSATSER	71
12	ANNAN INTRESSANT LITTERATUR OM BRÄNDER I BILAR	73
12.1	GM/DOT SETTLEMENT AGREEMENT	73
12.1.1	Brandskyddsfärg på mellanbräda	73
12.1.2	Brandspridning via vindruta	73
12.2	EFFEKTUTVECKLING VID BILBRÄNDER	73
12.2.1	Försök utförda i Finland 1994	73
12.2.2	Profilarbete	74
12.2.3	Tester utförda vid dimensionering av kanaltunneln	74
	ORDLISTA	75
	REFERENSER	79
	BILAGSFÖRTECKNING	81

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

När Volvo Personvagnar AB utvecklar en ny bilmodell krävs det att modellen uppfyller de krav som företaget och omgivningen ställer. Ett av dessa krav är att bilen skall vara tillräckligt brandsäker. En aspekt av brandsäkerhet i bilar är hur väl mellanbrädan (torpedväggen, konstruktionen mellan motorrum och kupé) kan hindra en motorrumbrand att sprida sig in till kupén.

När Volvo PV idag utför brandtester på nya mellanbrädor använder de sig av ett av Volvo standardiserat fullskaleförsök, vilket utförs på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP, i Borås. Det standardiserade fullskaletestet kräver att bilen vid provtillfället är byggd enligt gällande specifikation beträffande; motorrummet, mellanbrädan och inredningen på mellanbrädans kupésida. Det innebär att brandtestet måste utföras sent i bilens utvecklingsprocess, vilket medför att det finns litet rum för förändringar om testresultatet inte är tillfredställande. Krävs förändringar skulle det dessutom medföra stora merkostnader. Fullskaleförsök innebär även att bilar som i princip befinner sig i prototypstadiet, vilka är dyra att producera, eldas upp och totalförstörs. Om det finns möjlighet att ersätta fullskaleförsöken eller en del av fullskaleförsöken med andra metoder, som dessutom skulle kunna appliceras redan i det tidiga projekteringsstadiet, skulle det innebära stora ekonomiska och utvecklingsmässiga fördelar för Volvo.

Materialet i nya bilmodeller förväntas i framtiden utvecklas mot nya lätta och ur brandsynpunkt mer komplexa material, t.ex. aluminium, magnesium, termoplaster och kompositmaterial. Tendensen visar även en ökad användning av elektronik i bilens kommunikationssystem. Denna utveckling ställer nya hårdare krav på den brandförebyggande processen i berörda företag. Hos Volvo Personvagnar AB berör detta enheten Volvo Fire Safety Group, vilken arbetar efter visionen "Volvo Bilar Brinner Inte".

Mot bakgrund av ovanstående har Volvo PV kontaktat Brandteknik med en förfrågan om det finns intresse hos någon eller några av Brandtekniks elever att utföra ett projektarbete med avseende på brandsäkerhet i bilar. Projekterbjudandet har accepterats av de två författarna, vilka tillsammans med handledare vid Brandteknik och Volvo PV har bestämt att arbetet skall fokuseras kring utredning av metoder för att bedöma mellanbrädans brandmotstånd.

Projektet utförs i kursen "Problembaserad brandteknisk riskhantering, VBR 130", under andra läsperioden höstterminen 1999 vid Brandteknik. Kursen motsvarar 10 poäng och är den avslutande kursen på Brandingenjörslinjen. I projektet skall eleverna visa förmåga att tillämpa de färdigheter och kunskaper de förvärvat under utbildningstiden samt självständigt analysera och redovisa uppgiften på ett vetenskapligt sätt. Projektet utförs för och i samarbete med Volvo Personvagnar AB.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet är att undersöka samt att ge förslag på vilket sätt Volvo Personvagnar AB i framtiden kan utveckla sitt arbete beträffande brandmotståndet i mellanbrädan. De metoder som skall utredas närmare är användning av olika handberäkningsmodeller, datorprogram och småskaletester. Alternativen skall undersökas beträffande deras förmåga att prediktera värmetransport, med avseende på brandspridning genom mellanbrädan.

Målet är att projektarbetet skall ge Volvo en indikation på vilka områden som är intressanta att utreda närmare. Förhoppningen är att detta i framtiden skall leda till att dyra fullskaleförsök möjligtvis kan ersättas eller kompletteras med alternativa metoder, för bedömning av brandmotstånd. Det är en stor fördel om dessa metoder kan användas redan i det tidiga projekteringsstadiet.

1.3 METOD

Projektet genomförs i nära samarbete med Volvo Personvagnar AB och baseras på litteraturstudier, intervjuer, datorsimuleringar, småskaletester samt ett fullskaleförsök vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. För datorsimuleringarna används det endimensionella värmetransportprogrammet HSLAB och det tvådimensionella programmet TASEF. Småskaletester utförs med konkalorimeter.

Utifrån beräkningar, simuleringar och testresultat görs bedömningar av de olika metodernas allmänna tillämplighet för uppskattning av mellanbrädans brandmotstånd. Kombinationer av metoder för att uppnå bästa tillämplighet undersöks också. Slutligen diskuteras hur väl Volvo Personvagnar AB kan applicera metoderna i sitt arbete inom brandsäkerhetsområdet samt vilka områden som är intressanta att titta närmare på.

1.4 RAPPORTENS STRUKTUR

Rapporten skrivs för Volvo Personvagnar AB samt personal och elever vid Brandteknik. Den kommer även att vara tillgänglig för allmänheten på Brandtekniks hemsida (www.brand.lth.se). På grund av detta är rapporten skriven för att passa fler än en intressent. Det kan leda till att en del information är överflödigt för vissa läsare. Författarna hoppas att läsaren har överseende med detta.

I rapporten används en del uttryck vars definition kan vara föremål för diskussion. För att undvika missförstånd och tydliggöra vissa uttryck återfinns en ordlista i kapitel 13, där det går att utläsa vilka definitioner som tillämpats i denna rapport.

Projektarbetet har inneburit att en hel del litteratur som behandlar fordonsbränder har studerats. En viss del av den litteraturen spänner utanför projektets syfte och avgränsningar men torde dock vara högtintressant läsning för den som är intresserad av brandsäkerhet i fordon. För att inte utesluta dessa texter helt har författarna valt att i kapitel 12 kort presentera texternas innehåll. Kapitlet är helt fristående och kan läsas utan kunskap om resten av rapporten.

1.5 AVGRÄNSNINGAR

Projektet begränsas till att endast utreda metoder för bedömning av brandspridning genom värmetransport. Således behandlas inte brandspridning genom flam- eller brandgasspridning. Hänsyn tas ej heller till brandspridning via genomföringar.

Beräkningar, datorsimuleringar och tester behandlar endimensionell, samt till viss del tvådimensionell värmetransport. Möjligheten att utföra beräkningar och simuleringar med avseende på tredimensionell värmetransport behandlas endast översiktligt, då projekttiden inte tillåter en grundligare utredning av det nämnda området.

Projektet inkluderar inte någon undersökning av vilka värmetransportprogram som finns tillgängliga på marknaden. Val av program baseras på tillgänglighet, samt upphovsmans samtycke. De datorprogram som används är HSLAB och TASEF.

De förslag som utreds värderas främst efter metodernas kvalitet och potentiella applikation för Volvo Personvagnar AB. Ingen kostnad-nyttaanalys genomförs för de olika alternativen.

De funktionskrav som Volvo Personvagnar AB ställer på sina konstruktioner, med avseende på brandsäkerhet, är inte något som utvärderas vetenskapligt av författarna. De behandlas emellertid översiktligt i slutdiskussionen.

En stor del av de personskador som uppstår vid fordonsbränder sker i samband med trafikolyckor. Vid trafikolyckor är det möjligt att mellanbrädan punkteras och därmed erhåller ett sämre brandmotstånd. Det är en aspekt som inte behandlas i denna rapport.

En central aspekt vid brandförebyggande arbete är att förhindra uppkomst av brand och att begränsa potentiell effektutveckling och brandgasproduktion. Det är områden som endast behandlas översiktligt i denna rapport. Sålunda genomförs ingen grundlig analys av motorrummsbränder.

Arbetet utförs, som nämnts tidigare, i samarbete med Volvo Personvagnar AB och fokus läggs på metoder som möjligtvis kan tillämpas på brandspridning genom konstruktioner liknande mellanbrädan mellan motorrum och kupé i personbil. Projektet är dock inriktat på att finna allmänna lösningar för värmetransport genom dessa konstruktioner och inte en skräddarsydd lösning för Volvo. Rapporten skall emellertid ge Volvo förslag på vilka metoder som de kan utreda grundligare för en möjlig applikation i framtiden.

2 BRÄNDER I BILAR

När det diskuteras kring brandsäkerhet i bilar fokuseras det i första hand på personsäkerhet. Således läggs fokus främst på personsäkerhet även i detta projekt.

2.1 STATISTIK KRING BRANDORSAKER OCH SKADOR

För att bilda sig en uppfattning om vad bränder i bilar innebär i omfattning och problem, är det intressant att ha kunskap om allmän statistik kring bilbränder. Det som är centralt att känna till är bland annat varför bränder i bilar uppstår, var de uppstår samt vilka skador som genereras.

Det finns en mängd olika möjliga orsaker till bilbränder. I SRV:s (Statens Räddningsverk) räddningsinsatsstatistik för 1997 och 1998 (tabell 2-1) redogörs för brandorsaksstatistiken vid fordonsbränder i Sverige /1/.

Tabell 2-1 Andel räddningsinsatser vid fordonsbränder per preliminär brandorsak i Sverige, Statens Räddningsinsatsstatistik, Sverige, 1997 och 1998 /1/.

Brandorsak	1997	Andel	1998	Andel	Totalt	Andel
Okänd / ej angiven	1695	44%	1650	44%	3345	44%
Tekniskt fel	1131	29%	1157	31%	2288	30%
Anlagd med uppsåt	371	10%	428	11%	799	10%
Övriga orsaker	258	7%	205	5%	463	6%
Värmeöverföring	154	4%	149	4%	303	4%
Självantändning	137	4%	111	3%	248	3%
Trafikolycka	54	1%	36	1%	90	1%
Övriga gnistor	32	1%	23	1%	55	1%
Hantverkare	27	1%	15	0%	42	1%
Explosion	13	0%	9	0%	22	0%
Fyrverkerier	3	0%	9	0%	12	0%
Summa	3875	100%	3792	100%	7667	100%

Ur denna statistik går det bland annat att utläsa att endast cirka 1% av fordonsbränderna uppstår i samband med trafikolyckor och att 30% av bränderna kan härröras från tekniskt fel. Det skall dock poängteras att statistiken enbart baseras på rapporterade räddningsinsatser och att hela 44% av bränderna har okänd eller ej angiven brandorsak.

Detta kan jämföras med statistik från NFPA:s (National Fire Protection Agency) Annual Fire Experience Survey samt U.S. Fire Administration's National Fire Incident Reporting System (NFIRS) /2/. De säger att det 1992 uppstod 405300 fordonsbränder i USA, av vilka 7990 stycken eller 1,8% av bränderna var resultatet av trafikolyckor. Antalet dödsfall som kan härröras till fordonsbränder var 730 stycken 1992. Av dessa var 469 eller 65,4% en följd av trafikolyckor. Trots att väldigt få av fordonsbränderna uppstår på grund av trafikolyckor representerar de alltså en ansenlig del av dödsfallen vid fordonsbränder.

Trenden visar att antalet fordonsbränder och dödsfall på grund av fordonsbränder varit relativt konstant under tidsperioden 1980-1992. Trots detta tenderar dödsfallen på grund av fordonsbränder till att utgöra en allt större del av de totala dödsfallen till följd av brand, då det har skett en minskning av dödsfallen vid byggnadsbränder. 1980 var andelen dödsfall till följd av fordonsbränder 11,4% och 1992 var andelen 15,4% av det totala antalet dödsfall vid bränder i USA /2/.

Enligt James A. Ierardi /3/ kan över två tredjedelar av alla fordonsbränder härröras till motorrummet, växellådan eller hjulområdet. En femtedel kan kopplas till bränder som startar inuti kupén och resterande 12% till bränslesystemet.

Vanligen antänds bränslet först vid fordonsbränder. I mer än två tredjedelar av dödsfallen, på grund av fordonsbränder i USA mellan åren 1988-1992, var bensin det som först antändes. Elledningar och kabelisolering var den näst vanligaste formen av material som först antändes, men svarade för en betydligt mindre del av dödsfallen och skadorna. Resterande del av först antända material representeras av till exempel andra brännbara vätskor, säten, golvmattor och bildäck /3/.

2.2 DISKUSSION KRING BRANDSÄKERHET I BILAR

Ovanstående data torde påvisa att brandsäkerhet i bilar, om inte i Sverige i alla fall internationellt, är ett område som är viktigt att arbeta med. Tendensen, baserat på åren 1980-1992, är att antalet fordonsbränder samt dödsolyckor i samband med fordonsbränder ej minskar, samtidigt som brandsäkerheten inom andra områden ökar. Detta är visserligen till viss del en följd av en ökad användning av fordon, men statistiken borde ändå oroa bilbranschen. Att acceptera dagens brandstatistik, där fordonsbränder står för cirka 15% av alla dödsfall i bränder, utan att försöka förbättra statistiken torde inte vara ett alternativ för branschen. Notera emellertid att ovanstående främst baseras på statistik från USA och att samma förhållande inte kan påvisas i Sverige.

Materialiet i nya bilmodeller utvecklas mer och mer mot nya lätta och ur brandsynpunkt komplexa material. Tendensen visar även en ökad användning elektronik i bilens kommunikationssystem. På grund av detta ställs också nya och hårdare krav på det brandförebyggande arbetet inom bilbranschen, för att inte konsekvenserna av fordonsbränder skall öka.

2.3 BRANDMOTSTÅND I MELLANBRÄDAN

Statistiken visar att en stor del av fordonsbränderna har sitt ursprung i motorrummet /3/. Det största problemet vid en motorbränd anses vara brandspridning till kupé, vilket till största del sker genom mellanbrädan, ventilationskanaler eller vindrutan. Detta projekt fokuseras på brandmotståndet i mellanbrädan.

Det finns främst två sätt som brandspridning genom en intakt mellanbrädan kan ske på. Det första är när värme transporteras och flammor eller brandgaser sprids genom mellanbrädans genomföringar. Detta kan även vara fallet för en fordonsbrand vid en trafikolycka, då spridningen kan ske genom de håligheter som uppstått vid olyckan.

Det andra sättet, och det som vi skall titta närmare på, är värmetransport genom den intakta mellanbrädan. Värmetransport genom den tunna stålkonstruktionen kan leda till pyrolys av plast eller annat material som är fäst på mellanbrädans kupésida. Med en temperatur över materialets självantändningspunkt kan detta leda till att det börjar brinna på kupésidan utan närvaro av en gnista eller låga.

3 VOLVO PERSONVAGNAR AB

3.1 VERKSAMHET I ALLMÄNHET

1927 lämnade den första Volvobilen produktionsbandet i Torslanda på Hisingen i Göteborg och än idag är Volvos fabriker i Torslanda personbilstillverkningens huvudsäte. Produktion och hopmontering av bilar sker idag även på andra platser runt om i världen (se en bild av en Volvo på bild 3-1). Volvo Personvagnar AB har cirka 18 000 anställda, enligt utsago från personal.

Med åren har Volvo utökat produktionen från att enbart ha tillverkat personbilar till att även tillverka lastbilar, bussar, båtmotorer, flyg- och raketmotorer samt arbetsfordon. I samband med att Ford Motor Company köpte hela Volvos personbilstillverkning kom emellertid Volvo 1999 att delas i de två helt skilda företagen Volvo AB och Volvo Personvagnar AB. Vi utför det här arbetet åt Volvo Personvagnar AB, som alltså är en del i Ford Motor Company. Ford Motor Company består förutom Volvo Personvagnar AB av Ford, Lincoln, Jaguar, Mercury, Mazda samt Aston Martin.



Bild 3-1 Volvo S80 - den bilmodell som Volvo Personvagnar AB senast introducerade på marknaden (bilden är tagen från Volvo personvagnars hemsida www.volvocars.com).

3.2 VERKSAMHET INOM BRANDOMRÅDET

Personsäkerhet är ett område som Volvo PV försöker profilera sig särskilt starkt inom. I första hand gäller detta personsäkerheten i händelse av en trafikolycka. Just krocksäkerheten är det de flesta förknippar med säkerhet då man talar om bilar. Personskyddet i händelse av brand är en mindre omtalad bit av den totala säkerheten. Det är dock ett område som Volvo PV jobbar aktivt med.

4 MELLANBRÄDAN

Mellanbrädan, eller torpedplåt och torpedvägg som den även kallas, är den konstruktion i en bil som skiljer motorrummet från kupén. Vanligen avses endast själva plåtkonstruktionen när det talas om mellanbrädan (ursprungligen fanns endast en plåt i konstruktionen). Vi avser emellertid i det här arbetet såväl plåtkonstruktion som de tillhörande isolerande materialen på ömse sidor om plåten, då vi använder oss av begreppet mellanbräda.

I det här kapitlet beskrivs mellanbrädans konstruktion och funktion. Kommentarer om de ingående materialens egenskaper vid värmepåverkan görs främst i kapitel 8, då de testas i en konkalorimeter. I det kapitlet utreds även de olika materialens fysikaliska egenskaper, med avseende på brand.

4.1 FUNKTION

Mellanbrädans brandsektionerande funktion är inte den aspekt som sätts främst vid utvecklandet av bilar. Mellanbrädan skall framförallt skydda passagerarna från olägenheter orsakade av motorn. Den skall verka ljudisolerande för att dämpa ljud från motorn och den skall hindra oönskade gaser från att tränga in i kupén. Mellanbrädan skyddar även passagerarna i händelse av en kollision, genom att till viss del hindra att delar av motorn tränger in i kupén.

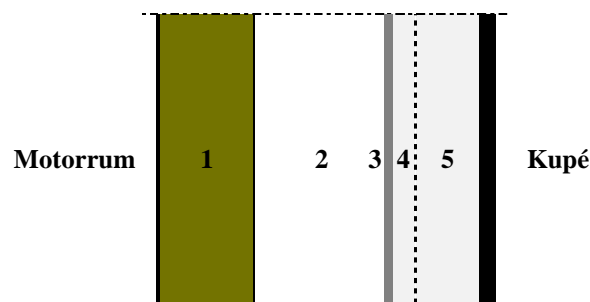
Då motorn på vissa ställen kan bli mycket varm skall mellanbrädan ha viss värmeisolerande förmåga, för att det inte skall bli för varmt i kupén, även då ingen brand uppstår. Slutligen skall mellanbrädan hindra att en brand i eller vid motorrummet sprider sig in till kupén. Volvo Personvagnar har själva ställt som krav att en brand inte får sprida sig in till kupén inom en viss tid, från det att branden startar vid de av Volvo Personvagnar standardiserade tester som utförs (avsnitt 7.2.1).

Mellanbrädans många funktioner gör att valet av material inte är helt självklart. Ett material med god ljudisolerande förmåga kan till exempel vara olämpligt ur brandsynpunkt. De ekonomiska aspekterna innebär ytterligare en dimension till problemet. Dessutom eftersträvas hela tiden att hålla bilen så lätt som möjligt. Olika hänsyn tages också till de olika funktionerna, varför en konfliktsituation kan uppstå mellan de olika egenskapskraven.

4.2 KONSTRUKTION

Mellanbrädan består, något förenklat, av 5 skikt, enligt figur 4-1 nedan:

- 1) Ljudabsorbent
- 2) Luftspalt
- 3) Plåt
- 4) Stomljudsmatta
- 5) Ljudmatta (två material)



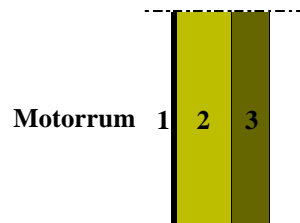
Figur 4-1 Schematisk bild av mellanbrädans tvärsnitt. Numreringen i figuren hänvisar till uppräkningsordningen ovan figuren. Då stomljudsmattan endast täcker begränsade delar av mellanbrädan, illustreras detta med en streckad linje.

Figur 4-1 visar endast schematiskt hur en genomskärning av mellanbrädan ser ut. Mellanbrädan är en konstruktion vars geometri i själva verket är mycket komplex. Konstruktionen varierar i alla dimensioner och har många hål för olika genomföringar (bild 4-1), speciellt på försarsidan. Materialen varierar även i tjocklek och densitet, framförallt vid genomföringarna. Varje material har dessutom varierande utbredning, det vill säga att de täcker en olika stor yta, och alla angivna mått på ritningarna har toleranser.

4.3 MATERIAL

4.3.1 LJUDABSORBENT

Ljudabsorbenten är den del av mellanbrädan som sitter närmast motorn. Den består i själva verket av tre delar (figur 4-2). Yttersta skiktet mot motorn består av ett tunt svart lager, "black finish", med ytdensiteten 80 kg/m^2 . Mittensiktet består av mineralull med varierande densitet, beroende på hur hårt packat materialet är. Det innersta skiktet av ljudabsorbenten består av textillump med en densitet av 180 kg/m^3 . Vid kanter och runt hål för genomföringar har ljudabsorbenten pressats ihop till att endast vara 2 millimeter tjock. De hoppresade partierna består endast av textillump och det svarta ytskiktet. I mitten längst ner på ljudabsorbenten sitter en korrugerad aluminiumfoliebit (bild 4-1). Denna bit aluminiumfolie finns endast på de modeller som drivs av blyfri bensin. Anledningen till detta är att den i dessa modeller skall skydda mot värmestrålning från turbo och till viss del katalysator, vilka har mycket höga arbetstemperaturer.



Figur 4-2 Schematisk bild av ljudabsorbentens tvärsnitt. (1) "black finish", (2) mineralull och (3) textillump.

Ljudabsorbenten skruvas fast i förborrade hål i plåten. Tjockleken varierar mellan att vara 2 millimeter i kanterna och 17 millimeter på de tjockaste ställena. Hålen för genomföringarna i mellanbrädan är betydligt större i ljudabsorbenten än i plåten. Detta för att genomföringarna skall kunna isoleras, samtidigt som plats och vikt sparas. I bild 4-1 nedan visas ljudabsorbenten fastsatt på plåten.



Bild 4-1 Ljudabsorbenten monterad på plåten (bilden är tagen av Volvo Personvagnar AB).

Ljudabsorbentens funktion är, precis som namnet antyder, att absorbera ljud från motorn. Den har också till uppgift att förhindra att värme transporteras in till kupén, med andra ord absorberar den även värme. I äldre Volvomodeller saknas ljudabsorbenten. Anledningen till att ljudabsorbenten tillkommit är att det idag ställs högre krav på ljudnivån inne i kupén. I dagens bilar fyller dessutom motorn ut hela motorrummet vilket medfört att så väl ljud- som värmepåverkan från motorn blivit större.

Det svarta ytskiktet har, sett ur ett brandperspektiv, ingen värmeisolerande förmåga. Den svarta färgen medför dock att ytan får ett högt emissionstal vilket innebär att ljudabsorbenten absorberar mycket av den inkommande värmestrålningen. Mineralullen har däremot ett lågt värmeledningstal som ger god värmeisolering. Mineralullen är i princip också obrännbar, vilket bidrar till att ge hela ljudabsorbenten goda egenskaper vid brand. Även textillumpen har ett relativt lågt värmeledningstal, men till skillnad från mineralullen är den brännbar. I och med att textillumpens ena gränsyta är den luftspalt som skiljer ljudabsorbenten och plåten från varandra, finns det även nog med syre för att underhålla en eventuell förbränning av lumpen. Den korrugerade aluminiumfolien har ett lågt emissionstal vilket gör att mycket värme som strålas mot ytan reflekteras bort. Folien förlorar sin värmeskyddande förmåga i takt med att den smutsas ner. Det är därför viktigt att den hålls relativt ren.

4.3.2 STOMLJUDSMATTA

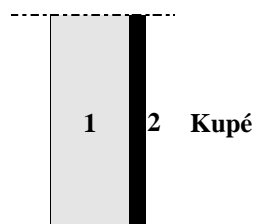
Stomljudsmattan sitter centralt klistrad på kupésidan av plåten i mellanbrädan. Stomljudsmattan består av en ett par millimeter tjock bitumenmatta (asfaltmatta). Den skall dämpa ljud som fortplantar sig från grundkonstruktionen (stommen). Stomljudsmattan täcker en mycket begränsad del av mellanbrädan. Dess betydelse vid händelse av brand i motorrummet anses därför ringa. Bitumenmattan börjar dock smälta redan vid 80°C och har ett högt värmeledningstal.

4.3.3 PLÅT

Plåten är stommen i mellanbrädeskonstruktionen. Den består av en 0,97 millimeter tjock stålplåt som svetsas fast i stomkonstruktionen i bilen. Det är på plåten som de övriga delarna i mellanbrädan fästs och det är den som ger hela konstruktion stadga samt dess hållfasthet mot mekanisk påverkan. På bilderna 4-1 och 4-2 kan plåten skönjas under respektive isolerande detalj. Där syns också genomföringarna i plåten. Enligt Eker och Vlachos /4/ har stål ett värmeledningstal k om 45 W/m·K, en specifik värmekapacitet c_p om 500 J/kg·K och en densitet ρ om 7800 kg/m³. Stål är med andra ord en mycket god värmeledare och ger därför litet motstånd mot värme.

4.3.4 LJUDMATTA

Ljudmattan sitter dikt an mot plåten på kupésidan, enligt bild 4-2 nedan. Den fästs med hjälp av en form av plastnitar som trycks fast i förgjorda hål i plåten. Ljudmattan består av två delar (figur 4-3) som klistrats ihop. Ett lager med polyuretan som sitter mot plåten och ett lager EPDM, vilket är en sorts gummi, som sitter ut mot kupén. Ljudmattan enda uppgift är att ljudisolera kupén mot oväsen från motorn. Även om det hade varit lustigt så frambringar mattan tyvärr själv inga ljud, vilket namnet lätt lurar läsaren att tro.



Figur 4-3 Schematisk bild av ljudmattans tvärsnitt. (1) polyuretan och (2) EPDM.

EPDM-gummit gör att ljudmattan blir tåligt mot våld inifrån kupén och det hjälper till att hålla polyuretanet på plats. På grund av dess ringa tjocklek har den ur ett värmeledningsperspektiv liten betydelse. Den svarta ytan gör dock att gummit har ett högt emissionstal, vilket gör att ytan kan avge värme genom strålning effektivt.

Det är polyuretanet som ger ljudmattan dess ljudisolerande egenskaper och dess goda värmeisolerande förmåga. Materialet har en ganska låg smältpunkt och krymper kraftigt till bara en bråkdel av dess expanderade storlek vid högre temperaturer. Detta innebär att den nästan helt förlorar sin värmeisolerande (och ljudisolerande) förmåga. Dessutom kommer polyuretanet att i smält tillstånd att rinna bort från sitt ursprungliga läge. Polyuretan är även brännbart, vilket innebär att det finns risk att det kan börja brinna. I mellanbrädeskonstruktionen är emellertid tillgången till syre begränsad vilket försvårar en eventuell förbränning. Runt genomföringar blottas dock polyuretan, varvid en eventuell antändning kan tänkas ske. På bild 4-2 nedan visas ljudmattan monterad sedd inifrån kupén. Som synes täcker ljudmattan hela mellanbrädan och mer därtill, förutom vid hålen för genomföringarna.



Bild 4-2 Ljudmattan monterad på kupésidan (bilden är tagen av Volvo Personvagnar AB).

4.4 GENOMFÖRINGAR

Genomföringarna i mellanbrädan är både många och relativt stora, framförallt vid förarsidan. Exempel på genomföringar är öppningar för styrning, elledningar, farthållare, infästningar för ljudisolerering etc. Genomföringarna bidrar till att göra värmetransportberäkningar mer komplicerade. För att kunna utföra sådana krävs tredimensionella värmeledningsmodeller. Ett annat problem är den eventuella närvaron av plaster i genomföringarna, som redan vid relativt låga temperaturer kan ändra sina egenskaper på grund av smältning eller antändning.

Att genomföringarna inte är helt täta bidrar till att brandgaser och i slutänden brand, kan spridas via dessa. Att hålla genomföringarna täta är emellertid ett problem som är behäftat med en del motsägelser. Gaser skall helst inte kunna spridas i öppningarna men samtidigt skall exempelvis föraren kunna vrida på ratten och reparationer enkelt kunna utföras. Det innebär att det är mycket komplicerat att hålla genomföringarna täta. Tätningen innebär dessutom att isoleringen runt genomföringarna blir mindre. Det är för att tätningen av genomföringarna skall kunna utföras som hålen i ljudabsorbenten och ljudmattan är större än de i plåten.

I det här arbetet utreds inte värmetransport och brandspridning i och runt genomföringar. Vi ser det dock som ett område som borde utredas närmare. Det är möjligt att ett framtida examensarbete på Brandteknik, skulle kunna fokusera på ämnet.

5 TEORI I VÄRMETRANSPORT

För att förstå mekanismen bakom brandspridning genom konstruktioner är det centralt att ha viss kunskap inom området värmetransport. I detta kapitel redogörs för de grundläggande värmetransportbegreppen, enligt ”*Heat Transfer*” av J. P. Holman /5/.

När det talas om värmetransport avses hur energi i form av värme transporteras i olika material, till följd av temperaturskillnader. I praktiken är värmetransporten en del av termodynamiken och styrs därför även av dess lagar. Termodynamikens första lag om energins bevarande är grundläggande för alla värmetransportsberäkningar (Termodynamikens första lag eller principen om energins bevarande, som den också kallas, säger att energi varken kan skapas eller förstöras; den kan bara omvandlas /6/). Vidare förklarar termodynamikens andra lag varför en varmare kropp avger värme till en kallare (Termodynamikens andra lag säger att värme endast kan flöda från en varm kropp till en kallare /6/).

Läran om värmetransport förklarar alltså hur värme sprids i olika material. I brandsammanhang är detta intressant för att exempelvis kunna göra en bedömning av ett materials egenskaper då de utsätts för brand eller bedöma om det kan börja brinna på andra sidan av en brandutsatt vägg. Värmetransport är även väsentligt vid en beskrivning av hela brandfenomenet och dess påverkan på andra material. I detta arbete är vi främst intresserade av att undersöka värmetransporten genom en isolerad tunn stålkonstruktion som utsätts för en brand på ena sidan.

Värmetransport delas in i tre olika typer av värmeöverföring:

- Värmeledning
- Konvektion
- Värmestrålning

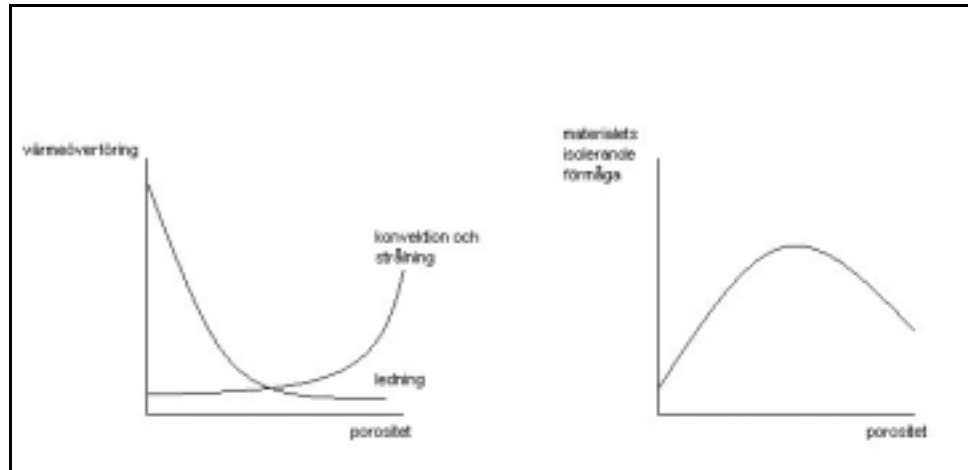
Värmeledning sker huvudsakligen i fasta material och vätskor, i den mån det är intressant att beakta dessa. Värmeledningen i gaser är försumbar.

Konvektion sker enbart när fluider, det vill säga gaser och vätskor, är inblandade. Värme transporteras med fluiderna när de är i rörelse. Konvektion delas in i naturlig konvektion, då fluiderna rör sig på grund av temperaturskillnader, och påtvingad konvektion, då en gas eller vätska tvingas röra sig förbi en yta av annan temperatur än den egna.

Värmestrålning är värme som transporteras genom elektromagnetiska vågor. Värmen kan således även transporteras i vakuum.

Varje fenomen beskrivs närmare i kapitel 5.1-3

Ibland sker värmetransport genom alla tre formerna. Ett exempel på detta är fasta porösa material där värme leds i den fasta delen av materialet medan den transporteras genom strålning och konvektion i de gasfyllda porerna. Vilken form av värmetransport som dominerar framgår om det utförs tester där den värmeisolerande förmågan utreds för prover av ett och samma material med varierande porositet (följaktligen även av varierande densitet). Utgår vi ifrån det helt homogena materialet kommer värmetransport endast att ske genom ledning. Ökas porositeten kommer den värmeisolerande förmågan att öka tills det att strålning och konvektion i porerna är de dominerande faktorerna vid värmetransporten i materialet (figur 5-1).



Figur 5-1 Schematiska diagram visande påverkan från ledning respektive konvektion och strålning, samt hur den värmeisolerande förmågan beror av porositeten i materialet.

Värmetransport i fasta material delas sällan upp i de tre formerna av värmetransport, utan för fasta material inkluderas konvektion och strålning som en del i värmeledningen. Det är dock viktigt att beakta porositeten i fasta material vid beräkningar. Pressas en mineralullsskiva ihop kommer dess värmeisolerande förmåga att sjunka men det finns också gränser för hur mycket mineralullen kan expanderas utan att få försämrade isolerande egenskaper (figur 5-1).

Ett annat, kanske svårare, dilemma uppstår vid vissa typer av genomföringar i väggar. Transporteras värme exempelvis huvudsakligen genom strålning och konvektion i en luftkanal eller genom ledning i kanalkonstruktionen? Värmetransport i genomföringar är mycket komplext att beskriva och beräkna. Det är dock ett problem som vi endast behandlar översiktligt i den här rapporten.

Inbuktningar och förtunnningar i konstruktionen är också exempel på faktorer som ger upphov till värmetransportsproblem i två och tre dimensioner. Beaktande av mer än en dimension försvårar beräkningar, vilket gör att mer avancerade beräkningsmodeller krävs för att lösa dessa problem.

I det här arbetet sker värmetransporten huvudsakligen genom strålning och konvektion vid mellanbrädans gränssytor samt genom ledning i själva konstruktionen. De ljud- och värmeisolerande materialen som finns på ömse sidor av mellanbrädan (kapitel 4) är dock porösa, vilket innebär att en viss del av den värmetransport som räknas som ledning utgörs av strålning och konvektion.

För att ge läsaren en lite djupare inblick de olika formerna av värmetransport presenteras värmeledning, konvektion och värmestrålning lite mer ingående i nästföljande underkapitel.

5.1 VÄRMELEDNING

I fasta material sker värmetransport huvudsakligen genom ledning. En kropp strävar alltid efter att ha en homogen temperatur. Existerar en temperaturgradient i kroppen kommer energi i form av värme att transporteras från den varmare sidan till den kallare tills det att temperaturgradienten i kroppen är noll. Denna typ av värmetransport kallas för värmeledning (eller bara ledning).

Fouriers värmeledningsekvation är grundläggande för alla värmeledningsberäkningar (1).

$$\dot{q} = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

där

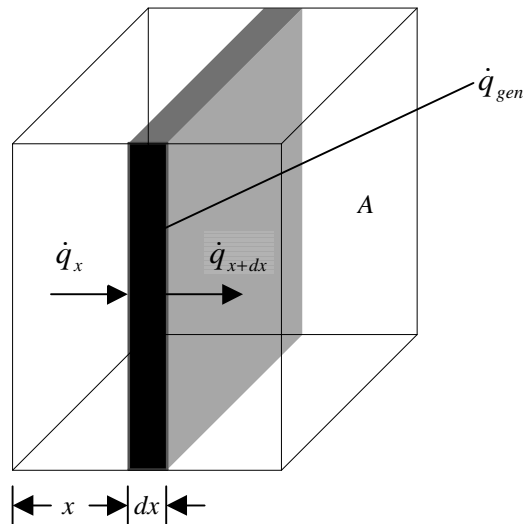
$$\begin{aligned} \dot{q} &= \text{den verkande värmeeffekten [W]} \\ k &= \text{värmeledningstalet, [W/(m·K)]} \\ A &= \text{kroppens yta [m}^2\text{]} \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= \text{temperaturgradienten i värmeflödets riktning [K/m].} \end{aligned}$$

Minustecknet härrör från att temperaturgradienten är negativ räknat från den varma sidan.

För endimensionellt flöde i en kropp gäller att: (figur 5-2)

Energi som leds in i vänster sida av elementet (2) + värme som genereras i elementet (3)

= ändringen i inre energi (4) + energi som leds ut genom höger sida (5)



Figur 5-2 Element för analys av endimensionell värmeledning (ritad med utgångspunkt från figur 1.2 i Holmans Heat Transfer /5/).

$$\dot{q}_x = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

$$\dot{q}_{gen} = \dot{q}''' \cdot A \cdot dx \quad (3)$$

$$\rho \cdot c \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \cdot dx \quad (4)$$

$$\dot{q}_{x+dx} = \left[-k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x+dx} = -A \cdot \left[k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) \cdot dx \right] \quad (5)$$

där

$$\begin{aligned}\dot{q}_{gen} &= \text{den genererade värmen i materialet [W]} \\ \dot{q}''' &= \text{den genererade värmen i materialet per volymenhet [W/m}^3\text{]} \\ c &= \text{specifik värmekapacitet [J/(kg}\cdot\text{K)]} \\ \rho &= \text{densitet [kg/m}^3\text{].}\end{aligned}$$

Tillsammans ger detta följande ekvation (6)

$$\begin{aligned}-k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{q}''' \cdot A \cdot dx &= \rho \cdot c \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \cdot dx + -A \cdot \left[k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) \cdot dx \right] \\ \Rightarrow \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{q}''' &= \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (6)\end{aligned}$$

Den tredimensionella lösningen (7) på värmeledningsproblemet blir snarlik den endimensionella:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q}''' = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (7)$$

5.2 KONVEKTION

Konvektion är värmetransport som sker genom att en fluid i rörelse transporterar värme. Konvektion brukar delas upp två huvudtyper:

- ❑ Naturlig konvektion (egenkonvektion)
- ❑ Påtvingad konvektion

Vid naturlig konvektion uppstår rörelser i fluiden till följd av temperaturskillnader. Ett bra exempel på naturlig konvektion är kallras. Kallras uppstår då varm luft passerar en kall yta. Luften erhåller vid den kalla ytan lägre temperatur än övrig rumsluft och "rasar" då ner till golvet (kall luft är tyngre än varm) och skapar på så sätt ett drag i golvnivå. I brandsammanhang sker naturlig konvektion exempelvis genom att varma brandgaser stiger upp förbi en kall väggyta och på så sätt för över värme till väggen. All den konvektion som behandlas senare i den här rapporten är naturlig konvektion.

Vid påtvingad konvektion tvingas en fluid att röra sig förbi en yta av annan temperatur än fluiden. Ett exempel på påtvingad konvektion är den svalkande känslan en lätt bris ger en varm sommardag. Vinden för luft över huden och då luften är kallare än huden (luften är ytterst sällan varmare än hudens egen temperatur om 34 °C på dessa breddgrader) för luften med sig värme från kroppen vilket ger en svalkande känsla.

Värmeövergång mellan en gas och en vägg genom naturlig konvektion kan beskrivas enligt följande ekvation (8):

$$\dot{q} = h_c \cdot A \cdot (T_g - T_s) \quad (8)$$

där

$$\begin{aligned} h_c &= \text{konvektiva värmeövergångstalet, [W/(m}^2\cdot\text{K)]} \\ T_g &= \text{gastemperaturen [K]} \\ T_s &= \text{väggens yttemperatur [K].} \end{aligned}$$

Det konvektiva värmeövergångstalet är beroende av temperaturen och den kinematiska viskositeten hos fluiden. Med hjälp av dimensionslösa tal kan det konvektiva värmeövergångstalet beräknas, vi skulle vilja hänvisa till Kanury's *Introduction to combustion Phenomena* /7/ eller Holman's *Heat Transfer* /5/ för vidare läsning. Det konvektiva värmeövergångstalet kan mellan en vägg och luft något förenklat beskrivas som en funktion av temperaturen. I bilaga C visas hur det konvektiva värmeövergångstalet varierar med temperaturen, enligt *Analytisk lösning av värmeledningsekvationen* /8/. Materialet i väggen påverkar endast det konvektiva värmeövergångstalet i försumbar utsträckning.

5.3 VÄRMESTRÅLNING

Värmestrålning är värme som transporteras genom elektromagnetisk strålning. Värme kan således även transporteras i vakuum. Allt material (gaser, vätskor och fasta material) strålar värme förutsatt att de är varmare än 0 K, vilket i alla fall all materia på jorden är. Stefan-Bolzmanns lag för termisk strålning beskriver hur mycket energi en perfekt svart kropp avger genom strålning (9):

$$\dot{q}_{emitterat} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (9)$$

där

$$\begin{aligned} \dot{q}_{emitterat} &= \text{avgiven strålning [W]} \\ \sigma &= \text{Stefan-Bolzmanns konstant (5,669} \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{)} \\ A &= \text{kroppens yta [m}^2\text{]} \\ T &= \text{kroppens absoluta temperatur [K].} \end{aligned}$$

I praktiken finns det inga perfekta svarta kroppar. För att ta hänsyn till detta lägges ett dimensionslöst materialberoende emissionsstal, ε ($0 \leq \varepsilon \leq 1$), till formeln (10). För den perfekta svarta kroppen blir emissionsstalet således 1.

$$\dot{q}_{emitterat} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (10)$$

I våra beräkningar betraktar vi strålningen mellan två ytor (mellan värmeelement och testyta i konkalorimetern (kapitel 7.1.1), och mellan gas och mellanbräda i datorsimuleringarna av värmetransporten i mellanbrädan (kapitel 10) som vi förenklat antar vara oändligt utbredda. Antagandet om oändligt utbredda ytor görs med anledning av att avståndet mellan ytorna är litet i förhållande till deras storlek. Strålning mellan två oändligt utbredda ytor kan beskrivas enligt följande (11 och 12):

$$\dot{q}_r'' = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{1 - (1 - \varepsilon_1) \cdot (1 - \varepsilon_2)} = \varepsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) \quad (11)$$

$$\frac{1}{\varepsilon_r} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \quad (12)$$

där

$$\begin{aligned} \dot{q}_r'' &= \text{nettostrålningen mellan ytorna [W/m}^2\text{]} \\ \varepsilon_1, \varepsilon_2 &= \text{respektive ytas emissionstal} \\ T_1, T_2 &= \text{respektive ytas absoluta temperatur [K]} \\ \varepsilon_r &= \text{resulterande emissionstalet.} \end{aligned}$$

5.4 VÄRMEÖVERGÅNG MELLAN GAS OCH GRÄNSYTA

För att kunna göra en bedömning av ytmotståndet för en gränsyta mot en omgivande gas, är det nödvändigt att ta hänsyn till både det konvektiva och det av strålning beroende ytmotståndet. Detta görs enkelt genom att göra om uttrycket för strålning mellan två oändligt utbredda ytor enligt följande (uttrycket avser värmeövergången från en varm gas till en kallare yta) (13 och 14):

$$h_r = \frac{\varepsilon_r \cdot \sigma}{(T_g - T_s)} \cdot (T_g^4 - T_s^4) \quad (13)$$

$$\Rightarrow \dot{q}_r'' = \varepsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4) = h_r \cdot (T_g - T_s) \quad (14)$$

där

$$\begin{aligned} h_r &= \text{värmeövergångstalet med avseende på strålning [W/(m}^2\text{·K)]} \\ T_g &= \text{absoluta gastemperaturen [K]} \\ T_s &= \text{absoluta yttemperaturen [K]} \\ \varepsilon_r &= \text{resulterande emissionstalet.} \end{aligned}$$

En sammanslagning av det konvektiva värmeövergångstalet h_c och värmeövergångstalet med avseende på strålning h_r (15),

$$h = h_c + h_r \quad (15)$$

ger följande uttryck (16) för att beskriva värmeövergången vid ytan mellan gas och gränsyta:

$$\dot{q}'' = (h_c + h_r) \cdot (T_g - T_s) = h \cdot (T_g - T_s) \quad (16)$$

Det konvektiva värmeövergångstalet h_c varierar med temperaturen. Värmeövergångstalet med avseende på strålning h_r är dock även beroende av materialets emissionstal. Det varierar dessutom betydligt mer med temperaturen än det konvektiva värmeövergångstalet (bilaga C). En beräkningsmässigt bättre, men också mer komplicerad, beskrivning av värmeflödet in i materialet ges om man inte bildar termen h_r (17).

$$\dot{q}'' = \varepsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4) + h_c \cdot (T_g - T_s) \quad (17)$$

6 BERÄKNINGSMODELLER

När man vill ta reda på hur väl värme transporteras i en viss konstruktion är det lämpligt att använda olika beräkningsmodeller. Dessa modeller innebär i princip att man försöker beskriva verkligheten eller de förhållanden som skall undersökas med hjälp av mer eller mindre komplicerade ekvationer. Dessa ekvationer kan vid enkla problem lösas med handberäkningar, men vid svåra problem eller då en hög detaljeringsgrad eftersträvas, krävs det datorprogram utvecklade för värmetransportberäkningar.

6.1 HANDBERÄKNINGSMODELLER

Handberäkningsmodeller kan användas vid relativt enkla värmeledningsproblem, vilket i princip innebär att de endast kan användas vid endimensionell värmetransport. Det kan dock vara bra att använda sig av enkla handberäkningar för att kontrollera resultat från datorsimuleringar.

Handberäkningar då stationära förhållanden uppstått i en konstruktion, det vill säga då $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ i alla punkter i ett tvärsnitt, är mycket enkla att genomföra. Lösningsgången för den typen av beräkning beskrivs i kapitel 8.4.1.1.

Handberäkningar kan också utföras för att beräkna temperaturen i en konstruktion vid en given tid. Vissa förutsättningar måste då uppfyllas och en del antaganden göras. Konstruktionen måste gå att betrakta som halvoändlig (dvs ingen temperaturhöjning på den icke brandutsatta gränsytan), värmeledningstal och specifik värmekapacitet måste vara konstanta och ett gemensamt värmeövergångstal för konvektion och strålning måste användas, bara för att nämna några av begränsningarna. Beräkningarna löses med hjälp av så kallade felfunktioner. För mer ingående läsning vill vi hänvisa till *Analytisk lösning av värmeledningsekvationen* /8/ eller kapitel 1-2 i SFPE Handbook, av J. A. Rockett och J. A. Milke /9/.

De värmetransportproblem som undersöks i den här rapporten anses av författarna vara för komplexa för att kunna lösas med hjälp av handberäkningar, varför de inte används i detta arbete. Det är möjligt att vissa handberäkningsmodeller kan vara tillämpbara i begränsad utsträckning för vissa värmeledningsproblem i bilar. Vi väljer emellertid att inte utreda detta närmare.

6.2 DATORPROGRAM

Det finns ett antal datorprogram för att prediktera en konstruktions värmemotstånd. De olika programmen använder sig av en-, två- eller tredimensionella värmetransportberäkningar, där de tredimensionella är mest komplicerade och sofistikerade. Vi har valt att titta närmare på det endimensionella programmet HSLAB och det tvådimensionella programmet TASEF, vilka vi för tillfället har tillgång till på Lunds tekniska högskola. Tredimensionella program går endast genom översiktligt.

6.2.1 HSLAB

HSLAB är ett datorprogram för att beräkna det endimensionella värmeledningsproblemet i väggkonstruktioner. Programmet är framtaget av Johan Eker och Stefan Vlachos vid Försvarets Forskningsanstalt (FOA) /4/, HSLAB –A program for one-dimensional heat flow problems. Det har utvecklats för att först och främst kunna bedöma värmeledningen genom en byggnadsvägg utsatt för värmepåverkan. Eftersom det är Försvarets Forskningsanstalt som tagit fram programmet, är det anpassat för användning med viss militär inriktning. I programmet finns en enklare modell inbyggd för att beräkna temperaturen i ett arkiv eller skyddsrum som utsätts för en yttre värmepåverkan.

HSLAB behandlar en instationär värmeledning genom en oändligt utbredd skiva som kan ha upp till 10 olika lager. Randvillkoren kan varieras som en funktion av tiden på bägge sidor av

den undersökta väggen. Crank-Nicholson används som lösningsmetod för att göra den differentialapproximerade numeriska lösningen (presenterad i appendix 1 i /4/).

Då programmet är från 1990 medför det inga problem vid användning på dagens datorer (det krävs att datorn har ett minne på minst 512 kb). Det är skrivet i Turbo Pascal och är anpassat för att användas i MS-DOS.

6.2.1.1 TEORI

Att datormodellen är endimensionell och behandlar instationär värmeledning innebär att temperaturen är beroende av djupet x i konstruktionen och tiden; $T(x,t)$. Funktionen gäller för följande intervall: $0 \leq x \leq L$, där L är den totala tjockleken på den undersökta väggen och $t \geq t_0$.

Vid de bägge gränssytorna, $x = 0$ och $x = L$, anges temperaturen och/eller värmeflödet. Även initialtemperaturen för hela väggen, T_0 , anges av användaren.

För varje material i väggen ges $T(x,t)$ av den allmänna värmeledningsekvationen i en dimension (18):

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(k(T) \cdot \frac{\delta T}{\delta x} \right) \quad (18)$$

där

ρ	=	densitet [kg/m ³]
c_p	=	specifik värmekapacitet [J/(kg·K)]
k	=	värmeledningstal [W/(m·K)].

Densiteten ρ och den specifika värmekapaciteten c_p anges som konstanter i HSLAB, medan värmeledningstalet k anges som en funktion av temperaturen. I programmet finns 15 av de vanligaste byggnadsmaterialen inlagda. Data för dessa material finns, förutom i själva programmet, redovisade i appendix 2 i /4/.

I gränsen mellan två lager i väggen, $x = x_I$ antas temperaturen och värmeflödet vara kontinuerligt (19 och 20):

$$T_1(x_I, t) = T_2(x_I, t) \quad (19)$$

$$-k_1(T_1(x_I, t)) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial x} = -k_2(T_2(x_I, t)) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial x} \quad (20)$$

T_1, k_1 och T_2, k_2 är temperaturen och värmeledningstalet för två intilliggande material.

Förhållandena vid de bägge gränssytorna (ytor mot omgivande gas) kan beskrivas med hjälp av fyra olika faktorer:

Yttemperaturen (21) $T = S(t) \quad (21)$

Värmeflödet genom gränssytan (22) $-k(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \pm F(t) \quad (22)$

Värmetransport genom strålning och konvektion mellan gränssytan och den omgivande gasen (23)

$$-k(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \pm \epsilon_{res} \cdot \sigma \cdot [S(t)^4 - T^4] \pm h_c \cdot [S(t) - T] \quad (23)$$

där

$S(t)$	=	omgivande gastemperatur [K]
h_c	=	konvektiva värmeövergångstalet [W/(m ² ·K)]
σ	=	Stefan-Boltzmanns konstant, 5,669·10 ⁻⁸ W/(m ² ·K ⁴)
ϵ_{res}	=	resulterande emissionstal från gränsytan och den omgivande gasen, $\epsilon_{res} = 1/(1/\epsilon_g + 1/\epsilon_y - 1)$
ϵ_g, ϵ_y	=	gasens respektive ytans emissionstal.

- Strålning från en given strålningskälla (F(t)) mot gränsytan. Hänsyn tas till värmeförluster på grund av konvektion och återstrålning (24)

$$-k(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \pm \epsilon_{res,1} \cdot F(t) \pm \epsilon_{res,2} \cdot \sigma \cdot [S(t)^4 - T^4] \pm h_c \cdot [S(t) - T] \quad (24)$$

6.2.1.2 BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHETER

Den största begränsningen med programmet är att det är ett endimensionellt beräkningsprogram, vilket gör att ingen som helst hänsyn kan tas till två- respektive tredimensionella värmeledningsproblem. Programmet ger därför osäkra resultat på små konstruktioner där hänsyn behöver tas till olika randproblem, samt ojämna konstruktioner (exempelvis en korrugerad plåtkonstruktion).

Luftspalter behandlas i HSLAB som ett fast material, det vill säga att värme antas transporteras genom ledning. I realiteten transporteras värmen genom konvektion och strålning i luftspalten till följd av temperaturskillnader i materialen på ömse sidor av luftspalten. I HSLAB finns luft som ett redan inlagt material där värmeledningstal anges för luft. Detta värmeledningstal, som varierar med temperaturen enligt appendix 2 i /4/, är framtaget för att motsvara den strålning och konvektion genom vilken värmen egentligen transporteras.

I genomgången av den numeriska metoden i appendix 1 i /4/ går Eker och Vlachos igenom ett antal osäkerheter och problem som den numeriska modellen kan ge upphov till. Det avvikande felet i beräkningarna anges till att vara $(\Delta t)^2 + (\Delta x)^2$ (i den numeriska lösningen). Ett sätt att undersöka eventuella fel i en simulering är att göra simuleringen två gånger med olika stora mätintervall. Hamnar resultaten i de båda beräkningarna nära varandra är simuleringen, med avseende på den numeriska lösningen, tillfredsställande korrekt. En annan osäkerhet är vid diskontinuiteter i indata eller snabba förändringar av initiala värden eller gränsvärden då de beräknade temperaturerna kan komma att fluktuera kraftigt. För att undvika det här problem bör beräkningarna göras med mycket små tidssteg i det kritiska området. Även kraftiga förändringar i materialdata kan vara en faktor som ger osäkerheter i utdata. Små tidssteg bör alltid användas vid kraftigt varierande indata och utdata.

Material kan som högst placeras i 10 olika lager i modellen.

6.2.2 TASEF

TASEF (Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire) /10/ är framtaget för att beräkna temperaturer i konstruktioner exponerade för brand. Programmet använder sig av tvådimensionella beräkningar och är utvecklat av Ulf Wickström vid SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut).

För att lösa den tvådimensionella värmetransportsekvationen använder sig TASEF av finita elementmetoden. Ekvationen gör det möjligt att ta hänsyn till tvådimensionella geometrivarationer. Konstruktionen som analyseras kan definieras av flera materiallager, vilkas enskilda termiska materialegenskaper kan varieras med tiden. Värmeflödet mot gränssytor på grund av strålning och konvektion kan specificeras. Brandpåverkan kan uttryckas

med hjälp av temperaturkurvor. Värmetransport på grund av strålning genom inneslutna håligheter beräknas med hjälp av synfaktor.

Den version av TASEF-paketet vi har att tillgå är från 1990 och består av temperaturanalysprogrammet TASEF samt indataprogrammet INTASEF. Paketet använder sig av 380 kb och är anpassat att för att användas i MS-DOS. Det finns en nyare version av TASEF (SUPER-TASEF).

6.2.2.1 TEORI

TASEF bygger på den transienta tvådimensionella värmetransportekvationen enligt (25):

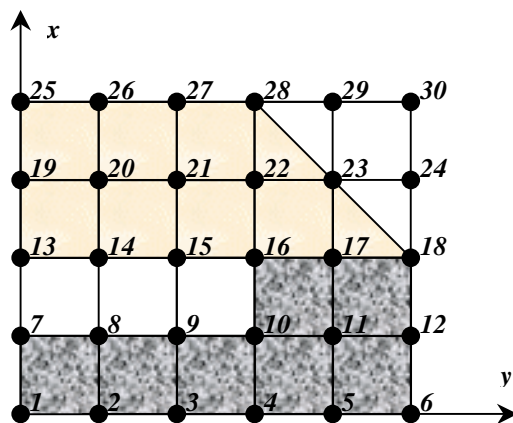
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{\partial e}{\partial t} + Q = 0 \quad (25)$$

där

x, y	=	koordinater [m]
T	=	temperatur [K]
k	=	värmeledningstal [W/m·K]
e	=	specifik volymetrisk entalpi [J/m ³]
t	=	tid [s]
Q	=	egengenererad värme [W/m ³].

För att lösa ekvationen använder sig TASEF av finita elementmetoden, vilket innebär att den analyserade konstruktionen delas in i element definierade med hjälp av nodpunkter. Elementens temperatur approximeras med de för varje tidssteg framräknade nodtemperaturerna.

Vår version av TASEF är begränsad till användning av rektangulära och rätvinkliga triangulära element, se figur 6-1. Varje nod tilldelas ett nummer och ett koordinatpar i planet och elementen tilldelas termiska egenskaper beroende på materialregion och medelnodtemperatur.



Figur 6-1 Finit elementrutnät med noder samt rektangulära och triangulära element. Varje nod tilldelas ett specifikt nummer och koordinatpar.

Värmeöverkan på gränssytorna kan definieras genom omgivande gastemperatur, gränsmaterialets yttemperatur eller ett användarspecificerat infallande värmeflöde. Värmeöverkan mot gränssytor till följd av strålning och konvektion beräknas enligt följande ekvation (26).

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4) + \beta \cdot (T_g - T_s)^\gamma \quad (26)$$

där

ε	=	resulteringande emissionstal
σ	=	Stefan Bolzmanns konstant [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$]
T_g	=	absolut omgivningstemperatur [K]
T_s	=	absolut yttemperatur [K]
β	=	konvektiv värmeövergångsfaktor [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
γ	=	convective heat transfer power

All typ av värmepåverkan på gränssytor kan varieras med tiden. I TASEF finns det även dimensionerande temperaturkurvor förprogrammerade vilka kan användas. Dessa är ISO 834, naturliga brandkurvor och en speciell kurva för kolvätebränder.

De materialegenskaper som skall definieras av användaren är emissionstal, vilken antas vara konstant, samt värmeledningstal och specifik volymetrisk entalpi, vilkas värde kan varieras med temperaturen. Värmeledningstalet specificeras vid ett antal temperaturnivåer och antas variera linjärt mellan dessa. Den specifika volymetriska entalpin beräknas med hjälp densitet, specifik värmekapacitet och eventuell latent värme enligt ekvationen nedan (27) och antas även den variera linjärt mellan definierade värden.

$$e = \int_{T_0}^T c \cdot \rho \cdot dT + \sum \ell_i \quad (27)$$

där

T_0	=	referenstemperatur (vanligtvis 0) [K]
c	=	specifik värmekapacitet [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
ρ	=	densitet [kg/m^3]
ℓ_i	=	latent värme vid olika temperaturnivåer beroende av t.ex. förångning av vatten eller kemiska reaktioner [J/m^3].

I TASEF finns det fyra standardmaterial, med specificerade materialegenskaper, redan definierade. Dessa är betong, stål, mineralull 50 kg/m^3 och mineralull 140 kg/m^3 .

6.2.2.2 BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHETER

Det är viktigt att konstatera att ett datorprogram inte är bättre än de modeller och de indata som används i programmet. I ett program som TASEF där det till och med finns möjlighet att variera vissa indata, är det därför extra centralt att de data som används är så korrekta som möjligt.

Att TASEF är ett tvådimensionellt program är i sig en begränsning vid komplicerade konstruktioner. Det är dock en klar förbättring, vid geometriskt komplicerade värmeledningsproblem, jämfört med endimensionella program.

När komplicerade konstruktioner approximeras med ett rutnät bestående av endast rektangulära och triangulära segment är det svårt att representera verkligheten exakt. Det kan leda till utdata som inte konvergerar mot den exakta lösningen. Detta kan dock kontrolleras genom att höja detaljnivån i rutnätet. Fås då en liknande lösning kan det konstateras att den första approximationen var tillräckligt. Om inte bör detaljnivån höjas ytterligare.

7 TESTMETODER

När användande av beräkningsmodeller inte är ett alternativ, eller inte räcker för att nå ett tillfredsställande resultat med avseende på de utdata som eftersträvas, kan det krävas att tester utförs för bedömning av värmetransport i konstruktioner. Tester kan även utföras för att ta fram materialparametrar som krävs som indata i beräkningar. De olika typer av tester som används kan delas in i klasserna småskalaförsök samt fullskalaförsök.

7.1 SMÅSKALEFÖRSÖK

Utbudet av småskaliga testmetoder, med avseende på brand, av olika material och produkter är stort. Olika företag har ofta egna testmetoder. Vanligen är det affärsmässiga skäl som gör att ett företag utvecklar en egen testmetod. Ibland kan nationella standarder förekomma för vissa typer av mätningar. Det kan framförallt röra sig om länder där en viss produkt eller materialtyp måste genomgå någon form av brandtest för ett statligt godkännande. Exempel på organisationer som har utvecklat standardiserade testmetoder med avseende på brand är; NBS (National Bureau of Standards), NIST (National Institute of Standards and Technology) och ASTM (American Society for Testing and Materials) i USA och SP (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut) i Sverige. Internationellt arbetar ISO (the International Organization for Standardization) med att utveckla standarder för bland annat olika testmetoder.

Konkalorimeter är en av ISO standardiserad testmetod för att mäta effektutvecklingen från byggnadsmaterial (ISO 5660-1:1993). Testmetoden kan med fördel även användas för att bestämma ett material eller en produkts värmeledande egenskaper. Ytterligare en tillämpning med metoden är att olika materials antändlighet kan bedömas. I konkalorimetern placeras ett prov under en konformad strålningskälla som ger en jämn strålning över hela materialprovet. En mindre huv över konstruktionen samlar upp förbränningsprodukter, på vilket sätt effektutvecklingen kan bedömas. Metoden beskrivs närmare i kapitel 7.1.1.

Miniugnsprovning är en annan metod för att bedöma värmetransporten genom ett brandutsatt material. Metoden är framtagen och standardiserad av Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. I testmetoden placeras provet som en vägg i en provugn (miniugn). Ugnen värms med hjälp av gasolbrännare. På så sätt kan man få materialprovet att utsättas för lågor och inte bara strålningen från en fast strålningskälla.

Anthony Hamins använder sig av en annan typ av provuppställning i *Evaluation of Intumescent Body Panel Coatings in Simulated Post-Accident Vehicle Fires /11/* som är en del i det brandprojekt som General Motors sponsrar till följd av en förlikning i en amerikansk domstol. Hamins utreder i rapporten hur brandskyddsfärger kan tänkas hindra brandspridning genom bland annat mellanbrädan i en, för kollision utsatt, bil. Hamins sätter det undersökta metallprovet horisontellt respektive vertikalt över en kvadratisk propanbrännare och sedan mätt temperaturen med hjälp av 5 respektive 8 stycken 0,5 millimeters termoelement på provelementets icke brandutsatta sida.

Vi använder oss av konkalorimetern som småskalig testmetod i vårt arbete. Den främsta anledningen till detta är att denna metod är tillgänglig för oss samtidigt som det är en vedertagen testmetod i Sverige.

7.1.1 KONKALORIMETER

Konkalorimetern är en testmetod som standardiserats av ISO, ISO 5660-1:1993 /12/ *Rate of heat release from building products (Cone calorimeter method)*. Konkalorimetern har tagits fram för att kunna bedöma byggnadsmaterials effektutveckling då de är involverade i en brand (det går självklart lika bra att testa andra typer av material). Istället för att antända materialet, använder man sig i konkalorimetern av en konformad strålningspanel för att varje test skall kunna ha exakt samma värmepåverkan (bild 7-2). Strålningspanelens effekt kan också varieras efter önskemål mellan 0 och 100 kW/m². Anledningen till att strålningspanelen är konformad är att en jämn värmepåverkan på så sätt kan uppnås över hela materialprovet.

Konkalorimetern kan användas såväl vertikalt som horisontellt. Vid vertikala tester vrids konen helt enkelt 90° och provets ställs på högkant så att prov och strålningskon inbördes är orienterade på samma håll vid båda typerna av testuppställning.



Bild 7-1 Konkalorimetern i Brandtekniks laboratorium (bilden är tagen av författarna, Lund, december 1999).



Bild 7-2 Konkalorimetern i Brandtekniks laboratorium (bilden är tagen av författarna, Lund, december 1999).

Effektutvecklingen från materialet mäts genom att syrehalten i luften kontrolleras. En huv (även den konformad) över försöksuppställningen suger upp gaser avgivna från provet (bild 7-1 och 7-2). Effekten beräknas sedan genom att 1 kg förbrukad O_2 antas motvara 13,1 MJ vid förbränning.

Även antändligheten kan bedömas av olika material med hjälp av konkalorimetern. Det kan göras genom att ett tändstift placeras strax över provytan. Tändstiftet får sedan, med av användaren angivna mellanrum, ge en gnista varvid antingen antändning sker eller inte. Antändningen delas in i 3 olika typer;

- låga som består mindre än 1 sekund,
- låga som består mellan 1 och 4 sekunder, samt
- låga som består längre än 4 sekunder.

Vi använder dock inte konkalorimetern på något av ovanstående sätt. Vi använder oss istället av den jämna och kontrollerbara värmepåverkan för att bedöma värmetransporten genom olika material. Med hjälp av termoelement mäts gastemperaturer direkt ovanför provet, på provets bägge gränssytor och mellan eventuella lager av material. Med dessa data samt genom att antaga det konvektiva värmeövergångstalet h_c , emissionstalet ϵ och den specifika värmekapaciteten c_p beräknar vi värmeledningstalet k . Genom att lägga en ordentlig isolering med kända materialegenskaper som nedersta lager i ett prov kan beräkningar utföras som för ett halvoändligt material förutsatt att ingen temperaturökning sker på provets undersida, vilket underlättar beräkningarna att ta fram det okända materialets egenskaper. Alternativt kan försöket tillåtas fortgå tills dess att stationära förhållanden uppnås, det vill säga "steady state".

7.1.1.1 BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHETER

De föreskrifter som står i ISO 5660-1:1993 /12/ avser framförallt då kalorimetrimätning (mätning av effektutvecklingen) görs. En del saker är dock viktiga även för våra mätningar av värmetransporten i testmaterialen.

Temperaturen måste kunna hållas stabil i strålningskonen. Fluktuationer kan tillåtas på ± 2 °C. Vidare får strålningen i en centralt placerad kvadrat om 5×5 cm² inte variera med mer än ± 2 % vid horisontell provning.

Den omgivande miljön får inte ha en luftfuktighet mindre än 20 % eller större än 80 % och temperaturen skall ligga mellan 15 och 30 °C.

Själva provet bör vara helt slätt. Är provmaterialet inte slätt bör ojämnheter vara jämnt fördelade över provytan enligt 7.1 i /12/.

Den konkalorimeter, tillhörande Brandteknik vid Lunds universitet, som vi har tillgänglig för detta arbete (bild 7-1 och 7-2) uppfyller inte ISO:s standard på framförallt en viktig punkt. Enligt ISO 5660-1:1993 skall materialprovet vara 10×10 cm². Den konkalorimeter som avdelningen för Brandteknik har, kan klara av en provstorlek om 20×20 cm². Konkalorimetern vi har att tillgå är med andra ord större än i standarden. Det borde inte innebära några problem vad det gäller testresultatens validitet. Det är snarare så att ett större materialprov möjligen ger ett bättre resultat då randproblemet blir förhållandevis mindre. Ett större prov är dessutom mer likt det verkliga fallet. I *Larger Specimens for Determining Rate of Heat Release in the Cone Calorimeter* ur Fire and Materials, vol. 10, 151-160 (1986) /13/ presenterar Ralph M. Nussbaum och Birgit A.-L. Östman skillnader mellan försök med provstorlekarna 10×10 cm² och 20×20 cm². Slutsatsen vid en jämförelse mellan provstorlekarna var att effektutvecklingen kort tid efter försöksstart (ungefär 1 minut) generellt sett var högre för det mindre provet. Det borde innebära att det mindre provet värms upp snabbare än det större.

Konkalorimetern på Brandtekniks laboratorium kan inte användas för vertikala tester vilket innebär att alla tester utförs med horisontellt liggande prover. De material som testas är i verkligheten vertikalt orienterade men då konkalorimetern endast används för att ta fram värmeledningstal för de olika material antas det att detta inte har någon avgörande betydelse (värmeledningstalet är inte beroende av hur ett material orienteras).

7.2 FULLSKALEFÖRSÖK

Fullskaleförsök innebär, som namnet antyder att en modell i full skala utsätts för de förhållanden som man vill testa.

7.2.1 TESTMETOD AV MELLANBRÄDA - VOLVO PERSONVAGNAR AB

När Volvo Personvagnar AB testar mellanbrädorna till sina fordon använder de sig av ett fullskaleförsök som utförs vid SP. Testmetoden är en Volvo-standard och ändamålet med testet är att verifiera mellanbrädans motstånd mot brandpåverkan. Nedan går översiktligt igenom testproceduren. Avsnittet avslutas med en diskussion kring testet.

7.2.1.1 UTRUSTNING OCH GENOMFÖRANDE

Vid testet skall bilen vara fullt utrustad enligt de specifikationer som gäller beträffande motorrummet, mellanbrädan och inredningen på mellanbrädans kupésida. Provet skall utföras inomhus i en brandhall för att undvika inverkan av väder och vind, vilket inte alltid är lätt (kapitel 9.2.5).

Den försöksutrustning som skall användas är två kärl med måtten $10 \times 15 \times 5$ cm³ (*lxbxh*), heptan, termoelement samt en videokamera. Termoelementen skall placeras på lämpliga ställen på mellanbrädan, t.ex. vid olika genomföringar. Antal mätpunkter samt placering bestäms av den aktuella bilmodellen. Kärlen skall placeras på vardera sidan motorn och så nära mellanbrädan som möjligt.

Innan testet startas skall motorn vara igång i 15 minuter så att delarna i motorrummet värms upp. När de 15 minuterna har gått stängs motorn av, dock med tändningsnyckeln i läge på. Kärnen fylls på med 150 ml heptan vardera och antänds. Testet filmas från mellanbrädans kupésida och branden skall pågå tills det att brandspridning i form av synliga lågor har uppträtt på kupésidan.

7.2.1.2 UTVÄRDERING AV TEST

Mellanbrädan skall inspekteras med avseende på skador som branden förorsakat och alla skador skall dokumenteras med hjälp av fotografering. Det anses extra viktigt att dokumentera var den initiala brandspridningen skett.

Efter testet skrivs en rapport som skall innehålla uppmätt genombränningstid, temperaturdiagram samt foto på de aktuella skadorna. Beräkningar anses inte relevanta och behöver således inte genomföras. Det finns i teststandarden inte specificerat vilka krav som ställs på brandmotståndet, varför rapporten inte inkluderar en diskussion kring testresultatens karaktär.

7.2.1.3 DISKUSSION

Den ovanstående testproceduren är en SP-standard som ställer tydliga specifikationer angående inkluderad utrustning samt dimensioner etc. I verkligheten görs det dock avsteg från dessa specifikationer, vilket kan illustreras med försök 980420 (kapitel 10.1.1.2), då det bland annat användes betydligt mer heptan än den föreskrivna mängden.

8 BESTÄMNING AV MATERIALPARAMETRAR

För att kunna lösa värmetransportproblem samt använda datorprogrammet HSLAB eller TASEF krävs det kunskap om vilka fysikaliska egenskaper de ingående materialen besitter. För mellanbrädan gäller det ljudabsorbenten, stålplåten, stomljudsmattan samt ljudmattan, vilken består av polyuretan och EPDM-gummi.

De parametrar som utreds är materialens densitet, specifika värmekapacitet, specifika volymetriska entalpi, värmeledningstal och emissionstal. I kapitlet utreds även vilket konvektivt värmeövergångstal som skall tillämpas vid materialens gränssytor.

Då stomljudsmattan emellertid inte varit tillgänglig för materialprovning och den endast täcker vissa delar av mellanbrädan, har författarna valt att bortse från mattans inverkan. Således inkluderas inte heller värden på stomljudsmattans materialegenskaper i detta arbete. Stomljudsmattans egenskaper vid brand eller höga temperaturer är emellertid något som vi anser bör utredas i framtiden. Vid försöket 991116 skedde brandspridning genom en konstruktion som täcktes av ett asfaltmaterial likt stomljudsmattan.

8.1 DENSITET

Densiteten för materialen i mellanbrädan bestäms genom längdmätning och vägning av materialprover. Densiteten för polyuretan och EPDM-gummi i ljudmattan antages vara homogen. För ljudabsorbenten beräknas densiteten för varje provkropp som används (dessa värden presenteras i bilaga A). Densiteten för stålplåten är tagen enligt det värdet som är inlagt för materialet ”STEEL” i datormodellen HSLAB. I datormodellen TASEF anges istället den specifika volymetriska entalpin för stål, ”STM2”, (kapitel 8.3) vilken bland annat är en funktion av densiteten. I tabell 8-1 nedan presenteras de densiteter som använts i beräkningarna.

Tabell 8-1 Densitet för materialen i mellanbrädan.

Material	Densitet ρ (kg/m ³)
Ljudabsorbent	151-170 ^(*)
Stålplåt (HSLAB)	7800
Polyuretan (ljudmatta)	70
EPDM (ljudmatta)	1900

(*) I beräkningarna av värmeledningstalet för ljudabsorbenten varierar densiteten mellan 151 och 170 kg/m³. I de andra simuleringarna antas värdet 170 kg/m³.

Då beräkningarna av densiteten bygger på mätningarna av ganska små provkroppar (0,1x0,1 m² och 0,2x0,2 m²) behäftas värdena med en viss osäkerhet. Vi bedömer dock att eventuella fel är försumbara för resultatet av beräkningarna.

8.2 SPECIFIK VÄRMEKAPACITET

Den specifika värmekapaciteten antages genom ingenjörsmässiga bedömningar samt med hjälp av jämförelser med liknande material, i avsaknad av annan information. Värmekapaciteten för stålplåten togs enligt det värdet som ligger inlagt i datormodellen HSLAB. I datormodellen TASEF anges den specifika volymetriska entalpin för stål, ”STM2”, (kapitel 8.3) vilken bland annat är en funktion av den specifika värmekapaciteten. I tabell 8-2 nedan anges de specifika värmekapaciteter som använts i beräkningarna.

Tabell 8-2 Specifik värmekapacitet för materialen i mellanbrädan.

Material	Specifik värmekapacitet c_p (J/kg·K)
Ljudabsorbent	1000 ^(a)
Stålplåt (HSLAB)	500
Polyuretan (ljudmatta)	1100 ^(b)
EPDM (ljudmatta)	1400 ^(c)

- (a) Ljudabsorbenten innehåller både mineralull och textillump. Värdet är därför ett uppskattat medelvärde mellan dessa båda material. Enligt tabell A-3 i Holman /5/ är c_p för mineralull ungefär 700 J/kg·K. Textillumpen antar vi har ungefär samma specifika värmekapacitet som trä, "wood", i appendix 2 i HSLAB /4/, vilket är 1200 J/kg·K.
- (b) Värdet är taget enligt det som är givet för poluretan, "polyurethane", i appendix 2 i HSLAB /4/.
- (c) Enligt tabell 1.2 i *An Introduction to Fire Dynamics* av D. D. Drysdale /14/ anges värden på den specifika värmekapaciteten på mellan 1000 och 1800 J/kg·K för de plaster och gummin som anges i tabellen. Utifrån det antar vi att c_p till 1400 J/kg·K för EPDM.

Valet av den specifika värmekapaciteten används för beräkningen av värmeledningstalen. Skulle de antagna specifika värmekapaciteterna vara något felaktiga innebär det att värmeledningstalet kommer att anpassas så att beräkningen ändå i princip blir rätt.

Den specifika värmekapaciteten varierar egentligen något med temperaturen. Vi har dock antagit konstanta värden.

8.3 SPECIFIK VOLYMETRISK ENTALPI

Den specifika volymetriska entalpin, e , som är materialindata i TASEF, är en funktion av densiteten, specifika värmekapaciteten samt eventuell latent värme (27) (kapitel 6.2.2).

$$e = \int_{T_0}^T c \cdot \rho \cdot dT + \sum \ell_i \quad (27)$$

Då densiteten samt specifika värmekapaciteten redan definierats som konstanta värden och eventuell latent värme antas vara försumbar är beräkningarna relativt lätta att utföra. Det räcker med att konstatera att $e = 0$ för $T = 0^\circ\text{C}$ samt beräkna e för $T=500^\circ\text{C}$ (tabell 8-3). e varierar då linjärt mellan de värdena.

Tabell 8-3 Specifik volymetrisk entalpi för materialen i mellanbrädan.

Material	Specifik volymetrisk entalpi e (Wh/m ³)	
	$T = 0^\circ\text{C}$	$T = 500^\circ\text{C}$
Ljudabsorbent	0	23600
Stålplåt (TASEF)	0	~610000
Polyuretan	0	10700
EPDM	0	369000

8.4 VÄRMELEDNINGSTAL

En central parameter inom värmetransporten är olika materials värmeledningstal, k . Värmeledningstalet betecknar hur väl värme leds genom material, vilket är en egenskap som kan variera med temperaturen. (Beroende på material kan k öka, minska eller förbli konstant med förändrad temperatur.) Kännedom om de ingående materialens värmeledningstal är en förutsättning för att kunna använda de tidigare nämnda datorprogrammen HSLAB och TASEF.

Värmeledningstalet är en parameter som är känd hos många standardmaterial. För de material som ingår i mellanbrädan har dessa dock inte gått att identifiera, varför vi empiriskt har försökt att bestämma dessa värden.

När ett dimensionerande värmeledningstal som kan användas vid beräkningar eller datorsimuleringar tas fram genom försök, måste ett antal bedömningar och antaganden göras. För att bedömningarna skall vara så korrekta som möjligt och inte inkludera allt för stora osäkerheter är det viktigt att det genomförs så många försök att bedömningsgrunderna kan anses starka. I detta projekt har dock material- samt tidsbegränsning inneburit att endast ett fåtal försök har kunnat genomföras. Författarna anser därför att de bedömningar av dimensionerande materialegenskaper som görs i följande avsnitt endast kan fungera som goda riktmärken, då bedömningarna inte inkluderar den kvalitetssäkring som flera försök innebär. Förhoppningsvis ger dock metodiken som används uppslag för det framtida arbetet.

8.4.1 METOD

För att ta fram de olika materialens värmeledningstal använder vi oss av en konkalorimeter. Det är viktigt att poängtera att metoden vi använder inte är en standard eller en vedertagen metod, då konkalorimetern egentligen tagits fram för andra syften (kapitel 7.1.1). Vi anser emellertid, med hänsyn tagen till uppgiftens karaktär samt de resurser som vi har till vårt förfogande, att metoden på ett tillfredsställande sätt kan tillämpas även för vårt syfte.

Det tillvägagångssätt som vi valt att använda oss av innebär att vi försöker uppnå förhållanden, vilket gör det möjligt att bestämma värmeledningstalet utan att allt för grova antaganden måste göras. Det innebär att vi försöker uppnå halvoändliga eller stationära förhållanden. Vi har även försökt att välja försöksupställningar som på ett bra sätt representerar den konstruktion som materialet är en del av.

8.4.1.1 BERÄKNINGSTEORI FÖR BESTÄMNING AV VÄRMELEDNINGSTAL

Vi har två olika möjligheter att beräkna de olika materialens värmeledningstal. Båda bygger på en rad olika antaganden och är behäftade med osäkerheter.

Det första alternativet bygger på att materialprovet läggs på ett tjockt isolerande material med känt värmeledningstal vartefter temperaturen mäts på bägge sidorna av provmaterialet i försöket. Det isolerande materialet under provet skall vara så tjockt att i princip ingen temperaturstegring sker på dess undersida. Det vill säga att det skall kunna betraktas som ett halvoändligt material. För att få fram värmeledningstalet för provmaterialet återskapas försöket i en datormodell, i detta fall HSLAB. Den frammätta yttemperaturen sätts då som indata för värmepåverkan. För en antagen konstant specifik värmekapacitet och framräknad densitet varieras värmeledningstalet tills dess att temperaturprofilen på provmaterialets andra sida konvergerar med den som mäts fram i konkalorimetern. Det är viktigt att det även i datorsimuleringen inte sker någon temperaturstegring i det isolerande materialets undersida.

Det andra alternativet förutsätter att stationära förhållanden uppstår, vilket innebär att temperaturprofilen i hela materialet inte varierar med tiden ($dT/dt = 0$). Vid stationära förhållanden, eller "steady state" som det också benämns, är värmeflödet konstant i alla tvärsnitt i provmaterialet. Följande förhållande kan då ställas upp (28):

$$\dot{q}'' = \varepsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_{kon}^4 - T_s^4) + \varepsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4) + h_c \cdot (T_g - T_s) = \frac{k \cdot (T_{x_1} - T_{x_2})}{d} \quad (28)$$

där

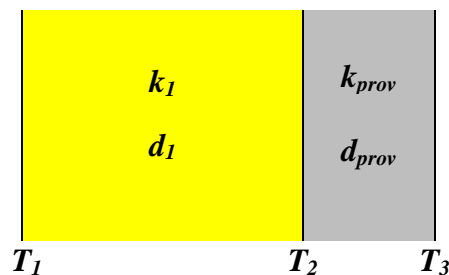
\dot{q}''	=	värmeflödet i materialet [W/m^2],
ε_r	=	det resulterande emissionstalet (för konkalorimeter blir det detsamma som emissionstalet för ytan då konen och gasen antas ha ett emissionstal = 1),
σ	=	Stefan-Bolzmanns konstant, ($5,669 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

T_{kon}	=	konens absoluta temperatur [K]
T_s	=	provmateriallets absoluta yttemperatur [K]
T_g	=	gasens, ovanför provytan, absoluta temperatur [K]
h_c	=	det konvektiva värmeövergångstalet [$W/m^2 \cdot K$]
k	=	värmeledningstalet för provmaterialet [$W/m \cdot K$]
T_{x1} och T_{x2}	=	den absoluta temperaturen i provmaterialet på avståndet x m från ytan [K]
d	=	avståndet mellan mätpunkterna för T_{x1} och T_{x2} , [m]

Problemet med det här tillvägagångssättet är att det kan vara svårt att uppnå stationära förhållanden utan att materialet ändrar sina egenskaper, på grund av till exempel smältning eller pyrolysning. Konkallorimetern måste därför användas med låg effekt, vilket även innebär att det kan ta lång tid innan stationära förhållanden uppnås. Det ger också ett lägre värde på temperaturgradienten, vilket ökar osäkerheten i beräkningen.

Har man ett värmeförmåligt materialprov där stationära förhållanden lätt kan uppnås kan beräkningen göras ännu enklare med färre antaganden. Genom att lägga ett material med känt värmeledningstal och tjocklek på provmaterialet, låta stationära förhållanden uppstå i konkallorimetern och mäta temperaturen på de bägge gränssytorna och mellan materialen (figur 8-1) kan värmeledningstalet beräknas för provmaterialet enligt ekvationen nedan (29).

$$\frac{k_1 \cdot (T_1 - T_2)}{d_1} = \frac{k_{prov} \cdot (T_2 - T_3)}{d_{prov}} \quad (29)$$



Figur 8-1 Schematisk bild av konstruktion för beräkning av värmeledningstal vid stationära förhållanden.

8.4.1.2 VAL AV METOD

På ett tidigt stadium konstaterades det att det var svårt att uppnå stationära förhållanden, med de material som provades och den försöksutrustning som användes. Detta berodde delvis på att vissa av de ingående materialen pyrolyserade, och därmed erhöll nya materialegenskaper vid en relativt låg temperatur, samt delvis på att de valda försöksgeometrierna medförde ett mycket långsamt uppvärmningsförlopp. På grund av ovanstående riktades koncentrationen mot att uppnå halvoändliga förhållanden.

8.4.2 KONKALLORIMETERTESTER

Sammanlagt utförs åtta konkallorimetertesten för ljudabsorbent och ljudmatta. Antalet tester för varje material varierar med avseende på möjligheten att ta fram lämpliga provkroppar, då de tagits från färdiga, geometriskt oregelbundna konstruktioner.

8.4.2.1 KALIBRERING AV UTRUSTNING

För att kunna genomföra konkalorimetertester som ger tillfredsställande utdata är det viktigt att försöksutrustningen är kalibrerad så att provkroppen utsätts för samma strålning över hela dess yta. Det åstadkoms genom att finna det avstånd från konen där detta uppnås. För Brandtekniks konkalorimeter har avståndskalibreringen utförts av A. Fredäng och J. Hermansson /15/, vilka anger avståndet 77 mm. En annan form av kalibrering utförs genom att strålningsnivån vid provkroppsytan mäts för olika temperaturer i konen. Denna kalibrering utfördes av författarna och åskådliggörs i diagram 8-1. Strålningen antas variera linjärt mellan de utritade mätpunkterna.

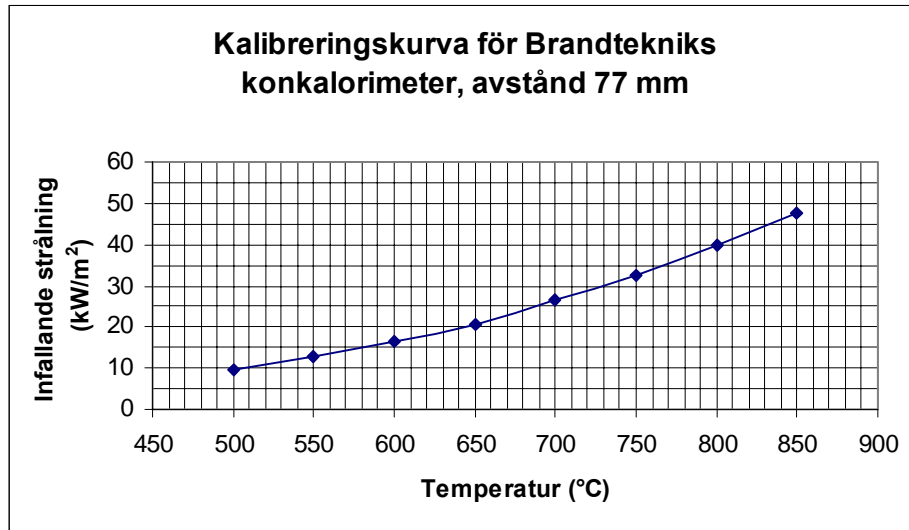


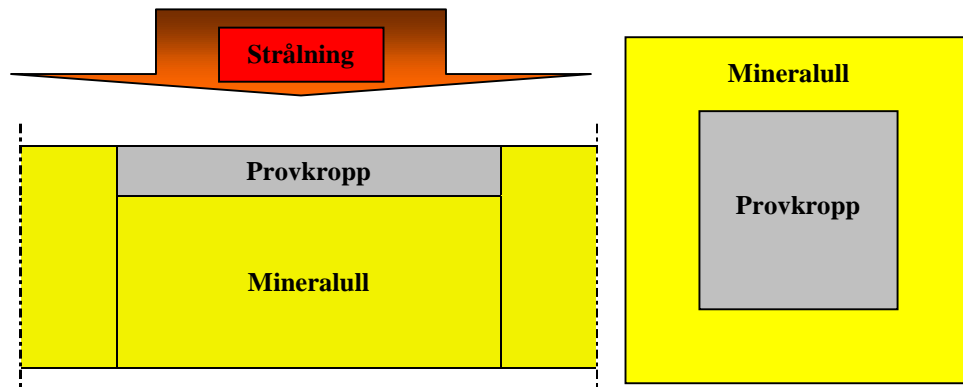
Diagram 8-1 Kalibreringskurva för Brandtekniks konkalorimeter, avstånd 77 mm.

8.4.2.2 PROVGENOMFÖRANDE OCH FÖRSÖKSGEOMETRI

Vid försöken används en konkalorimeter där provmaterialen orienteras horisontellt mot strålningskonen. Kontemperaturerna i de olika försöken varierar mellan de konstanta nivåerna 500, 550 och 600°C. Valet av temperatur grundar sig på materialtyp samt efterhand på vunna erfarenheter om pyrolysning av materialet.

Beroende på det tillgängliga provmaterialets oregelbundna karaktär var det svårt att ta fram bitar som var 20x20 cm², vilket medför att kapaciteten hos Brandtekniks konkalorimeter inte kunde utnyttjas fullt ut. Vi fick istället använda oss av provbitar som var ungefär 10x10 cm², standardmättet vid konkalorimetertester. Vid varje enskilt test bestäms provkroppens densitet med hjälp av linjal, skjutmått och våg.

Provkroppen placeras, enligt figur 8-2, ovanpå mineralull i en 10x10 cm² utskärning av en 20x20 cm² mineralullsskiva, för att undvika randeffekter. Provkonfigurationen varierar från material till material för att bäst simulera den miljö som omger materialet i mellanbrädsstrukturen samt för att inte uppnå en allt för snabb temperaturstegring med smältning, självantändning eller förkolning som följdverkan.



Figur 8-2 Vertikal respektive horisontell vy av försöksupställningen vid konkalorimetertesterna.

Med hjälp av åtta stycken termoelement typ K, kopplade mot en dator, registreras gastemperatur över ytan samt yttemperaturer i olika lager. Vid varje försök kontrolleras det att temperaturen på isoleringens undersida inte stiger så kraftigt att halvoändlighet inte kan tillämpas. Visuella observationer under försöket noteras.

Fulla redogörelser avseende provkonfiguration, termoelementens placering, visuella observationer samt resultat, för varje enskilt konkalorimetertest återfinns i bilaga A.

8.4.3 HSLAB-SIMULERINGAR

För varje enskilt konkalorimetertest undersöks det med hjälp av HSLAB vilket värmeledningstal som är karakteristiskt för det berörda materialet i det aktuella testet.

Indata i HSLAB består av provmaterialets frammätta yttemperatur, densitet, tjocklek och antagen specifik värmekapacitet, samt den underliggande mineralullens materialegenskaper. Mineralullens egenskaper antas vara överensstämmande med materialet "mineral wool", som redan är definierat i HSLAB. För den undre gränssytan krävs även emissionstal, konvektivt värmeövergångstal samt omgivningstemperatur. Emissionstalet antas vara konstant och lika med 0,7 och det konvektiva värmeövergångstalet 10 W/m-K tas från /8/ (bilaga C). Omgivningstemperaturen mäts vid respektive försök. För fullständig redogörelse av indata i HSLAB hänvisas till bilaga B, där varje försök behandlas separat.

För att bestämma vilket värmeledningstal som är karakteristiskt för det enskilda materialet, varieras värmeledningstalet för att hitta det värde eller de värden som medför en temperaturprofil motsvarande den uppmätta temperaturprofilen på materialets baksida. Värmeledningstalet varieras med temperaturen för att erhålla ett så korrekt värde som möjligt. För varje HSLAB-simulering kontrolleras även att temperaturen på isoleringens undersida inte stigit för mycket, med avseende på antagandet om halvoändlighet.

Varje test och material utreds separat och oberoende, för att det skulle gå att jämföra de olika resultaten för respektive material.

8.4.4 VAL AV VÄRMELEDNINGSTAL

När flera oberoende försök genomförs för att ta fram en materialparameter uppstår ofta problem vid utvärderingen av resultaten då mätresultaten inte sällan varierar mellan försöken. Med hjälp av ingenjörsmässiga bedömningar har vi för varje undersökt material bestämt ett värmeledningstal utifrån mätningarna i konkalorimetern.

8.4.4.1 LJUDABSORBENT

Ljudabsorbenten består av tre olika material (kapitel 4.3.1) med olika tjocklek och materialegenskaper. Materiallagren är dock så homogent packade att de inte går att separera

dem på ett sätt som anses tillfredsställande, varför ljudabsorbenten framöver i princip behandlas som ett homogent material.

Konkalorimeter och HSLAB

För ljudabsorbenten genomförs fyra tester (bilaga A.1-4). I alla fyra testerna konstaterades det att textillumpen pyrolyserar vid en temperatur på drygt 200°C på ljudabsorbentens undersida. Det innebär problem vid bedömningen av vad som är ett lämpligt värde på värmeledningstalet, då själva pyrolyseringen medför att det utvecklas extra värme, utöver det som leds in i materialet (den inre energin minskar), samtidigt som materialegenskaperna förändras. I vissa fall leder det även till att temperaturen på materialets undersida blir högre än på dess ovansida.

Det finns två sätt att angripa ovanstående problem. Antingen bedömer man att osäkerheterna i beräkningarna blir för stora när materialet börjar att pyrolysera och avslutar beräkningarna innan detta skede eller så försöker man att ta hänsyn till pyrolyseringen genom att höja materialets värmeledningstal vid en viss temperatur. När det senare alternativet väljs är det dock viktigt att konstatera att metoden inte är vetenskapligt korrekt och innebär att bedömningarna bygger på relativt grova antaganden. Man bör även veta att en höjning av värmeledningstalet inte helt kan kompensera för en värmeutveckling som innebär att materialets undersida får en högre temperatur än materialets ovansida, då detta är teoretiskt omöjligt vid värmepåverkan på materialets ovansida.

I våra beräkningar väljer vi trots detta att använda oss av det senare alternativet, då en brand i ett motorrum mycket väl kan innebära att mellanbrädan utsätts för temperaturer som medför att pyrolysering sker. Att avsluta beräkningarna då materialet når drygt 200°C innebär antagligen att de temperaturer som är intressanta att värdera ur brandspridningssynpunkt aldrig nås.

När ljudabsorbenten testas med avseende på värmeledningstal är det nödvändigt att anta en specifik värmekapacitet c_p och räkna fram en densitet, för att göra det möjligt att simulera testet i HSLAB. Specifika värmekapaciteten för materialet antas vara 1000 J/kg·K och densiteten beräknas för varje enskild provbit, då geometrin och tätheten skiljer sig från provkropp till provkropp.

Resultatet av de fyra konkalorimetertesterna med tillhörande HSLAB-simulering blir fyra olika kurvor för hur värmeledningstalet förhåller sig till temperaturen. I diagram 8-2 redovisas dessa kurvor. Kurvorna utgör basen för bedömningen av vilket utseende en dimensionerande värmeledningsskurva får.

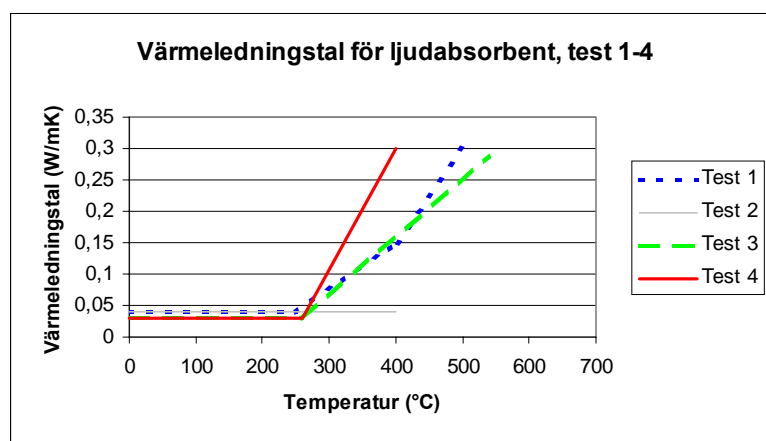


Diagram 8-2 Erhållet värmeledningstal för ljudabsorbent vid test 1-4.

Det är viktigt att observera att värmeledningstalet främst varierar för att uppnå konvergens mellan temperaturprofilerna för materialets undersida och inte för att åskådliggöra observationer av egenskapsförändringar. Således kan ingen direkt koppling göras mellan

kurvans karaktär och exakta smält- eller pyrolystemperaturer. En indirekt koppling borde dock kunna göras.

Val av Dimensionerande värmeledningskurva

Valet av dimensionerande värmeledningskurva för ljudabsorbenten grundar sig främst på de fyra konkalorimetertesterna med tillhörande HSLAB-simuleringar.

När de fyra testerna undersöks (bilaga B.1-4) konstateras det att test 2-4 är de som predikterar temperaturprofilen mest korrekt. Orsaken till att det går sämre i test 1 beror på att HSLAB inte klarar av en så kraftig ökning av värmeledningstalet som krävs för att kompensera för den kraftiga pyrolysen. Vid en närmare studie av test 2-4 visar det sig att test 2 endast sträcker sig till ca 100°C medan test 3-4 sträcker påvisar en konvergens upp till närmare 200°C. Det beslutas därmed att den dimensionerande värmeledningskurvan approximeras till ett mellanting mellan test 3 och test 4, med ett utseende enligt diagram 8-3. Värmeledningstalet antas vara 0,035 W/m·K från 0 till 260°C och sedan öka linjärt till 0,35 W/m·K vid 500°C.

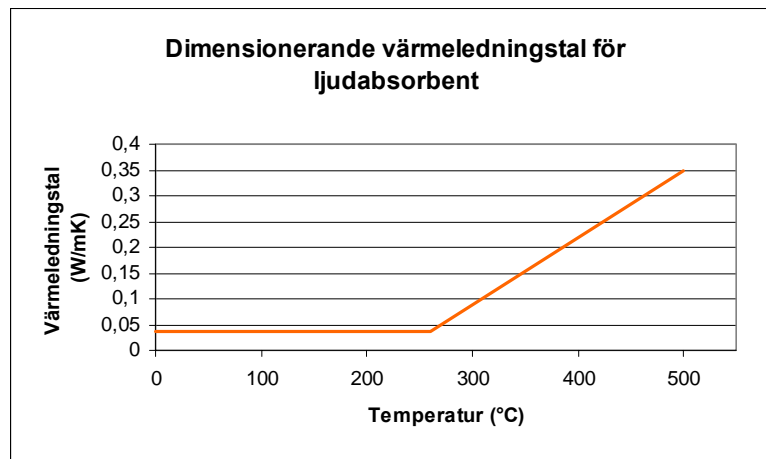


Diagram 8-3 Valt dimensionerande värmeledningstal för ljudabsorbent.

8.4.4.2 STÅLPLÅT

Värmeledningstalet för stålplåten undersöks aldrig i konkalorimetertesterna och HSLAB-simuleringarna. Det beror på att ståls materialegenskaper redan är väl kända samt definierade i de datorprogram som används i det här projektet. Författarna anser därför att man inte vinner något med att försöka att definiera stålets värmeledningsegenskaper ytterligare. Att använda sig av testresultat för att bedöma något som redan är relativt väl känt innebär bara att ytterligare osäkerheter adderas till beräkningarna. Stålplåten är även så tunn att dess egenskaper har mycket liten inverkan på värmetransporten genom konstruktionen.

Vid försöken konstateras det även att plåtens densitet stämmer väl överens med densiteten som används i datorprogrammen. Det konstaterandet styrker valet att godta de materialegenskaper som är definierade i datorprogrammen. De egenskaper som HSLAB och TASEF använder sig av visas i diagram 8-4 nedan.

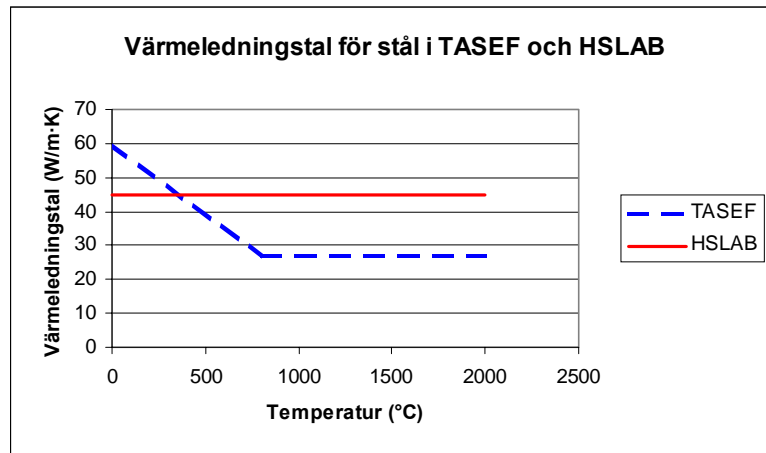


Diagram 8-4 Värmeledningstal för stål i TASEF och HSLAB.

8.4.4.3 LJUDMATTAN POLYURETAN

Ljudmattan består av två olika materiallager bestående av polyuretan och EPDM-gummi. Materialen är lätta att separera och undersöks därför separat med avseende på värmeledningstal. Vid konkalorimetertest 5 testas dock båda materialen samtidigt men placeringen av termoelementen medger en separat hantering.

Konkalorimeter och HSLAB

Polyuretanets värmeledningsegenskaper testas i konkalorimetertest 5 och 6 (bilaga A.5-6). Efter försöken konstaterades att polyuretanet smält och till viss del krympt. För att försöka ta hänsyn till detta används samma resonemang som för den pyrolyserande ljudabsorbenten (kapitel 4.3.4). Värmeledningstalet varierar alltså med temperaturen för att få en temperaturprofil för provkroppens undersida som konvergerar med de uppmätta temperaturprofilerna vid konkalorimetertesterna. De värmeledningskurvor som genererar de bäst konvergerande profilerna för test 5 och 6 åskådliggörs i diagram 8-5. För redogörelse av hur väl olika värmeledningskurvor passade för de enskilda testen hänvisas till bilaga B.5-6.

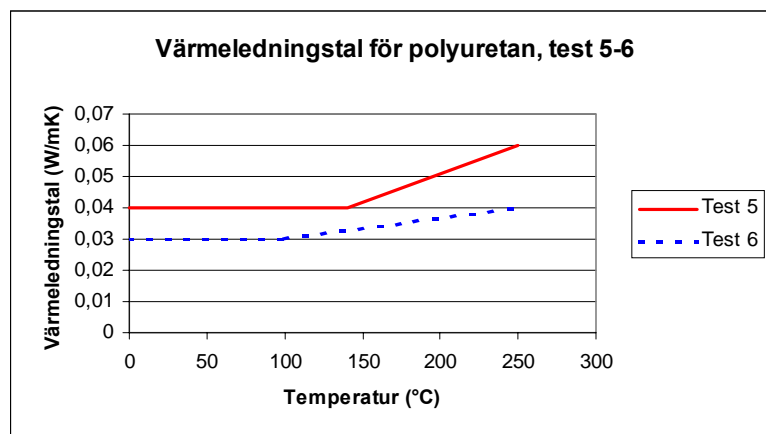


Diagram 8-5 Erhållet värmeledningstal för polyuretan vid test 5-6.

Val av Dimensionerande värmeledningskurva

Valet av dimensionerande värmeledningskurva för ljudabsorbenten grundar sig främst på de två konkalorimetertesterna med tillhörande HSLAB-simuleringar.

Vid test 5 predikteras temperaturprofilen väl upp till ca 150°C och vid test 6 till ca 100°C. Inget av testen anses beskriva temperaturprofilerna mycket bättre än det andra varför den

dimensionerande kurvan väljs till att ligga mellan de två kurvorna. Den dimensionerande kurvan således bestäms till att ha utseende enligt diagram 8-6. Värmeledningstalet antas vara 0,035 W/m-K från 0 till 150°C för att sedan öka linjärt till 0,05 W/m-K vid 250°C.

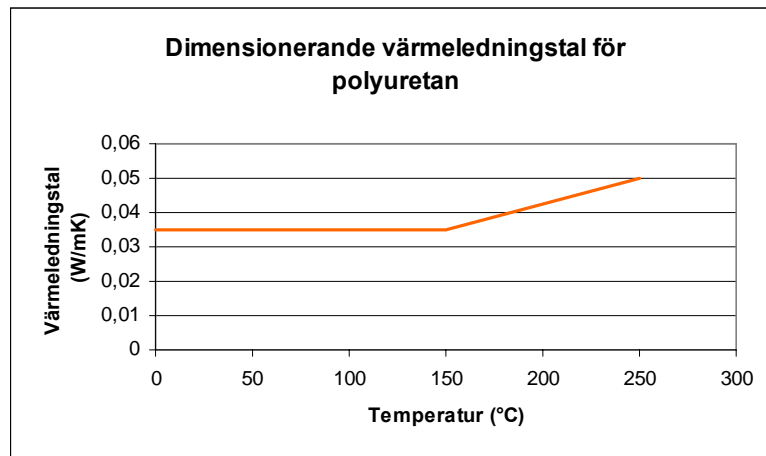


Diagram 8-6 Valt dimensionerande värmeledningstal för polyuretan.

8.4.4.4 LJUDMATTAN EPDM

Värmeledningsegenskaperna hos EPDM testas i konkalorimetertest 5 och 7 (bilaga A.5 och A.7). Försöken visar att EPDM-gummit mjuknar lite vid testtemperaturerna men att det annars behåller sin ursprungliga utformning. Vid HSLAB-simuleringarna visar det sig även att konstanta värden på värmeledningstalet väl återskapar temperaturprofilen från försöken, vilket antyder att materialet har relativt oförändrade materialegenskaper, med avseende på värmeledning, vid temperaturer upp till drygt 200°C.

I HSLAB-simuleringen för test 5 (bilaga B.7) visas det att temperaturprofilen på materialets undersida predikteras väl med ett värmeledningstal på både 0,1 och 1,0 W/m-K. Detta antyder att värdet på värmeledningstalet för en sådan tunn konstruktion har en mycket liten betydelse för slutresultatet. Utredning av test 7 (bilaga B.8) ger att ett värmeledningstal på 0,04 W/m-K passar bäst.

Val av dimensionerande värmeledningskurva

Då endast två försök har utförts och mycket varierande resultat har tagits fram anser författarna att det är olämpligt att endast förlita sig på dessa för en bedömning av materialets dimensionerande värmeledningstal. Det värde som i litteraturen ges för gummi är dock i det intervall som tagits fram i försöken, varför detta anses representera materialets egenskaper väl. Då materialet dessutom är så tunt att valet av värmeledningstal inte påverkar den totala värmetransporten i konstruktionen nämnvärt utreds inte frågan mer än så. Således bestäms att den dimensionerande värmeledningskurvan för EPDM får ett utseende enligt diagram 8-7.

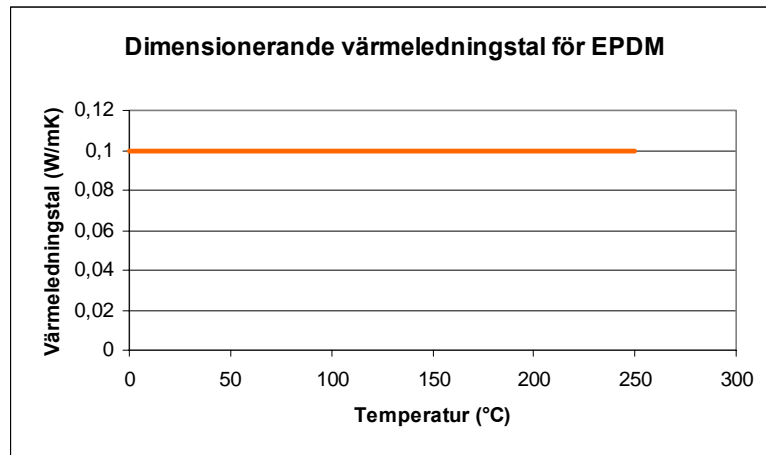


Diagram 8-7 Valt dimensionerande värmeledningstal för EPDM.

8.4.5 OSÄKERHETER VID BESTÄMNING AV VÄRMELEDNINGSTAL

Utredningen av värmeledningstalerna för materialen i mellanbrädan är behäftad med en del osäkerheter. Infästningen av termoelementen är ett problem, framförallt i ljudabsorbenten. Ljudabsorbentens yta är porös och består av små fibrer. För att mäta yttemperaturen stacks termoelementen parallellt in under materialets yta. Samma teknik användes även för polyuretan medan vi i EPDM-gummit tryckte fast spetsen i materialet och tejpede därefter termoelementet så att det skulle hålla sig på plats. För ljudabsorbenten finns risk att termoelementen inte till fullo kommit i kontakt med materialet utan att till viss del kommit att påverkas av omgivande luft.

En annan osäkerhet som uppkom i samband med försöken i konkalorimetern är hur pass bra kontakten var mellan olika lager. HSLAB förutsätter perfekt värmeöverföring i lagergränserna. Det kan i konkalorimeterförsöken ha bildats smala luftspalter mellan olika lager, framförallt för prover som inte var helt släta. Vi uppskattar emellertid eventuella överföringsförluster mellan olika material som försumbara.

Då vi använde oss av en konkalorimeter som är dimensionerad för att klara prover som är 20x20 cm² kunde vi enkelt erhålla en ganska jämn strålning över provet. En perfekt jämn strålning är självklart svårt att uppnå men vi har bedömt att eventuella strålningskillnader är försumbara. Dessutom var de termoelement vi använde oss av i beräkningarna placerade i mitten av proven på samma position som strålningsmätaren, vilken ligger till grund för kalibreringskurvan vi använt oss av för att bedöma strålningspåverkan. Till följd av placeringen i mitten bör inte randeffekterna ha någon inverkan på resultatet. Kanterna var dessutom kraftigt isolerade med mineralull vilket förstärker detta antagande.

För tunna material är det viktigt att temperaturmätningarna är mycket noggranna. Temperaturgradienten är i tunna material liten vilket gör att små fel kan ge stora utslag. Infästningen av termoelementen blir således särskilt viktig i tunna material. I våra mätningar innebär det att man bör ställa sig särskilt kritisk till resultatet för EPDM-gummit som bara är 1,6-1,7 millimeter tjockt. Som synes i varierar också resultaten ganska mycket mellan de båda testerna med EPDM.

HSLAB använder sig av numeriska beräkningsmodeller för att lösa värmeledningsekvationerna. Det medför att valet av tidssteg och lagertjocklekar påverkar säkerheten i beräkningarna. Vi har försökt att dela in varje material i minst 10 delar och hålla tidsstegen så korta som möjligt. För försöken som på gick i över 2000 sekunder fick vissa avkall göras för att beräkningarna skulle kunna utföras. Tidsstegen går i de längsta fallen upp till 20 sekunder. Vi har bedömer emellertid detta som acceptabelt då temperaturförändringar var långsamma och små.

HSLAB klarar inte av att göra beräkningar vid allt för snabba ökning av värmeledningstalet för ett material. Sätts värmeledningstalet in som en funktion av temperaturen innebär det att det starkt begränsar datorprogrammets beräkningsförmåga. Beräkningarna blir helt enkelt för komplicerade för programmet. Med tanke på kapaciteten i dagens datorer är detta ett smått pinsamt problem. En uppgradering av programmet skulle nog behövas göras. Att inte programmet klarar av att göra beräkningar vid allt för snabba ökning av värmeledningstalet innebär dock inga problem för oss då de allt för snabba temperaturstegringarna i ljudabsorbenten (vilken avses i det här fallet) kan förklaras av att materialet självantände och började glöda.

8.5 EMISSIONSTAL

Vi behöver bestämma emissionstalet (emissiviteten) för ljudabsorbentens bägge gränssytor, plåten, EPDM-gummit samt för flammen för att kunna simulera värmetransporten i mellanbrädan i HSLAB och TASEF.

8.5.1 METOD

Alla emissionstalen bedöms utefter tabellvärden för materialen eller snarlika material och våra egna ingenjörsmässiga bedömningar.

8.5.2 VAL AV EMISSIONSTAL

8.5.2.1 FLAMMOR

För att kunna bedöma värmepåverkan från flammen behöver vi veta dess emissionstal. Flammorna från branden antages ligga emot mellanbrädan vilket innebär att gastemperaturen vid mellanbrädans gränssyta i motorrummet är densamma som flammornas temperatur.

Enligt formel 5.1 a i *Brandskydd- Teori och Praktik /16/* bedöms flammans emissionstal utifrån vilket material som brinner samt flamttjockleken (30).

$$\varepsilon = (1 - e^{-a \cdot d}) \quad (30)$$

där

- a = flammans respektive brandgasernas absorptionskoefficient även kallad emissionskoefficient,
- d = flammans respektive brandgasskiktet djup, d.v.s. tjocklek, i meter.

Absorptionskoefficienter för några material står listade i tabell 5.2 i /16/. I bilmotorn kommer initialt heptan att brinna. Efter hand brinner även olja och plaster. I tabell 5.2 i /16/ ges värden på a för dieselolja och polystyren. Eftersom brandgaserna kan tänkas vara tämligen sotiga i det lilla utrymmet som motorrummet utgör och då det finns en hel del plast som kan tänkas brinna väljer vi absorptionskoefficienten för polystyren, $a = 1,2$. Flamttjockleken antas till 0,15 m, då detta är det utrymme som bedöms finnas mellan mellanbräda och motor på undersökt plats och att flammorna fyller detta utrymme.

Emissionstalet för flammorna framför passagerarsidan blir då:

$$\varepsilon = (1 - e^{-0,15 \cdot 1,2})$$

$$\varepsilon_{\text{flamma}} = 0,16$$

8.5.2.2 LJUDABSORBENT- MOTORRUMSSIDAN

Den svarta sidan av ljudabsorbenten är den som är vänd mot motorn i motorrummet. Det är således den som kommer att utsättas för strålning från flammor, brandgaser och eventuellt

andra varma ytor i motorrummet. Den svarta ytan består av färgen "black finish" som målats på mineralullen i ljudabsorbenten.

Ytan bedöms ha ett högt emissionstal. Vi uppskattar det till 0,95. I tabell A-10 i Heat Transfer av Holman /5/ ges höga emissionstal för svarta färger och grova material som tegel och takpapper vilket delvis ligger till grund för vårt val.

$$\epsilon_{\text{ljudabsorbent- motorrumssidan}} = 0,95$$

8.5.2.3 RESULTERANDE EMISSIONSTAL MELLAN FLAMMA OCH LJUDABSORBENT

Det resulterande emissionstalet för strålning mellan två parallella ytor beräknas enligt formeln (31):

$$\epsilon_r = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{yta1}} + \frac{1}{\epsilon_{yta2}} - 1} \quad (31)$$

Det resulterande emissionstalet mellan flammorna och ljudabsorbenten bli således:

$$\epsilon_r = \frac{1}{\frac{1}{0,16} + \frac{1}{0,95} - 1} = 0,16$$

$$\epsilon_r = 0,16$$

8.5.2.4 LJUDABSORBENT- TEXTILLUMPSIDAN

Den gränsyta på ljudabsorbenten som utgörs av den grå textillumpen är vänd mot plåten i mellanbrädan. Detta emissionstal används för att bedöma värmeöverföringen genom värmestrålning i luftspalten mellan ljudabsorbenten och plåten (behövs endast för indata i TASEF).

Vi bedömer att textillumpen har ett emissionstal på 0,8, på grund av dess mörka färg och karaktär. Det är en uppskattning som görs av författarna utan att beräkningar genomförs.

$$\epsilon_{\text{textillump}} = 0,8$$

8.5.2.5 PLÅTEN I MELLANBRÄDAN

Plåtens emissionstal behövs som indata i TASEF för att bedöma värmeövergången till följd av strålning i luftspalten mellan ljudabsorbenten och plåten. Plåten är lackerad vilket enligt tabell A-10 i /5/ *Paints, lacquers, varnishes* medför att emissionstalet är ungefär 0,9.

$$\epsilon_{\text{lackerad plåt}} = 0,9$$

8.5.2.6 EPDM

Mellanbrädans gränsyta mot kupén utgörs av EPDM-gummi i ljudmattan. Emissionstalet för EPDM behövs för att kunna beräkna värmeförlusten genom strålning till den omgivande luften. I tabell A-10 i /5/ ges värdet 0,94 för *Rubber, hard, glossy plate*. Vi antar att detta värde är rimligt för EPDM, särskilt med tanke på att materialet är svart.

$$\epsilon_{\text{EPDM}} = 0,94$$

8.6 KONVEKTIVT VÄRMEÖVERGÅNGSTAL

Det konvektiva värmeövergångstalet h_c bestämmer hur väl värme överförs genom konvektion, huvudsakligen mellan en fluid och ett fast material. I vårt fall är vi intresserade av värmeövergångstalet för naturlig konvektion vid en vertikal yta. Hur stort det är beror av faktorer som den kinematiska viskositeten hos fluiden, temperatur och det fasta materialets form.

8.6.1 METOD

I exempelvis *Intrudouction to Combustion Phenomena* av Kanury /7/ och i *Chapter 1-3 SFPE Handbook* av A. Atreya /17/ finns uttryck där man med hjälp av dimensionslösa tal kan beräkna det konvektiva värmeövergångstalet. I vårt fall där vi betraktar värmeövergången mellan luft och en vertikal yta kan h_c antas variera endast med temperaturen. I figur 6 i *Analytisk lösning av värmeledningsekvationen* /8/ (bilaga C) visas hur det konvektiva värmeledningstalet varierar med yttemperaturen. Utifrån dessa värden samt medelyttemperaturen för varje yta, uppskattas gränssytornas h_c .

8.6.2 VAL AV KONVEKTIVT VÄRMEÖVERGÅNGSTAL

Ljudabsorbent- sidan mot motorn

$$T_{\text{medel}} \approx 425 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad h_c = 16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Ljudabsorbent- textillumpsidan

$$T_{\text{medel}} \approx 200 \text{ }^\circ\text{C (uppskattat)} \quad \Rightarrow \quad h_c = 11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Plåten i mellanbrädan

$$T_{\text{medel}} \approx 77 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad h_c = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

EPDM

$$T_{\text{medel}} \approx 13 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad h_c = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

I TASEF finns det möjlighet att variera det konvektiva värmeövergångstalet med avseende på temperaturskillnader mellan gasen och gränssytan enligt följande ekvation (26) (kapitel 6.2.2.1):

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4) + \beta \cdot (T_g - T_s)^\gamma \quad (26)$$

där den sista termen representerar den värmetransport som sker på grund av konvektion.

Variablerna β och γ varieras då med avseende på om gränssytan är den brandutsatta sidan, den icke brandutsatta sida eller en gränssyta i en luftspalt. Följande värden ges för de tre alternativen /10/:

Brandutsatt gränsyta	$\beta = 1,0$	$\gamma = 1,33$
Ej brandutsatt gränsyta	$\beta = 2,2$	$\gamma = 1,25$
Gränsyta i luftspalt	$\beta = 1,5$	$\gamma = 1,33$

Ett konstant konvektivt värmeövergångstal erhålls då $\gamma = 1$. I bilaga F visas ett exempel på vilken inverkan det har att använda sig av TASEF:s funktion för variation av det konvektiva värmeövergångstalet jämfört med att använda sig av de antagna konstanta värdena.

9 FULLSKALEFÖRSÖK - VOLVO PROJEKTIL, 991116

Som en del i vårt projektarbete gavs vi möjligheten att delta vid ett brandtest som Volvo Personvagnar AB genomförde hösten 1999 på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) i Borås. Testet avsåg verifiering av mellanbrädans brandmotstånd hos Volvo projektbil och skulle utföras enligt den tidigare nämnda standarden, utan krav på temperaturmätningar. Vi fick dock möjlighet att, under rimliga former, påverka testets karaktär samt lägga fram önskemål om eventuella mätningar.

9.1 UTFÖRANDE

På vår begäran utfördes testet under SP:s industrikalorimeter som klarar av att mäta en effektutveckling på upp till 10 MW. Vi eftersträvade även att få mäta temperaturerna i en punkt rakt igenom hela mellanbrädan, det vill säga i varje gränsskikt, på passagerarsidan. Tyvärr var hela bilen komplett med redan monterad ljudabsorbent, ljudmatta, instrumentpanel och motor. Det innebar att det inte var möjligt att montera termoelement i en punkt rakt igenom hela konstruktionen. Vi fick istället nöja oss med att montera elementen där vi kunde komma åt. De termoelement som placerades inne i kupén monterades därför något lägre än de i motorrummet. Termoelementens placering redovisas i tabell 9-1 nedan (TC = Thermo couple, dvs termoelement).

Tabell 9-1 Termoelementens placering vid fullskaleförsöket, 991116, i Borås (höger och vänster sett i bilens färdriktning). TC = Thermo Couple, dvs termoelement.

TC	Placering
1	Gasttemperatur framför passagerarsätet (~3 cm från ljudabsorbent)
2	Gasttemperatur mitt emellan passagerar- och förarsäte (~5 cm från ljudabsorbent)
3	Gasttemperatur framför förarsätet (~3 cm från ljudabsorbent)
4	Yttemperatur på ljudabsorbenten framför passagerarsätet
5	Yttemperatur på ljudabsorbenten framför passagerarsätet
6	Plåttemperatur (på motorrumssidan) framför passagerarsätet (vänster)
7	Plåttemperatur (på motorrumssidan) framför passagerarsätet (mitten)
8	Plåttemperatur (på motorrumssidan) framför passagerarsätet (höger)
9	Yttemperatur ljudmatta på passagerarsida (vänster)
10	Yttemperatur ljudmatta på passagerarsida (höger)

Försöket utfördes enligt Volvo Personvagnars standard, med undantaget att tändskällan var två kvadratiska kärl 25x25 cm² med 2,5 cm heptan placerade på marken under mellanbrädan och framför förarsäte respektive framsäte. Vid testet hölls bagageluckan öppen. Båda framsätena och sätet i baksätet var borttagna, och ryggstödet i baksätet var framfält. Detta för att en videodokumentation av försöket skulle kunna genomföras. Sex minuter efter att de båda kärnen med heptan antänts, påbörjades släckning och försöket avbröts.

Tyvärr råde inte stabila vindförhållanden i mätlokalen. På grund av ett nyinstallerat ventilationssystem som inte kalibrerats tillräckligt, drog luften med en hastighet av uppskattningsvis 1 m/s tvärs genom lokalen. Det gjorde att värmebelastningen på mellanbrädan blev mycket ojämn då lågorna kom att luta i vindriktningen. Det blåste rakt mot sidan på bilen, från förarsidan till passagerarsidan. Detta innebar att branden var betydligt kraftigare vid hjulhuset på passagerarsidan än på förarsidan. För våra temperaturmätningar har detta förhoppningsvis ingen större betydelse då de termoelement vi placerat, med ett undantag, satt på passagerarsidan, vilken alltså var den mest brandutsatta sidan.

9.2 RESULTAT

I diagram 9-1 nedan presenteras uppmätta temperaturer vid försöket.

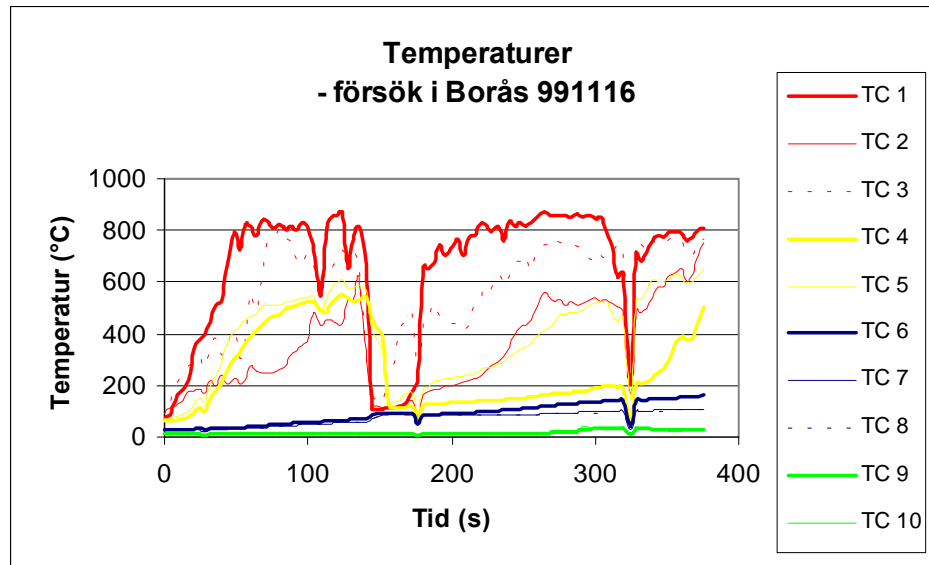


Diagram 9-1 *Temperaturer uppmätta vid fullskaleförsök i Borås 991116. Respektive termoelements placering återfinns i tabell 9-1.*

Vid tre tidpunkter, efter 28, 176 och 324 sekunder faller alla temperaturer kraftigt vid en separat mätpunkt för att sedan återgå till tidigare temperaturer. Detta har troligen orsakats av problem i mätutrustningen som någon sekund har indikerat att temperaturen skulle vara 0 °C för samtliga termoelement. Då mätning endast sker var fjärde sekund visar temperaturen ett medelvärde för varje mätpunkt under varje 4 sekunders intervall vilket förklarar varför temperaturen visar värden större än 0 °C. Således kan dessa mätpunkter bortses ifrån. Att det inte handlar om någon mycket tillfällig temperatursänkning i motorrummet förklaras av att temperaturen sjunker på båda sidor av mellanbrädan. Hade det rört sig om en vindpust eller något liknande hade temperaturen endast sjunkit på ena sidan.

De låga temperaturerna på motorrumssidan mellan 140 och 180 sekunder låter sig inte förklaras lika enkelt. Då temperaturen inte sjunker på kupésidan eller ens på andra sidan om ljudabsorbenten, där vi placerat termoelement på plåten, antyder det att någonting inträffat i motorrummet som gjort att temperaturerna sjunkit kraftigt. Vi misstänker att det kan röra sig om en deflagration i motorrummet i samband med att någon vätskebehållare exploderat och på så sätt delvis blåst ut flammorna. Vi tror alternativt att en lite kraftigare vindpust kan ha förmått lågorna att flytta sig så att de inte direkt påverkar termoelementen. Lågorna har hur som helst på något sätt kommit att påverkas i hela motorrummet. Gastemperaturen framför förarsätet är den som först åter stiger vilket tyder på att lågorna successivt kommit tillbaka. Vid datorsimuleringarna av det här fullskaleförsöket kommer gastemperaturen att tillåtas sjunka mellan 140 och 180 sekunder precis som vi mätt upp.

Efter 292 sekunder stiger temperaturen på de båda termoelementen inne i kupén på grund av en extern händelse som inte är kopplad till värmetransporten i mellanbrädan.

De uppmätta temperaturerna beskrivs mer detaljerat för varje position i kapitel 9.2.1-4.

9.2.1 BRANDGASTEMPERATUR I MOTORRUMMET

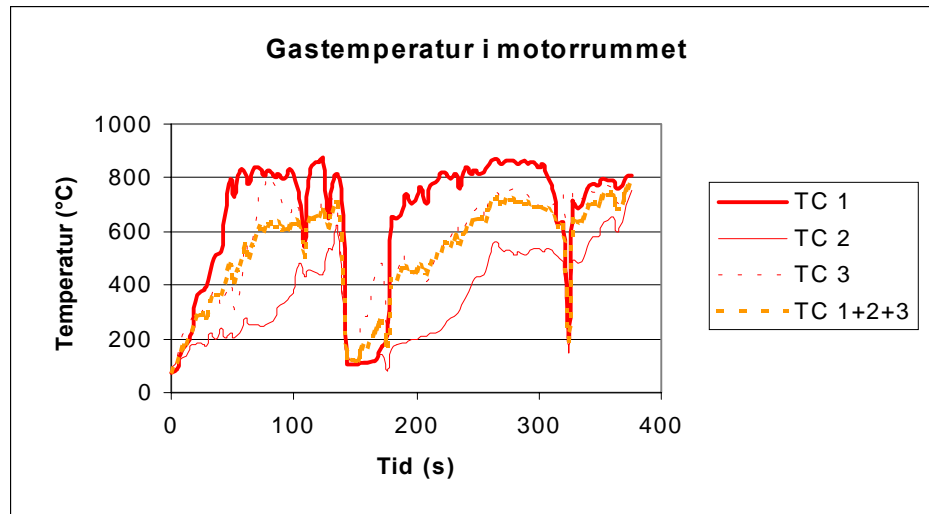


Diagram 9-2 Gastemperaturer i motorrum. Respektive termoelements placering återfinns i tabell 9-1.

De uppmätta brandgastemperaturerna i motorrummet visar på tydliga skillnader mellan de olika placeringarna; varmast framför passagerarsätet dit lågorna lutade och kallast i mitten mellan heptankärnen. Märk att TC 3 är det termoelement som börjar återhämta sig först efter det kraftiga temperaturrasat. När väl temperaturen åter börjar stiga vid TC 1 gör den det väldigt snabbt, vilket tyder på att termoelementet är direkt utsatt för flammor.

I diagram 9-2 ovan presenteras förutom de tre brandgastemperaturerna även ett medelvärde av uppmätta brandgastemperaturer, TC 1+2+3.

9.2.2 YTTTEMPERATUR- LJUDABSORBENTEN I MOTORRUMMET

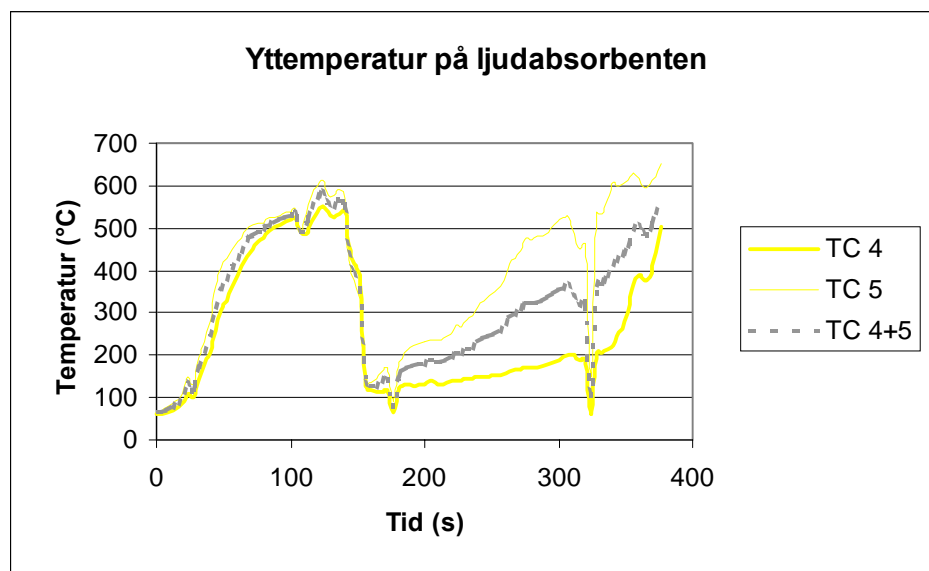


Diagram 9-3 Yttemperaturer på ljudabsorbentens motorrumssida. Respektive termoelements placering återfinns i tabell 9-1.

De två temperaturmätningarna av ljudabsorbentens yttemperatur på motorrumssidan följer varandra väl ända till det kraftiga temperaturreaset efter 140 sekunder. Att sedan inte temperaturen vid TC 4 stiger lika fort som vid TC 5 kan vi inte förklara. Möjligen har det hänt något vid infästningen av något termoelement.

I diagram 9-3 ovan presenteras förutom de två yttemperaturerna på ljudabsorbenten även medeltemperaturen för de båda mätpunkterna, TC 4+5.

9.2.3 PLÅTTEMPERATUR PÅ MOTORRUMSSIDAN

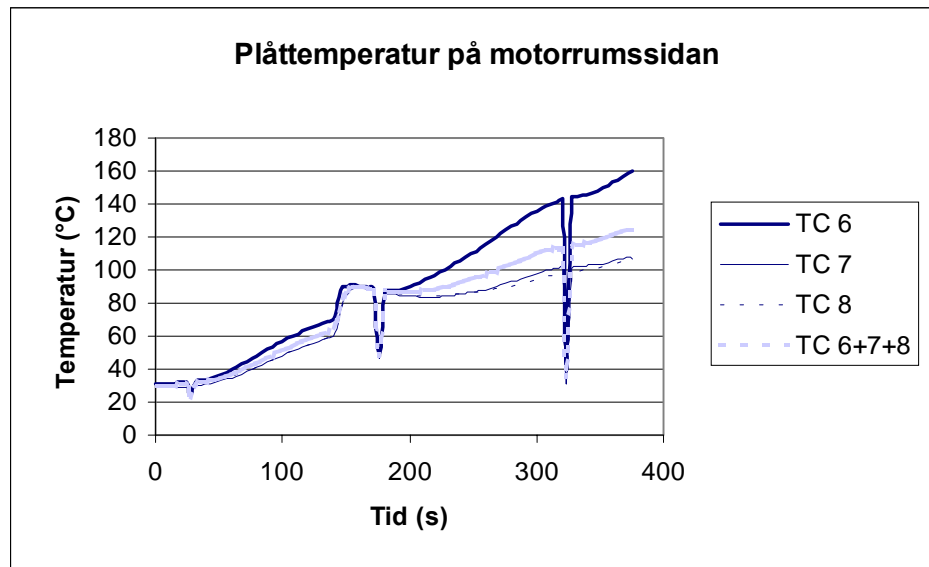


Diagram 9-4 Yttemperaturer på plåtens motorrumssida. Respektive termoelements placering återfinns i tabell 9-1.

De uppmätta plåttemperaturerna följer varandra mycket väl fram till ungefär 200 sekunder. Efter 200 sekunder, vilket också är tiden då temperaturen i motorrummet åter börjar stiga efter det kraftiga temperaturreaset, stiger temperaturen av oförklarlig anledning mer vid TC 6 än de två andra termoelementen. TC 6 är det termoelement som satt närmast bilens mitt. Någon lokal värmepåverkan bör ha orsakat den högre temperaturen i detta termoelement.

I diagram 9-4 ovan presenteras förutom de tre plåttemperaturerna även ett medelvärde av temperaturerna i de tre mätpunkterna, TC 6+7+8.

9.2.4 YTTTEMPERATUR- LJUDMATTAN I KUPÉN

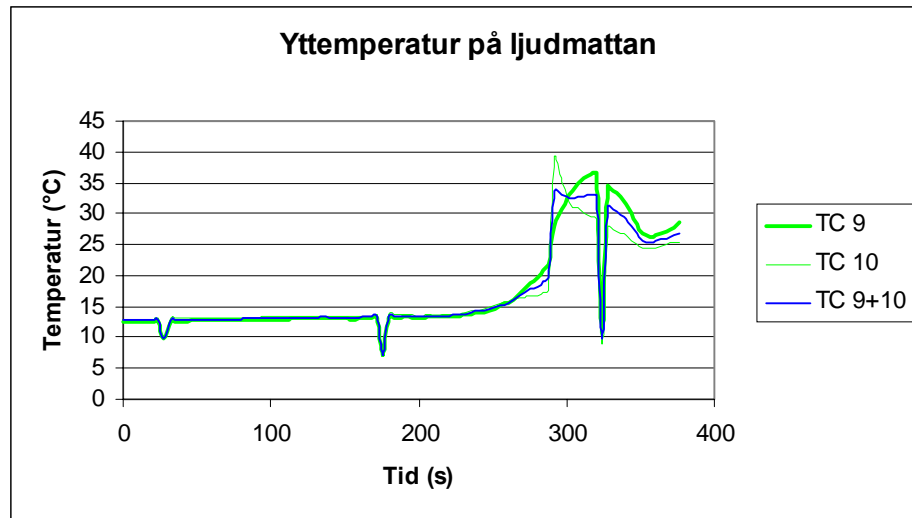


Diagram 9-5 Yttertemperaturer på ljudmattans motorrumssida. Respektive termoelements placering återfinns i tabell 9-1.

Temperaturerna i de båda termoelementen som placerats att mäta ljudabsorbentens yttertemperatur inne i kupén följer varandra väl under hela försöket. De små temperaturskillnaderna i slutet av mätningen kan förklaras av att infästningen troligen skiljer sig något mellan de båda termoelementen och att händelsen som fick temperaturen att stiga i kupén var mycket turbulent.

I diagram 9-5 ovan presenteras förutom de två yttertemperaturerna på kupésidan även ett medelvärde för temperaturerna i de båda mätpunkterna, TC 9+10.

9.2.5 EFFEKTUTVECKLING

Ventilationsförhållandena i mätlokalen gjorde att mätningen av effektutvecklingen från branden i motorrummet var helt utan värde. Uppskattningsvis samlades bara hälften av brandgaserna in i huven. Draget i lokalen gjorde att brandgasplymen låg snett och helt enkelt missade den brandgasinsamlade huven. Då försöket avslutades visade kalorimetern att branden hade en effektutveckling på 1 MW, vilken hade ökat kontinuerligt under hela testet. Det verkliga slutvärdet var kanske det dubbla men det är en mycket grov uppskattning. Vi ser i princip inget värde i effektmätningen och applicerar den inte någonstans projektet. Vi väljer ändå att presentera testresultatet, då det var vårt önskemål att mätningen utfördes. Möjligtvis kanske någon annan kan dra slutsatser av mätningarna. Uppmätt effektutveckling presenteras i diagram 9-6.

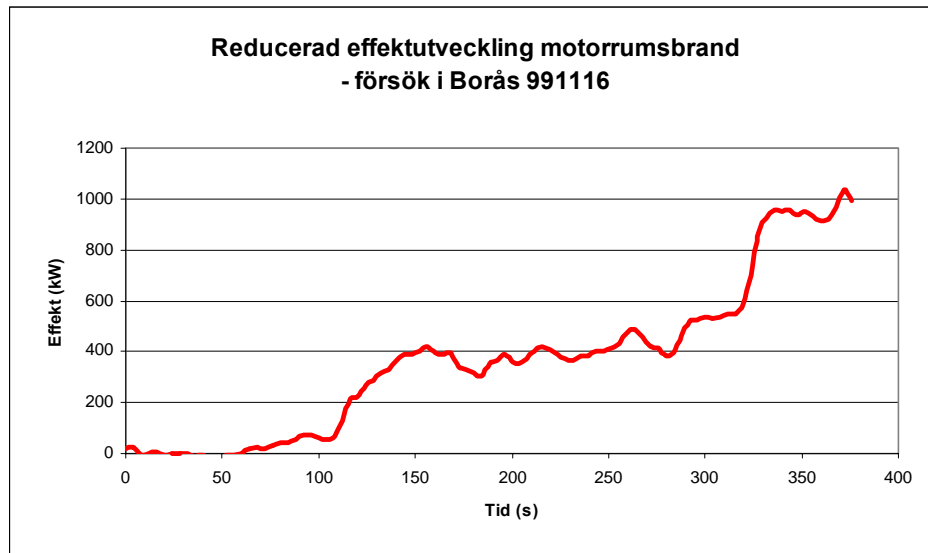


Diagram 9-6 Uppmätt effektutveckling vid fullskaleförsök i Borås 991116. O gynnsamma ventilationsförhållanden medförde att en stor del av brandgaserna ej samlades upp i huv, varför effektutvecklingskurvan är kraftigt reducerad.

10 DATORSIMULERING FULLSKALEFÖRSÖK - VOLVO PROJEKTIL, 991116

10.1 DIMENSIONERANDE BRANDPÅVERKAN

När värmetransport i konstruktioner ska predikteras med hjälp av datorsimuleringar eller tester är det centralt att bestämma vilken påverkan som skall väljas som dimensionerande. Vid brandpåverkan skulle det till exempel kunna vara en dimensionerande effektutveckling, gastemperatur, ytemperatur, strålning eller värmefflöde.

För att bedöma vad som vore passande att välja som dimensionerande brandpåverkan vid en motorrumbrand är det lämpligt att undersöka tidigare utförda testers mätresultat. En annan möjlighet är att ta reda på vilka och hur mycket material i ett motorrum som kan antändas, samt vilken effektutveckling detta teoretiskt motsvarar. Då vi har svårt att bedöma hur mycket brännbart material ett motorrum innehåller samt hur det komplexa ventilationsförhållandet i motorrummet påverkar brandens karaktär, väljer vi att koncentrera oss på resultat från tidigare utförda tester. Vi använder oss av brandgastemperaturen i motorrummet som dimensionerande brandpåverkan. Emissionstalet för brandgaser och flammor i motorrummet har bestämts i kapitel 8.5. Eftersom vi utför en simulering av det fullskaletestet som utfördes av en Volvo projektbil i Borås 991116 utgår vi från uppmätta temperaturer i detta försök. En jämförelse görs med uppmätta temperaturer från ett tidigare fullskaletest av en Volvo S80.

10.1.1 VOLVOS TIDIGARE TESTER

10.1.1.1 VOLVO PROJEKTIL

Vid fullskaletestet av Volvo projektbil i Borås 991116 mättes gastemperaturen på tre ställen i motorrummet, vilket beskrivs närmare i kapitel 9. Alla tre mäter temperaturen ett par centimeter ut från mellanbrädan; en framför förarsätet, en framför passagerarsätet och en mitt emellan de båda framsätena. Vi har valt att använda oss av gastemperaturen uppmätt av det termoelement som var placerat framför passagerarsätet. Det är ungefär vid den punkten som termoelementen i mellanbrädan är placerade och det är där branden är som kraftigast, vilket också medför att detta termoelement registrerade den högsta gastemperaturen.

Temperaturkurvan som använts som indata i datormodellerna har förenklats enligt diagram 10-1 nedan för att enklare kunna läggas in i datorprogrammen. Att lägga in den exakta uppmätta kurvan skulle kräva ett stort arbete för något som ändå är mycket osäkert. Vi bedömer därför att den förenklade temperaturkurvan ger en god beskrivning av brandpåverkan vid den undersökta positionen.

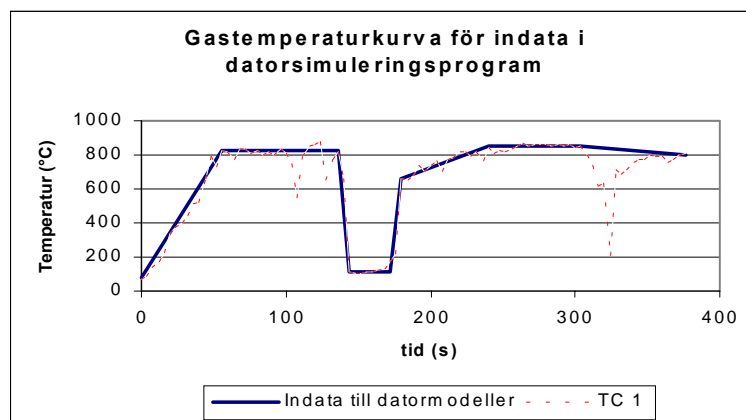


Diagram 10-1 Förenklad temperaturkurva för indata i datorprogram.

En noggrann genomgång av försöket presenteras i kapitel 9.

10.1.1.2 VOLVO S80

Volvo Personvagnar AB utförde under 1998 ett fullskaleförsök enligt standarden beskriven i kapitel 7.2.1. Försöket utfördes på modellen Volvo S80 och utdata som är av intresse vid bedömning av brandpåverkan består av gastemperaturmätningar i motorrummet, var 1,5:e sekund. Antändningskälla var två kärl, 25x25 cm², med 2,5 cm heptan som ställdes 1,1 m från bilens front och 0,28 m från respektive framhjul insida. Den temperaturkurva som erhöles visas i diagram 10-2.

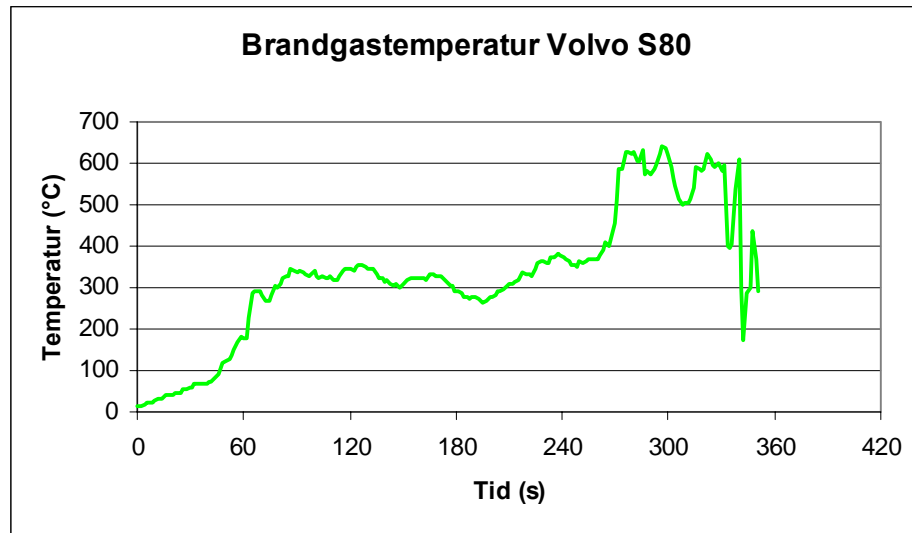


Diagram 10-2 Gastemperatur vid motorrumsbrand, Volvo S80.

Kurvans utseende karakteriseras av att släckning påbörjades 350 sekunder efter mätstart. Rökevakivering av kupé startades 100 sekunder efter mätstart. Efter provslut iaktogs brandspridning som orsakats på grund av självantändning av karosserikitt och asfaltmatta.

Det är viktigt att vid en jämförelse av gastemperaturen i det här försöket och gastemperaturerna i försöket med Volvo projektbil observera att vindförhållandena inte var de samma och att termoelementen var olika placerade.

10.2 SIMULERING I HSLAB OCH TASEF

Vi utför simuleringar av försöket i Borås 991116 med det endimensionella värmeledningsprogrammet HSLAB (kapitel 6.2.1) och det tvådimensionella programmet TASEF (kapitel 6.2.2), för att se om vi med hjälp av dessa datorprogram kan beskriva värmeledningen genom mellanbrädan.

Vi utgår från den högsta uppmätta gastemperaturen i motorrummet vid fullskaleförsöket i Borås 991116 (diagram 10-1), vilket var den framför passagerarsätet vid den del av mellanbrädan vi valt att betrakta. Anledningen till att vi väljer just denna detalj av mellanbrädan är att den är tämligen homogen och lättåtkomlig att placera termoelement i. Resultatet från datorsimuleringarna jämförs sedan med de uppmätta temperaturerna i mellanbrädan från fullskaleförsöket.

Indata till de båda datormodellerna presenteras i bilaga D.

10.2.1 SIMULERING I HSLAB

Förutom indata i bilaga D skall lagertjocklek (layer thickness), det vill säga det avståndsintervall som beräkningarna skall ske i för varje material, och tidsteg (time step, hur ofta beräkningarna skall utföras) anges i HSLAB. Önskvärt vore att göra beräkningar var fjärde sekund och dela upp varje material i minst 10 delar.

Simuleringen i HSLAB gick inte att utföra efter önskemål. Datorprogrammet klarade inte av att göra beräkningar med de indata vi angivit. Konvergensen i beräkningarna uppgavs vara för långsam. För att komma runt detta problem tvingades vi öka längden på tidsstegen och lagertjocklekarna. Detta medförde att 3 simuleringar utfördes där tidssteg och lagertjocklek (tabell 10-1) varierades.

Tabell 10-1 Lagertjocklekar vid HSLAB-simuleringar.

Material	20 s tidssteg	40 s tidssteg	60 s tidssteg
ljudabsorbent	0,005	0,0015	0,001
luftspalt (air)	0,005	0,0021	0,001
plåt (steel)	0,0005	0,0005	0,0005
polyuretan	0,005	0,0015	0,001
EPDM	0,001	0,001	0,001

Ytterligare en simulering utfördes med 20 sekunders tidssteg och de för den tiden givna lagertjocklekarna, där den initiala temperaturen i konstruktionen var $T_i = 30 \text{ °C}$.

Resultaten från simuleringarna redovisas i diagram 10-3,4,5 nedan vid de punkter där termoelement var placerade vid fullskaleförsöket. Genomsnittstemperaturen från de termoelement som placerats i varje lager har lagts in i varje diagram för jämförelse.

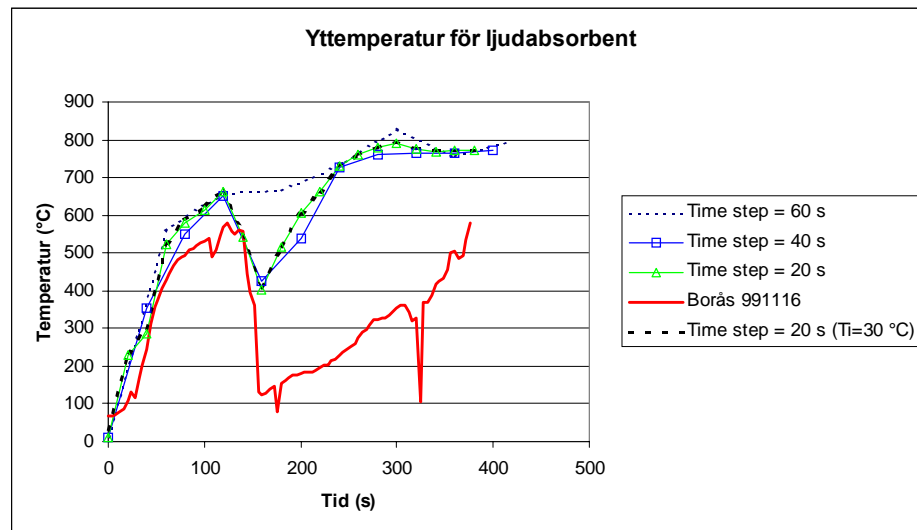


Diagram 10-3 Jämförelse av temperaturer, för ljudabsorbentens motorrumssida, erhållna vid simulering i HSLAB samt uppmätt temperatur vid fullskaleförsök.

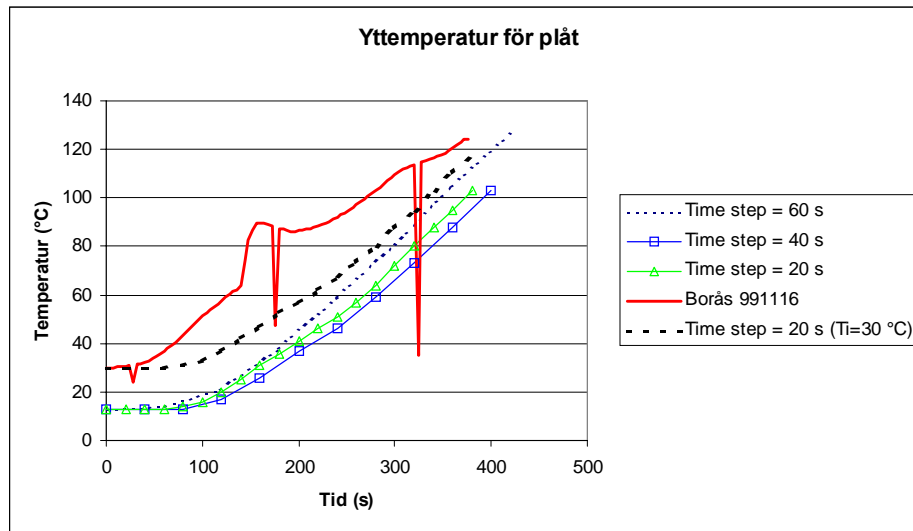


Diagram 10-4 Jämförelse av temperaturer, för plåtens motorrumssida, erhållna vid simulering i HSLAB samt uppmätt temperatur vid fullskaleförsök.

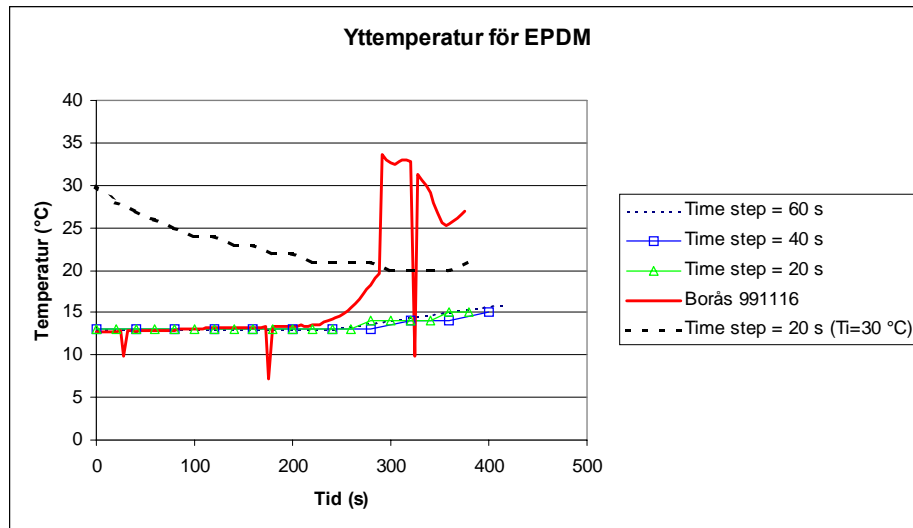


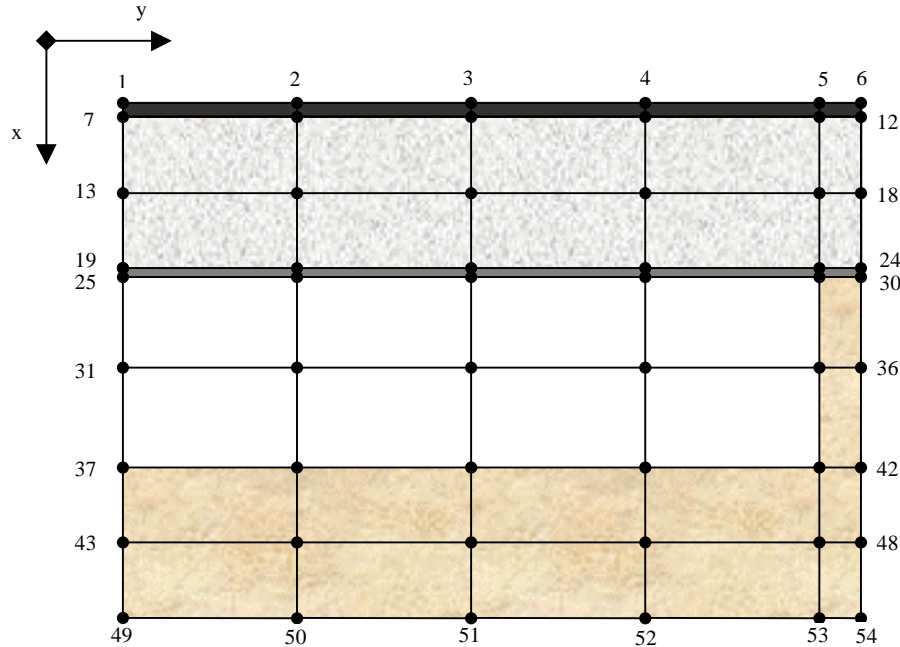
Diagram 10-5 Jämförelse av temperaturer, för ljudmattans kupésida, erhållna vid simulering i HSLAB samt uppmätt temperatur vid fullskaleförsök

10.2.1.1 KOMMENTARER

De långa tidsstegen gör att den låga temperaturen mellan 136 och 180 sekunder inte tas tillräcklig hänsyn till. Även de större lagertjocklekarna gör att beräkningarna blir sämre. Det största problemet med beräkningarna är dock att en initial temperatur tvunget måste ges för hela mellanbrädeskonstruktionen. Vi fullskaleförsöket var konstruktionen betydligt varmare närmare motorn (66 °C) än inne i kupén (13 °C). För att kunna jämföra temperaturerna vid gränssytan i kupén sattes temperaturen i konstruktionen initialt till 13 °C. Det borde innebära att temperaturen rakt igenom hela försöket borde vara lägre i datorsimuleringen än i fullskaleförsöket. Att så inte är fallet för ljudabsorbentens yttertemperatur kan bero på att mätningen med termoelement är mycket osäker för ett poröst material som ljudabsorbenten. Termoelementen kan således visa för låg temperatur. Samtidigt bygger datorberäkningarna på uppskattningar av emissionstal och konvektivt värmeövergångstal. Simuleringen där $T_i = 30$ °C ger en bättre men fortfarande dålig beskrivning av plåttemperaturen. Yttertemperaturen på kupésidan blir helt fel medan skillnaden i initialtemperatur har liten betydelse för yttertemperaturen på motorrumssidan av mellanbrädan.

10.2.2 SIMULERING I TASEF

För simuleringarna i TASEF delas konstruktionen in i materialregioner som definieras av punkter i ett koordinatsystem, enligt figur 10-1. Detta koordinatsystem fungerar även som bas för beräkningarna, vilka utförs för noderna i skärningspunkterna.



Figur 10-1 Koordinatsystem med noder och materialregioner, vilka används i TASEF-simuleringarna. Observera att figuren endast är illustrativ och inte representerar de verkliga proportionerna då t.ex. luftspalten är en meter bred och bryggan en centimeter bred.

För att göra det möjligt att använda TASEF:s funktion för beräkning av värmetransport i luftfickor (kapitel 6.2.2) är det nödvändigt att simulera en sluten luftspalt. Det görs genom att ljudabsorbenten får bilda en brygga genom luftspalten i ena hörnet av koordinatsystemet, enligt figur 10-1. För att inte bryggan skall påverka värmetransporten i konstruktionen väsentligt, antas att den endast är en centimeter bred medan luftspalten är en meter bred. När sedan koordinatsystemet i simuleringen säges vara symmetrisk kring x-axeln bildas det en två meter bred luftspalt. Med denna utformning anser vi att den värmetransport som sker genom de två yttre bryggorna är försumbar i jämförelse med värmetransporten genom luftspalten, varför konstruktionen i princip kan anses endimensionell.

Sammanlagt genomförs fem simuleringar för den givna konstruktionen. Två huvudsimuleringar med indata enligt bilaga D, där konstruktionens initialtemperatur, T_i , är 13°C respektive 30°C, en simulering där emissionstalet för luftspaltens omgivande material antas vara 0,4 istället för 0,8, samt två kontrollsimuleringar. Kontrollsimuleringarna genomförs för att kontrollera att det nodsystem och de tidssteg som används har tillfredsställande detaljeringsgrad. Simuleringarna visade att en ökad detaljeringsgrad inte förändrade simuleringresultaten nämnvärt, varför de tidigare resultaten anses representativa.

Varje simulering genomförs i knappt 360 sekunder (6 minuter) och temperaturen utläses vid de punkter där termoelement var placerade vid fullskaleförsöket. För jämförelse redovisas i diagram 10-6,7,8 de uppmätta genomsnittstemperaturerna från fullskaleförsöket och temperaturerna från simuleringarna. Simuleringen där emissionstalet antogs vara 0,4 redovisas endast i diagrammet för ståltemperaturen då det endast är i denna punkt som variationen ger utslag.

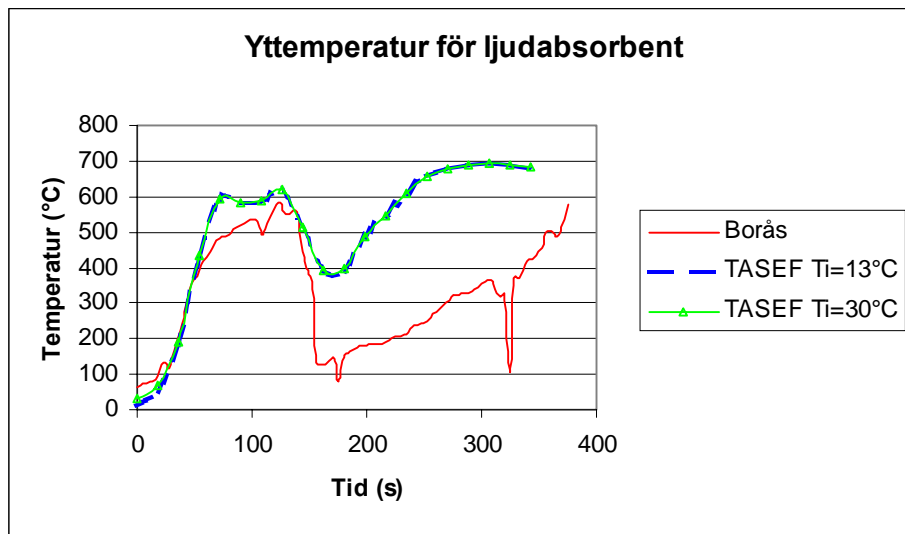


Diagram 10-6 Jämförelse av temperaturer, för ljudabsorbentens motorrumssida, erhållna vid simulering i TASEF samt uppmätt temperatur vid fullskaleförsök.

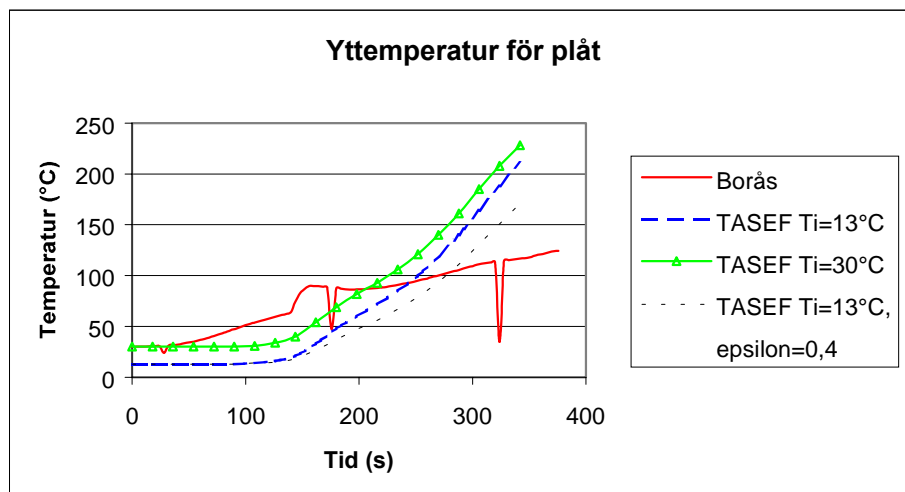


Diagram 10-7 Jämförelse av temperaturer, för plåtens motorrumssida, erhållna vid simulering i TASEF samt uppmätt temperatur vid fullskaleförsök.

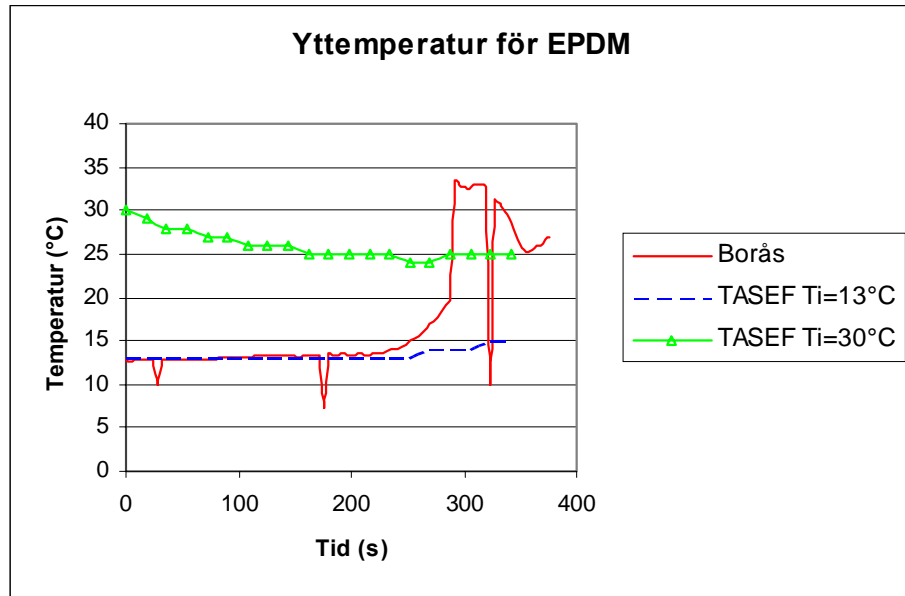


Diagram 10-8 Jämförelse av temperaturer, för ljudmattans kupésida, erhållna vid simulering i TASEF samt uppmätt temperatur vid fullskaleförsök.

10.2.2.1 KOMMENTARER

Trots att de tidssteg som används i simuleringarna är så pass korta som ungefär tre sekunder visar resultaten att datorprogrammet har svårt att prediktera den kraftiga temperatursänkning för ljudabsorbenten som detekterades vid fullskaleförsöket.

Vid simuleringarna används TASEF:s möjlighet att variera värdet på det konvektiva värmeövergångstalet h_c , vilket medför att temperaturerna i plåten blir lägre än om de antagna konstanta värdena används (i bilaga F ges exempel på vilken inverkan det har att variera det konvektiva värmeövergångstalet istället för att använda sig av de konstanta värden som vi har antagit i kapitel 8.6). Trots detta visar resultaten att plåttemperaturen stiger mycket kraftigare vid TASEF-simuleringarna än vid fullskaleförsöket, även då emissionstalet sänks till 0,4 från det antagna 0,8.

Precis som vid HSLAB-simuleringarna används samma initialtemperatur (13°C och 30°C) i hela konstruktionen. Det medför att simuleringen med $T_i=30^\circ\text{C}$ är helt missvisande för yttertemperaturen på kupésidan, samt att simuleringarna med $T_i=13^\circ\text{C}$ ger låga värden för plåttemperaturen i början av simuleringarna. Det bör dock noteras att det finns en funktion i TASEF för att ange initialtemperatur i olika punkter men att vi inte har lyckats att få denna funktion att fungera på ett tillfredsställande sätt. Problemet med att simuleringarna inte predikterar temperatursänkningen på ljudabsorbenten och stålets temperatur väl, kvarstår dock även om detta problem löses. Vår bedömning därför att simuleringarna i TASEF inte, med givna förutsättningar, på ett tillfredsställande sätt beskriver värmetransporten vid fullskaleförsöket.

10.2.3 OSÄKERHETER I DATORSIMULERINGARNA

Tyvärr är datorsimuleringarna av fullskaleförsöket i Borås behäftade med en hel del osäkerheter. Dessa kan främst härledas till fyra olika huvudkällor:

- ❑ Osäkerheter som uppkommit i samband med fullskaleförsöket.
- ❑ Osäkerheter på grund av konstruktionens utformning.
- ❑ Osäkerheter i materialdata och övrig indata i datormodellerna.
- ❑ Osäkerheter i beräkningarna i datormodellerna.

10.2.3.1 OSÄKERHETER SOM UPPKOMMIT I SAMBAND MED FULLSKALEFÖRSÖKET

Vid fullskaleförsöket i Borås uppkom en rad olika faktorer som försvårade och begränsade en datormodellering. Det drag som förekom i laborationshallen och gjorde att lågorna drogs åt sidan är självklart en av de främst bidragande osäkerheterna. Värmepåverkan från flammorna i motorrummet är svår att beskriva redan under stabila vindförhållanden. Draget i lokalen gjorde att än mer fluktuerande flammor påverkade mellanbrädan. Lyckligtvis låg flammorna mot den sida av bilen där termoelementen hade placerats, vilket gjorde att den del av mellanbrädan där termoelementen placerats ändå utsattes direkt för lågorna från branden. Brandpåverkan styrs även av motorns utformning. Följaktligen kommer den att variera även på grund av den anledningen.

Termoelementens placering och infästning är andra osäkerheter i testet. Termoelementen försöktes placeras på en rak linje igenom hela konstruktionen. Då allting var fastmonterat i bilen (panel, mattor, motor m.m.) gick inte detta fullt ut. Termoelementen placerades därför på något olika höjd i de olika lagren. Det skulle kunna innebära att de olika termoelementen påverkas olika av branden. Randeffekter kan också påverka mätresultatet i de olika punkterna. Infästningen av termoelementen är ständigt ett problem vid temperaturmätning, framförallt vid mätningar av yttemperaturen. De termoelement som fästs på plåt svetsades fast och borde ge rättvisande värden med små osäkerheter. De som monterades för att mäta yttemperaturen på ljudabsorbentens motorrumssida och kupésidan av ljudmattan fästes genom att termoelementet stacks in alldeles under ytan (i EPDM-gummit fick små hål göras för att kunna föra in termoelementen i materialet). Hur väl de uppmätta temperaturerna i dessa två lager stämmer överens med verkligheten är svårt att avgöra. Ljudabsorbenten är ett poröst material, uppbyggt av små mineralfibrer, vilket innebär att det är svårt att avgöra hur bra kontakten mellan material och termoelement var. Vi misstänker att den händelsen som fick temperaturen att sjunka kraftigt även kom att påverka infästningen av termoelementen i ljudabsorbenten.

Ytterligare en osäkerhet i beräkningarna är huruvida gastemperaturen i kupén är konstant, vilket har antagits. Mot slutet av försöket börjar yttemperaturen på kupésidan av mellanbrädan (på ljudmattan) att stiga försiktigt. Ungefär samtidigt börjar brandgaser att sprida sig in i kupén och golvet pyrolyserar på grund av brandpåverkan från en pölbrand under bilen. Det är därför svårt att avgöra huruvida temperaturen börjar öka på grund av värmetransporten i mellanbrädan eller av en eventuell temperaturstegring i kupén. Inte långt efter att temperaturen sakta börjat öka vid mellanbrädans gränssyta i kupén inträffar en extern händelse som får temperaturen att snabbt öka ungefär 20 °C. Denna händelse är inte kopplad till värmetransporten i mellanbrädan och är därför svår att ta hänsyn till vid beräkningar. Händelsen medför att det blir mycket svårt att jämföra temperaturen på mellanbrädans gränssyta i kupén från fullskaleförsöket med datorberäkningarna då nästan ingen förändring hinner ske innan händelsen.

10.2.3.2 OSÄKERHETER PÅ GRUND AV KONSTRUKTIONENS UTFORMNING

De endimensionella datorsimuleringarna av fullskaleförsöket förutsätter en oändligt utbredd, plan yta som utsätts för en jämn värmepåverkan. Så ser knappast konstruktionen ut i verkligheten. Med in- och utbuktningar, varierande tjocklekar i materialen och genomföringar är mellanbrädan inte särskilt endimensionell. Den undersökta delen av mellanbrädan är den största relativt likformiga ytan som finns i hela konstruktionen. Trots det kan det inte uteslutas att exempelvis ledning i höjd- och sidled kommit att påverka resultatet.

Som tidigare nämnts påverkar också motorrummets och motorns utformning brandpåverkan på mellanbrädan. Syretillgången är olika stor beroende på hur tätt det är i motorrummet och mängden brännbart material varierar. Förändringar i motorrummet anser vi vara en mycket viktig del att beakta vid utredning av brandsäkerheten i en ny bilmodell.

Ljudabsorbenten sitter fastmonterad i plåten i mellanbrädan med ett antal skruvar i prefabricerade hål. Att den endast är fastskruvad några få punkter innebär att luftspalten mellan ljudabsorbenten och plåten inte är tät. Vid den övre kanten kunde vi observera en flera centimeter bred springa. Detta medför att varma brandgaser kan spridas in i luftspalten, särskilt då brandgaserna till viss del stängs in i motorrummet av motorhuvens vilket gör att hela motorrummet fylls med brandgaser. Plåten kan således värmas upp av brandgaserna i tillägg

till den värme som transporteras genom ljudabsorbenten. Det kan förklara varför plåtens yttemperatur är högre vid fullskaletestet än i HSLAB-simuleringarna trots att yttemperaturen är högre i datorsimuleringarna än vid fullskaletestet. I datorsimuleringarna har vi inte kunnat ta hänsyn till värmertilskott likt det som brandgaserna tillför.

Att gaser kan komma in bakom luftspalten skulle också kunna ha en kylande effekt, om till exempel luft skulle dras in bakom ljudabsorbenten. Det skulle i så fall kunna förklara varför TASEF ger högre temperaturer på plåten än vad som uppmättes under fullskaleförsöket. Vi finner emellertid inte detta som troligt.

10.2.3.3 OSÄKERHETER I MATERIALDATA OCH ÖVRIG INDATA I DATORMODELLERNA

Värmeledningstal, specifik värmekapacitet och densitet för ljudabsorbent och ljudmatta har tagits fram med hjälp av småskaletester, beräkningar och antaganden (kapitel 8). Vi hade hoppats kunna erhålla materialdata från Volvo Personvagnar men då detta inte var möjligt, valde vi att bestämma dem själva. Det medför osäkerheter i materialdata för såväl ljudmatta som ljudabsorbent. Det är särskilt viktigt att hålla i minnet att ljudabsorbenten inte är ett homogent material även om det för enkelhetens skull betraktas som ett. Även valen av emissionstal och konvektiva värmeövergångstal är behäftade med osäkerheter (kapitel 8.5 och 8.6).

Vid våra konkalorimetertester upptäcktes att textillumpen började brinna då den blivit ungefär 200 °C på ytan. Vid 200 °C började också polyuretanutet i ljudmattan att smälta. Konsekvensen av detta är bland annat att värmeledningstalet och densiteten förändras radikalt. Vid undersökning av mellanbrädan efter genomfört fullskaletest kunde vi konstatera att varken textillumpen börjat brinna eller att polyuretanutet börjat smälta i undersökt område.

De dimensioner för ljudabsorbenten, luftspalten och stålplåten som används i datormodellen är tagna från ritningar. Ljudmattans tjocklek är uppmätt från en provkropp. Att måtten på ritningarna anger vissa avstånd innebär inte nödvändigtvis att de stämmer i praktiken på det använda provobjektet. Luftspalten kan i verkligheten vara både större och mindre än på ritningarna. Vid fullskaletestet i Borås 991116 var möjligen luftspalten något större än på ritningen då den böjts ut i samband med att termoelement svetsades fast på stålplåten.

10.2.3.4 OSÄKERHETER I BERÄKNINGARNA I DATORMODELLERNA

I HSLAB framkom två stora begränsningar vid simuleringarna, vilka båda nämns i kommentarerna till HSLAB-simuleringarna. Beräkningarna i HSLAB är för komplexa med den konfigurationen vi använde. För att kunna utföra beräkningarna tvingades vi dela upp materialet i större bitar i beräkningsmodellen och använda oss av längre tidssteg, det vill säga hur ofta modellen utför beräkningarna. För att kunna ta hänsyn till den kraftiga temperatursänkningen i brandgaserna är det viktigt att ha korta tidssteg, men genom att ha korta tidssteg tvingades vi använda stora lagertjocklekar vilket försämrar noggrannheten i beräkningarna. I TASEF registrerades inte detta problem. Tidstegen kunde göras korta och materialet kunde delas in mycket små bitar. Trots detta var det svårt att prediktera den kraftiga temperatursänkningen.

Den andra stora begränsningen är att en enhetlig initial temperatur måste anges för hela konstruktionen. Före fullskaletestet utfördes gick motorn på tomgång i ungefär 10 minuter vilket medförde en temperaturskillnad mellan de olika materialen i mellanbrädan. Ljudabsorbenten och plåten värmdes upp medan ljudmattan behöll omgivande temperatur. Temperaturskillnaderna innebar att även om HSLAB skulle återspegla värmetransporten precis som i ett fullskaletest med en homogen initial temperatur så kommer datorberäkningen alltid att ge ett visst fel i resultatet. Problemet med att inte kunna definiera olika temperaturer fanns även i TASEF, trots att en sådan funktion finns inlagd i programmet. Om det beror på användaren, manualen eller programmet kan diskuteras

10.2.4 SLUTSATSER AV DATORSIMULERINGARNA

Varken HSLAB eller TASEF ger tillfredsställande goda resultat. Utifrån de stora osäkerheter och begränsningar som simuleringarna är behäftade med ger simuleringarna i HSLAB en indikation på att värmetransporten kan simuleras med ett mer sofistikerat datorprogram och säkrare indata. Det är möjligt att TASEF skulle kunna ge bättre resultat än de vi räknat fram. Utifrån resultaten kan vi inte, med de kunskaper vi har om programmet och givna förutsättningar, dra några andra slutsatser än att TASEF inte tillfredsställande kan prediktera värmetransporten i mellanbrädan vid en motorrummsbrand. Det skall dock sägas att TASEF är ett 10 år gammalt program (vilket också HSLAB är) som är utvecklat i forskningssyfte för att bedöma värmetransporten i byggnadskonstruktioner. Det finns idag en modernare version, SUPER-TASEF, som är mer användarvänlig (för mer information om SUPER-TASEF hänvisas till Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut). Den versionen används av flera stora konsultföretag och har ett gott rykte.

11 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Detta projektarbete startade med en del frågeställningar som skulle besvaras och efterhand projektet utvecklades, dök andra frågor upp. I det här kapitlet skall vi försöka ge svar på dessa frågor samt diskutera varför vi dragit de slutsatser som vi har. Förhoppningen är att detta kapitel skall fungera som källa för vidare utveckling av Volvo Personvagnar AB:s arbete med brandsäkerheten i bilar.

Den diskussion och de slutsatser som redovisas nedan är främst relaterade till arbetet med mellanbrädans brandmotstånd. Det är emellertid troligt att en del av innehållet även kan appliceras på det brandförebyggande arbetet med andra typer av konstruktioner. Författarna avstår dock från att göra sådana bedömningar, varför det är upp till läsaren själv att bedöma det enskilda fallet.

11.1 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN VID BRAND

När en konstruktion värderas med avseende på brand är det centralt att först definiera vilka krav som ställs på konstruktionen. Bedömningen av vilka krav som skall uppfyllas baseras på till exempel konstruktionens hållfasthet eller hur omgivningen påverkas av branden. För mellanbrädan ställer Volvo Personvagnar AB i nuläget kravet att den skall förhindra brandspridning från motorrum till kupé i ett visst antal minuter. Med brandspridning avses att synliga lågor detekteras i kupén. Kravet som ställs baseras helt på en bedömning av personsäkerhet och ingen hänsyn tas till bilens potentiella restvärde efter en brand.

Då kravspecifikationen baseras på personsäkerhet anser författarna att det är viktigt att bedömningen har en koppling till de kritiska förhållanden som kan uppstå för en individ vid en motorrummsbrand. De kritiska förhållanden kan härröras till antingen:

- ❑ hög temperatur,
- ❑ hög strålning, eller
- ❑ toxicitet hos utvecklade pyrolys- och brandgaser.

Brandspridning till kupén kan kopplas till alla de nämnda faktorerna men då det inte utförs mätningar av dem vid fullskaleförsöket är det svårt att relatera till dem. Vi anser därför att det vore en positiv utveckling av brandsäkerhetsarbetet om det även utfördes mätningar av dessa parametrar. En förutsättning är dock att det då definieras vilka gränsvärden som kan accepteras. Dessa nivåer bör vara vetenskapligt framtagna.

Det är möjligt att brandspridning efter det uppställda tidskravet motsvarar de temperatur-, strålnings- och toxicitetsgränser som bedöms kritiska för människan, eller att de ligger på den säkra sidan om gränsen, men då bör dock denna hypotes säkerställas genom mätningar. Den aspekt som vi anser viktigast att utreda är hur farliga de toxiska pyrolysgaserna som utvecklas i kupén är. Vid det genomförda fullskaleförsöket observerades en kraftig gasutveckling. Att kritiska temperatur- eller strålningsnivåer uppkommer innan brandspridning sker, anses inte troligt med dagens konstruktion. De torde dock kunna uppstå i nära anslutning till brandspridningen.

11.2 BRANDSPRIDNING FRÅN MOTORRUM TILL KUPÉ

När brandspridning sker mellan motorrum och kupé torde det oftast vara genomföringar eller otätheter i mellanbrädan, ventilationskanaler eller vindrutan som representerar den svagaste länken. Att brandspridning sker inom det uppställda tidskravet genom en intakt mellanbräda, med aktuell konstruktion, bedöms inte vara särskilt troligt. Det kan därför anses onödigt att utvärdera mellanbrädans brandmotstånd utan att ta hänsyn till genomföringar etc. Vi vill dock påpeka att utvärdering av brandsäkerhet även kan innebära en materialoptimering, vilket är ack så viktigt inom bilindustrin. Det är fullt möjligt att en utvärdering av brandmotståndet kan ligga till grund för att minska brandmotståndet i mellanbrädan till fördel för en vikt- eller dimensionsminskning, då brandspridningen troligtvis sker via genomföringar ändå.

11.3 ANVÄNDNING AV DATORSIMULERINGAR

Volvo Personvagnar AB har uttryckt en önskan om att med hjälp av datorsimuleringar arbeta med brandsäkerhet på ett mer förebyggande och vetenskapligt sätt än vad endast fullskaleförsök innebär. Nedan följer en diskussion om hur vi anser att detta skulle kunna tillämpas.

Det är viktigt att notera att de bedömningar som vi gör av datormodellens applikation för utredning av värmetransport i mellanbrädan främst grundar sig på de simuleringar som utförts med programmen HSLAB och TASEF, samt våra egna tankar och idéer. Det är fullt möjligt att det finns andra program som ger upphov till andra bedömningar.

11.3.1 ERSÄTTNING AV FULLSKALEFÖRSÖK

Efter diskussion med Volvo Personvagnar AB framkom det önskemål om att vi skulle utreda om det var möjligt att ersätta fullskaleförsök med datorsimuleringar. Vår uppfattning är att datorsimuleringar kan komplettera fullskaleförsöken men inte ersätta de fullskaleförsök som används för slutverifiering av mellanbrädans brandmotstånd. Skälet till det är att vi anser att det skulle introducera alltför stora osäkerheter i bedömningarna. Följden skulle då kunna bli att en konstruktion som bedöms vara betydligt mer brandsäker än vad den är, godkänns på falska grunder. Osäkerheterna som medför att datorsimuleringar inte bedöms kunna ersätta fullskaleförsök som slutverifieringsmetod kan främst härröras från:

- mellanbrädans komplexa geometri,
- mellanbrädans många genomföringar, vilka punkterar brandmotståndet,
- osäkerheter i materialparametrar,
- datormodellernas begränsningar och modellosäkerhet, samt
- svårigheten att definiera en dimensionerande motorrummsbrand.

Mellanbrädans oregelbundna geometri medför att värmetransportproblemen som uppstår oftast kräver en tredimensionell lösningsmetod, vilket inte klaras med de modeller som undersökts. Det bör dock poängteras att det finns tredimensionella program som kan ta hänsyn till geometrivariorationer av det slag som mellanbrädans konstruktion uppvisar. Fortfarande kvarstår emellertid problemet med mellanbrädans karaktär med avseende dimensionstoleranser etc. Det är dock ett problem som alltid genereras vid modellering av verkliga förhållanden och det går till viss del att lösa genom att utföra känslighetsanalyser med avseende på konstruktionens karaktär.

De många genomföringarna genom mellanbrädan gör att konstruktionens brandmotstånd i många fall försvagas i enskilda punkter, vilket medför att brandspridningen i vissa fall sker via dessa. Det innebär att en korrekt modellering av genomföringarnas inverkan på värmetransporten är en grundförutsättning för att kunna använda datormodeller för verifiering. Tyvärr är genomföringarna ofta av komplicerad karaktär, vilket gör det extra svårt att inkludera dem i en datorsimulering.

Att bestämma materialegenskaper vid brandpåverkan eller hög temperatur är något som i sig själv innebär att en hel del osäkerheter genereras. Även om datormodellen använder sig av med verkligheten överrensstämmande beräkningar är det alltså osäkert om de indata som används är tillräckligt korrekta för att resultatet skall kunna användas som en verifiering av brandmotståndet.

Vid datorsimuleringar är det viktigt att konstatera att de modeller som används ofta har begränsningar i form av bland annat de förenklingar och antaganden som måste göras för att modellen skall kunna appliceras. Det innebär att det ofta är svårt att i en datormodell, på ett bra sätt, återskapa de verkliga förhållanden och man måste därför vara medveten om skillnaderna mellan modellen och realiteten.

När värmetransporten skall predikteras i en konstruktion är det av central betydelse att bestämma vilken termisk påverkan som konstruktionen utsätts för. Vid en brand kan detta definieras i form av till exempel en effektutvecklingskurva eller en temperaturkurva. Att teoretiskt bestämma en sådan dimensionerande brand kräver god kunskap om hur mycket och vilka brännbara material det finns samt vilka ventilationsförhållanden som råder i brandrummet. I den komplexa geometri som råder i ett motorrum är detta mycket komplicerat och en sådan bedömning skulle medföra en hel del osäkerheter. Vid en motorrumbrand kan det även inträffa vissa händelser som är svåra att förutsäga. Ett exempel på detta är den förmodade deflagrationen som inträffade vid det tidigare presenterade fullskaleförsöket. Det är därför viktigt att det finns kunskap om resultat vid tidigare utförda fullskaleförsök för att en rättvisande dimensionerande brand skall kunna definieras.

När alla de ovan nämnda osäkerhetsfaktorerna summeras i en datorsimulering finns det risk att resultatet hamnar relativt långt från sanningen. Med detta som huvudsakliga skäl anser vi därför att de fullskaleförsök som utförs för slutverifiering av mellanbrädans brandmotstånd inte på ett tillfredställande sätt kan ersättas med datorsimuleringar.

11.3.2 KVALITATIV VÄRDERING

I inledningen av denna rapport framgår det att det finns en önskan från Volvo Personvagnar AB att kunna utvärdera mellanbrädans brandmotstånd vid ett tidigt stadium i utvecklandet av en ny bilmodell, d.v.s. redan innan konstruktion är färdigställd. Det är ett område där vi anser att datormodeller kan spela en viktig roll i framtiden.

Vi har precis diskuterat varför vi inte anser att datorsimuleringar kan ersätta fullskaleförsök vid slutverifiering av mellanbrädans brandmotstånd. De osäkerhetsfaktorer som nämndes då gäller självklart även i andra fall, men med ett annat syfte kan simuleringarna ge resultat som är mycket användbara. Genom att jämföra olika material eller materialkombinationers brandmotstånd, istället för att försöka få fram resultat som exakt representerar verkligheten, kan simuleringarna i princip göras oberoende av de nämnda osäkerhetsfaktorerna. Då olika konstruktioner jämförs med varandra är det föga viktigt att till exempel definiera en motorrumbrand exakt.

För att ha möjlighet att kvalitativt bedöma olika material eller materialkombinationers brandmotstånd är det viktigt att de olika materialens aktuella egenskaper är väl kända. I datorprogrammen HSLAB och TASEF gäller det materialens densitet, specifika värmekapacitet, värmeledningstal samt emissionstal. Vid brandpåverkan är det extra viktigt att känna till hur dessa parametrar varierar med temperaturen, då det kan ha en stor påverkan på slutresultatet. Det är även centralt att veta vid vilken temperatur som materialen pyrolyserar respektive antänds, samt vilken effekt de då utvecklar, för att kunna göra en korrekt bedömning av materialens lämplighet. Effektutveckling av material är något som kan tas hänsyn till i vissa värmetransportprogram, bland annat i TASEF. Att denna funktion inte inkluderats i simuleringarna beror på avsaknad av effektutvecklingsdata för de berörda materialen samt svårighet att använda funktionen på ett korrekt sätt.

Att ta reda på materialegenskaper med avseende på värmetransport och brand är något som kan vara komplicerat att utföra. Vi anser dock att materialparametrar är information som borde tillhandahållas av de underleverantörer som levererar material till Volvo. Om vi inte har misstagits oss så är det ett krav som Volvo Personvagnar AB ställer inom många andra områden, varför det borde kunna tillämpas även inom brandområdet. Volvo skulle då endast behöva göra kontroller av att materialen besitter de egenskaper som specificerats av leverantören, vilket är något som Volvo gör inom andra materialområden. De materialparametrar som vi anser viktiga vid brandsäkerhetsarbete och rimliga att kräva från en materialtillverkare är:

- ❑ Densitet
- ❑ Specifik värmekapacitet, som en funktion av temperaturen
- ❑ Värmeledningstal, som en funktion av temperaturen
- ❑ Emissionstal
- ❑ Smältpunkt
- ❑ Förbränningsentalpi
- ❑ Antändningstemperatur
- ❑ Självantändningstemperatur

Med kunskap om dessa materialegenskaper är det möjligt att, med hjälp av datorsimuleringar, handberäkningar samt bedömningar, utvärdera olika materials eller materialkombinationers lämplighet i mellanbrädeskonstruktionen med avseende på brandmotstånd.

Vi anser även att det med hjälp av datorsimuleringar är möjligt att prediktera hur enskilda försvagningar, t.ex. genomföringar, i mellanbrädans brandmotstånd påverkar hela konstruktionens brandmotstånd. Sådana simuleringar ger dock antagligen inte exakta kvantitativa mått på hur konstruktionen påverkas men de bör ändå ge en indikation på konsekvensen.

Vårt förslag är att Volvo Personvagnar AB utarbetar en metod för hur man med datorsimuleringar skall utvärdera de olika potentiella mellanbrädeskonstruktionernas lämplighet. Denna metod skulle innefatta fiktiva kravspecifikationer på enskilda material samt hela konstruktioner. Det skulle även krävas definitioner angående dimensionerande brandkurvor samt vilka olika förhållanden och förenklingar som skall tillämpas i de olika simuleringarna. Genom att använda samma grundförutsättningar vid simuleringar för olika material är det möjligt att värdera materialens lämplighet relativt andra material. En möjlighet att till viss del kvantifiera simuleringsresultaten är att jämföra dem med resultat från simuleringar för konstruktioner vilka det redan utförts fullskaleförsök för. Ett sådant angreppssätt gör det möjligt att bedöma om en konstruktion är bättre eller sämre än en tidigare använd konstruktion, vilken vid fullskaleförsöket uppvisat vissa egenskaper. På så sätt kan ett halvkvantitativt mått, på hur bra en viss konstruktion är, skapas.

Därmed anser vi att datorsimuleringar mycket väl kan användas i det tidiga projektstadiet i utvecklandet av en ny bilmodell. Datorsimuleringarna kan då fungera som en kvalitativ värdering av olika materials eller materialkombinationers brandmotstånd och ge underlag för bedömningar av olika konstruktioners lämplighet, med avseende på material samt dimensioner etc. I nästkommande underkapitel, 11.3.2.1, visas ett enkelt exempel på hur datormodeller kan användas.

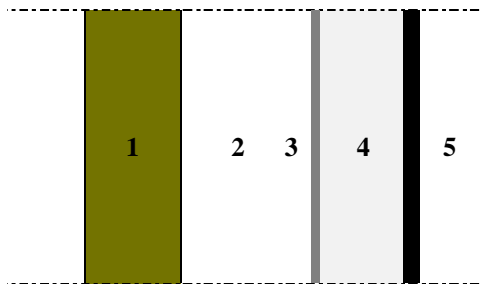
11.3.2.1 EXEMPEL PÅ HUR DATORMODELLER KAN ANVÄNDAS FÖR KVALITATIV BEDÖMNING AV MELLANBRÄDAN

Vi har, för att visa ett mycket enkelt exempel på hur datorsimuleringar kan användas för att jämföra olika typer av konstruktioner, utfört tre simuleringar i HSLAB av värmetransporten i mellanbrädan vid en fiktiv brand. Exemplet är endast ett sätt att visa tankarna bakom vårt förslag att använda datormodeller, för att göra en kvalitativ bedömning av olika konstruktionsutformningar. Det är inte tänkt och bör heller inte användas som en testmetod i presenterad utformning. Vi hoppas att det kan ge en bild av möjligheterna med användandet av datormodeller. Med bättre datormodeller kan även betydligt svårare problem lösas på detta sätt.

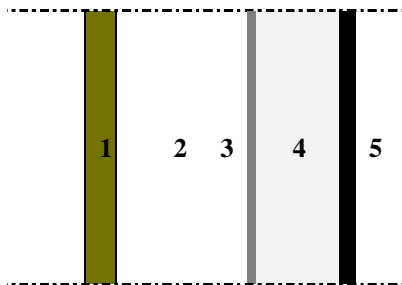
Utförande

Vi utgår i dessa beräkningar från simuleringarna av värmetransporten i mellanbrädan vid fullskaleförsöket i Borås 991116 (kapitel 9). Avsikten är att undersöka hur temperaturen varierar i skiktet mellan stålplåten och polyuretanet (ljudmattan), då vi ändrar konstruktionens utformning, med hjälp av datorprogrammet HSLAB. Indata i simuleringarna redovisas i sin helhet i bilaga E.

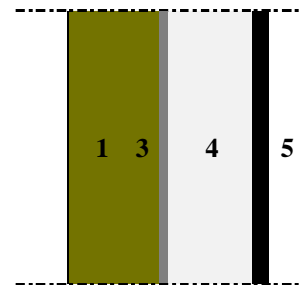
Vi utför simuleringar för tre olika konstruktionsexempel (test 1-3). I test 1 utgår vi från samma konstruktion som i kapitel 10.2 (figur 11-1). I test 2 minskas ljudabsorbentens tjocklek från 15 till 5 millimeter (figur 11-2) och i test 3 tas luftspalten bort (figur 11-3). För övrigt varierar ingen indata i simuleringarna.



Figur 11-1 Genomsnittssnitt av mellanbrädan i test 1.



Figur 11-2 Genomsnittssnitt av mellanbrädan i test 2.



Figur 11-3 Genomsnittssnitt av mellanbrädan i test 3.

1. Ljudabsorbent
2. Luftspalt
3. Stålplåt

4. Polyuretan
5. EPDM

Värmeledningstal, specifik värmekapacitet, emissionstal, konvektiv värmeövergångstal och förhållandena vid den kalla gränssytan (vid EPDM, dvs inne i kupén) är tagna enligt de val som gjordes för simuleringen av fullskaleförsöket i Borås 991116 (kapitel 10) och presenteras i bilaga E.

Tidssteget är i alla tre simuleringarna 20 sekunder och lagertjocklekarna anges för varje simulering i tabell 11-1 nedan.

Tabell 11-1 Lagertjocklekar vid HSLAB-simuleringar.

Material	Test 1	Test 2	Test 3
Ljudabsorbent	0,005 m	0,0025 m	0,005 m
Luftspalt (air)	0,005 m	0,005 m	-
Plåt (steel)	0,0005 m	0,0005 m	0,0005 m
Polyuretan	0,005 m	0,005 m	0,005 m
EPDM	0,001 m	0,001 m	0,001 m

Brandgastemperaturkurvan som beskriver brandpåverkan på mellanbrädan skiljer sig från fullskaleförsöket, i Borås 991116, då vi nu inte låter temperaturen falla mitt i simuleringen utan stiga linjärt till 825 °C för att därefter vara konstant, enligt diagram 11-1.

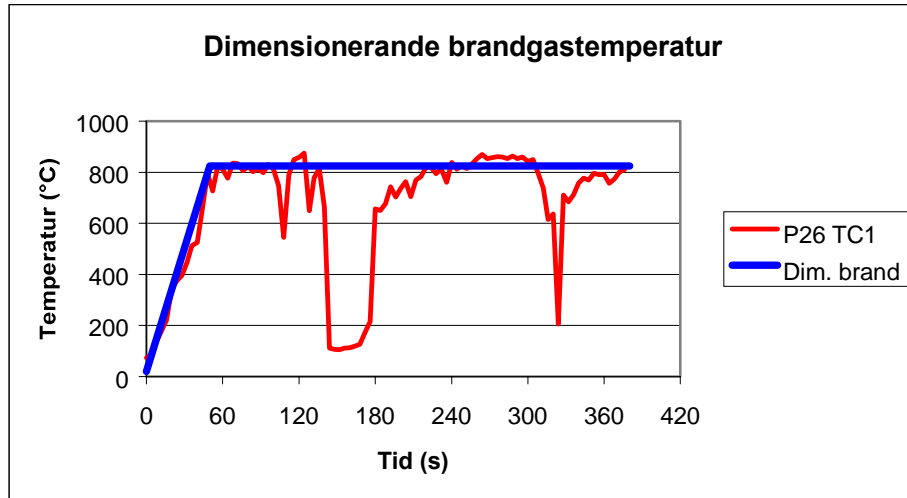


Diagram 11-1 Dimensionerande brandgastemperatur i simuleringarna. Den högsta brandgastemperaturen från fullskaleförsöket i Borås 991116 är inlagd som referens.

Resultat

Resultatet av simuleringarna presenteras i diagram 11-2 nedan.

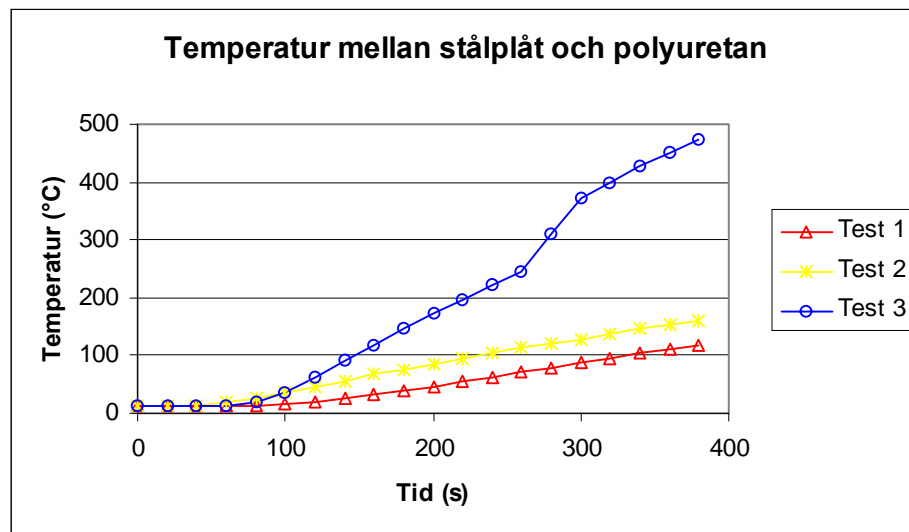


Diagram 11-2 Resultande temperaturkurvor mellan stålplåt och polyuretan vid HSLAB-simuleringar.

Kommentarer

Anledningen till att vi väljer att betrakta temperaturen i skiktet mellan stålplåten och polyuretanutformningen är att vi i denna punkt tydligt kan påvisa skillnader mellan olika konstruktionsutformningar. Samtidigt vet vi att polyuretanutformningen börjar smälta vid drygt 200 °C, varför det är särskilt intressant att utföra beräkningarna för detta område.

Resultatet visar tydligt vilken betydelse konstruktionens utformning har, inte minst luftspaltens existens. Enligt simuleringarna börjar polyuretanutformningen smälta efter 220 sekunder utan luftspalt. Det är viktigt att poängtera att inga slutsatser skall dras av resultaten, men de visar

med önskvärd tydlighet hur datormodeller kan användas vid jämförelser mellan olika material och konstruktioner.

Det finns självklart en hel del osäkerheter i beräkningarna, vilka har nämnts i tidigare avsnitt av rapporten (kapitel 6.2.1 och 10.2.3). Osäkerheterna är emellertid de samma för alla tre simuleringarna, då tidssteg och lagertjocklekar är de samma eller likvärdiga, vilket gör att en jämförelse mellan simuleringarna påverkas mycket lite av dessa osäkerheter.

11.3.3 VAL AV DATORPROGRAM

Om Volvo Personvagnar AB bestämmer sig för att de skall utveckla sitt brandsäkerhetsarbete genom att börja använda sig av datorsimuleringar för bedömning av brandmotståndet, är det viktigt att ett bra datorprogram väljs. De erfarenheter vi har de datorsimuleringar vi utfört, medför att vi anser att det finns vissa egenskaper som är viktiga för ett värmetransportprogram. Förutom det självklara att programmet använder sig av beräkningsmodeller som är korrekta anser vi att det är viktigt att programmet:

- är användarvänligt,
- är anpassat för ändamålet,
- är tredimensionellt, möjligtvis tvådimensionellt
- medger möjligheten att variera indata som en funktion av temperatur och tid, samt
- att utdata kan kopplas till en databas

Vi anser inte att HSLAB och TASEF motsvarar de krav vi vill ställa på ett datorprogram, med avseende på ovanstående punkter. Det bör dock påpekas att de versioner som vi har haft till vårt förfogande är ca tio år gamla. Det vi framförallt ser som ett problem med de båda programmen är att de inte är särskilt användarvänliga med tanke på den datorkapacitet som finns idag samt att utdata inte kan kopplas direkt till en databas utan måste föras över för hand om diagram skall ritas upp. Vi ser det också som en begränsning att programmen inte behandlar tredimensionella problem, med tanke på mellanbrädans komplexa geometri. Det skall emellertid påpekas att TASEF klarar av tvådimensionella problem, vilket är ett stort steg på vägen.

11.4 RELEVANS MED FULLSKALEFÖRSÖK

Utifrån observationer vid det i rapporten tidigare presenterade fullskaleförsöket, de datorsimuleringar som vi utfört, samt ingenjörsmässiga bedömningar anser vi att fullskaleförsök är något som även i framtiden bör utföras för att slutverifiera brandmotståndet i mellanbrädan.

Fördelarna med ett fullskaleförsök för att slutverifiera mellanbrädans brandmotstånd är tydliga jämfört med om det sker med hjälp av datorsimuleringar eller småskaletester. Fullskaleförsök innebär att konstruktionen testas i den omgivning som den befinner sig i vid en verklig motorrumbrand, vilket medför att faktorer inkluderas som vid användandet av andra metoder måste förenklas eller exkluderas. De fördelar som vi ser med användandet av fullskaleförsök är bland annat att de:

- har en hög modellsäkerhet,
- medger mätningar av förhållanden som är svåra att simulera,
- medger audiovisuella observationer, samt att de
- fungerar som en form av kvalitetssäkring.

Att fullskaleförsöken har en hög modellsäkerhet innebär att det i princip är verkliga förhållanden som testas, vilket medför att de tidigare nämnda osäkerheterna, som ligger datorsimuleringar till last, inte existerar vid försöken. Det är dock viktigt att poängtera att fullskaleförsök fortfarande är en modell av verkligheten då de utförs inomhus under kontrollerade förhållanden med en extern tändkälla.

Fullskaleförsöken medger även mätningar av sådant som är svårt att simulera. Ett exempel på det är mätningar av toxicitet och gasspridning.

Audiovisuella observationer vid fullskaleförsök är en faktor som är nog så viktig vid brandsäkerhetsarbete. Vissa brandfenomen är svåra att förstå teoretiskt utan att de upplevs och kan vara svåra att förmedla. Det är därför viktigt att fullskaleförsöken videofilmas, så att det är lätt att gå tillbaka till filmerna för att verifiera tidigare iakttagelser eller för att kunna fokusera på oklarheter samt detaljer.

Den kvalitetssäkring som ett fullskaleförsök innebär är svårt att uppnå med andra metoder. För utvecklingen av brandsäkerhetsarbetet är det centralt att det sker en verifiering av arbetets kvalitet så att det visas att utvecklingen går åt rätt håll. Det är även viktigt att det sker en verifiering av de metoder som används i utvecklingsarbetet, vilket lämpligen sker genom att simuleringsresultat jämförs med fullskaleförsök.

Därmed bedömer vi att de fullskaleförsök som utförs för slutverifiering av mellanbrädans brandmotstånd även bör utföras i fortsättningen. Den information som erhålls vid ett fullskaleförsök är svår att erhålla på annat sätt. Vi anser emellertid att försöken kan utvecklas. Det som vi framförallt ser som en brist är att det inte utförs fler mätningar vid försöken. Då ett så pass dyrt test som ett fullskaleförsök av en ännu inte presenterad bilmodell utförs, anser vi att man borde ta tillfället i akt och inte nöja sig med ett fåtal temperaturmätningar. Självklart är det även en fråga om ekonomi och resurser då fler typer av mätningar medför mer arbete samt dyrare tester, men vi tror att den vetenskapliga vinningen som fler mätningar innebär kan ge många intressanta uppslag att arbeta vidare med.

11.5 ANVÄNDNING AV SMÅSKALETESTER

Småskaletester är något som vi anser bör kunna användas i det brandförebyggande arbetet vid Volvo Personvagnar AB. Genom småskaletester är det möjligt att bland annat ta fram eller kontrollera materialparametrar samt att genom visuella observationer dra slutsatser om olika materials lämplighet med avseende på brand. Vi ser även en möjlighet att utveckla en provprototyp där hela mellanbrädeskonstruktioner kan testas utan att en hel bil behöver förstöras.

11.5.1 BESTÄMNING AV MATERIALPARAMETRAR

Att bestämma olika materialparametrar exakt är något som är komplicerat och kräver sofistikerad utrustning. Vi ser trots detta en möjlighet för Volvo att använda sig av småskaletester för att undersöka de material som tas fram eller levereras till dem. Testen skulle då kunna utformas som kontroller av att materialproven besitter de egenskaper som utlovats av leverantören. Exakt vilka tester som Volvo kan eller bör utföra själva, med avseende på kostnad, behov och tillförlitlighet m.m., är inget som vi på ett rättvist kan utvärdera. Vi anser emellertid att vi relativt tydligt har visat vilka användningsområden som en konkalorimeter har.

Det finns givetvis även en möjlighet att Volvo låter någon annan utföra småskaletester, för bestämning av materialparametrar, för deras räkning.

11.5.2 VISUELLA OBSERVATIONER

Visuella observationer vid småskaletester är något som mycket väl kan användas i brandsäkerhetsarbetet, då vissa materialegenskaper behöver detekteras visuellt innan det kan sättas teoretiska värden på egenskapen. Ett exempel på det är när vi detekterade pyrolys och smältning vid konkalorimetertesterna (bilaga A). Utan dessa visuella observationer hade det varit svårt att veta vad som hänt endast genom att studera de temperaturer som vi uppmätte. Med en kombination av visuella observationer samt temperaturdata gick det emellertid att konstatera vad som hade hänt och ungefärlig pyrolys- respektive smälttemperatur bestämdes.

11.5.3 TEST AV ENSKILDA KOMPONENTER

För att undersöka vilken inverkan enskilda komponenter i mellanbrädan har på värmetransporten i konstruktionen bedömer vi att det går att använda sig av olika småskaletester. Ett exempel på det är miniugnsprovning (kapitel 7.1) där konstruktionen placeras som en vägg i en ugn och värmetransporten bedöms med hjälp av temperaturmätningar. Vi anser även att metoder för småskaletester kan utvecklas av Volvo självt då det inte finns några kravstandarder för vilka tester som skall utföras. Ett exempel på detta redovisas i nästa stycke.

11.5.4 TEST AV HELA MELLANBRÄDESKONSTRUKTIONER

När hela mellanbrädeskonstruktioner testas sker det genom kostsamma fullskaleförsök med i princip kompletta bilar. Det medför att hela konstruktioner sällan testas, och då oftast endast i verifieringssyfte. Om det fanns ett billigare och mindre komplicerat sätt att testa hela konstruktioner, utan att resten av bilen inkluderas i testet, skulle det kunna användas för att utveckla mellanbrädeskonstruktioners brandmotstånd istället för att slutverifiera det samma. Det skulle även innebära att konstruktionen kan testas innan den är färdigmonterad i en bilmodell, vilket underlättar för ändringar om resultatet vid testet inte är tillfredsställande. Så som det är nu är det behäftat med stora kostnader och mycket arbete att förändra eller byta ut en konstruktion som inte håller måttet vid slutverifieringen.

Vårt förslag är därför att Volvo tittar närmare på möjligheten att utveckla en metod, för utvärdering av mellanbrädans brandmotstånd, som kan användas i ett tidigare skede än slutverifieringen. Ett sådant test skulle kunna utformas genom att en förenklad modell av ett motorrum tillverkas och att man i denna modell låter en vätskebrand representera motorrumbranden. Olika mellanbrädor kan sedan monteras i modellen för utvärdering. Med denna metod kan självklart även enskilda komponenters inverkan på brandspridningen undersökas.

11.6 FÖRSLAG TILL VIDARE FORSKNING

Under tiden vi har arbetat med det här projektet har vi kommit att fundera över vissa saker som på ett eller annat sätt rör brandspridning genom mellanbrädan, men som inte behandlas i rapporten. Dessa tankar vill vi gärna förmedla och vi hoppas att de kan utgöra förslag till framtida projekt samt vidare forskning för Volvo Personvagnar AB. Det bör dock påpekas att författarna inte har kunskap om hur Volvo arbetar inom de områden som vi nämner och att det är fullt möjligt att det pågår utvecklingsarbete inom dessa.

11.6.1 BRANDSPRIDNING VIA GENOMFÖRINGAR

Brandspridning genom en intakt mellanbräda utan genomföringar på kortare tid än det av Volvo PV uppställda kravet är inte något vi bedömer som särskilt troligt, med dagens konstruktionsutformning. Vi anser emellertid att de många genomföringar som försvagar mellanbrädans brandmotstånd kan utgöra ett problem. Brandspridning via genomföringar i mellanbrädan är dock något som endast behandlats översiktligt i rapporten, varför vi ser detta som ett ämne som bör utredas närmare.

11.6.2 PÅVERKAN VID VANLIG DRIFT

Ett område som vi tycker är viktigt att utreda är hur mellanbrädans material påverkas av vanliga driftemperaturer. Då vi har detekterat pyrolys av textillump i ljudabsorbenten samt smältning av polyuretan i ljudmattan vid drygt 200°C och vissa komponenter i en bil kan uppnå mycket höga temperaturer vid vanlig drift, torde det vara ett högtintressant ämne. Om ett materials egenskaper ändras på grund av höga temperaturer vid drift eller av hög ålder kan det mycket väl innebära att en motorrummsbrand får en annan karaktär än den som observeras vid fullskaleförsök under kontrollerade förhållanden.

11.6.3 BRANDSKYDDSFÄRG PÅ MELLANBRÄDAN

Brandskyddsfärg på mellanbrädan är något som vi ser som en möjlig framtida applikation i bilar och vi anser att det vore en utmärkt ämne för ett framtida projektarbete att utreda närmare. Anthony Hamins utreder i /11/ brandskyddsfärgers effektivitet i krockskadade bilar. En kort sammanfattning av detta arbete redovisas i kapitel 12.

11.6.4 ANVÄNDNING AV FASTA SLÄCKSYSTEM

Fasta släcksystem är något som används i bland annat tävlingsbilar och bör rimligtvis även ha en potentiell applikation i vanliga personbilar. Ett exempel på släckmedel som används för det syftet är AFFF-skum med halonersättningsmedel. Det är emellertid inget som vi har behandlat eller läst om i detta projekt så vi avstår från att ge rekommendationer i ämnet, men anser att det är ett intressant uppslag att jobba vidare med.

11.6.5 EFFEKTUTVECKLING VID MOTORRUMSBRÄNDER

Vid bedömning av mellanbrädans brandmotstånd är det centralt att ha kunskap om den påverkan som konstruktionen utsätts för, vilket har en direkt koppling till den effekt som utvecklas vid motorrummsbranden. Då detaljerna i motorrummet har en komplex geometrisk utformning, många olika material används, samt att komplicerade ventilationsförhållanden råder är det mycket svårt att teoretiskt bestämma utvecklad effekt vid en motorrummsbrand. Vi anser det därför intressant att undersöka hur motorrummets karaktär påverkar effektutvecklingen. Det gäller t.ex. val av material och de olika komponenternas placering. Det är fullt möjligt att en annorlunda utformning av motorn ger en annan effektutveckling och därmed en annan påverkan på mellanbrädan.

11.6.6 BRANDS UPPKOMST

Den mest centrala aspekten att beakta vid brandsäkerhetsarbete är brands uppkomst och det är den faktor som vi anser att det är viktigast att koncentrera sig på. Genom att minimera tändkällor och brännbart material kan många problem lösas. Det är säkert ett område som Volvo arbetar mycket med men vi vill ändå nämna det, då mycket vikt lätt läggs på att begränsa konsekvenser, eftersom det är de som fångar uppmärksamheten. Matematiken är dock enkel; ingen uppkomst, ingen konsekvens.

11.7 SAMMANFATTNING AV SLUTSATSER

För att göra ovanstående diskussion överskådlig sammanfattar vi i punktform de slutsatser som vi dragit samt de förslag till vidare utredning som vi anser centrala för detta projekt.

- ❑ Kravet på att mellanbrädan skall motverka brandspridning i en viss tid bör vara kopplat till de kritiska förhållanden som kan uppstå vid en brand. Detta kan gälla hög temperatur, hög strålning och toxicitet hos pyrolys- eller brandgaser, vilka är aspekter som även bör mätas vid fullskaleförsök.
- ❑ Vi anser inte att det är lämpligt att ersätta de fullskaleförsök som utförs för slutverifiering av mellanbrädans brandmotstånd med datorsimuleringar. Datormodellering bedöms inkludera allt för stora osäkerheter för att på ett representativt sätt kunna prediktera värmetransporten i konstruktionen och kan inte anses innefatta den kvalitetssäkring som ett fullskaleförsök innebär.
- ❑ Vi anser att datormodellering är ett utmärkt verktyg att använda vid brandsäkerhetsarbetet i det tidiga utvecklingsstadiet av en ny bilmodell. Datorsimuleringarna kan då fungera som en kvalitativ värdering av olika materials eller materialkombinationers brandmotstånd och ge underlag för bedömningar av olika konstruktioners lämplighet i mellanbrädan, med avseende på brand.
- ❑ Vi anser att småskaletester kan utgöra en viktig del i utvecklingen och utvärderingen av mellanbrädans brandmotstånd. Testerna skulle då användas för att kontrollera alternativt bestämma materialparametrar, testa enskilda komponenter och hela konstruktioner, samt för visuella observationer av materialens beteende vid hög temperatur.
- ❑ Förslag till vidare forskning inkluderar brandspridning via genomföringar, materials påverkan vid vanlig drift, användning av brandskyddsfärg eller fasta släcksystem, effektutveckling vid motorrummsbränder samt brands uppkomst.

12 ANNAN INTRESSANT LITTERATUR OM BRÄNDER I BILAR

Under projektets gång har vi läst igenom en hel del litteratur som på olika sätt rör området bilbränder. Innehållet i vissa av dessa texter borde vara högtintressant läsning för Volvo Fire Safety Group men litteraturen behandlas inte centralt i rapporten, då den ligger utanför rapportens syfte och avgränsningar. För att inte utesluta innehållet helt och hållet har vi därför valt att kort presentera innehållet i dessa texter. Vår förhoppning är att detta kapitel skall belysa områden och litteratur som kan vara intressant för Volvo Personvagnar AB att titta närmare på. Kapitlet är helt fristående och kan läsas separat utan kännedom om innehållet i resten av rapporten.

12.1 GM/DOT SETTLEMENT AGREEMENT

General Motors drogs för några år sedan inför rätta efter en rad händelser där bilar hade börjat brinna efter trafikolyckor. Rättegången slutade med en förlikning mellan General Motors och the United States Department of Transportation (the GM/DOT settlement agreement) där General Motors tvingades satsa 150 miljoner dollar på forskning om bränder och brandspridning i bilar som uppkommit på grund av trafikolyckor. Hela forskningsprojektet är offentligt.

Projektet pågår i skrivande stund men vissa delar har redan publicerats. I de två nästföljande underkapitlen presenteras två delar skrivna av Anthony Hamins, National Institute of Standards and Technology, och James A. Ierardi, Worcester Polytechnical Institute

12.1.1 BRANDSKYDDSFÄRG PÅ MELLANBRÄDA

I rapporten *Evaluation of Intumescent Body Panel Coatings in Simulated Post-Accident Vehicle Fires /11/* redogör Anthony Hamins för ett antal försök som utförts för att utreda hur väl brandskyddsfärg kan användas för att hindra brandspridning i fordonsbränder. Rapporten är avsedd att behandla fordonsbränder till följd av trafikolyckor, men stora delar av resultaten kan även appliceras på fordonsbränder som inte uppkommit på grund av trafikolyckor.

Försöken visar att brandskyddsfärg mycket väl skulle kunna användas för att förbättra bilars passiva brandskydd. Bland annat visas det att brandskyddsfärg kan sänka temperaturpåverkan på mellanbrädans insida med flera hundra grader och därmed motverka brandspridning in till kupén. Rapporten är en del av *GM/DOT Project B.4 (Evaluation of Potential Fire Intervention Materials and Technologies)*.

12.1.2 BRANDSPRIDNING VIA VINDRUTA

James A. Ierardi redogör i rapporten *A Computer Model of Fire Spread from Engine to Passenger Compartments in Post-Collision Vehicles /3/* för en CFD-modell som han själv programmerat. Modellen skall användas för prediktering av brandspridning via vindrutan på bilar som varit inblandade i trafikolyckor. Rapporten är en del av *GM/DOT Project B.4 (Evaluation of Potential Fire Intervention Materials and Technologies)*.

12.2 EFFEKTUTVECKLING VID BILBRÄNDER

Vi har under arbetets gång stött på en del litteratur där effektutvecklingen vid bilbränder på olika sätt har mätts. Dessa presenteras i nästföljande underkapitel.

12.2.1 FÖRSÖK UTFÖRDA I FINLAND 1994

J. Mangs och O. Keski-Rahkonen presenterade 1994 testresultat från tre fullskaleförsök de utfört för bränder i personbilar /18/. I försöken mätte de effektutveckling, värmefflöde, gastemperaturer, massavbränning samt produktion av brandgas, koloxid och koldioxid, som en

funktion av tiden. För två av bilarna simulerades en motorrumsbrand varför vi koncentrerar oss på de testerna.

De bilar som testades var en Datsun 160J Sedan och en Datsun 180B Sedan, tillverkade i slutet av 1970-talet. Bilarna antändes från ett öppet kärl, 33x33 cm², med 3 liter heptan, placerat under motorrummet. Heptanet brann i 7 minuter och dess effektbidrag uppskattades till 160 kW. Målet med försöken var att få fram en maximal effektutvecklingskurva för en bilbrand, vilket förklarar den kraftiga antändningskällan. Mangs och Keski-Rahkonen ville vara säkra på att branden skulle växa till en fullt utvecklad bilbrand. Bilarna tilläts brinna tills det att branden självslocknade.

12.2.2 PROFILARBED

Vid ProfilARBED forskningscenter i Luxemburg har 9 fullskaletester av bland annat effektutveckling och brandgastemperaturer av en bilbrand i ett simulerat parkeringshus utförts. Försöken utfördes med såväl en som två bilar av varierande modell, storlek och årgång. Försöken beskrivs av Ierardi i /3/.

12.2.3 TESTER UTFÖRDA VID DIMENSIONERING AV KANALTUNNELN

I samband med dimensioneringen av tunneln under Engelska kanalen utfördes tester av M. Shipp och M. Spearpoint av effektutvecklingen från en bilbrand på uppdrag av the Channel Tunnel Safety Unit's Department of Transport. I försöken brändes en 1982 Austin Maestro och en 1986 Citroen BX (passande nog en bil från varje land). De maximala effekterna i de båda försöken var 8,5 respektive 4,5 MW /19/.

ORDLISTA

A **Antändningskälla** För att en brand skall uppstå krävs det en antändningskälla om inte självantändning sker.

Antändningstemperatur Den temperatur som ett material måste ha under givet tryck och temperatur för att kunna antändas av en gnista.

ASTM American Society for Testing and Materials, www.astm.org

B **Bitumenmatta** Asfaltimpregnerad matta

Bil Uppfinning från slutet av det nittonde århundradet där en vagn drivs fram av en motor. Används för transportera människor och egendom.

Brand Ej önskad eld.

Brandbelastning Mängden brännbara material i ett utrymme avgör brandbelastningens storlek, alltså hur mycket effekt som kan utvecklas vid en brand.

Brandfarlig vätska Vätska som vid normala förhållanden kan bilda en brännbar gasblandning ovanför vätskeytan.

Klass 1: vätskor med flampunkt under 23°C

Klass 2a: vätskor med flampunkt mellan 23 och 31°C

Klass 2b: vätskor med flampunkt mellan 31 och 60°C

Klass 3: vätskor med flampunkt över 60°C

Brandgas Gaser som utvecklas till följd av brand. Brandgaser består till största delen av luft, mängden andra gaser beror av vad som brinner (normalt märks höjda koncentrationer av CO och CO₂).

Brandgastemperatur Temperaturen i brandgaserna (se Brandgas).

Brandplym När heta gaser omges av kalla gaser rör sig de heta gaserna uppåt på grund av densitetsskillnad. Över en brinnande yta benämns detta uppåtgående volymflöde inkluderat flammor brandplym.

Brännbarhetsgräns Med brännbarhetsgräns avses de koncentrationer inom vilket ett ämne är brännbart vid givet tryck och temperatur.

Bränslekontrollerad brand En brand som har tillräckligt med syre för fullständig förbränning samt vars tillväxt och effektutveckling endast beror på bränslets karaktär och geometri.

C **CFD** Computational Fluid Dynamics model (sv. Fältmodeller)- Tredimensionell datorsimulering av brand och brandspridning där omgivningen delas in i ett rutnät som skapar små kuber. Modellen räknar sedan gasspridning och värmetransporten mellan alla kuber.

D **Diffusionsflamma** En flamma där bränsle och syre ursprungligen är separerade och blandas genom diffusion (jmf. förblandad flamma). Flammor vid naturliga bränder är nästan alltid klassade som diffusionsflammar.

E **Emissionstal** Emissionstalet anger med vilken effektivitet, i förhållande till en perfekt svart kropp, som ett material kan avge värme genom strålning. Betecknas ϵ och är lika stor som absorptionsen α , det vill säga fraktionen av infallande värmestrålning som ett material absorberar. Kan också benämnas emissivitet.

Emissivitet se Emissionstal.

- F** **Flamtemperatur** Temperaturen i en flamma.
FOA Försvarets Forskningsanstalt, www.foa.se
Fältmodell Se CFD.
Förblandad flamma En flamma där bränsle och syre ursprungligen är blandade, t.ex. svetsflamma.
Förbränningsvärme (entalpi) Den energi som utvecklas per massenhet för ett ämne.
Förbränningseffektivitet Förhållandet mellan den effektiva effektutvecklingen och den maximala effektutvecklingen. Förbränningseffektiviteten brukar benämnas χ och varierar ofta mellan 0,5-0,9 beroende på bränslet och syretillgången.
Förångningsvärme Energi som åtgår eller utvecklas precis i övergångsfasen mellan vätskefasen och gasfasen för ett material.
-
- G** **Gränsyta** Yttersta ytan av (i det här fallet) en vägg konstruktion, det vill säga de ytor som gränsar till omgivande medium.
-
- H** **Halvoändlighet** I värmetransport räknas ett material som halvoändligt då ingen temperaturökning sker på den kalla gränsytan. Ingen värme går alltså ut från materialet.
HRR Heat Release Rate- se RHR
HSLAB Datorprogram utvecklat av FOA som numeriskt löser värmetransportsproblem i en dimension.
-
- I** **ISO** International Organization of Standardization, www.bre.co.uk/iso/ ("Fire Safety"-avdelning av ISO)
-
- K** **Kalorimetri** Mätning av effektutveckling.
Konduktion Se värmeledning.
Konduktivitet (termisk) Se värmeledning.
Konkalorimeter Småskaletest som används för att bestämma effektutvecklingen och antändligheten hos olika material. Kan också användas för att beräkna värmeledningstal och emissionstal. Konkalorimetern beskrivs närmare i kapitel 7.1.1.
Konvektion Värmetransport som sker till följd av rörelser i fluider.
Konvektivt värmeövergångstal Se värmeövergångstal.
-
- L** **Ledning** Se värmeledning.
-
- M** **Mellanbräda** Den konstruktion i en bil som skiljer motorrummet och kupén. Ofta avses endast själva den avskiljande plåten men i det här arbetet avses hela konstruktionen, alltså både plåt och isolatorer, när begreppet mellanbräda används.
-
- N** **NBS** National Bureau of Standards
NFIRS National Fire Incident Report System- system utvecklat av USFA för att föra statistik över inträffade bränder i USA.
NFPA National Fire Protection Association, www.nfpa.gov
NIST National Institute of Standards and Technology, www.nist.gov
-

- P** **Pyrolys** Utveckling av brännbara gaser då ett material utsätts för värmepåverkan.
Pyrolysgas Gaser som utvecklas vid pyrolys.
-
- R** **RHR** Rate of Heat Release- avgiven effekt
-
- S** **Självantändningstemperatur** Temperatur vid vilken ett material självantänder vid tillgång på syre och givet tryck och temperatur.
SP Sveriges Provnings och Forskningsinstitut, www.sp.se
Specifik värmekapacitet Se värmekapacitet.
SRV Statens Räddningsverk, www.srv.se
Strålning Se värmestrålning.
Sverige Stat i norra Europa. Är känt för sina dalhästar och sin brinnande julbock i Gävle. Regeras av konung Carl XVI Gustaf.
-
- T** **Termoelement** En glasfiberisolerad krets som är hoplödd i spetsen. Motståndet i kretsen är olika stort beroende på vilken temperatur spetsen har och på så sätt kan temperaturen erhållas på den plats där termoelementet placerats.
Torpedplåt Se mellanbräda.
Torpedvägg Se mellanbräda.
Toxicitet Giftighet
-
- U** **USA** United States of America (Förenta Staterna)- stat i Nordamerika. Bröt sig ur det brittiska samväldet och förklarade sig självständiga 1776. USA blev 1969 första landet i världen att skicka en människa till månen.
USFA United States Fire Administration, www.usfa.fema.gov
-
- V** **Ventilationskontrollerad brand** En brand som inte har tillräckligt med syre för fullständig förbränning av bränslet. Energiutvecklingen styrs av tillgången på syre.
Volvo Latin för "Jag rullar"
Värmekapacitet Värmekapaciteten är enkelt förklarat ett mått på hur mycket energi som åtgår för att höja temperaturen hos ett kilogram av ett material med en grad.
Värmeledning Värmetransport som sker till följd av temperaturskillnader i en kropp
Värmemotstånd Med värmemotstånd avses hur väl ett material eller en konstruktion hindrar värme att tränga igenom.
Värmestrålning Värmetransport som sker genom elektromagnetisk strålning. Kan således ske även i vacuum. Refereras också till som strålning.
Värmeövergångstal Beskriver med vilken effektivitet värme överförs mellan en fluid och en fast yta. Normalt avser den endast den konvektiva värmeöverföringen (konvektivt värmeövergångstal) men kan i förenklade modeller även inkludera värmeöverföring genom strålning. Är material- och temperaturberoende.
-

REFERENSER

- /1/ Statens Räddningsverks räddningsinsatsstatistik för 1997 och 1998, Statens Räddningsverk, Sverige, 1999.
- /2/ Conley Christopher J., *Deadlier than you think*, NFPA Journal, Volume 90, Number 5, USA, 1996.
- /3/ Iearld James A., *A Computer Model of Fire Spread from Engine to Passenger Compartments in Post-Collision Vehicles*, Worcester Polytechnic Institute, USA, 1999.
- /4/ Eker Johan, Vlachos Stefan, *HSLAB- A Program for One-dimensional Heat Flow Problems*, Försvarets Forskningsanstalt (FOA), Sverige, December 1990.
- /5/ Holman J. Phillip, *Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1976.
- /6/ Çengel Yunus A., Boles Michael A., *Thermodynamics- an engineering approach*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1989.
- /7/ Kanury A. Murty, *Introduction to Combustion Phenomena*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, USA, 1975.
- /8/ *Analytisk lösning av värmeledningsekvationen*, Avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola vid Lunds universitet, Lund, Sverige, Februari 1990
- /9/ Rockett John A., Milke James A., *Chapter 1-2, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, Massachusetts, USA, Juni 1995.
- /10/ Sterner Elisabet, Wickström Ulf, *TASEF – Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire – User’s Manual*, SP Report 1999:05, Sveriges Provningsanstalt, Sverige, 1990.
- /11/ Hamins Anthony, *Evaluation of Intumescent Body Panel Coatings in Simulated Post-Accident Vehicle Fires*, National Institute of Standards and Technology, USA, 1998.
- /12/ ISO 5660-1:1993 (E), *Fire test- Reaction to fire- Part 1: Rate of heat release from building products (Cone calorimeter method)*, International Organization of Standardization, Schweiz, 1993.
- /13/ Nussbaum Ralph M., Östman Birgit A.-L., *Larger Specimens for Determining Rate of Heat Release in the Cone Calorimeter*, Fire and Materials, Volume 10, 151-160, 1986.
- /14/ Drysdale Dougal, *An Introduction to Fire Dynamics*, John Wiley and Sons, USA, 1985.
- /15/ Fredäng Annevi, Hermansson Joakim, *Pilotskydd vid Brand- utredning och utveckling*, Avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola vid Lunds universitet, Lund, Sverige, 1999.
- /16/ Brandskyddslaget och LTH-Brandteknik, *Brandskydd- Teori och Praktik*, Avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola vid Lunds universitet, Lund, Sverige, 1994.
- /17/ Atreya Arvind, *Chapter 1-3, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, Massachusetts, USA, Juni 1995.
- /18/ Keski-Rahkonen O., Mangs J., *Characterization of the Fire Behaviour of a Burning Passenger Car. Part I: Car Fire Experiments*, Fire Safety Journal Vol. 23 No. 1, 1994.
- /19/ Shipp M., Spearpoint M., *Measurements of the Severity of Fires Involving Private Motor Vehicles*, Fire and Materials, Volume 19, 143-151, 1995.

BILAGSFÖRTECKNING

A. KONKALORIMETERTESTER.....	84
B. BESTÄMNING AV VÄRMELEDNINGSTAL.....	102
C. FIGUR - KONVEKTIVT VÄRMEÖVERGÅNGSTAL	120
D. INDATA TILL SIMULERING AV FULLSKALEFÖRSÖK, 991116.....	124
E. INDATA TILL EXEMPEL PÅ MÖJLIG TILLÄMNING AV DATORPROGRAM.....	128
F. KONVEKTIVA VÄRMEÖVERGÅNGSTALET'S INVERKAN I TASEF.....	132

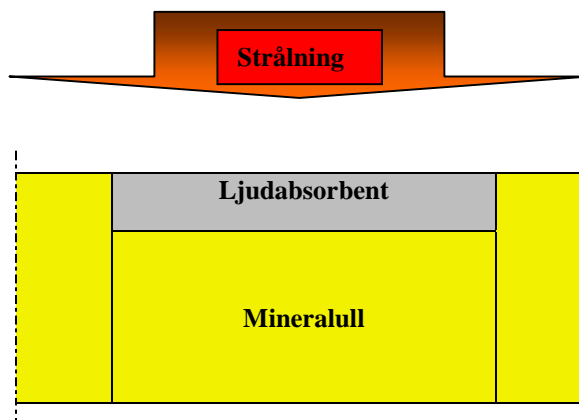
Bilaga - A

Konkalorimetertester

BILAGA A.1 – KONKALORIMETERTEST 1

Tabell A-1 Försöksspecifikation för konkalogimeter-test 1, mellanbrädans ljudabsorbent.

KONKALORIMETERTEST 1 – Mellanbrädans ljudabsorbent (motorrumssidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 600^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow \dot{q}''_{kon} = 16,3 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 9,5 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 1,6 \text{ cm}$, $\rho = 151 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	Ljudabsorbent och mineralull enligt Figur A-1.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gastemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på ljudabsorbentens översida	Mitt
TC3		
TC4		Kant
TC5	Temperatur på ljudabsorbentens undersida	Mitt
TC6		
TC7		Kant
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	Mitt
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ TC1 förflyttade sig lite i sidled samt uppåt och registrerade således inte den exakta mittgastemperaturen. ▪ TC2 lossnade från provkroppen i ett tidigt skede, varför denna mätning kan bortses ifrån. ▪ Pyrolysgaser detekterades visuellt, samtidigt som en temperaturökning. Efter försöket konstaterades det att mineralullen förblivit intakt men att textillumpen pyrolyserat och krympt. ▪ Bild A-1 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-1 Försökssupställning konkalogimeter-test 1.

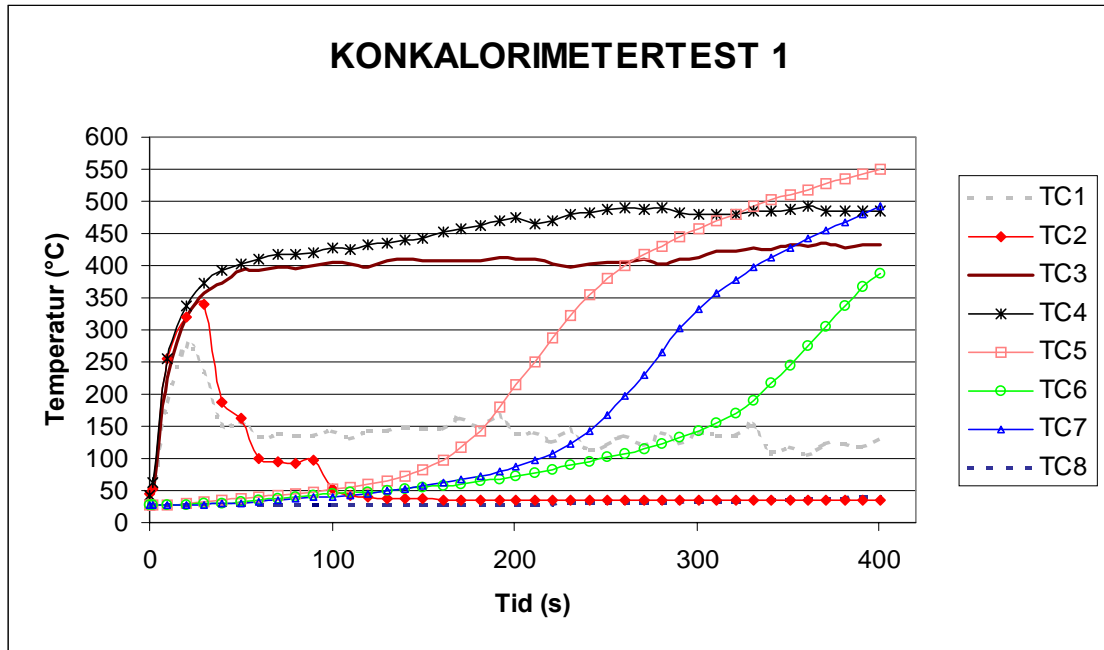


Diagram A-1 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 1. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-1.

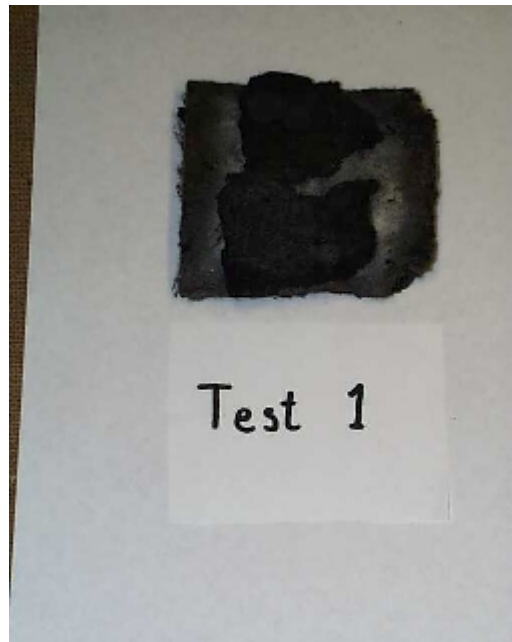
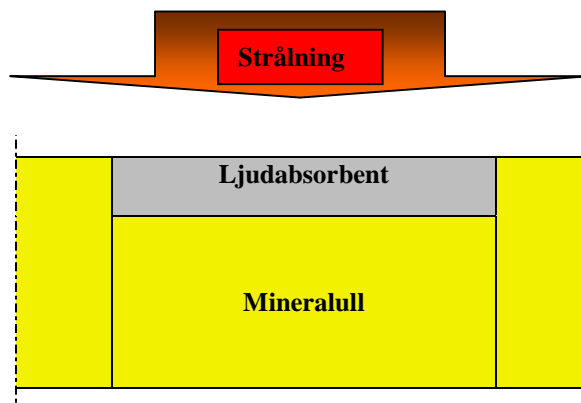


Bild A-1 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 1. Observera att förkolningen av textillumpen fortsatt vid avsvälningen av provet (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.2 – KONKALORIMETERTEST 2

Tabell A-2 Försöksspecifikation för konkalogimeter-test 2, mellanbrädans ljudabsorbent.

KONKALORIMETERTEST 2 – Mellanbrädans ljudabsorbent (motorrumssidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 550^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow \dot{q}''_{kon} = 12,7 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 10 \times 10,5 \text{ cm}^2$, $t = 1,7 \text{ cm}$, $\rho = 170 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	Ljudabsorbent och mineralull enligt Figur A-2.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gastemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på ljudabsorbentens översida	Mitt
TC3		
TC4		Kant
TC5	Temperatur mellan glasfiber och textillump	Mitt
TC6	Temperatur på ljudabsorbentens undersida	
TC7		
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ TC4 placerades på en kant som var lite böjd uppåt mot konen. ▪ Glasfiber och textillump var separerade innan testet, vilket medförde att provkroppen expanderat lite. ▪ Kraftig pyrolysgasutveckling i slutet av testet. Efter försöket konstaterades det att textillumpen pyrolyserat i den kant som var böjd uppåt mot konen. ▪ Bild A-2 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-2 Försökssupställning konkalogimeter-test 2.

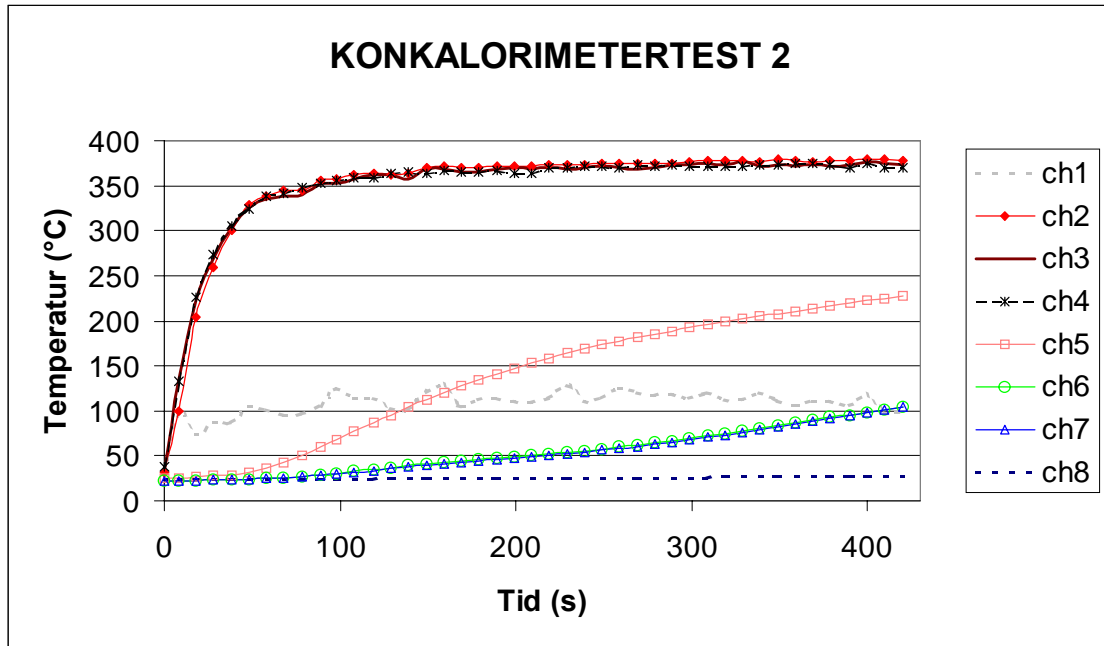


Diagram A-2 Uppmätta temperaturer vid konkolorimetertest 2. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-2.

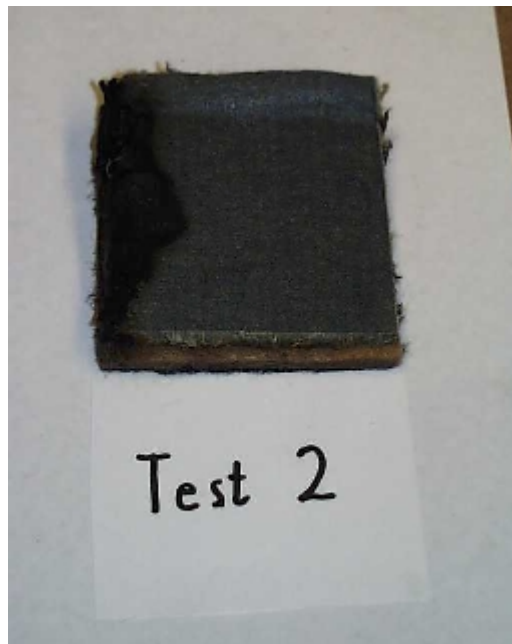
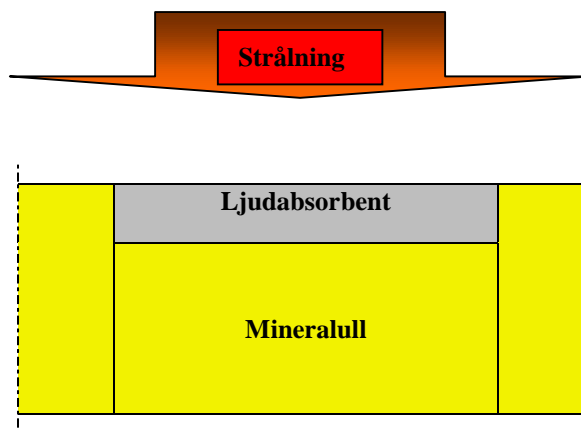


Bild A-2 Provkroppen efter utfört försök - konkolorimeter test 2. Observera att förkolningen av textillumpen fortsatt något vid avsvälningen av provet (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.3 – KONKALORIMETERTEST 3

Tabell A-3 Försöksspecifikation för konkalogimeter-test 3, mellanbrädans ljudabsorbent.

KONKALORIMETERTEST 3 – Mellanbrädans ljudabsorbent (motorrumssidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 550^{\circ}\text{C} \Rightarrow \dot{q}_{kon}'' = 12,7 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 9,5 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 1,7 \text{ cm}$, $\rho = 169 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	Ljudabsorbent och mineralull enligt Figur A-3.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gasttemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på ljudabsorbentens översida	Mitt
TC3		
TC4		Kant
TC5	Temperatur på ljudabsorbentens undersida	Mitt
TC6		
TC7		Kant
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	Mitt
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Provkroppen var tunnare i den kant där TC4 och TC7 var placerade. ▪ Kraftig pyrolysering samtidigt som TC7 registrerade drygt 200°C. ▪ Bild A-3 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-3 Försökssupställning konkalogimeter-test 3.

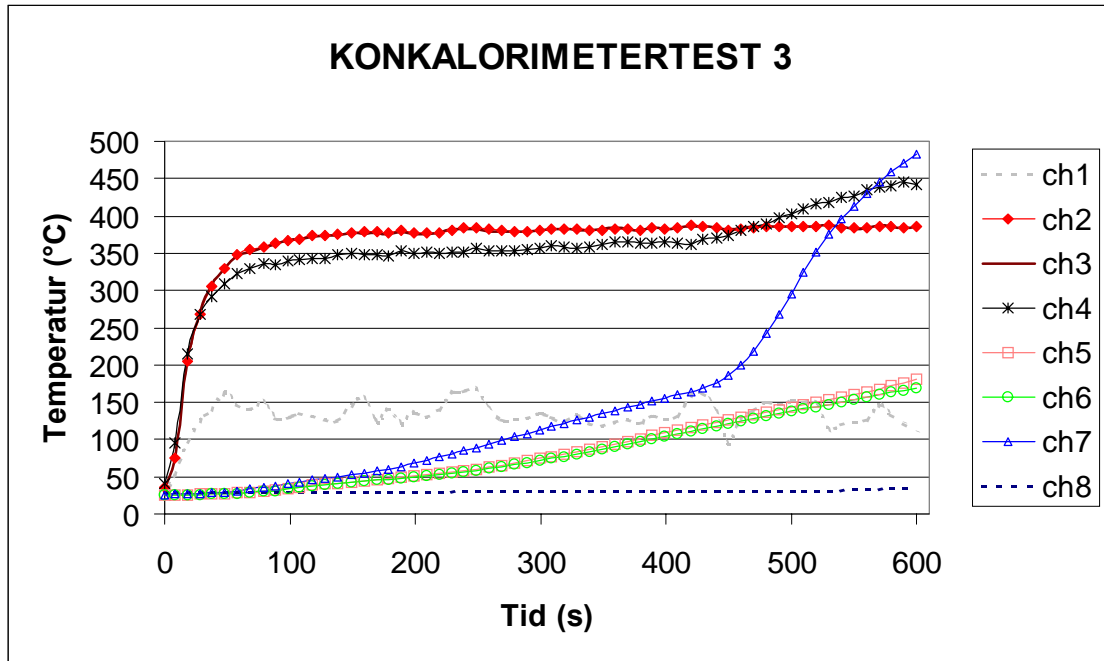


Diagram A-3 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 3. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-3.

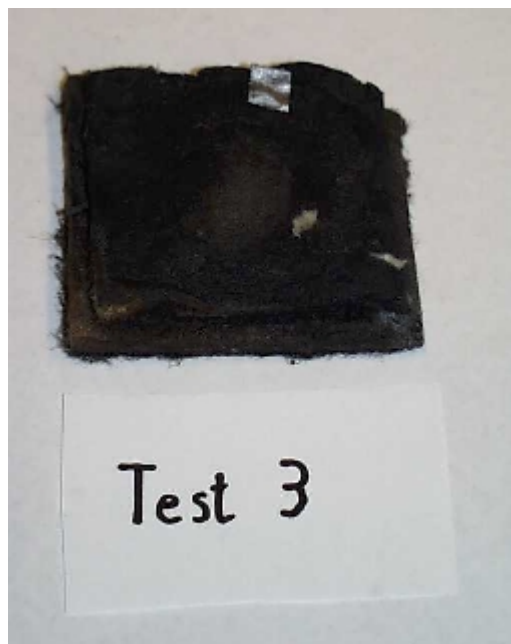
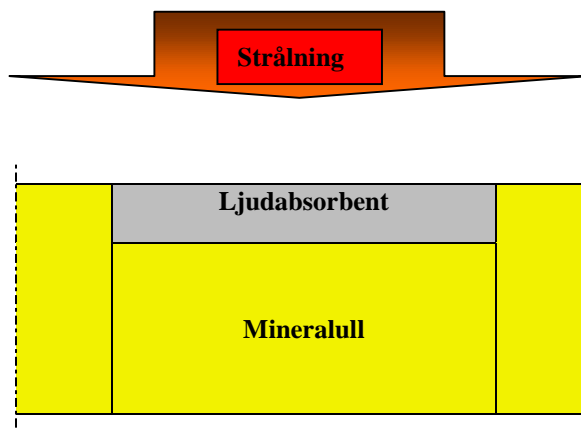


Bild A-3 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 3. Observera att förkolningen av textillumpen fortsatt vid avsvälningen av provet (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.4 – KONKALORIMETERTEST 4

Tabell A-4 Försöksspecifikation för konkalogimeterstest 4, mellanbrädans ljudabsorbent.

KONKALORIMETERTEST 4 – Mellanbrädans ljudabsorbent (motorrumssidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 500^{\circ}\text{C} \Rightarrow \dot{q}''_{kon} = 9,65 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 10 \times 10,5 \text{ cm}^2$, $t = 1,6 \text{ cm}$, $\rho = 158 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	Ljudabsorbent och mineralull enligt Figur A-4.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gasttemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på ljudabsorbentens översida	Mitt
TC3		
TC4		Kant
TC5	Temperatur på ljudabsorbentens undersida	Mitt
TC6		
TC7		Kant
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	Mitt
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Provkroppen var kraftigt böjd och bucklig. ▪ Pyrolys detekterades visuellt då TC5 och TC6 registrerade drygt 200°C. ▪ Bild A-4 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-4 Försökssupställning konkalogimeterstest 4.

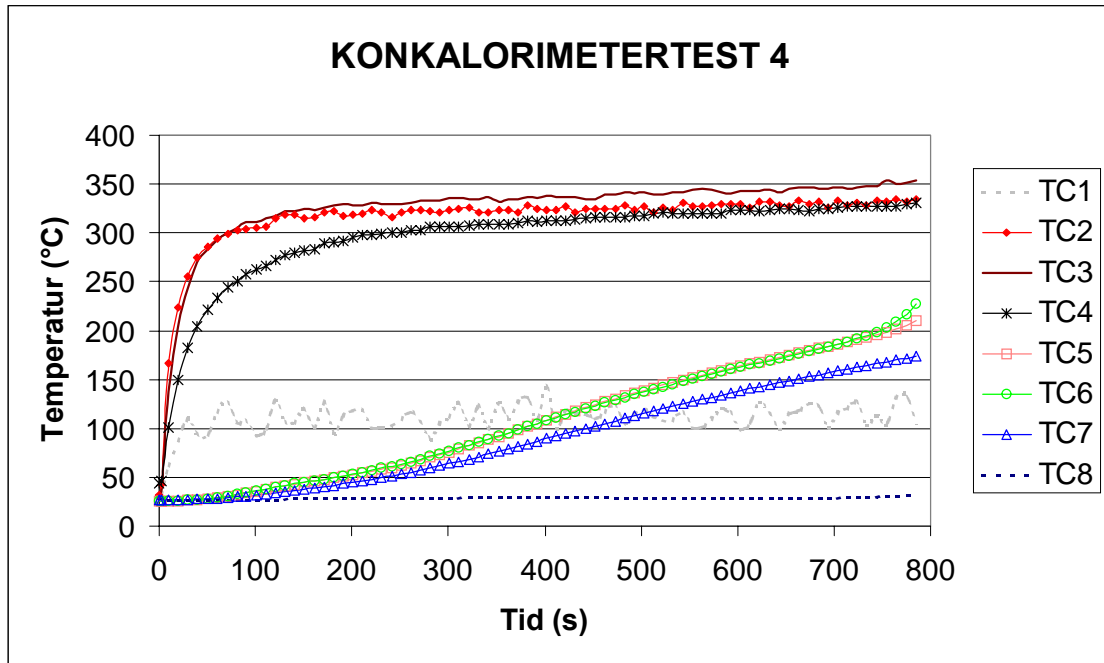


Diagram A-4 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 4. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-4.

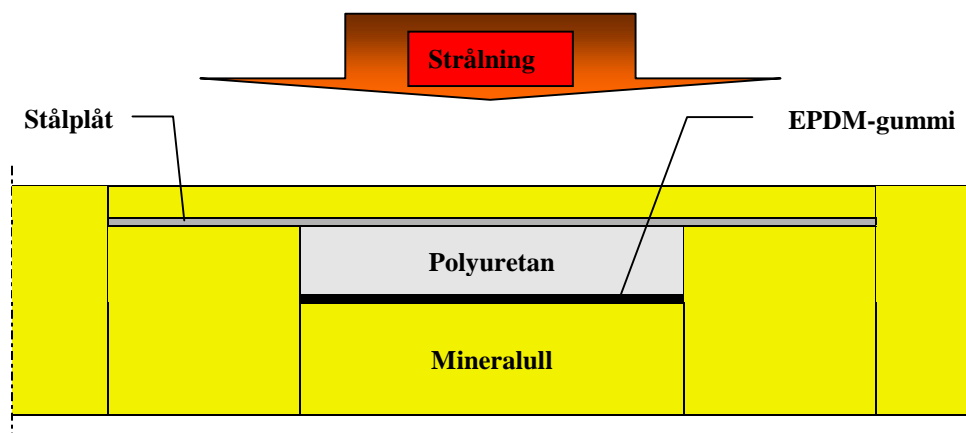


Bild A-4 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 4. Observera att förkolningen av textillumpen fortsatt vid avsvälningen av provet (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.5 – KONKALORIMETERTEST 5

Tabell A-5 Försöksspecifikation för konkalogimeterstest 5, mellanbrädans ljudmatta.

KONKALORIMETERTEST 5 – Mellanbrädans ljudmatta (kupésidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 500^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow \dot{q}_{kon}'' = 9,65 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	PUR	$A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 1,5 \text{ cm}$, $\rho = 70 \text{ kg/m}^3$
	EPDM	$A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 0,17 \text{ cm}$, $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$
Ingående provmaterial	Polyuretan, EPDM-gummi, stål och mineralull enligt Figur A-5.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gastemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på plåtens översida	Mitt
TC3	Temperatur mellan plåt och polyuretan	
TC4		
TC5	Temperatur mellan polyuretan och EPDM	
TC6	Temperatur under EPDM	
TC7		
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efter testet konstaterades det att polyuretanlagret hade smält fast på stålplåten och minskat i tjocklek till 1,1 cm. ▪ Bild A-5 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-5 Försökssupställning konkalogimeterstest 5.

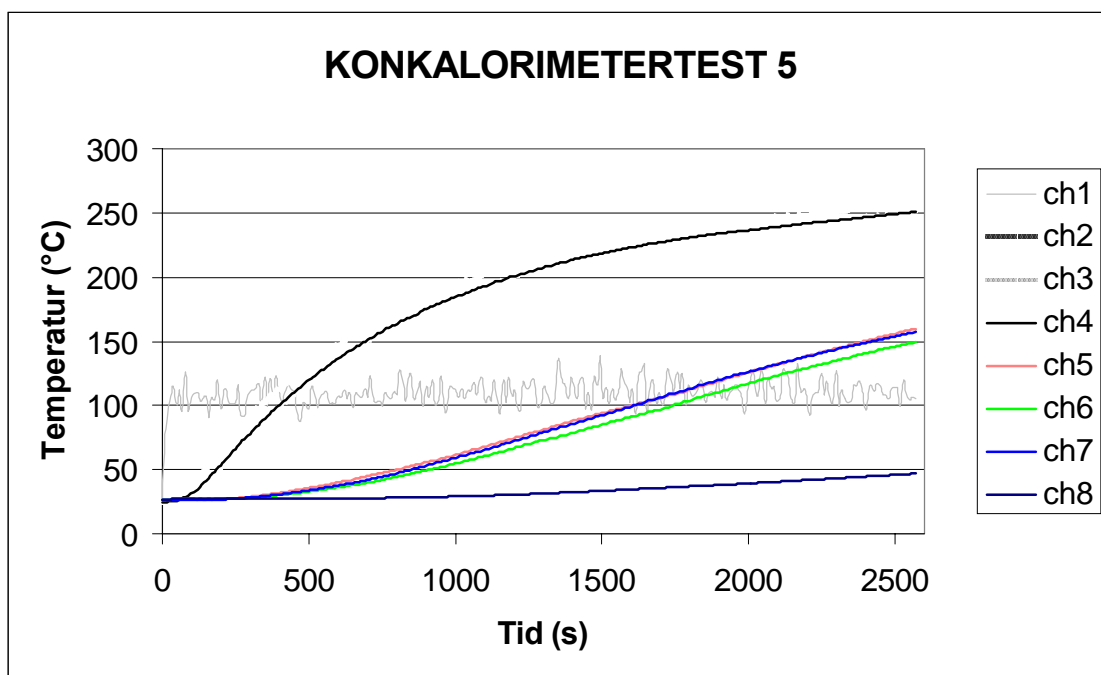


Diagram A-5 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 5. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-5.

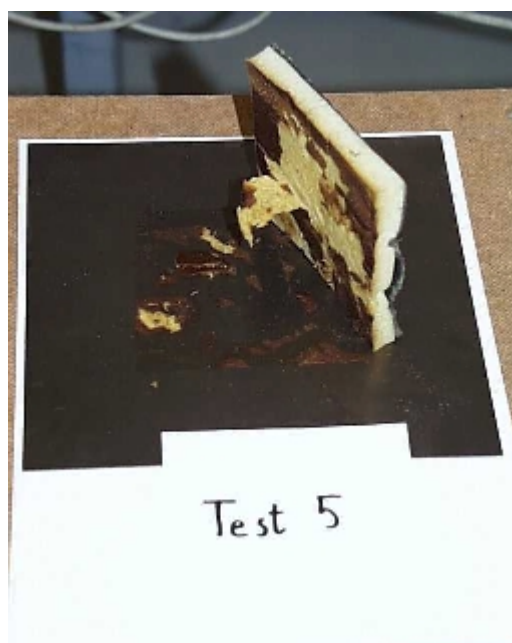
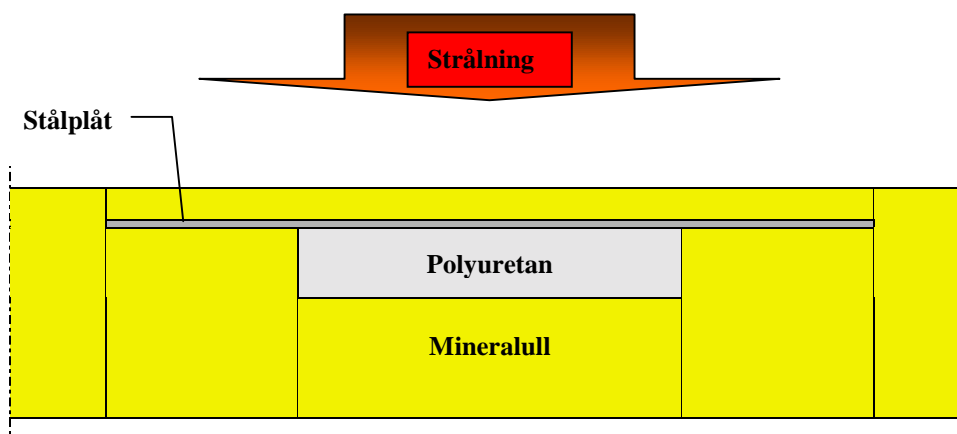


Bild A-5 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 5. På bilden syns hur polyuretanet har smält fast i stålplåten (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.6 – KONKALORIMETERTEST 6

Tabell A-6 Försöksspecifikation för konkalogimeterstest 6, mellanbrädans ljudmatta, polyuretan.

KONKALORIMETERTEST 6 – Mellanbrädans ljudmatta (kupésidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 550^{\circ}\text{C} \Rightarrow \dot{q}''_{kon} = 12,7 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 1,5 \text{ cm}$, $\rho = 70 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	Polyuretan, stål och mineralull enligt Figur A-6.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gasttemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på isoleringens översida	Mitt
TC3	Temperatur mellan isolering och stål	
TC4	Temperatur mellan stål och polyuretan	
TC5		
TC6	Temperatur mellan polyuretan och isolering	
TC7		
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> Efter testet konstaterades det att polyuretanlagret varit på gränsen till att smälta fast på stålplåten, men att det inte hade minskat i tjocklek. Bild A-6 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-6 Försökssupplättning konkalogimeterstest 6.

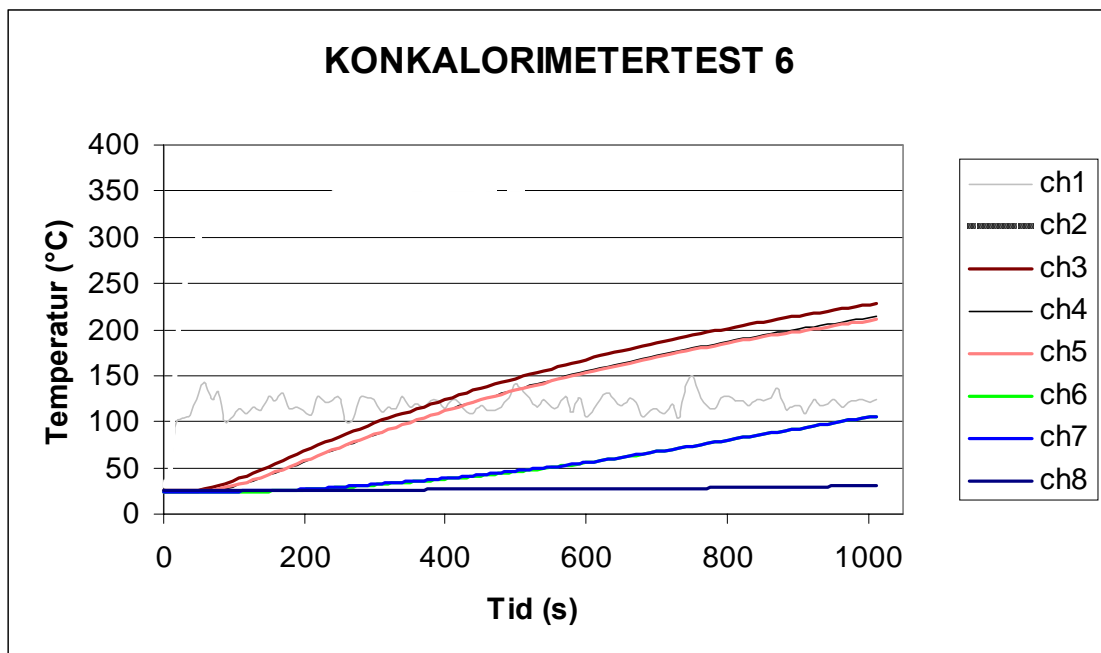


Diagram A-6 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 6. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-6.

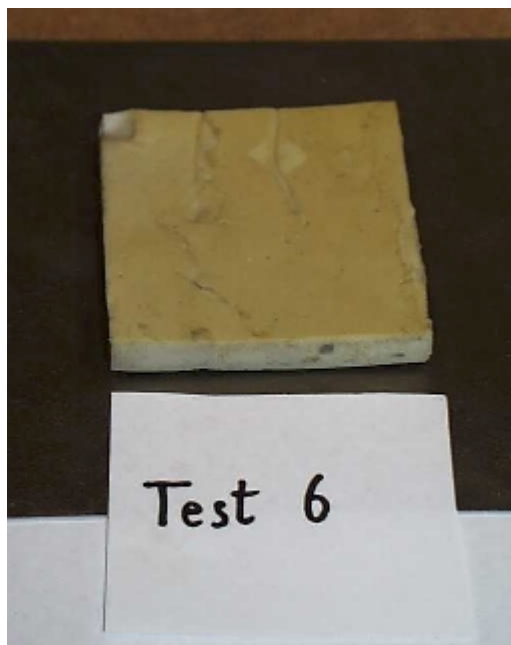
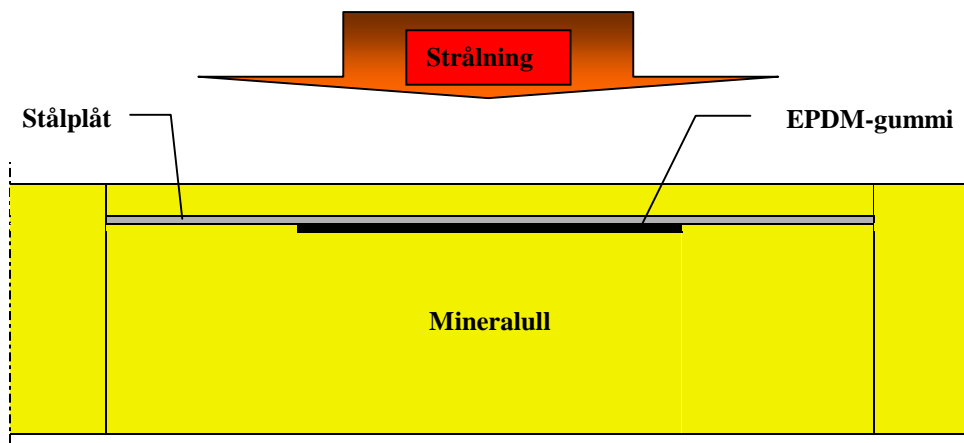


Bild A-6 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 6 (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.7 – KONKALORIMETERTEST 7

Tabell A-7 Försöksspecifikation för konkalogimeterstest 7, mellanbrädans ljudmatta, EPDM.

KONKALORIMETERTEST 7 – Mellanbrädans ljudmatta (kupésidan)		
Syfte	Registrera temperaturprofiler för bestämning av värmeledningstal.	
Påverkan	$T_{kon} = 550^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow \dot{q}''_{kon} = 12,7 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 0,17 \text{ cm}$, $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	EPDM, stål och mineralull enligt Figur A-7.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gastemperatur	Över provets mitt
TC2	Temperatur på isoleringens översida	Mitt
TC3	Temperatur mellan isolering och stål	
TC4	Temperatur mellan stål och EPDM	
TC5		
TC6	Temperatur mellan EPDM och isolering	
TC7		
TC8	Temperatur på isoleringens undersida	
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efter testet konstaterades det att EPDM-lagret mjuknat mycket, men att det inte hade minskat i tjocklek. ▪ Bild A-7 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-7 Försökssupställning konkalogimeterstest 7.

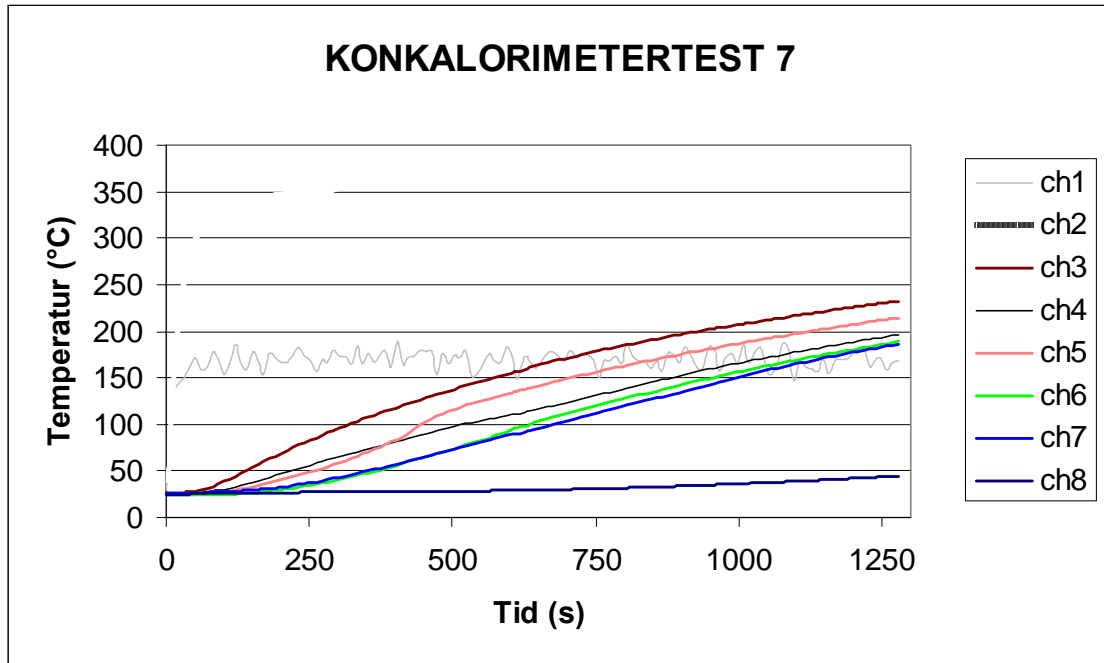


Diagram A-7 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 7. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-7.

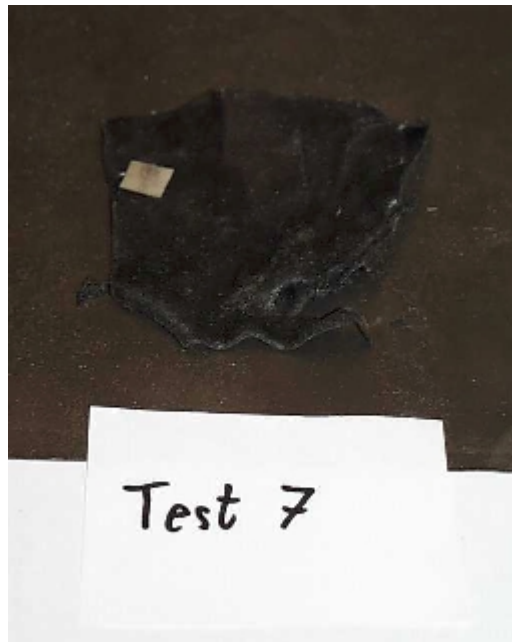
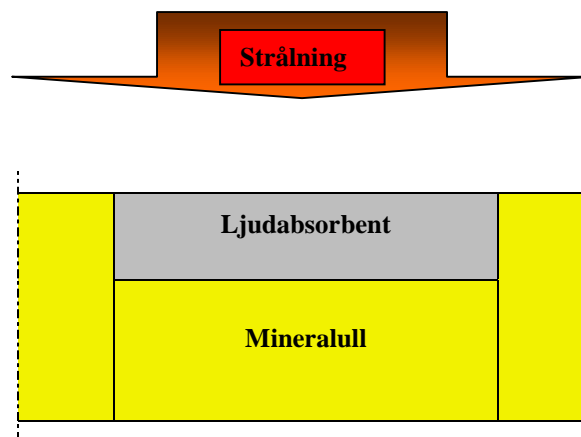


Bild A-7 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 7. EPDM-gummit ligger på stålplåten. Onduleringen av testmaterialet har uppstått i samband avlägsningen från provhållaren (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

BILAGA A.8 – KONKALORIMETERTEST 8

Tabell A-8 Försöksspecifikation för konkalogimeterstest 8, mellanbrädans ljudmatta, polyuretan.

KONKALORIMETERTEST 8 – Mellanbrädans ljudmatta (kupésidan)		
Syfte	Visuellt bestämma polyuretanets smälttemperatur.	
Påverkan	$T_{kon} = 500^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow \dot{q}''_{kon} = 9,65 \text{ kW/m}^2$	
Provkroppsegenskaper	$A = 10 \times 10 \text{ cm}^2$, $t = 0,25 \text{ cm}$, $\rho = 70 \text{ kg/m}^3$	
Ingående provmaterial	Polyuretan och mineralull enligt Figur A-8.	
Termoelement	Mätning	Placering
TC1	Gasttemperatur	Över provets mitt
TC2	Yttemperatur på polyuretan	Mitt, instucken i ytan
TC3	Yttemperatur på polyuretan	
TC4	Yttemperatur på polyuretan	Kant, tejpad mot ytan
Observationer vid test		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ TC4 lossnade i ett tidigt skede och kan bortses ifrån. ▪ Smältning detekterades då TC2 och TC3 registrerade ungefär 220°C. ▪ Bild A-8 visar provkroppen efter utfört försök. 		



Figur A-8 Försökssupställning konkalogimeterstest 8.

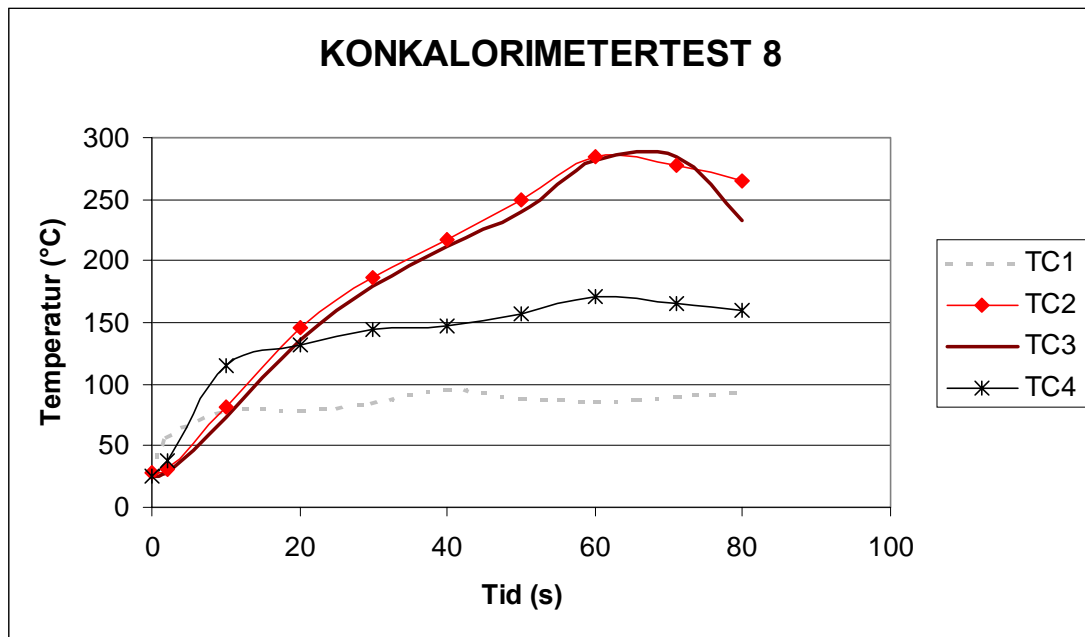


Diagram A-8 Uppmätta temperaturer vid konkalorimetertest 8. Termoelementens placering redovisas i Tabell A-8.

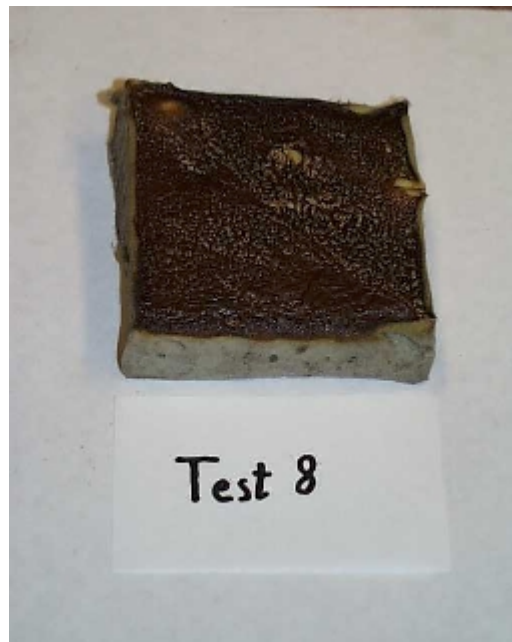


Bild A-8 Provkroppen efter utfört försök - konkalorimeter test 8. Märk hur materialet har smält på ytan (bilden är tagen av författarna, Lund, november 1999).

Bilaga – B

Bestämning av värmeledningstal

BILAGA B.1 – LJUDABSORBENT TEST 1

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för ljudabsorbenten- konkalorimetertest 1

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-1 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 1 (se bilaga A-1).

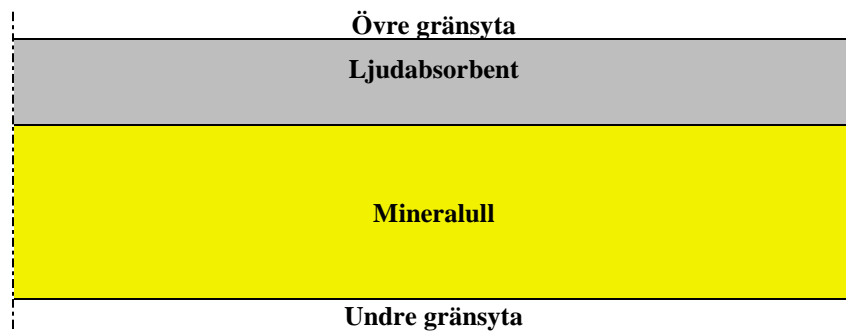
Ljudabsorbent $\rho = 151 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.016 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.04 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-1 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 400 s

Tidssteg = 5 s

Tabell B-1 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	2	10	20	30	40	50	60	90	161	261	331	361	401
T (°C)	27	55	240	328	365	383	397	402	410	430	447	456	461	458

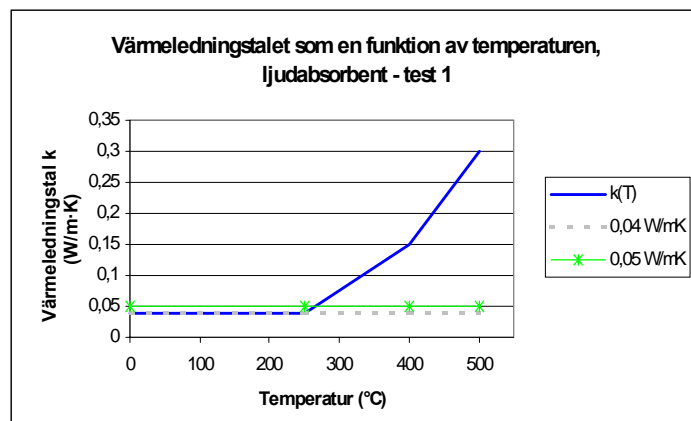


Diagram B-1 Antagna värmeledningstal för ljudabsorbent, test 1.

Resultat från HSLAB-simuleringar

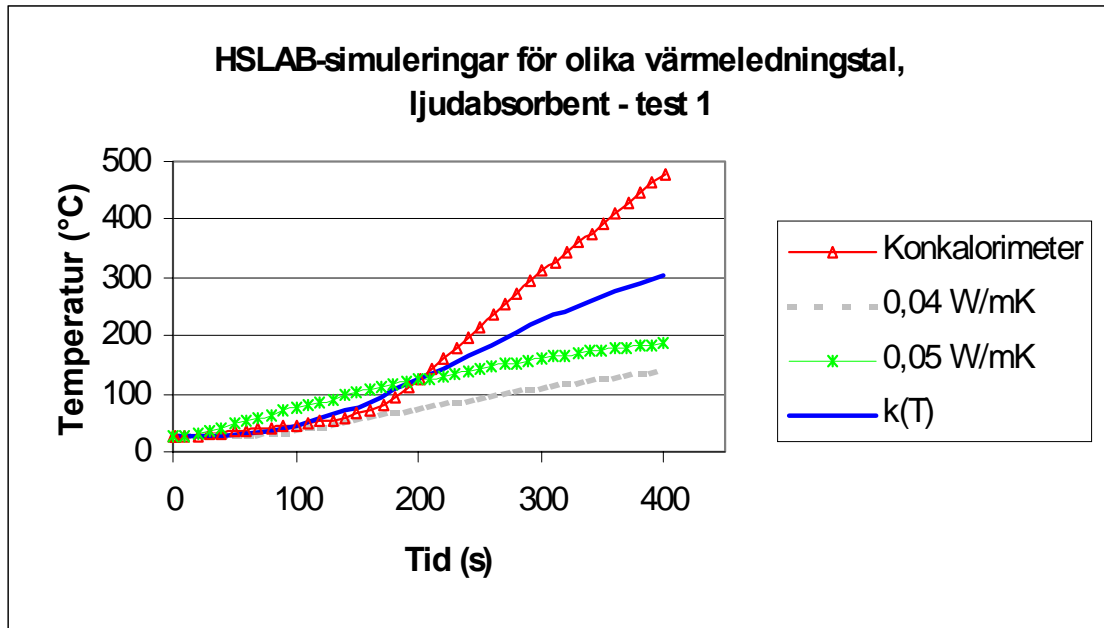


Diagram B-2 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet.

Kommentarer

Temperaturen på undersidan av absorbenten blir högre än på ytan, på grund av att textillumpen självantänder. Temperaturen kan aldrig bli högre på undersidan till följd av enbart värmetransport vilket medför att temperaturkurvan är omöjlig att återskapa i en beräkningsmodell, inte ens med högsta tänkbara värmeledningstal.

BILAGA B.2 - LJUDABSORBENT TEST 2

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för ljudabsorbenten- konkalorimetertest 2

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-2 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 2 (se bilaga A-2).

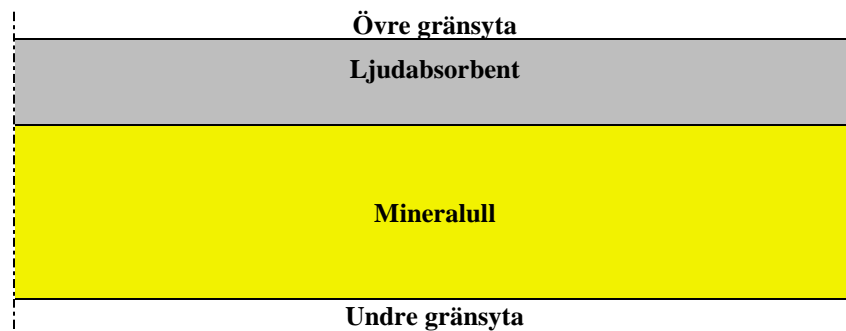
Ljudabsorbent $\rho = 170 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.017 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.04 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-2 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 420 s

Tidssteg = 5 s

Tabell B-2 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	8	18	28	38	48	58	108	219	299	420
T (°C)	23	122	218	267	303	326	337	359	371	374	374

Resultat från HSLAB-simuleringar

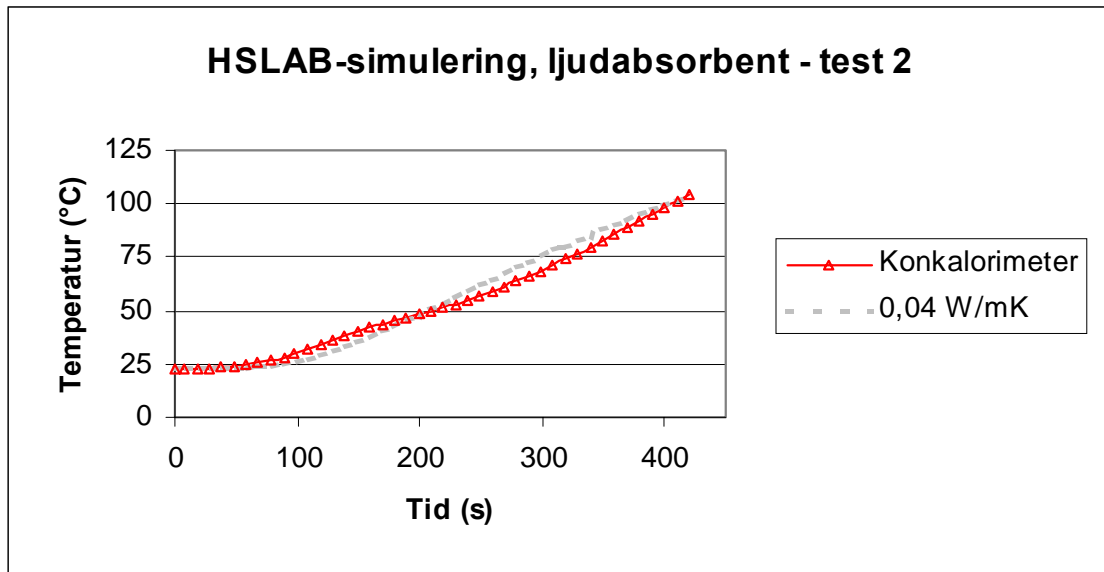


Diagram B-3 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet.

Kommentarer

Observera att testet pågick under relativt kort tid och att temperaturen därvid aldrig hinner bli särskilt hög i materialet.

BILAGA B.3 - LJUDABSORBENT TEST 3

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för ljudabsorbenten- konkalorimetertest 3

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-3 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 3 (se bilaga A-3).

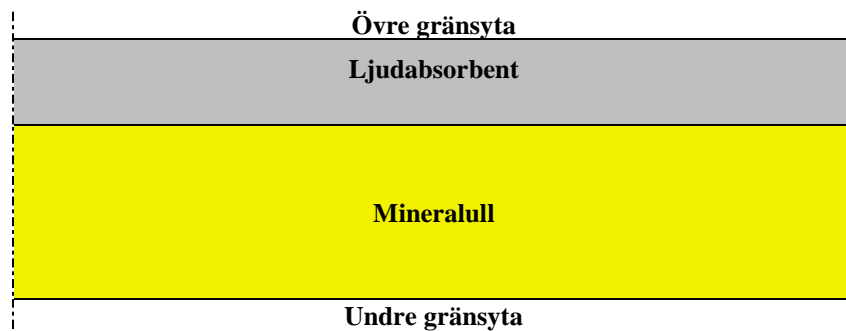
Ljudabsorbent $\rho = 169 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.017 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.04 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-3 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 600 s

Tidssteg = 10 s

Tabell B-3 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	8	18	28	38	48	58	88	108	249	349	440	520	570	600
T ($^\circ\text{C}$)	26	84	211	269	300	319	334	348	355	369	372	377	401	413	414

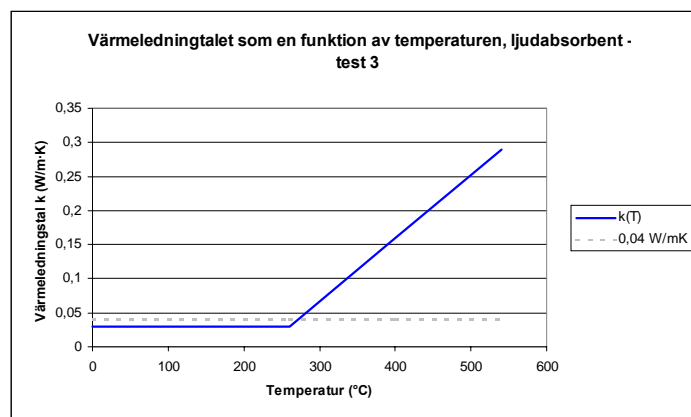


Diagram B-4 Antagna värmeledningstal för ljudabsorbent, test 1.

Resultat från HSLAB-simuleringar

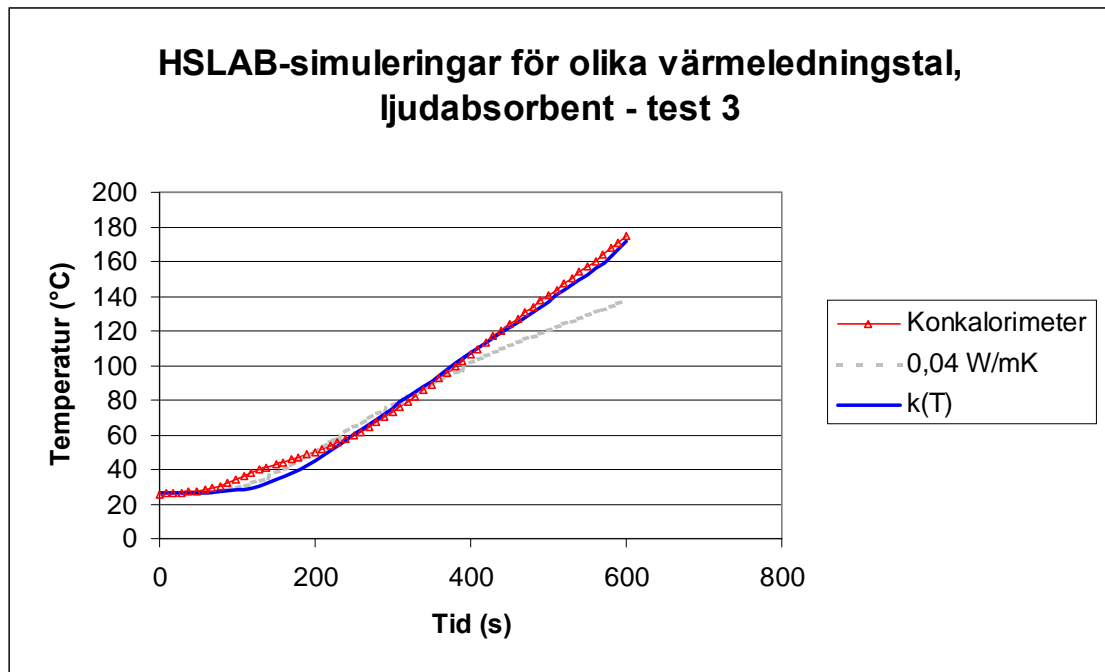


Diagram B-5 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet

Kommentarer

Observera att tidssteget behövdes förlängas från 5 till 10 sekunder, då värmeledningstalet varierar med temperaturen, för att HSLAB skulle kunna klara av att utföra beräkningarna.

BILAGA B.4 - LJUDABSORBENT TEST 4

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för ljudabsorbenten- konkalorimetertest 4

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-4 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 4 (se bilaga A-4).

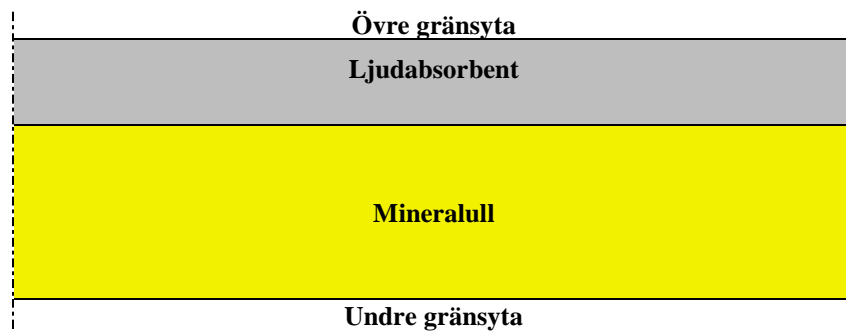
Ljudabsorbent $\rho = 158 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.016 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.04 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-4 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 800 s

Tidssteg = 10 s

Tabell B-4 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	10	20	30	40	51	71	131	171	311	483	785
T (°C)	25	152	214	249	272	284	300	320	323	330	335	343

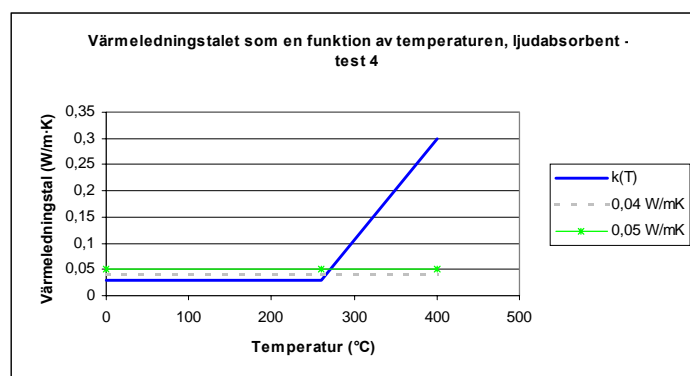


Diagram B-6 Antagna värmeledningstal för ljudabsorbent, test 4.

Resultat från HSLAB-simuleringar

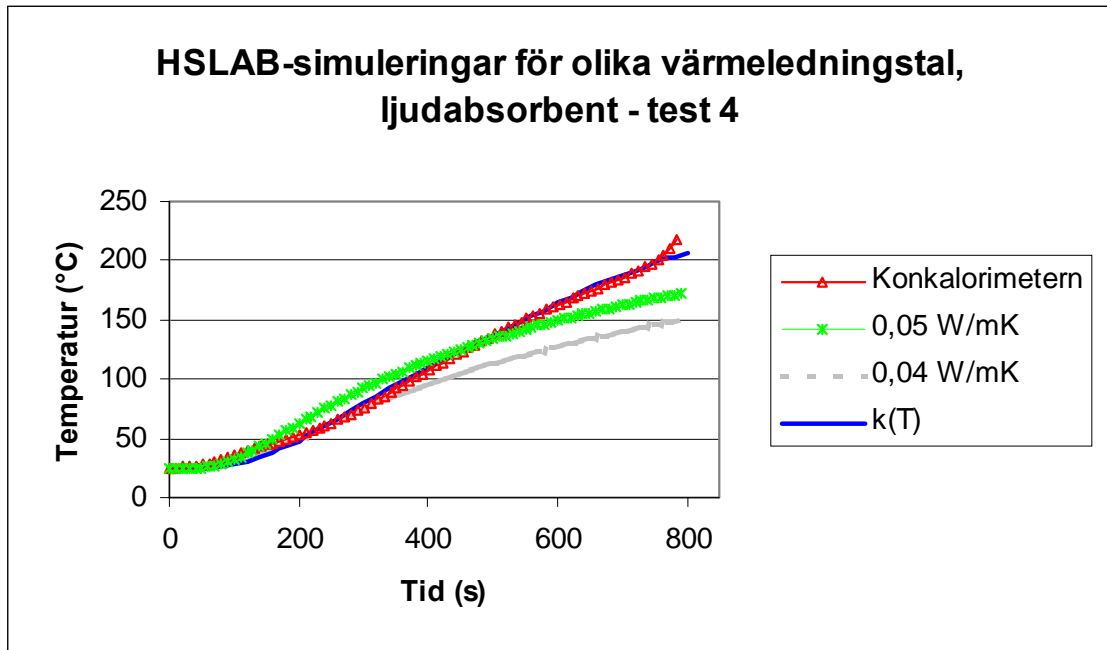


Diagram B-7 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet

Kommentarer

Vid 200 °C kan man skönja att temperaturkurvan ökar kraftigt till följd av att textillumpen självantänd i kanten.

Liksom i test 3 har tidssteget behövt förlängas från 5 till 10 sekunder, i fallet där värmeledningstalet varierar med temperaturen, för att HSLAB skall klara av att utföra beräkningarna.

BILAGA B.5 – POLYURETAN TEST 5

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för polyuretan- konkalorimeter test 5

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-5 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimeter test 5 (se bilaga A-5).

Polyuretan $\rho = 73 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1100 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.015 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

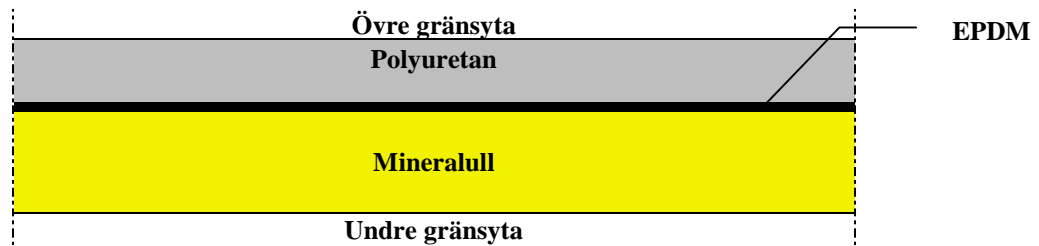
EPDM $\rho = 1906 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1400 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = 0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (antaget från resultat i bilaga B.8)
 $d = 0.0017 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.0005 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.025 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-5 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 2600 s

Tidssteg = 40 s

Tabell B-5 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	68	169	269	369	470	600	801	1002	1203	1404	1805	2207	2569
T (°C)	27	27	44	70	93	113	136	152	184	200	213	230	242	241

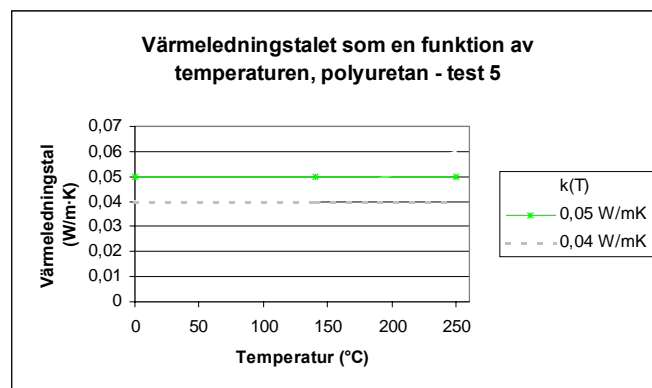


Diagram B-8 Antagna värmeledningstal för polyuretan, test 5.

Resultat från HSLAB-simuleringar

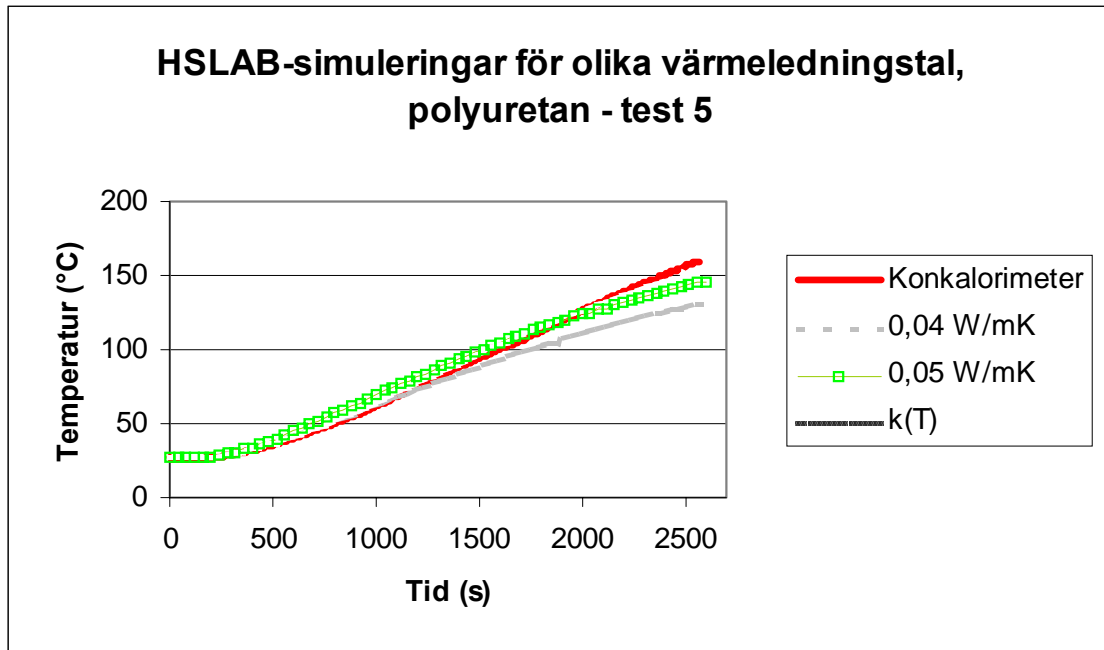


Diagram B-9 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet.

Kommentarer

Observera att tidssteget i beräkningarna är 40 sekunder för att HSLAB skall klara av att utföra beräkningarna (detta bland annat på grund av den långa simuleringstiden).

Observera också att simuleringen pågår under mycket lång tid och polyuretanprovet vid försökets slut hade krympt till 70 % av ursprunglig tjocklek.

BILAGA B.6 - POLYURETAN TEST 6

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för polyuretan- konkalorimetertest 6

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-6 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 6 (se bilaga A-6).

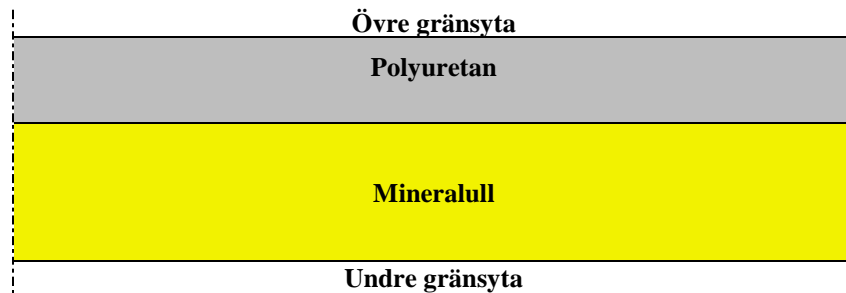
Polyuretan $\rho = 73 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.015 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.025 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-6 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 960 s

Tidssteg = 10 s

Tabell B-6 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	48	98	199	299	399	500	600	701	802	902	1003
T (°C)	24	24	30	57	86	112	134	154	171	186	199	211

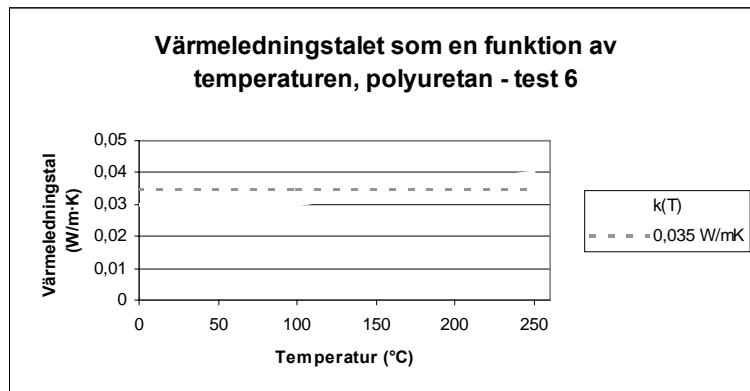


Diagram B-10 Antagna värmeledningstal för polyuretan, test 6.

Resultat från HSLAB-simuleringar

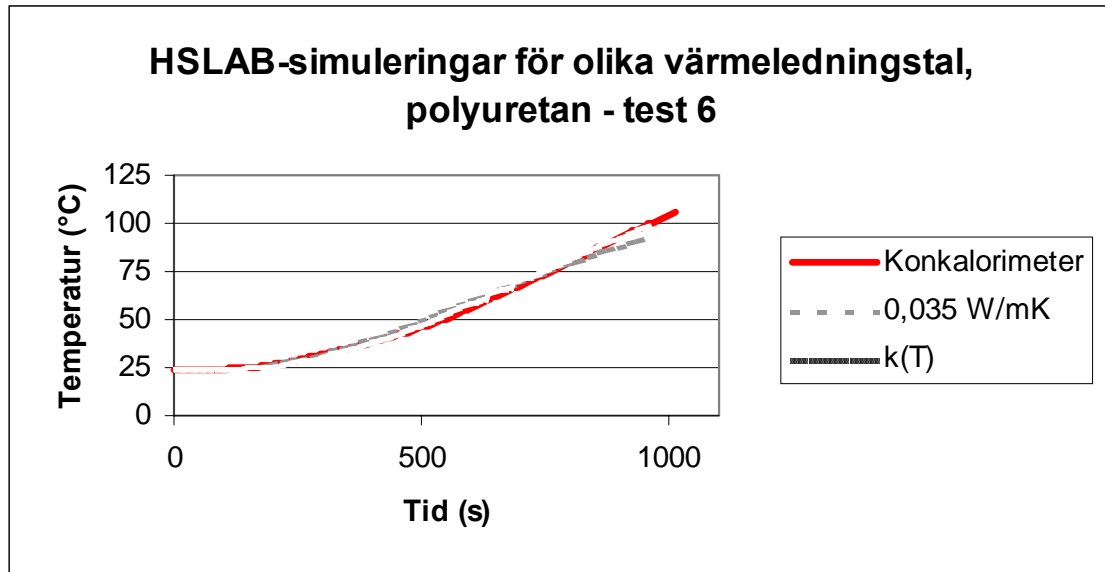


Diagram B-11 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet.

BILAGA B.7 – EPDM TEST 5

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för EPDM- konkalorimetertest 5

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-7 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 5 (se bilaga A-5).

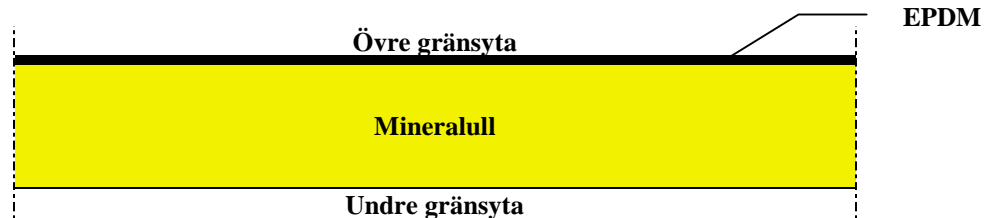
EPDM $\rho = 1906 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1400 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.0017 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.0005 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.025 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-7 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 2600 s

Tidssteg = 40 s

Tabell B-7 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	239	440	640	841	1042	1244	1444	1645	1845	2047	2248	2569
T (°C)	27	27	33	42	52	64	77	91	102	115	129	141	160

Resultat från HSLAB-simuleringar

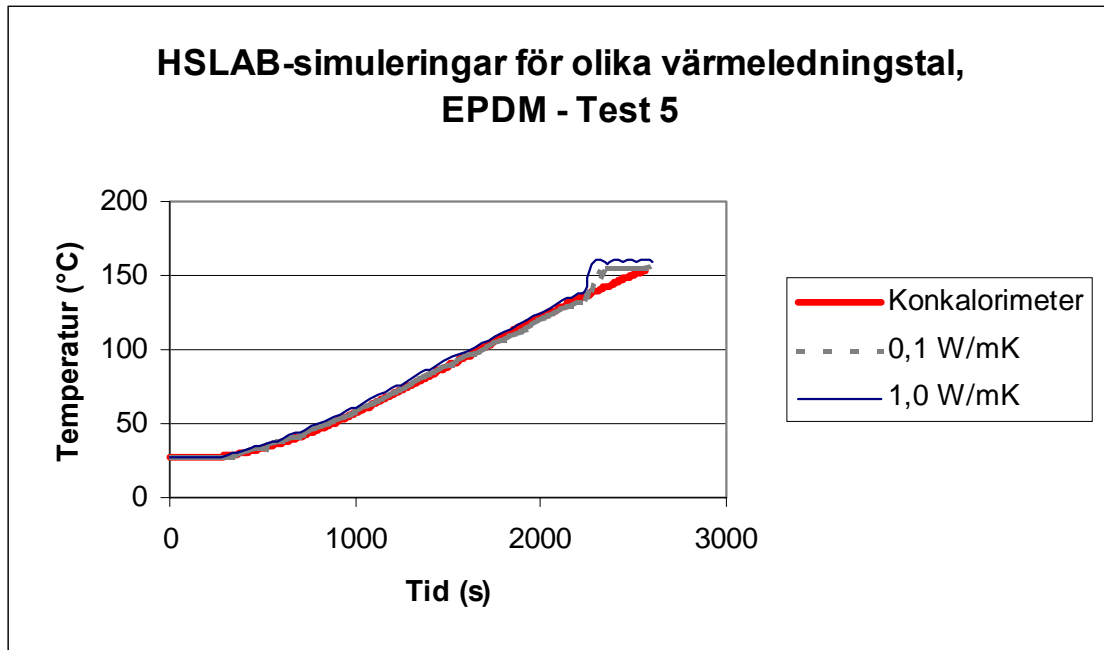


Diagram B-12 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet.

Kommentarer

Den snabba ökningen av temperaturen i slutet av de båda simuleringarna i HSLAB kan inte förklaras av författarna. Vi förutsätter att de uppkommit på grund av något fel i beräkningarna och anser därför att man bör bortse från den sista minuten av simuleringarna.

Observera att tidssteget är 40 sekunder för att HSLAB skall klara av att utföra beräkningarna (detta på grund av den långa simuleringstiden).

BILAGA B.8 – EPDM TEST 7

Indata i HSLAB för utredning av värmeledningstal, λ , för EPDM- konkalorimetertest 7

Övre gränsyta Yttemperaturen T_y varierar linjärt med tiden mellan mätpunkterna i tabell B-8 nedan. Mätpunkterna är uppmätta temperaturer från konkalorimetertest 7 (se bilaga A-7).

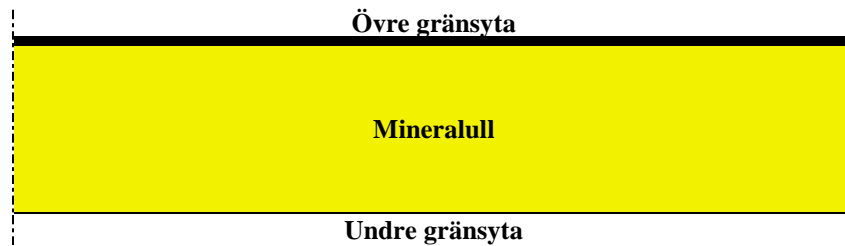
EPDM $\rho = 1906 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 1400 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ $\lambda = \text{undersökes}$
 $d = 0.0017 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.0002 m

Mineralull Materialparametrar för mineralullen är tagna enligt de för det i HSLAB inlagda materialet "Mineral Wool" /4/.

$d = 0.04 \text{ m}$ lagertjocklek = 0.001 m

Undre gränsyta Lufttemperaturen T_a hålls konstant.

$T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ $\varepsilon = 0.7$



Figur B-8 Materialkonfiguration i HSLAB-simulering.

Simuleringstid = 1280 s

Tidssteg = 20 s

Tabell B-8 Yttemperatur för övre gränsyta.

t (s)	0	51	101	201	302	403	503	604	705	805	906	1007	1107	1208	1278
T (°C)	25	26	29	43	62	83	107	122	137	151	165	177	188	199	205

Resultat från HSLAB-simuleringar

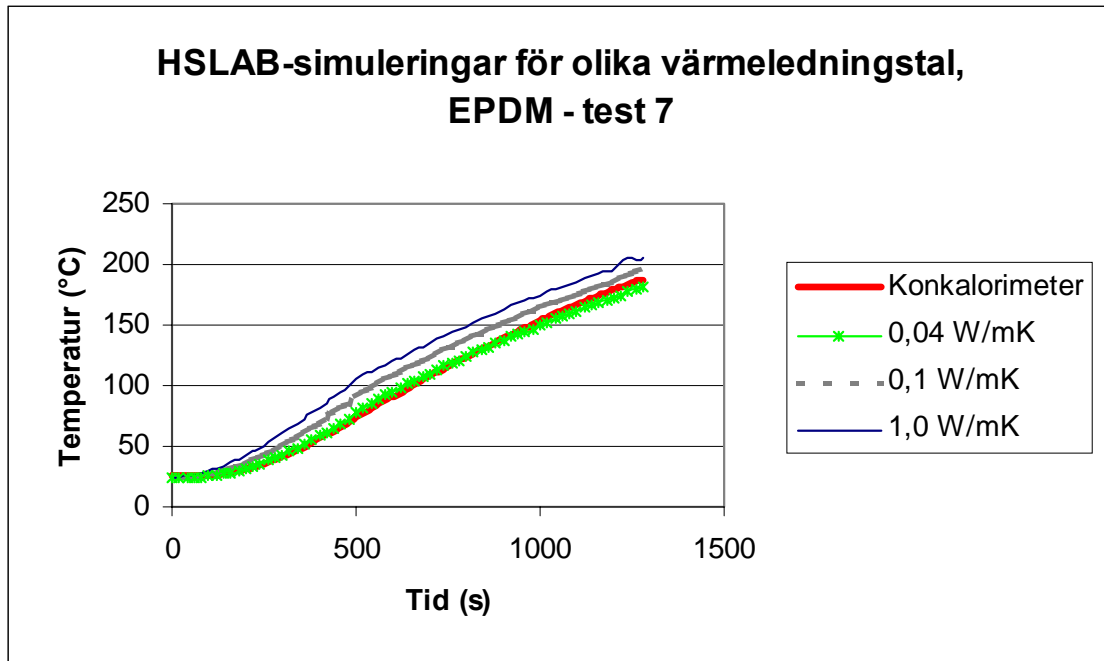


Diagram B-13 Jämförelse mellan uppmätt temperatur i konkalorimeter och beräknad temperatur i HSLAB under det undersökta materialet.

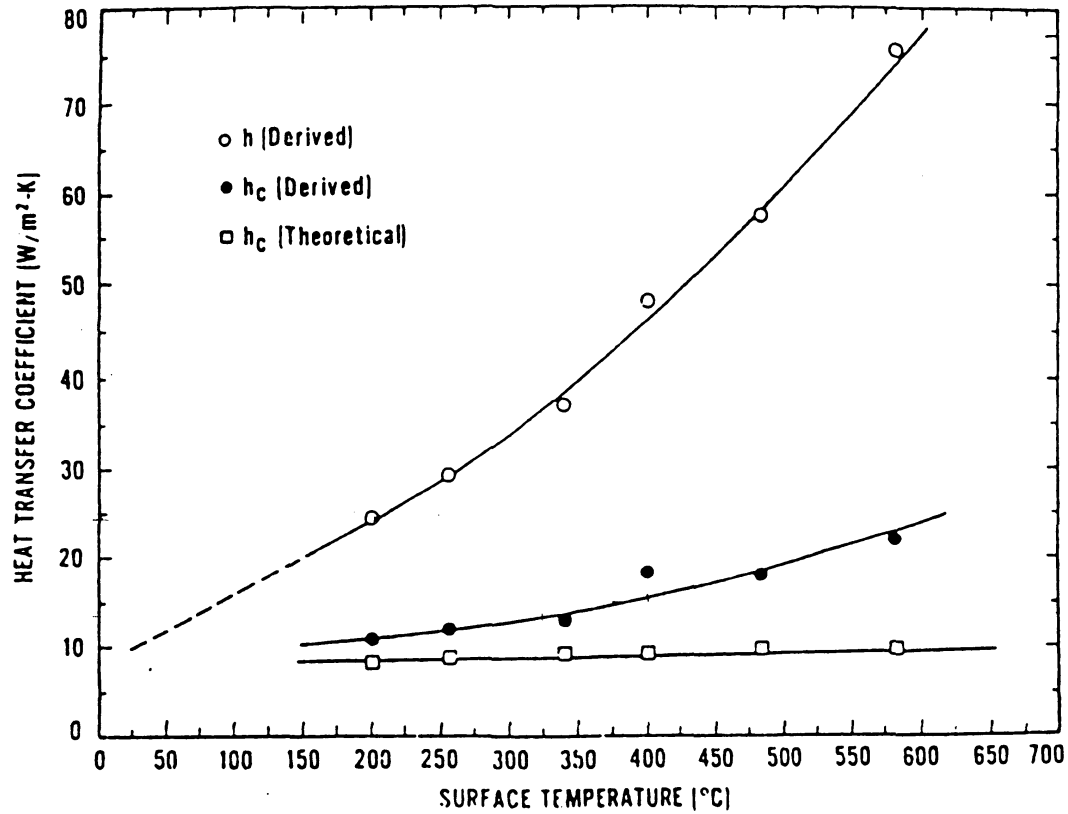
Kommentarer

Observera att simuleringstiden i det här testet bara är ungefär hälften så lång som vid det andra testet av EPDM.

Bilaga C

Figur - konvektivt
värmeövergångstal

BILAGA C – VÄRMEÖVERGÅNGSTALET MELLAN VÄGG OCH LUFT SOM EN FUNKTION AV TEMPERATUREN



Figur C-1 Figur ur Analytisk lösning av värmeledningsekvationen /8/ som visar hur det konvektiva värmeövergångstalet h_c (teoretiskt och analytiskt) och värmeövergångstalet h (både konvektion och strålning) varierar med temperaturen i gränsytan mellan en vägg och luft.

Bilaga – D

Indata till simulering
av fullskaleförsök,
991116

BILAGA D – SIMULERING AV FULLSKALEFÖRSÖK, 991116

Indata i HSLAB och TASEF för beräkning av hela mellanbrädeskonstruktionen - en jämförelse med försöket i Borås 991116

Initial temperatur i konstruktionen

$T_i = 13 \text{ °C}$ (Vilket var den lägsta temperaturen i konstruktionen vid fullskaletestet. Temperaturen var högre i de delar av mellanbrädan som ligger närmast motorn)

Mellanbrädans gränsyta i motorrummet

Tabell D-1 *Gastemperatur i motorrummet.*

t (s)	0	56	136	144	172	180	240	304	376
T_{gas}	74	825	825	115	115	657	850	850	800

$$h_c = 16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$\epsilon_r = 0,16 \text{ (resulterande emissionstal mellan flammen och ljudabsorbenten, se kapitel 8.5)}$$

Ljudabsorbent

$d = 0,015 \text{ m}$ (Mått från ritningen av ljudabsorbenten på undersökt position)

$$\rho = 170 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

Tabell D-2 *Värmeledningstal för ljudabsorbent.*

T (°C)	0	260	500
λ (W/m·K)	0,035	0,035	0,35

$$\epsilon_{\text{textillump}} = 0,8 \quad \text{(Endast indata i TASEF)}$$

$$h_{c, \text{textillump}} = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ (Endast indata i TASEF)}$$

Luftspalt

$d = 0,021 \text{ m}$ (Mått ifrån ritningen av ljudabsorbenten på undersökt position)

HSLAB beräknar värmetransporten i luftspalter som ledning genom att ge luft ett fiktivt värmeledningstal som ersätter strålning och konvektion. Parametrarna för luft ligger inlagda i programmet redan under materialet "AIR" vilket har använts i simuleringarna.

Plåt $d = 0,001 \text{ m}$ (0,0097 m i verkligheten)

Stålplåt ligger som ett förprogrammerat material i både HSLAB och TASEF. Dessa materialparametrar har således använts. "STEEL" i HSLAB och "STM2" i TASEF".

$$\epsilon_{\text{plåt}} = 0,9 \quad (\text{Endast indata i TASEF})$$

$$h_{c, \text{plåt}} = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (\text{Endast indata i TASEF})$$

Polyuretan (i ljudmattan)

$$d = 0,015 \text{ m}$$

$$\rho = 70 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1100 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Tabell D-3 Värmeledningstal för polyuretan.

T (°C)	0	150	250
λ (W/m·K)	0,035	0,035	0,05

EPDM (i ljudmattan)

$$d = 0,002 \text{ m} \quad (0,0017 \text{ m i verkligheten})$$

$$\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1400 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

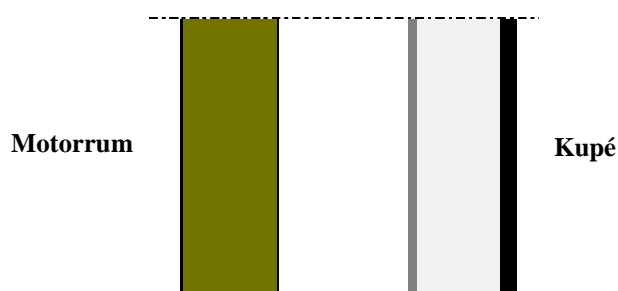
$$\lambda = 0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

Mellanbrädans gränsyta i motorrummet

Gastemperaturen i kupén $T_a = 13 \text{ °C}$ (konstant)

$$h_c = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$\epsilon_r = 0,94$ (resulterande emissionstal mellan flammans och ljudabsorbenten, se kapitel 8.5)



Figur D-1 Tvärsnitt av undersökt mellanbräda.

Bilaga – E

Indata till exempel
på möjlig tillämning
av datorprogram

BILAGA E – INDATA TILL EXEMPEL PÅ MÖJLIG TILLÄMPNING AV DATORPROGRAM

Initial temperatur i konstruktionen

$$T_i = 13 \text{ °C}$$

Mellanbrädans gränsyta i motorrummet

Tabell E-1 *Gastemperatur i motorrummet.*

t (s)	0	50	380
T_{gas}	74	825	825

$$h_c = 16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$\epsilon_r = 0,16 \text{ (resulterande emissionstal mellan flammans och ljudabsorbenten, se kapitel 8.5)}$$

Ljudabsorbent

$$d = 0,015 \text{ m (test 1 och 3)}$$

$$d = 0,005 \text{ m (test 2)}$$

$$\rho = 170 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

Tabell E-2 *Värmeledningstal för ljudabsorbent.*

T (°C)	0	260	500
λ (W/m·K)	0,035	0,035	0,35

$$\epsilon_{\text{textillump}} = 0,8 \quad (\text{Endast indata i TASEF})$$

$$h_{c, \text{textillump}} = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ (Endast indata i TASEF)}$$

Luftspalt

$$d = 0,021 \text{ m (test 1 och 2)}$$

$$d = 0 \text{ m (test 3)}$$

HSLAB beräknar värmetransporten i luftspalter som ledning genom att ge luft ett fiktivt värmeledningstal som ersätter strålning och konvektion. Parametrarna för luft ligger inlagda i programmet redan under materialet "AIR" vilket har använts i simuleringarna.

$$\text{Plåt} \quad d = 0,001 \text{ m} \quad (0,0097 \text{ m i verkligheten})$$

Stålblåt ligger som ett förprogrammerat material i både HSLAB och TASEF. Dessa materialparametrar har således använts. ”STEEL” i HSLAB och ”STM2” i TASEF”.

$$\epsilon_{\text{plåt}} = 0,9 \quad (\text{Endast indata i TASEF})$$

$$h_{c, \text{plåt}} = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (\text{Endast indata i TASEF})$$

Polyuretan (i ljudmattan)

$$d = 0,015 \text{ m}$$

$$\rho = 70 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1100 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Tabell E-3 Värmeledningstal för polyuretan.

T (°C)	0	150	250
λ (W/m·K)	0,035	0,035	0,05

EPDM (i ljudmattan)

$$d = 0,002 \text{ m} \quad (0,0017 \text{ m i verkligheten})$$

$$\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 1400 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

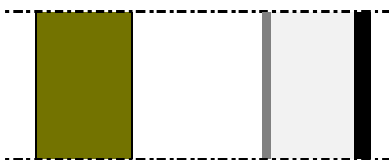
$$\lambda = 0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

Mellanbrädans gränsyta i motorrummet

Gasttemperaturen i kupén $T_a = 13 \text{ °C}$ (konstant)

$$h_c = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$\epsilon_r = 0,94$ (resulterande emissionstal mellan flammen och ljudabsorbenten, kapitel 8.5)



Figur E-1 Tvärsnitt av mellanbrädan i test 1.



Figur E-2 Tvärsnitt av mellanbrädan i test 2.



Figur E-3 Tvärsnitt av mellanbrädan i test 3.

Bilaga – F

Konvektiva värmeövergångs- talets inverkan i TASEF

BILAGA F – KONVEKTIVA VÄRME- ÖVERGÅNGSTALET INVERKAN I TASEF

För att utreda vilken inverkan det har på slutresultatet att använda sig av TASEF:s funktion för ett temperaturberoende värde på det konvektiva värmeövergångstalet utförs tre olika simuleringar, med olika förutsättningar. De exempel som behandlas är identiska med test 1-3 som redovisas i kapitel 11.3.2.1.

För varje test utförs det en simulering med varierande värmeövergångstal samt en med de konstanta antagna värdena, enligt kapitel 8.6.2. Resultaten redovisas i diagram F-1.

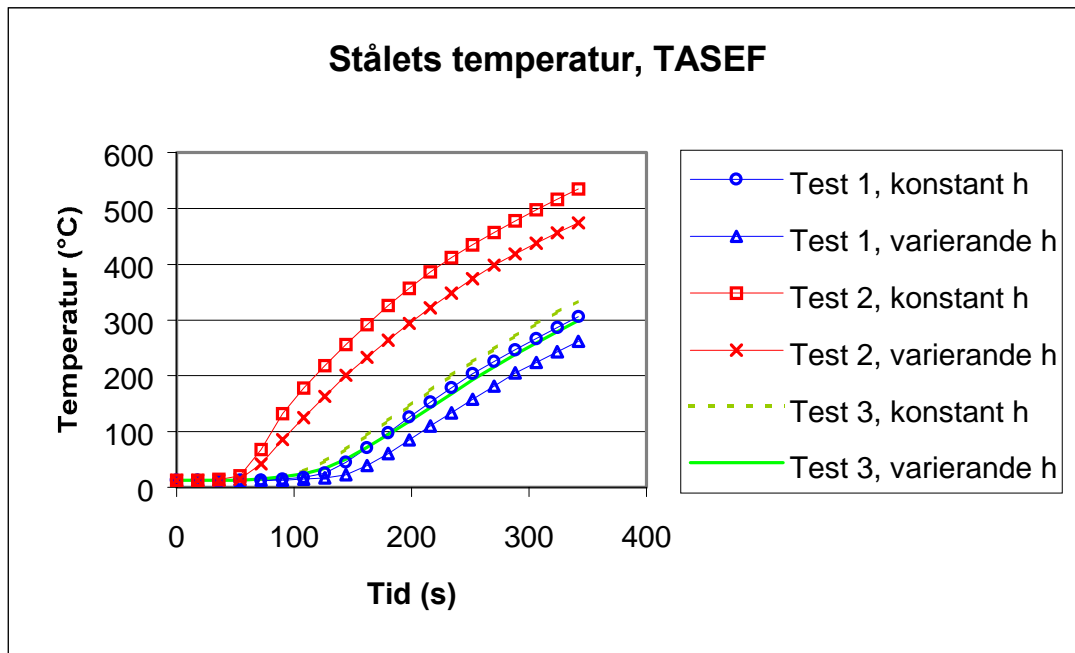


Diagram F-1 Stålblätens temperatur vid tre exempel enligt kapitel 11.3.2.1. För varje exempel utförs två simuleringar, ett med varierande och ett med konstanta konvektiva värmeövergångstal.

Kommentarer

För varje enskilt test är det tydligt att simuleringen med varierande konvektiva värmeövergångstal ger lägre temperaturer för stålblätet än simuleringen med de antagna konstanta värdena. Det är dock viktigt att konstatera att detta endast gäller för de givna simuleringsspecifikationerna samt de antagna konstanta värmeövergångstalen. Andra värden kan ge helt andra resultat.

En annan intressant iakttagelse är att TASEF-simuleringarna, precis som vid simuleringen av fullskaleförsöket (kapitel 10), ger avsevärt högre värden för stålblätets temperatur än HSLAB-simuleringarna. Det är även anmärkningsvärt att TASEF-simuleringarna ger att luftspalten i konstruktionen har en mycket liten inverkan på värmetransporten, samtidigt som en reducering av ljudabsorbentens tjocklek har mycket stor inverkan. HSLAB påvisar ett helt annat förhållande, då simuleringarna ger att luftspalten har stor inverkan på värmetransporten, men att en minskning av ljudabsorbentens tjocklek har mindre inverkan. Att de olika datorprogrammen ger så pass olika resultat för relativt enkla simuleringar medför att även de tidigare utförda simuleringarnas giltighet kan diskuteras. Vilka simuleringar som stämmer bäst överens med verkligheten är dock svårt att säga, då testresultaten från fullskaleförsöket är behäftade med stora osäkerheter. Enligt dessa är det emellertid HSLAB som bäst predikterar värmetransporten i konstruktionen.