

## **1. Bakgrund till flamspridningsprojektet.**

För branddimensionering har man under de senaste 30 åren använt olika typer av beräkningsmodeller. Modellerna har syftat till att beräkna vad som händer vid brand så att man kan dimensionera en byggnad så att den blir säker men samtidigt så billig som möjligt. Olika beräkningsmodeller har tagits fram för brandutveckling i rum, fullt övertänd brand, bärförmåga hos stål, betong och träkonstruktioner vid brand, utrymning mm.

De senaste i raden av dessa beräkningsmodeller som detta projekt avser är program som kan beräkna interaktionen mellan branden och lokalen i övrigt. Man behöver inte längre i förväg bestämma brandens utveckling och storlek utan kan i stället initiera branden och sedan låta den utvecklas av sig själv.

Vad som initierar branden bestäms av användaren men det blir lättare att välja eftersom det krävs mindre kunskaper i branddynamik för att bestämma tändkällan än för att bestämma ett helt brandförlopp. Ett mindre elfel, en soffa eller en papperskorg som brinner, utspilld olja eller bensin, är exempel på tänkbara tändkällor.

Programmet kan därefter beräkna hur den initiella branden påverkar dess omgivning, hur närliggande föremål värms upp och antänds och hur rök och giftiga gaser bildas och sprids i lokalen.

Forskningen kring brandspridning och brandtillväxt har fortgått under flera decennier och ett stort antal modeller har presenterats. Från användarperspektiv kan det vara intressant att notera att mycket få, om några, av dessa någonsin använts utanför sina respektive forskarområden. Ett problem som forskarna fortfarande inte riktigt löst är att med god precision och rimlig beräkningskostnad beskriva det infallande värmeflödet mot en yta, såväl värmestrålning som konvektiv påverkan.

Flera av de CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics) som finns tillgängliga idag, till exempel SOFIE eller CFX, ger dock en relativt noggrann beskrivning av den termiska exponeringen samtidigt som beräkningstiderna är skäliga. Resultatet som erhålls kan då kombineras med modeller för termisk nedbrytning, pyrolys, av olika brännbara material och då finns betydligt större möjligheter för programmen att slå igenom.

I projektet, finansierat av CECOST, BRANDFORSK, SBUF och SRV, har utvecklats ett antal submodeller och mätteknik och genomfört ett antal avancerade experiment. Detta har medfört att möjligheten att förutsäga flamspridning har förbättrats avsevärt.

## **2. Projektdeltagare**

### **Projektledare:**

- Professor Göran Holmstedt, Avdelningen för Brandteknik, LTH.

### **Doktorander och handledare:.**

- Flamspridningsexperimenten - Doktorand Civ.ing Per Blomqvist, SP, handledare Professor Bo Leckner, Energiteknik, Chalmers och Professor Göran Holmstedt, Brandteknik, LTH

- Mätteknik - Doktorand Fil.Kand. Alaa Omrane, LTH, handledare Professor Marcus Aldén, förbränningsfysik, LTH.
- Turbulens och värmeöverföring - Doktorand Civ.ing Anette Nilsson, handledare Professor Bengt Sundén, Värmeöverföring, LTH. och Ph.D. Zhenghua Yan, Brandteknik LTH
- Pyrolysmodeller - Doktorand Fil.Kand. Jenny Svensson, Göteborgs Universitet (GU), handledare Doc. Jan Pettersson, Fysikalisk Kemi, GU.
- Materialmodeller - Doktorand Civ.ing Ulf Göransson, LTH, handledare Professor Göran Holmstedt, Brandteknik, LTH.

### 3. Brandförloppets beroende av ytskikt och innehåll beräknas

Den idag vanligaste metoden för beräkning av brandförlopp är att beskriva branden som en punktkälla (i en zon-modell) eller statisk yta (i en CFD-modell) varur energi pumpas in i beräkningsdomänen. Hur mycket energi som ska tillföras bestäms av den ingenjör som programmerar indatafilen. Detta innebär rimligen en begränsning på den utförda beräkningen.

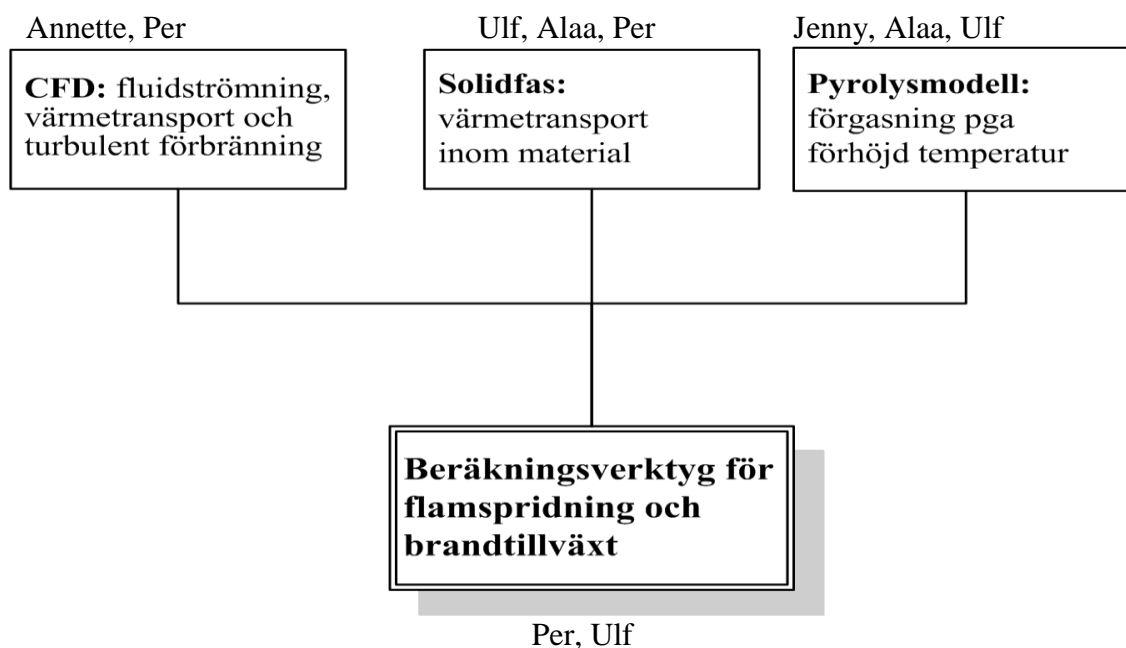
Det nya förfarandet innebär att man tankemässigt tar ett steg tillbaka och låter beräkningsmodellen själv justera värmeutvecklingen utifrån parametrar såsom placering av olika brännbara föremål, den resulterande värmepåverkan och det termiska svaret (produktion av brännbara gaser) från en produkt. Ingenjörens nyckelroll vid bestämning av brandförloppet har här kommit att bli mer subtilt, nämligen att definiera tillämplig initialbrandkälla och att teoretiskt beskriva de brännbara ytorna på ett sätt som datormodellen förstår.

De nya metoderna kombinerar detaljerad beräkning av gastemperatur och flöde med temperatur- och pyrolyserberäkning för ett fast brännbart material, se figur 1. Det innebär att man även kan beräkna brandens faktiska utveckling och man kommer därmed ett steg längre i dimensioneringen. Man kan alltså börja tala om funktionsbaserad dimensionering även för ytskikt. Fördelarna som uppnås är framför allt följande:

- Ytskikt kan bedömas tillsammans med byggnadens innehåll och utformning.
- Kombinationer av produkter och material kan bedömas på ett betydligt säkrare sätt. Hur mycket påverkar en mindre mängd brandtekniskt sämre material i kombination med bättre produkter.
- Ökade möjligheter att utnyttja fördelar som hög takhöjd, brandgasventilation och låg brandbelastning vid branddimensionering.
- Man når närmare rätt brandsäkerhet dvs önskad säkerhet.

Men genom att införa nya metoder får man också vissa nackdelar:

- Beräkningarna blir mer omfattande, tidskrävande och kräver än mer expertkunskap än tidigare.
- På grund av brandspridningens komplexitet som fysikaliskt fenomen blir det svårare att göra säkra bedömningar och överslagsberäkningar på förhand, innan beräkningen utförts.
- Slutligen finns det också en risk för att gamla sanningar, såsom handbokslösningar och praxis, plötsligt inte är så sanna längre, vad gör man då?
- Indata i form av materialspecifika parametrar krävs för de produkter som skall delta i brandutvecklingen.



Figur 1. Med en CFD-modell, en temperaturberäkningsmodell i solidfasen och en pyrolysmo­dell kan ett beräkningsverktyg för flamspridning och brandtillväxt byggas upp. I figuren anges även vilka doktorander som varit inblandade i utveckling av de olika delmodellerna

## 4. Resultat från delprojekten

### 4.1 Flamspridningsexperiment

Doktorand Phil.lic Per Blomqvist, Brandteknik, SP,Borås,Handledare Professor BoLeckner, Energiteknik, Chalmers och Professor Göran Holmstedt, Brandteknik,LTH

Doktoranden har utfört experiment med avancerad mätteknik som använts i projektet för att ge ett underlag för validering av delmodeller för pyrolys och totalmodell för flamspridning. Arbetena har presenterats i följande vetenskapliga publikationer:

- Fil.lic. Avhandling :Measurement of toxic combustion gases in large scale fire experiments. Per Blomqvist, Chalmers Report OOK 00:02 ISSN 0283-8575
- Analysis of mass loss rate from cone calorimeter tests in nitrogen atmosphere. U. Göransson, P. Blomqvist. Fire and Explosions '03 conference paper (2003)
- Thermal decomposition of PMMA and wood fiber boards: Experimental kinetics studies and pyrolysis models. J. Svensson, J. Pettersson, P. Blomqvist, P.van Hees, U. Göransson , G. Holmstedt. Fire and Material 2004

Per Blomqvist disputerar den 21 oktober 2005

### 4.2 Laserbaserad mätteknikutveckling

Doktorand Fil.Kand. Alaa Omrane, LTH, handledare Professor Marcus Aldén, förbränningsfysik, LTH.

Doktoranden har utvecklat en ny laserbaserad metod för att mäta temperatur på ytor. Han har varit den som först publicerat temperaturmätningar (1 och 2 D) på brinnande ytor. Tekniken

har använts för att kunna utveckla och validera pyrolys, material- och flamspridningsmodeller.

Arbetena har publicerats i följande vetenskapliga publikationer:

- Tekn. Doktorsavhandling. Thermometry using laser induced emission from thermographic phosphors: development and applications in combustion. Alaa Omrane. Division of combustion physics, Department of physics, Lund institute of technology. 15 April 2005.
- Surface temperature measurement of flame spread using thermographic phosphors. A.Omrane, F.Ossler, M. Aldén, U. Göransson, G. Holmstedt. Proc. 7th Int. Symp. in Fire Safety Science pp:141-152 (2002)
- Two dimensional surface measurement of burning materials. A.Omrane, F. Ossler , M.Aldén. Proc. of the Comb. Inst. 19:2653-2659, (2002)
- Surface temperature measurements in the cone calorimeter using phosphorescence. U. Göransson, A. Omrane Paper at Interflam 2004
- Surface temperature of decomposing construction materials studied by laser-induced phosphorescence. Omrane, F.Ossler, M. Aldén, J. Svensson, J. Pettersson. Fire and materials Journal 29:39-51 (2005)
- Surface temperature of wood particles during rapid pyrolysis: laser -induced phosphorescence measurements and modelling. J.Svensson, J. Pettersson, A.Omrane, F.Ossler, M.Aldén, M. Bellais, T.Liljedahl, K. Sjöström. Proc. of Sci. in Thermal and Chemical biomass conversion. In Press (2005)
- A model for prediction of steel temperature protected by intumescent coating, based on tests in cone calorimeter. Y.Wang, U. Göransson, G. Holmstedt , A. Omrane. Accepted for presentation at 9th Int. Symp. in Fire Safety Science Sept 2005
- Intumescent coating temperature evaluation in a cone calorimeter: laser-induced phosphorescence and modelling. A.Omrane, U. Göransson, Y.Wang, G. Holmstedt and M.Aldén. Submitted to Fire Safety Journal (2005).

#### **4.3 Turbulens och värmeöverföring-**

Doktorand Civ.ing. Anette Nilsson, handledare Professor Bengt Sundén, Värmeöverföring, LTH. och Ph.D. Zhenghua Yan, Brandteknik LTH

Doktoranden har utvecklat och validerat avancerade modeller för turbulens och värmeöverföring och tillämpat dem på flamspridningsexperiment som utförts av andra doktorander inom projektet.

Arbetet har presenterats i följande vetenskapliga publikationer:

- Large eddy simulation of upward flame spread over PMMA surface. A. Nilsson, Z Yan. The Eurotherm Seminar No 70 "Physical and Mathematical Modelling of fires in enclosures and Fire protection", Italy (2002)
- Large eddy simulation of natural convective heat transfer along a vertical isothermal surface. Z. Yan, A.Nilsson, B. Sundén. Eight Int. Conf. On Advanced Computational Methods in Heat Transfer, 24-26 March 2004, Lisbon, Portugal.
- Large Eddy Simulation of Natural Convection along a Vertical Isothermal Surface, Heat and Mass transfer (in press 2005)

Anette Nilsson planerar att avlägga teknologie Licentiatexamen ht 2005

#### **4.4 Pyrolysmodeller**

Doktorand Fil.Kand. Jenny Svensson, Göteborgs Universitet (GU), handledare Doc. Jan Pettersson, Fysikalisk Kemi, GU

Doktoranden har studerat termisk nedbrytning några trä- och plastbaserade byggnadsmaterial. En speciell ugn med en känslig våg har konstruerats. Pyrolysgaser har studerats med

molekylstråle masspektrometer. Resultaten har använts av andra doktorander i materialmodeller och för flamspridningsberäkningar.

Arbetet har presenterats i följande vetenskapliga publikationer:

- Filosofie Doktorexamen. Thermal decomposition of biomass and construction materials- an experimental study. Jenny Svensson department of Chemistry, Göteborg University 17 December 2004.
- Fast pyrolysis of the main components of birch wood. J. Svensson, J. Pettersson, K. Davidsson. Combust. Sci and Tech 176:977-990 (2004)
- Gas composition outside and inside pyrolyzing wood studied by molecular beam mass spectrometry. J. Svensson, J. Pettersson Thesis. J. Svensson ISBN 91-628-6348-7 (GU 2004)
- Thermal decomposition of PMMA and wood fiber boards: Experimental kinetics studies and pyrolysis models. J. Svensson, J. Pettersson, P. Blomqvist, P.van Hees, U. Göransson , G. Holmstedt. Fire and Material 2004
- Surface temperature of decomposing construction materials studied by laser-induced phosphorescence. Omrane, F.Ossler, M. Aldén, J, Svensson, J. Pettersson. Fire and materials Journal 29:39-51 (2005)
- Surface temperature of wood particles during rapid pyrolysis: laser -induced phosphorescence measurements and modelling. J.Svensson, J. Pettersson, A.Omrane, F.Ossler, M.Aldén, M. Bellais, T.Liljedahl, K. Sjöström. Proc. of Sci. in Thermal and Chemical biomass conversion. In Press (2005)

#### **4.5 Materialmodeller**

Doktorand Civ.ing Ulf Göransson, LTH, handledare Professor Göran Holmstedt, Brandteknik, LTH.

Doktoranden har genom teori och experiment utvecklat materialmodeller för för några trä- och plastbaserade byggnadsmaterial. Modellerna tar hänsyn till såväl transport av värme och massa som pyrolysisreaktioner. Modellerna kan relativt enkelt implementeras i CFD-program.

Arbetet har presenterats i följande vetenskapliga publikationer:

- Surface temperature measurement of flame spread using thermographic phosphors. A.Omrane, F.Ossler, M. Aldén, U. Göransson, G. Holmstedt. Proc. 7th Int. Symp. in Fire Safety Science pp:141-152 (2002)
- Analysis of mass loss rate from cone calorimeter tests in nitrogen atmosphere. U. Göransson, P. Blomqvist. Fire and Explosions '03 conference paper (2003)
- Surface temperature measurements in the cone calorimeter using phosphorescence. U. Göransson. A. Omrane Paper at Interflam 2004
- Numerical and Experimental Investigation of Flame Spread Over a PMMA Surface. Zhang, Ferraris, Demberle and Wen, Kingston University, London, UK, Göransson and Holmstedt, Lund University, Sweden. Interflam 04 conference paper.
- Thermal decomposition of PMMA and wood fiber boards: Experimental kinetics studies and pyrolysis models. J. Svensson, J. Pettersson, P. Blomqvist, P.van Hees, U. Göransson , G. Holmstedt. Fire and Material 2004
- A model for prediction of steel temperature protected by intumescent coating, based on tests in cone calorimeter. Y.Wang, U. Göransson, G. Holmstedt , A. Omrane. Accepted for presentation at 9th Int. Symp. in Fire Safety Science Sept 2005
- Intumescent Paint temperature evaluation in a cone calorimeter: laser-induced phosphorescence and modelling.. A.Omrane, U. Göransson, Y.Wang, G. Holmstedt and M.Aldén. Submitted to Fire Safety Journal (2005).

Information om projektet har även presenterats av doktoranden i följande tidningsartiklar:

- Kan man använda trä som ytskikt i samlingslokaler. U. Göransson. J. Carlsson. Bygg & Teknik nr 6/02 sid 43
- Användning av CFD för brandtekniska beräkningar – Fördelar och Fallgropar. Jörgen Carlsson, Bjarne Husted, Ulf Göransson. Bilagan 1/2005 tidningsartikel

Ulf Göransson disputerar den 20 oktober 2005

## 5. Praktisk användning av resultaten.

Projektet har öppnat nya möjligheter att beräkna flamspridning i olika brandscenarier i byggnader och därigenom reducera osäkerheten i bedömningar och behovet av kostsamma provningar.

Exempel på praktiska problemställningar som nu kan angripas analytiskt:

- Hur högt upp på en vägg kan man placera ett träbaserat ytskikt utan att det bidrager nämnvärt till brandutvecklingen i ett rum.
- Hur utformar man fasader, balkonger och loftgångar av trä så att man undviker oacceptabel flamspridning i vertikal led efter en rumsbrand som resulterat i flammor ut igenom ett fönster.
- Vilka brandtekniska egenskaper skall en kabel ha för att undvika brandspridning i horisontell och vertikal led för olika initialbränder.
- Vilka experimentella metoder skall man använda för att ta fram relevant information om nya material som kan användas i CFD-koder för analytisk dimensionering av brandförlopp.
- Kan man använda de standardiserade brandtekniska metoderna för annat än för att rangordna material vid en enda brandbelastning?
- Hur pass väl skyddar en expanderande brandskyddsfärg, stenudd eller glasull en stålkonstruktion vid olika brandförlopp.

Vi har börjat att använda den nya informationen från projektet inom olika områden.

- I ett sidoprojekt har Jörgen Carlsson publicerat en tekn. Lic. avhandling vid Brandteknik LTH, med titeln ”Computational strategies in flame-spread modelling involving wooden surfaces” Report 1028 Lund 2003
- På uppdrag av Ringhals kärnkraftverk har vi två examensarbetare som studerat brandspridning i kablar och avdelningen har fått i uppdrag att bedöma den brandtekniska konsekvensen av val av olika kabeltyper inför den förestående stora uppbyggnaden av kärnkraftverket.
- En ny doktorand har börjat inriktad mot ”Kan man använda de standardiserade brandtekniska metoderna för annat än för att rangordna material vid en enda brandbelastning?”.
- En stenuddfabrikant har gett avdelningen ett större uppdrag, att med CFD simulera vad som händer i stenudd under olika brandbelastningar.
- Ett projekt avseende brandskyddsfärgers termiska egenskaper har genomförts samarbete med en avdelning (UMIST) vid University of Manchester.

## 6. Utbildning i brandteknisk dimensionering med CFD.

År 2000 utvecklade och gav avdelningen för brandteknik en ny kurs (motsvarande 5 akademiska poäng) om brandteknisk dimensionering med CFD. Kursen var öppen för brandingenjörsstuderande i högre årskurser, brandkonsulter och statligt och kommunalt anställda brandingenjörer. Kursen som till stor del bygger på CFD-programmet SOFIE har

sedan givits varje år och blivit en valfri kurs i brandingenjörsutbildningen. Varje år har 20-30 personer deltagit varav 20-30% varit brandkonsulter och statligt och kommunalt anställda brandingenjörer.

## **7. Artiklar och konferensbidrag som berör projektet och som författats av projektets doktorander.**

1. Upward flame spread experiments- a preparatory Study. P. Blomqvist. P. van Hees. SPAR 2001:32. SP Fire Technology Borås 2001
2. Surface temperature measurement of flame spread using thermographic phosphors. A.Omrane, F.Ossler, M. Aldén, U. Göransson, G. Holmstedt. Proc. 7th Int. Symp. in Fire Safety Science pp:141-152 (2002)
3. Two dimensional surface measurement of burning materials. A.Omrane, F. Ossler , M.Aldén. Proc. of the Comb. Inst. 19:2653-2659, (2002)
4. Large eddy simulation of upward flame spread over PMMA surface. A. Nilsson, Z Yan. The Eorotherm Seminar No 70 "Physical and Mathematical Modelling of fires in enclosures and Fire protection, Italy (2002)
5. Analysis of mass loss rate from cone calorimeter tests in nitrogen atmosphere. U. Göransson, P. Blomqvist. Fire and Explosions '03 conference paper (2003)
6. Fast pyrolysis of the main components of birch wood. J. Svensson, J. Pettersson, K. Davidsson. Combust. Sci and Tech 176:977-990 (2004)
7. Surface temperature measurements in the cone calorimeter using phosphorescence. U. Göransson. A. Omrane Paper at Interflam 2004
8. Gas composition outside and inside pyrolyzing wood studied by molecular beam mass spectrometry. J. Svensson, J. Pettersson Thesis. J. Svensson ISBN 91-628-6348-7 (GU 2004)
9. Large eddy simulation of natural convective heat transfer along a vertical isothermal surface. Z. Yan, A.Nilsson, B. Sundén. Eight Int. Conf. On Advanced Computational Methods in Heat Transfer, 24-26 March 2004, Lisbon, Portugal.
10. Numerical and Experimental Investigation of Flame Spread Over a PMMA Surface. Zhang, Ferraris, Demberle and Wen, Kingston University, London, UK, Göransson and Holmstedt, Lund University, Sweden. Interflam 04 conference paper.
11. Thermal decomposition of PMMA and wood fiber boards: Experimental kinetics studies and pyrolysis models. J. Svensson, J. Pettersson, P. Blomqvist, P.van Hees, U. Göransson , G. Holmstedt. Fire and Material 2004
12. Surface temperature of decomposing construction materials studied by laser-induced phosphorescence. Omrane, F.Ossler, M. Aldén, J. Svensson, J. Pettersson. Fire and materials Journal 29:39-51 (2005)

13. Surface temperature of wood particles during rapid pyrolysis: laser -induced phosphorescence measurements and modelling. J.Svensson, J. Pettersson, A.Omrane, F.Osseler, M.Aldén, M. Bellais, T.Liljedahl, K. Sjöström. Proc. of Sci. in Thermal and Chemical biomass conversion. In Press (2005)
14. Large Eddy Simulation of Natural Convection along a Vertical Isothermal Surface, Heat and Mass transfer (in press 2005)
15. A model for prediction of steel temperature protected by intumescent coating, based on tests in cone calorimeter. Y.Wang, U. Göransson, G. Holmstedt , A. Omrane. Accepted for presentation at 9th Int. Symp. in Fire Safety Science Sept 2005
16. Intumescent coating temperature evaluation in a cone calorimeter: laser-induced phosphorescence and modelling.. A.Omrane, U. Göransson, Y.Wang, G. Holmstedt and M.Aldén. Submitted to Fire Safety Journal (2005).

## **8. Akademiska avhandlingar av forskarstuderande i projektet**

### **Doktorsavhandlingar**

1. Thermal decomposition of biomass and construction materials- an experimental study. Jenny Svensson department of Chemistry, Göteborg University 17 December 2004.
2. Thermometry using laser induced emission from thermographic phosphors: development and applications in combustion. Alaa Omrane. Division of combustion physics, Department of physics, Lund institute of technology. 15 April 2005.

### **Filosofie licentiat examen**

1. Measurement of toxic combustion gases in large scale fire experiments. Per Blomqvist, Chalmers Report OOK 00:02 ISSN 0283-8575

## **9. Poster vid internationella konferenser.**

1. Thermal decomposition of polymers and construction materials: Experimental kinetic studies and improved pyrolysis models”, J. Svensson, J. Pettersson, P. Blomqvist, P. v Hees, U. Göransson, G. Holmstedt. IAFSS '02 conference poster.

## **10. Muntliga presentation vid nationella konferenser**

- 1 CECOST 3<sup>rd</sup> Annual seminar October 4 2000 at KTH, Stockholm (75 deltagare varav 30% från företag)
- 2 CECOST 4<sup>th</sup> Annual seminar September 26 2001 at LTH, Lund (75 deltagare varav 30% från företag)
- 3 CECOST 5<sup>th</sup> Annual seminar November 6-7 2002 at LTH, Lund (80 deltagare varav 20% från företag)



- 4 CECOST 6<sup>th</sup> Annual seminar November 12-13 at Chalmers, Göteborg (74 deltagare varav 25% från företag)

## **11. Populära artiklar om CFD och projektet**

1. Kan man använda trä som ytskikt i samlingslokaler. U. Göransson. J. Carlsson. Bygg & Teknik nr 6/02 sid 43
2. Användning av CFD för brandtekniska beräkningar – Fördelar och Fallgropar. Jörgen Carlsson, Bjarne Husted, Ulf Göransson. Bilagan 1/2005 tidningsartikel