

Luftridå som rökbarriär – försök och beräkningar

Hans Nyman
Haukur Ingason

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



Luftridå som rökbarriär - försök och beräkningar

Hans Nyman
Haukur Ingason

Abstract

Air curtains as smoke barriers – model scale tests and calculations

The report describes model scale test on air curtains as smoke barriers. The model represented a part of an underground station with platform and escalator. Temperatures were measured in the model at different positions and heights. The air curtain was installed between the platform area and the rising staircase. Its capacity was varied in two ways: either by the use of different widths of the gap through which the air was discharged, or by varying the discharge velocity.

The results show that it is possible to limit the spread of smoke with air curtains but it is probably difficult to reach the same level as of a physical barrier such as door. Crucial parameters are the impulse force and the temperatures in the fire compartment area. The test results show that with a temperature in the upper layer at 50 ° C, 5 N is required of the air curtain to avoid a higher temperature rise than 5 ° C in the escalator shaft. If the temperature is 67 ° C about 7 N needs to achieve a similar effect which corresponds to 320 N and 448 N in full scale.

The CFD simulations show good agreement with the tests carried out. Initial CFD simulations also indicate that a combination of air curtains and exhaust ventilation on an underground station could be an alternative solution.

Key words: Fire, air curtains, model scale tests, CFD-calculations, underground stations

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2014:06
ISBN 978-91-87461-54-5
ISSN 0284-5172
Borås 2014

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning	7
2 Problemformulering och metodbeskrivning	8
2.1 Syfte	8
2.2 Metod	8
3 Tidigare utförda arbeten	9
4 Teori	13
4.1 Skalteori	14
5 Utförda försök	15
5.1 Försöksuppställning	15
5.2 Utförande	16
5.2.1 Utförda försök	18
5.2.2 Resultat av modellförsök	19
5.3 Modellförsök - slutsatser	21
6 CFD-beräkningar	22
6.1 Inledning	22
6.2 Modellbeskrivning	22
6.2.1 Geometri	22
6.2.2 Grid	23
6.2.3 Lufthastighet	23
6.2.4 Brand	23
6.3 Resultat av CFD-beräkningarna	23
6.3.1 Test 20, 5 kW, 7 N	23
6.3.2 Test 21, 10 kW, 7 N	25
6.3.3 Test 22, 20 kW, 7 N	25
7 Diskussion och resultat	27
8 Slutsats	29
9 Fortsatt arbete	30
10 Bilagor	33
10.1 Test 20, 5 kW, 7 N	33
10.2 Test 21, 10 kW, 7 N	35
10.3 Test 22, 20 kW, 7 N	37

Förord

Projektet är finansierat av Brandforsk och utfört av SP och Brandskyddslaget. Projektledare var Haukur Ingason SP Brandteknik och utförare av försök och analys var Hans Nyman Brandskyddslaget. Referensgruppen för SP Tunnel agerade som referensgrupp för projektet.

Sammanfattning

Projektets syfte är att utifrån befintliga produkters kapacitet och erfarenhet från litteraturstudien ta fram de grundläggande parametrarna som krävs för dimensionering av luftridåer som rökbarriärer via teori, modellförsök och CFD-beräkningar.

I rapporten beskrivs skalförsök (1:4) och CFD-simuleringar av en uppställning med en luftridå placerade i en dörröppning mot en perrong med en rulltrappa ansluten. Testerna utfördes på SP:s anläggning i Borås.

Valet av kriterium är avgörande för kapacitetskraven. I studien valdes en maximal temperaturhöjning på 5 °C.

Resultaten av skalförsöken visar att den minsta testade kapacitet som krävs av luftridån vid (t₈) 40 °C (svarande mot 5 kW fallet) är ca 5 N för att uppfylla kriteriet. Vid 50 °C (10 kW) krävdes samma kapacitet 5 N och vid ca 70 °C (20 kW) krävdes ca 7 N. Men dessa kapaciteter var de som användes (de var låsta) så troligtvis krävs det en mindre kapacitet än 5 N vid 40 °C för att uppfylla kriteriet.

Tre försök simulerades med programmet FDS. Resultaten visar att överensstämmelsen mellan CFD-beräkningarna och försöken är relativt bra. Det finns goda möjligheter att simulera luftridåer med FDS för olika brandfall.

Det är möjligt att använda luftridåer som rökbarriär men ett skydd svarande mot en fysisk barriär är svårt att uppnå. Resultaten visar att om en viss temperaturhöjning accepteras kan sannolikt befintliga produkter på marknaden användas som rökbarriärer.

1 Inledning

En av de viktigaste målsättningarna med brandteknisk dimensionering i byggnadsverk är att förhindra att giftig rök (brandgaser) sprids okontrollerad. För att kontrollera rökspridningen används oftast fysiska barriärer. Ett område där det finns bekymmer när det gäller okontrollerad rökspridning är tunnelbanan. Tunnelbanan omfattas av både tunnelsystem och tunnelbanestationer. Tunnelbanestationerna är en uppsamlingsplats för resenärerna och därmed blir de fort kritiska i händelse av en brand. Dessutom är antalet resenärer oftast mycket högt, vilket komplicerar situationen. I de flesta fall utgör vägen från stationsplattformarna och upp till ovanjord den enda självklara utrymningsvägen. Utrymningsvägen består då av rulltrappor, vanliga trappor, långa korridorer, biljetthallar osv. Därför är det väldigt viktigt att kunna hålla dessa utrymmen rökfria, och därmed säkra utrymningen. Traditionellt använder man fysiska dörrar, övertrycksatta slussar eller fläktar som blåser in mot plattformarna. Problemet med dörrar och slussar är att de blir som en barriär för de utrymmande, och därmed finns risk att röken smiter in i utrymningsvägen. Det i sin tur påverkar möjligheterna för en säker utrymning.

Ytterligare ett exempel där fysiska barriärer i form av portar och dörrar kan orsaka problem och störningar är under byggtid av t.ex. undermarksanläggningar där fordonstransporter är nödvändiga men också avskiljningar för att hindra rökspridning. Syftet med en luftridå är att skilja ett utrymme från ett annat utan fysiska dörrpartier.

I köpcentrum med atrier skulle också luftridåer kunna vara ett sätt att hindra eller försvåra rökspridning från butiker ut till atrier och de allmänna utrymmena.

Generellt sätt skulle alltså luftridåer kunna vara ett alternativ till dörrar och portar i många applikationer där fysiska dörrar av olika skäl upplevs som störande hinder i den dagliga verksamheten.

Utgångspunkten för projektet var att studera luftridåers förmåga att hindra rökspridning med utgångspunkt i befintliga produkter.

Projektet syftar delvis till att ta fram de grundläggande parametrarna som krävs för dimensionering av luftridåer för att förhindra rökspridning samt använda befintliga tekniska lösningar i nya användningsområden.

En av de viktigaste målsättningarna med brandteknisk dimensionering i byggnadsverk är att förhindra att giftig rök sprids okontrollerad. För att kontrollera rökspridningen används oftast fysiska barriärer. Ett område där det finns bekymmer när det gäller okontrollerad rökspridning är tunnelbanan. Tunnelbanan omfattas av både tunnelsystem och tunnelbanestationer. Tunnelbanestationerna är en uppsamlingsplats för resenärerna och därmed blir de fort kritiska i händelse av en brand. Dessutom är antalet resenärer oftast mycket högt, vilket komplicerar situationen. I flesta fall utgör vägen från stationsplattformarna och upp till ovanjord den enda självklara utrymningsvägen. Utrymningsvägen består då av rulltrappor, vanliga trappor, långa korridorer, biljetthallar osv. Därför är det väldigt viktigt att kunna hålla dessa utrymmen rökfria, och därmed säkra utrymningen. Traditionellt använder man fysiska dörrar, övertrycksatta slussar eller fläktar som blåser in mot plattformarna. Problemet med dörrar och slussar är att de blir som en barriär för de utrymmande, och därmed finns risk att röken smiter in i utrymningsvägen. Det i sin tur påverkar möjligheterna för en säker utrymning.

2 Problemformulering och metodbeskrivning

2.1 Syfte

Projektets syfte är att utifrån befintliga produkters kapacitet och erfarenhet från litteraturstudien ta fram de grundläggande parametrarna som krävs för dimensionering av luftridåer för att begränsa rökspridning via teori, modellförsök och CFD-beräkningar.

2.2 Metod

Den aktuella metoden för projektet innefattar en inledande litteraturstudie där luftridåer generellt och brandapplikationer i synnerhet studeras.

I nästa skede kontaktades tillverkare av luftridåer i Sverige. Ingen av tillverkarna hade någon erfarenhet av brandapplikationer för sina luftridåer. Det finns ett intresse av en utökad användning av luftridåer i brandapplikationer. Men en viss skepsis registrerades också, framför allt om ett 100-procentigt skydd mot rök efterfrågades. I huvudsak finns två inriktningar inom produkter. Den ena förespråkar höga lufthastigheter (över 15-20 m/s) och smal ”stråle”. Den andra inriktningen står för lägre hastigheter och större mängd luft (7-15 m/s). Men tillverkarna föreslog produkter för ett normalfall och ett uppskattat brandfall. Syftet med detta var att få en utgångspunktavseende kapacitet för modellförsöken grundade i kapacitet för befintliga produkter. Resultatet av denna undersökning visade att i de vanliga komfortapplikationerna är två kriterier viktiga, energiförbrukning och komfort för de personer som ska gå igenom strålen. I diskussioner med tillverkare och säljare angavs i vissa fall en lufthastighet på 3 m/s vid golv som ett kriterium. Detta svarar mot ca 5 Pa som anges som maxdifferens i vissa handböcker. Det finns också tillverkare som jobbar på ett helt annat sätt, allt är specialbyggt, inga kriterier på hastigheter eller tryck finns, enkla vindhjul används för injustering.

Därefter utfördes modellförsök i skala 1:4 vid SP:s brandlaboratorium i Borås. I försöksserien genomfördes 25 tester där utloppshastighet, utblåsningsvinkel, brandeffekt och spaltbredd varierades.

Tre av dessa modellförsök jämfördes sedan med CFD-beräkningar.

3 Tidigare utförda arbeten

Idén att använda luftridåer som en rökbarriär har diskuterats länge bland brandkonsulter. Tyvärr finns inget underlag för hur man ska dimensionera denna typ av anläggningar om de ska användas för det ändamålet. Till exempel vilka flöden ska användas, hur ska luftstrålen utformas, hur högt brandtryck kan den motstå eller hur påverkas luftrörelser i rummet effektiviteten? Luftridå är en riktad luftström, oftast vertikal, med hög hastighet vilket gör att en fysisk barriär skapas som möjligen kan förhindra eller begränsa rökspridning. På grund av den höga hastigheten kommer varken värme/kyla eller partiklar att passera det område strålen verkar. Luftridåer har funnits i byggnader sedan 1960-talet i både komfortapplikationer och som skydd i entréer men också som skydd i t.ex. köldlagerrum. Det finns många kommersiella lösningar för olika applikationer, men ingen som är avsedd att förhindra rökspridning.

En inledande litteraturstudie visar att större delen av den forskning och utveckling av luftridåer som har genomförts är kring komfortventilation och avgränsning av föroreningar. Det finns också ett fåtal artiklar med brandapplikationer och några stycken där luftridåer studeras i tunnlar.

De applikationer som gäller komfort kan till exempel vara skydd mot kallare luft i ingångar till varuhus, se figur 1. Avgörande för att luftridåerna ska kunna användas i dessa fall är att de är ekonomiskt försvarbara, dvs. de ska hålla tätt men inte dra för mycket energi. Optimeringen ur detta perspektiv är ett helt annat jämfört med att använda luftridåerna i brandapplikationer. Vid en brandsituation är andra temperaturer och luftrörelser aktuella jämfört med ett komfortfall och energibehovet för en luftridå är inte en avgörande faktor vid en brand.

En del teoretiskt arbete har genomförts för att studera luftridåer [1-4] för komfortventilation. Det gäller t ex luftridåer i dörrar, i tunnlar eller i kyldiskar. Flera faktorer påverkar valet av luftridå, t.ex. öppningens dimensioner, vindpåkänning och undertryck i lokalen samt temperaturskillnad ute och inne är faktorer som alla måste värderas och tas hänsyn till.



Figur 1 En luftridå i en entrésluss till en byggnad.

Ytterligare applikationer på luftridåer där syftet är att avgränsa kontaminerad luft från ren luft i dragskåp finns beskriven i [5-6], i renrum [7] och för att hindra värmetransport i bland annat frysdiskar [8-10]. Då luftridåer studeras är det ofta antingen genom experimentella försök eller genom användning av CFD-modeller där den studerade volymen delas in i små kontrollvolymerna och massa, moment och kemisk sammansättning beräknas datormässigt för varje volym.

I artikeln [7] behandlar spridning av kontaminering i renrum. En luftridå användes för att säkerställa utrymning från renrummet. Scenariot var en maskin som havererade och läckte förorenad etanol i gasfas. Luftridån var placerad upptill vid en öppning och simuleringsförsök utfördes för att mäta luftridåns effektivitet beroende på dess placering (vinkel), luftens utloppshastighet från luftridån samt på vilken höjd luftridån var placerad relativt mark. Resultatet visar på att en maximal avskärmningseffektivitet på 0.86 uppmättes (massflödet genom ridån var 86 % mindre än massflödet från utsläppspunkten). Detta varierade dock stort beroende på hur parametrarna varierades.

Inom tunnlar har studierna med luftridåer varit inriktade på att hindra spridning av föroreningar och värme, dels för hygieniska skäl men i viss mån finns en tanke om att kunna använda systemen för brandtekniska lösningar [11-15]. Generellt kan en luftridå uppnå en effektivitet på mellan 60 % och 85 %, vilket anges i två artiklar [11-12]. Detta att jämföra med en solid barriär som exempelvis en vanlig dörr vars effektivitet är ca 90-95 %.

I [11] jämförs två olika modeller av luftridåer; en single-jet och double-jet, dvs. en luftridå med endast ett munstycke och en luftridå med två munstycken bredvid varandra. Experimentet som utfördes var i en mindre tunnelliknande konstruktion, 0.3 meter hög och 1 meter bred, där etangasdispersion studerades igenom en luftridå med varierande utloppshastighet. Slutsatsen blev att single-jet i dessa experiment var effektivast, vilket författarna tyckte var underligt. Författarna konstaterar att omgivningsförhållandena har stor inverkan på luftridåernas funktion och att double-jet-ridåerna i försöken inte var stabila varför deras effektivitet minskade. I artikeln diskuteras också problemet med att luften till ridån måste hämtas från tunneln, dvs det finns risk för kortslutningseffekter.

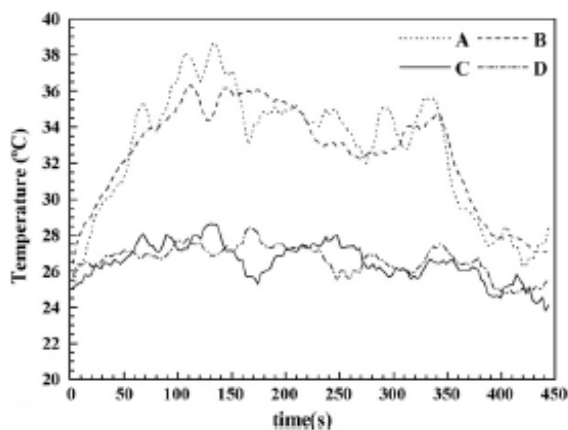
I tre andra artiklar [12-14] undersöks vidare double-jets avskärmande effektivitet gällande värmeöverföring i tunnlar, och i viss mån massöverföring. Försöken baseras på simuleringar i CFD-program. CFD-beräkningarna jämförs också med verkliga experiment och varandra för validering. Utan användningen av en strålningsmodell underskattas temperaturen medan då en strålningsmodell används överskattas temperaturen något i datormodellerna. CFD-modellerna visas ha en svårighet att bedöma vilket håll luftströmmen från luftridån dras åt, då detta enligt författarna påverkas i stor omfattning av omgivningens förutsättningar.

I [15] undersöks en double-jets förmåga att hindra värmespridning vid brand i tunnel. Försöket utfördes i en småskaletunnel med en längd på 3 meter, 0.15 meter hög och 0.3 meter bred. Detta blir ungefär en verklig vägtunnel i skala 1:34. Avståndet mellan de två luftridåerna var ca 1.5 meter. Den brand som användes hade en effektutveckling på 7.5 kW och enligt artikeln motsvarar detta ca en 50 MW brand i verklig skala. Luftridåerna hade två försörjningskanaler var, varav en kanal omcirkulerade luft ifrån den brandutsatta sidan medan den andra tog luft från den ej brandutsatta sidan. Mätningar utfördes vid en av de två luftridåerna gällande värmeöverföring och hastighet. Resultatet var enligt författarna lovande vad gäller att kunna använda luftridåer för tunnelbrandsäkerhet i framtiden.

Det finns endast ett fåtal artiklar med direkt inriktning mot att hindra brandgasspridning. I [16] studerades en typ av luftridåsystem för att hindra rökspridning, med fokus på korridorer i höghus. Systemet byggde på horisontella luftridåer med utsug och insug, dvs. att det från ena sidan luftridån sprutar ut luft och på andra sidan sug in luft. Teoretiska resonemang kring luftridån och experiment utfördes för att undersöka systemet. Insuget skulle enligt [16] vara kraftigare än utsuget för att totalt kunna förhindra brandgasspridning över luftridån. För att systemet skulle vara effektivt skulle hastigheten på ut- och insug samt att proportionen mellan korridorrens höjd och munstyckets bredd var

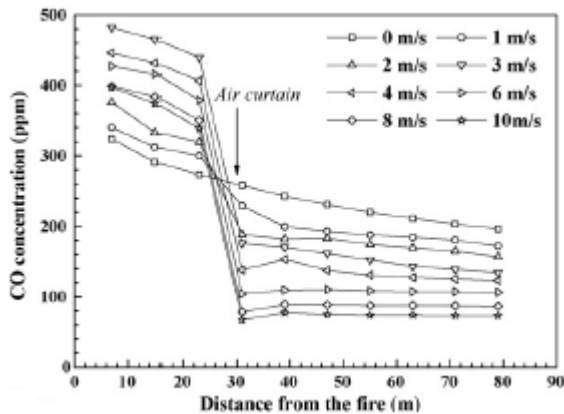
valda på ett korrekt sätt. Författarna ansåg att denna typ av luftridå kunde vara ett effektivt sätt att stoppa brandgasspridning.

I [17] har ett experiment och CFD-beräkningar utförts för att studera hur effektiv en luftridå är på att hindra värme och kolmonoxid att passera i en tunnelliknande geometri. Försöket delades in i två delar där det först utfördes ett experiment i liten skala i en avlång tunnel, 3.6 meter lång, 0.66 meter hög och 0.6 meter bred. En brand placerades i tunnelns ena sida och en luftridå ca 2.4 meter därifrån. Luftridån var vertikalt placerad och sprutade luft uppifrån och ned. Två termoelement placerades innan luftridån och två termoelement efter luftridån. Ett kolmonoxidmätningssinstrument placerades endast på luftridåns ej brandutsatta sida. Branden bestod av en dieselpölbrand med en uppskattad effektutveckling på 2 kW. Försöket visar att temperaturen minskar efter luftridån och att ökad utströmningshastighet för luftridån minskade temperaturen ytterligare. Kolmonoxidkoncentrationen minskade också med ökad utströmningshastighet från luftridån. Eftersom ingen kolmonoxidmätare fanns på den brandutsatta sidan gavs dock ingen jämförelse mellan kolmonoxidhalten på de två sidorna av luftridån. Temperaturförändringen mellan luftridåns brandutsatta sida och den ej brandutsatta sidan kan ses i figur 2 nedan:



Figur 2 Temperatur som funktion av tid vid experimentet i liten skala. Mät punkt A och B är på luftridåns brandutsatta sida och mät punkt C och D är på den ej brandutsatta sidan. Utströmningshastigheten var 3 m/s. [17]

I samma artikel [17] gjordes en CFD-simulering i programmet Fire Dynamic Simulator [25] (FDS) för att undersöka luftridåns effekt med hänsyn på kolmonoxidkoncentration i en längre och större korridor geometri. I en 88 meter lång och 2.65 meter hög korridor användes två bränder, en på 0.75 MW och en på 1.6 MW. Resultatet från simuleringen visade att kolmonoxidkoncentrationen minskar noterbart mellan de två sidorna av luftridån beroende på luftridåns utströmningshastighet.



Figur 3 Kolmonoxidkoncentration vid olika punkter i tunneln som funktion av tiden. De olika linjerna visar koncentrationen beroende på vilken utströmningshastighet luften i luftridån hade. [17]

I [18] redogörs för de grundläggande begreppen inom luftridåteorier utifrån ett impulsperspektiv. Rapporten är skriven utifrån ett komfortperspektiv och behandlar inte brandfall. Däremot redovisas ekvationer där spärreffektivitet kan beräknas. I rapporten påpekas luftridåer (för komfortsammanhang) kan vara känsliga för t.ex. vindtryck, stora temperaturskillnader och störningar på grund av ventilationsystem. I rapporten [19], av samma författare diskuteras också luftridåer som en komponent i trycksatta trapphus. I [18] diskuteras ingående vinklars betydelse för effektiviteten.

I [20] studeras teoretiskt luftridåer som rökbarriär i en tunnelbanestation. Artikelnen grundar sig på ett tänkt system på en perrong med rökevakuering ovan spår och tilluft via luftridåer vid trapporna som fungerar som nödutgångar. Frånluftskapaciteten baseras på den amerikanska standarden ASHRAE. Tilluftskapaciteten på luftridån utgår från en impulskvot baserad på situationen före branden och efter branden. Denna kvot anges till 32. Dimensioneringsprincipen utgår från impulsberäkning men bakgrunden till den avgörande faktorn impulskvoten 32 framgår inte. I exemplet i artikeln är utloppshastigheterna på den föreslagna luftridån ca 20 m/s.

Resultatet av litteraturstudien visar att det endast finns begränsat med material runt luftridåer med brandapplikationer. Det finns ett behov av att testa luftridåer via modellförsök med inriktning mot undermarksanläggningar och tunnelbanestationer med befintliga enkla robusta system. Kravnivån för systemet behöver också undersökas och etableras med avseende på förmågan att förhindra eller begränsa rökspridning och spridning av värme genom luftridån.

4 Teori

Syftet med luftridån är att skilja av brandrummet från ett angränsande utrymme så att rök eller värme inte förs vidare. Något förenklat ska luftridå ha tillräckligt med kraft att stå emot branden och eventuella skorstenseffekter. Vid en brand i ett rum kommer varma brandgaser att stiga mot taket och bilda ett övre brandgaslager. I de aktuella fallen förutsätts brandrummet ha tillräckligt stora öppningar så att rummet kan betraktas som tryckavlastat. Detta är fallet t.ex. i en tunnelbanestation där tryckavlastningen sker via tunnelrören. Om detta inte är fallet dvs. om branden uppstår i ett mindre relativt tätt rum kommer temperatursökningen och densitetssänkningen att orsaka stora tryckhöjningar i storleksordningen hundratals Pa. Exempel på detta är det inledande skedet av en lägenhetsbrand.

I ett tryckavlastat brandrummet kommer den resulterande brandgasskiktningen att resultera i en temperaturgradient över dörröppningen, ett kallare parti nedtill och ett varmare upptill. Utan luftridå kommer brandgaslagret att tryckas ut i den övre delen av dörröppningen. I den nedre delen kommer kallare luft att transporteras in. Det kommer att uppstå en nivåberoende tryckskillnad. För att ”hålla emot” de varma brandgaserna i det övre skiktet krävs en viss kraft. Detta förutsätter att temperaturerna inne och ute i den nedre delen är lika.

Situationen kan också uttryckas i form av impuls (rörelsemängdsskillnad). I [18] beskrivs luftridåns impuls J som produkten av luftstrålens massflöde och utloppshastigheten.

$$J = \rho Au \cdot u \quad (1)$$

där

ρ = luftens densitet, kg/m³

A = luftspaltens area, spaltbredd och längd, m²

u = utloppshastighet, m/s

I [18] definieras ett antal luftridåkonfigurationer utifrån symmetri, startvinkel och slutvinkel relativt en lodlinje. I det aktuella fallet studeras endast en halvsymmetrisk konfiguration där endast utloppsvinkel är aktuell. I detta fall kan ekvationen skrivas:

$$J \sin \alpha = h \Delta p$$

där

α = utloppsvinkeln, °

h = dörrhöjd, m

4.1 Skalteori

Modellen är i skala 1:4, storleken är alltså geometriskt nedskalad och resultaten bygger på så kallad Froudeskalning vilken är en etablerad metod [21-24]. I tabell 1 redovisas skalfaktorer för ett antal enheter.

Storheter	Skalfaktor
Brandeffekt (HRR), (kW)	$Q_M/Q_F = (L_M/L_F)^{5/2}$
Hastighet (m/s)	$u_M/u_F = (L_M/L_F)^{1/2}$
Tid (s)	$t_M/t_F = (L_M/L_F)^{1/2}$
Temperatur (°C)	$t_M/t_F = 1$
Kraft (N)	$F_M/F_F = (L_M/L_F)^3$

Tabell 1. Skalfaktorer.

I tabell 1 redovisas skalfaktorer för ett antal enheter.

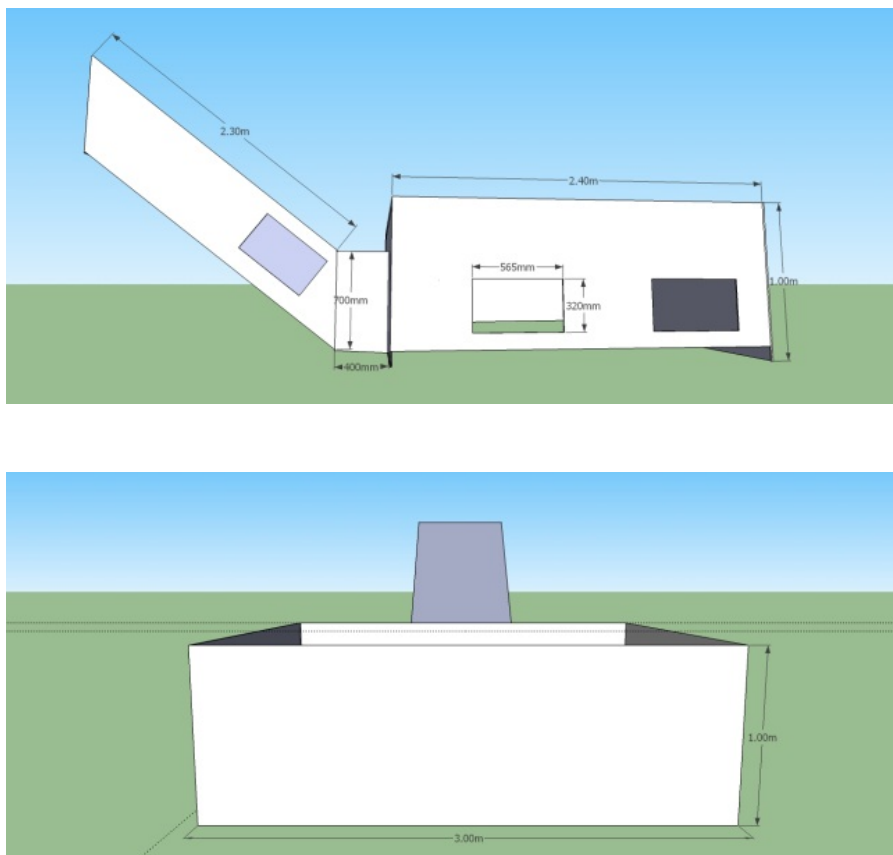
5 Utförda försök

Modellförsöken (1:4) utfördes på SP:s anläggning i Borås. Modellen representerar delar av en tunnelbanestation med perrong och rulltrappa.

5.1 Försöksuppställning

Modellen bestod av i huvudsak fyra olika delar. De två större delarna som svarar mot perrong-rälsdelen och trappschaktet. Mellan dessa två delar var trapphallen placerad med dörröppning och lufridå. Ovanför trapphallen var lufridån placerad. Den utgjordes av en trycklåda som mynnar i lufridåspalten med längden 0.53 m. Spaltens längd var ca 3 cm längre än dörrens bredd (0.5 m). Spaltbredden varierades under försöken. Till trycklådan var en fläkt med variabelt flöde ansluten. Genom att variera frekvensen på fläktmotorn kunde utloppshastigheten från spalten varieras. Branden var en gasolbrännare (rotameter) där brandeffekten kunde varieras.

Dimensionerna på modellen är beskriven i figurerna 5.1 a. b. Den högra delen (den större lådan) representerar perrongen och den lutande delen trapphallen.



Figur 5.1 a. b. Schematisk beskrivning av försöksuppställning.

Temperaturmätningen skedde med fem stycken termoelementtråd placerade i modellen. Alla termoelement var av typ K. Ett termoelementtråd med fem temperaturpunkter (tt1) i figur 5.2. var placerad i området nära branden som svarar mot perrong-rälsområdet. Termoelementen var placerade på 150, 300, 550, 700 och 850 mm höjd från golv. Det

andra termoelementträdet (tt2) var placerat i perrongdelen närmast dörröppningen (ca 200 mm från öppningen) upp mot trappschaktet. Termoelementen var placerade på 125, 250 och 375mm höjd. Ytterligare ett termoelementträd var placerat på andra sidan dörröppningen och luftridån (tt3) i figur 5.2, 90 mm från dörröppningen mot trappschaktet. Dessa termoelement var placerade på motsvarande höjd som termoelementträd (tt2), dvs 125, 250 och 375 mm från golvnivå. Ytterligare två termoelementträd (tt4,tt5) var placerade i botten och i toppen på trappschaktet. Termoelementen på dessa träd var placerade på höjderna 200, 350 och 500 mm.

Tryckmätningar utfördes på fyra olika platser i modellen. Tryckmätarna var differensstryckgivare (Furness Controls Differential Pressure Transmitters). Dessa var placerade i kammaren mellan trappschakt och perrongdelen (DP1), i perrongdelen (DP2), utanför modellen som referensstryck (DP3) och den fjärde mätpunkten var placerad i trycklådan (DP4).

5.2 Utförande

Totalt utfördes 25 försök. Branden varierades från 5 till 50 kW. Luftridåns kapacitet varierades via utloppshastigheten och spaltbredden. Hastigheterna i försöken var mellan 7-17 m/s och spaltbredden 12-43 mm. Detta resulterade i en impulsvariation mellan 0.9-7 N. Försöksproceduren är redovisad i tabell 2. Försöken utfördes under 14 minuter. En minut efter mätstart startades luftridån och efter två minuter startades branden. Luftridån stoppades efter åtta minuter och branden efter tolv.

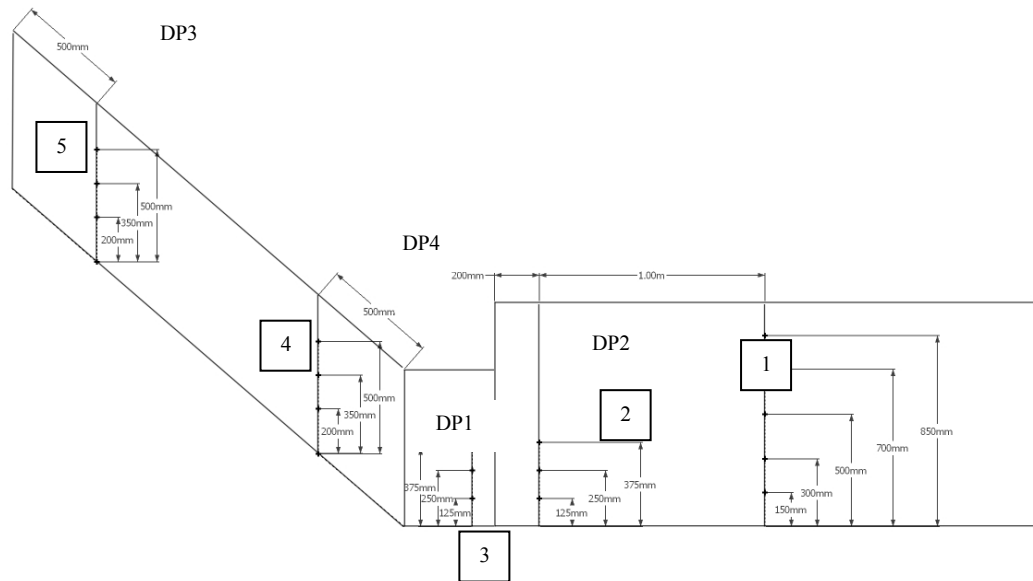
<i>Tid [s]</i>	<i>händelse</i>
0	mätstart
60	luftridåstart
120	brandstart
480	luftridåstopp
720	brandstopp
840	mätstopp

Tabell 2. Försöks- och simuleringshändelser

I tabell 2 redovisas försöksproceduren.

Två olika fläktar användes i försöken. Fläktbytet skedde efter försök 12. I de inledande var utblåset vertikalt placerat ($\alpha=0^\circ$) från och med försök 4 placerades utblåset med 15° riktning in mot branden.

Som redan nämnts i föregående kapitel har i tidigare undersökningar olika kriterium använts för att mäta luftridåers förmåga som rökbarriär. I de aktuella försöken användes temperaturhöjningen i trappan som kriterium, där fall med en maximal temperaturhöjning på $\Delta t_{kr} = 5^\circ\text{C}$ studerades.



Figur 5.2. Placering av termoelement och tryckgivare. Rutorna anger temperaturträdens numrering.



Figur 5.3. Bild av försökupställningen, trapphallen, trycklådan och del av perrongdelen.

5.2.1 Utförda försök

Totalt utfördes 25 försök med den aktuella konfigurationen. I tabell 1 redovisas förutsättningarna. I försöken varierades brandeffekten (Q), luftridåns vinkel (α), utloppshastigheten (u) och luftridåns bredd (s).

nr	Q (kW)	α (°)	u (m/s)	J(kg/m/s ²)	s(mm)	Extra öppning	Δt_{kr} (°C)	t_{smax} (°C)
1	50	0	12	1.10	12	nej	27	108
2	50	0	12	1.10	12	nej	21	100
3	20	0	12	1.10	12	nej	14	74
4	20	15	12	1.10	12	nej	11	96
5	50	15	12	1.10	12	nej	20	140
6	50	15	12	1.10	12	ja	13	116
7	20	15	12	1.10	12	ja	9	87
8	20	15	7.5	0.86	24	ja	8	68
9	50	15	7.5	0.86	24	ja	13	101
10	50	15	7.5	0.86	24	ja	11	103
11	20	15	7.5	0.86	24	ja	6	72
12	50	15	17.5	4.67	24	ja	18	161
13	20	15	17.5	4.67	24	ja	9	86
14	10	15	17.5	4.67	24	ja	4	53
15	5	15	17.5	4.67	24	ja	3	39
16	5	15	16	5.86	36	ja	3	36
17	10	15	16	5.86	36	ja	3	50
18	20	15	16	5.86	36	ja	6	75
19	50	15	16	5.86	36	ja	15	153
20	5	15	15.2	7.05	48	ja	1	35
21	10	15	15.2	7.05	48	ja	2	43
22	20	15	15.2	7.05	48	ja	4	67
23	50	15	15.2	7.05	48	ja	12	141
24	30	15	15.2	7.05	48	ja	7	94
25	40	15	15.2	7.05	48	ja	10	124

Tabell 1. Utförda försök.

Efter de fem första försöken utökades öppningarna i brandrummet för att undvika underventilerade situationer (kolumnen ”extra öppning”). J är den beräknade impulskraften. Δt_{kr} är temperaturhöjningen i trappan, t_{smax} är den högsta uppmätta temperaturen i brandrummet vid dörröppningens höjd utan luftridå.

5.2.2 Resultat av modellförsök

I försöken studerades temperaturhöjningen i trappans övre del. (Den mittersta temperaturen, t_{16} , se figur 5.2, mätplats 5, och figur 6.2. Kriteriet för en fungerande situation fastställdes till en maximal temperaturhöjning på 5 °C ($\Delta t_{kr} < 5\text{ °C}$) med en aktiverad luftridå vid termoelement t_{16} . Efter försök 1-3 konstaterades att Δt_{kr} vida översteg 5 °C . I försöken 4-5 vinklades luftridån 15 ° in mot brandrummet. Effekten på Δt_{kr} är märkbar. Temperaturhöjningen i trappan sjunker från 27 °C till 20 °C för test 5 jämfört med test 1. Men vid försöken 1-5 observerades också tendenser för underventilerade förhållanden. För att åtgärda detta skapades mer öppningar i brandrummet upp vid golvnivå. Vid de första fem testen var de högsta temperaturerna i brandrummet vid dörröppningens övre del (t_{8max}) mellan $74\text{--}140\text{ °C}$.

I försöken 6-7 testades två olika brandeffekter, 50 kW respektive 20 kW . Försök nummer 1,5 och 6 har samma brandeffekt och impuls kraft. Skillnaden mellan försöken är att försök 5 och 6 har en vinklad luftridå och i försök 6 har risken för en underventilerad brand reducerats. Båda åtgärderna reducerar den resulterande temperaturdifferensen. I försök 7 med 20 kW är temperaturdifferensen 9 °C . t_{8max} uppmättes till 87 °C respektive 116 °C .

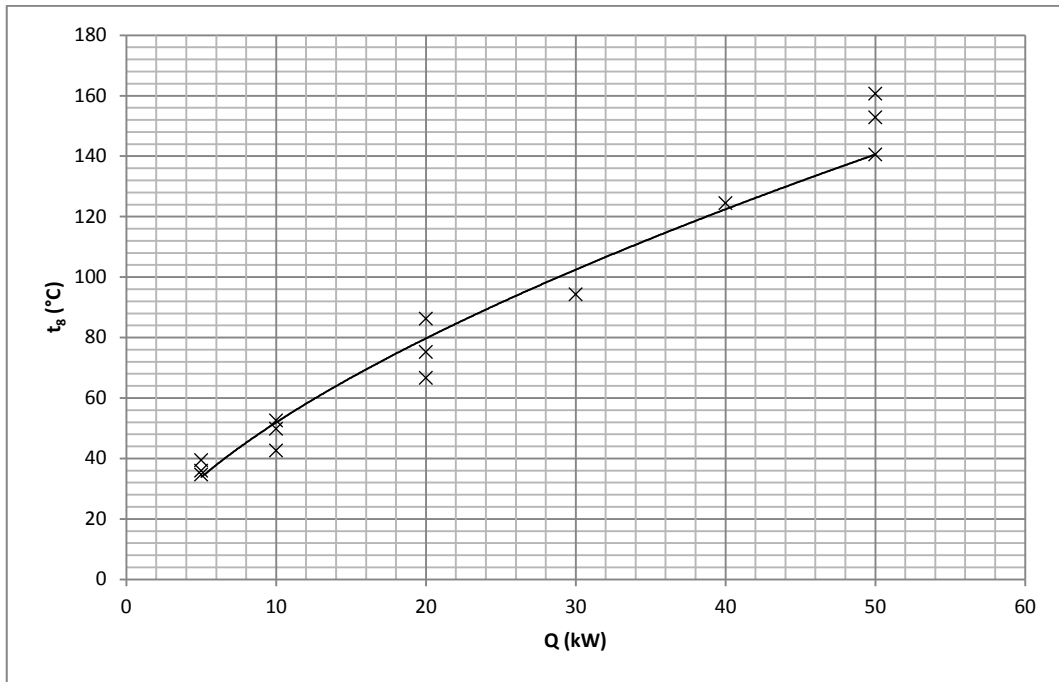
I nästa försöksserie 8-12 ökades luftridåns bredd till 24 mm . I dessa fall var utloppshastigheten 7.5 m/s vilket gav den resulterande impuls kraften 0.86 N . Försök 8 och 11 var identiska men den uppmätta temperaturdifferensen var 8 respektive 6 °C . I försök 8-12 varierade temperaturdifferensen i trappan mellan $6\text{--}13\text{ °C}$ och t_{8max} varierade mellan $68\text{--}103\text{ °C}$.

I detta skede av försöken byttes fläkten ut mot en med bättre kapacitet. Den maximala impuls kraften som erhållits i de första tolv försöken var $1,1\text{ N}$ och den minsta temperaturdifferensen som erhållits var 6 °C . Försök 12-15 utfördes med 24 mm bred luftridå och utloppshastigheten 17.5 m/s resulterande i en impuls kraft 4.67 N . I dessa fall varierades brandeffekten varierades mellan $5\text{--}20\text{ kW}$. I försök 14 och 15 erhöles temperaturdifferensen 4 respektive 3 °C , dvs. värden under det antagna kriteriet 5 °C .

I nästa försöksserie (16-19) ökades kapaciteten ytterligare på luftridån. Bredden (s) ökades till 36 mm och utloppshastigheten 16 m/s vilket resulterar i $J=5.86\text{ N}$. Vid brandeffekterna 5 och 10 kW erhöles låga temperaturdifferenser 3 °C i båda fallen. Vid 20 respektive 50 kW var motsvarande 6 och 15 °C .

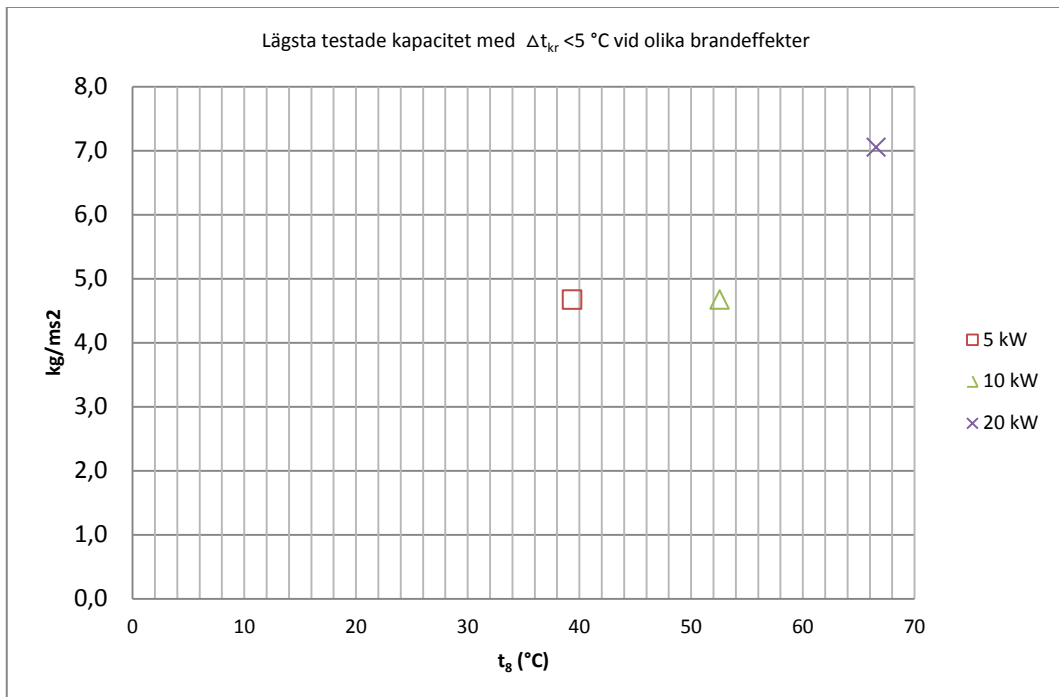
Den slutgiltiga försöksserien 20-25 innebar ytterligare en ökning av impuls kraften vid brandeffekterna $5, 10, 20, 30, 40$ och 50 kW . Luftridåns bredd i detta fall var 48 mm och utloppshastigheten 15.2 m/s . Försök 20,21 och 22 resulterade i 1.2 och 4 °C temperaturhöjning. Vid de högre brandeffekterna blev motsvarande temperaturhöjning 7.1 och 12 °C . I dessa fall var t_{8max} $35, 43$ och 67 °C .

Temperaturen i brandrummet och framför allt temperaturen vid dörröppningens övre del (t_{8max}) är avgörande för att bedöma luftridåns kapacitet. I figur 5.4 redovisas den uppmätta temperaturen vid dörröppningens överkant i brandrummet som funktion av brandeffekten i försök 12-25.



Figur 5.4. Temperatur vid dörröns överkant som funktion av brandeffekten i försök 12-25.

Som kriterium på en effektiv luftrida användes temperaturhöjningen i trappan. I det inledande skedet valdes $\Delta t_{kr} < 5^\circ\text{C}$. I figur 5.5 redovisas de försök med den minsta testade kapaciteten där temperaturhöjningen i trappan understiger 5°C . (I tabell 1 finns resultat redovisade där t.ex. fallet med en temperatur på ca $30\text{--}40^\circ\text{C}$ hanteras med en högre kapacitet än 4.7 N med det rimliga resultatet att $t_{kr} < 5^\circ\text{C}$.)



Figur 5.5. Erforderlig impuls som funktion t_8 (temperaturen vid dörröppningens övre del på varma sidan) i brandrummet vid maximalt 5°C temperaturhöjning i trapphallen.

Resultaten av försöken visar att den minsta testade kapacitet som krävs av luftridån vid (t_8) 40 °C (svarande mot 5 kW fallet) är ca 5 N för att uppfylla kriteriet. Vid 50 °C (10 kW) krävdes samma kapacitet 5 N och vid ca 70 °C (20 kW) krävdes ca 7 N. Men dessa kapaciteter är inte nödvändigtvis de minsta som krävs. Av praktiska skäl blev det de lägsta som testades. Att samma kapacitet krävs vid 50 och 40 grader betyder bara att det finns en överkapacitet vid 40 °C.

Om kriteriet istället är $\Delta t_{kr} < 10^\circ\text{C}$ kan en temperatur i det övre varma skiktet (t_8) 124 °C hanteras med en luftridå med en kapacitet av ca 7 N (40 kW). Med 1.1 N kan 87 °C hanteras. Se tabell 1 (försök 25 och 7). Valet av kriterium är avgörande för kraven på luftridån.

5.3 Modellförsök - slutsatser

Analyserna visar att luftridåer för att begränsa rökspridning är ett intressant alternativ. Avgörande parametrar är temperaturen på den branddrabbade sidan i synnerhet temperaturen i det övre skiktet ($t_{8\text{max}}$) och luftridåns impuls ([N]). Om luftridån vinklas in mot branden blir den effektivare. Vid försöken testades fall där temperaturen i det övre skiktet vid dörröppningens höjd upp till 161 °C. Vid försöken saknades möjlighet att finjustera kapaciteten på fläktarna. Försöken studerades utifrån kriteriet att den maximala temperaturhöjningen i trappan får vara högst 5 °C ($\Delta t_{kr} < 5^\circ\text{C}$).

Resultaten av försöken visar att den minsta testade kapacitet som krävs av luftridån vid (t_8) 40 °C (svarande mot 5 kW fallet) är ca 5 N för att uppfylla kriteriet. Vid 50 °C (10 kW) krävdes samma kapacitet 5 N och vid ca 70 °C (20 kW) krävdes ca 7 N. Men dessa kapaciteter var de som användes (de var låsta) så troligtvis krävs det en mindre kapacitet än 5 N vid 40 °C för att uppfylla kriteriet. Valet av kriterium påverkar naturligtvis kapacitetskraven.

6 CFD-beräkningar

6.1 Inledning

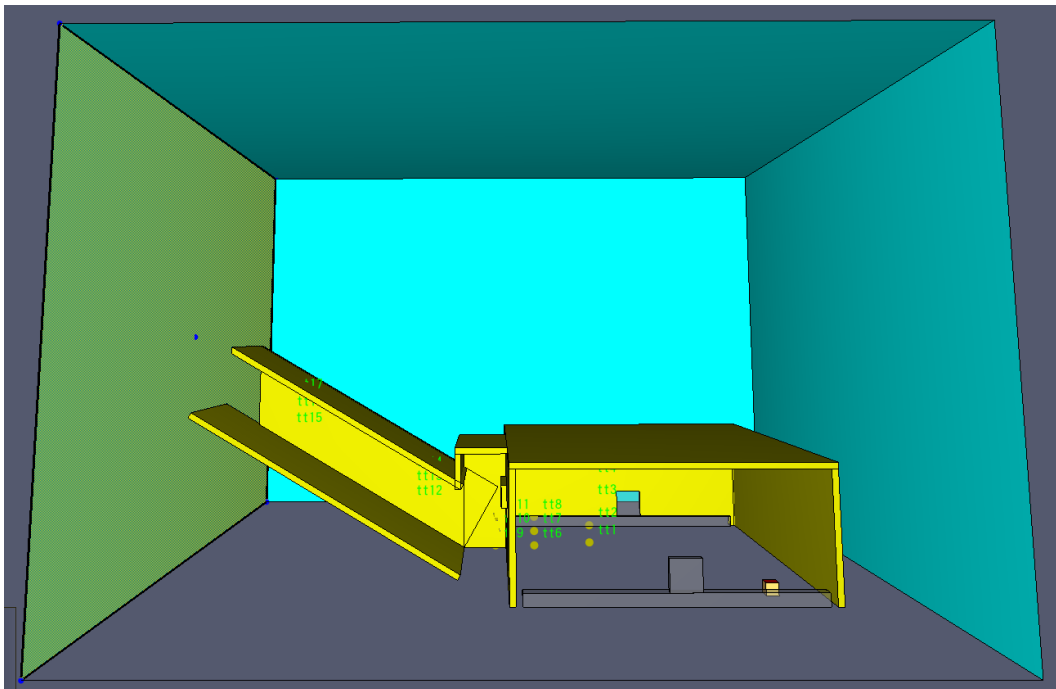
För att ytterligare fördjupa resultatet har vissa av de utförda modellförsöken också simulerats med FDS [25] som är ett gratis CFD-program utvecklat av NIST. FDS är baserat på finita volymmetoden och anpassad för inkompressibel, icke isotherm strömning och speciellt utvecklat för simulering av brandinducerade flöden. Källkoden är öppen, skriven i Fortran. Ekvationerna som beskriver de fysikaliska förloppen diskretiseras på ett rektangulärt nät, ett rutnät (grid) och löses numeriskt. FDS är det vanligaste programmet för att beräkna brandförlopp idag. Programmets turbulensmodell är baserat på den numeriska tekniken LES (simulering av stora virvlar, eng. Large Eddy Simulation).

6.2 Modellbeskrivning

6.2.1 Geometri

Modellen är med några mindre justeringar utförd med samma mått som försöksuppställningen i modellförsöken. Skillnaderna är grundade den valda gridstorleken (rutnätet).

Programmet Pyrosim [26] har använts för att bygga upp modellen. Programmet är ett grafiskt gränssnittsprogram som förenklar modelluppbyggnaden och geometriarbetet. Pyrosim genererar indatafiler till FDS. I figur 6.1 visas den aktuella modellen i pyrosims gränssnitt.



Figur 6.1. Modell av försöksuppställning. I bilden har väggar mot betraktaren dolts för att öka förståelsen av uppbyggnaden.

I modellen placerades termoelement på motsvarande ställen som i försöken. Tre modellförsök har simulerats och de resulterande temperaturerna jämförs med de uppmätta temperaturerna från försöken.

6.2.2 Grid

Griden är det tredimensionella rutnät som modellen delas upp i. Det är i dessa volymer som beräkningarna av ekvationerna utförs. I det aktuella fallet har gridstorleken satts till 0,05 meter vilket resulterar ca 1,1 miljoner celler i modellen.

6.2.3 Lufthastighet

I försöken var impulsen given. Den erforderliga hastigheten beräknades utifrån den modellerade luftridåns area som av på grund av gridstorleken avvek något från försöken och impulsen 7 N för de tre försöken enligt ekvation (1).

6.2.4 Brand

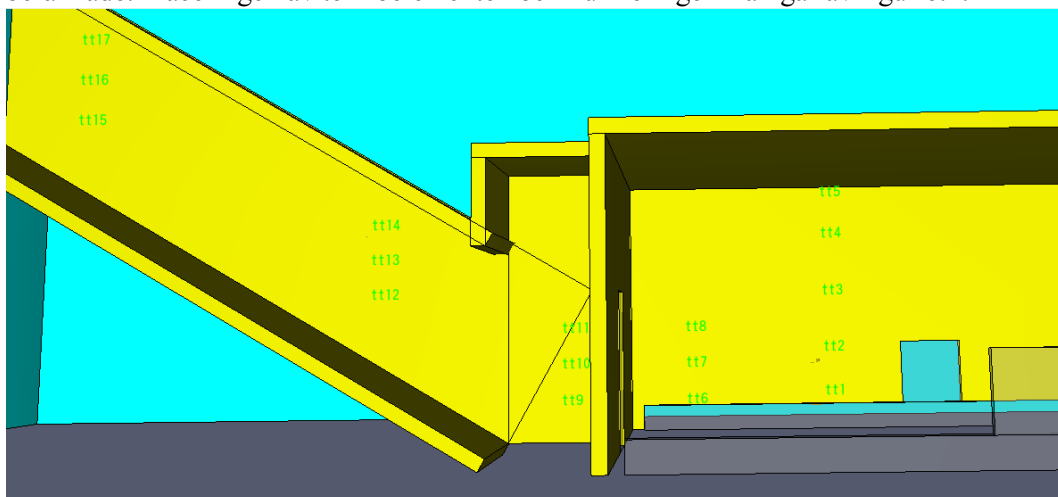
I beräkningarna simuleras studeras tre olika försök med tre olika bränder 5, 10, 20 kW. Branden simuleras som en avgiven yteffekt på en yta svarande mot brännaren i försöken. Ytan var 0,1 x 0,1 meter i CFD-modellen.

6.3 Resultat av CFD-beräkningarna

Tre olika fall har simulerats svarande mot de utförda modellförsöken. I de tre försöken var utloppshastigheten i luftridån 15.2 m/s, luftridåns spalt var 48 mm bred och 0,53 m lång. Detta svarar mot impulsen 7 N. Luftridån var vinklad 15 °C in mot brandrummet. Branden varierades i de tre fallen, 5, 10, 20 kW. Detta svarar mot försök 20, 21 och 22. I dessa tester var vid försöken temperaturhöjningen under 5 °C och representerar fall då luftridån fungerar som en rökbarriär.

6.3.1 Test 20, 5 kW, 7 N

I simuleringarna jämförs de uppmätta temperaturerna med de av CFD-modellen beräknade. Placeringen av termoelementen och numreringen framgår av figur 6.2.



Figur 6.2. Placering och numrering av termoelement i CFD-modellen.

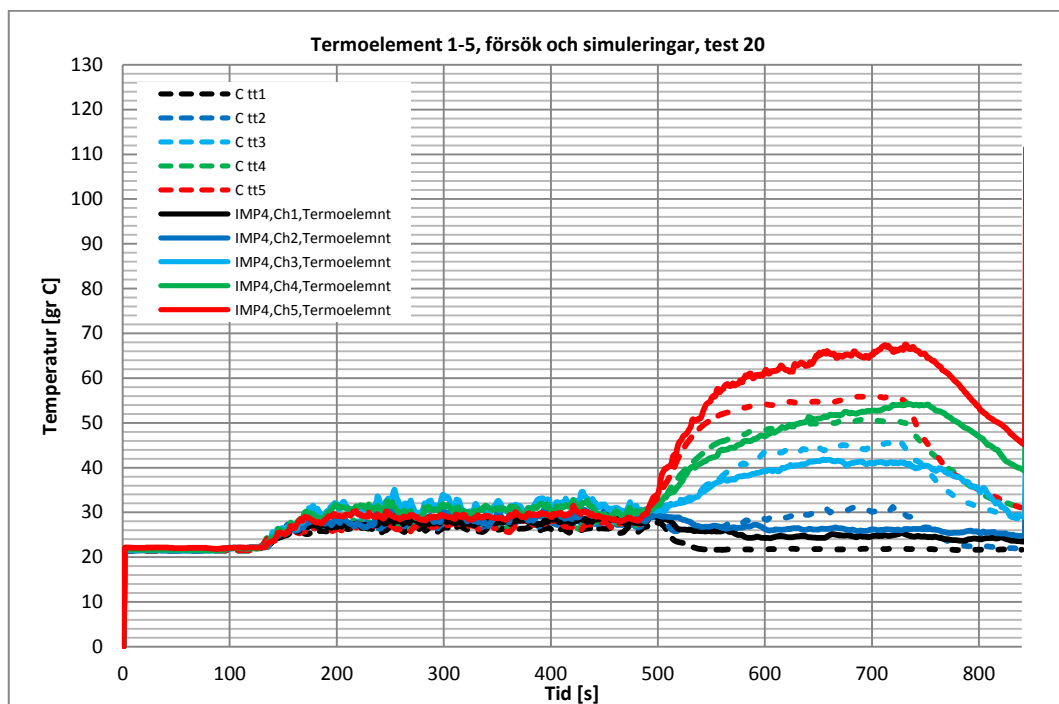
Det aktuella förloppet i försök och simuleringar redovisas i tabell 6.1.

<i>Tid [s]</i>	<i>händelse</i>
0	mätstart
60	luftridåstart
120	brandstart
480	luftridåstopp
720	brandstopp
840	mätstopp

Tabell 6.1. Försöks- och simuleringshändelser

Alla diagram nedan finns också redovisade i bilagan.

I figur 6.3 redovisas resultatet av CFD-beräkningarna för temperaturerna i närheten av branden (tt1-tt5) där tt1 är placerad närmast golvet och tt5 närmast taket (se figur 6.2). Motsvarande uppmätta temperaturer i försöken är betecknade Ch1-Ch5.

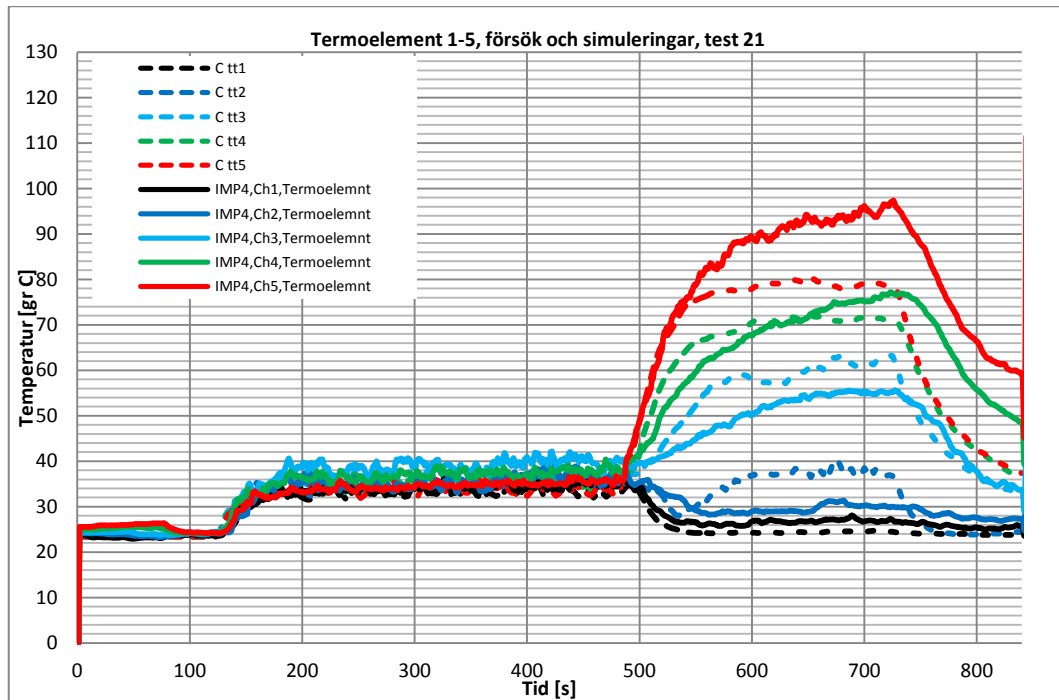


Figur 6.3. Test 20, 5 kW. Beräknade och uppmätta temperaturer (1-5).

Resultaten visar att under tidsförloppet då luftridån är igång är överensstämmelsen god mellan försök och simulering. Efter 480 s då luftridån stoppas sker en skiktning av temperaturen i brandrummet. I detta läge är skillnaden något större mellan de beräknade och uppmätta värdena. Den största skillnaden mellan uppmätt och beräknat (från CFD-simuleringarna) observeras för den översta temperaturen (tt5, Ch5). Skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde är ca 10 °C. Men vid golvnivå (tt1, Ch1) är differensen endast ca 2 °C. De övriga resultaten är redovisade i bilagan.

6.3.2 Test 21, 10 kW, 7 N

I figur 6.4 redovisas resultatet av CFD-beräkningarna för temperaturerna (tt1-tt5) i försök 21 (tt1 är placerad närmast golvet och tt5 närmast taket, se figur 6.2). Motsvarande uppmätta temperaturer i försöken är betecknade Ch1-Ch5.

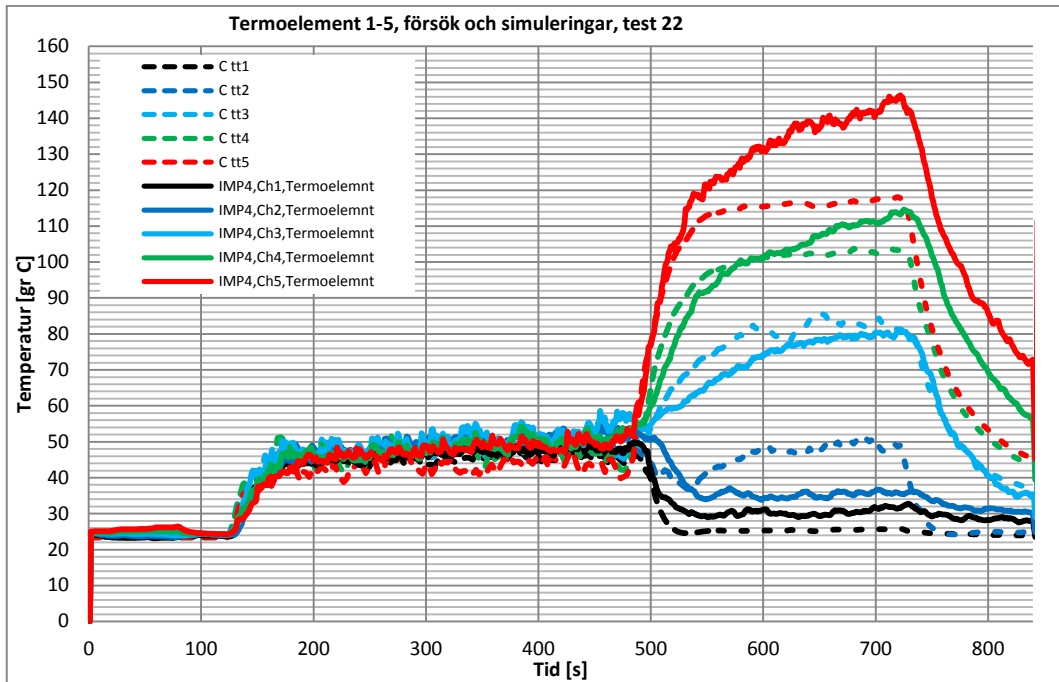


Figur 6.4. Test 21, 10 kW. Beräknade och uppmätta temperaturer (1-5).

Resultaten liknar test 20, under tidsförloppet då luftridån är igång är överensstämmelsen god. Efter 480 s då luftridån stoppas sker en skiktning av temperaturen i brandrummet. I detta läge är skillnaden också i detta fall något större mellan de beräknade och uppmätta värdena. Den största skillnaden mellan uppmätt och beräknat (från CFD-simuleringarna) observeras för den översta temperaturen (tt5, Ch5). Skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde är ca 15 °C för tt5-Ch5. Men vid golvnivå (tt1, Ch1) är differensen endast ca 2 °C.

6.3.3 Test 22, 20 kW, 7 N

I figur 6.5 redovisas resultatet av CFD-beräkningarna för temperaturerna (tt1-tt5) i försök 22 (tt1 är placerad närmast golvet och tt5 närmast taket, se figur 6.2). Motsvarande uppmätta temperaturer i försöken är betecknade Ch1-Ch5.



Figur 6.5. Test 21, 10 kW. Beräknade och uppmätta temperaturer (1-5).

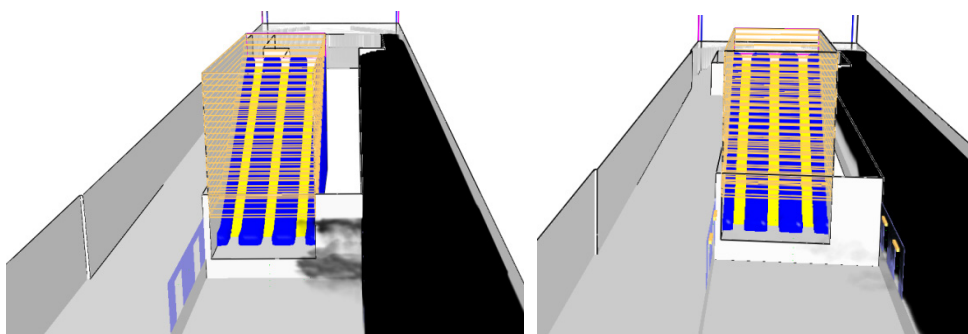
Test 22:s resultat liknar de två föregående. Under tidsförloppet då lufridån är igång är överensstämmelsen god och efter det lufridån stoppas (480 s) sker en skiktning av temperaturen i brandrummet. I detta läge är skillnaden också i detta fall något större mellan de beräknade och uppmätta värdena. Den största skillnaden mellan uppmätt och beräknat (från CFD-simuleringarna) observeras för den översta temperaturen (tt5, Ch5). Skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde är ca 25 °C för tt5-Ch5. Men vid golvnivå (tt1, Ch1) är differensen endast ca 5 °C. De övriga resultaten är redovisade i bilagan.

Överensstämmelsen mellan CFD-beräkningarna och försöken är relativt bra, det finns mindre avvikelser. Men det finns goda möjligheter att simulera lufridåer med FDS för olika brandfall.

7 Diskussion och resultat

I rapporten har försök och beräkningar redovisats i ett fall där en luftridå har använts som rökbarriär. Modellförsöken (1:4) utfördes på SP:s anläggning i Borås. Modellen representerar delar av en tunnelbanestation med perrong och rulltrappa. Luftridån är placerad i dörröppningen mot perrongen nedanför rulltrappan. Kapaciteten på luftridån varierades i försöken på två olika sätt. Antingen via spaltöppningen eller via utloppshastigheten. Spaltöppningarna varierades mellan 12-43 mm och utloppshastigheterna mellan 7-17 m/s. Detta resulterade i kapaciteter mellan 0.9-7 N i modellen. Detta svarar mot 58 – 448 N i fullskala (se tabell 2). I försöken varierades brandeffekten från 5-50 kW, detta svarar mot 0.2 till 1.6 MW i fullskala. Temperaturerna på varma sidan i dörröppningens övre del uppmättes till ca 30-160 °C beroende på vilken brandeffekt som är aktuell. Som kriterium användes temperaturhöjningen i trapphallen. I testerna har relativt låga temperaturer testats. Men dessa temperaturer är inte orimliga i verkliga fall om dörröppningen är på en bits avstånd från branden. Resultaten visar att kapaciteten på luftridån är beroende av temperaturen på den varma sidan och av de valda kriterierna. CFD-simuleringarna av tre försök visade på en god överensstämmelse. FDS är användbart program för att simulera luftridåer i brandsituationer.

Luftridåer kan fungera som rökbarriärer men det kan vara svårt att få ett skydd svarande mot en fysisk barriär. Fördelar med luftridåer är just att dom inte utgör fysiska barriärer och produkterna finns på marknaden. Nackdelar med luftridåer är att de inte kan bli helt täta, de är känsliga för tryckskillnader och höga lufthastigheter och kan kräva kanaldragning. Men luftridåer kan vara ett komplement i t.ex. miljöer där dörrar eller portar inte fungerar och där den totala skydds-nivån beaktas. Detta kan t.ex. vara undermarksanläggningar under byggnation. Ytterligare en konfiguration kan vara en tunnelbanestation där ett frånluftssystem med utsug över spårområdet kompletteras med luftridåer ovan dörrar mot perrongen. Frånluftsentilationen över spåret skulle kunna optimeras tillsammans med luftridåer. Fördelen med ett sådant system är att frånluftskanaldimensionerna skulle kunna minskas och systemet kompletteras med luftridåer. I figur 7.1 visas ett exempel på en undermarksstation där en situation med och utan luftridå är simulerad. Geometrin är baserad på en enuppgångsstation och redovisad i [25]. Branden är en 20 MW:s brand, frånluftöppningar är placerade ovan spåret (10 öppningar med det totala flödet 50 m³/s). I figurens vänstra del visas situationen utan luftridå där rökspridning sker. Den högra bilden visar en situation med luftridå över dörröppningen. Utloppshastigheten är i modellen 20 m/s, luftridåns längd är 2 m och spaltbredden 20 cm med 15 ° riktning in mot spårområdet (branden). Detta ger en impuls på 192 N.



Figur 7.1. 20 MW:s brand med 50 m³/s frånluftsentilation ovan spårområdet med och utan luftridå.

I samma rapport diskuteras för- och nackdelar med olika brandgaskontrollsystem. I tabell 3 redovisas för- och nackdelar med tre olika system. I den aktuella analysen är det grundläggande kriteriet att hindra rök att spridas från en perrongen in till den närliggande trapphallen där en rulltrappa ansluter. Detta är alltså den enda utrymningsvägen. De tre systemen är

1. Ett tryckande tilluftssystem där en luftström från rulltrappan hindrar rök att tränga in
2. Ett frånluftssystem med frånluftsdon i tak ovanför spårområdet
3. Ett kombinerat frånluftssystem med luftridåer

System	Fördelar	Nackdelar
Trycksättande tilluftssystem	Relativt enkelt att installera i befintliga anläggningar, kräver inget kanalsystem Kräver mindre luftmängder jämfört med ett frånluftssystem	För inte bort brandgaser från tunnelsystemet utan stora delar kan drabbas av brandgaser Brandgaserna når den andra perrongen Kan störa brandgassiktningen (skapa turbulenta förhållanden)
Frånluftssystem	Ett effektivt system som för bort brandgaser från tunnelsystemet Mindre ytor jämfört med i fallet med tilluftssystemet drabbas av brandgaser	Systemet kräver stora luftmängder Frånluftssystemet kräver ett kanalsystem
Frånluftssystem med luftridåer	Ett effektivt system som för bort brandgaser från tunnelsystemet Mindre ytor jämfört med i fallet med tilluftssystemet drabbas av brandgaser	Frånluftssystemet kräver stora luftmängder men troligtvis mindre med luftridåer jämfört med utan. Det finns risk för ökad turbulens. Frånluftssystemet kräver ett kanalsystem

Tabell 4.1. Sammanställning av för- och nackdelar.

Med ett kombinerat frånluftssystem och luftridåer kan troligtvis frånluftsfläktarnas kapacitet minskas. Men eventuellt kan luftridåerna kräva kanaldragning och det finns en ökad risk för turbulens.

8 Slutsats

Försöken visar att det är möjligt att använda luftridåer som rökbarriär. Men ett skydd svarande mot en fysisk barriär är svårt att uppnå. Luftridåns kapacitet är beroende av temperaturen i brandrummet. Valet av kriterium för rökspridningen är avgörande. Resultaten visar att om en viss temperaturhöjning accepteras kan sannolikt befintliga produkter på marknaden användas som rökbarriärer. CFD-beräkningarna visar en god överensstämmelse med försöken och programmet FDS bedöms kunna användas för att simulera luftridåer i brandsituationer.

9 Fortsatt arbete

Det fortsatta arbetet inom luftridåer som rökbarriärer bör innefatta fullskaleförsök och kriteriediskussioner. Luftridåer som skydd kan vara aktuellt i t.ex. atrier där rökspridning in mot de övre planen ska förhindras. I höga byggnader kan trycksättning av trapphus vara aktuellt, det finns förslag på lösningar som inkluderar luftridåer vilket kan ge en ökad säkerhet och minska installationskostnader. Fortsatt arbete inom CFD-simulering är intressant eftersom ett resultat från rapporten är att överensstämmelsen är god.

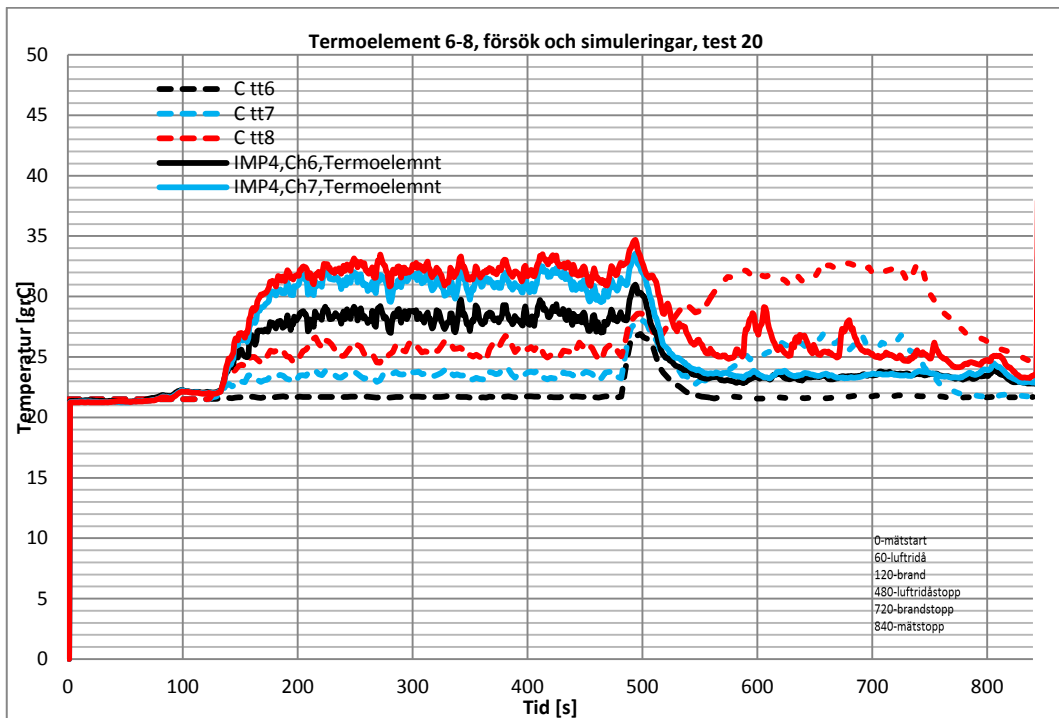
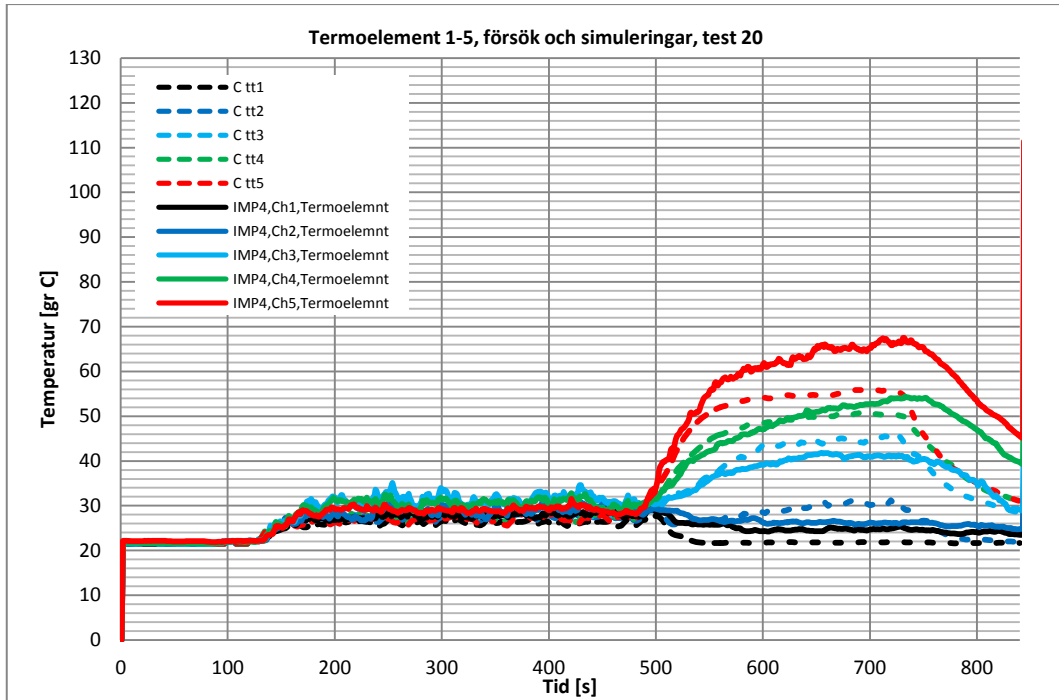
Referenser

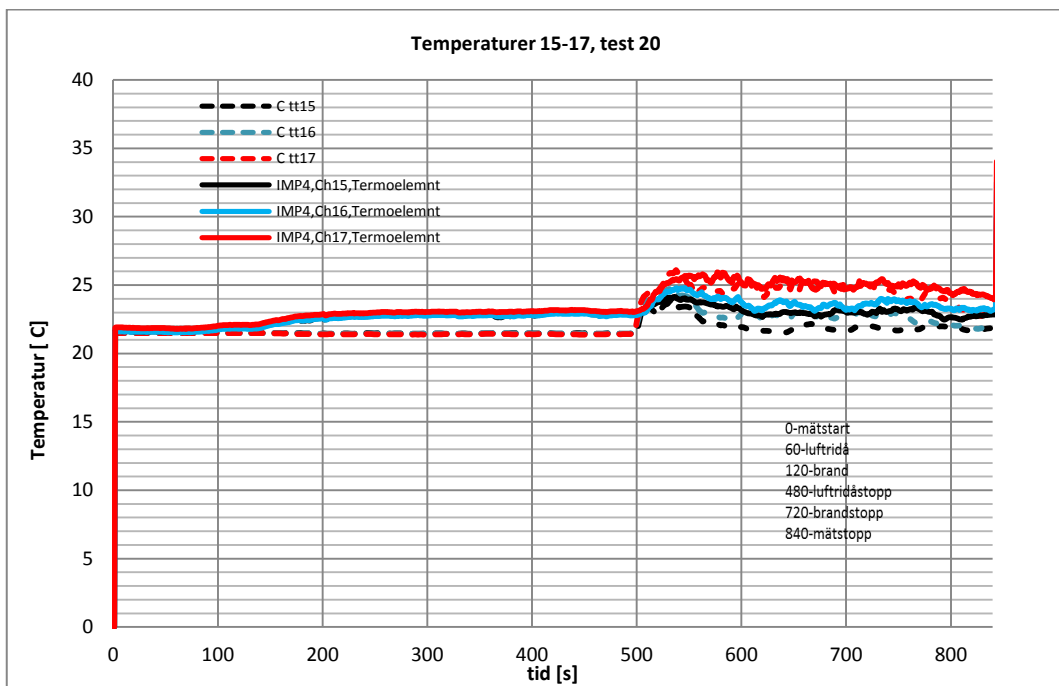
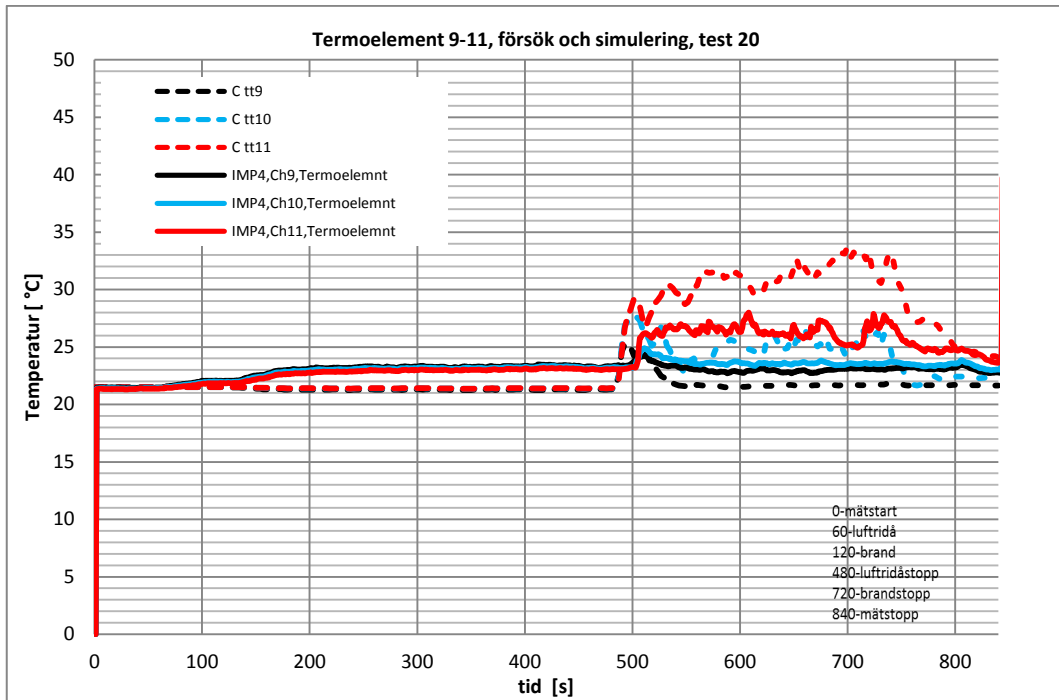
- [1] Frank K. Lu and J.E. Fernandes. Visualizing the flow induced by an air curtain over a mannequin using stereo particle image velocimetry. in ISFV13 - 13th International Symposium on Flow Visualization. July 1-4, 2008, Nice, France
- [2] Legrand, S. and H. Sirocco. Application, behaviour and maximum use for dynamic air curtains. in Tunnel Fires and Escapes from Tunnels. International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France.
- [3] Luftridåer. Teknisk Handbok (www.frico.se)
- [4] Axell, M. and P. Fahlén, Den energieffektiva kyldisken, Statens Energimyndighet, 3:a eff-Sys-dagen, 1 s. 7, 2004 (konferensbidrag), <http://www.effsys2.se>.
- [5] R.F. Huang, Y.D. Wu, H.D. Chen, C.C. Chen, C.W. Chen, C.P. Chang, T.S. Shis, Development and Evaluation of an Air-Curtain Fume Cabinet with Considerations of its Aerodynamics, *Ann. Occup. Hyg.* 51 (2007) 189–206.
- [6] R.F. Huang, C.I. Chou, Flow and Performance of an Air-curtain Biological Safety Cabinet, *Ann. Occup. Hyg.* 53 (2009) 425-440.
- [7] Y.C. Shih, A.S. Yang, C.W. Lu, Using air curtain to control pollutant spreading for emergency management in a cleanroom, *Building and Environment* 46 (2011) 1104-1114.
- [8] A.M. Foster, M.J. Swain, R. Barrett, P. D'Agaro, L.P. Ketteringham, S.J. James, Three-dimensional effects of an air curtain used to restrict cold room infiltration, *Applied Mathematical Modelling* 31 (2007) 1109–1123.
- [9] B.S. Field, E. Loth, Entrainment of refrigerated air curtains down a wall, *Experimental Thermal and Fluid Science* 30 (2006) 175–184.
- [10] J. Cui, S. Wang, Application of CFD in evaluation and energy-efficient design of air curtains for horizontal refrigerated display cases, *International Journal of Thermal Sciences* 43 (2004) 993–1002.
- [11] S. Gupta, M. Pavageau, J.C. Elicer-Cortés, Cellular confinement of tunnel sections between two air curtains, *Building and Environment* 42 (2007) 3352–3365.
- [12] J.C. Elicer-Cortés, R. Demarco, A. Valencia, M. Pavageau, Heat confinement in tunnels between two double-stream twin-jet air curtains, *International Communication of Heat and Mass Transfer* 36 (2009) 438–444.
- [13] M. Lecaros, J.C. Elicer-Cortés, A. Fuentes, F. Felis, On the ability of twin jets air curtains to confine heat and mass inside tunnels, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (2010) 970–977
- [14] J. Rivera, J.C. Elicer-Cortés, M. Pavageau, Turbulent heat and mass transfer through air curtains devices for the confinement of heat inside tunnels, *International Communications in Heat and Mass transfer* 38 (2011) 688-695

- [15] F. Felis, M. Pavageau, J.C. Elicer-Cortés, T. Dassonville, Simultaneous measurements of temperature and velocity fluctuations in a double stream–twin jet air curtain for heat confinement in case of tunnel fire, *International Communication of Heat and Mass* 37 (2010) 1191–1196
- [16] H. Sakurai, T. Hayashi, M. Shibata, K. Kanehara, Researches on air shutter for fire defence, *Fire Safety Journal* 2 (1979/80) 9–16
- [17] L.H. Hu, J.W. Zhou, R. Huo, W. Peng, H.B. Wang, Confinement of fire-induced smoke and carbon monoxide transportation by air curtain in channels, *Journal of Hazardous Materials* 156 (2008) 327–334
- [18] L.Jensen, Enkel luftfridåteori, avd. för installationsteknik, inst för bygg- och miljöteknologi, LTH, Rapport TVIT—09/7038
- [19] L.Jensen, Termisk trycksättning av trapphus, Rapport TVIT-7026
- [20] L. Santarpia, F. Gugliermetti & G. Zori, Ventilation improvement in fire smoke control, *Environmental Health Risk* III (2005)
- [21] G. Heskestad, Modeling of enclosure fires, in: *Proceedings of the Fourteenth Symposium (International) on Combustion*, The Pennsylvania State University, USA, August 1972, pp. 1021–1030
- [21] J.G. Quintiere, Scaling applications in fire research, *Fire Safety Journal* 15(1989) 3–29
- [23] N. Saito, T. Yamada, A. Sekizawa, E. Yanai, Y. Watanabe, S. Miyazaki, Experimental study on fire behavior in a wind tunnel with a reduced scale model, in: *Proceedings of the Second International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels*, Granada, Spain, 3–6 April 1995, pp. 303–310
- [24] G. Heskestad, Physical modeling of fire, *Journal of Fire & Flammability* 6 (1975) 253–273
- [25] McGrattan m.fl, www.nist.gov, Fire Dynamic Simulation, (2009)
- [26] <http://www.pyrosim.eu>, Thunderhead Engineering (2013)

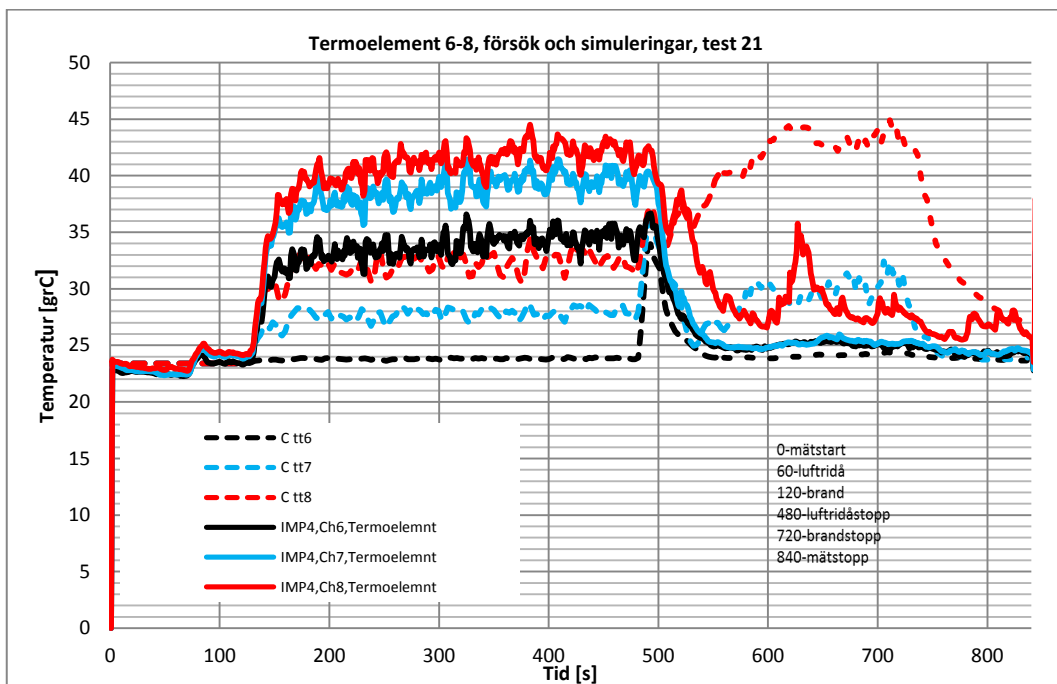
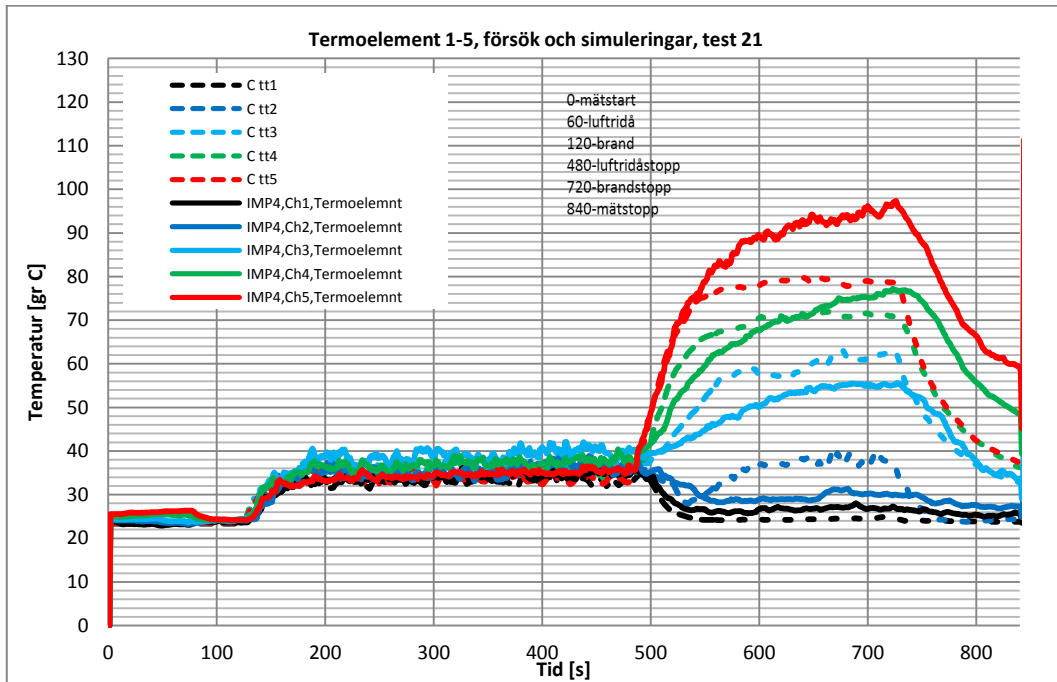
10 Bilagor

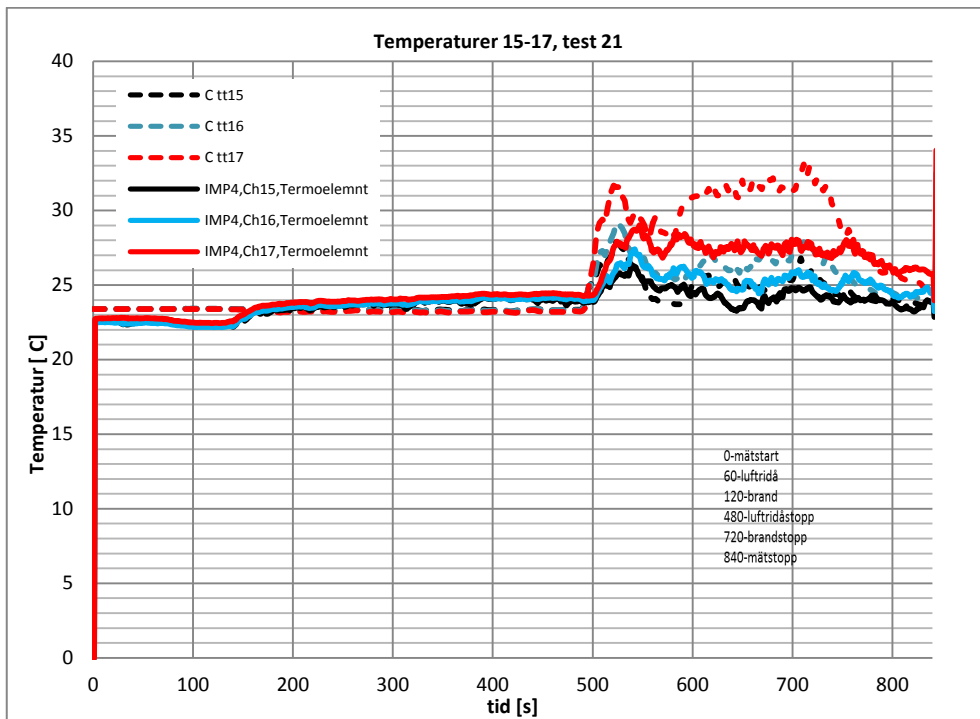
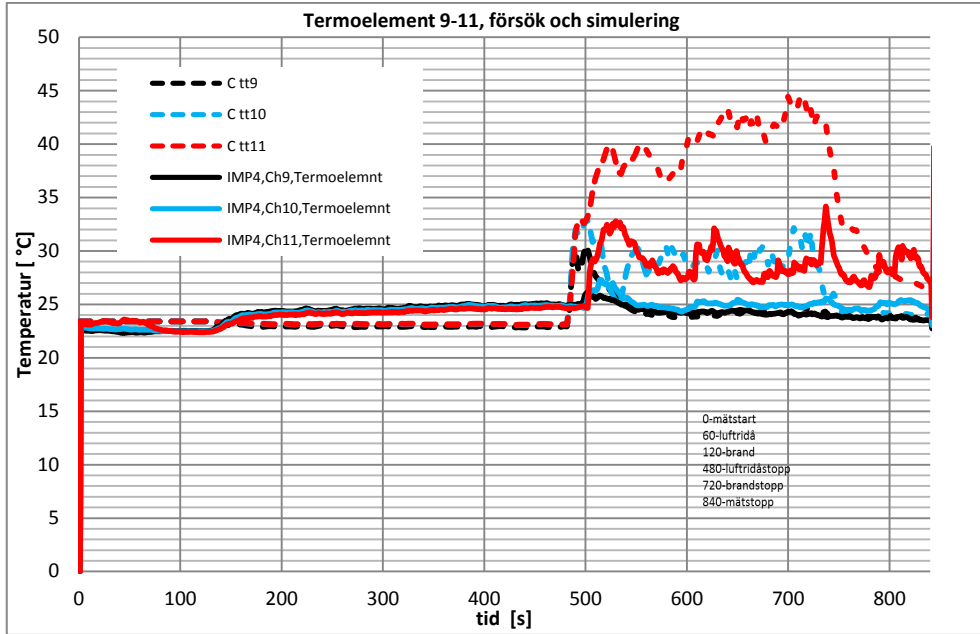
10.1 Test 20, 5 kW, 7 N



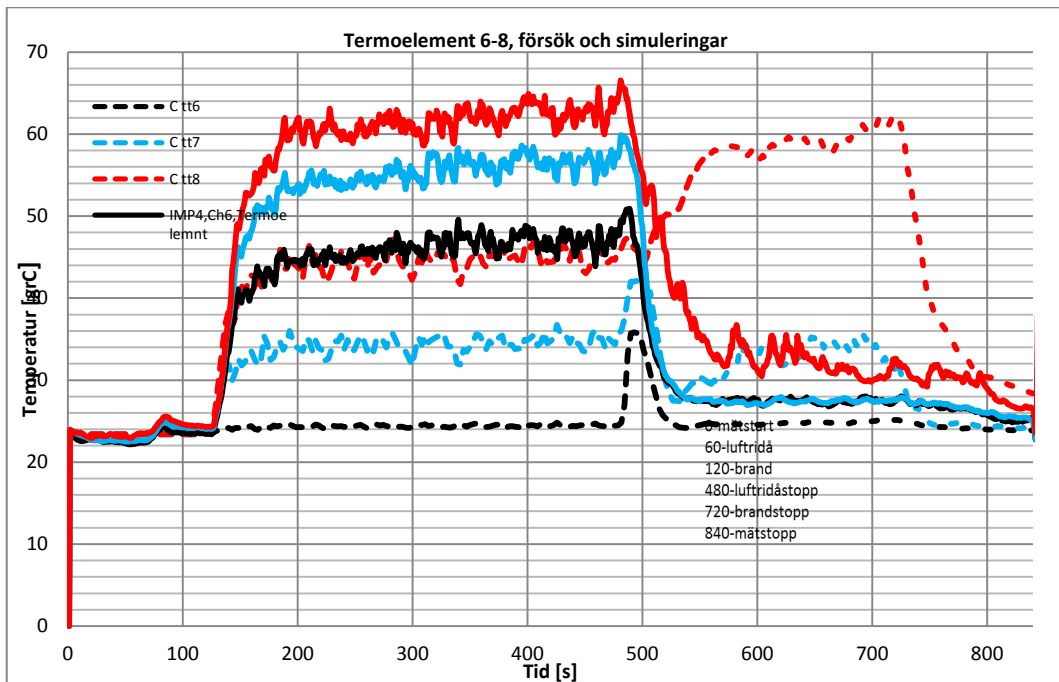
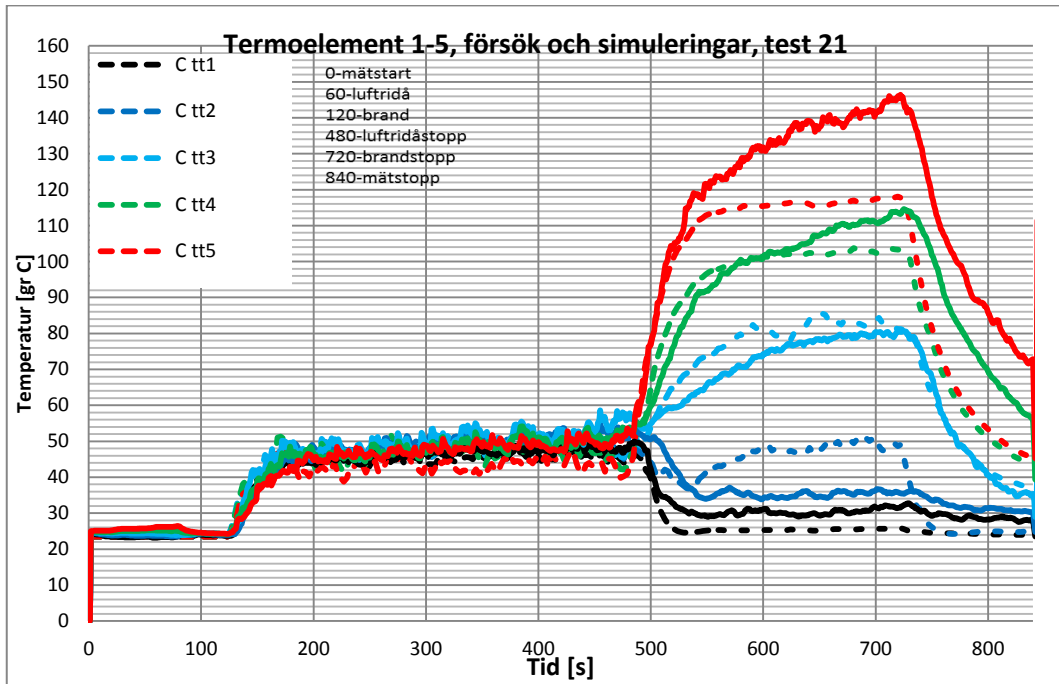


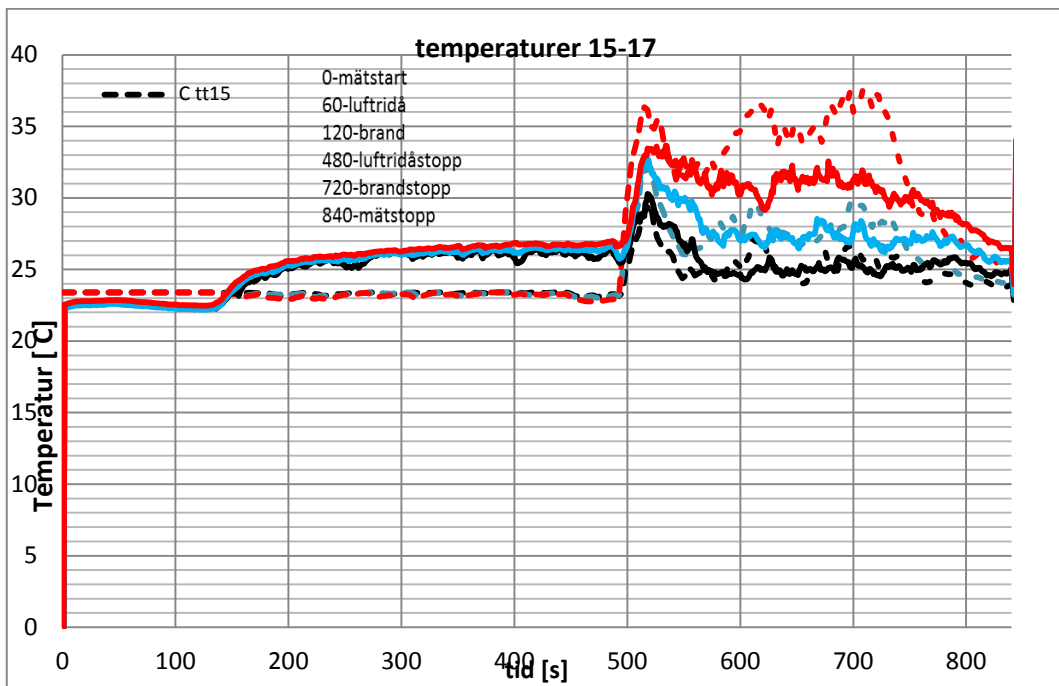
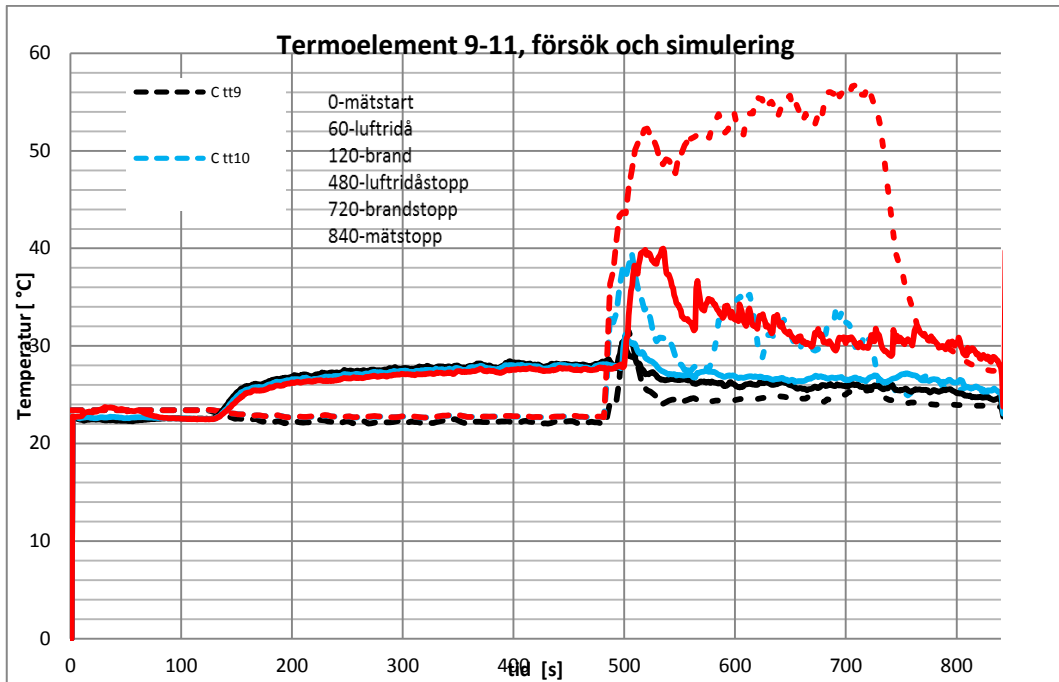
10.2 Test 21, 10 kW, 7 N





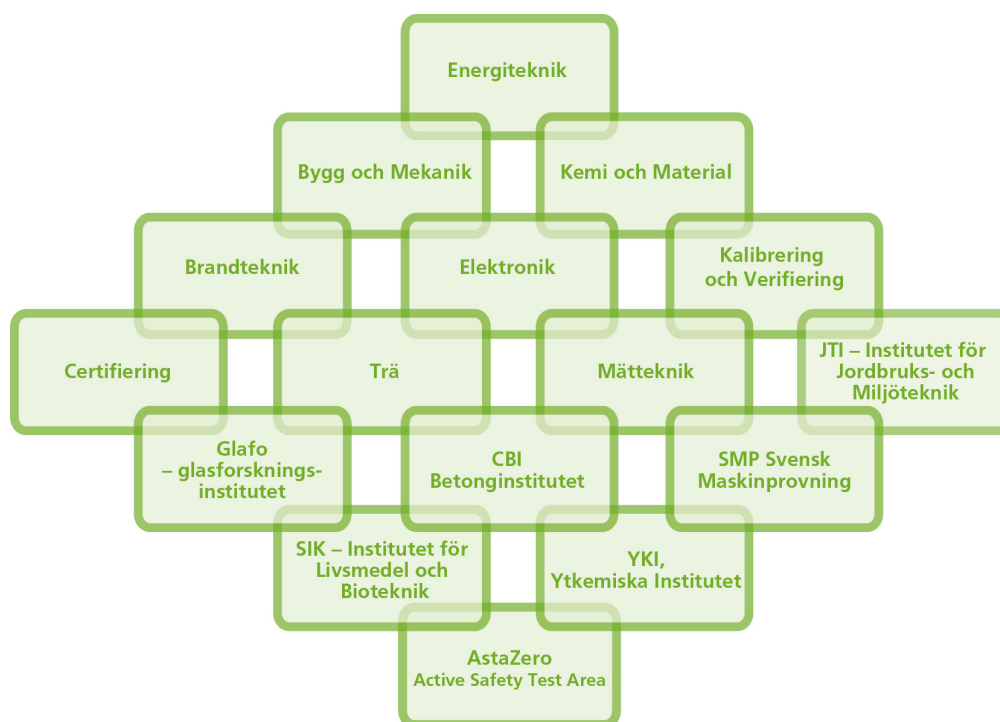
10.3 Test 22, 20 kW, 7 N





SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

Brandteknik

SP Rapport nr 2014:06

ISBN: 978-91-87461-54-5