

# Hjärupslundsskolan – en brandteknisk riskvärdering

VBR054



**Brandteknik, LTH**

Joakim Almén  
Ulf Kronqvist  
Lotta Olsson  
Erica Storckenfeldt

**Lund 2006**

Handledare:  
Henrik Jönsson, Brandteknik LTH  
Michael Marklund, Räddningstjänsten



# Hjärupslundsskolan

## – en brandteknisk riskvärdering

*Joakim Almén*  
*Ulf Kronqvist*  
*Lotta Olsson*  
*Erica Storckenfeldt*

**Rapport 9286**  
**Lund 2006**

**Följande rapport är framtagen i undervisningen. Det huvudsakliga syftet har varit träning i problemlösning och metodik. Rapportens slutsatser och beräkningsresultat har inte kvalitetsgranskats i den omfattning som krävs för kvalitetssäkring. Rapporten måste därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.**

<b>Brandingenjörsprogrammet</b> Lunds Tekniska Högskola Box 118 221 00 Lund Tel.: 046-222 73 00 E-post: brand@brand.lth.se	<b>Dept. of Fire Safety Engineering</b> Lund University Box 118 S- 221 00 Lund Tel.: +46 46 222 73 00 E-mail: brand@brand.lth.se
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Rapport/Report 9286

### Titel

Hjärupslundsskolan – en brandteknisk riskvärdering

### Title

Hjärupslundsskolan – a fire safety evaluation

### Av/By

Joakim Almén  
Ulf Kronqvist  
Lotta Olsson  
Erica Storckenfeldt

### Abstract

This report is an evaluation of the fire safety in a recently buildt public facility and school: Hjärupslundsskolan. The school is a two storey building with a basement. Based on the inspection and statistics for school fires, a number of fire scenarios were constructed. Of these, four were chosen and studied in more detail. Times until critical conditions occurred were obtained and compared to the time needed to evacuate in order to evaluate the safety of the school and the conditions during an evacuation. In three of the four cases the persons directly affected by the fire could evacuate before critical conditions were reached. In the fourth case too short time was left for evacuation but this can be improved. To further increase the safety at the school some other improvements were suggested. The school can be evacuated fairly safely, but the safety can be improved.

### Keywords

Fire safety evaluation, Hjärupslundsskolan, school fires, critical conditions, evacuation time, fire simulations

### Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, Hjärupslundsskolan, skolbrand, kritiska förhållanden, utrymningstid, brandsimulering

## Förord

Grupp tre vill här visa sin uppskattning för den hjälp och ledning vi erhållit av flertalet personer under framtagandet av denna rapport. Denna termin har varit ångestfylld och lärorik. Vi har tvingats att utnyttja alla tillgängliga ingenjörsmässiga bedömningar som vi kunnat uppbringa och resultatet av detta följer här.

Under arbetet med denna rapport har vi tagit hjälp av flertalet personer som vi vill tacka och hylla:

Bjarne Husted - Mange tak, för svar på alla frågor kring ARGOS

Daniel Gojkovic - för diskussioner kring effektutvecklingar och CFAST

Daniel Nilsson - för ledning och förklaring kring detektionsfunderingar

Håkan Frantzich - för diskussioner kring utrymningsproblematiken

Henrik Jönsson - vår mentor och kritiska granskare

Michael Marklund vid Räddningstjänsten i Staffanstorp

Niklas Widell - vaktmästaren som gav oss informationen vi behövde när vi behövde den

Robert Dahlqvist: Rektor vid Hjärupslundsskolan

Klass Bi04 för stöd i datasalarna



## Sammanfattning

I denna rapport har utrymningssäkerheten på Hjärupslundsskolan utvärderats. Detta är en nybyggd skola i Hjärup som också fungerar som bibliotek och samlingslokal för allmänheten.

Arbetet började med att skolan besöktes för att få en uppfattning om byggnaden och de risker som kan finnas. Baserat på besöket och sannolikhet för bränder på skolor har ett antal brandscenarier tagits fram. Sedan har sannolikheten för dessa jämförts och fyra representativa scenarier valts ut. Dessa är en biblioteksbrand, en matsalsbrand, en korridorsbrand och en brand i ett trapphus. Brandscenarierna inträffar i olika delar av skolan så att hela byggnaden täcks in.

Scenarierna har simulerats så att tiden till kritiska förhållanden kunde uppskattas ur brandsimuleringarna och utrymningstiden ur utrymningssimuleringarna.

Utrymningstiden har även beräknats för hand. Tiderna har sedan jämförts för att se om utrymningsförhållandena är säkra.

I tre av de scenarier som har valts hinner personerna ut innan kritiska förhållanden uppstår. I flera av scenarierna blockerar branden ett trapphus. De som måste utrymma genom trapphuset hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår i det aktuella trapphuset. De som befinner sig i andra delar av byggnaden berörs inte direkt av branden och kan också utrymma säkert.

För att förbättra förutsättningarna för en säker utrymning föreslås att utrymningsvägar skall hållas fria från brännbart materiel. Dessutom skall ytterligare en dörr i matsalen göras om till en utrymningsväg. Slutligen skall personalen utbildas kontinuerligt så att de bidrar till att utrymningen vid en brand blir snabb.





# Innehållsförteckning

1	Bakgrund.....	11
1.1	Syfte .....	11
1.2	Metod .....	11
1.3	Avgränsningar .....	11
2	Objektsbeskrivning .....	12
2.1	Byggnaden .....	12
2.2	Verksamheten .....	14
2.3	Befintligt brandskydd.....	15
2.4	Ventilation.....	16
2.5	Systematiskt brandskyddsarbete .....	16
3	Teori och förenklingar .....	17
3.1	Utrymningsteori .....	17
3.2	Kritiska förhållanden .....	17
3.3	Förbrinntid .....	17
3.4	Maximal effektutveckling .....	17
4	Simuleringsprogram.....	18
4.1	Brandsimulering.....	18
4.1.1	Argos.....	18
4.1.2	CFAST .....	19
4.2	Utrymnings simuleringar .....	20
4.2.1	Simulex .....	20
5	Scenarier .....	20
5.1	Grov riskanalys .....	20
5.2	Val av scenarier.....	23
6	Utrymningssimuleringsantaganden.....	24
7	Scenario bibliotek .....	26
7.1	Effektkurva .....	26
7.2	Brandsimulering.....	27
7.3	Utrymningssimulering .....	27
7.4	Utvärdering .....	28
7.5	Känslighetsanalys .....	28
8	Scenario matsal .....	29
8.1	Effektkurva .....	29
8.2	Brandsimulering.....	30
8.3	Utrymningssimulering .....	31
8.4	Utvärdering .....	31
8.5	Känslighetsanalys .....	31
9	Scenario skåp i trapphall.....	32
9.1	Effektkurva .....	33
9.2	Brandsimulering.....	33
9.3	Utrymningssimulering .....	34
9.4	Utvärdering .....	35
9.5	Känslighetsanalys .....	35
10	Scenario soffgrupp i korridor.....	35
10.1	Effektkurva .....	36
10.2	Brandsimulering.....	37
10.3	Utrymningssimulering .....	37
10.4	Utvärdering .....	38
10.5	Känslighetsanalys .....	38

11	Slutsatser .....	39
12	Åtgärder .....	40
13	Referenser .....	41

### **Bilagor**

1	Statistik
2	Effektkurvor
3	Handberäkningar utrymning
4	Resultat biblioteket
5	Resultat matsal
6	Resultat skåp i trapphall
7	Resultat soffa i korridor

## 1 Bakgrund

Den här rapporten är resultatet av arbetet under kursen Brandteknisk Riskvärdering under tredje året av brandingenjörsutbildningen på LTH. Rapporten behandlar utrymningssäkerheten på den nybyggda Hjärupslundsskolan som ligger i Hjärup utanför Lund. Byggnaden rymmer även bibliotek och samlingslokal som är tillgängliga både för eleverna och för allmänheten. Skolan togs i bruk i augusti 2006, så utvärderingen av skolan sker då allt ännu inte är taget i bruk eller slutfört. Delar av brandskyddet har dimensionerats analytiskt vilket både ger större friheter för speciallösningar och större krav på verifiering av dessa.

### 1.1 Syfte

Ett syfte med denna rapport är att utvärdera utrymningssäkerheten vid en brand på Hjärupslundsskolan. Dessutom syftar projektarbetet till att ge studenterna användning för kunskaper om regler och möjlighet att själva utvärdera ett objekts utrymningssäkerhet. Förutom detta innebär arbetet extra övning i att skriva denna typ av rapport. Det ger också bra erfarenheter av att handha ett objekt och alla kontakter som ska skötas under arbetet.

### 1.2 Metod

Hjärupslundsskolan har inspekterats och med hjälp av statistik har ett antal troliga brandscenarier för objektet valts. Av dessa har sedan fyra valts ut för att studeras i detalj. Med hjälp av litteratur och rapporter har effektutveckling för vart och ett av scenarierna tagits fram. Brandscenarierna har simulerats med avseende på brandförlopp för att ta fram tiden till när kritiska förhållanden uppstår. Tiderna har sedan jämförts med en simulerad och handberäknad utrymningstid för att utvärdera utrymningsförhållandena.

Om byggnaden har säkra utrymningsförhållanden överstiger tiden till kritiska förhållanden den totala utrymningstiden (Frantzich 2006). Hänsyn bör dock tas till var i byggnaden människor fortfarande befinner sig då kritiska förhållanden uppkommer. Då personer befinner sig i en annan brandcell och inte behöver passera branden under utrymningen kan fortfarande utrymningsförhållandena vara säkra trots att kritiska förhållanden uppstått i en annan del av byggnaden.

Från resultaten görs sedan en utvärdering av utrymningssäkerheten på skolan och åtgärder som kan genomföras för att öka säkerheten föreslås.

### 1.3 Avgränsningar

I denna rapport ingår hela Hjärupslundsskolan. Hela skolbyggnaden ingår i arbetet, men inte dess omgivning, då den inte anses påverka utrymningssituationen. Arbetet har fokuserats på utrymningssäkerhet. Detta medför att endast tiden som folk fortfarande utrymmer har beaktats när brandsimuleringarna gjorts. Senare delar av brandförloppet, med övertändnings- eller bärighetsproblem, samt egendomsskydd har därmed utelämnats.

I rapporten tas både hänsyn till skolverksamheten och att lokalerna kan användas och hyras ut efter skoltid. Detta är dessutom intressant då personer som då befinner sig i byggnaden inte kan antas vara bekanta med lokalerna.

## 2 Objektsbeskrivning

För att underlätta förståelsen av rapporten beskrivs här Hjärupslundsskolan ingående.

### 2.1 Byggnaden

Hjärupslundsskolan är en nybyggd tvåvåningsbyggnad med ett källarplan. Skolan öppnades i augusti 2006 och ligger i Staffanstorps kommun. Bärverket i byggnaden består av betong och stål. Fasaden är främst i obrännbart material med stora partier av glas. Skolan omges av en skolgård och avståndet till närmsta byggnad är mer än åtta meter. Plan ett består av tre friliggande huskroppar på vilket plan 2 vilar (se Figur 2.1). Taken på två av huskropparna har belagts med trätrall för att användas som terrasser. Hur mycket terrasserna ska användas är ännu oklart.



Figur 2.1: Fasadbilder på Hjärupslundsskolan

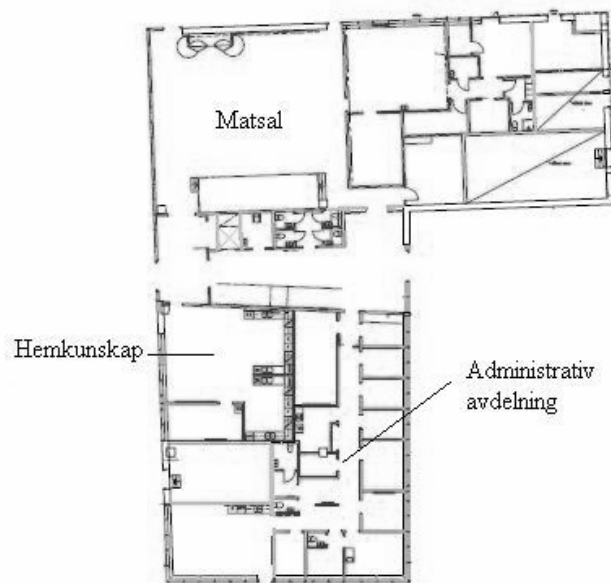
För att lättare få en överblick indelas byggnaden i fyra delar. Del 1 och del 2 finns i markplan, del 3 ligger också i markplan men här ingår även ett källarplan och sista delen är hela plan 2.

Del 1 (Figur 2.2) innehåller många specialsalar och ett bibliotek. Korridoren utanför biblioteket används som café. Biblioteket har endast en gallerdörr som avskiljer från trapphuset. NO-, slöjd- och bildsal befinner sig i en egen brandcell. Naturgas används i NO-salen och senare troligtvis även gasol. Kemikalier förvaras inlåsta i ett angränsande rum till lektionssalen. Det finns även möjlighet att gasol kommer att användas i träslöjden. I bildsalen finns en ugn för bränning av keramik. Bibliotek och samtliga salar har utrymningsväg direkt till det fria och till korridor.



**Figur 2.2: Del 1, plan 1**

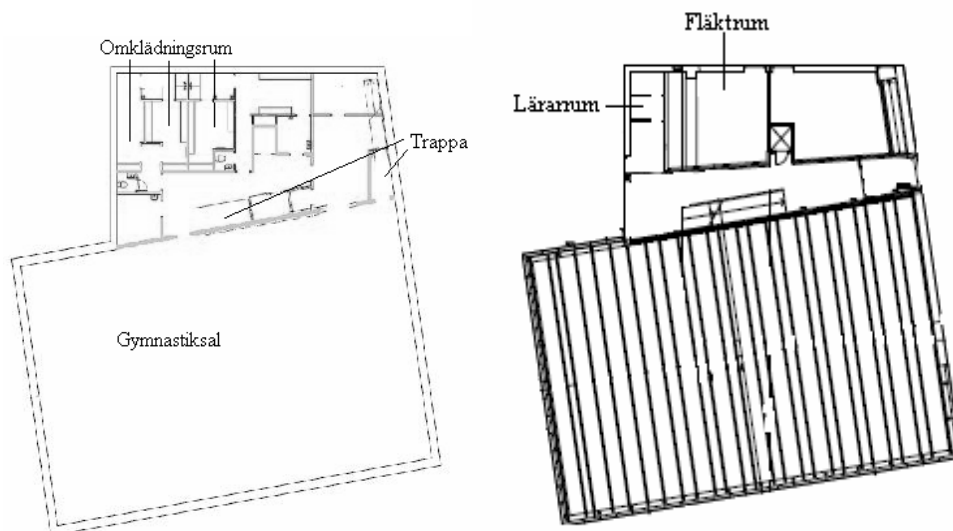
Del 2 (Figur 2.3) innehåller matsal, kök, hemkunskapssal och en administrativ avdelning för personalen. Den administrativa avdelningen utgör en brandcell och matsal, trapphus samt hemkunskapssal utgör en brandcell. Matsalen är den största samlingslokalen i byggnaden och är avsedd för 200 personer. De olika delarna knyts ihop i ett trapphus.



**Figur 2.3: Del 2, plan 1**

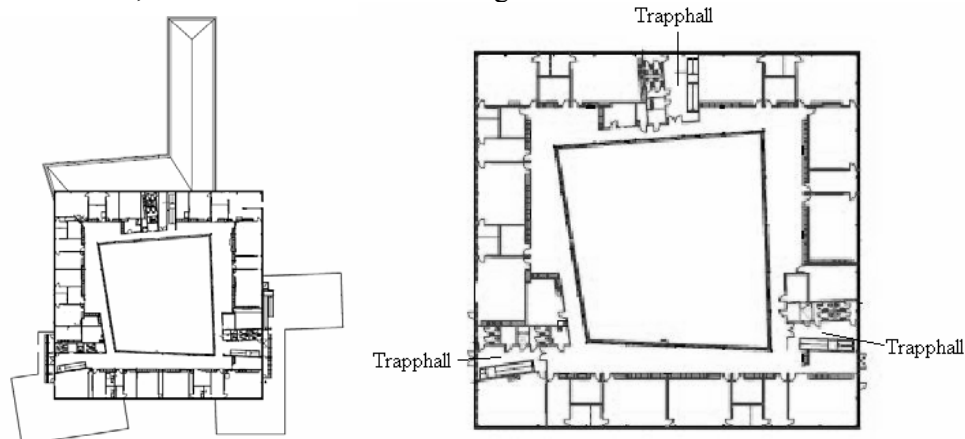
Del 3 (Figur 2.4) innehåller gymnastiksal och omklädningsrum, allt i källarplanet. Trapphuset är en egen brandcell och förbinder alla tre planen. Väg ut i det fria finns

på markplan, från källarplanet via två separata trappor. Omklädningsrummen är trånga och endast en utrymningsväg finns, de saknar även detektorer. I anslutning till gymnastiksalen finns en el-central och förråd. I markplan finns ett gymnastiklärarrum men även ett fläktrum och ytterligare byggnadsfunktionsutrymmen.



Figur 2.4: Del 3: Plan 0 till vänster, plan 1 till höger

Plan 2 (Figur 2.5) har utformats som en fyrhörning med öppen mitt. Där finns 12 basklassrum, ett antal grupprum, lärarum, NO- och SO-förråd. I den öppna korridoren som an knyter alla klassrum finns elevskåp och ett par soffgrupper. Tre trapphallar an knyter övervåningen med de tre tidigare nämnda delarna. Det finns även dörrar som för binder klassrummen direkt med varandra. Det finns också ett fåtal klassrum som har dörr till terrass ovanpå plan 1. Trapphallarna utgör egna brandceller, annars består hela övervåningen av en enda stor brandcell.



Figur 2.5: Plan 2

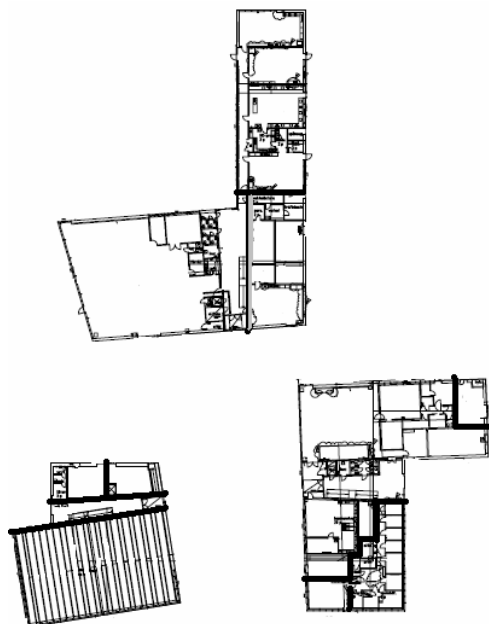
## 2.2 Verksamheten

Byggnadens huvudsakliga syfte är som skolbyggnad för upp till 450 elever i årskurserna 6-9. Plan 1 innehåller ett bibliotek som även är avsett för allmänheten. I samma del av byggnaden finns även en lokal som används som fritidsgård.

Byggnaden kommer också att användas efter skoltid som Forum Hjärup. Tanken är att det ska vara en ”Oas för kulturell verksamhet för alla åldrar” (Staffanstorps kommun 2006) med bibliotek, fritidsverksamhet samt sportaktiviteter. De lokaler som ska kunna uthyras är matsalen på plan 1, som är avsedd för 200 personer, och gymnastiksalen, som ligger i källarplanet men dock inte hyrs ut för övernattnig. Gymnastiksalen är avsedd för 150 personer.

### 2.3 Befintligt brandskydd

Skolan är indelad i ett antal brandceller (Figur 2.6). Dessa åtskiljs av väggar i klass EI 60 förutom runt arkivet där klass EI 120 har använts. Bärverket i skolan består av betong och stål, vilka båda är obrännbara och därmed bra avskiljningar mellan de olika brandcellerna.



Figur 2.6: Brandcellsindelning på plan 1

Från plan 1 finns det gott om utrymningsvägar. Det finns två vägar ut genom varje trapphus samt på många ställen en dörr direkt ut i det fria från klassrummen. Längsta utrymningsväg på plan 1 är ca 25 meter. Från källarplanet finns det två separata utrymningsvägar i olika brandceller, en genom trapphuset samt en direkt från gymnastiksalen via en trappa ut till det fria. Trapphuset måste alltid passeras vid utrymning från omklädningsrummen. Utrymning från plan 2 sker via de tre trapphusen ner i de tre huskropparna på plan 1. Avståndet mellan trapphusen är 50 meter och längsta utrymningsväg från plan ett uppgår till 60 meter. Alla utrymningsvägar är beklädda med obrännbart material samt har utåtgående dörrar. Dörrarna från plan 2 till trapphusen är 1,8 meter breda. Från biblioteket och matsalen är dörrarna 1,2 meter breda medan klassrummen har dörrar som är 0,9 meter breda. På besöket i skolan hittades dörrar i utrymningsvägar som kärvade.

Det finns utrymningsplaner placerade i trapphusen på plan 2 och vid matsalen. De är bra och tydligt utförda och sitter väl synliga.

De delar av byggnaden som är samlingslokaler har skyltar som är genomlysta. I klassrummen sitter efterlysande skyltar över alla dörrar som används som utrymningsvägar.

Handbrandsläckare finns placerade i korridoren på övervåningen. Det finns även tre släckare placerade i el-rummen. Även biblioteket och NO-salen i flygeln har släckare utplacerade.

Objektet har rökdetektorer och i NO-salen finns en gasdetektor. Detektorerna är kopplade till ett automatiskt brandlarm. Det finns även larmknapp i NO-salen för manuell aktivering. I musikrummet är larmet förstärkt med en optisk signal då ljudnivån kan vara hög. Larmet hade inte testats i någon utrymningsövning vid besöket på skolan, men kommer att testas under hösten.

## **2.4 Ventilation**

Plan 1 har ett FTX-system. Det betyder att värmen i avluften återanvänds till uteluften. Uteluft tas från yttertak eller fasad och avluft blåses ut i marken via betongrör från fläktrummen. Del 1, del 2 och del 3 försörjs med egna fläktrum och brandcellsgränserna upprätthålls med hjälp av brandspjäll.

Plan 2 har ett luftbehandlingssystem som bygger på naturlig ventilation i klassrummen och korridoren. Den naturliga ventilationen fungerar med hjälp av motorstyrda fönster och styrs av koldioxid-/temperaturgivare. Fönstren kan även styras från vaktmästarens dator. Toaletter, förråd och vissa grupperum är en del av FTX-systemet på plan 1.

## **2.5 Systematiskt brandskyddsarbete**

Objektets SBA(systematiskt brandskyddsarbete) är i uppbyggnadsskedet. Brandskyddsansvarig, tillika rektorn, är medveten om det jobb som krävs för att ha en väl fungerande organisation kring detta.

Första utrymningsövningen på objektet kommer att genomföras den 20 november och tanken är att arbetet med SBA då är ordentligt påbörjat. Lärarna på objektet har, med undantag från en, erfarenhet från andra skolor. Detta innebär att vissa problem kan uppkomma då de kanske har olika uppfattning hur saker ska genomföras vid en utrymningsituation, en gemensam utbildning kommer att förbättra samarbetet och säkerheten i lärarens viktiga roll under en utrymning. Rektorns vision är att det kommer att finnas lättöverskådliga handlingsplaner för vad man skall göra vid olika situationer under en brand så som rädda, larva, släck och åtgärder om man sitter inlåst och inte kan utrymma. Skolan har valt att utse två lärare som fungerar som brandskyddskontrollanter. Dessa har som uppgift att vara extra vaksamma kring brandsäkerhetsfrågor och hjälpa till att föra utvecklingen kring dessa frågor framåt.



### 3 Teori och förenklingar

Bedömningen av utrymnings säkerhet görs utifrån vissa teoretiska grunder vilka beskrivs nedan. Vid simuleringarna har dessutom ett antal förenklingar gjorts som också beskrivs.

#### 3.1 Utrymningsteori

Vid bedömning av den totala utrymningstiden uppdelas denna i tre delar. Den första delen är varseblivningstiden som är den tid det tar för individen att upptäcka att det brinner (Frantzich 2006). Denna tid är till störst del till för dem som inte ser branden och kan i de fallen uppskattas som den tid det tar innan brandlarmet aktiveras.

Den tid det tar från det att branden upptäcks till det att förflyttningen mot utgången påbörjas kallas för besluts- och reaktionstid. Det är den tid det tar att förstå vad larmet betyder och därefter bestämma att det är bäst att utrymma. Denna tid beror mycket på hur känd omgivningen är men kan även påverkas av att personen i ledarrollen, i det här fallet läraren, snabbt meddelar att utrymning ska påbörjas.

Då väl förflyttningen har påbörjats tar det tid att komma till utgången. Denna förflyttningstid är den sista delen av den totala utrymningstiden. Denna tid är visserligen beroende av sträckan till närmsta utgång men den största tidsfördröjningen under utrymning uppkommer under köbildning vid dörrpassager och trappor.

#### 3.2 Kritiska förhållanden

Vid bedömningen av scenarierna har dessa kriterier använts för att definiera kritiska förhållanden.

- Temperatur i rummet får vara max 80°C
- Strålning från brandgaslagret får vara max 2,5 kW/m<sup>2</sup>. Detta kan uthärdas max tio minuter. Eller en total strålningsdos på 60 kJ/m<sup>2</sup> för allt som är över 1kW/m<sup>2</sup>
- Brandgaslagrets höjd ska som lägst vara 1,6 + 0,1H där H är takhöjden i rummet. Brandgaslagret ska inte påverka personer under utrymning (Brandteknik 2005).
- Sikten skall vara minst fem meter under utrymning då lokalerna anses vara välkända, 10 meter om lokalerna är okända (Frantzich 2006).

#### 3.3 Förbrinntid

Då effektutvecklingen för de olika scenarierna har bestämts har en eventuell förbrinntid utelämnats. Då förbrinntiden är den tid det tar för branden att ta sig och börja tillväxa är det konservativt att ta bort den eftersom inga partiklar antas finnas i detektorn innan brandens effektutveckling blir märkbar.

#### 3.4 Maximal effektutveckling

Av de effektkurvor som använts i simuleringarna har två tagits helt från verkliga försök. Kurvan som använts vid matsalsbranden och biblioteksbranden har tillväxt utan att plana av vid ett maximalt värde. Antagandet har gjorts då effekten inte kommer att avta under det tidsintervall som är av intresse för utrymningen. Även om den flackar av lite är beräkningarna konservativa om den tillåts växa till något längre i

simuleringarna då detta ger en ökad brandgasproduktion och värmeutveckling som bidrar till att brandgaserna sprider sig snabbare.

## 4 Simuleringsprogram

De simuleringsprogram som använts är Argos, CFAST och Simulex.

### 4.1 Brandsimulering

Vid brandsimuleringar har två olika program använts. Båda grundas på tvåzonsmodeller.

En tvåzonsmodell grundar sig på att det finns två distinkta zoner i ett rum, det varma brandgaslagret och den relativt opåverkade luften under det samma. Zonerna antas vara homogena dvs samma temperatur och optisk densitet i hela zonen. När en brand har fortgått en tid kan detta anses överrensstämma väl med verkligheten. För att beräkna tillskottet av brandgaser används en plymmodell, oftast McCaffreys.

De två zonerna fungerar som kontrollvolymerna där beräkningar av mass- och energibalans mellan kontrollvolymerna utförs. Tiden det tar för brandgaserna att transporteras försummas i beräkningarna. Tvåzonsmodeller har på grund av detta mycket svårt att exempelvis ge en rättvis bild av hur brandgaser sprids i avlånga volymer och bör enbart användas då följande kriterier uppfylls.

$$\frac{\text{längd}}{\text{bredd}} \leq 3 \quad \frac{\text{Längd}}{\text{Höjd}} \leq 3 \quad \frac{\text{Bredd}}{\text{Höjd}} \geq 0,4 \quad (\text{Gojkovic, 2006})$$

#### 4.1.1 Argos

När temperaturskillnaden i det övre och nedre brandgaslagret är liten behandlar Argos rummet som en stor kontrollvolym med väl omblandade förhållanden i stället för de två uppdelade zonerna.

I simuleringarna i Argos har alla rum gjorts om till rektangulära rum för att passa programmet. Då brandgasspridningen är det som påverkar de kritiska förhållanden mest har rummets volym behållits då rummen anpassats till programmet. Eventuellt har därmed vissa totala väggytor ändrats. Detta ändrar den kylning de omgivande ytorna utför på brandgaserna något vilket antas vara marginellt. Förutom de fönster som finns har även en smal luftspalt lagts in för att kompensera för det läckage som finns i alla byggnader. De dörrar som förbinder rum eller som öppnar eller stängs under simuleringen (se ”Brandsimulering” under respektive scenario) har också lagts in.

Då rum inte kan placeras ovanpå varandra har de trapphus som förekommer ersatts med ett rum som sträcker sig upp genom de aktuella våningsplanen. Bjälklaget som finns i trapphuset försvinner då, vilket underlättar för brandgaserna att sprida sig uppåt samtidigt som kylningen av dessa minskar. Dessa simuleringar kan dessutom jämföras med den som utförts i CFAST där våningsplanen finns med.

När Argos beräknar sikt använder programmet en rökpotential som ska anges i dB/m. För att ta fram ett riktvärde som kan användas för material där rökpotentialen är känd i (obscura\*m<sup>3</sup>)/g kan följande ekvation användas (Figur 4.1). Ingående parametrar är D<sub>0</sub> ((obs\*m<sup>3</sup>)/g) som är den kända rökpotentialen, ΔH<sub>air</sub> (kJ/kg) som är

effektutvecklingen för varje kg luft som förbränts,  $\Delta H_{mat}$  (kJ/kg) som är effektutvecklingen för varje kg material som förbränts och  $\rho_0$  (g/m<sup>3</sup>) som är luftens densitet.

$$S_0 = D_{0,10\log} * \frac{\Delta H_{air}}{\Delta H_{mat}} * \rho_0$$

Figur 4.1: Rökpotential enligt Argos

Vid val av rökdetektorer i Argos har aktivering vid 0,3 dB/m valts enligt riktvärden 1994 (NKB 1994). Troligtvis är detektorerna idag bättre än de som fanns 1994 vilket innebär att 0,3 dB/m antagligen är ett konservativt värde.

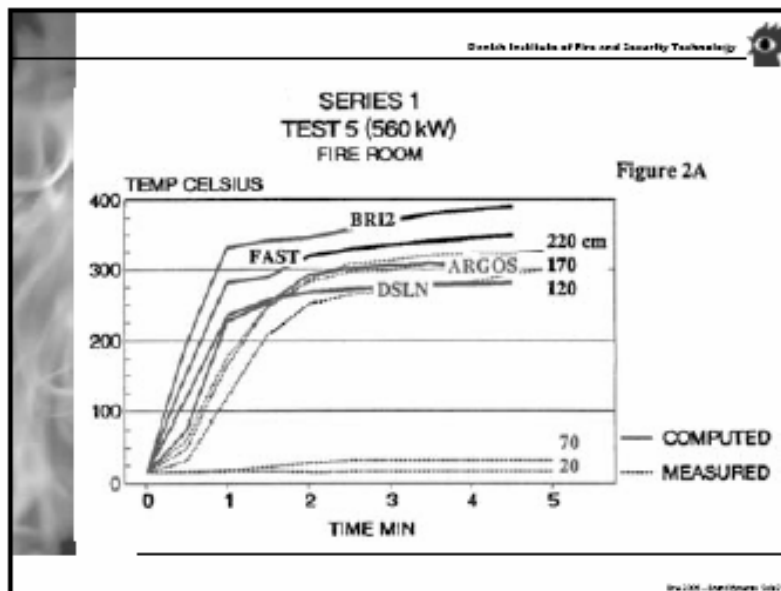
#### 4.1.2 CFAST

CFAST saknar den funktion som Argos har där tvåzonsmodellen ersätts av en enzonsmodell vid låga temperaturskillnader (Jones et al 2005).

I CFAST bör rummen också vara rektangulära, så även här har rummen gjorts om något, dock med bibehållen volym. Då rummets yta har ändrats påverkas t ex kylningen av brandgaser något, men då det viktiga är brandgasspridningen anses volymen vara viktigare.

CFAST har använts för att jämföra med den mest osäkra simuleringen i Argos. Det gäller trapphuset som inte kan skapas i Argos. Trapphuset har gjorts genom att placera de fyrkantiga rummen ovanpå varandra med hål emellan för att representera trappan. Därmed har den effekt som själva trappstegen har försumrats.

Temperaturen överskattas i CFAST (Figur 4.2). Detta är något som också måste tas i beaktande vid jämförelse av resultaten.



Figur 4.2: Jämförelse av simuleringsprogram och verklighet (Husted 2006)

## 4.2 Utrymningssimuleringar

Förflyttningstider har simulerats med Simulex och jämförts med handberäkningar.

### 4.2.1 Simulex

Simulex är ett program som simulerar utrymning. Det används i huvudsak för att uppskatta förflyttningstider men kan även ta hänsyn till reaktions- och beslutstid. Individernas gånghastighet beror av persontäthet. Trängsel ger låg hastighet vilket är realistiskt vid köbildningar vid utgång och smalare passager. Med hjälp av ritningar beräknas avståndskartor så att avståndet för varje individ till alla utgångar bestäms.

Brister med programmet är att det inte tar någon hänsyn till att människor följer efter varandra och att de ofta väljer att gå ut samma väg de kom in trots att det inte är närmsta vägen. Det går dock att programmera individerna till att välja önskade utgångar.

## 5 Scenarier

De scenarier som behandlas här är en uppskattning av skolans riskområden. Ett större antal möjliga scenarier övervägs. Med hjälp av statistik och bedömning av konsekvenser kommer ett mindre antal bränder kommer att väljas ut för att sedan simuleras och utvärderas. Konsekvenser och sannolikhet som angivits är relativt de övriga scenarierna. Det som anges som en hög risk är alltså bara en risk som kan anses större än en som här benämns som mellan. Statistik för bränder på skolor finns i bilaga 1.

### 5.1 Grov riskanalys

Riskbedömningen utgår från de 15 scenarier som arbetats fram genom diskussion och överväganden efter studiebesök på objektet. Scenarierna ställs upp i en riskmatris där sannolikhet och konsekvenser listas vad gäller utrymningssäkerhet. Konsekvenserna är en bedömning baserad på folktäthet i utrymnet, tillgång till utrymningsvägar och brandens omfattning. Sannolikheten baseras på statistik (se bilaga 1), överväganden och diskussioner vad gäller statistikens tillämpbarhet i fallen. Storheten på sannolikhet är en jämförelse mellan de olika fallen. För en sammanfattning av riskanalysen se Tabell 5.1.

#### Brand i bibliotek

En brand uppstår i biblioteket. Det finns gott om brännbart material med höga bokhyllor. Då biblioteket finns i samma brandcell som trapphallen, musikal och fritidsrum kommer utrymningen därifrån försvåras när brandgaserna börjar spridas. Konsekvenserna för en brand i biblioteket kan bli betydande då det kan befinna sig ett större antal människor i lokalen som inte är bekant med omgivningarna. Att en utrymningsväg från övervåningen blockeras måste också vägas in. Scenariot kan anses vara det värsta fallet av brandgasspridning i brandcellen. Om branden skulle uppstå i musiksalen eller fritidsrummet skulle konsekvenserna troligtvis bli mindre eller liknande beträffande utrymning. Anlagda bränder på skolor är mycket vanliga men då personal hela tiden finns i lokalerna uppskattas sannolikheten som medelstor.

#### Brand i matsal/samlingslokal

En brand uppstår i matsalen. Ett tänkbart värsta scenario är en brand i dekor på scen. Effekttutvecklingen vid brand i textilier och liknande är snabb, vid spridning till övriga

delar av rummet kan konsekvenserna bli stora. Lokalen är en samlingslokal och mer än 150 personer kan befinna sig i rummet utan att vara bekanta med omgivningarna. Vid större rökutveckling kommer även trapphallen att fyllas med brandgaser, utrymningen försvåras för övriga i byggnadsdelen och en utrymningsväg från övervåningen blockeras. Konsekvenserna för bränder i andra delar av våningsplanet uppskattas till mindre eller i initialskedet liknande de för matsalsbranden. Det är vanligt att bränder i skolor uppstår pga. tekniska fel. Samlingslokaler är också ett vanligt startutrymme vilket leder till att sannolikheten har bedömts som stor.

### **Skåp i trapphall**

Ett skåp står placerat i trapphallen vid gymnastiksalen. Vid brand i skåpet finns risk att trapphallen fylls med brandgaser och utrymningsvägar blockeras. Branden sprider sig inte från skåpet då det inte finns något mer brännbart i närheten. Trapphallen måste passeras vid utrymning från omklädningsrum och vissa personalutrymmen. Sannolikheten anses vara medelstor då anlagda bränder är vanliga och dessutom är trapphallar ett av de vanligaste startutrymmena på skolor.

### **Brand i omklädningsrum**

En brand uppstår i ett av omklädningsrummen utanför gymnastiksalen. Det finns ingen detektor i utrymmet, omklädningsrummet fylls med rök. Brandgaser sprids vidare till trapphuset. Då det finns ytterligare en utrymningsväg från gymnastiksalen så är utrymningen därifrån säkerställd. Branden antas vara anlagd då det inte finns så mycket elektronik och dyl. i rummet. Risken är liten att det finns någon annan än den som anlagt branden i rummet. Att trapphallen blockeras kan motsvaras av scenariot med skåpet i trapphallen. Bränder i lös inredning är vanligt, vilket kläder och bänkar närmast kan liknas vid. Dessutom är badrum/toalett/bastu det näst vanligaste startutrymmet. Detta kan vara missvisande, då en övervägande del av dessa bränder antagligen sker på toaletter och inte i omklädningsrum. Sannolikheten att scenariot inträffar bedöms som medelstor.

### **Brand i hemkuskapssal**

Det är vanligt att det inträffar olyckor vid matlagning. Området runt spis och spisfläkt påverkas av branden och resten av rummet påverkas av brandgaser. Då det inte finns mycket brännbart material skulle brandspridning ske i långsam takt. Kök är ett någorlunda vanligt startutrymme och spisar är ganska vanliga startföremål. Risken ökar något då det är elever som lagar mat, men det finns personal närvarande. Sammanlagt bedöms risken som medelstor. En eventuell brandgasspridning till trapphuset täcks in av matsalsscenarioet.

### **Brand i el-central på plan 2**

Ett tekniskt fel i elskåpet på plan 2 gör att elinstallationerna antänds. Branden sprids inom skåpet som fylls med brandgaser. Gaserna sprider sig även ut i korridoren vilket försvårar utrymningen från klassrummen. Konsekvenserna kan motsvaras av andra scenarier i korridoren. Sannolikheten för tekniska fel är medelstor, bränder i elinstallationer är ganska vanliga så sammanlagt bedöms risken för brand i el-central som medelstor.

### **Terrassbrand**

Trätullen på terrassen på taket till plan 1 antänds utanför trapphuset ovanför matsalen och branden sprider sig. Om branden sprider sig kommer glaset in till trapphuset så

småningom att spricka och brandgaser kan läcka in i trapphuset. Utrymning genom trapphuset försvåras, till en början pga. flammorna utanför sedan pga. rök i trapphuset. Sannolikheten för bränder utomhus och på byggnaden utsida är ganska stor, men då det handlar om ett tak kan statistiken vara missvisande. Sammanlagt bedöms sannolikheten att scenariot inträffar som liten till medelstor. Att ett trapphus blockeras av röken kan motsvaras av matsalsbranden eller biblioteket eller skåpsbranden.

### **Brand i klassrum**

En brand uppstår i ett klassrum. Klassrummen har en mindre mängd brännbart material och spridningen inom klassrummet bör ha en låg hastighet. Spridning av brandgaser till korridor och andra klassrum kan motsvaras av scenariot med soffå i korridor. Sannolikheten för anlagda bränder är som sagt stor, men då klassrummen hålls låsta är risken att någon har oöverblickad tillgång till ett av dem liten. Sannolikheten för scenariot bedöms som liten.

### **Brand på toalett**

En anlagd brand i en papperskorg på en av toaletterna tar fyr. Branden sprids inte och bara toaletten och dess närhet påverkas av röken. Brandgaserna kan möjligtvis spridas till trapphus, men det rör sig om mindre mängder då brännbart material är begränsat. Sannolikheten för en anlagd brand på en toalett är stor men konsekvenserna bedöms som små.

### **Brand i förråd på plan 2**

Ett tekniskt fel i ett av förråden på plan 2 gör att material antänds. Brandgaser sprids till korridoren. Scenariot kan motsvaras av brand i soffå i korridor ur utrymningssynpunkt. Då rökdetektorer är placerade i samtliga förråd kommer denna brand att detekteras i ett tidigt skede och inte förhindra utrymning. Sannolikheten för tekniska fel är stor men då det finns begränsat med apparatur i rummet och sannolikheten för brand är liten enligt statistik bedömer vi risken som liten.

### **Brand i NO-sal**

NO-salen är en utsatt lokal då elever använder naturgas, brännare och kemikalier. Klassrummet är dock utrustat med metandetektor, handbrandsläckare, filter och dusch för att minska riskerna. Brännare och kemikalier används under lärares överinseende, kemikalier förvaras inlåsta mellan laborationstillfällena. Konsekvenserna vid en explosion blir katastrofala men sannolikheten anses mycket liten då en gasdetektor redan är installerad.

### **Brand i slöjdsal**

Brand kan uppstå i slöjdsal då man använder kemikalier som t.ex. linolja. Även svets kan användas i lokalen. Det finns brännbart material i lokalen men större delen av förrådet finns i ett anknytande rum som består av egen brandcell. Då lektionstillfällena är övervakade av lärare och det finns utrymningsväg direkt till det fria, och till korridor, bedöms risken som liten.

### **Brand i elevskåp plan 2**

Elevskåpen är gjorda av metall och det finns knappast något brännbart material i närheten. Skadan som kan uppstå drabbar enbart material i skåpen. En brand i ett elevskåp skulle ge mycket små konsekvenser för personsäkerheten i byggnaden

Brandgasspridning i korridoren kan motsvaras av scenariot med brand i soffgruppen i korridoren. Sannolikheten bedöms som medelstor, konsekvensen liten.

### Brand i soffgrupp i korridoren

En brand i en av soffgrupperna i korridoren på plan 2 ger kraftig rökutveckling. Detta gör att utrymningen genom korridoren försvåras. Sannolikheten för anlagda bränder är hög. Korridor/trapphus är ett vanligt startutrymme. Utrymmet är dock öppet och insynen är stor vilket troligtvis minskar risken något. Bedömningen blir att scenariot har medelstor sannolikhet att inträffa och konsekvensen för utrymningssäkerheten är medelstor. Scenariot ger också en bra bild för brandgasspridning från andra lokaler i korridoren.

### Administrativa avdelningen

En brand startar i kontorsdelen av skolan där ett fåtal människor befinner sig. De som arbetar där kan anses vara välbekanta med omgivningarna. Dörren till trapphallen var uppställd med en kil vid studiebesöket vilket gör att brandcellsgränsen inte är säker. Sannolikheten för scenariot är medelstor då det finns risk för elektriska fel. Konsekvenserna för utrymningssäkerheten i scenariot kan anses små då branden bör upptäckas tidigt. Om dörren är uppkilad kan scenariot motsvaras av matsalsbranden.

Tabell 5.1: Risktabell

Scenario	Sannolikhet	Konsekvens	Vidare utvärdering
<b>Bibliotek</b>	<b>Medel</b>	<b>Medel</b>	<b>X</b>
<b>Matsalsbrand</b>	<b>Stor</b>	<b>Stor</b>	<b>X</b>
Omklädningsrum	Medel	Liten	
Hemkunskap	Medel	Liten	
EI-fel plan 2	Medel	Medel	
Skåpsbrand	Medel	Liten	
Terrass	Liten, medel	Liten medel	
Klassrum	Liten	Liten	
Toa	Stor	Liten	
Förråd	Liten	Liten	
No-sal	Liten	Medel	
Slöjd	Liten	Liten	
<b>Skåp i trapphall</b>	<b>Medel</b>	<b>Medel</b>	<b>X</b>
<b>Soffgrupp i korridor</b>	<b>Medel</b>	<b>Medel</b>	<b>X</b>
Administrativa avd	Medel	Liten	

## 5.2 Val av scenarier

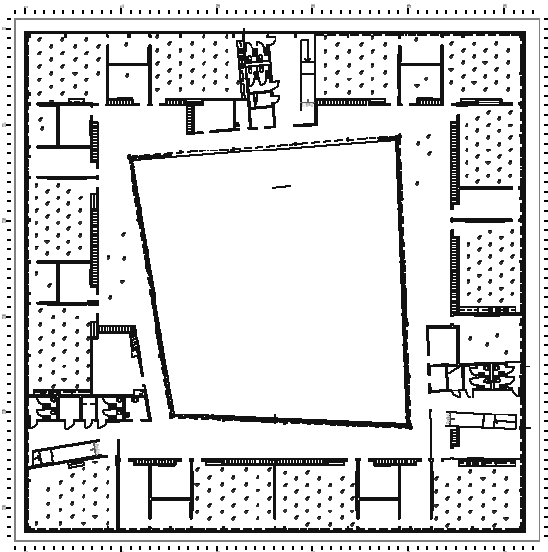
De scenarier som kombinerar stor sannolikhet och stora konsekvenser samt kan ses som representativa för andra fall har studerats närmare. Scenarier där konsekvenserna är små har bortsetts ifrån då dessa inte leder till utrymningsproblem. De fyra scenarier som valts är bibliotek, matsal, skåp i trapphall och soffgrupp plan 2. Dessa har först simulerats (både branden och utrymningen) för att utvärdera utrymningssäkerheten. Sedan har även en känslighetsanalys genomförts för att kontrollera hur säkerheten påverkas då olika faktorer ändras. De som främst varierats är brändernas effektutveckling, ventilationsförhållanden, rökpotential och utrymningssägar.

## 6 Utrymningssimuleringsantaganden

I samband med Hjärupslundsskolan antas besluts- och reaktionstiden vara en minut. Antagandet grundas i att personal på nattklubb med larmklocka har en minut och 30 sekunders reaktionstid (Frantzich 2001). Skolor har regelbundet utrymningsövningar och lärarna har genom dessa övningar en god uppfattning om att det är brandlarmet som låter och därför ser till att elever snabbt påbörjar utrymningen. Dessutom vet eleverna vilken väg som ska väljas för att komma ut vilket också bidrar till förkortning av besluts- och reaktionstiden.

I matsalsscenarioet ser de inblandade branden vilket ger en reaktionstid på en min (Frantzich 2001)

Antalet individer på övervåningen uppgår till 360 personer (Figur 6.1). Antagandet grundas på att elevantalet i varje klass inklusive lärare inte överstiger 30 personer. Huvuddelen av individerna befinner sig i klassrummen men ett tiotal i korridoren och några i personalrummen och grupprummen.

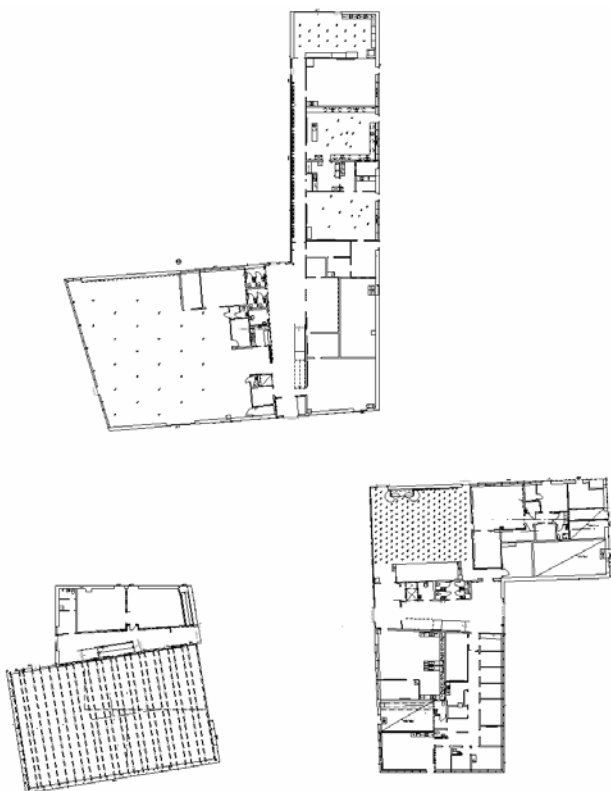


Figur 6.1: Personfördelning på plan 2

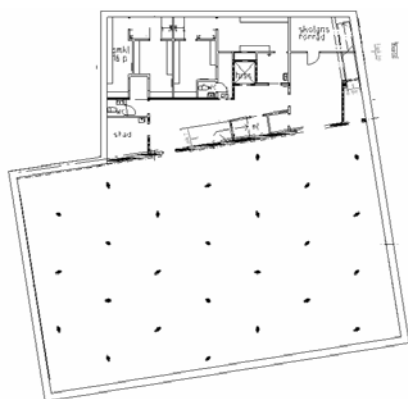
I del 1 och del 3 är personer fördelade så att 25 personer befinner sig i gymnastiksalen, 20 i bildsalen, 11 i träslöjdsal, 11 i NO-salen och 25 i biblioteket (Figur 6.2 och Figur 6.3). En klass har gymnastik medan övriga elever utövar praktiska ämnen i mindre grupper.

I matsalsscenarioet befinner sig 200 personer extra i matsalan (Figur 6.2). Dessa ser på föreställning på scenen.





**Figur 6.2: Personfördelning plan 1**



**Figur 6.3: Personfördelning plan 0**

Simulexindividerna tillhör gruppen school population i programmet. Denna består av 90% barn som går med hastigheten 0,9 m/s och har radien 0,20 meter. De övriga 10% är fördelade mellan 3% män som har en gånghastighet på 1,35 m/s och 7% kvinnor som har gånghastigheten 1,15 m/s.

Gånghastigheten bör möjligtvis minska något pga möblering. Detta kan vägas upp av att barnens hastighet är lågt satt från början. Dessutom är gånghastigheten inte avgörande för förflyttningstiden då denna styrs till största delen av köbildning vid utgångarna.

Samtliga simuleringar förutsätter att alla använder de trapphus som finns och att ingen utrymmer till trätrallen på övre plan. Förflyttningstiden som Simulex beräknar ska

sedan adderas med 60 sekunders reaktionstid och den varseblivningstid som fördröjningen till brandlarmet orsakar.

## 7 Scenario bibliotek

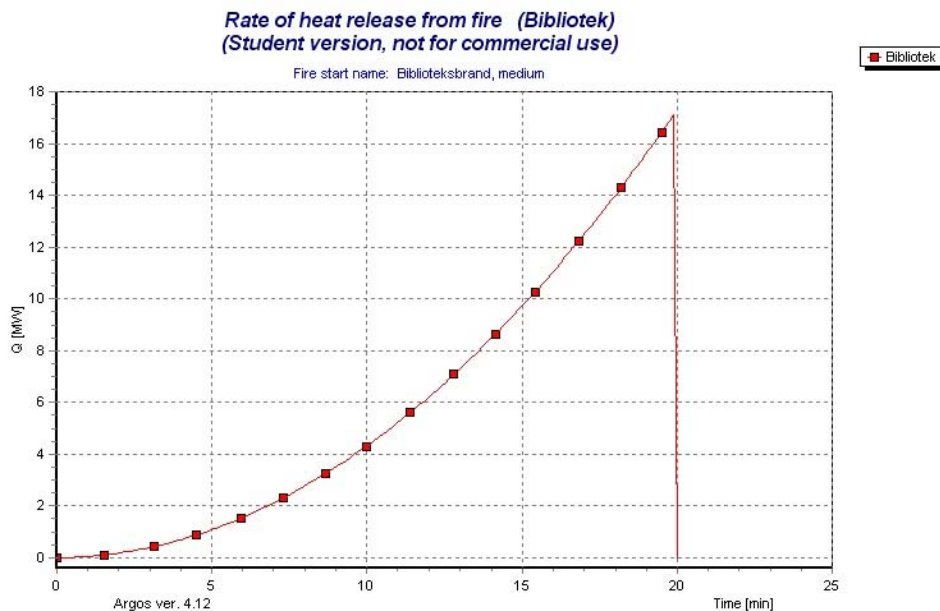
En brand i biblioteket (Figur 7.1) medför stor risk för spridning och omfattningen kan bli stor. För att få en uppfattning om brandförlopp i en bokhylla används kurvorna Y0/22 och Y0/23 (se bilaga 2) från försök i Initial fires (Särdqvist 1993). Kurvorna är i första hand vägledande i initialskedet.



Figur 7.1: Biblioteket

### 7.1 Effektkurva

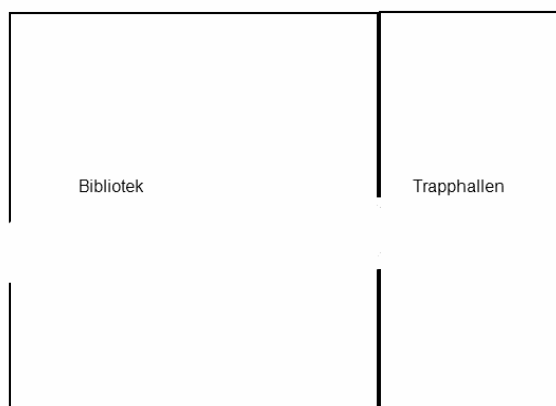
En uppskattning av  $\alpha$ -värdet i kurvorna ger mycket låga resultat, lägre än en slowkurva. Då man i NFSC (Arcelor 2006) anser att skolor ska dimensioneras med ett mediumvärde på  $\alpha$  och i Enclosure Fire Dynamics (Karlsson, Quintere 2000) ett fastförlopp så dras slutsatsen att en mediumkurva kan anses representativ i detta scenario och kommer att användas (Figur 7.2).



Figur 7.2: Effektkurva biblioteksbrand

## 7.2 Brandsimulering

I simuleringen ingår två rum: bibliotek och trapphall (Figur 7.3). I biblioteket finns egentligen ett fåtal mindre utrymmen som t.ex. ett sagorum dessa uppskattas som en del av biblioteket under simuleringen så att volymen bibehålls. Då den enda dörr som finns mellan biblioteket och trapphuset är en gallergrind har en öppning använts i simuleringarna. Det finns en dörr till omgivningen som kan varieras mellan öppen och stängd under simuleringens gång. Simuleringen visar att trapphuset är helt rökfritt under brandscenariot fram till dess att kritiska förhållanden inträffar i biblioteket. Sannolikt beror detta på Argos programmering som inte sprider brandgaser i välomblandat fall. Då brandgaser troligtvis kommer att spridas till trapphuset har detta stängts av för utrymning från plan 2.



Figur 7.3: Schematisk bild över bibliotekssimuleringen

För att kunna räkna på en varseblivningstid har en rökpotential på 100 dB/m angetts (Husted 2003), motsvarande den för trä. Efter tre minuter reagerar rökdetectorn. Efter sex minuter når brandgaslagret en höjd på två meter inne i biblioteket (för tid till kritiska förhållanden se Tabell 7.1). Se bilaga 4 för simuleringsgrafer.

Tabell 7.1: Kritiska förhållanden i biblioteket

Kritiskt förhållande	Tid till gränsvärde
Medeltemperatur	7 minuter och 30 sekunder
Brandgastemperatur	6 minuter och 30 sekunder
<b>Brandgaslagrets höjd (1,95 m)</b>	<b>6 minuter</b>
Strålning från brandgaslager	12 minuter och 30 sekunder
Optisk densitet (10 m sikt)	- (når max 0,5 dB/m = 20 m sikt)

## 7.3 Utrymningssimulering

Av personerna på plan 2 har ingen utrymt genom bibliotekstrapphuset i detta scenario. De har dessutom antagits ha en förlängd reaktionstid med ytterligare 20 sekunder då de inser att de inte kan använda den vägen. Personerna i biblioteket antas upptäcka branden efter en minut eftersom lokalen är lätt överblickbar. Resterande delar av byggnaden har en varseblivningstid på tre minuter. Sedan följer en minuts reaktionstid. Den totala förflyttningstiden är fem minuter och 30 sekunder för hela skolan och själva biblioteket är tomt efter 30 s. Den totala utrymningstiden i detta scenario är tio minuter (3 minuter varseblivningstid, en minut reaktionstid och sex minuters förflyttningstid). Den totala utrymningstiden för biblioteket är två minuter och 30 sekunder (1 minut varseblivningstid, en minut reaktionstid och 30 sekunders

förflyttningstid). Biblioteksutrymningen går 10 sekunder snabbare i Simulex än vid handberäkningar (se bilaga 3) där utrymningstiden var 40 sekunder. Detta påverkar dock den totala utrymningstiden marginellt.

#### **7.4 Utvärdering**

Den totala utrymningstiden i detta scenario är tio minuter. Efter sex minuter uppstår kritiska förhållanden i biblioteket. Även om kritiska förhållanden uppstår i biblioteket innan samtliga har lämnat skolan kommer detta inte förhindra utrymningen, eftersom de berörda på plan 1 redan är ute. De rum som blir direkt berörda av brandgaserna under utrymningstiden är endast biblioteket, musikrummet, uppehållsrummet samt trapphuset. De som befinner sig på det plan 2 kommer på grund av brandgaserna i trapphuset troligtvis välja ett annat trapphus att utrymma genom. De andra trapphusen leder ner i huskroppar som är opåverkade av branden vilket innebär att de som kommer ner fyra minuter efter att kritiska förhållanden uppstår i biblioteket inte kommer att beröras av branden. Utrymning kan ske under säkra förhållanden.

#### **7.5 Känslighetsanalys**

Om syretillförseln till branden ökar genom att dörren som leder direkt ut står öppen under hela branden påverkar inte detta branden märkbart. Troligtvis beror detta på att volymen inne i biblioteket är stor. Kritiska förhållanden uppstår efter sex minuter på grund av brandgaslagrets höjd i detta fall också. Rökdetektorn reagerar efter tre minuter också här.

Då dörren från biblioteket till trapphuset byts mot en EI60 dörr som är stängd under branden kommer brandlarmet fortfarande att gå efter tre minuter och kritiska förhållanden uppstå efter sex minuter beroende på brandgaslagrets höjd. Inte helt oväntat påverkas branden ungefär lika mycket som om dörren direkt ut stängs istället för att den öppnas.

Ifall antalet människor som utrymmer ökas till 60 personer kommer utrymningstiden bli tre minuter där en minut går till beslut och reaktion och därefter två minuter krävs för förflyttningen. I detta fall finns ingen marginal till kritiska förhållanden men då varseblivningstiden troligtvis är kortare än tre minuter kommer förflyttningen påbörjas tidigare. Se bilaga 3 för handberäkningar och bilaga 4 för känslighetsanalysgrafer.

## 8 Scenario matsal

Då matsalen (Figur 8.1) är som folktätast när den används för föreställningar simuleras en brand på scenen i detta scenario. Under en föreställning kan det finnas större mängd textilier, rekvisita och elektronik på scen, förutom draperierna på väggen.

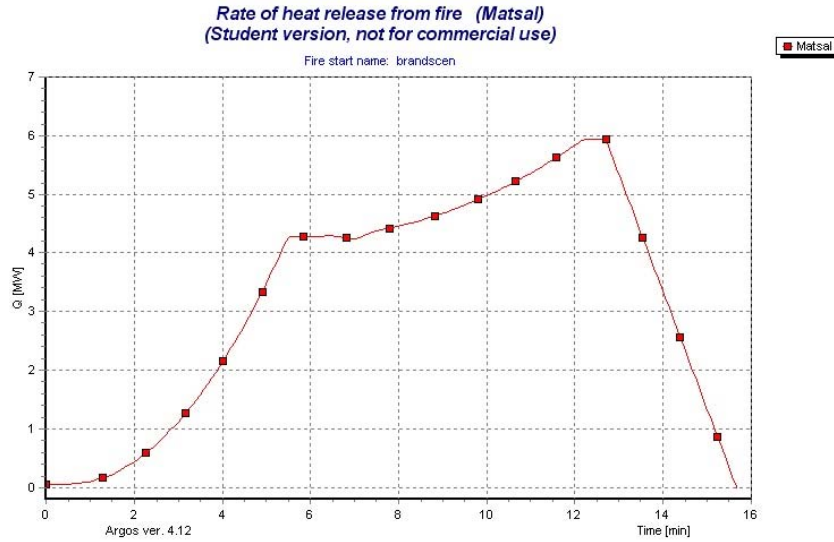


Figur 8.1:Matsalen

### 8.1 Effektkurva

I Initial Fires (Särdqvist 1993) har experiment utförts med gardiner. Då dessa experiment behandlar vertikalt hängande gardiner och en brännare på 100kW användes som antändningskälla kan förloppet inte riktigt jämföras med matsalsscenario. Det är inte heller troligt att branden uppstår i de vertikalt hängande draperierna, så ett något långsammare förlopp är att förvänta. Då textilier består i huvudsak av cellulosa har scenariot liknats vid postsäckar (mail bags). Dessa har liknande ytor och densitet som textilier liggande på golvet i högar även om syretillgången troligtvis är bättre i mail bags vilket borde leda till att kurvan inte underskattas.

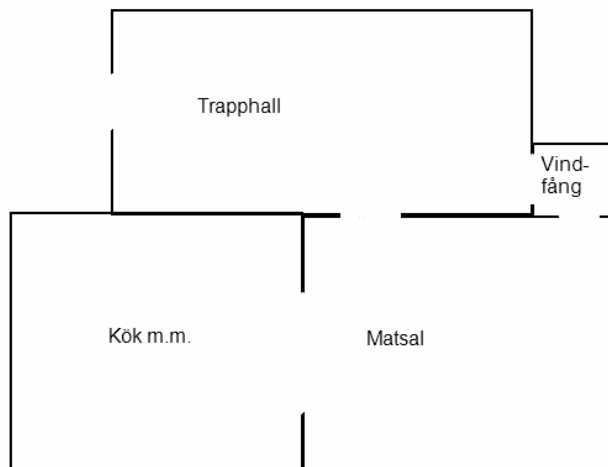
Kurvan tillväxer som en fast  $\alpha t^2$ -kurva. Detta innebär att effektutvecklingen är en funktion av tiden i kvadrat och en tillväxtkonstant  $\alpha$ . Efter fem minuter, då allt material på scenen har brunnit upp, övergår tillväxten i en mediumkurva då branden sprids vidare i rummet, medan allt brännbart på scen fortfarande brinner (Figur 8.2).



Figur 8.2: Effektkurva matsalsbrand

## 8.2 Brandsimulering

Simuleringen består av fyra rum: matsal, kök, trapphall och vindfång (Figur 8.3). Köket som står i förbindelse med ett antal mindre utrymmen uppskattas som ett större utrymme då dörrarna normalt sett är öppna, volymen bibehålls. Trapphuset uppskattas som ett enda högt rum då det inte är möjligt att simulera flera våningsplan i Argos. I matsalen har de dörrar som används för utrymning lagts in som öppna under utrymningstiden.



Figur 8.3: Schematisk bild över matsalssimuleringen

Efter en minut reagerar rökdetektorn. Efter tre minuter är brandgaslagrets höjd två meter i köket och matsalen. Efter tre minuter och 30 sekunder är brandgaslagrets höjd två meter även i vindfånget (för tid till kritiska förhållanden se Tabell 8.1). Se bilaga 5 för simuleringsgrafer.

Tabell 8.1: Kritiska förhållanden vid matsalsbranden

Kritiskt förhållande	Tid till gränsvärde
Medeltemperatur	3 minuter och 30 sekunder
<b>Brandgastemperatur</b>	<b>3 minuter</b>
<b>Brandgaslagrets höjd (2 m)</b>	<b>3 minuter</b>
Strålning från brandgaslager	13 minuter
Optisk densitet (10 m sikt)	- (når max 0,12 dB/m = 80 m sikt)

### 8.3 Utrymningssimulering

Eftersom scenariot antas inträffa under en föreställning befinner sig 200 personer extra i matsalen. Ingen av dem som befinner sig på övervåningen utrymmer genom matsalstrapphuset.

Enligt simulering är förflyttningstiden i matsalen en minut och 40 sekunder om de befintliga nödutgångarna används. Om även den fjärde dörren från matsalen används är tiden en minut och 20 sekunder. Handberäkningar där hälften av människorna väljer huvudingång och hälften väljer den nuvarande utrymningsvägen direkt till det fria visar två minuters förflyttningstid (se bilaga 3). Ingen varseblivningstid antas då personerna i matsalen ser branden. Deras reaktionstid på en minut bibehålls dock. Total utrymningstid i matsalen är tre minuter (en minut reaktionstid och två minuters förflyttningstid). Om den extra dörren används blir utrymningstiden två minuter och 30 sekunder.

Total utrymningstid för hela skolan i detta scenario är sju minuter och 30 sekunder, en minut varseblivningstid, en minut reaktionstid och fem minuter och 30 sekunders förflyttningstid.

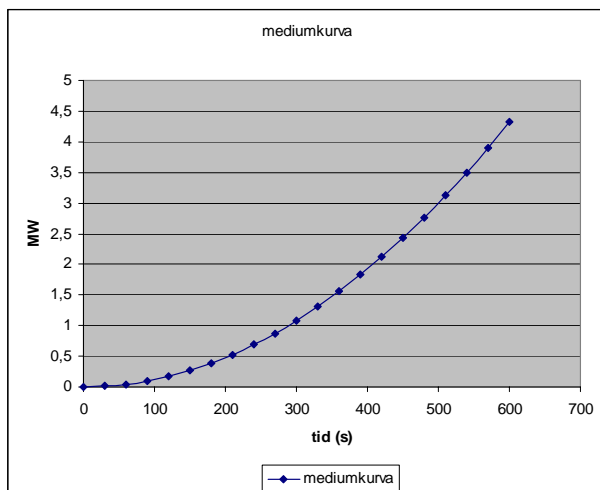
### 8.4 Utvärdering

Total utrymningstid för skolan är i detta scenario sju minuter och 30 sekunder. De som befinner sig på andra platser än matsalen utrymmer troligtvis genom de nödutgångar som inte drabbas av branden vilket innebär att deras utrymning är säker.

Personerna i matsalen antas ha en minuts reaktionstid, vilket ger dem en utrymningstid på tre minuter med de befintliga utrymningsvägarna. Tiden till kritiska förhållanden i matsalen är tre minuter. Det finns ingen marginal mellan utrymningstider och tid till kritiska förhållanden.

### 8.5 Känslighetsanalys

För att ge en tydligare bild av de faktorer som spelar in i förloppet simuleras scenariot ett flertal gånger med varierande parametrar. Den effektutveckling som används i den ordinarie simuleringen är initialt en fastkurva, vilket speglar ett värsta scenario. I en mer alldaglig situation är brandbelastningen lägre och en mediumtillväxt (Figur 8.4) är trolig.



Figur 8.4: Effektkurva med mediumtillväxt

Simulering i Argos ger ungefär fyra minuter och 30 sekunder till kritiska förhållanden motsvarande tid med en fastkurva ger ca tre minuter. Vilket säger att effektutvecklingen spelar stor roll i simuleringarna och i utrymningssäkerheten. Däremot ger det ingen förändring i förloppet om dörrar öppnas eller stängs.

Simuleras utrymningen i Simulex med en extra utrymningsväg vinner man ungefär en minut, antalet utrymningsvägar spelar alltså också en större roll. Förändring av rökpotential förkortar tiden till kritiska förhållanden i trapphallen där man kan anta att brandgaserna är välomblandade i hela rummet. I matsalen ger det dock ingen skillnad i tid till kritiska förhållanden då temperaturskillnaden hos gaserna gör att de befinner sig närmre taket och inte spelar in på sikten i rummet. Se bilaga 5 för känslighetsanalysgrafer.

## 9 Scenario skåp i trapphall

Då det står ett skåp i en utrymningsväg (Figur 9.1) är det intressant att se vilka effekter detta kan få för utrymningen. Skåpet står i markplan utanför gymnastiksalen så att det står i en utrymningsväg från både plan 2, markplanet och källarplanet.



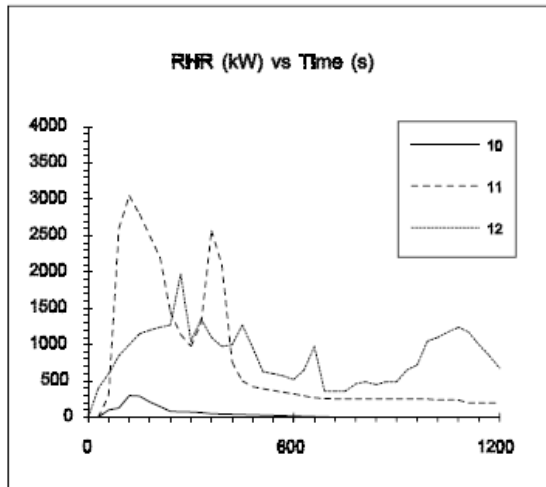
Figur 9.1: Skåpet i trapphallen vid gymnastiksalen



## 9.1 Effektkurva

Det finns gott om tester utförda på garderober och skåp. Skåpet står i trapphallen på markplanet där det är högt i tak och omgivningen kommer inte att spela någon större roll i initialskedet. Skåpet står dock placerat vid en vägg vilket kan påskynda förloppet. I försök Y3.1/12 (Figur 9.2) har en particle board-garderob testats och denna anses bäst likna scenariot.

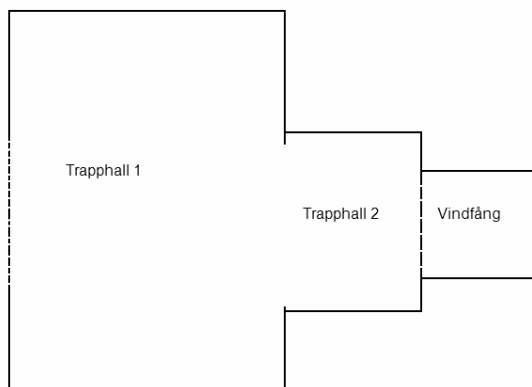
Y3.1/10-12



Figur 9.2: Brand i garderob (Särdqvist 1993)

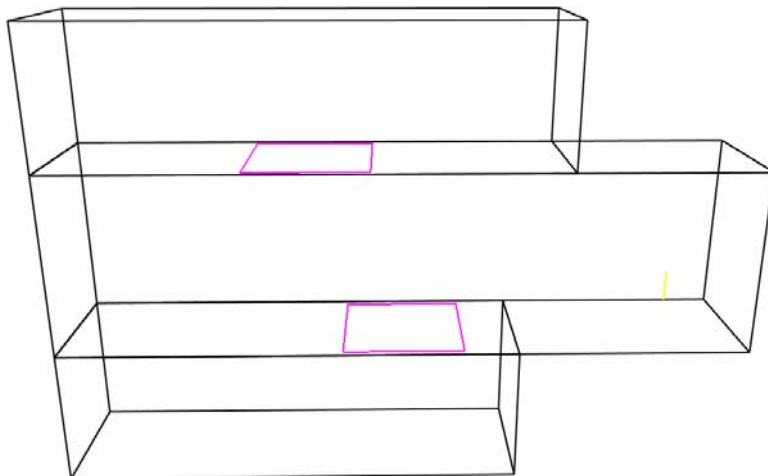
## 9.2 Brandsimulering

I simuleringen ingår två rum- trapphall och vindfång. Trapphallen delas upp i två mindre rum (Figur 9.3) för att undvika alltför långsmala rum där Argos beräkningar stämmer sämre. Då branden troligtvis kommer att förhindra eller minska utrymning genom trapphallen simuleras scenariot med stängda dörrar. Skåpet befinner sig på markplanet, inte källarplanet vilket också försvårar för simulering i Argos. Källarplanet har inte tagits med i simuleringen. För att ge en mer fullständig bild av scenariot har kompletteras det med en CFAST-simulering där flera våningsplan kan simuleras vilket är en fördel. Trapphallen byggs upp av tre våningsplan som knyts samman av hål i golven (Figur 9.4).



Figur 9.3: Schematisk bild över simulering i trapphall

I simuleringen i Argos tog det 30 sekunder innan rökdetektorn i trapphallen reagerar. Efter fyra minuter uppstår kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd, som då mäter 2,5 m.



**Figur 9.4: Uppbyggnad av trapphall i CFAST**

Simuleringen i CFAST gav ett annorlunda resultat. Efter mindre än en minut uppstår kritiska förhållanden i trapphuset på plan 1 och 2, då brandgaslagret sjunker under två meters höjd. Efter två minuter är trapphuset på plan 1 och 2 helt fyllda av brandgaser. I trapphallen på källarplanet når brandgaslagret en höjd på 1,5 meter (för tid till kritiska förhållanden se Tabell 9.1). Se bilaga 6 för simuleringgrafer.

**Tabell 9.1: Kritiska förhållanden vid skåp I utrymningsväg**

Kritiskt förhållande	Tid till gränsvärde Argos	Tid till gränsvärde CFAST
Medeltemperatur	4 minuter och 30 sekunder	
Brandgastemperatur	4 minuter	1 minut
<b>Brandgaslagrets höjd (1,95 m)</b>	<b>4 minuter</b>	<b>30 sekunder</b>
Strålning från brandgaslager	- (när max. 2,1 kW/m <sup>2</sup> )	
Optisk densitet (5 m sikt)	4 minuter och 30 sekunder	

### 9.3 Utrymningssimulering

Gymnastiksalstrapphuset är i detta scenario avstängt för utrymning. Personerna på plan 2 antas välja en annan trappa och de som befinner sig i gymnastiksalen utrymmer endast genom utrymningsvägen som går direkt från gymnastiksalen ut. De får en ytterligare reaktionstid på 20 sekunder när de inser att trapphuset är rökfyllt. Den totala förflyttningstiden är fem minuter och 30 sekunder. Utöver denna har personerna också en varseblivningstid på 30 sekunder innan brandlarmet aktiveras samt en reaktionstid på en minut. Den totala utrymningstiden är då sju minuter. Om det befinner sig människor i omklädningsrummen är dessas utrymningstid omöjlig att uppskatta då detta till stor del beror av hur mycket kläder de har på sig.

## 9.4 Utvärdering

Totala utrymningstiden är sju minuter. På grund av brandgasspridning inom trapphuset är det otroligt att någon kommer att välja denna väg ut från gymnastiksalen eller resten av skolan. Där finns tillräckliga utrymningsvägar ändå, så att utrymningen inte äventyras av branden i trapphuset.

Problemen uppstår vid en utrymning från omklädningsrummen där den enda vägen ut är genom trapphallen. Enligt CFAST uppstår kritiska förhållanden på källarplanet efter knappt två minuter. Enligt Argos aktiveras brandlarmet efter 30 sekunder, vilket ger eventuella personer i omklädningsrummet en och en halv minut att reagera och ta sig ut. Då de befinner sig i ett omklädningsrum kan reaktionstiden vara betydligt längre än den uppskattade minuten. Detta är inte acceptabelt, utan behöver åtgärdas.

## 9.5 Känslighetsanalys

Då branden simulerats i Argos och CFAST erhålls ganska olika resultat. Enligt Argos dröjer det till över tre minuter innan ett brandgaslager bildas. Då är det högt i tak och källarplanet finns inte med alls. Simuleringen i CFAST ger kritiska värden långt tidigare än Argos och dessa har använts för att utvärdera resultatet för att få ett worst case. Nackdelen med CFAST är att det enbart använder tvåzonsmodeller. Detta stämmer dåligt överens med verkligheten i början av brandförloppet, som är aktuellt här, och då brandgaserna inte är varma nog att skikta sig, utan en enzonsmodell bör användas som i Argos. Detta kan vara aktuellt i trapphuset, då det är högt i tak och kyllda brandgaser kan sjunka och i värsta fall fylla hela trapphuset. Men även om CFAST överskattar brandgasspridningen är marginalen alldeles för liten för de som befinner sig i omklädningsrummen.

Brandkurvan som använts är en empirisk kurva vilket ger rimliga värden. Eventuellt felvärderar simuleringen branden då skåpet som kurvan bygger på innehöll kläder. För att undersöka brandkurvans påverka på brandförloppet simulerades även bränder med en medium-kurva och en kurva baserad på en annan garderob. Resultaten från dessa simuleringar visar att effekten påverkar brandgaslagrets höjd. Skillnaderna blir dock inte så stora att utrymningen påverkas markant.

Även skåpets material kan varieras för att se hur detta påverkar rökproduktionen. Då det är okänt vad skåpet är gjort av eller vad det innehåller bör olika rökpotentialer undersökas. För att göra detta simulerades en medium-kurva för två garderober gjorda av olika material. Detta påverkar inte brandgaslagrets höjd eller spridning i simuleringarna. Detta säger dock inget om sikten i brandgaslagret, som antagligen ändras. Se bilaga 6 för känslighetsanalysgrafer.

## 10 Scenario soffgrupp i korridor

I korridoren finns ett par mindre soffgrupper (Figur 10.1) med ram i obrännbart material och en tunn stopning av polyuretanskum. Scenariot är intressant då det visar konsekvenserna av en rökfyllnad av korridoren på plan 2 som är den enda utrymningsvägen från klassrummen.

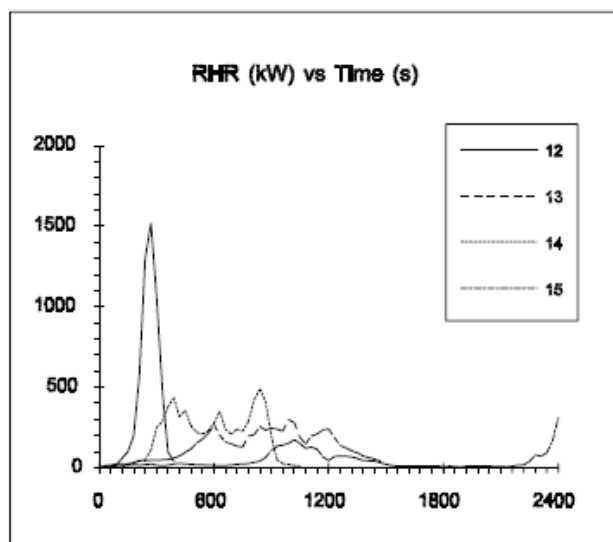


Figur 10.1: En av soffgrupperna på plan 2

### 10.1 Effektkurva

Då korridoren är öppen och rymlig kan soffan i stort sett anses brinna i det fria. Liknande försök har gjorts i Initial fires (Särdqvist 1993). Då den aktuella soffan har liknande utformning som den i kurva Y5.4/13 (Figur 10.2), fast är något mindre, ger den kurvan en bra bild av förloppet och används i scenariot. Det finns inget brännbart i närheten dit branden kan sprida sig.

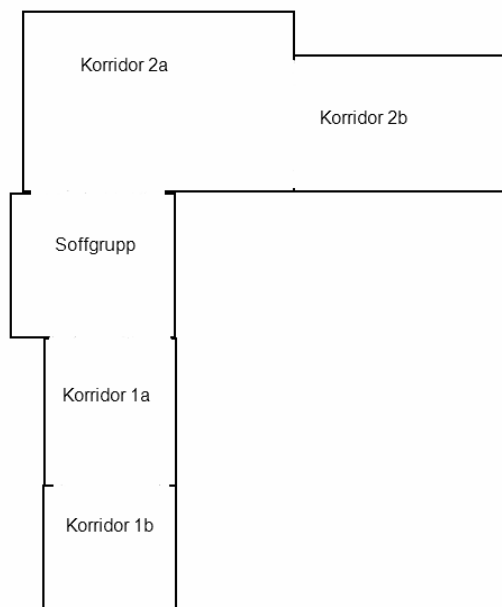
## Y5.4/12-15



Figur 10.2: Effektutveckling för bränder i soffor (Särdqvist 1993). Kurva 13 har använts vid simulering.

## 10.2 Brandsimulering

Simuleringen består av en längre korridor som för beräkningar i Argos delats upp i fem mindre rum (Figur 10.3) för att täcka upp så mycket som möjligt utan att överskrida Argos begränsningar på rumsdimensioner. Då inte hela korridorens volym kan inräknas i de fem rummen simuleras scenariot både med öppna ändrar på korridorerna och med stängda.



Figur 10.3: Schematisk bild över soffgruppsbranden

Kurvan Y5.4/13 har ursprungligen rökpotentialen 53,3 dB/m. I simuleringen i Argos sattes den optiska densiteten till 100 dB/m istället för 53,3 dB/m. Detta gjordes för att inte osäkerheten kring densiteten skulle ge en underskattning av rökpotentialen.

Rökdetektorn reagerar efter två minuter. Kritiska förhållanden uppstår i korridoren runt soffan efter sex minuter på grund av den höga optiska densiteten. Efter ytterligare fyra minuter är sikten under fem meter i hela den simulerade korridoren (för tid till kritiska förhållanden se Tabell 10.1). Se bilaga 7 för simuleringsgrafer.

Tabell 10.1: Kritiska förhållanden vid soffgruppsbranden

Kritiskt förhållande	Tid till gränsvärde öppna ändrar	Tid till gränsvärde stängda ändrar
Medeltemperatur	- (når 37°C)	- (når 37°C)
Brandgastemperatur	- (når 60°C)	- (når 60°C)
Brandgaslagrets höjd (2 m)	- (når max.3,0 m innan 15 min)	- (når max.3,0 m innan 15 min)
Strålning från brandgaslager	-(når max. 0,3 kW/m <sup>2</sup> vid 10 min)	-(når max. 0,3 kW/m <sup>2</sup> vid 10 min)
<b>Optisk densitet (5 m sikt)</b>	<b>6 minuter</b>	<b>6 minuter</b>

## 10.3 Utrymningssimulering

Ett trapphus som ligger bredvid soffgruppen används inte för utrymning i detta scenario. Total förflyttningstid från Simulex för hela skolan är här fem minuter och 30 sekunder. Förflyttningstiden till ett säkert trapphus är fyra minuter enligt handberäkningarna (se bilaga 3). Om ingen upptäcker branden innan brandlarmet går

är varseblivningstiden två minuter. Det kan exempelvis vara under en lektion då få personer kan befinna sig i korridoren. Detta ger längst utrymningstid och ger en konservativ jämförelse med tiden till kritiska förhållanden. Sedan läggs en reaktionstid på en minut till, så att den totala utrymningstiden är åtta minuter och 30 sekunder.

#### **10.4 Utvärdering**

Total utrymningstid är åtta minuter och 30 sekunder. Kritiska förhållanden uppstår efter sex minuter precis vid soffan. Vid det laget kommer de som är kvar på plan 2 att befinna sig vid trapphusen vilket innebär att den nedsatta sikten inte kommer att påverka personerna under utrymningen. De tre minuterna räcker för att ingen ska befinna sig vid soffgruppen när sikten blir för dålig.

#### **10.5 Känslighetsanalys**

Även i scenariot med en brand i korridoren på plan 2 kan flera parametrar ändras. Effekttutvecklingen är hämtad från en verklig brand. Detta är bra då den inte bygger på uppskattningar utan verkliga värden. Kurvan visar dessutom en något större soffasom brinner, så den simulerade effekttutvecklingen är konservativ. För att se hur effekten påverkar tiden har även scenariot simulerats med en mediumkurva. Detta leder till att ett brandgaslager bildas snabbare men att sikten är bättre i den undre delen av rummet. Dock sprids brandgaserna mycket snabbare till de andra korridorsdelarna. Kritiska förhållanden uppstår efter cirka fyra minuter, på grund av att brandgaslagret når under två meter. Ett problem är att brandgaslagret når under två meter i de yttersta ändarna, vilket kan skapa problem i resten av korridoren. Effekten påverkar tiden till kritiska förhållanden men då effektkurvan som använts är rimlig ger den simuleringen en realistisk tid till kritiska förhållanden. Om inredningen i korridoren skulle ändras så att brandbelastningen ökar skulle det medföra att en mediumkurva är trolig. Utrymningen från övervåningen skulle då inte kunna säkerställas.

Det som är farligast i korridorsbranden är brandgaserna. Detta beror dels på hur de sprids i korridoren och dels på soffans rökpotential. Om rökpotentialen för soffan dubblas i Argos-simuleringen sjunker tiden till dess att sikten är fem meter till strax under fyra minuter istället för sex. Rökpotentialen påverkar tiden starkt. Då det är okänt vilken rökpotential soffan verkligen har är resultatet för simuleringen osäkert. Dock är de simulerade värdena mycket högre än de som fåtts vid Särdaqvists försök (100 och 200 dB/m att jämföra med 53,3 dB/m) vilket ger god marginal för variationer.

Brandgasernas spridning i korridoren är svår att uppskatta. Argos ger en bild av hur de sprids, men då inte hela korridoren kan simuleras som ett rum, där hänsyn tas till den avlånga formen och de långa transportsträckorna, är resultatet mycket ungefärligt. Hela korridoren har inte simulerats då programmen inte kan hantera brandgaser så långt från branden. I en korridor hinner brandgaserna kylas mer, så att det mer liknar en enzonmodell än en tvåzonmodell, vilket skapar problem i simuleringarna. Ett problem är att Argos inte sprider brandgaserna mellan rum förrän ett brandgaslager bildas vilket gör att så länge gaserna är väl omblandade sprids de inte till andra korridorsdelar. Detta gör det svårt att uppskatta hur brandgaserna sprids i hela korridoren, men då detta är aktuellt först efter att utrymningen är färdig spelar det ingen roll för utrymningen.

Ventilationen kommer inte att ändras nämnvärt under brandförloppet och inte på något förutsägbart sätt. Eventuellt kommer dörrar att öppnas under utrymningen. Då inte den betydligt större ventilationen i korridorens ändrar påverkar branden alls bedöms ventilationen spela liten roll. Det kan eventuellt påverka sikten då brandgaserna sprids i en större volym. Se bilaga 7 för känslighetsanalysgrafer.

## 11 Slutsatser

Fyra brandscenarier i skolan har utvärderats. Dessa representerar också andra scenarier som kan inträffa i byggnaden. Denna utvärdering består av att tiderna till kritiska förhållanden och för utrymning har tagits fram och jämförts. Sedan har även olika faktorer varierats för att utvärdera resultatet.

I biblioteksbranden uppstår inga problem för utrymningen. Alla som berörs direkt av branden hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår. Personerna i andra delar av byggnaden kan utrymma säkert via andra utrymningsvägar. Då scenariot varierades påverkas inte utrymningssäkerheten eftersom marginalen är stor.

Brandscenariot i matsalen är extremt då det bygger på att matsalen är fullsatt och att den aktuella branden utvecklas snabbt, vilket ger små marginaler. Kritiska förhållanden, i detta fall att brandgaserna når för lågt ner och har för hög temperatur, uppstår kort efter att alla i själva matsalen har utrymt. För att utvärdera scenariot har brandens effekt, ventilationen och antalet utrymningsvägar varierats. Då brandens effekt minskas blir tiden till kritiska förhållanden betydligt längre. Om det finns ytterligare en utrymningsväg tar utrymningen kortare tid så att marginalerna blir större.

Då det brinner i trapphallen utanför gymnastiksalen kan detta få konsekvenser för personer i omklädningsrummen eftersom enda utrymningsvägen kan blockeras. Simulering i CFAST ger för kort tid att utrymma innan sikten blir kritisk. Skåpets effektutveckling har varierats utan att få tillräcklig tid för utrymning.

Vid branden i korridoren på plan 2 uppstår kritiska förhållanden runt branden då det fortfarande finns personer kvar på den våningen. Dessa befinner sig dock så pass långt från branden att de kan utrymma säkert. Brandsimuleringen är dock osäker då det rör sig om en korridor som inte går att skapa i simuleringarna. När effektutvecklingen ökades uppstod kritiska förhållanden så snabbt att utrymning inte kan säkerställas. Om brandbelastningen i korridoren inte ökar kommer utrymning att kunna ske säkert.

Utrymningstiderna i scenarierna förutsätter att personalen på skolan är medveten om hur den ska agera i samband med brand. Om så är fallet kommer besluts- och reaktionstiden kunna antas vara runt en minut. Då skolan är nystartad finns chansen att från början sätta en hög standard för personalens brand- och säkerhetsutbildning. Detta kan vara avgörande vid en brand.

Slutsatsen blir att skolan i stort är säker vid utrymning. En stor risk är att brännbara saker placeras i utrymningsvägar vilket gör att brandbelastningen ökar och tid till kritiska förhållanden minskar.

## 12 Åtgärder

Utrymningsvägar *skall* hållas fria från brännbart materiel. Övervakningens utrymning är helt beroende av korridoren där det kan bli allvarliga följder om brandbelastningen ökar. Skåpet som är placerat i trapphuset vid gymnastiksalen *skall* flyttas då detta kan förhindra utrymning för personer som befinner sig i omklädningsrummen.

Den dörr som idag inte är en utrymningsväg från matsalen *skall* vara det. Utrymningen av matsalen sker med liten marginal tills dess att kritiska förhållanden uppstår. En enkel åtgärd för att få en större marginal är att ordna en extra utrymningsväg. Då det redan finns en dörr ut till det fria, som idag inte är utrymningsväg, kan denna göras om och användas. De simuleringar som gjorts för utrymningen visar att förflyttningstiden blir kortare då även den dörren används vilket ger en större marginal för de utrymmande.

Personalen på skolan *skall* utbildas kontinuerligt då personalens agerande är en av de avgörande faktorerna för hur väl en utrymning lyckas. Detta gör att det är viktigt att personalen är medvetna både om sin egen roll och om hur en utrymning bör genomföras. Om utbildningsnivån är hög kommer besluts- och reaktionstiderna att bli korta vilket gör utrymningstiden kortare.

Brandcellsgränser *skall* upprätthållas för att säkra utrymningen av skolan. Till exempel *skall* kilen under dörren från kontorsdelen tas bort.

Dörrar i utrymningsvägar *skall* kontrolleras då flera av dem kärvar och är svåra att öppna.

Utrymningsskyltar till terrasserna på plan 2 *bör* tas bort då de i värsta fall kan leda till att personer blir fast på taket. Befinner sig branden under dem kan detta innebära onödiga risker eller onödigt arbete för räddningstjänsten.



## 13 Referenser

### Böcker och rapporter:

Brandteknik: Rapport 3134. *Brandskyddshandboken*. Lunds tekniska högskola, Lund 2005

Frantzich, H. *Tid för utrymning vid brand*. Statens räddningsverk, Karlstad 2001

Frantzich, H. *Utrymningsdimensionering*. Boverket, Huskvarna 2006

Husted, B. *Optical smoke units and smoke potentials for different products*, Danish Institute of Fire and Security Technology, 2003

Karlsson, B & Quintiere, JG. *Enclosure Fire Dynamics*. Florida 2000

Jones et. al. *CFAST-Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical reference guide*. NIST, Washington 2005

Nordisk kommitté för byggbestämmelser (NKB), Brandutskottet, *Utskotts- och arbetsrapporter 1994:07*. Helsingfors 1994

Särdqvist, S. *Initial Fires*. Lunds Tekniska Högskola, Lund 1993

### Föreläsningar:

Gojkovic, D 2006-09-20

Husted, B 2006-09-26

### Webbsidor:

Staffanstorps kommun, 2006-11-20

<http://www.staffanstorp.se/download/18.11201a110bdd134ced80001245/Broschyr+Forum+Hj%C3%A4rup.pdf>

Arcelor, 2006-11-21

[http://www.arcelor.com/sections/en/arcelor\\_sections/fire\\_safety/fire\\_safety\\_concept.html](http://www.arcelor.com/sections/en/arcelor_sections/fire_safety/fire_safety_concept.html)



Badrum/toalett										38
Bastu										1
Verkstad										7
Balkong/altan										1
Eldriftrum										3
Annat	59	57	43	62	71	43	44	59	59	81

### Startföremål:

Startföremål	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ej angivet	55	17	13	10				1	2	5
Byggnadens utsida	20	36	24	34	28	39	37	40	35	50
Rökkanal	1	3		1	2	1		1	1	2
Lös inredning	39	50	67	76	89	68	59	60	68	
Eldstad		1	4	2	1	2	3	4	2	4
Uppvärmningsanordning	6	6	6	10	11	5	5	6	2	7
Bastuaggregat	3	2	5	4	4	3	3	4		
Torktumlare		1		2	2		1		1	2
Torkskåp		3		1		1		1	2	1
Diskmaskin	5	1			3	3	1		1	2
Kaffebyggare				1		1	1		2	
Spis	14	18	20	16	17	9	13	15	15	24
Kyl/frys	1	1	1	2		4	4	3		
Tvättmaskin		1		1	5		1		1	1
TV									1	
Stereo/video					1					
Glödlampa	3	3	2	3	2	2	1		2	5
Lysrör	7	7	7	12	5	7	10	12	7	
Transformator	2	1		1	1	1	4	1	2	3
Andra elinstallationer	23	15	13	15	11	23	22	18	23	17
Fläkt/ ventilationsanläggning	8	3	10	7	7	10	3	4	9	7
Skräp i container	7	12	14	17	11	8	6	19	9	12
Maskin	1	4	2	1	2	4	4	3	3	
Personbil	1	1	1	1	1	1	2	2	1	
Övriga vägfordon										1
Explosivt/sprängämne	4	3	2	2	4		3	2	6	3
Brandfarlig vätska	5	4	4	16	5	7	5	11	7	10
Brandfarlig gas	1	3	3	2	1		2		2	6
Okänd	20	23	18	24	27	23	23	25	19	34
Soffa/fätölj										4
Annan lös inredning										33
Kläder										4
Papper/kartong										77
Gardiner										2
Dator										2
Stereo/video/DVD										1
Lysrörsarmatur										11
Elcentral										5
Annat	112	139	98	106	116	112	101	130	135	138

**Brandorsak:**

Preliminär brandorsak	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Orsak ej angiven	123	85	57	65	63	53	49	65	59	5
Återantändning		2	2	2	2	2	2	4	1	3
Anlagd med uppsåt	95	130	120	163	159	159	139	162	164	209
Barns lek med eld	13	30	16	19	26	19	17	14	13	29
Glömd spis	12	10	13	12	14	9	17	13	13	15
Rökning	2	3	3	3	1	1	3	2	2	
Levande ljus	3	4	9	6	7	7	6	8	6	11
Tekniskt fel	29	22	29	31	22	32	32	32	32	41
Blixtnedslag						1	1			
Fyrverkerier	4	8	9	6	8	1	3	8	10	11
Hantverkare	6	8	6	3	4	3	3	2	6	
Explosion				2		3	1		1	2
Soteld	1	2				1			1	1
Värmeöverföring	10	11	15	22	18	12	17	23	7	18
Gnistor	2	2	4	2	5	5	2	4	2	4
Självantändning	3	6	5	7	8	4	4	4	14	3
Heta arbeten										5
Friktion										2
Okänd										57
Annan	18	24	19	20	8	14	11	14	11	29
Totalt	321	347	307	363	345	326	307	355	342	445

## 2 Effektkurvor

För att få en uppfattning om effektkurvor för scenarierna har liknande försök i Initial Fires (Särdqvist 1993) undersökts. Effektkurvorna nedan är kopierade direkt från rapporten "initial fires" med tillstånd av Stefan Särdqvist:

### **Biblioteket:**

#### Offices

Computer work station with a computer desk and a bookcase at right angles to each other.

Computer desk: The desk had a set of 4 shelves above  
Plastic laminate covered 16 mm hardboard  
Size: 0.60 / 0.24 x 1.24 x 1.52 m<sup>3</sup>  
Mass: 58.1 kg  
Paper load: 44.9 kg distributed on the 4 shelves

Book case: 5 shelf construction  
Plastic laminate covered 16 mm hardboard  
Size: 0.3 x 0.91 x 1.83 m<sup>2</sup>  
Mass: 46.3 kg  
Paper load: 72.6 kg distributed on the 5 shelves.

**22:**  
Freeburning  
Test 101

**23:**  
In room  
Test 102

#### **Test procedure:**

Methods:  
Sample 22: Freeburning in calorimeter  
Sample 23: Room calorimeter  
Ignition sources: In the corner between the desk and the book case.  
Sample 22: 50 kW gas burner.  
Sample 23: Steel trash can with 1.7 kg paper,

#### **Also available:**

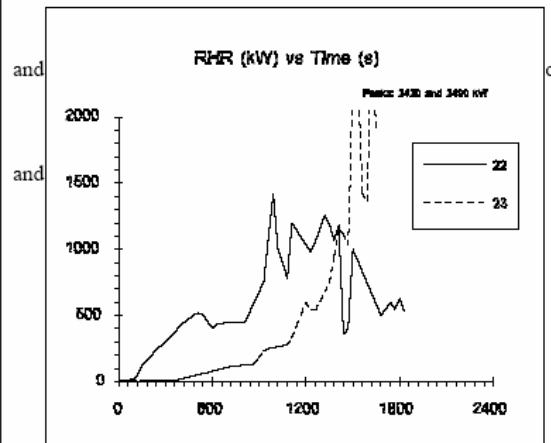
Total heat release, gas temp, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and CO concentrations.

#### **Note:**

Similar tests were performed using different types of water sprinkler.

#### **Reference:**

Walton, W. D. & Budnick, E. K.  
Quick response Sprinkler in Office Configurations: Fire Test Results NISTIR 88-3695  
U.S.A 1988



Y0/22-23

Försöket anses likna scenariots initialskede, då  $\alpha$  i kurvan är mycket lågt är det konservativt att starta med en mediumkurva motsvarande  $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$ .

**Matsal:****Curtains****10: Trevira CS**

FR polyester, loosely woven fabric  
 Surface weight: 150 g/m<sup>2</sup>  
 Test 22L

**11: FR Cotton**

FR cotton, closely woven single cloth  
 Surface weight: 220 g/m<sup>2</sup>  
 Test 11R

**12: Mod-Acrylic**

Mod-acrylic, loosely woven fabric  
 Surface weight: 190 g/m<sup>2</sup>  
 Test 17R

**13: Cotton**

Cotton, closely woven single cloth  
 Surface weight: 190 g/m<sup>2</sup>  
 Test 20L

**14: Acrylic**

Acrylic, pile fabric  
 Surface weight: 360 g/m<sup>2</sup>  
 Test 8R

**Test procedure:**

Method: Room calorimeter. The curtain is 3 (pleated to one third) by 3 m<sup>2</sup> and is hanging freely against a wall with an airgap of about 0.1 m.  
 Ignition source: 100 kW gas burner under the curtain.

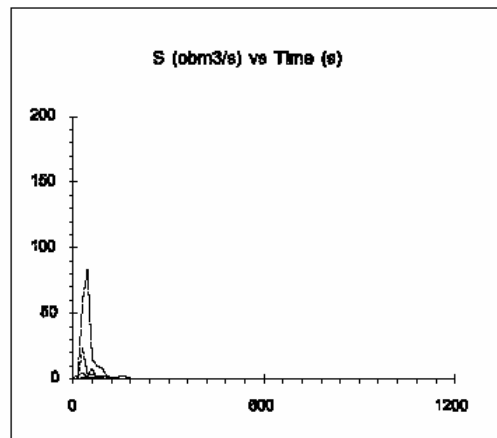
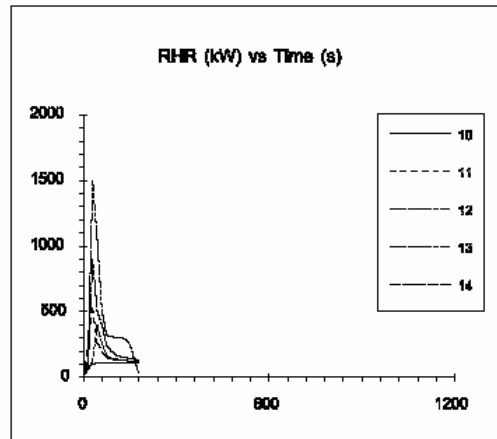
Sample:	10	11	12	13	14
W. loss (%)	29	49	80	100	100

Sample 10: 20-30 % melted and dripped away, is not included

**Reference:**

Wetterlund, I. & Göransson, U.  
 A Full Scale Fire Test Method for Free-hanging Curtain and Drapery Textiles  
 Fire Technology  
 SP Report 1988:45, ISSN 0284-5172  
 Borås, Sweden 1988

Y7/10-14



Då försöken gjorts på lodrätt hängande gardiner anses det inte spegla scenariot men ger ändå en uppfattning om hur textiler brinner.

**Skåp i trapphall:****Wardrobes****Simulated clothing:**

Four different fabrics placed into the wardrobes on 16 clothes hangers. 53% cotton, 47% polyester.  
Mass: 0.87 kg.

**10: Steel wardrobe**

Size: 0.47 x 1.22 x 1.6 m<sup>3</sup>  
Thickness: 0.69 mm  
Painted  
Test 21

**11: Plywood wardrobe**

Size: 0.61 x 1.22 x 1.78 m<sup>3</sup>  
Thickness: 12.7 mm  
Unfinished  
Test 43

**12: Particle board wardrobe with drawers and shelves**

Back covered with 3.2 mm hardboard  
Shelves covered with plastic laminate  
Size: 0.4 x (0.42 wardrobe + 0.81 drawers and shelves)  
x 1.6 m<sup>3</sup>  
Thickness: 19.1 mm  
Test 61

**Test procedure:**

Method: Freeburning in furniture calorimeter. The wardrobe door next to the ignition box was closed and the other door was opened 178 mm.  
Ignition source: Cardboard box filled with 10 sheets of crumpled newspaper placed in the corner of the wardrobe under the fabrics. Total mass 0.90 kg.

Sample:	10	11	12
H <sub>eff</sub> (MJ/kg):	18.8	14.9	17.5
CO (g/s), peak:	0.3	2.3	1.2

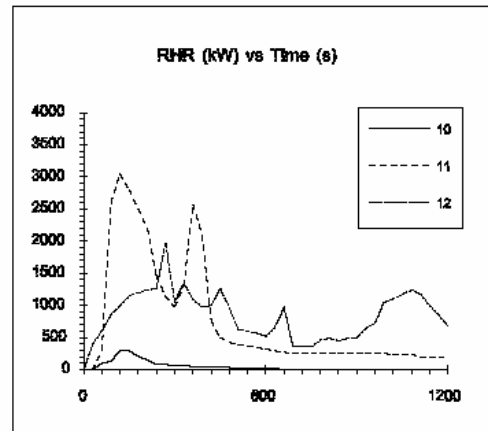
**Also available:**

Mass loss, target irradiance and smoke particulate conversion

**Reference:**

Lawson, J.R. et al  
Fire Performance of Furnishings As Measured in the NBS Furniture Calorimeter. Part I  
National Bureau of Standards  
NBSIR 83-2787  
U.S.A. 1983

Y3.1/10-12



Försöket anses likna scenariot, dock står skåpet mot en vägg vilket kan påskynda förloppet.

**Soffa i korridor:****Sofas****Mock-up sofa**

Frame: Steel with wire net

Size: 0.65 x 1.8 x 0.76 m

Frame mass is not included below.

Cushions, filling material covered with fabric:

Number: 3 seat-, 3 back-, and 2 arm rest cushions

Thickness: 0.10-0.14 m

**12:**Filling: Ordinary PU foam, 25 kg/m<sup>3</sup>Cover: 100% acrylic velour fabric, 400 g/m<sup>2</sup>

Mass: 8.80 kg

Test 1

**13:**Filling: Ordinary PU foam, 25 kg/m<sup>3</sup>Cover: 100% cotton fabric, 480 g/m<sup>2</sup>

Mass: 8.91 kg

Test 2

**14: FR**Filling: Highly resilient FR PU foam, 37 kg/m<sup>3</sup>Cover: 100% PVA/PVC fabric, 500 g/m<sup>2</sup>

Mass: 10.90 kg

Test 7

**15: FR**Filling: Highly resilient FR PU foam, 37 kg/m<sup>3</sup>Cover: 65% wool / 35% viscose fabric, 500 g/m<sup>2</sup>

Mass: 11.13 kg

Test 8

**Test procedure:**

See page Y5.4/10

Sample:	12	13	14	15
H <sub>eff</sub> (MJ/kg):	18.5	22.4	18.9	20.3

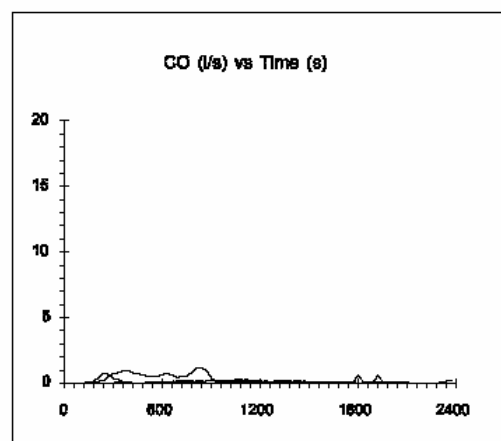
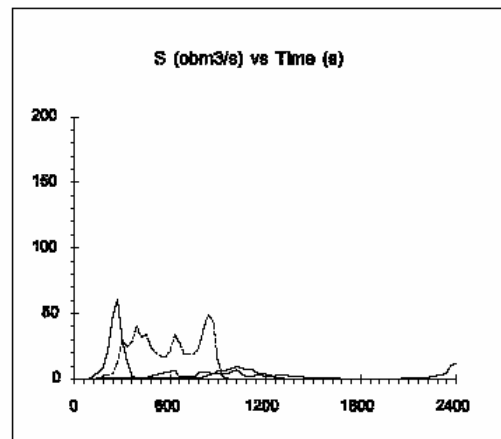
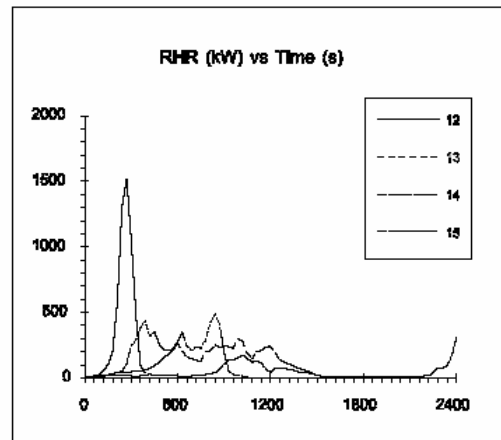
**Also available:**

See page Y5.4/10

**Reference:**

See page Y5.4/10

Y5.4/12-15



Försöket anses likna scenariot.



### 3 Handberäkningar utrymning

#### Teori

$$t_{\text{krit}} > t_{\text{varse}} + t_{\text{beslut\&reaktion}} + t_{\text{gång}}$$

$t_{\text{krit}}$  = tid till kritiska förhållanden uppstår i lokalen

$t_{\text{varse}}$  = tid innan personer blir medvetna om att det brinner

$t_{\text{beslut \& reaktion}}$  = tid innan personer börjar bege sig mot utrymningsvägarna

$t_{\text{förflyttning}}$  = tiden det tar för personer att ta sig till utrymningsvägen

$t_{\text{varse}}$  = tiden för rökdetektorerna att reagera i de fall där inte människor ser branden

$t_{\text{beslut\&reaktion}}$  = 60 sekunder (Frantzich, 2001)

$t_{\text{förflyttning}}$  delas upp i  $t_{\text{gång}}$  &  $t_{\text{dörr}}$ .

$$t_{\text{förflyttning}} = t_{\text{gång}} + t_{\text{dörr}}$$

$t_{\text{gång}}$  = tiden det tar för personer att ta sig till utrymningsvägen över öppna ytor

$t_{\text{dörr}}$  = tiden det tar för personer att förflytta sig genom en dörr

$$t_{\text{gång}} = \frac{l}{v}$$

$$t_{\text{dörr}} = \frac{n}{b * f}$$

$l$  = avståndet till utgången

$v$  = personens aktuella gånghastighet

$n$  = antalet personer som ska passera en dörr

$b$  = dörrens bredd

$f$  = det dimensionerande personflödet (beräknas som 0,75 för okända dörrar och 1.1 för kända dörrar (Frantzich, 2006)).

Alla avstånd är mätta ortogonalt på grund av möblering bortsett från gymnastiksalen.

#### Övervåningen om samtliga trapphus kan användas:

Längsta avstånd till trapphus är 40 meter från nordvästra hörnet av övervåningen.

Antaganden:

Det befinner sig 30 personer i varje klassrum (360 på hela övervåningen). Vissa av dessa kan befinna sig i gruppum men klassen inklusive lärare kommer troligtvis inte överstiga detta antal.

Persontätheten anses därför hög vilket medför att gånghastigheten sätts till 0,6 (Frantzich, 2006).

Utgångarna anses vara kända av dem som befinner sig i lokalerna.

Då det inte är lämpligt att anta att personerna på övervåningen fördelar sig exakt lika mellan de tillgängliga trapphusen antas att 20 % fler väljer det trapphus vi räknar på.

$$t_{gång} = \frac{l}{v} = \frac{40}{0,6} = 67s$$

$$t_{dörr1} = \frac{n}{b * f} = \frac{25}{0,9 * 1,1} = 25s$$

$$t_{dörr2} = \frac{n}{b * f} = \frac{144}{1,8 * 1,1} = 72s$$

$$t_{förflyttning} = t_{gång} + t_{dörr1} + t_{dörr2} = 164 \text{ sekunder} = 3 \text{ min}$$

Beräkningar räknar enbart tid till personerna har lämnat brandcellen, dvs. tagit sig till trapphusen.

### Övervakningen om ett trapphus är blockerat:

Längsta avstånd till trapphus är 60 meter (Sydvästra hörnet om det trapphuset är blockerat eller direkt väster om det norra trapphuset om detta är blockerat).

Samma antaganden

$$t_{gång} = \frac{l}{v} = \frac{60}{0,6} = 100s$$

$$t_{dörr1} = \frac{n}{b * f} = \frac{25}{0,9 * 1,1} = 25s$$

$$t_{dörr2} = \frac{n}{b * f} = \frac{216}{1,8 * 1,1} = 109s$$

$$t_{förflyttning} = t_{gång} + t_{dörr1} + t_{dörr2} = 234 \text{ sekunder} = 4 \text{ min}$$

### Utrymning från biblioteket:

Längsta gångavstånd är 32 meter (sagorummet).

Antaganden:

Antalet personer i biblioteket kan vara uppåt 60 personer som inte kan antas vara välbekanta med lokalen och utrymningsvägarna vilket medför ett lägre personflöde. Persontätheten anses hög vilket medför att gånghastigheten sätts till 0,6 (Frantzich, 2006).

Personerna antas bli jämnt fördelade mellan utrymningsvägen direkt mot det fria och ingången till biblioteket. Normalt väljer människor den väg ut som de tog in men i detta fall kan glasväggen där utrymningsvägen sitter antas visa omgivningen så tydligt att lika många väljer den vägen. Beräkningen visar utrymning genom ingången.

$$t_{gång} = \frac{l}{v} = \frac{30}{0,6} = 53s$$

$$t_{dörr1} = \frac{n}{b * f} = \frac{30}{1,2 * 0,75} = 33s$$

$$t_{dörr2\&3} = \frac{n}{b * f} = \frac{30}{1,8 * 0,75} = 22s$$

Då köbildningen vid utrymning kommer ske vid första dörren anses inte den dörr som leder ut från vindfånget (dörr 3) bilda ytterligare fördröjning.

$$t_{förflyttning} = t_{gång} + t_{dörr1} + t_{dörr2} = 109 \text{ sekunder} = 2 \text{ min}$$

Då beräkningarna utförs med 24 personer istället fås tiderna:

$$t_{gång} = \frac{l}{v} = \frac{12}{0,6} = 20s$$

$$t_{dörr1} = \frac{n}{b * f} = \frac{12}{1,2 * 0,75} = 13s$$

$$t_{dörr2\&3} = \frac{n}{b * f} = \frac{12}{1,8 * 0,75} = 9s$$

Vilket ger en total tid på 42 sekunder = 40 sekunder.

### Utrymning från matsalen:

Längsta gångavstånd är 12 meter (nordöstra hörnet).

Antaganden:

Antalet personer antas vara 200 personer då lokalen är 140m<sup>2</sup> och avsedd för uthyrning och kan användas vid föreläsningar.

Vid uthyrning kan inte lokalkännedomen anses god. Därför kan inte heller utrymningsvägarna anses kända och ett lägre värde på personflöde antas.

Persontätheten anses hög vilket medför att gånghastigheten sätts till 0,6 (Frantzich, 2006).

Personerna antas fördela sig jämnt mellan den mindre dörren i norra väggen och den större i södra. Normalt väljer människor den väg ut som de tog in men i detta fall antas att den norra glasväggen visar omgivningen så tydligt att lika många väljer den vägen ut. Beräkningen avser den norra utgången som leder direkt ut.

$$t_{gång} = \frac{l}{v} = \frac{12}{0,6} = 20s$$

$$t_{dörr} = \frac{n}{b * f} = \frac{100}{1,3 * 0,75} = 103s$$

$$t_{förflyttning} = t_{gång} + t_{dörr} = 123 \text{ sekunder} = 2 \text{ min}$$

### Utrymning från gymnastiksalen:

Längsta gångavstånd är 20 meter (sydvästra hörnet).

Samma antaganden bortsett från att persontätheten anses låg då 50 personer är i gymnastiksalen därför sätts hastigheten till 1,3 (Frantzich, 2006). Gångavståndet i gymnastiksalen kan heller inte anses behöva vara ortogonalt beroende på möblering.

$$t_{gång} = \frac{l}{v} = \frac{20}{1,3} = 15s$$

$$t_{dörr} = \frac{n}{b * f} = \frac{50}{0,9 * 1,1} = 51s$$

$$t_{förflyttning} = t_{gång} + t_{dörr} = 66 = 70 \text{ sekunder}$$

## 4 Resultat biblioteket

Grafer från Argos

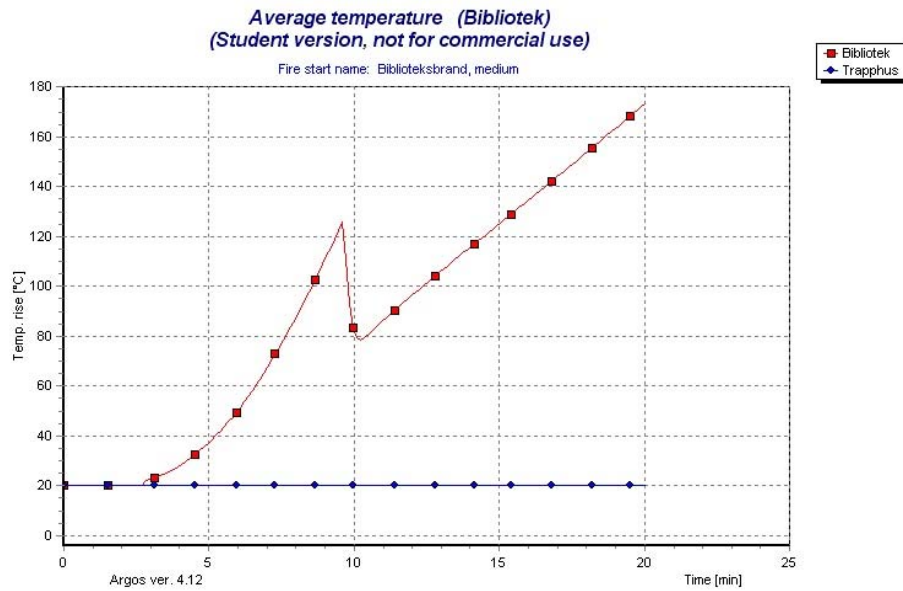


Fig 4:1 Medeltemperatur

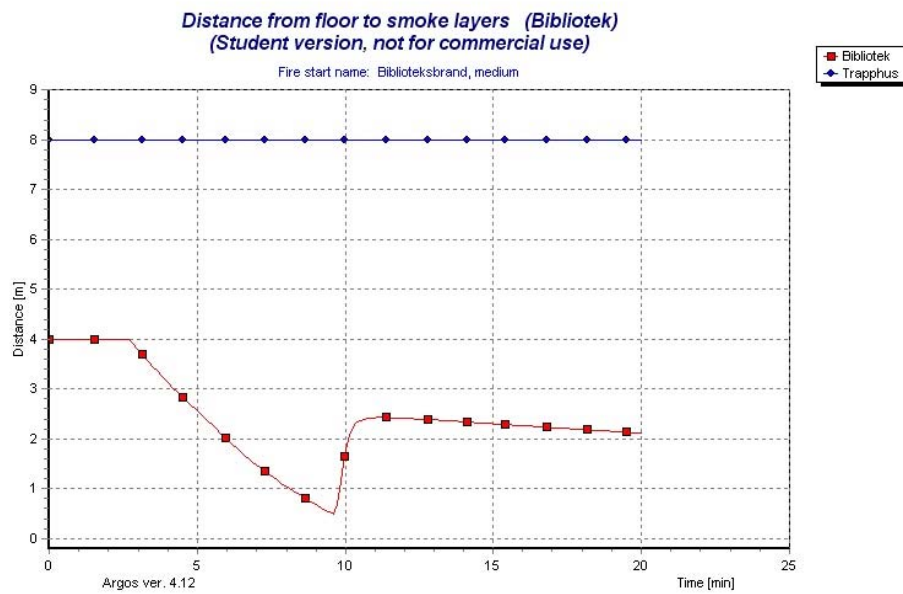


Fig 4.2 Avstånd mellan brandgaslager och golv

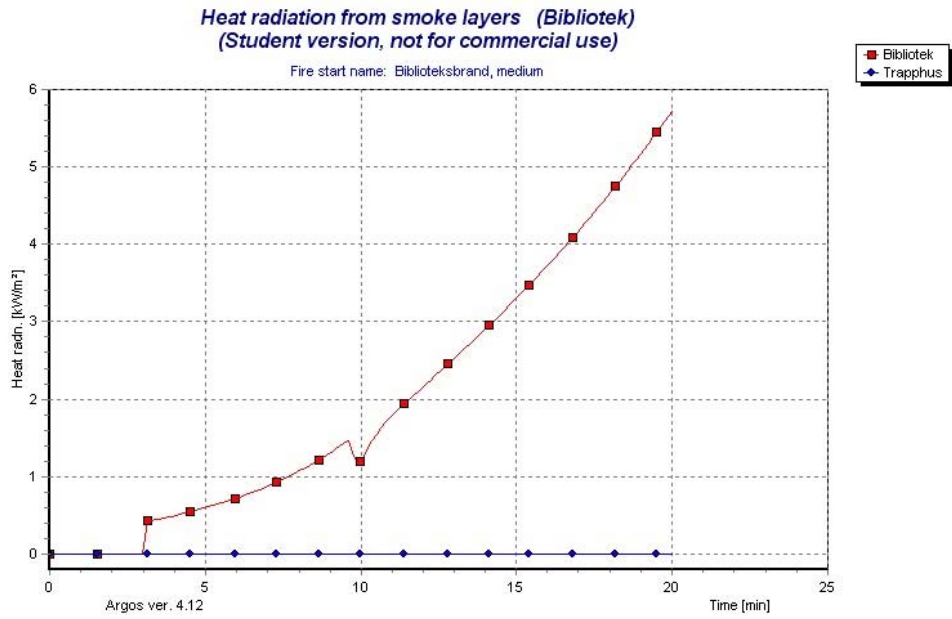


Fig 4.3 Strålning från brandgaslager

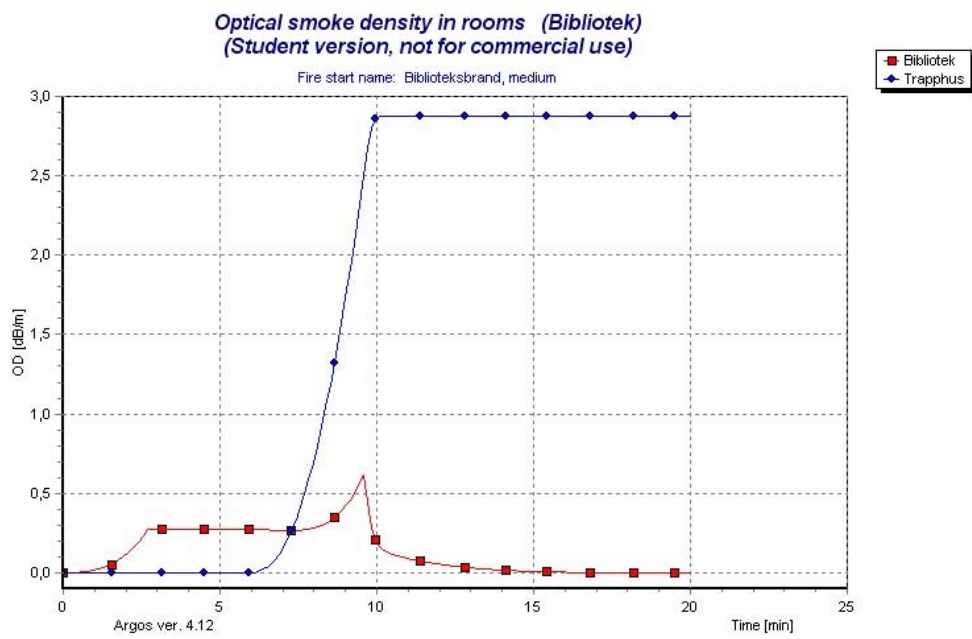


Fig 4.4 Optisk densitet i rum

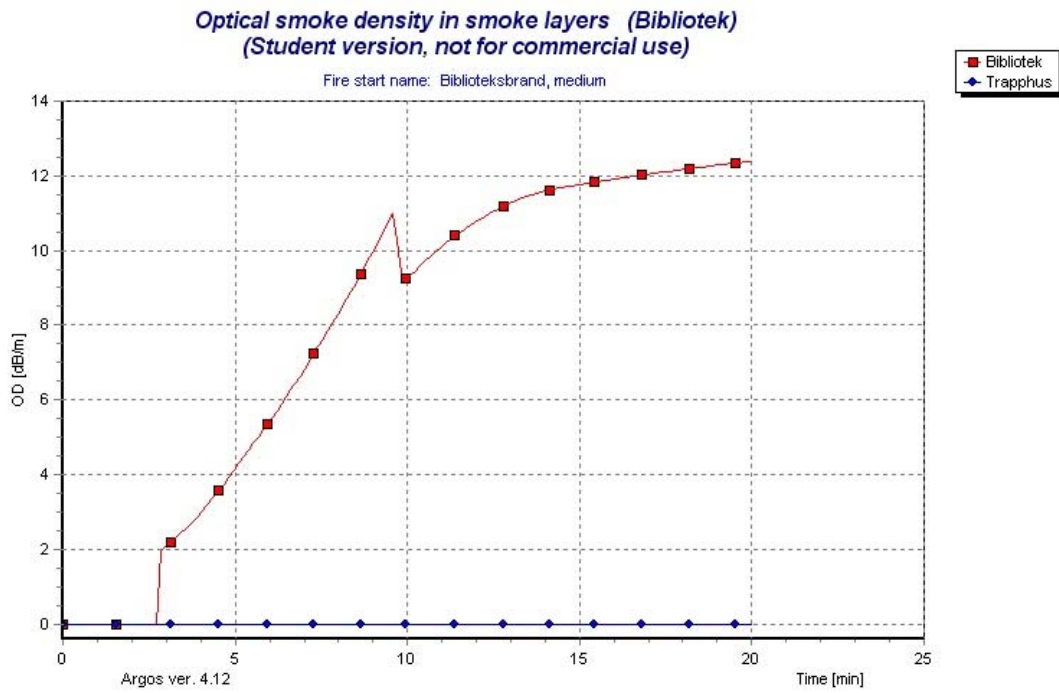


Fig 4.5 Optisk densitet i brandgaslager

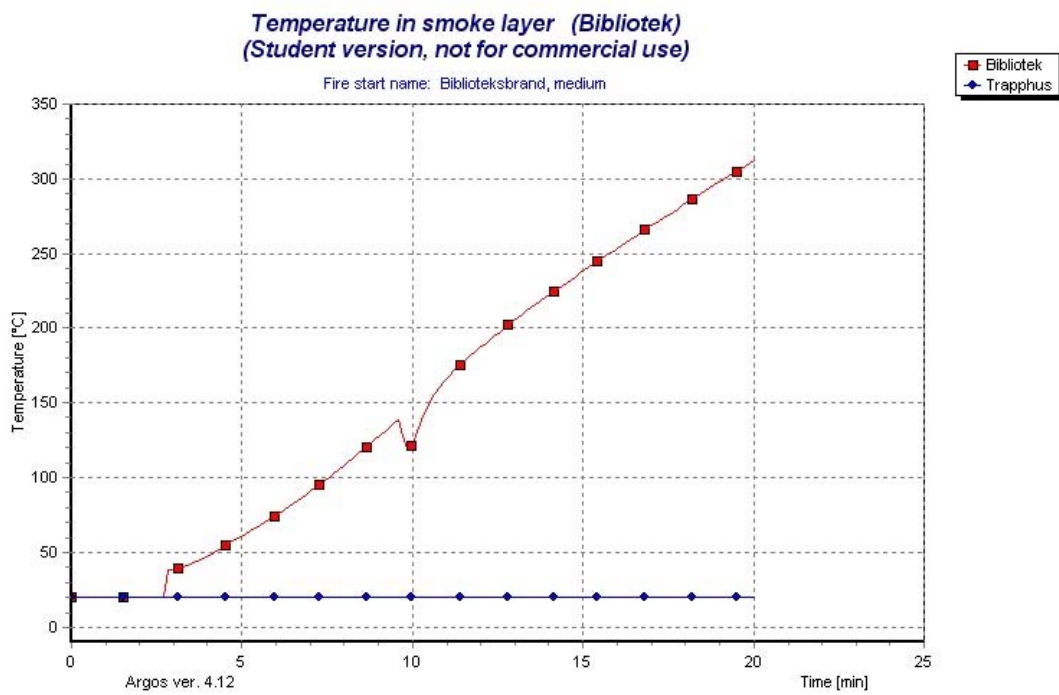


Fig 4.6 Temperatur i brandgaslager

## Känslighetsanalys Öppen dörr ut

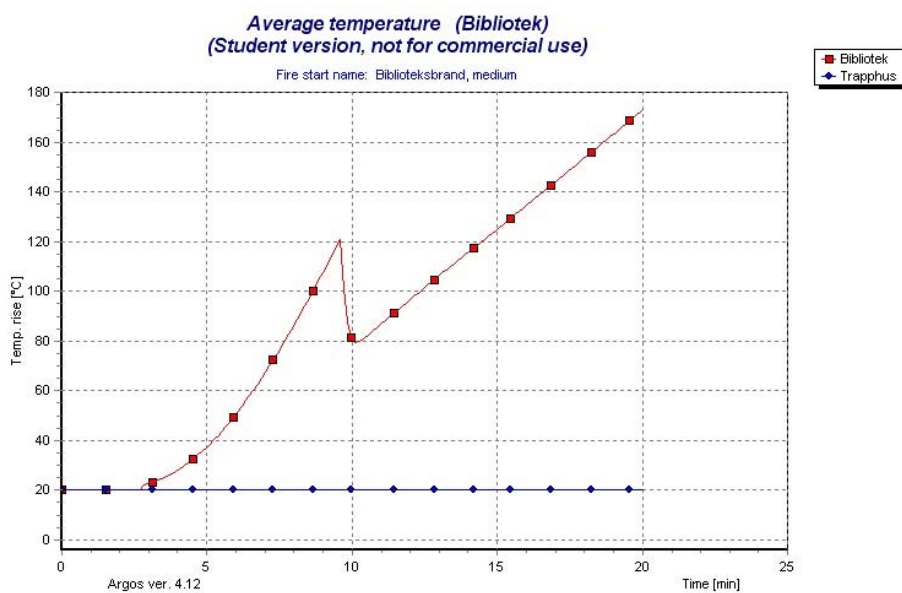


Fig 4.7 Medeltemperatur

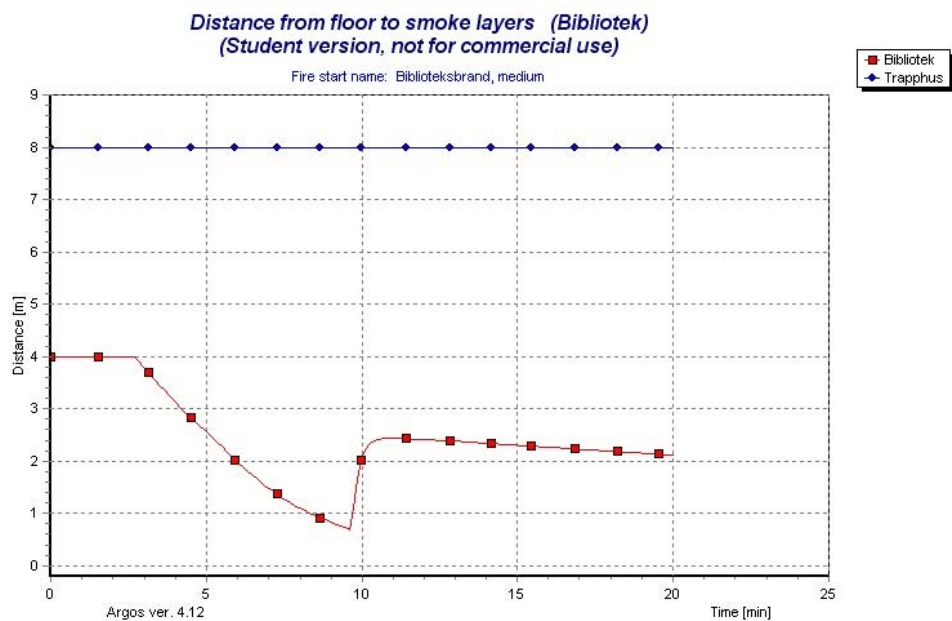


Fig 4.8 Avstånd mellan golv och brandgaslager



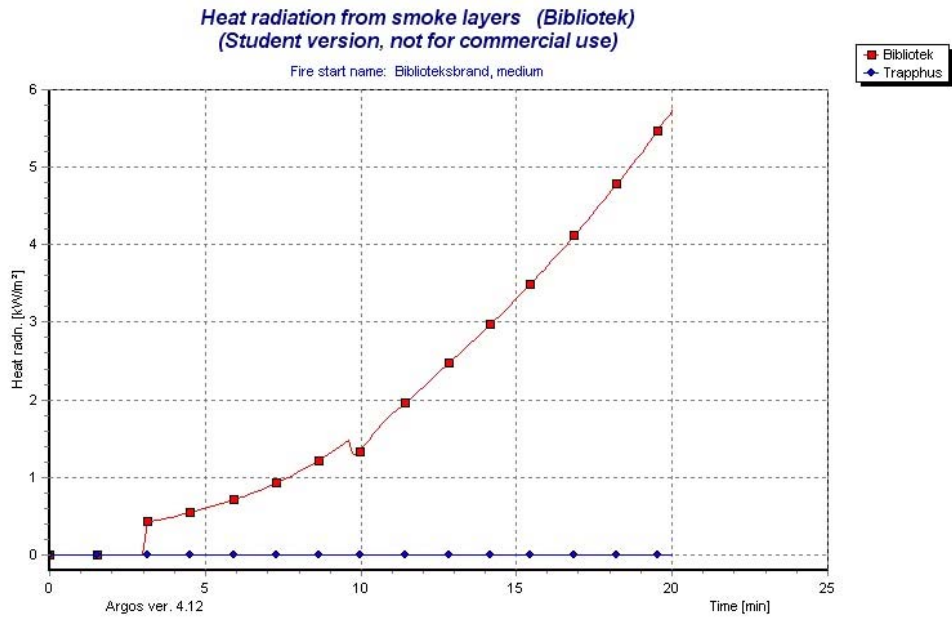


Fig 4.9 Strålning från brandgaslager

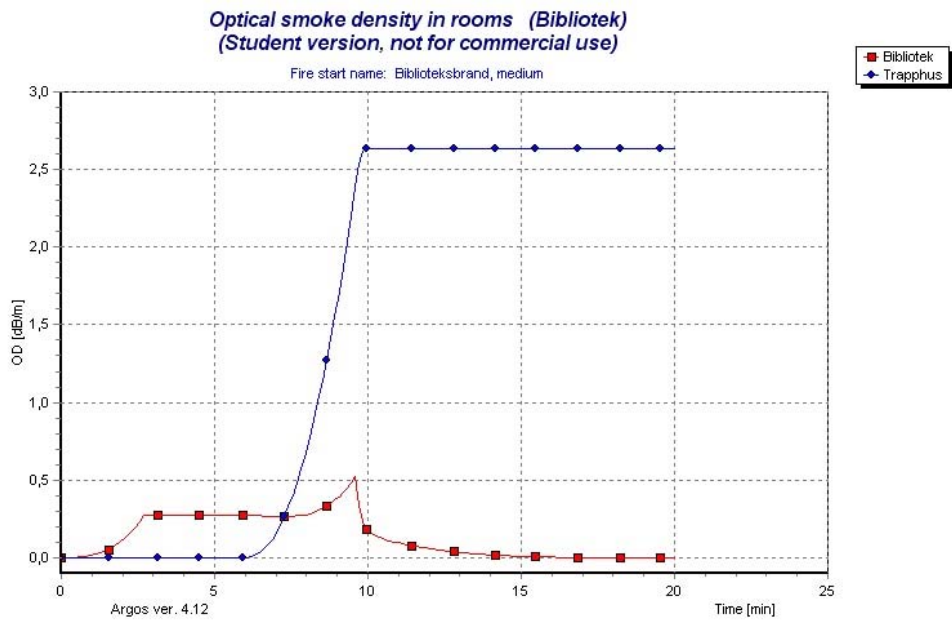


Fig 4.10 Optisk densitet i rum

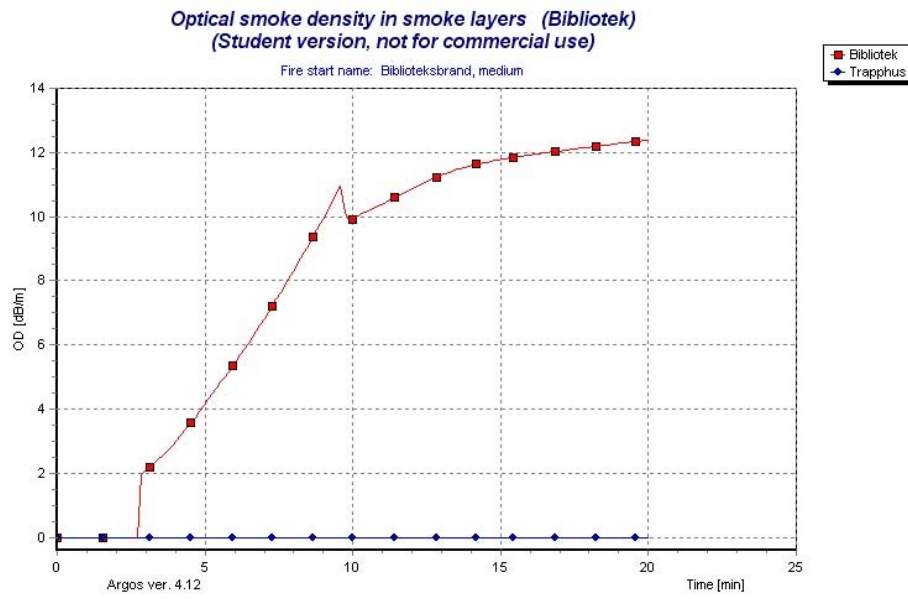


Fig 4.11 Optisk densitet i brandgaslager

## Bibliotek med EI60 dörr till trapphus stängd.

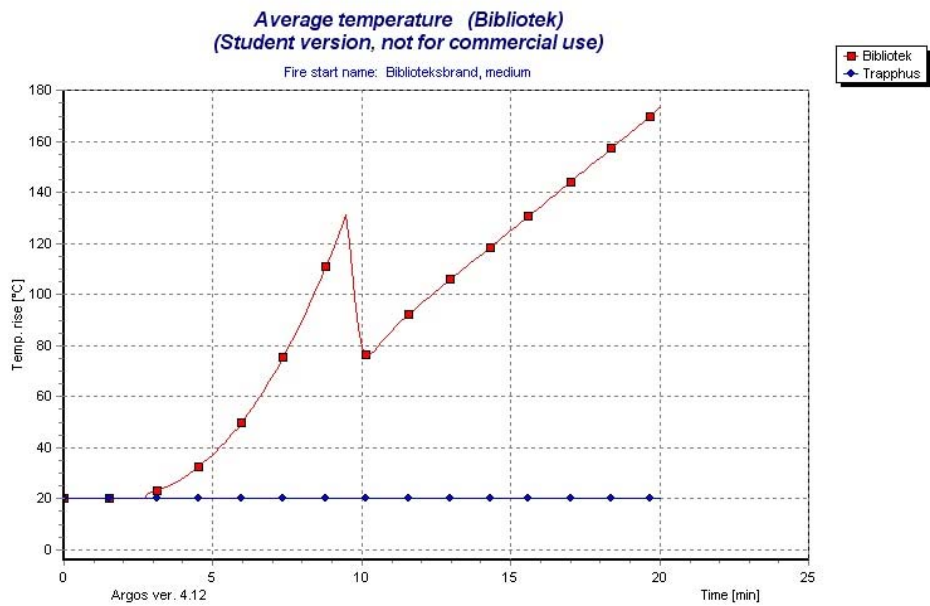


Fig 4.12 Medeltemperatur i rum

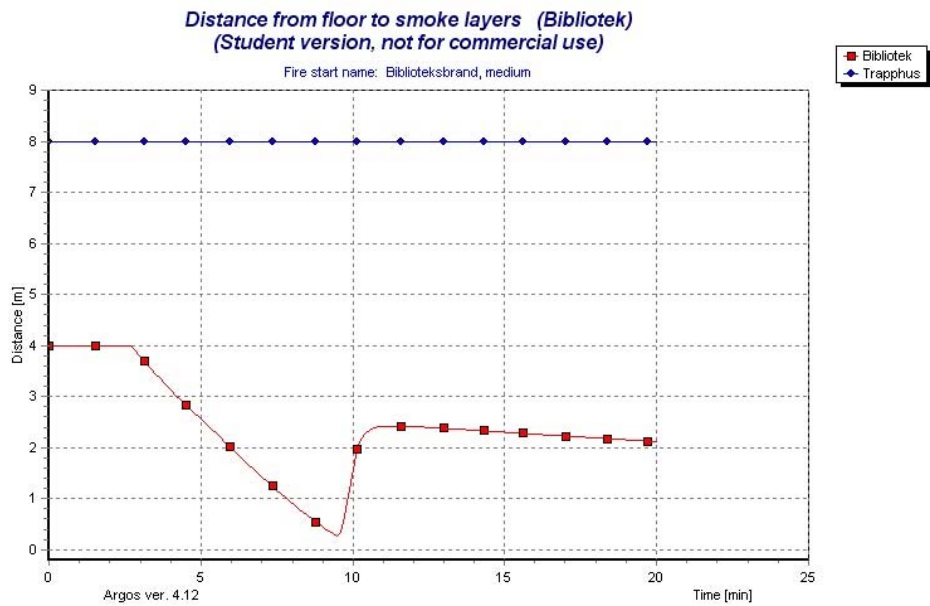


Fig 4.13 Avstånd mellan brandgaslager och golv

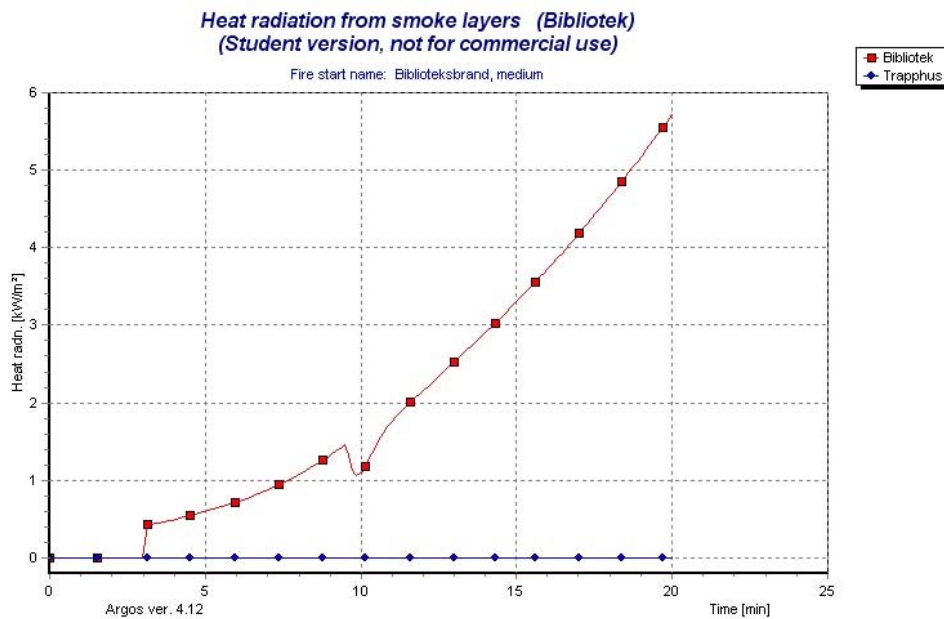


Fig 4.14 Strålning från brandgaslager

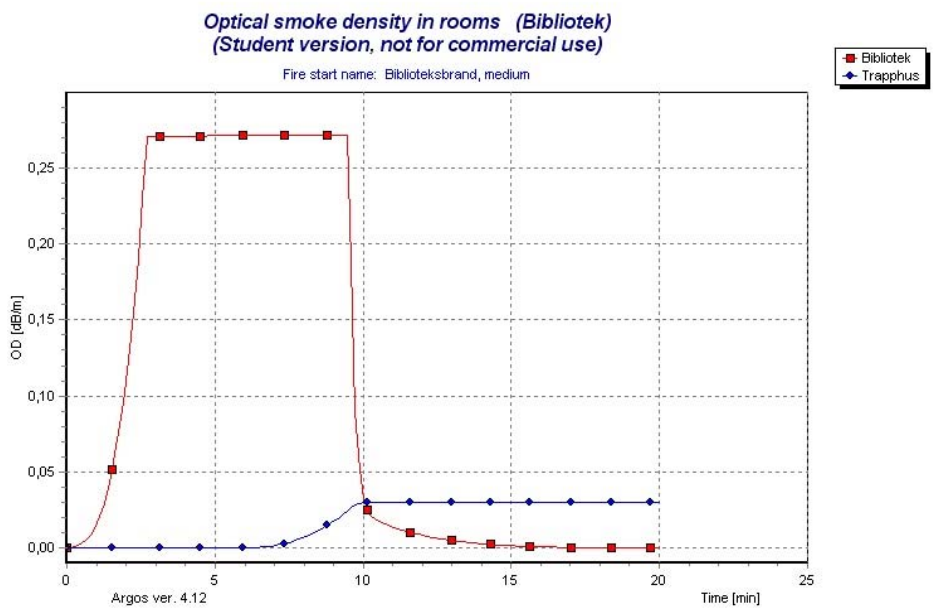


Fig 4.15 Optisk densitet i rum

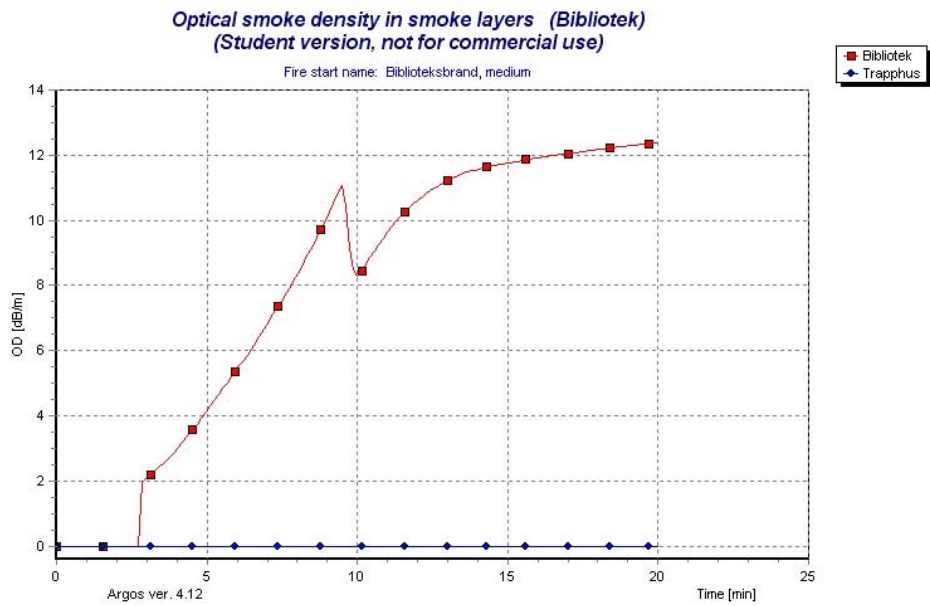


Fig 4.16 Optisk densitet i brandgaslager

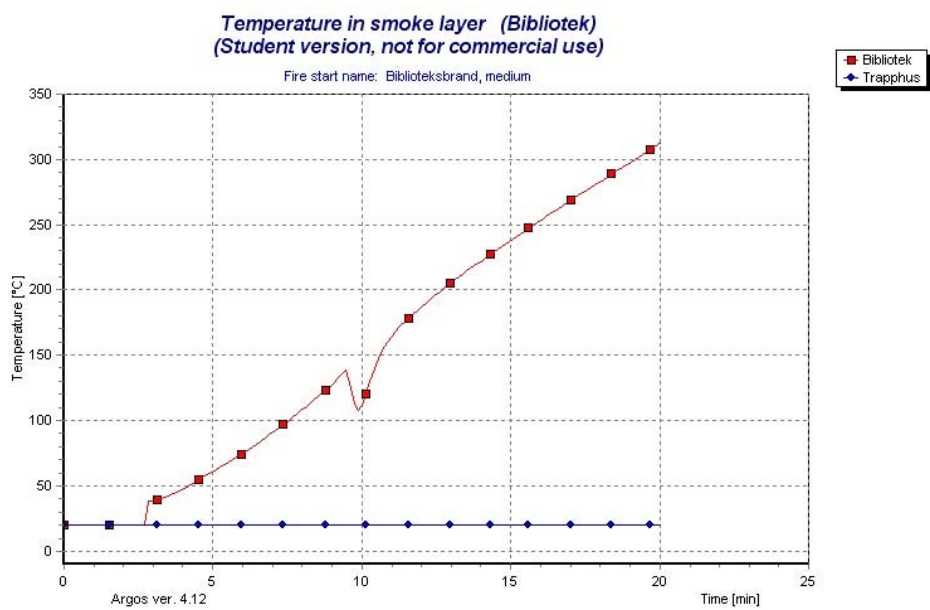


Fig 4.17 Temperatur i brandgaslager

## 5 Resultat matsal

Grafer från Argos

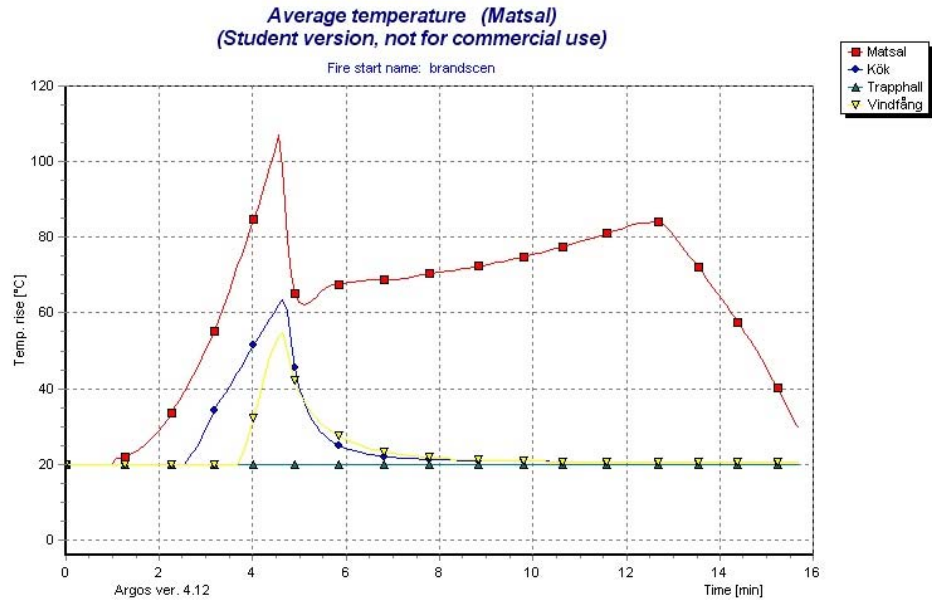


Fig 5.1 Medeltemperatur

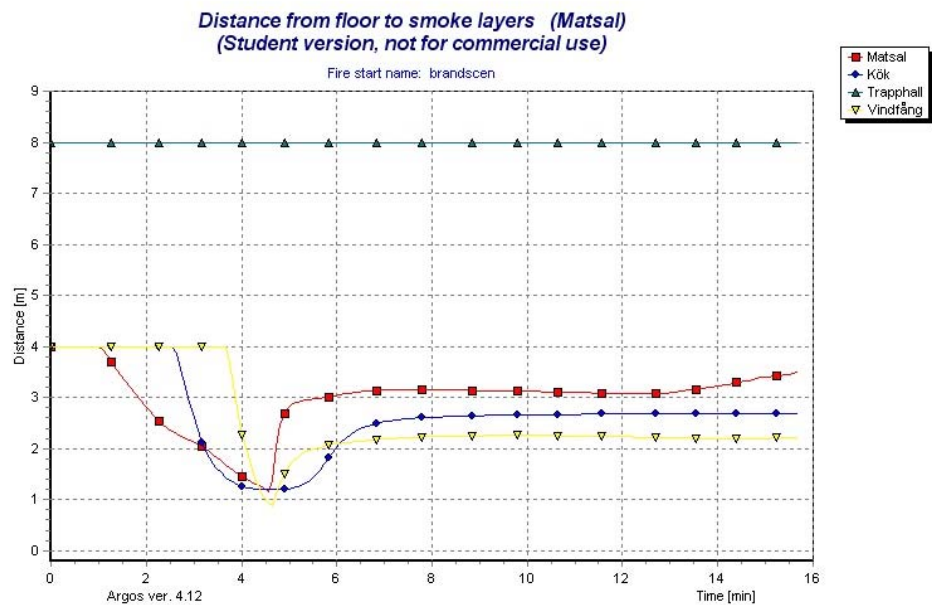


Fig 5.2 Avstånd mellan brandgaslager och golv

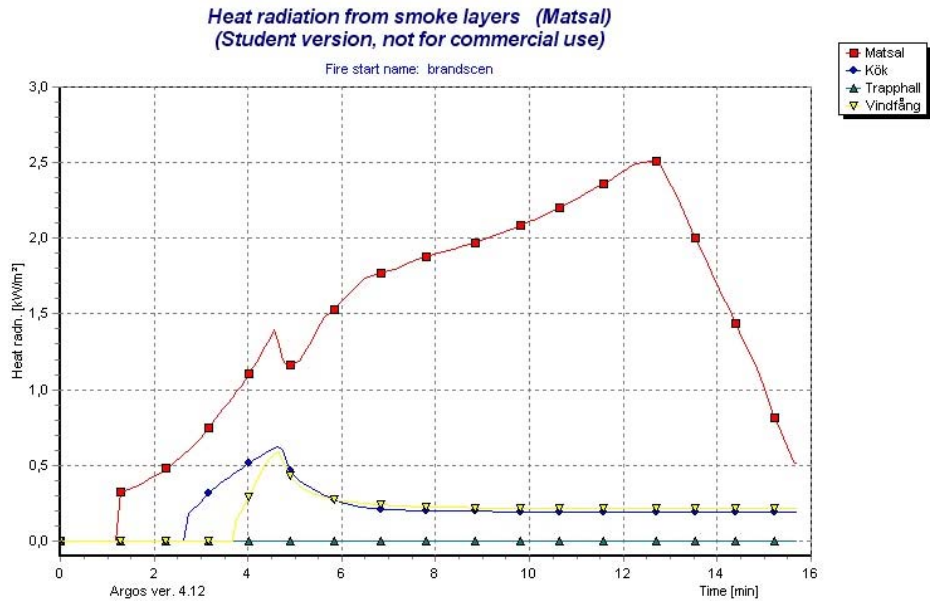


Fig 5.3 Strålning från brandgaslager

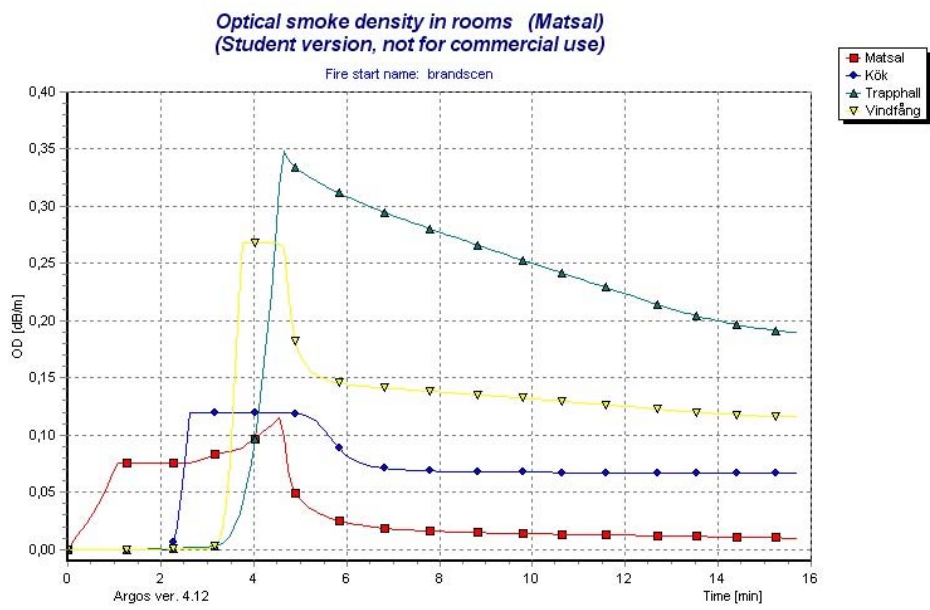


Fig 5.4 Optisk densitet i rum

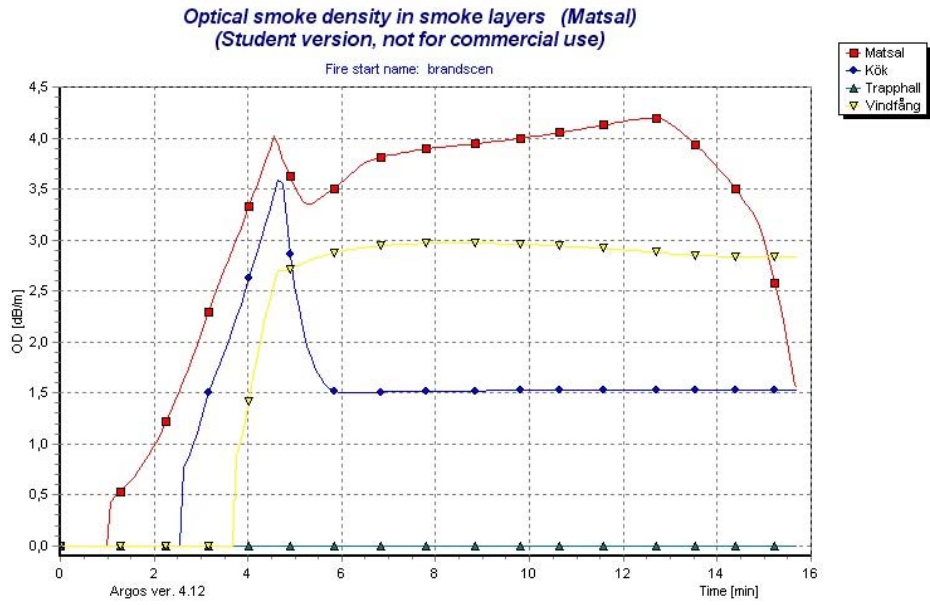


Fig 5.5 Optisk densitet i brandgaslager

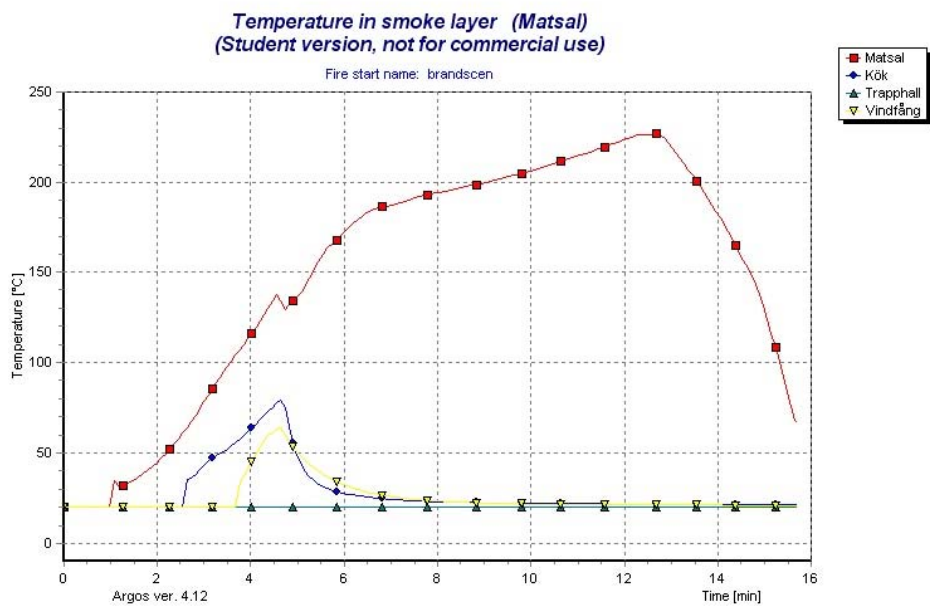


Fig 5.6 Temperatur i brandgaslager



## Känslighetsanalys: Matsal då optiska densiteten är satt till 200 istället för 50 dB/m:

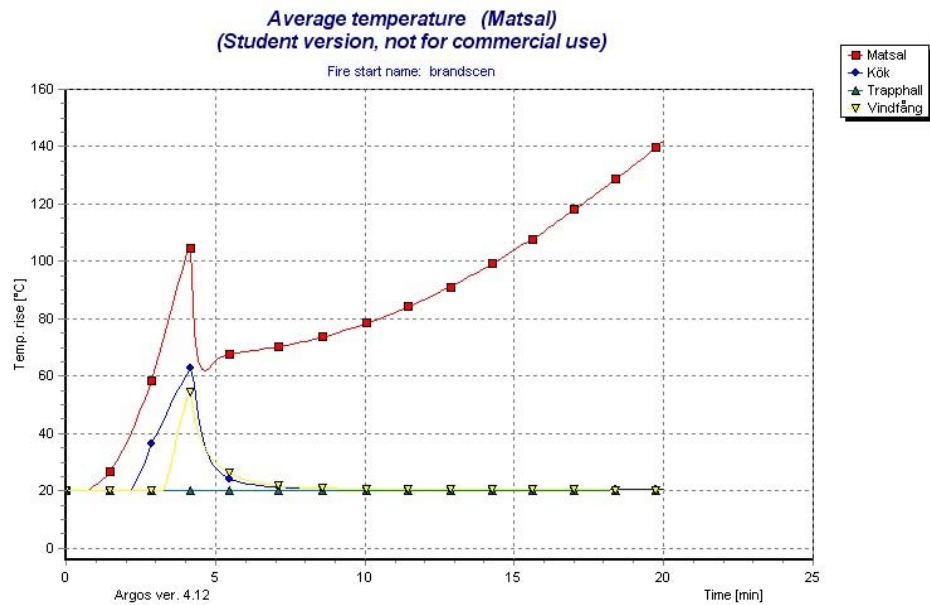


Fig 5.7 Medeltemperatur

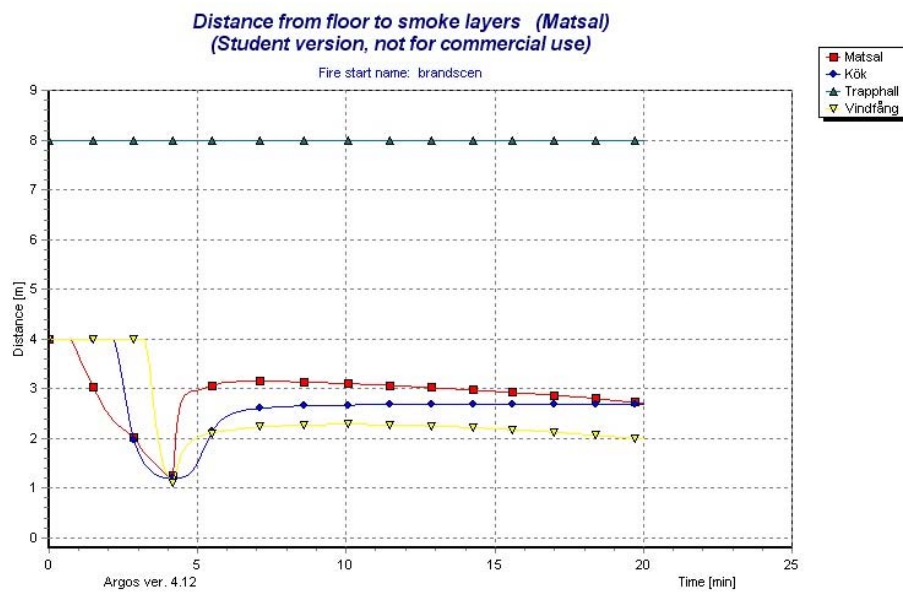


Fig 5.8 Avstånd mellan brandgaslager och golv

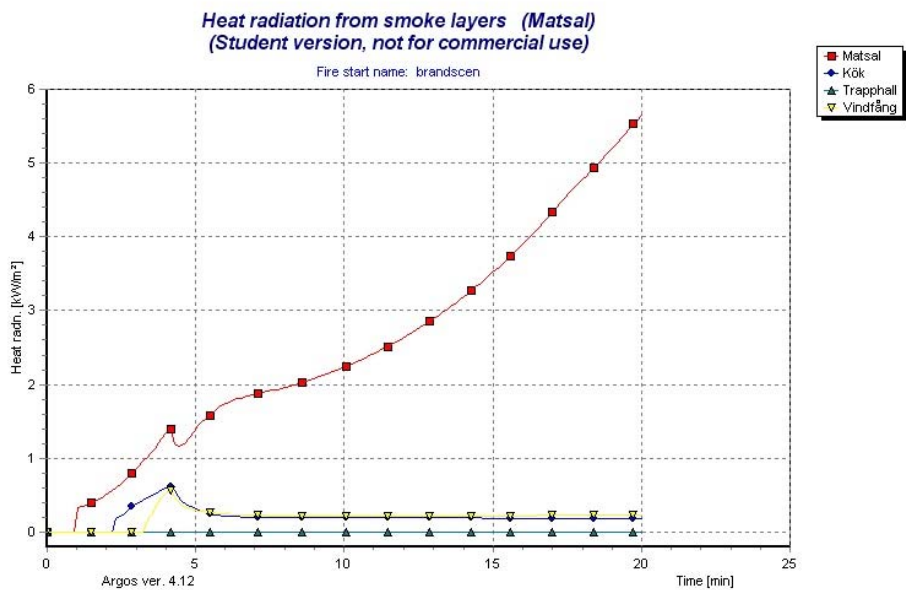


Fig 5.9 Strålning från brandgaslager

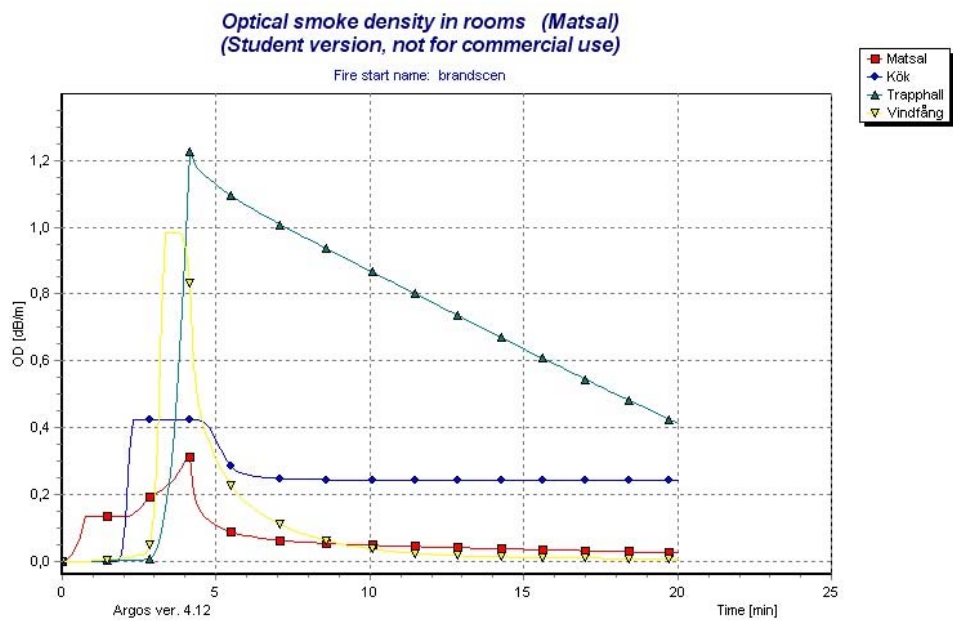


Fig 5.10 Optisk densitet i rum

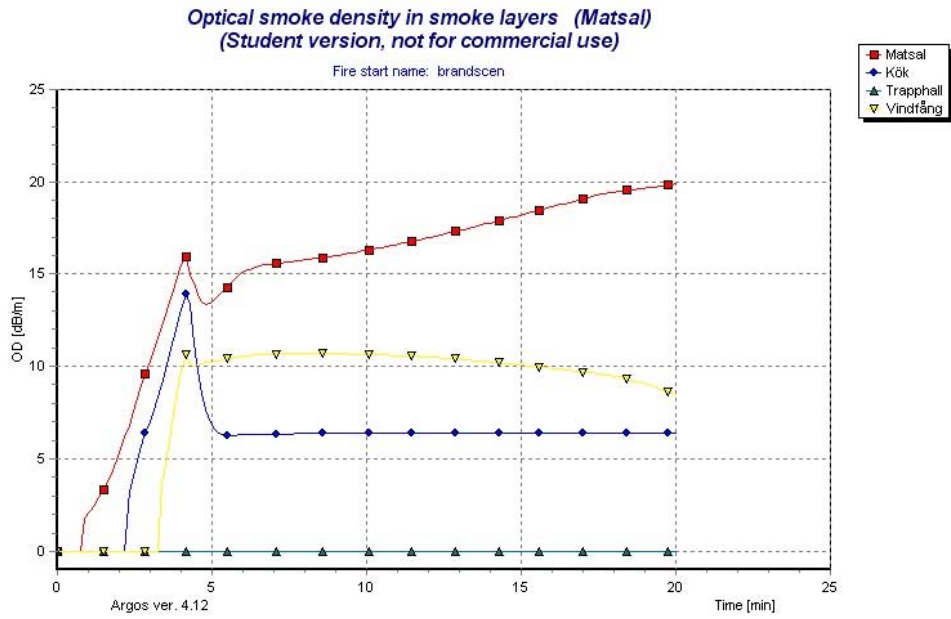


Fig 5.11 Optisk densitet i brandgaslager

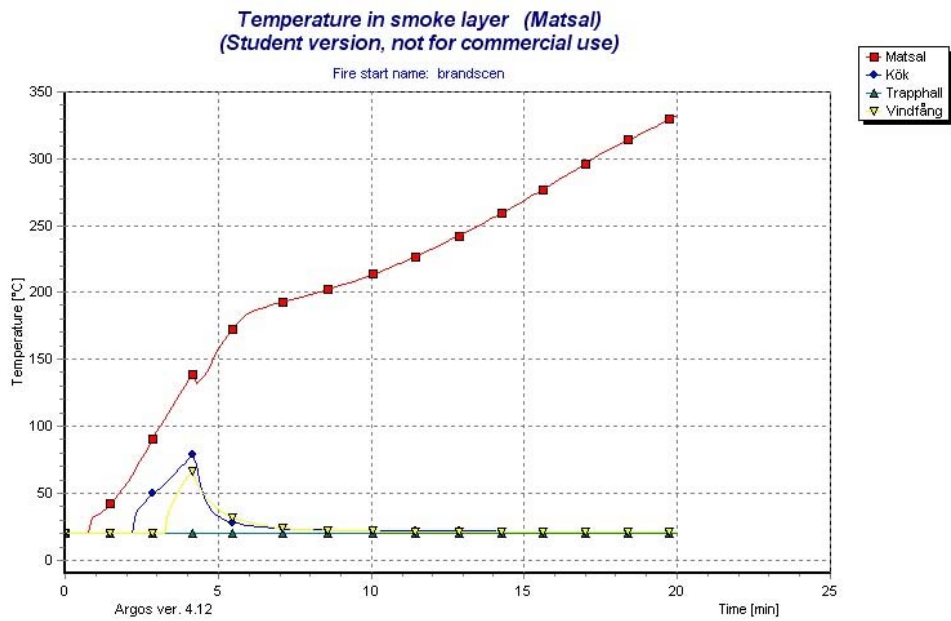


Fig 5.12 Temperatur i brandgaslager

**Matsal då mediumkurva har använts istället för fast som övergår till medium.**

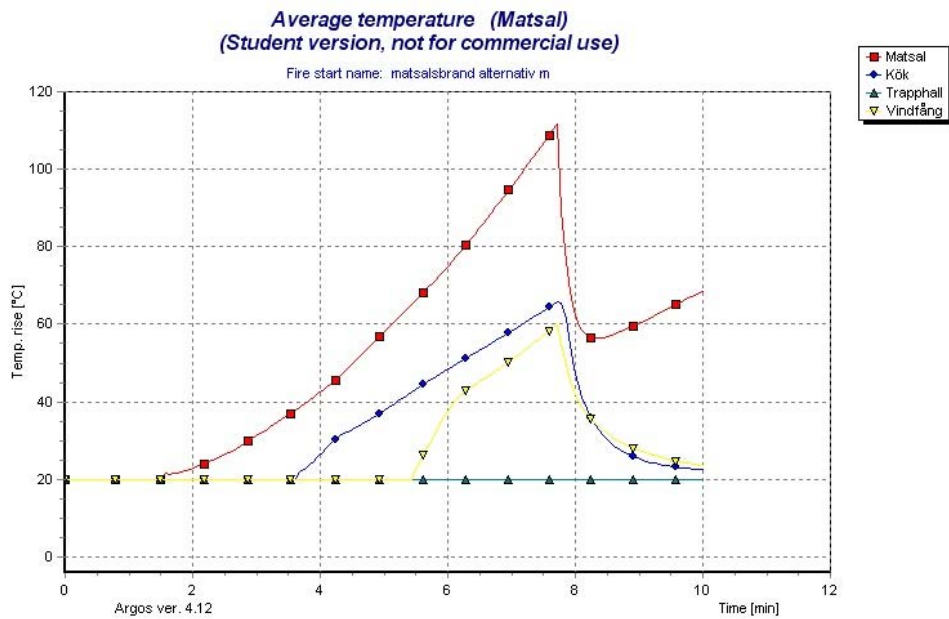


Fig 5.13 Medeltemperatur

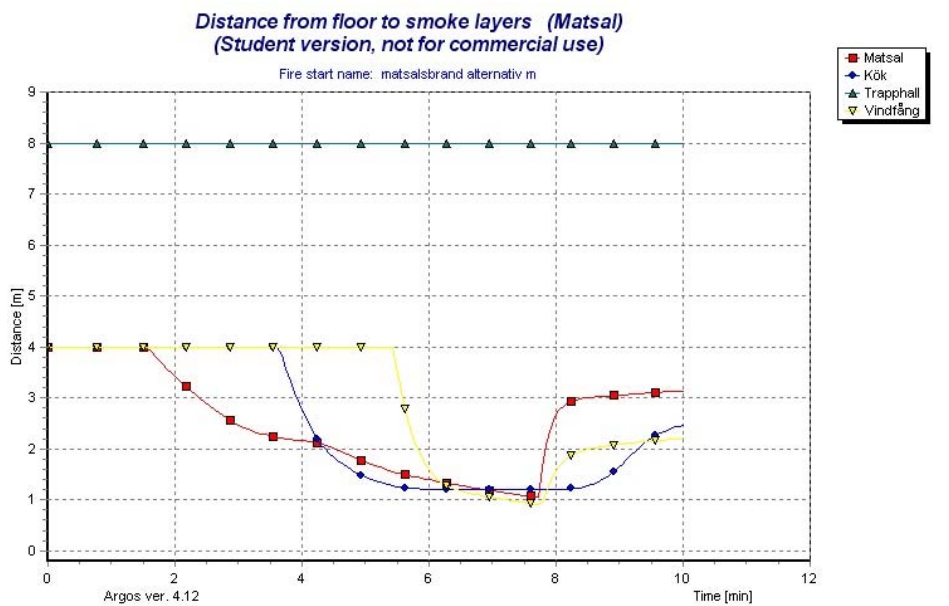


Fig 5.14 Avstånd mellan brandgaslager och golv

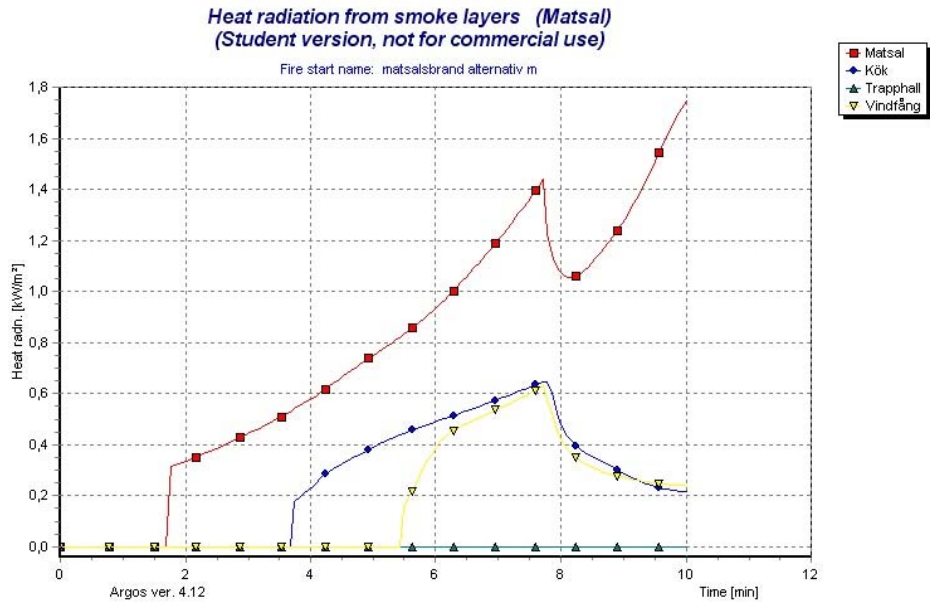


Fig 5.15 Strålning från brandgaslager

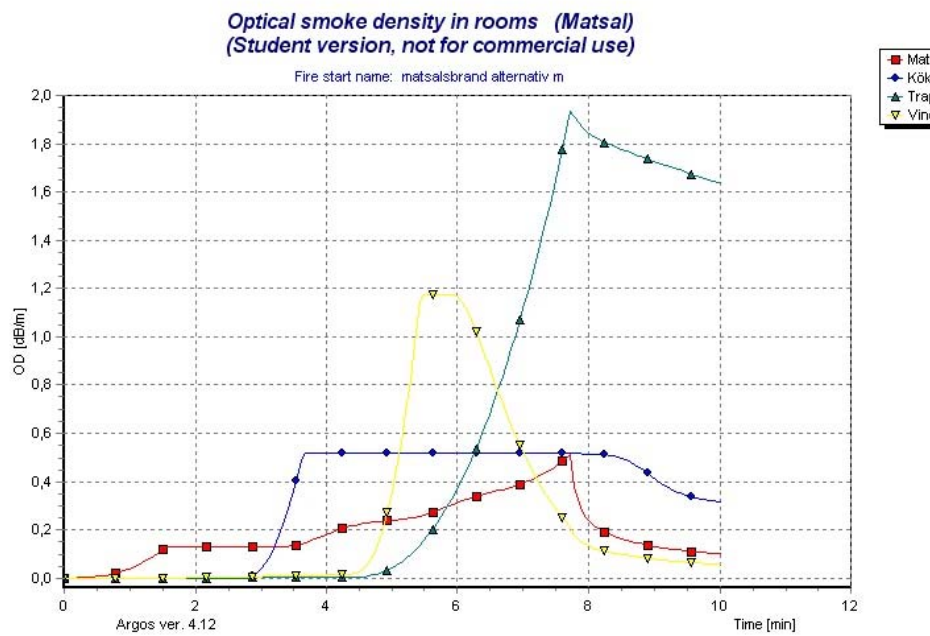


Fig 5.16 Optisk densitet i rum

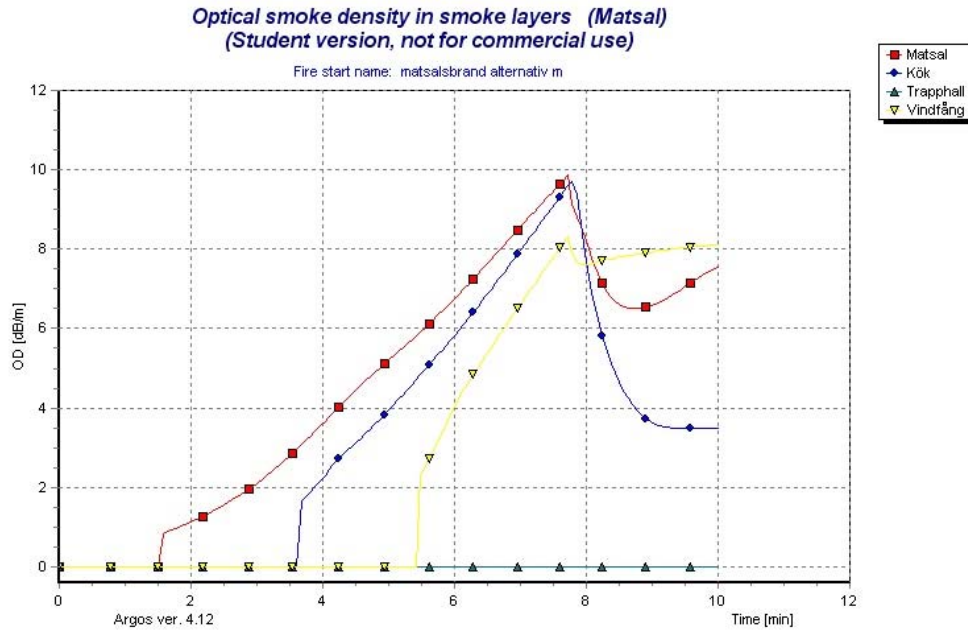


Fig 5.17 Optisk densitet i brandgaslager

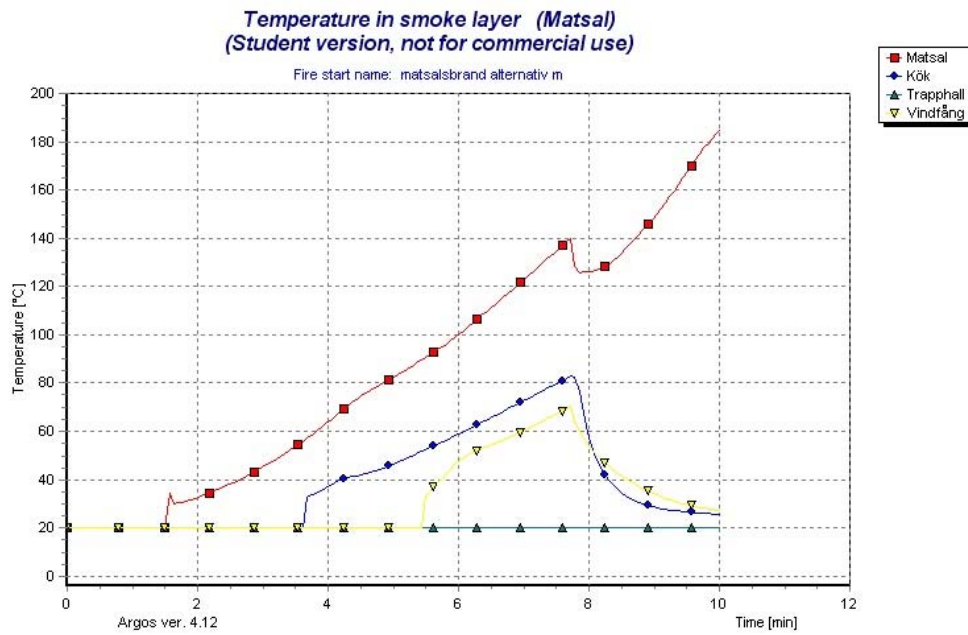


Fig 5.18 Temperatur i brandgaslager

## Matsal då samtliga dörrar är stängda

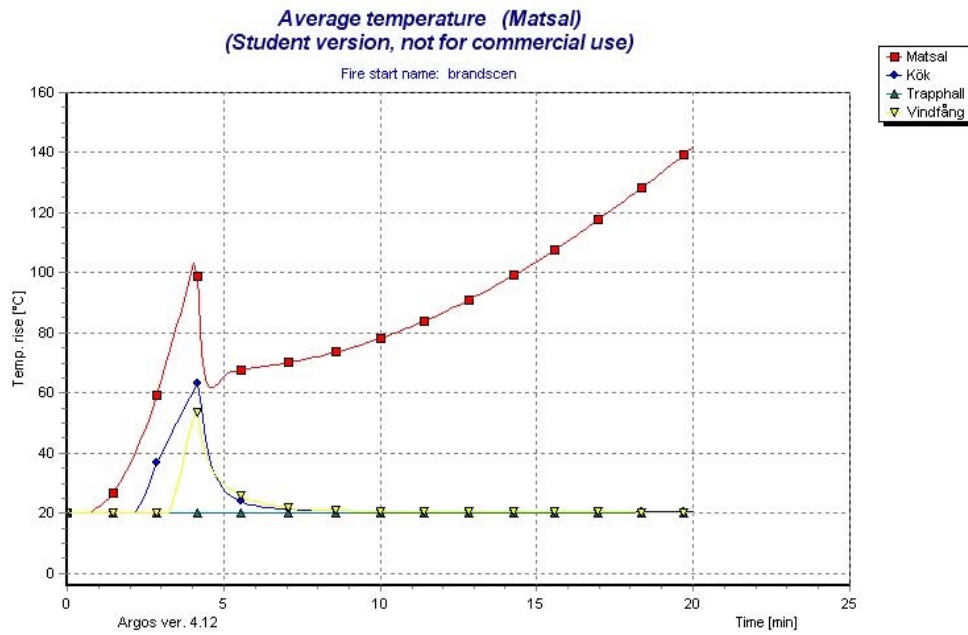


Fig 5.19 Medeltemperatur

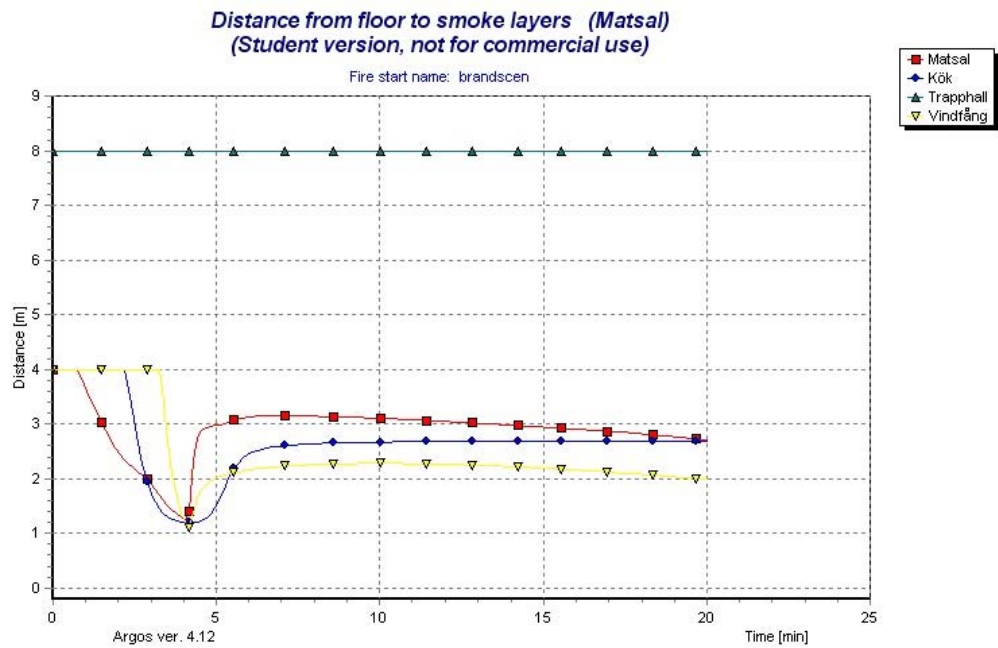


Fig 5.20 Avstånd mellan brandgaslager och golv

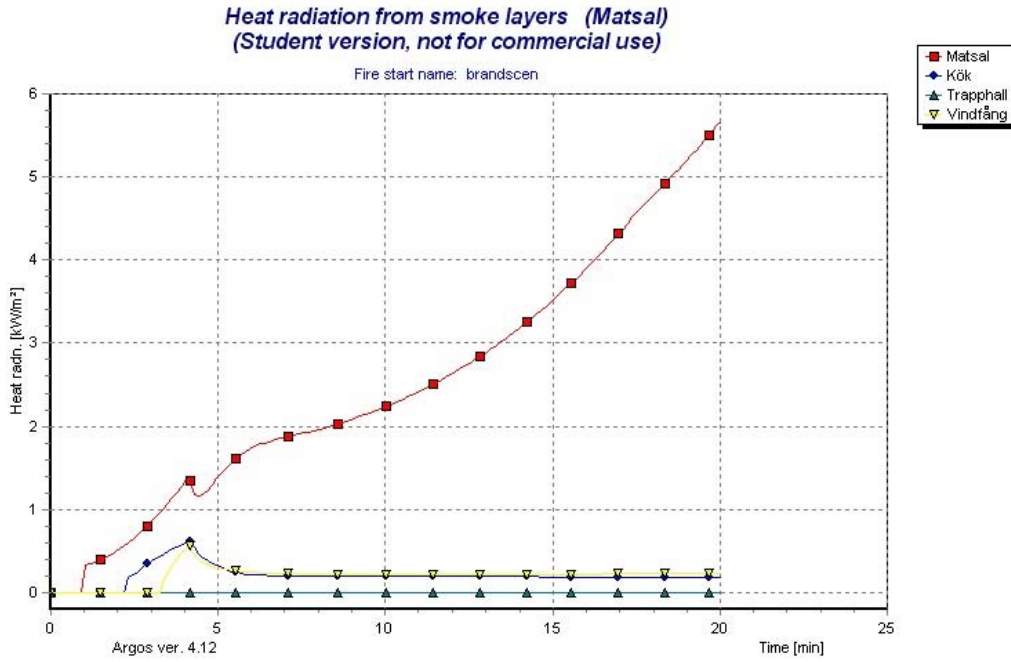


Fig 5.21 Strålning från brandgaslager

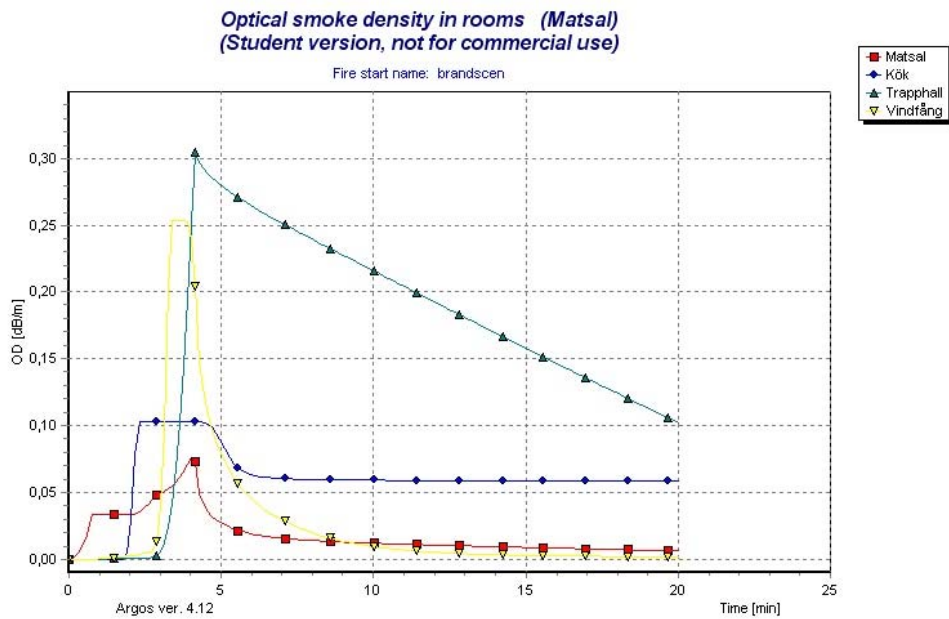


Fig 5.22 Optisk densitet i rum



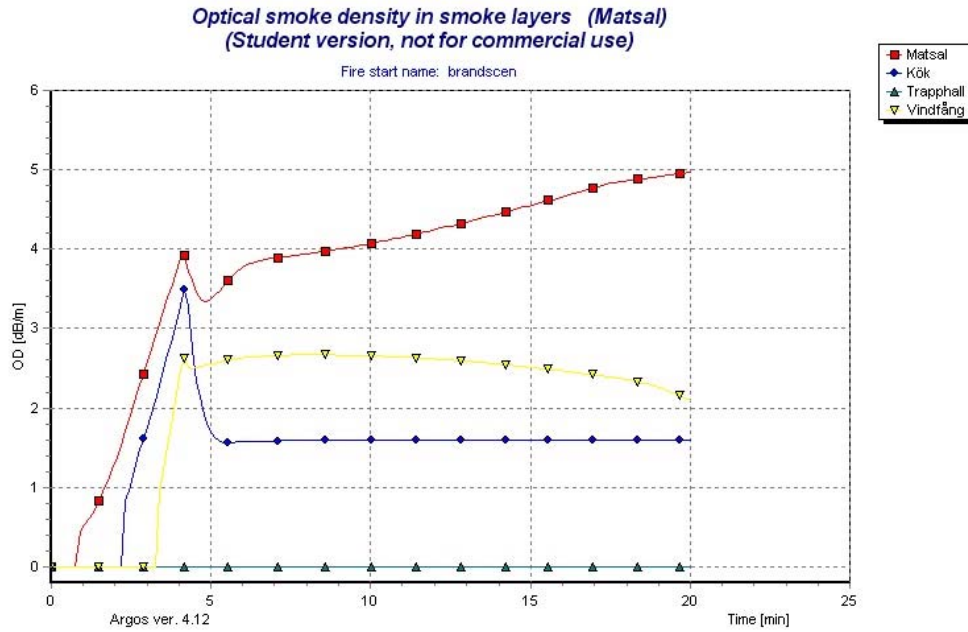


Fig 5.23 Optisk densitet i brandgaslager

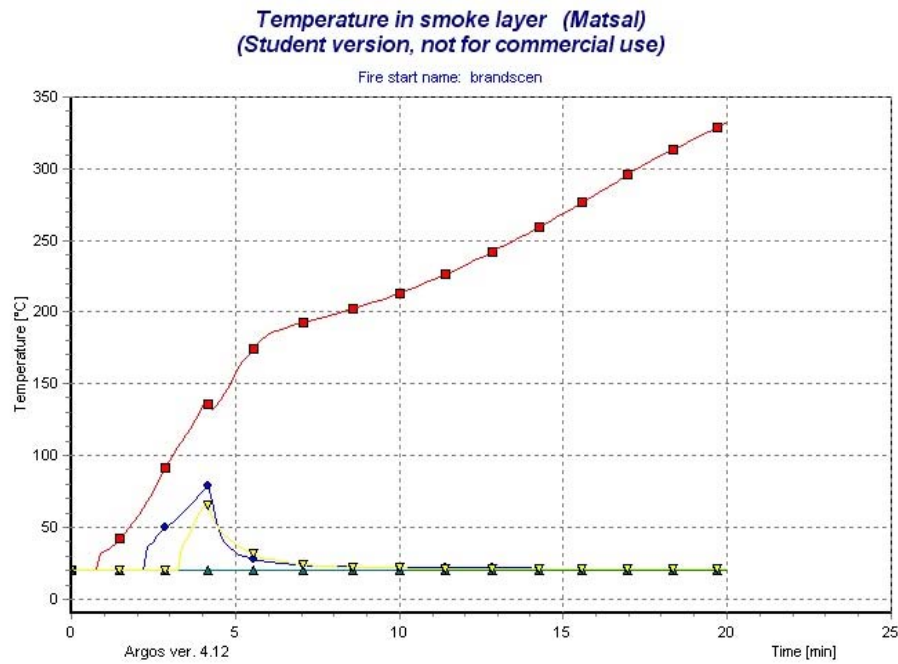


Fig 5.24 Temperatur i brandgaslager

## Matsalen då samtliga dörrar är öppna

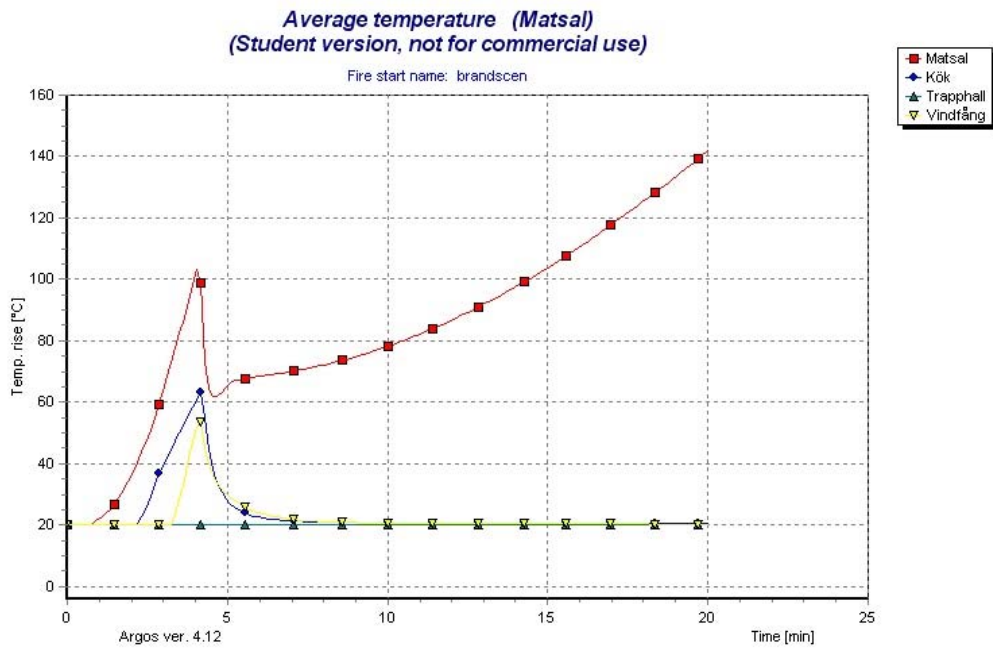


Fig 5.25 Medeltemperatur

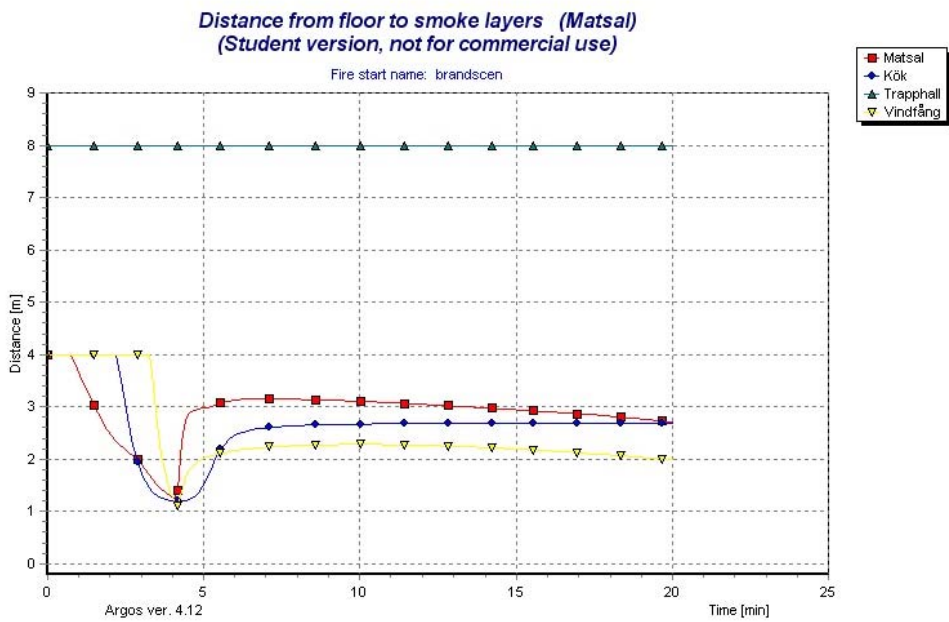


Fig 5.26 Avstånd mellan brandgaslager och golv

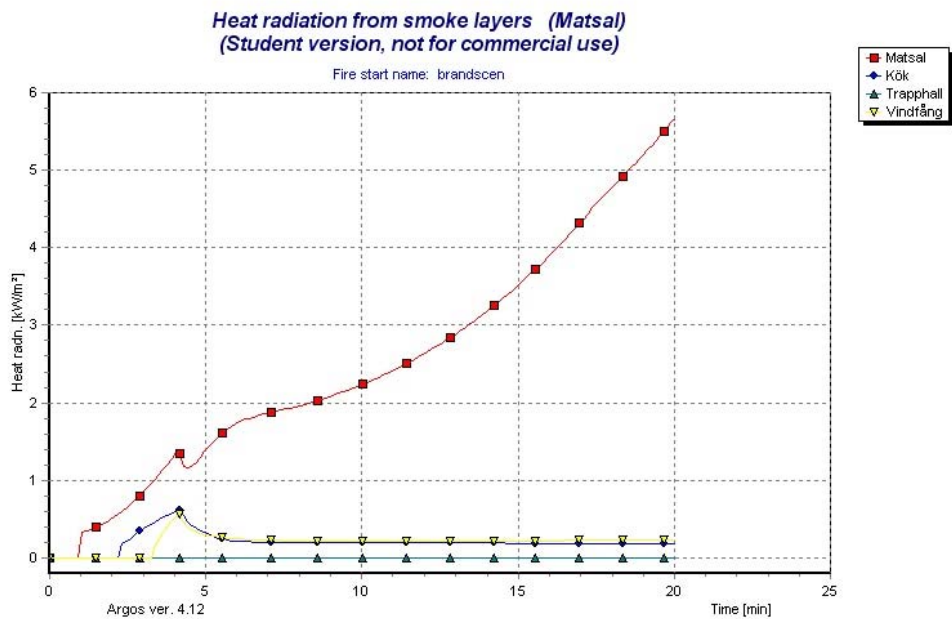


Fig 5.27 Strålning från brandgaslager

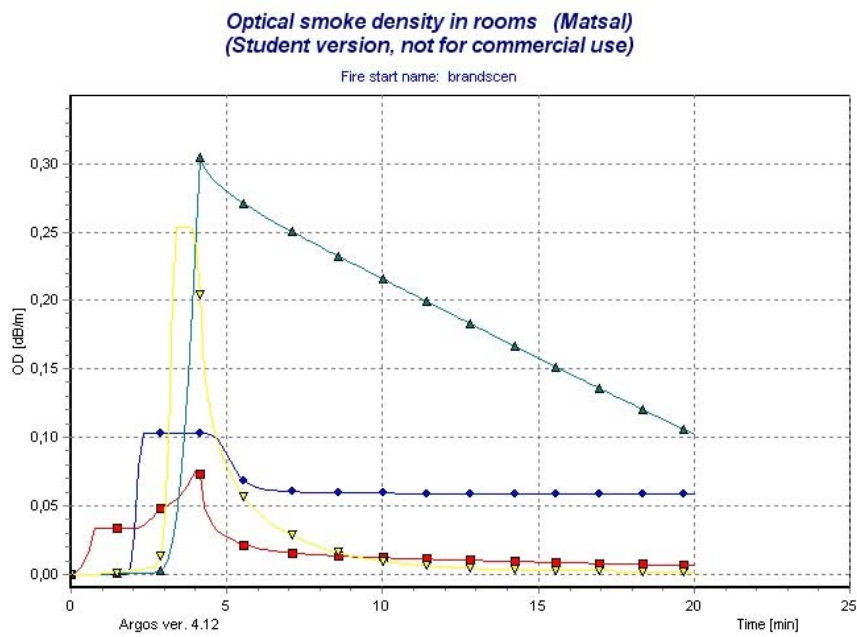


Fig 5.28 Optisk densitet i rum

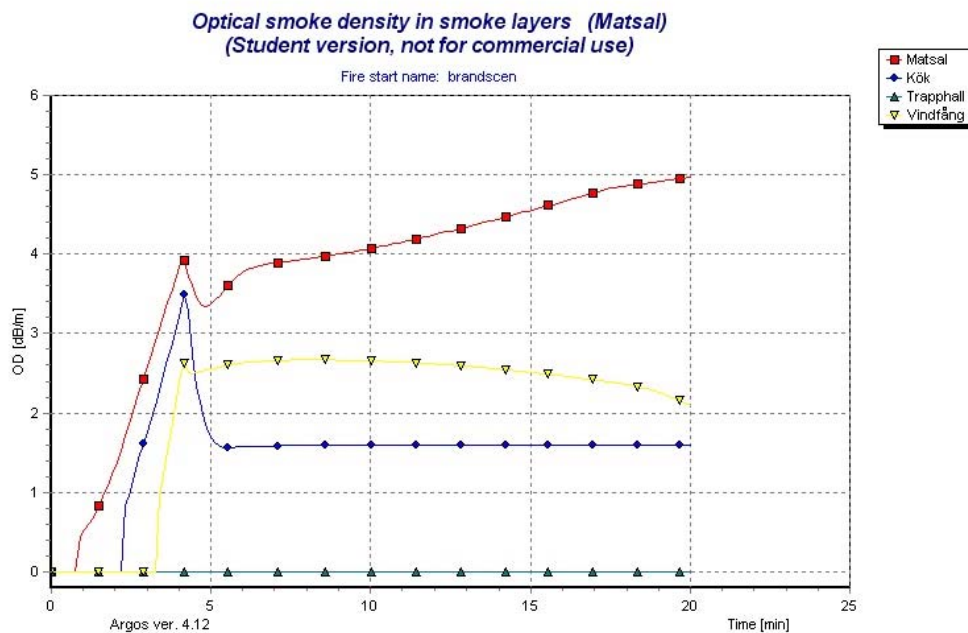


Fig 5.29 Optisk densitet i brandgaslager

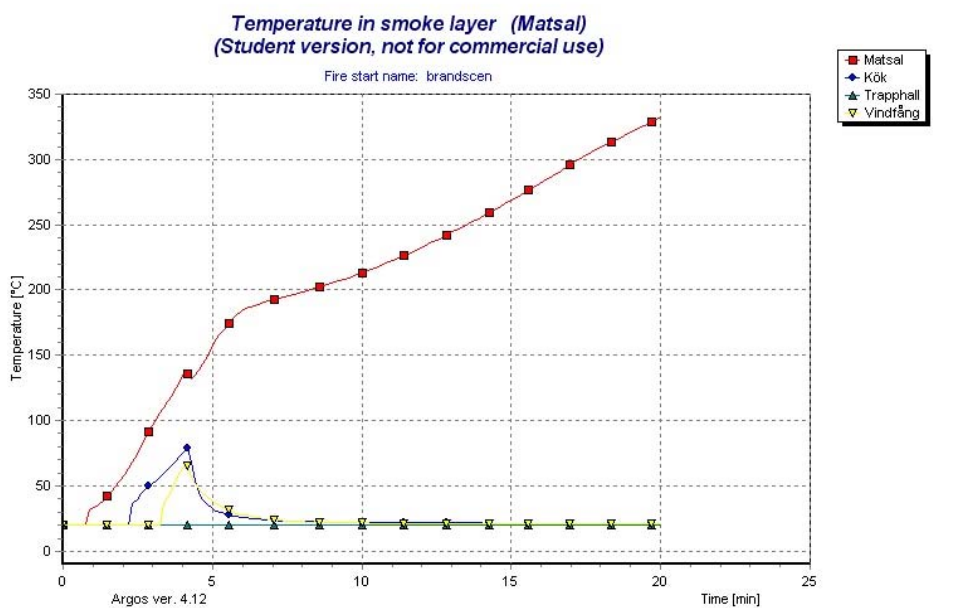


Fig 5.30 Temperatur i brandgaslager

## 6 Resultat: skåp i trapphall

Grafer från Argos

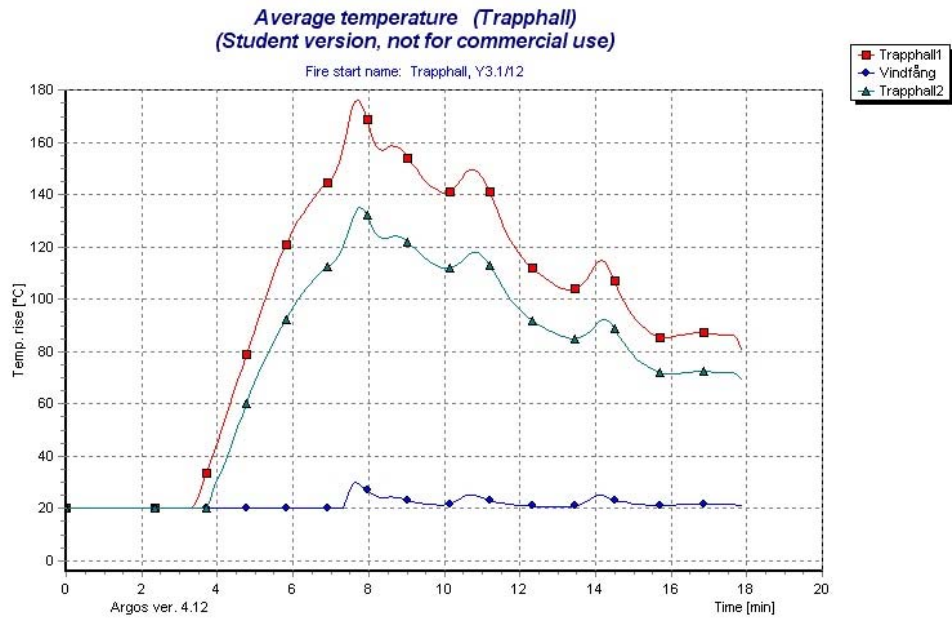


Fig 6.1 Medeltemperatur

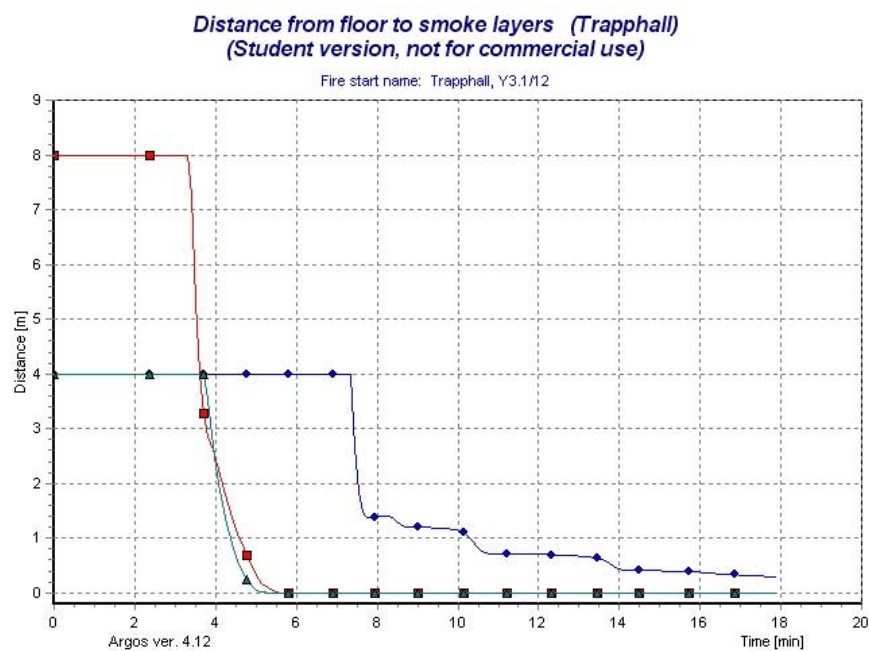


Fig 6.2 Avstånd mellan brandgaslager och golv

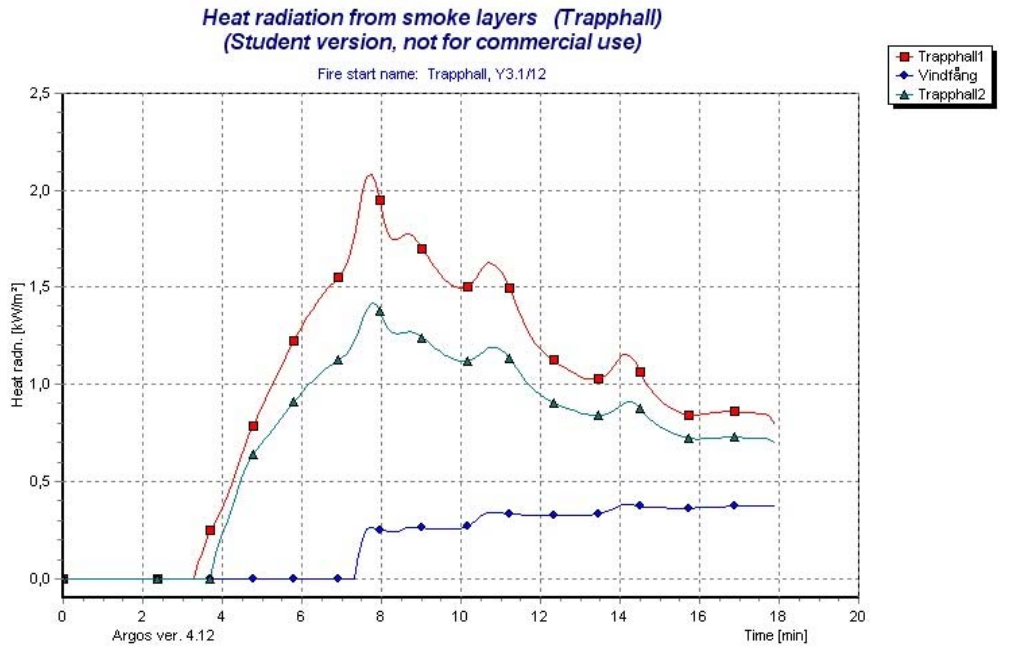


Fig 6.3 Strålning från brandgaslager

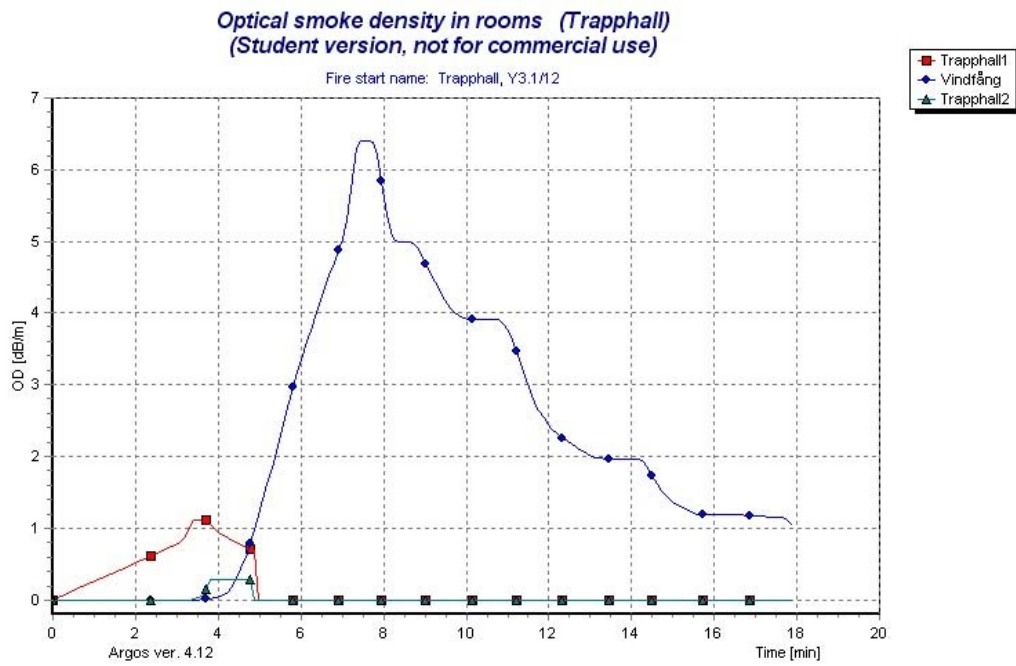


Fig 6.4 Optisk densitet i rum

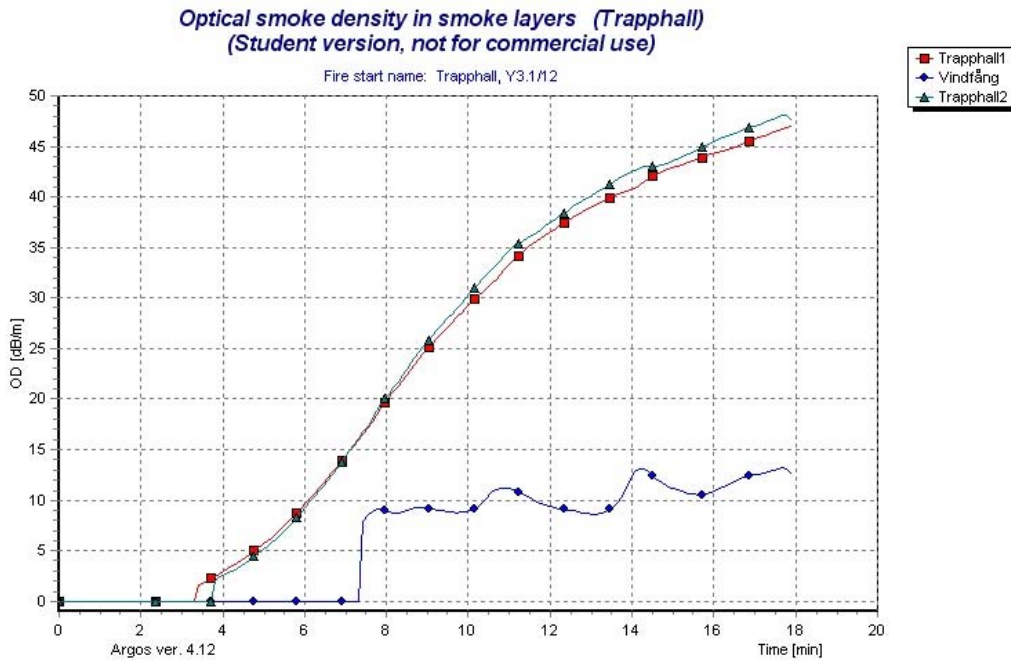


Fig 6.5 Optisk densitet i brandgaslager

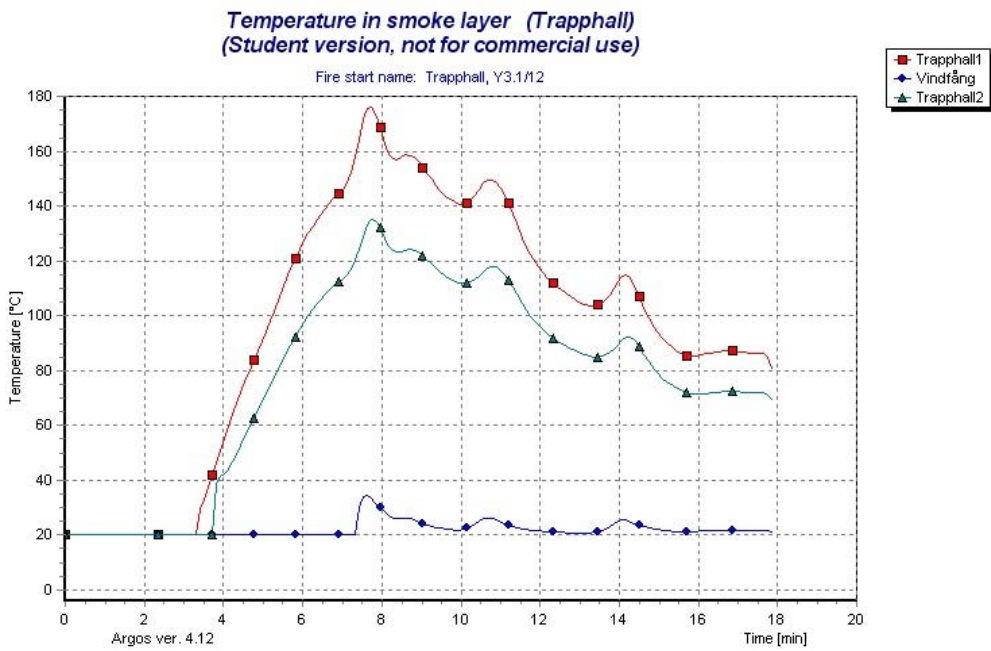


Fig 6.6 Temperatur i brandgaslager

## Grafer CFAST

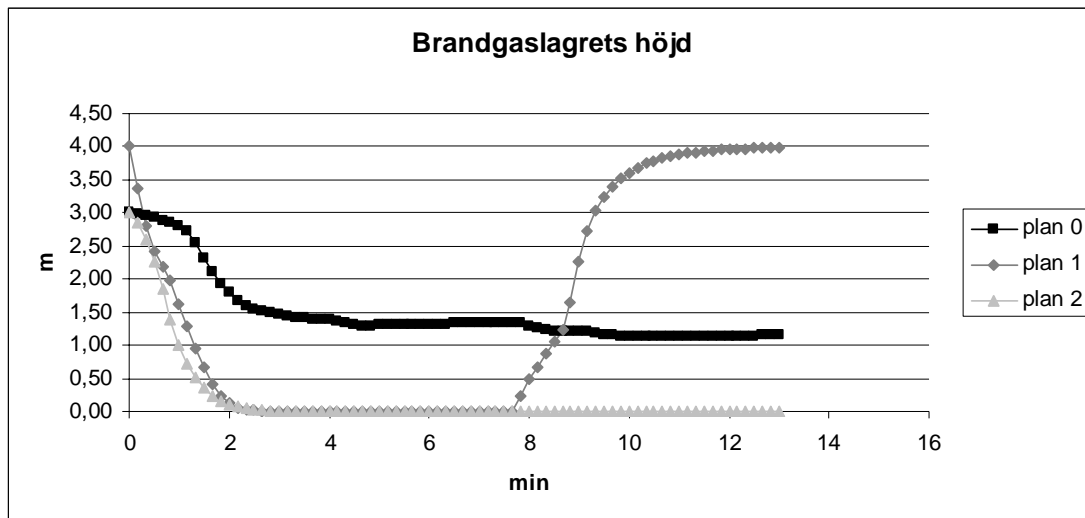


Fig 6.7 Avstånd mellan brandgaslager och golv

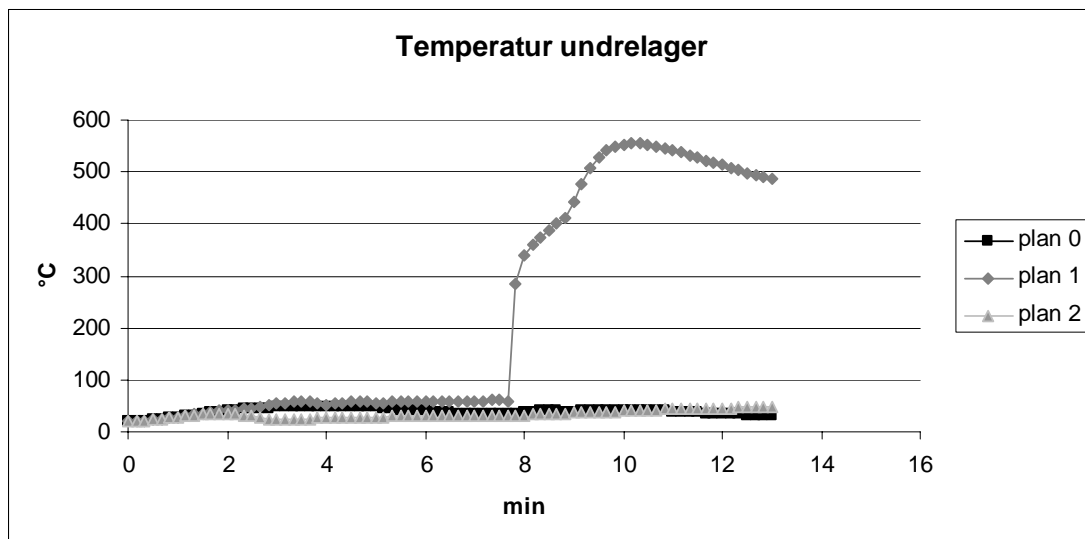
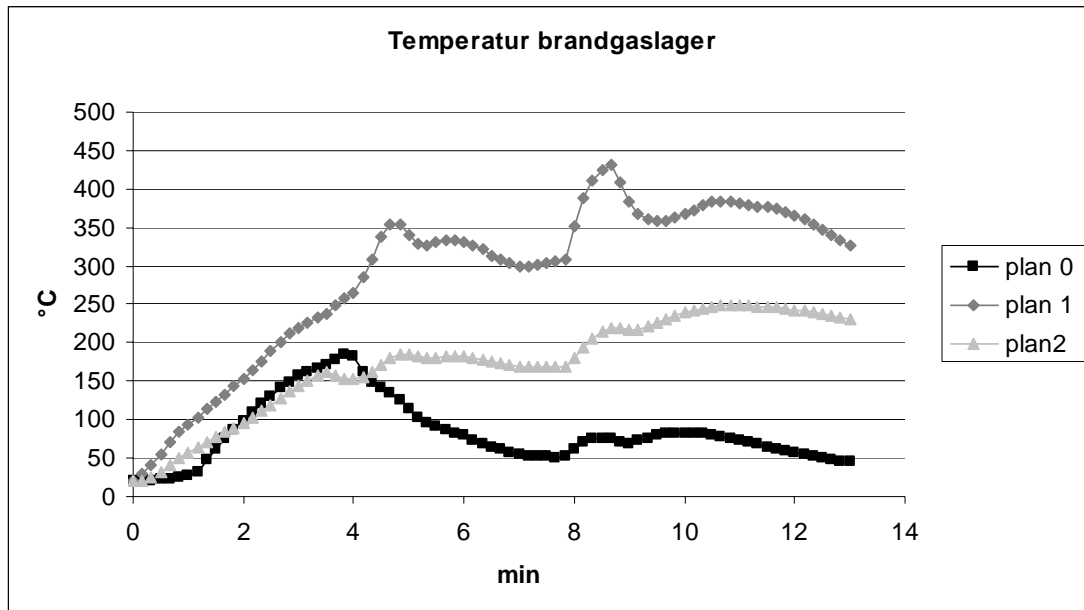


Fig 6.8 Temperatur under brandgaslager





*Fig 6.9 Temperatur i brandgaslager*

## Känslighetsanalys: Annan typ av skåp

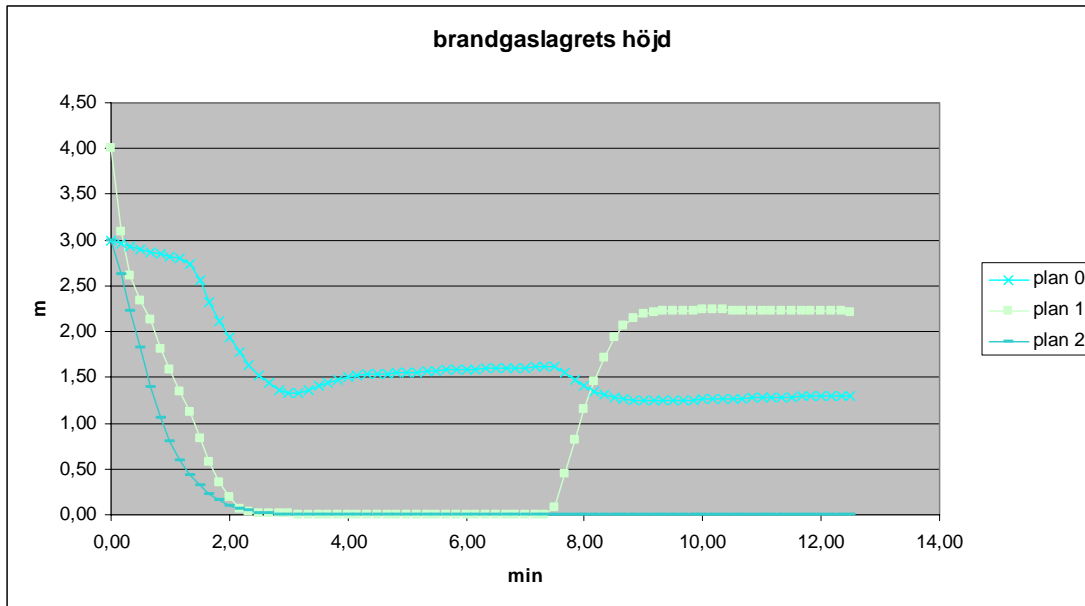


Fig 6.10 Avstånd mellan brandgaslagret och golvet

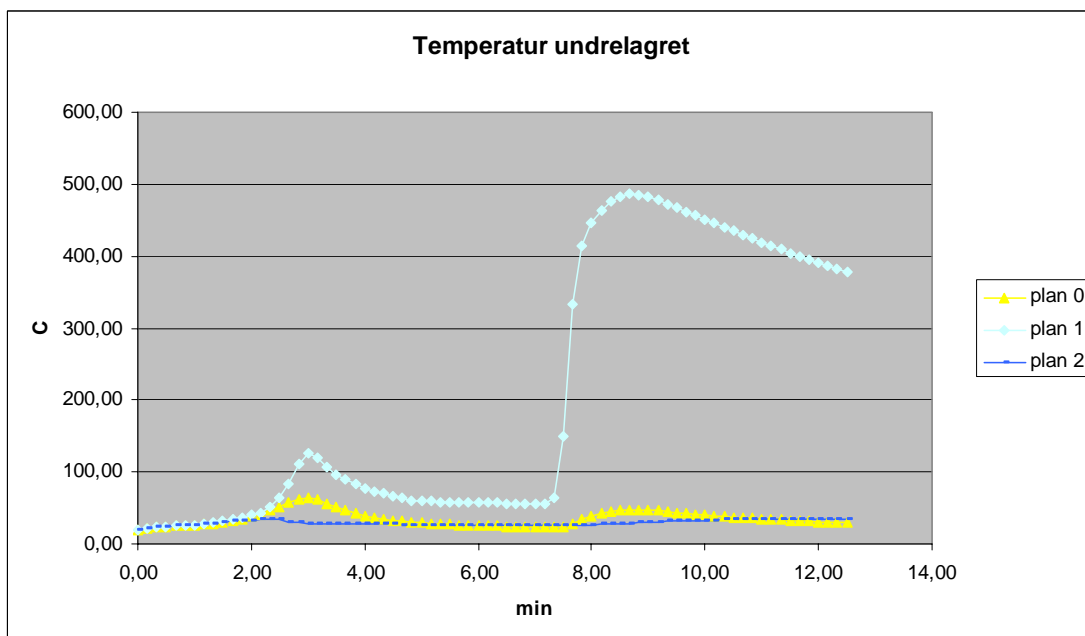
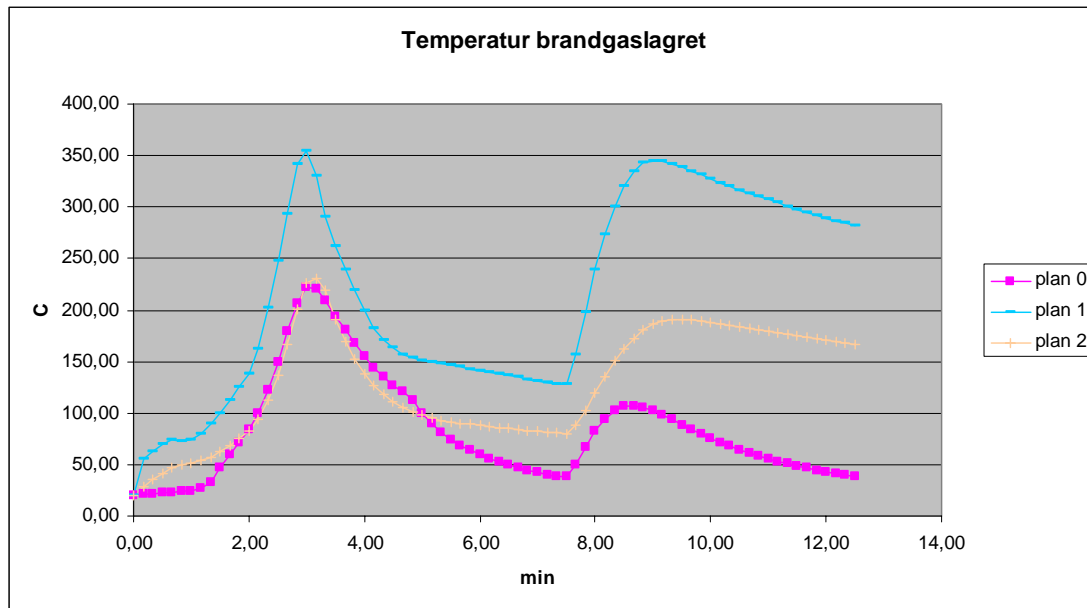


Fig 6.11 Temperatur under brandgaslager



*Fig 6.12 Temperatur i brandgaslagret*

## Simulering med mediumkurva och particleboard

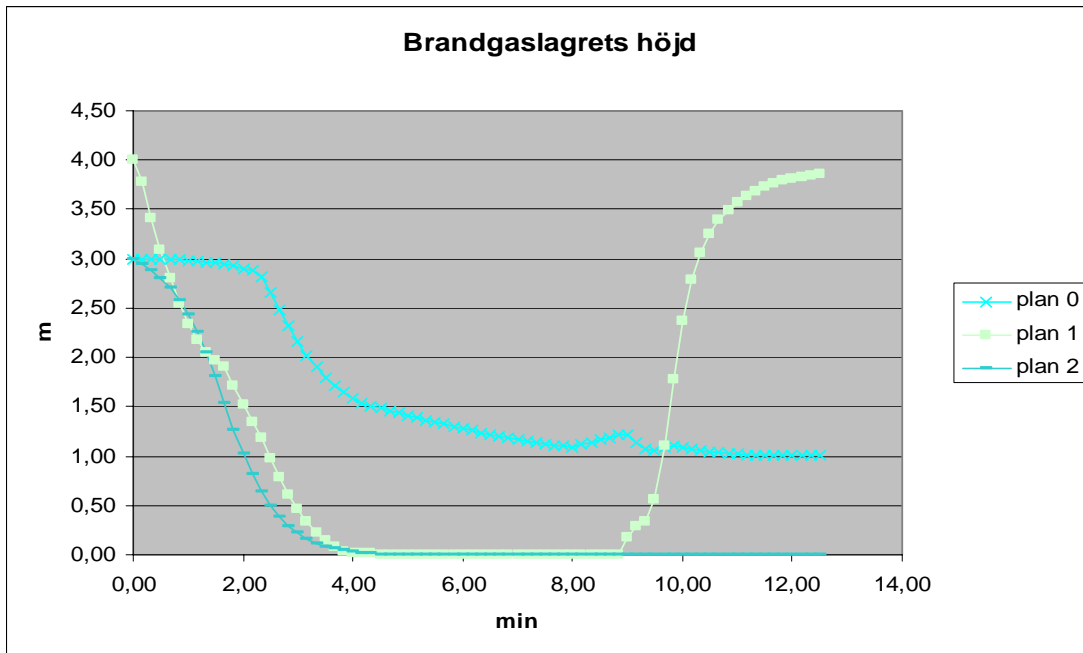


Fig 6.13 Avstånd mellan brandgaslager och golv

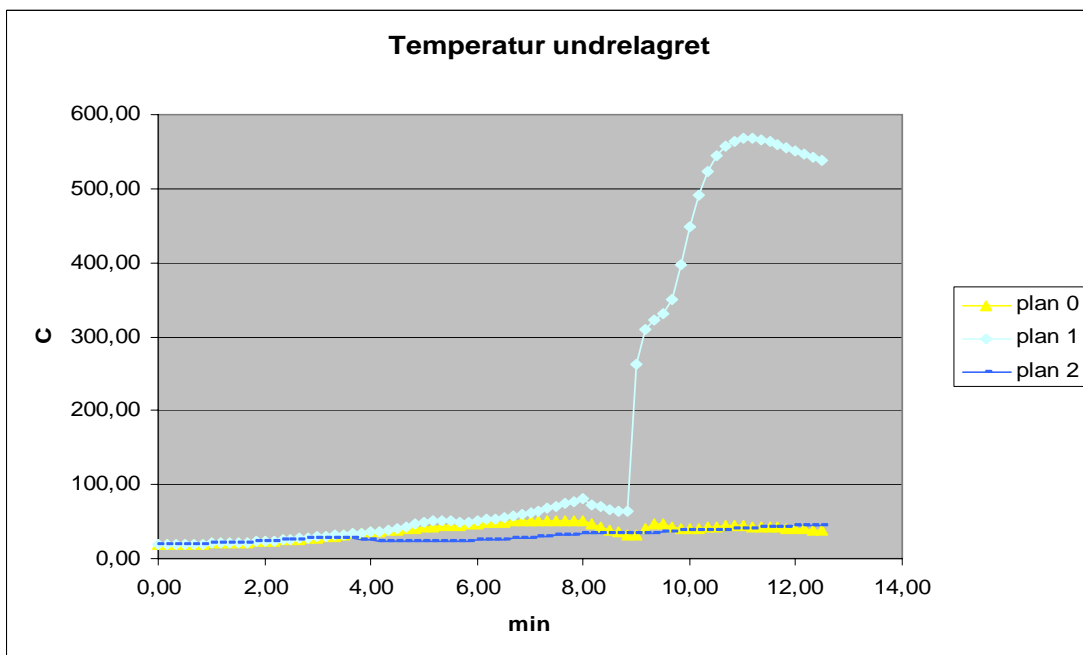
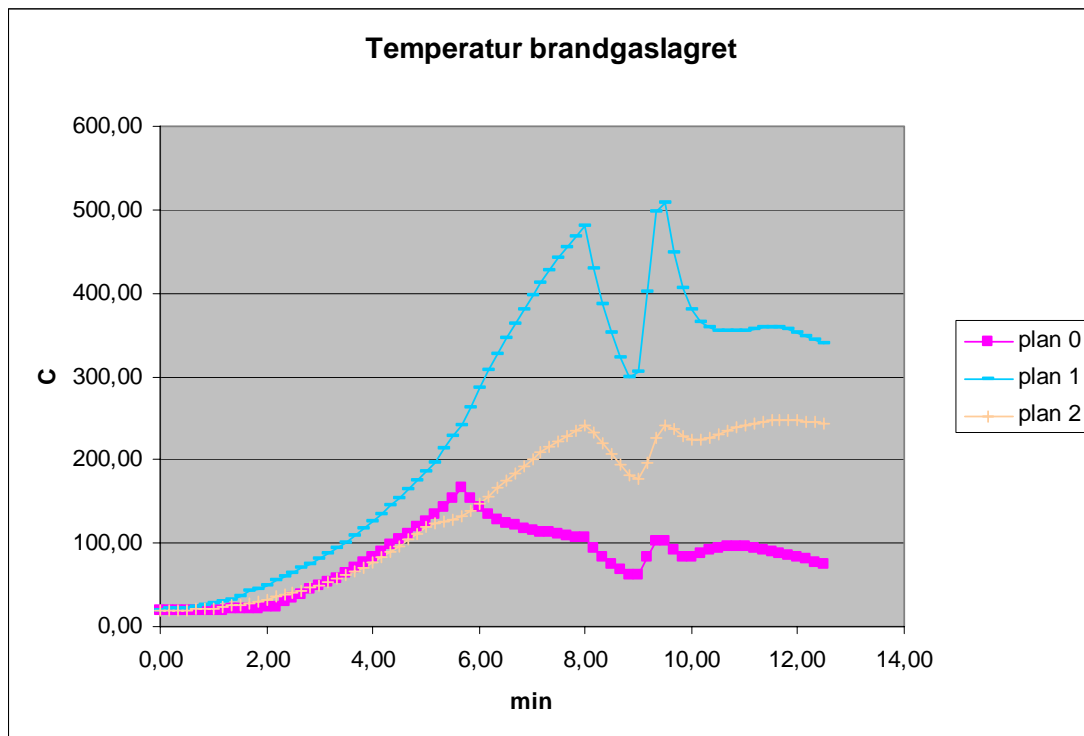


Fig 6.14 Temperatur under brandgaslager



*Fig 6.15 Temperatur i brandgaslager*

## Mediumkurva plywood

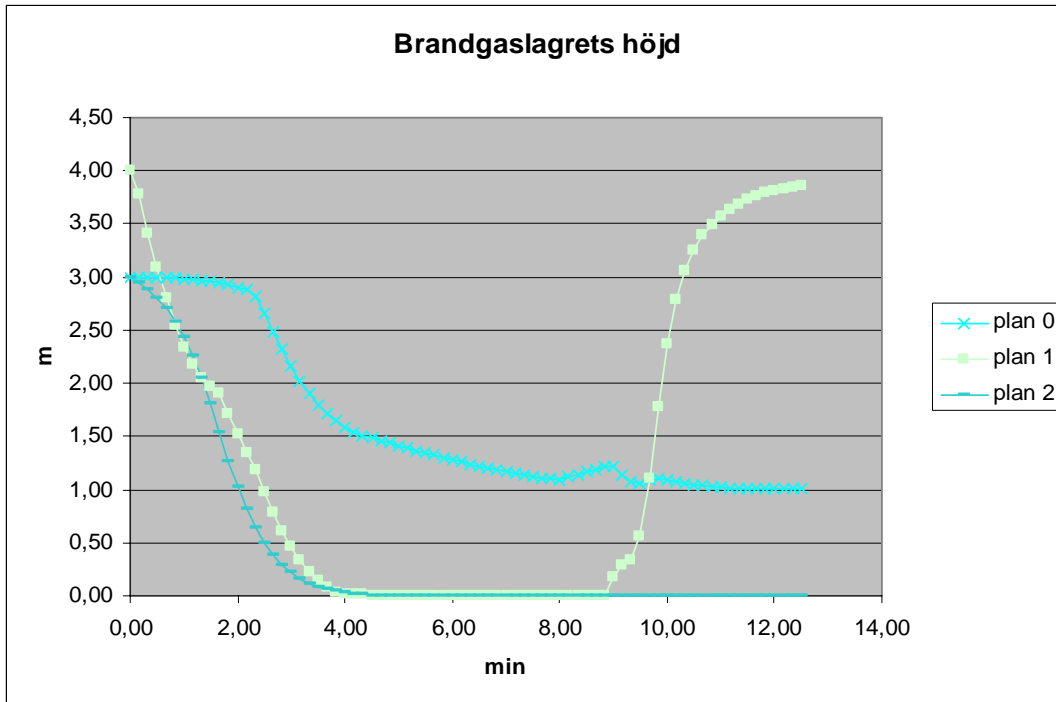


Fig 6.16 Avstånd mellan brandgaslager och golv

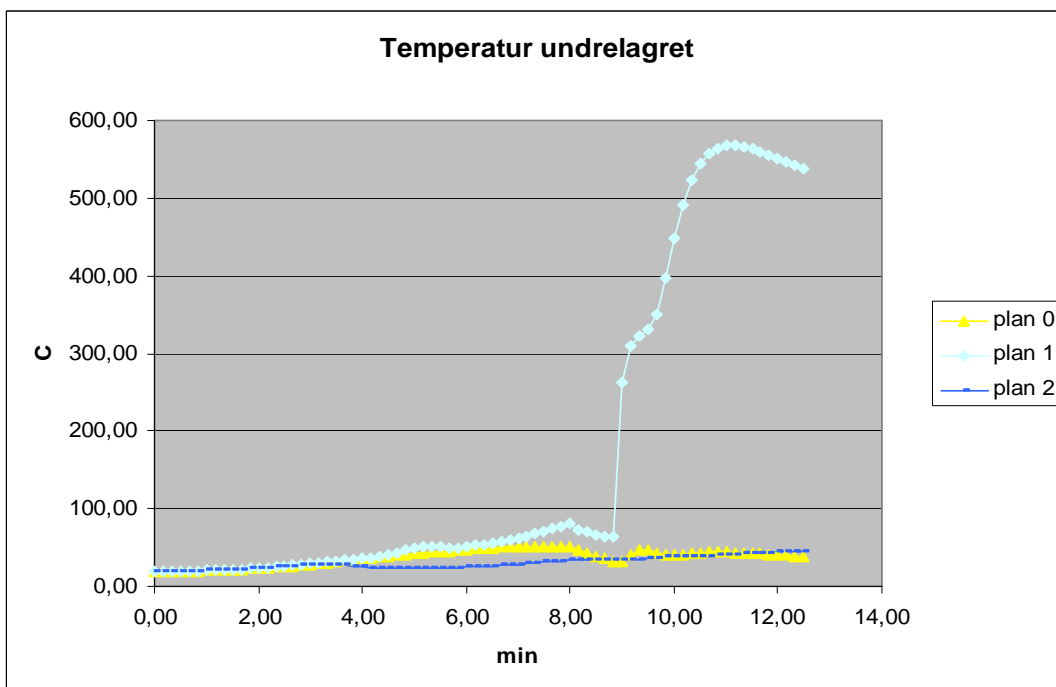
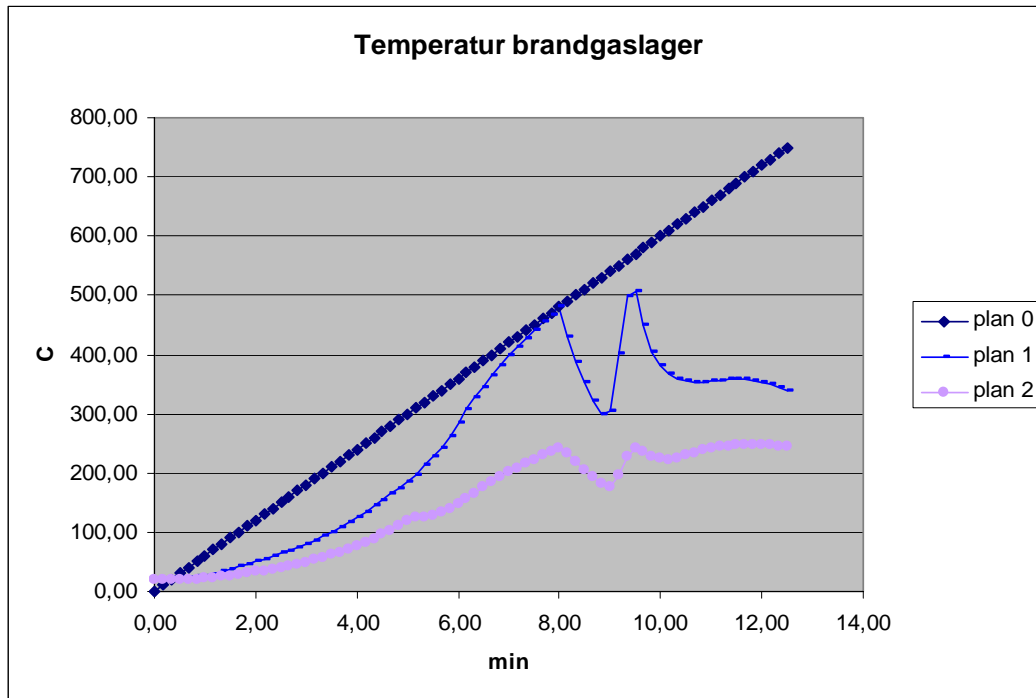


Fig 6.17 Temperatur under brandgaslager



*Fig 6.18 Temperatur i brandgaslager*

## 7 Resultat soffgrupp i korridor

Grafer från Argos

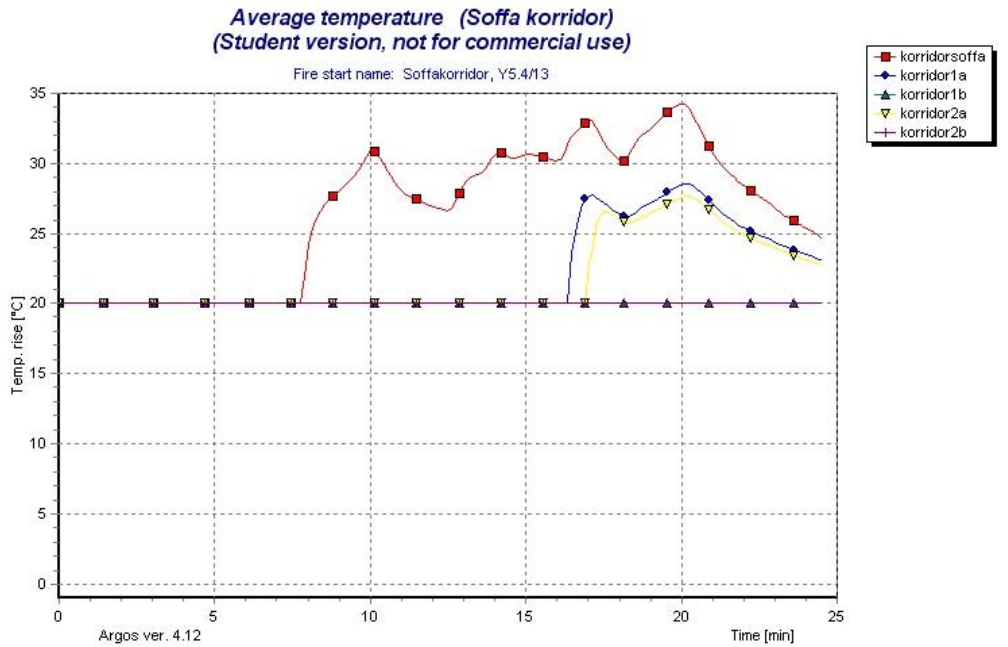


Fig 7.1 Medeltemperatur

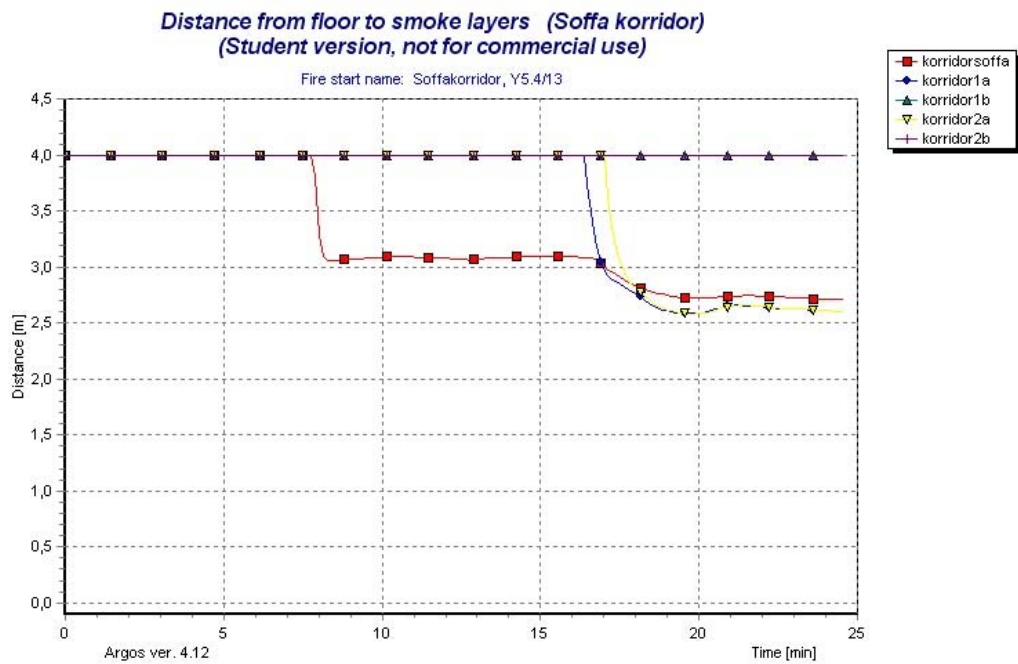


Fig 7.2 Avstånd mellan brandgaslager och golv



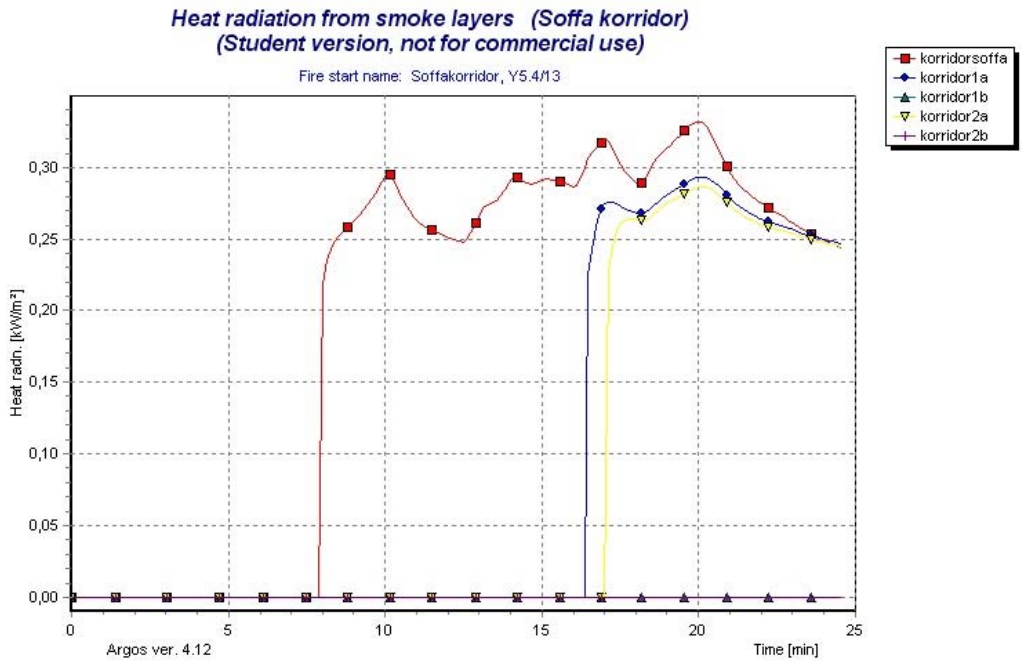


Fig 7.3 Strålning från brandgaslager

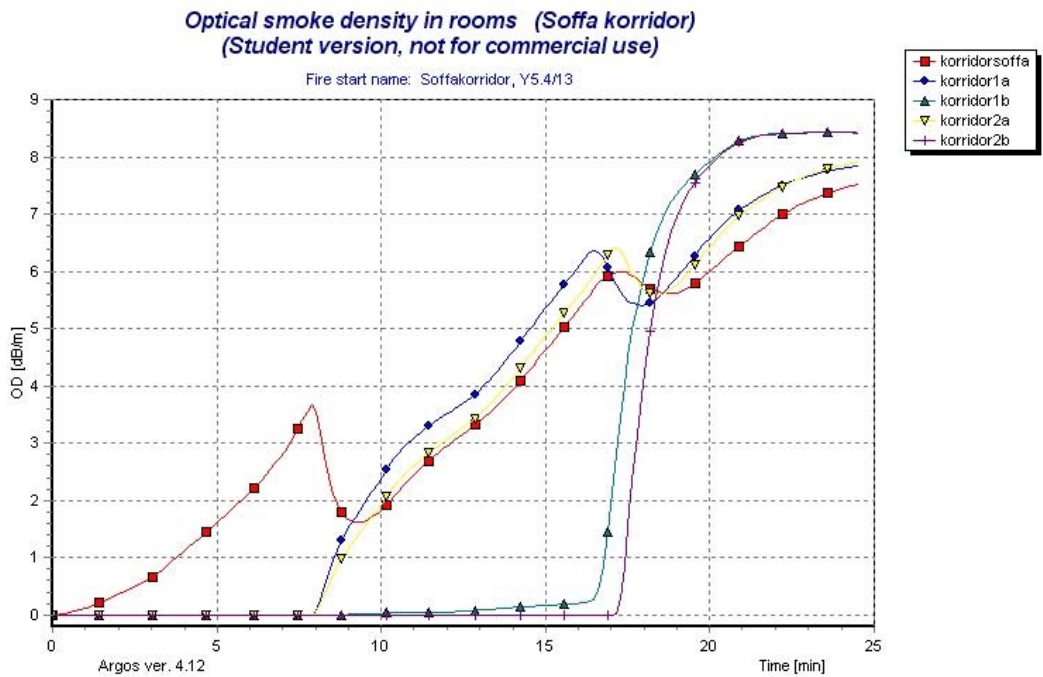


Fig 7.4 Optisk densitet i rum

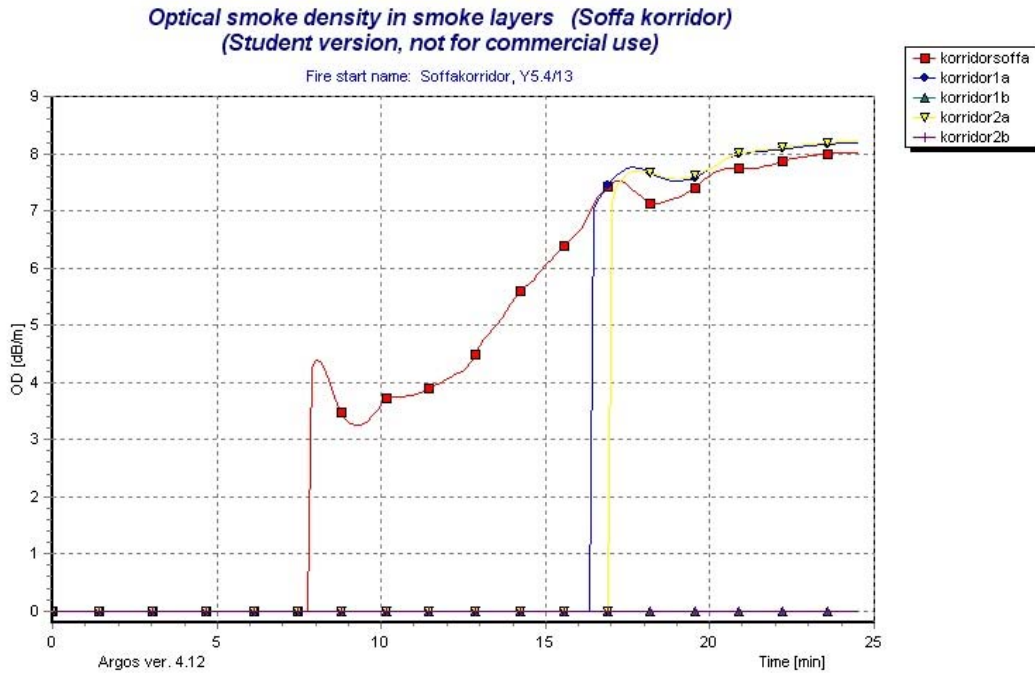


Fig 7.5 Optisk densitet i brandgaslager

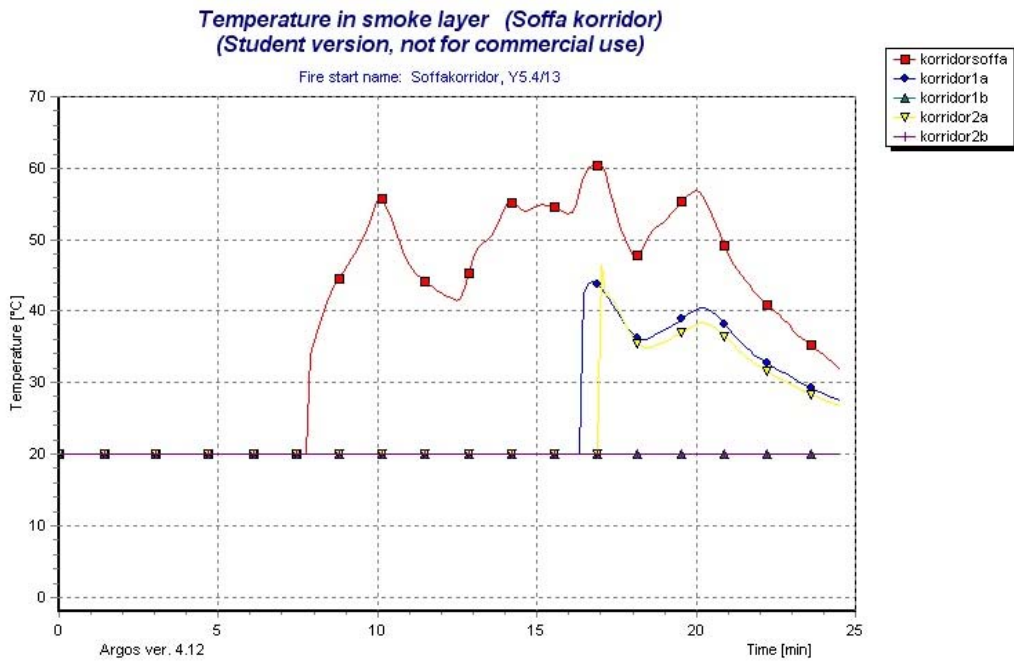


Fig 7.6 Temperatur i brandgaslager

## Mediumkurva :

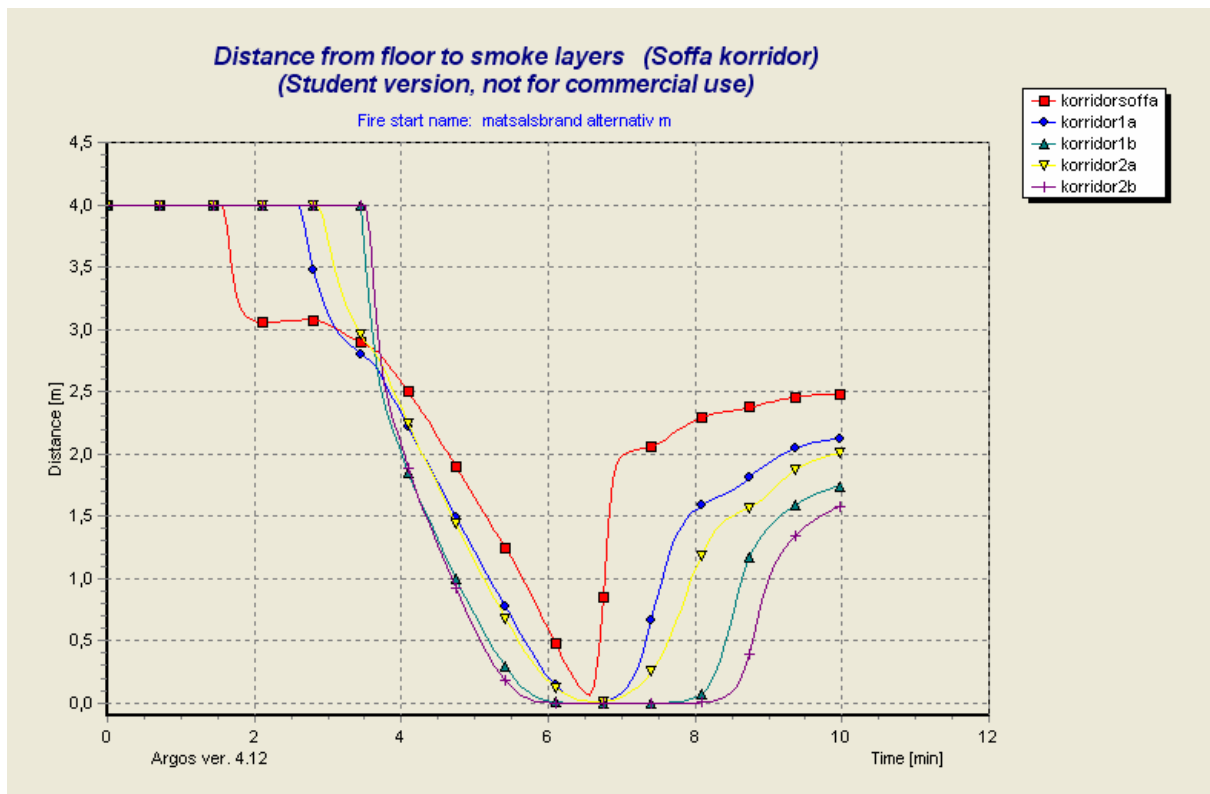


Fig 7.7 Avstånd till brandgaslager

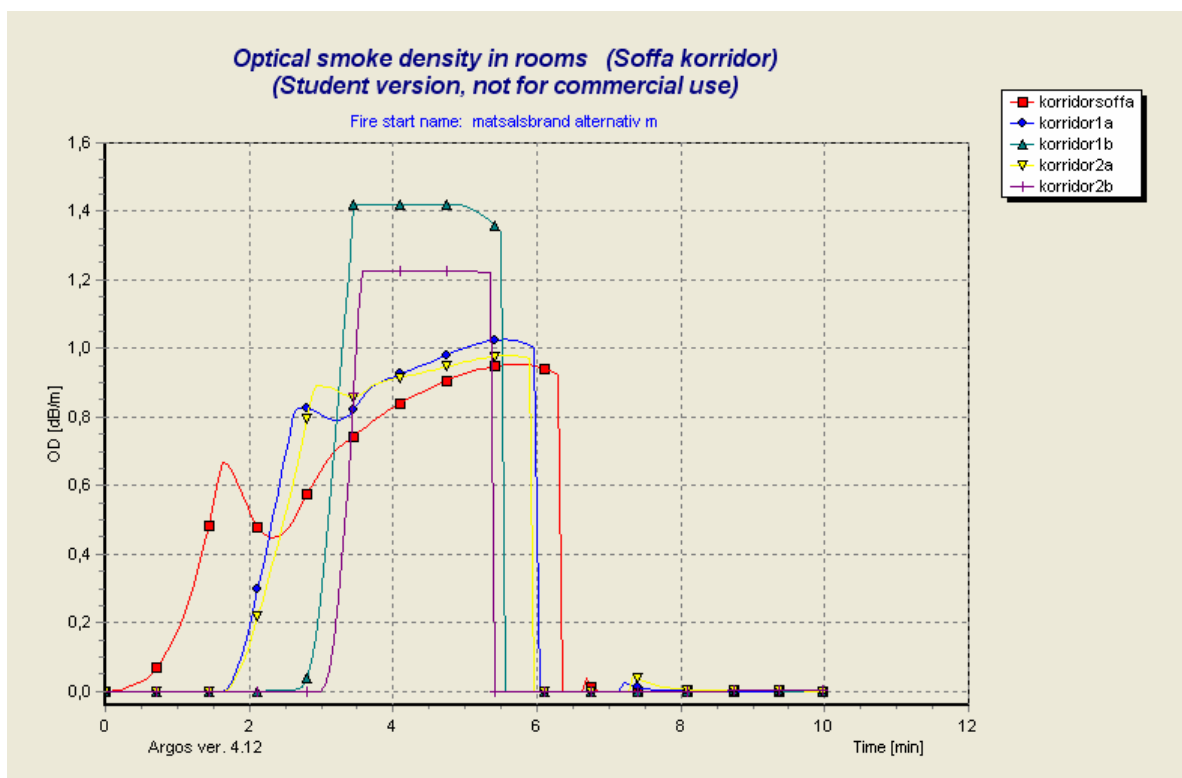


Fig 7.8 Optisk densitet i rum.

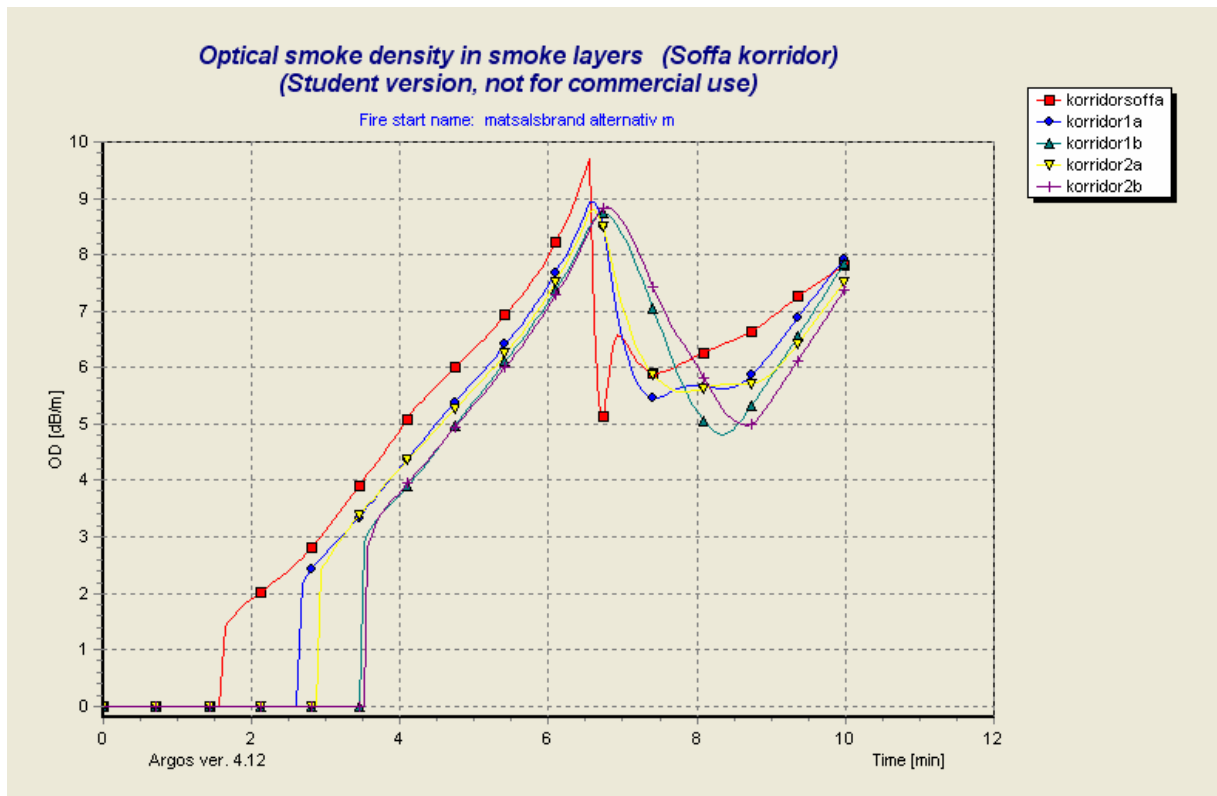


Fig 7.9 Optisk densitet i brandgaslager.

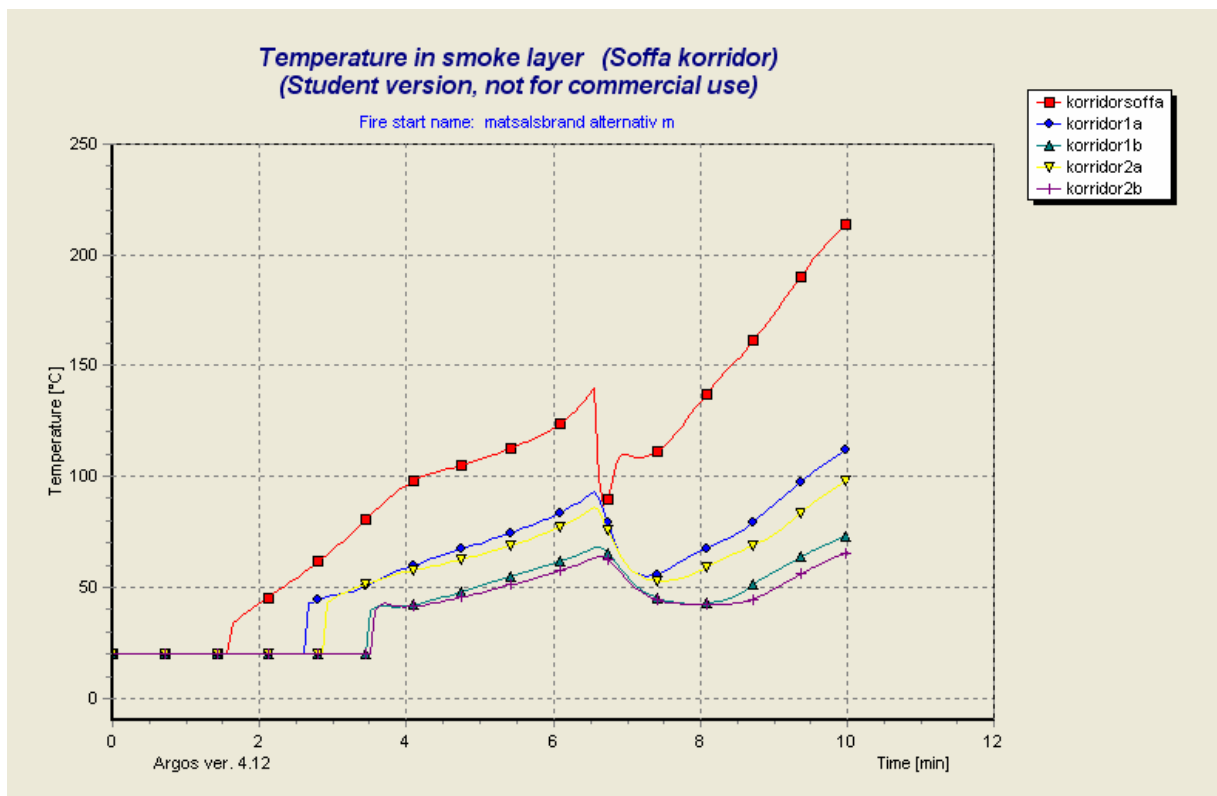


Fig 7.10 Temperatur i brandgaslager

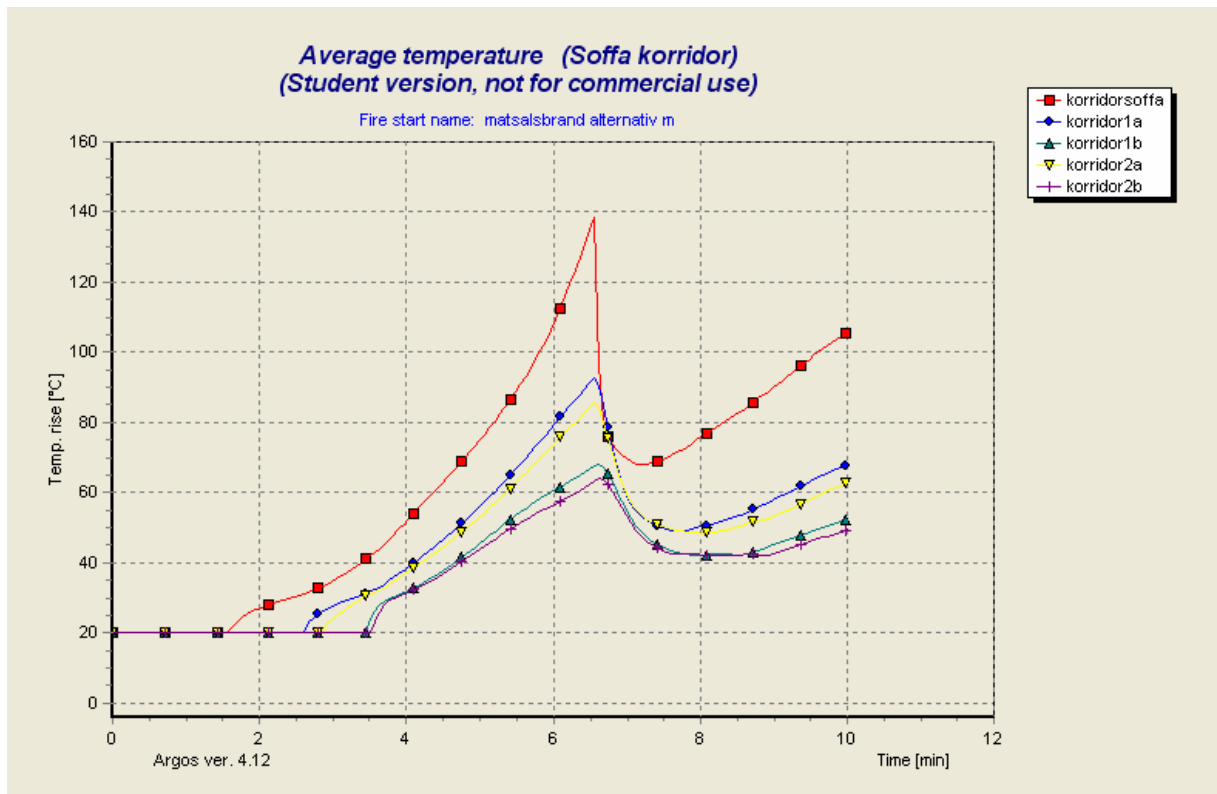


Fig 7.11 Medeltemperatur

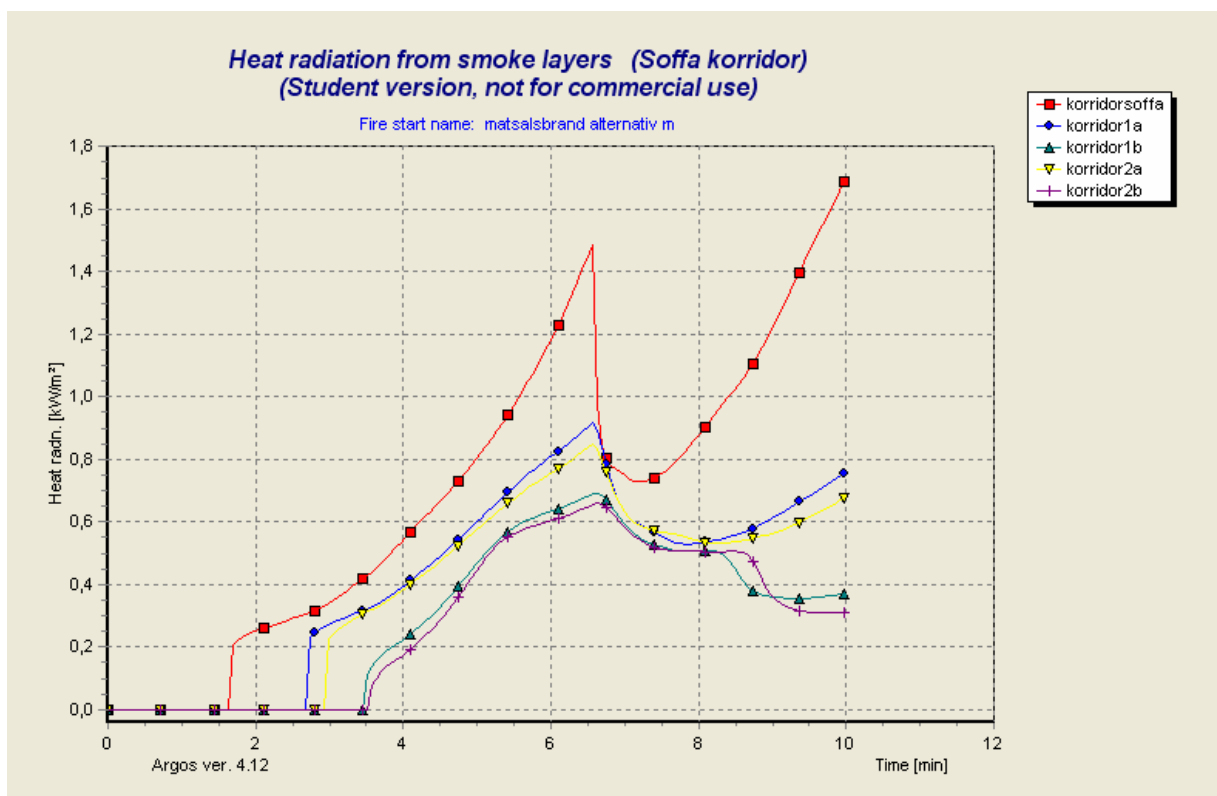


Fig 7.12 Strålning från brandgaslager.