

# ***DATORSIMULERING AV BRANDVENTILATION***

---

*RAPPORT RÄDDNINGSTJÄNSTAVDELNINGEN R53-147/96*

---



**RÄDDNINGSGS  
VERKET**

# **DATORSIMULERING AV BRANDVENTILATION**

Rapporten har utarbetats av  
Lars-Göran Stenblom och Björn Karlsson,  
Institutionen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola

Författarna svarar för innehållet

Räddningsverkets kontaktperson:  
Stefan Svensson, Enheten för metod och teknik  
Tfn dir 054 - 10 41 28

1996 Statens räddningsverk, Karlstad  
Räddningstjänstavdelningen  
ISBN 91-88890-28-7

Beställningsnummer R53-147/96  
1996 års utgåva

# SIMULATION OF SMOKE AND FIRE VENTILATION USING CFAST

## ABSTRACT

This report deals with the effects of smoke and fire ventilation. The main idea with this report was to use the computer program CFAST to study the effects on the height of the smoke layer and temperature when simulating a fan. A very thorough sensitivity analysis was also made. Nine different scenarios were simulated, 500, 1000 and 2000 kW in room 1,2 and 3. Temperature, smoke layer and heat release rates were presented in diagrams. The results shows that fans can not be simulated in CFAST and also that during live fire tests in a full scale fire fighter training facility some sort of pressure relief should be installed when the fire size exceed 1000 kW.

**Keywords:** fire ventilation, positive pressure ventilation, ppv, CFAST, simulation, fire modelling.



## SAMMANFATTNING

Den här rapporten ingår som del i Räddningsverkets projekt "Metoder och Teknik för Brandventilation". Syftet med denna studie är att skapa ett underlag för brandventilationsförsök i ett brandövningshus (ett så kallat "Luleåhus").

I denna studie har en mycket omfattande känslighetsanalys gjordes där effekterna av vind, springor, syrehalt, fläktar, tak- och ytmaterial, vertikal eller horisontell ventilation samt byggnadens rumsgeometri kontrollerades. Känslighetsanalysen låg sedan till grunden för hur och med vilken indata som scenarier som kom att simuleras.

Därefter valdes nio scenarier som simulerades. Brandeffekterna 500, 1000 och 2000 kW simulerades vardera i rum 1, 2 och 3. I samtliga simuleringarna öppnades dörrar och fönster efter 600 sekunder. Detta med tanke på att brandförsvaret antogs komma till platsen efter cirka 10 minuter.

Resultatet av simuleringarna, dels av känslighetsanalysen och dels av scenarierna, är att fläktar inte går att simulera på ett tillfredsställande sätt i CFAST. Vid de praktiska experimenten i Revinge bör det anordnas med tryckavlastning då det kan bli fråga om brandgasexplosion då brandeffekten överstiger 1000 kW. Då experimenten genomförs bör även kompletterande simuleringar utföras så att hänsyn tas till de förhållande som råder för tillfället.

Under hösten 1995 kommer det att utges en ny uppdaterad version av CFAST som kommer att kunna simulera fläktar och med andra ord blir det då möjligt att komplettera de simuleringar som är gjorda i den här studien.



## Summary

This report is a part of a major project on smoke and fire ventilation. The purpose with this report was to form a theoretical basis for live fire tests on smoke and fire ventilation in a fire fighters training facility.

In this work a very extensive sensitivity analysis was conducted, where the effects of wind, openings, level of oxygen, ceiling- and wall materials, vertical ventilation, horizontal ventilation and the geometry were tested in CFAST. The sensitivity analysis became the basis for the scenarios which were to be simulated.

Nine scenarios were chosen to be simulated. The rates of heat release 500, 1000 and 2000 kW were simulated in each of the rooms 1, 2 and 3. In all of the scenarios doors and windows were opened after 600 seconds, in order to imitate the arrival of the fire brigade and their actions.

The results from the simulations show that positive pressure ventilation not can be simulated with CFAST satisfactory. During the live fire tests, pressure relief should be arranged, since deflagration could occur when the rate of heat release exceeds 1000 kW. During the live fire tests complementary simulations should be conducted in order to investigate the conditions at the site.

Some time during fall of 1995 a new version of CFAST are to be released. This version will be able to simulate fans which should make the simulations in his work, with positive pressure ventilation, possible.





# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>3</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>5</b>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>	<b>7</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>9</b>
<b>2 METODER</b>	<b>11</b>
2.1 Tillvägagångssätt och upplägg	11
2.2 Datormodellen	11
2.3 Brandförloppsmodellernas begränsningar och tillförlitlighet	12
2.4 Byggnadens utformning	13
2.5 Valda geometrier för känslighetsanalys och scenarion	14
<b>3 KÄNSLIGHETSANALYS</b>	<b>15</b>
3.1 Vind	15
3.2 Springor	15
3.3 Syrehalt	17
3.4 Fläktar	19
3.5 Tak- och ytmaterial	21
3.6 Takventilation	22
3.7 Geometri	23
<b>4 RESULTAT</b>	<b>27</b>
4.1 Scenario 1a	27
4.2 Scenario 1b	29
4.3 Scenario 1c	31
4.4 Scenario 2a	33
4.5 Scenario 2b	35
4.6 Scenario 2c	37
4.7 Scenario 3a	39

4.8 Scenario 3b	41
4.9 Scenario 3c	43
<b>5 DISKUSSION</b>	<b>45</b>
5.1 Scenario 1 a, b och c	45
5.2 Scenario 2 a, b och c	45
5.3 Scenario 3 a, b och c	45
5.4 Rekommendationer inför utförande av experiment	45
5.5 Fortsatta beräkningar inför experimenten i Revinge	46
<b>APPENDIX</b>	<b>47</b>

# 1 INLEDNING

Hösten 1994 påbörjade institutionen för brandteknik, LTH och Statens Räddningsverket ett samarbete inom projektet "Metoder och Teknik för Brandventilation". Projektets mål är att ge en mycket noggrann redogörelse för möjligheter, brister, problem och svårigheter samt rekommenderat tillvägagångssätt för olika metoder för brandventilation. Vidare ska en vetenskapligt underbyggd metodik, inklusive teorier om brandventilation, som är anpassad för fältbruk tas fram.

Projektet utförs i 4 delar där

Del 1 består av ett omfattande teoretiskt underlag för brandventilation.

Del 2 omfattar genomförande av experiment och tester.

Del 3 består av analys av resultaten.

Del 4 innefattar framtagning av nya/förbättrade metoder, ny/förbättrad teknik samt utbildningsunderlag.

Del 1 utförs i flera steg. Som första steg utförs inledande datorberäkningar och en delrapport skrivs. Arbetet som presenteras här utgör denna delrapport.

Det har framkommit, under arbetets gång, att det är mycket fördelaktigt att samköra Del 1 och Del 2 i projektet. Arbetsgången som rekommenderas är följande:

- a) I ett första skede specificeras en byggnadstyp med en god noggrannhet.
- b) Inledande beräkningar, för ett flertal scenarion, utförs för denna byggnadstyp.
- c) Inledande försök utförs där vissa modifikationer i scenariobeskrivningen kan ha gjorts
- d) Ytterligare beräkningar utförs för de noggrant specificerade scenarion
- e) De slutliga experimenten utförs

I den ursprungliga projektplanen för Del 1 skulle ett flertal byggnadstyper behandlas. Dock har endast experimenten för en av dessa tillräckligt noggrant specificerats; de experiment som skall utföras i Brandövningshuset i Revinge. Denna delrapport behandlar därför endast denna byggnadstyp. Ytterligare simuleringar av denna byggnadstyp kommer eventuellt att utföras efter de inledande försöken.

Bränder i andra byggnadstyper kommer eventuellt att simuleras när dessa har specificerats mer noggrant.



## 2 METODER

Det här kapitlet kommer att presentera rapportens upplägg, tillvägagångssätt samt de verktyg i form av brandsimuleringsprogram som använts vid sammanställandet av rapporten. Rapporten är en del av totalt fyra i ett projekt beställt av Räddningsverket och behandlar ämnet brandventilation. Målet med hela projektet är att ge en redogörelse för möjligheter, brister, problem samt resultera i ett rekommenderat tillvägagångssätt för olika metoder/tekniker för räddningstjänsten vid applicering av brandventilation.

### 2.1 Tillvägagångssätt och upplägg

Tillvägagångssättet vid skrivandet av rapporten var att en grundlig känslighetsanalys gjordes för att på så vis få en uppfattning över begränsningarna dels i datamodellens kapacitet och dels i det resultat som modellen presenterade. Någon dokumentation där programmet används till att simulera fläktar har ännu inte publicerats. Med andra ord var det av stor vikt att göra en noggrann översyn av programmets möjlighet att kunna simulera fläktar på ett realistiskt sätt.

Efter att känslighetsanalysen var genomförd valdes de scenarion som var av intresse att simulera. Tanken med urvalet var att scenarierna skulle gå att genomföra praktiskt samt att scenarierna skulle ge så mycket information som möjligt vad gäller brandventilation. De valda scenarierna simulerades och resultatet analyserades därefter. I diskussionskapitlet resoneras sedan om hur den fortsatta tillämpningen av CFAST bör se ut och vilka restriktioner som bör finnas med vid användandet av modellen samt tolkningar av simuleringarna.

### 2.2 Datormodellen

Programpaketet HAZARDI 1.2 är utvecklat vid National Institute of Standards and Technology (NIST), Washington DC i USA. Paketet innehåller 8 delprogram som beskrivs nedan:

CEDIT	Program som ställer frågor om rumsgeometri, väggmaterial, brandstorlek o.s.v. och genererar en indatafil till programmet CFAST.
CFAST	En tvåzons modell som räknar gastemperaturer, brandgasskiktets tjocklek, tryck, rökspridning inom en byggnad och mycket mer. Här används indatafilen som skapades i programmet CEDIT.
MLTFUEL	Program där användaren kan specificera ett flertal olika brinnande objekt. Programmet räknar om detta till en enda brandförloppskurva.
FIREDATA	Ett databasprogram med information om olika materials egenskaper.
CPLOT	Ett program som gör att användaren kan rita kurvor av resultaten från FAST.
EXITT	Program som använder resultaten från CFAST och räknar utrymningsmöjligheter.
DETECT	Program som räknar utlösningstid för värmedetektorer.
TENAB	Program som räknar strålning och giftiga gaser som människor utsätts för.

Tvåzons modellen i HAZARDI 1.2 paketet kallas CFAST. Detta antas vara ett av de mest avancerade tvåzons modellerna som finns kommersiellt tillgängliga. Modellen kan ta hänsyn till brand i en byggnad med 15 rum. Användaren specificerar lokalernas geometri, öppningar mellan dessa och ut till det fria, material i omslutande konstruktioner och den dimensionerande branden. Som exempel på utdata kan nämnas brandgasskiktets höjd, gastemperatur och gasernas sammansättning i varje rum som funktion av tid.

Användning av modellen kräver kunskap inom ämnet brandfysik.

### **2.3 Brandförloppsmodellernas begränsningar och tillförlitlighet**

Ett flertal studier har utförts vad gäller två-zonsmodellernas tillförlitlighet, där uppmätta värden från experiment har jämförts med modellernas resultat (se, t.ex. Hägglund, 1985, Hägglund, 1992, Yamana et al, 1985, Söderbom, 1992 och Särdaqvist, 1993). Experimenten utfördes i både stora och små rum där angränsande utrymmen bestod av olika typer av rum, ofta ett flertal rum. Resultaten av dessa undersökningar visar en bra tillförlitlighet vad gäller brandrummet och de närmast angränsande utrymmen.

De som har utfört dessa studier är dock experter i ämnena brandfysik och brandkemi, har stor erfarenhet av modellering och kan därmed konsten att förenkla en något komplicerad geometri till en ekvivalent sådan som kan användas i modellerna.

Nedan nämns endast typfall av de mest uppenbara bristerna i modellernas användningsområde.

En mycket svag brand i ett stort utrymme kommer inte nödvändigtvis att resultera i en tvåzons situation. En svag plym i ett stort utrymme kan leda till att brandgaserna samlas i mitten av rummet och inte under taket, vilket innebär att takventilation fungerar ej. En tvåzons modell skulle skicka brandgaserna hela vägen upp till taket och anta att brandgaserna omedelbart sprider ut sig under hela takytan. Modellen skulle ta hänsyn till takventilation och därmed förutsäga en mindre farlig situation än kan uppstå vid verklig, svag brand.

På samma sätt kommer inte en stor brand i ett litet utrymme att leda till tvåzons bildning. Brandplymens hastighet leder till turbulans och en enda blandad zon uppstår.

En mycket stor brand i en lokal med relativt liten höjd kan resultera i att flammen når taket och breder ut sig under detta. Ett sådant scenario innebär att plymmodellen inte helt gäller längre. Är inte så fallet måste beräkningsresultatet kritiskt granskas med hänsyn till denna begränsning i plymmodellen.

Det kan vara svårt att modellera bränder i lokaler som har mycket stor golvyta i relation till rumshöjden. Tvåzonsmodellen antar att brandgaserna sprids momentant över hela takytan och kyls därför av på grund av kontakt med en stor, kall takyta. I verkligheten samlas gaserna i en relativt tjock "kudde" under en del av taket och breder ut sig sakta över takets area. För att bättre beskriva denna förflyttningshastighet i detta fall bör användaren dela upp lokalen i mindre rum, som dock har mycket stora öppningar mellan varandra (i princip hela lokalens tvärsnittsarea, men där öppningen har höjd från golvet till t.ex. 10 cm från taket).

Där lokalen är mycket hög med relativt liten golvyta kan plymen ibland inte driva brandgaserna hela vägen upp till taket eftersom gasflödet i plymen kyls av med höjden. Detta kan leda till rökfyllnad som börjar på en relativt låg höjd samt att takventilationen inte fungerar. En tvåzons modell skulle, som tidigare, skicka brandgaserna hela vägen upp till taket, anta att takventilationen fungerar och börja rökfyllnaden uppe vid taket.

I ovannämnd typ av lokal kan också brandplymens radie bli så stor att den på en viss höjd kommer i kontakt med rummets väggar. Därmed är plymmodellens antagande, om att massflöde kommer in i plymen från sidorna, ogiltigt och modellen kan inte antas ge riktiga resultat.

Om sprinkler utlöses kommer tvåzons modellen inte längre att gälla på grund av kylning och omrörning av brandgasskiktet. I detta fall kan dock tvåzons modellen antas gälla utanför det sprinklade området, i brist på noggrannare modeller.

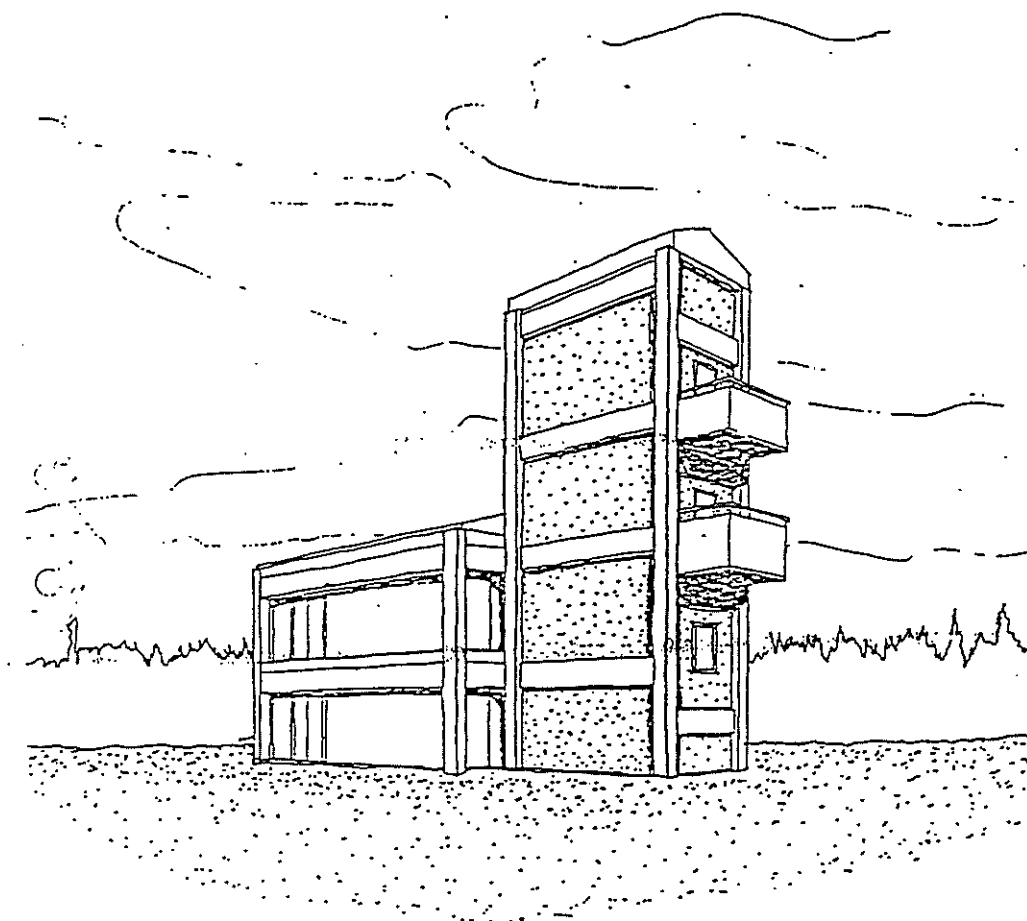
Ovanstående kan endast betraktas som exempel på två-zonsmodellernas begränsningar. För en djup förståelse av två-zonsmodellernas begränsningar och tillförlitlighet krävs att användaren har en kunskap inom ämnena brandfysik och brandkemi samt en viss erfarenhet av att använda dessa modeller. I många dimensioneringssituationer krävs att användaren förenklar en komplicerad geometri till en enklare sådan som kan användas i modellerna. Sådan kunskap kan endast inhämtas genom att använda modellerna mycket och kritiskt utvärdera resultaten.

Det poängteras därför att modellerna har vissa bristfälligheter, att för varje scenario måste ett flertal jämförande körningar utföras och att resultaten måste utvärderas kritiskt. Modellerna kan endast användas som ett hjälpmedel.

## 2.4 Byggnadens utformning

Byggnaden som simuleras i denna rapport och senare kommer att användas i de praktiska försök som följer denna rapport är brandövningshuset på Revinge. Brandövningshuset består av ett trapphus i fyra plan samt två lägenhetsvåningar om vardera 40 m<sup>2</sup>. Huset är uppbyggt med friliggande prefabricerad betongstomme bestående av pelare och balkar. Bjälklagen består av platsgjuten betong, isolerad mot värmen från såväl övre som undre plan. Väggarna är uppförda i lecablock. Ritningar över byggnaden presenteras i Appendix A.

För de praktiska och teoretiska experimenten användes våningsplan två samt trapphuset. Första våningen hölls stängd under datorsimuleringarna.



Brandövningshuset, "Luleåhuset"

## 2.5 Valda geometrier för känslighetsanalys och scenarion

För att kunna simulera ett brandförlopp i CFAST måste man ange byggnadens geometri som indata. Det är viktigt att man håller denna geometri så enkel som möjligt dels för att programmet ska klara av att simulera olika scenarion och dels för att tillförlitligheten minskar med allt för komplicerade geometrier.

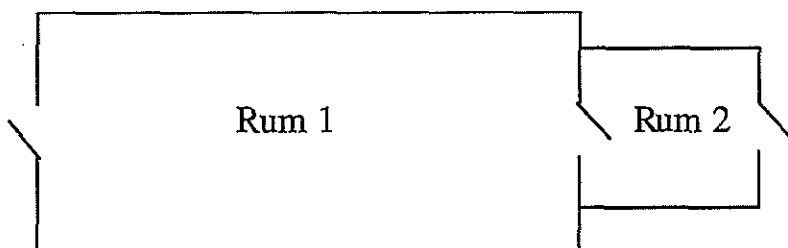
Två stycken geometrier valdes för att simulera de scenarion och känslighetsanalyser som presenteras i rapporten. Geometrin som innehöll fyra rum användes vid flertalet av simuleringarna medan geometrin innehållande två rum endast brukades då fläkt simulerades.

Öppningar mellan rummen simulerades som dörrar à 1m x 2m. Från rum 1 och rum 2 fanns det öppningar ut 0.2m höga och 0.6m breda som simulerades öppna hela tiden.

Ett fönster 1m x 1m fanns också i rum 1. I rum 4 simulerades en taköppning på 0.8m<sup>2</sup>.

Rum 1 - Brandrummet i fläkt scenarierna

Rum 2 - Trapphuset



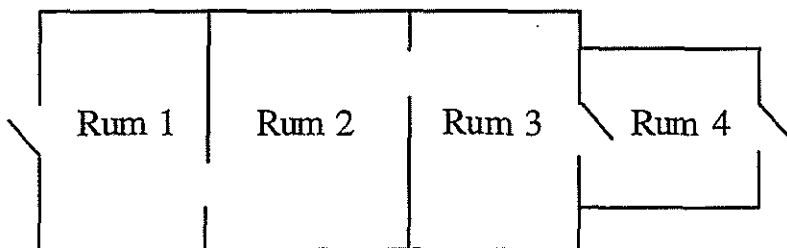
*Figur 2.51 Den här rumsindelning användes för att kunna simulera över- och undertrycksventilering med hjälp av fläktar. Vid mer komplicerade geometrier klarade inte programmet av att lösa de ekvationer som genererades.*

Rum 1 - Brandrummet

Rum 2 - Mellanrum

Rum 3 - Mellanrum

Rum 4 - Trapphuset



*Figur 2.52 Rumsindelningen ovan användes vid flertalet av känslighetsanalyserna och scenarierna som simulerades. Det är denna rumsgeometri som bäst stämmer överens med rumsindelningen i brandövningshuset på Revinge.*



### 3 KÄNSLIGHETSANALYS

Datamodellen som använts vid simuleringarna är ett verktyg som kan utnyttjas för att få fram vissa indikationer på hur rök och varma gaser byggs upp och transporteras under ett verkligt brandförlopp. För att få modellen att komma så nära verkligheten som möjligt och för att kunna dra några slutsatser kring detta måste en känslighetsanalys utföras. I analysen bör så många som möjligt av de ingående parametrarnas påverkan av brandförloppet kontrolleras. Vissa parametrar har mindre betydelse än andra och det är en viktig kunskap att ha med sig då man ska drar slutsatser av simuleringarna. De parametrar som valts att analyseras är, vind, springor, syrehalt, fläktar, tak- och ytmaterial, vertikal eller horisontell ventilation samt byggnadens geometri.

I testfallet, som användes vid samtliga känslighetsanalys simuleringar, antogs en 1000 kW brand i rum 1. Alla dörrar och fönster som ledde ut antogs vara stängda under de första 600 sekunderna medan springorna från rum 1 och rum 2 simulerades öppna hela brandförloppet. Efter 600 sekunder öppnades alla fönster och dörrar och de förblev öppna under resterande simulering. Från denna grundfil gjordes vissa förändringar beroende på vilken parameter som skulle kontrolleras.

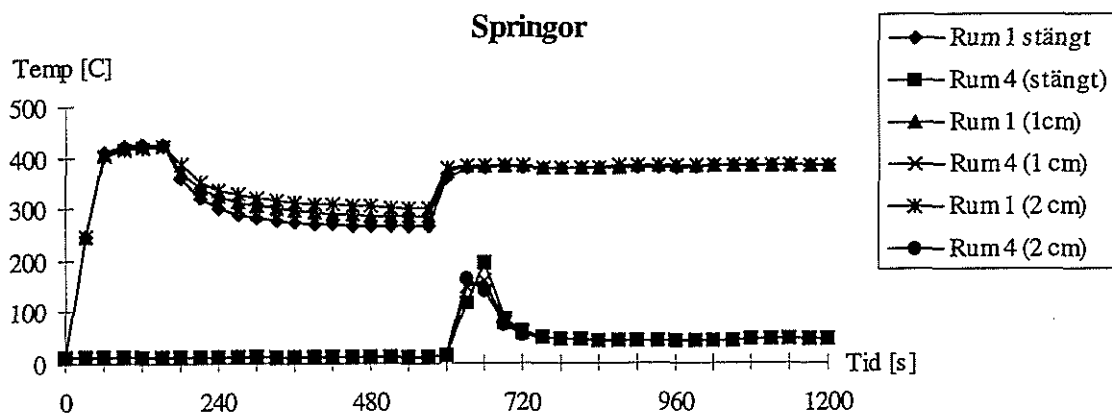
#### 3.1 Vind

Simuleringar skulle göras där hänsyn togs till vindens styrka och riktning. Problem uppstod då det visade sig att man inte kunde ha fler än en vindriktning på öppningar som leder från ett rum i byggnaden och ut. Detta oberoende av om öppningarna var placerade på olika sidor av rummet och med andra ord hade olika vindpåkänningar. Därför valdes att i alla simuleringar alltid sätta vindparametern lika med noll. Det är bra att reflektera över hur simuleringarna hade sett ut om man kunnat applicera ett vindtryck på vissa öppningar i byggnaden. Effekten skulle sannolikt bli den samma som att placera en fläkt i öppningen. Men datorprogrammet klarar inte med sin nuvarande utformning att på ett bra sätt simulera vind och de effekter vindpåkänningarna kommer att medföra på brandförloppet. Vid jämförande mellan de teoretiska simuleringarna i CFAST och de praktiska experimenten, i brandövningshuset på Revinge, bör vindpåverkan finnas med som en felkälla. Några figurer finns inte presenterade då resultaten var helt identiska oberoende om vindfaktorn varierades från -1 till 1.

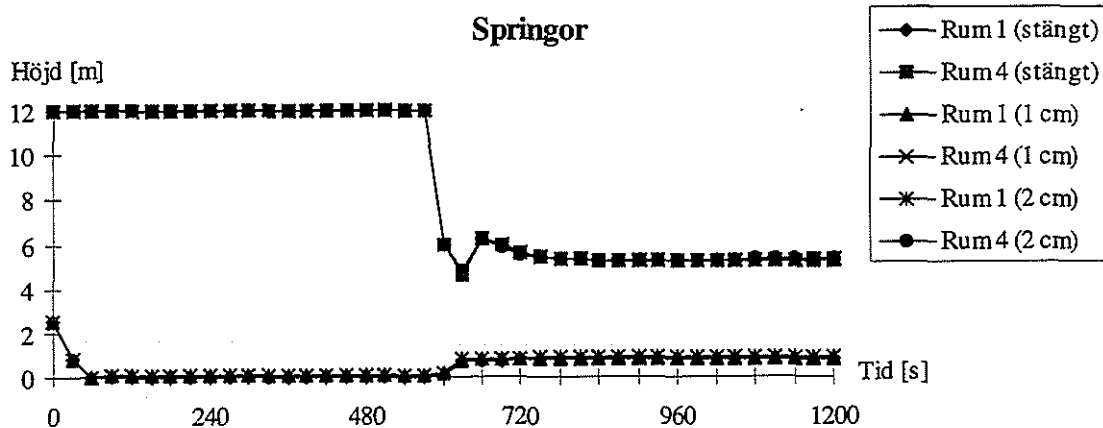
#### 3.2 Springor

Springor eller läckage areor simulerades. Detta för att se hur temperaturen, brandgaslagrets höjd samt brandeffekten påverkades av otätheter i byggnaden. Normalt sett har man alltid en mängd otätheter i en byggnad som gör att tryckutjämning kan ske och syre kan nå branden. För att se hur stor effekt detta har på olika brandscenario genomfördes flera simuleringar. Dels med varierande effekt och dels med varierande antal och storlek på springorna. Resultatet av dessa simuleringar presenteras i figurerna 3.21-3.23

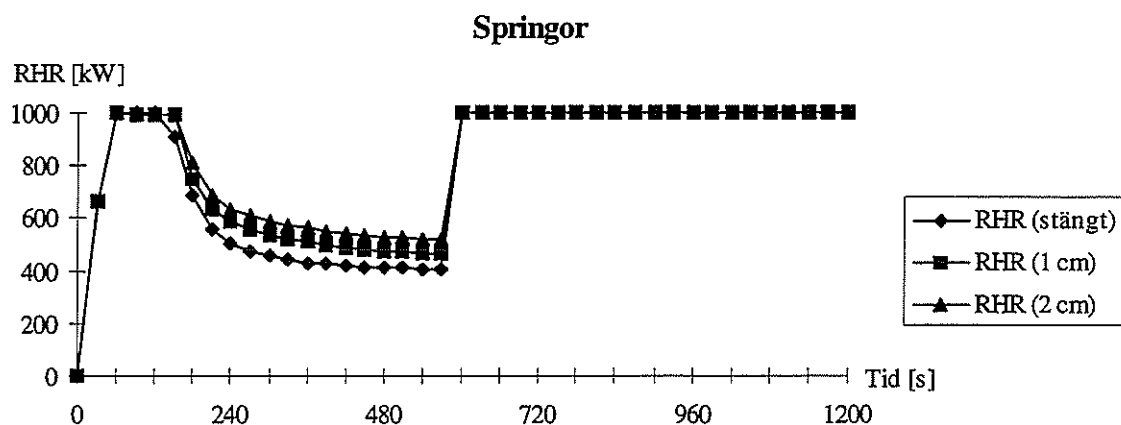
De slutsatser man kan dra av detta är att påverkan av springor har liten effekt på brandgaslagrets temperatur om springorna inte är allt för stora. Däremot så resulterar springor mellan rum 3 och rum 4 i att det kommer ut mycket rök i trapphuset (rum 4). Vad man måste ha i åtanke då man tolkar resultaten av detta är att röken som kommer ut i trapphuset har låg temperatur och kommer att därför att skikta sig mycket dåligt. Röken kommer därtill att vara mycket tunn och sikten kommer därför inte att vara helt nedsatt trots att rök spridits till trapphuset. Brandens effekt kommer att påverkas till viss del men skillnaden är mycket liten och det samma kan sägas om temperaturen i brandrummet.



Figur 3.21 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 1. Figuren visar att det är mycket små skillnader i resultat beroende på om man använder springor eller inte. Trenden är vid ökande springstorlek sjunker temperaturen, vilket är vad som kan förväntas.



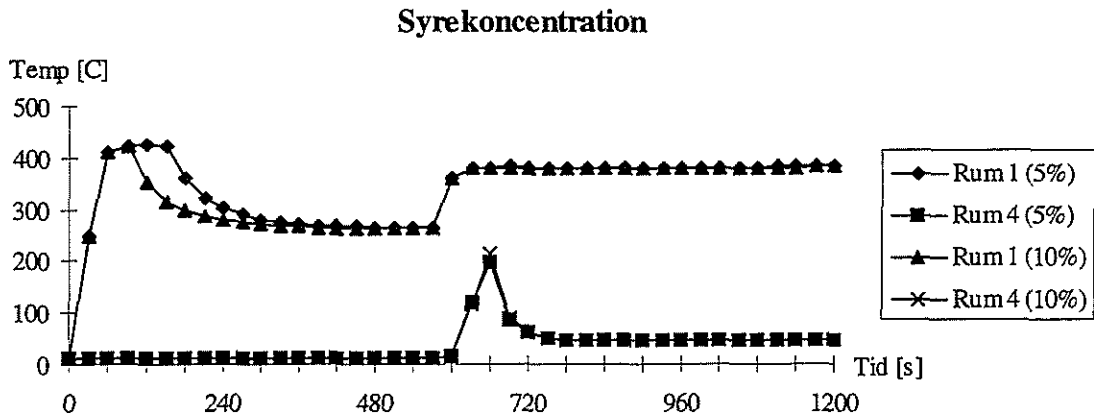
Figur 3.22 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 1. Springornas storlek har ringa betydelse för hur lågt brandgaslagret sänker sig.



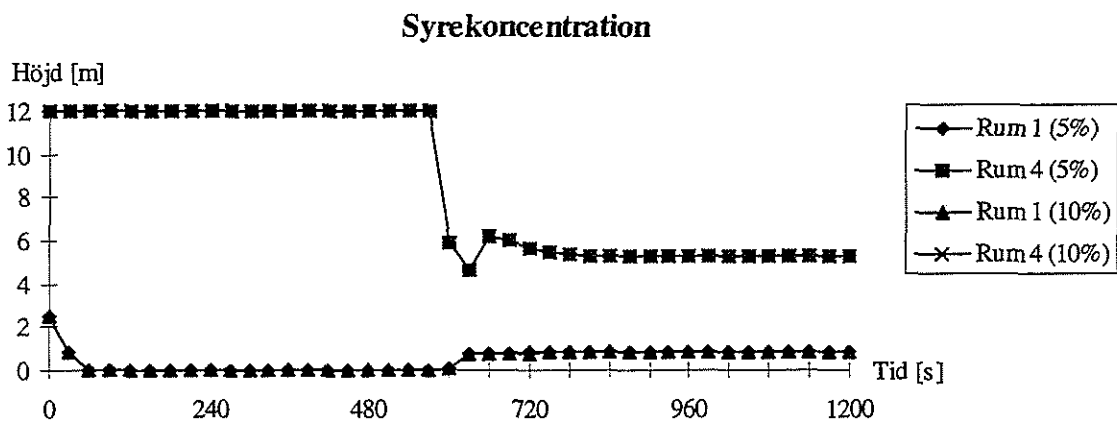
Figur 3.23 Effektutvecklingen i rum 1 vid brandeffekt på 1 MW i rum 1. Viss skillnad blir det under de första 600 sekunderna av brandförloppet då branden är ventilationskontrollerad. Ju större springor desto högre effektutveckling.

### 3.3 Syrehalt

I CFAST finns det en parameter som bestämmer vid vilket värde på syrekonsentrationen som branden kommer att minska i effekt. Programmet simulerar att brandförloppet är bränslekontrollerat fram tills dess att syrekonsentrationen i brandrummet understiger den konsentration som definierats i indatafilen. Därefter avtar effekten i takt med sjunkande syrehalt. Trots att syrekonsentrationen i det övre brandgaslagret ibland är noll procent så sker det en effektutveckling ändå. Detta beroende på att det undre lagret fortfarande har en syrekonsentration som överstiger vad som definierats som begränsande i indatafilen. Normalt sätts den effektbegränsande syrehalten till mellan 5 och 10 procent. För att se hur stor påverkan den specificerade minsta syrehalt för fortsatt förbränning hade på effektutvecklingen så gjordes en känslighetsanalys. Det som hände var att om nivån 10 procent valdes så kom brandeffekten att snabbare begränsas vilket i sin tur ledde till att temperaturen i brandgaslagret blev lägre jämfört med en vald syrekonsentration på 5 procent. Brandgaslagrets nivå förblev däremot oförändrad och var med andra ord inte beroende av vilket värde som valdes. I figurerna 3.31-3.33 ser man effekterna av varierande minsta syrehalt för fortsatt förbränning.

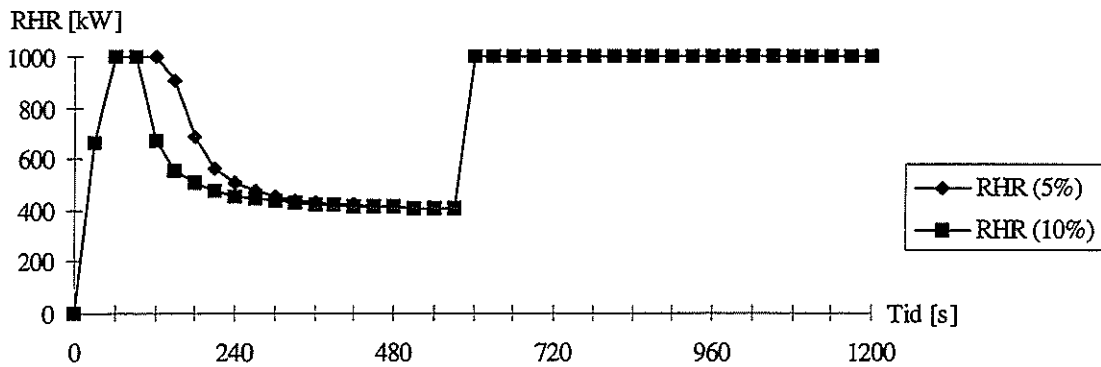


Figur 3.31. Temperaturen avtar snabbare vid en begränsande syrekonzentration på 10 %, vilket ses tydligt för rum 1. Efter att branden åter blivit bränslekontrollerad vid 600 sekunder var det ingen skillnad i temperatur mellan 5% och 10% simuleringarna.



Figur 3.32. Brandgaslagrets höjd var oberoende av vilket värde på begränsande syrekonzentration som valdes. Detta beroende på att brandgaslagret styrs i högre utsträckning utav andra parametrar än av brandens effekt. Rummets höjd har t ex en mycket stor påverkan.

### Syrekoncentration

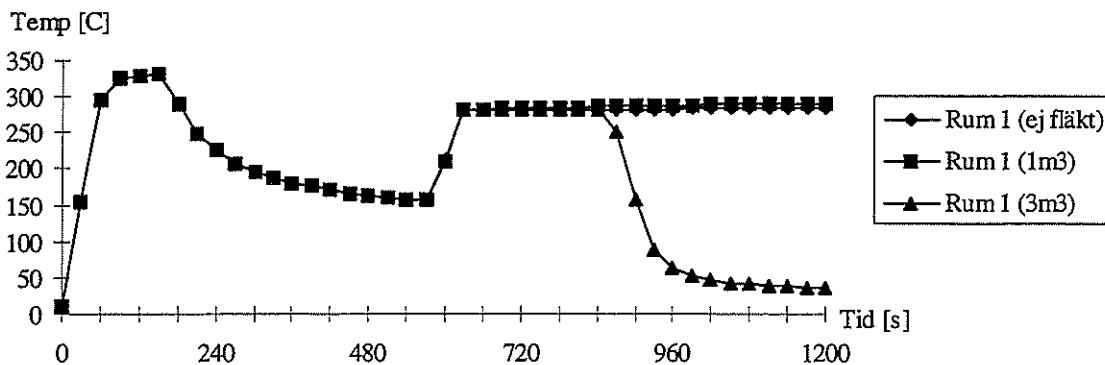


Figur 3.33. Effektutvecklingen i rum 1 begränsas snabbare då den effektbegränsande syrekoncentrationen sätts högre. Skillnaden mellan 5 och 10 % var inte särskilt stor vid simuleringarna men de bör hållas i minne vid jämförelser mellan de praktiska försöken och CFAST simuleringarna.

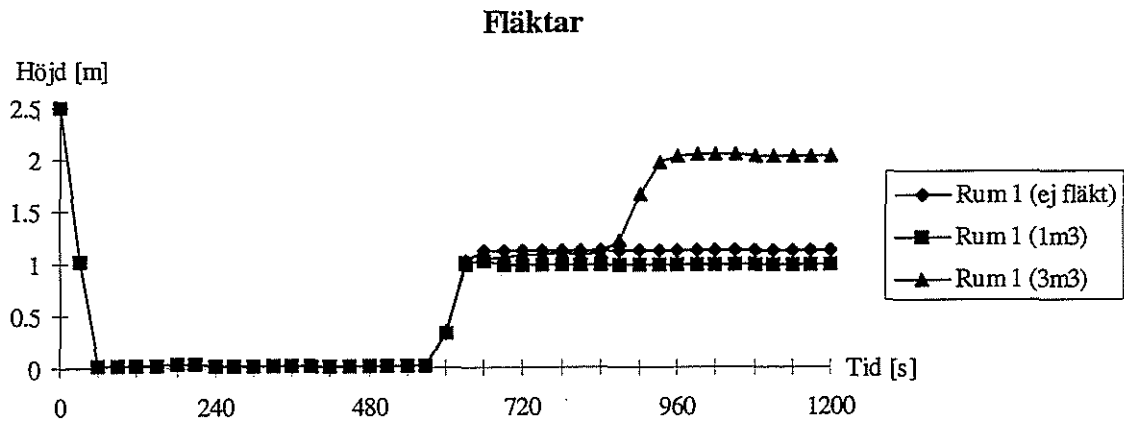
### 3.4 Fläktar

I manualerna som följer med programmet finns det exempel på flera simuleringar där fläktar har applicerats. Det skulle med andra ord vara fullt möjligt att simulera fläktar vid relativt komplicerade scenarier. De känslighetsanalyser som gjordes i detta projekt för att se hur effekterna vid applicering av fläktar blev framkom det att simuleringarna var mycket otillförlitliga. Ibland resulterade simuleringarna i temperatur och brandgaskurvor som verkade helt i linje med de teorier och resultat som redan finns. Problemet uppstod vid en djupare granskning av resultaten. Vid tolkning av de massflöden som blir ut och in genom dörrar och fönster framkom det att dessa inte stämde. I vissa fall resulterade övertrycksfläktar i ett undertryck och i andra fall ökade massan inne i rummet. Det vill säga 5 kg/s "bläste" in i rummet men 40 kg/s pressades ut ur rummet. Andra saker att beakta var att vid mer komplicerade geometrier kunde inte programmet längre klara av att simulera och avbröt därför simuleringen automatiskt. Kontentan blir att om programmet klarar av att simulera ett scenario bör all utdata kontrolleras mycket noga och resultatet bör användas med stor försiktighet.

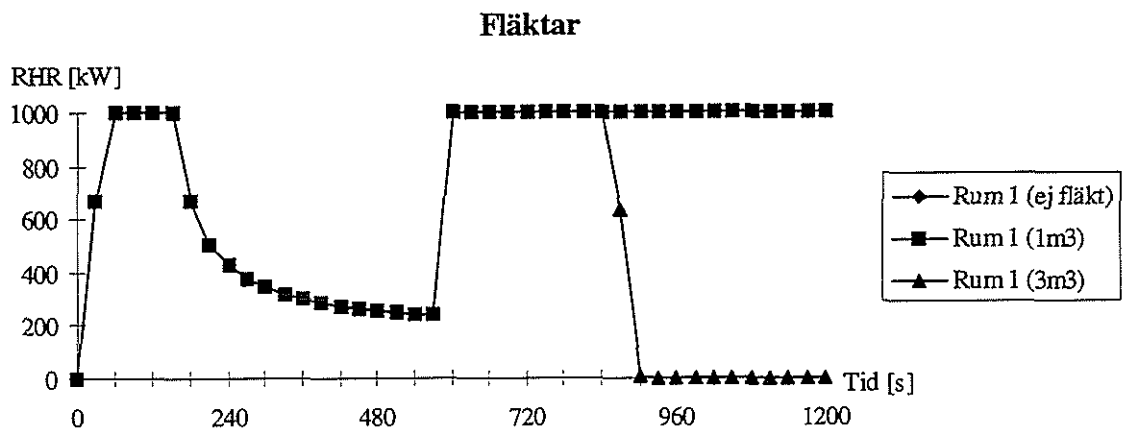
### Fläktar



Figur 3.41 Temperaturen i brandgaslagret då ingen fläkt används och då en fläkt med kapaciteten 1 m<sup>3</sup>/s simuleras är relativt lika. Vid 1 m<sup>3</sup>/s simuleringen blev temperaturen något högre jämfört med grundscenariot då ingen fläkt simulerades. När 3 m<sup>3</sup>/s simulerades blev resultatet att temperaturen avtog kraftigt cirka 840 sekunder. Det är uppenbart att något har gått fel vid simuleringen.



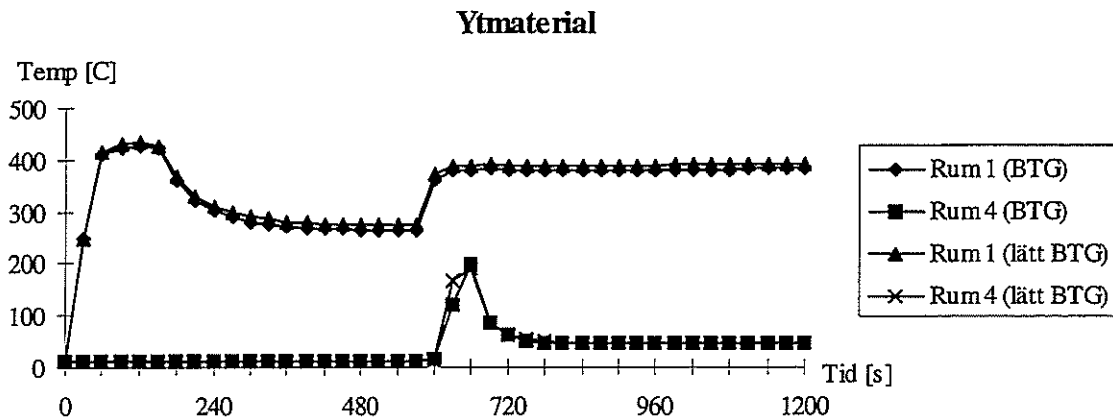
Figur 3.42 Brandgaslagrets höjd varierade lite mellan grundsimuleringen och simuleringen med fläkteffekten  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vid scenariot med  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  visade sig rökgaserna sjunka närmare golvet jämfört med scenariot då ingen fläkt simulerades. Rökgasernas höjd vid simuleringen av fläkt med en effekt på  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  skilde sig markant från de övriga simuleringarna. Rökgasernas höjd var betydligt högre vid den simuleringen jämfört med de båda andra. Detta tyder på att något har gått fel vid simuleringen.



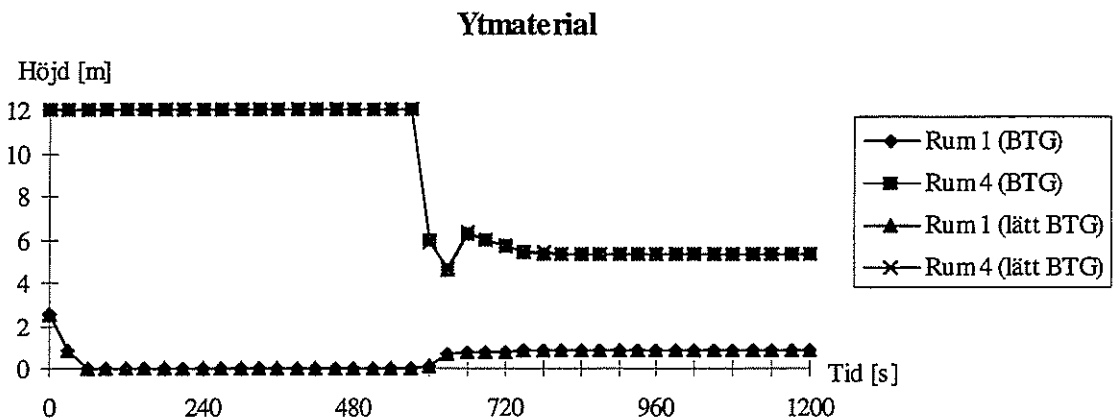
Figur 3.43 Brandeffekten då ingen fläkt simulerades och då en fläkt med en effekt på  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  simulerades var lika. Vid simulering med flätkapacitet på  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  visade det sig att effekten avtog kraftigt vid cirka 840 sekunder. Den enda förklaringen är att programmet får problem med beräkningarna av bl a syrekoncentrationerna i övre och undre brandgaslagret och därmed resulterar det i att brandeffekten blir otillförlitlig.

### 3.5 Tak- och ytmaterial

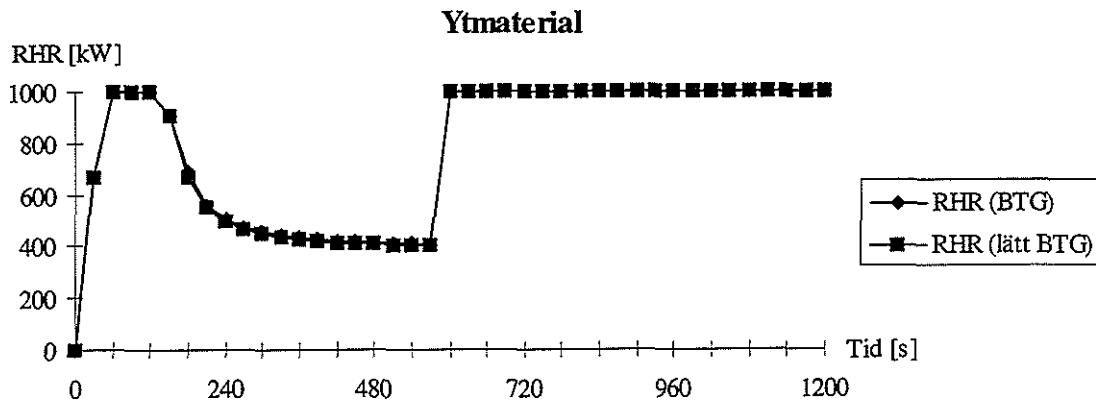
I datamodellen CFAST går det att välja flera olika ytmaterial. De är definierade i en databas i programmet. Antalet material är ytterst begränsat men det går att titta på olika materialdata och välja ett material med liknande egenskaper som det som finns i lokalen ifråga. Byggnaden som simuleras i dessa försöken har väggar av lecablock. Golv och tak består av platsgjuten betong isolerad mot värmen från såväl övre som undre plan. Det är därför av intresse att titta på olika material och se hur valet påverkar brandförloppet. De material som testades var concrete och lecablock. Lecablock har i stort sett liknande egenskaper som lättbetong. Men vid känslighetsanalysen valdes att lägga till leca i databasen för att se hur stor skillnaden blev mellan concrete och lecablock. Resultatet av dessa simuleringar var att skillnaden temperatur, brandgaslagrets höjd samt effektutveckling mellan concrete och leca var helt försumbar.



Figur 3.51 Temperaturen i det övre brandgaslagret är i stort sett lika mellan de två simuleringarna. Det tyder på att valet av ytmaterial inte har så stor betydelse på resultatet.



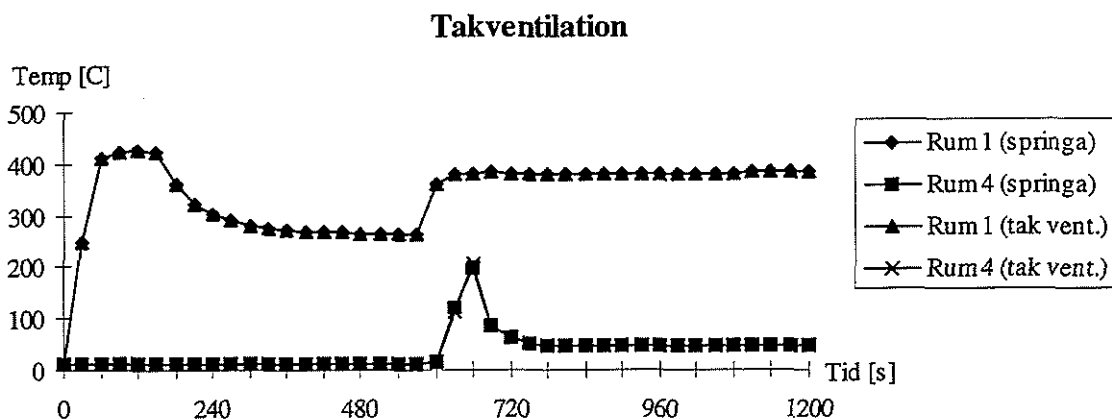
Figur 3.52 Brandgaslagrets höjd är lika mellan de två simuleringarna både i rum 1 och rum 4. Ytmaterialen har med andra ord ingen stor påverkan på resultatet.



Figur 3.53 Effektutvecklingen i brandrummet (rum 1) är lika i båda simuleringarna och detta ger att resultatet kommer att vara oberoende av valet att simulera alla scenarier med betong istället för leca stenar i väggarna.

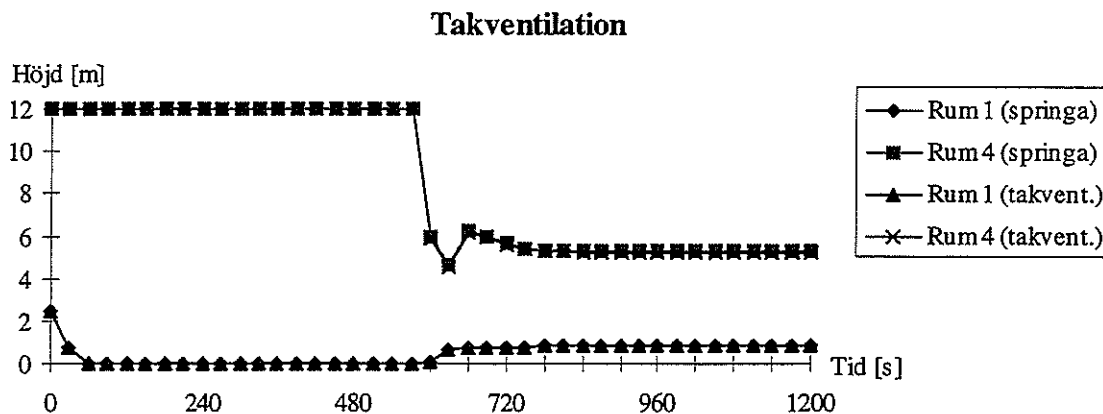
### 3.6 Takventilation

Takventilation kan simuleras på två sätt dels genom att använda funktionen ceilingvents i CFAST och dels genom att lägga en springa horisontellt i väggen vid taknivå. Skillnaden mellan dessa två metoder är att det sistnämnda är enklare att använda då man simulerar mer komplicerade scenarier. Det skiljer ingenting i rökgasernas höjd eller temperatur vilket kan ses i figur 3.61 och 3.62. Den främsta anledningen till att använda horisontell ventilation i taknivå jämfört med ceilingvents är att då kan öppnandet av ventilationen styras av de tidssteg som definieras med hjälp av brandeffektkurvan. För att kunna styra öppnandet av ceilingvents måste restart funktionen i programmet användas. Denna funktion gör att det ytterligare felkällor kan komma till och därför bör denna undvikas där det är möjligt.

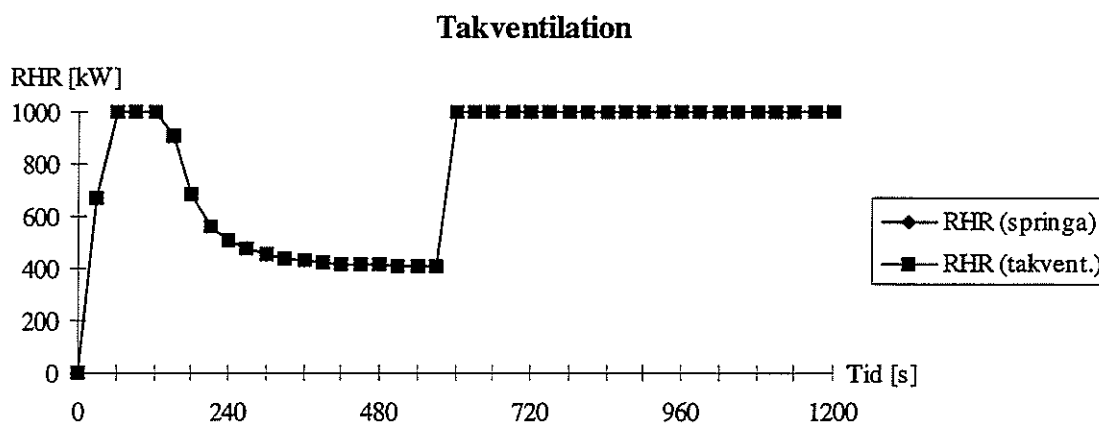


Figur 3.61 Temperaturen på rökgaserna var i det närmaste lika vid simulering av de två olika typerna av ventilationsöppningar. Med andra ord verkar valet av horisontell eller takventilation inte påverka resultatet.





Figur 3.62 Brandgaslagrets höjd är lika i båda scenarierna, oberoende på vilken öppningstyp som valts.

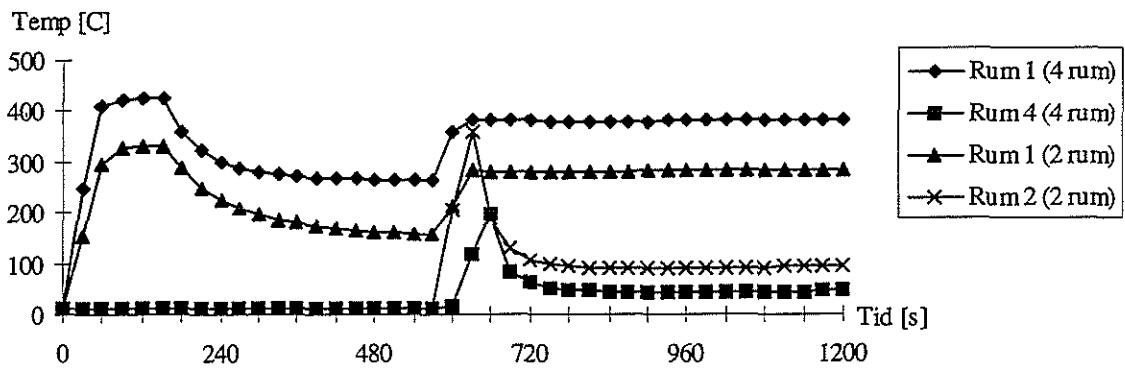


Figur 3.63 Brandeffekten är lika i båda scenarierna. Detta tyder på att valet av ventilationsöppning inte påverkar resultatet.

### 3.7 Geometri

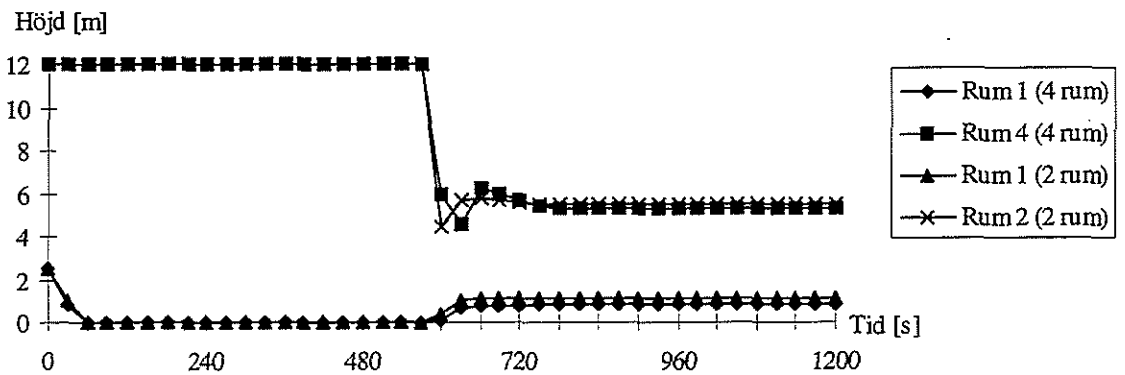
Valet av rumsindelning har betydelse för resultatet av simuleringarna. Vid jämförelser mellan att använda två rum jämfört med en indelning av byggnaden i fyra rum visade det sig att skillnaderna i rökgasernas temperatur och höjd skilde sig åt. Brandens effektutveckling ändrades även den med ändring i rumsgeometrin. Skillnaderna mellan de olika scenarierna ses i figurerna 3.71-3.73. Att det finns en skillnad är naturligt med tanke på hur de ekvationer som modellen använder fungerar. Valet av att välja två olika rumsgeometrier berodde på att modellen inte klarade av att simulera fläktar och restart då geometrin blev allt för komplicerad. Det var därför mycket intressant att titta på vad som hände med brandförloppet då geometrin ändrades för att på så vis kunna dra paralleller mellan de olika scenarierna trots att geometrin skiljer.

### Rumsgeometri



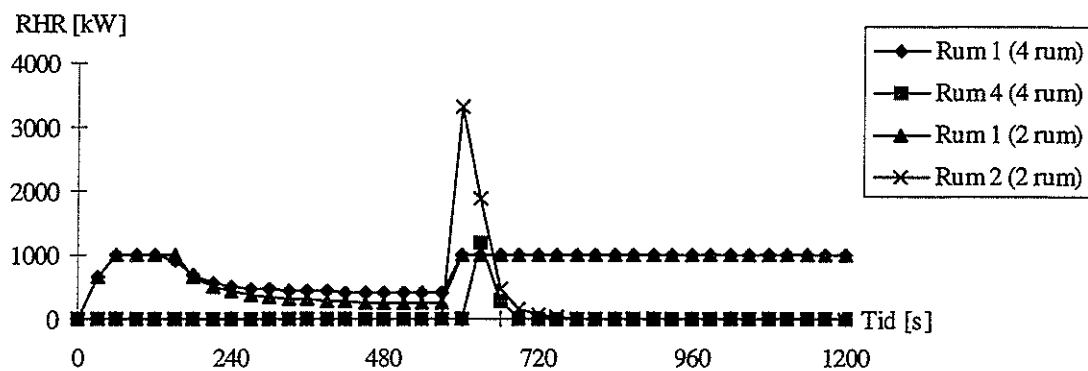
Figur 3.71 Temperaturen i brandrummet vid 2 rumsgeometrin är 100 °C lägre än den i brandrummet med fyrrarums indelningen. Trapphuset har en temperaturdifferens på cirka 50 °C beroende på val av rumsgeometri.

### Rumsgeometri



Figur 3.23 Brandgaslagrets höjd är i stort sett den samma oberoende av geometri.

### Rumsgeometri



Figur 3.73 Brandeffekten skiljer sig till viss del mellan de olika rumsgeometrierna. Under de första 600 sekunderna är effekten lägre i 2 rums indelningen jämfört med 4 rums indelningen. Brandeffekten i trapphuset är däremot högre vid öppnandet av dörren mellan brandrum(en) och trapphuset i 2 rumsgeometrin.



## 4 RESULTAT

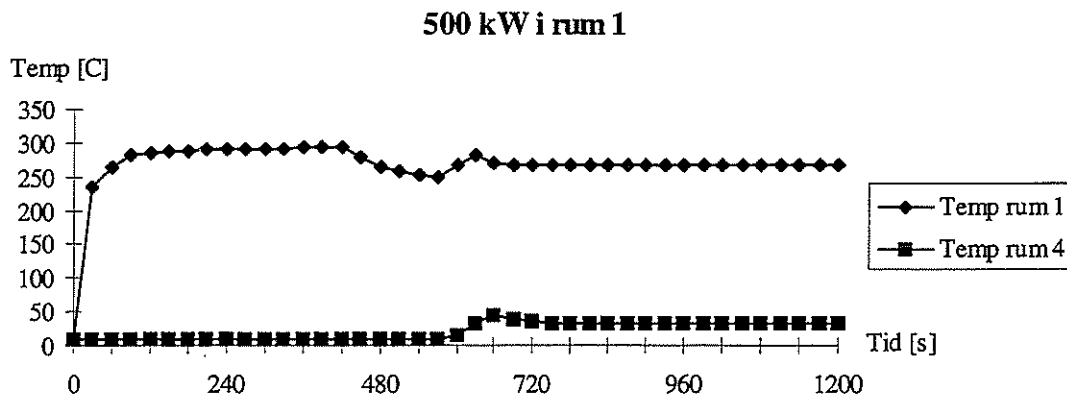
Sammanlagt valdes nio stycken scenarion som simulerades. Tre olika brandeffekter, 500, 1000 och 2000 kW som vardera placerades i rum 1, 2 och 3. Resultatet presenteras nedan i form av figurer i vilka temperaturen, brandgaslagrets höjd samt effektutvecklingen presenteras. Detta gjordes i samtliga scenarier för rum 1 och rum 4. Detta för att ha en fast referens mellan de olika scenarierna samt minimera den redan stora mängd diagram som erhållits.

Valet av presentera rum 4 i diagrammen beror på att det är av stor vikt att få en uppfattning om huruvida det finns risk för brandgasexplosion eller snabba tryckökningar i trapphuset. Om fallet skulle vara sådant att det finns minsta misstanke om att det kan uppstå sådana tryckstegringar att tryckavlastning bör installeras i brandövningshuset på Revinge så skrivs detta i kommentaren som följer varje scenario.

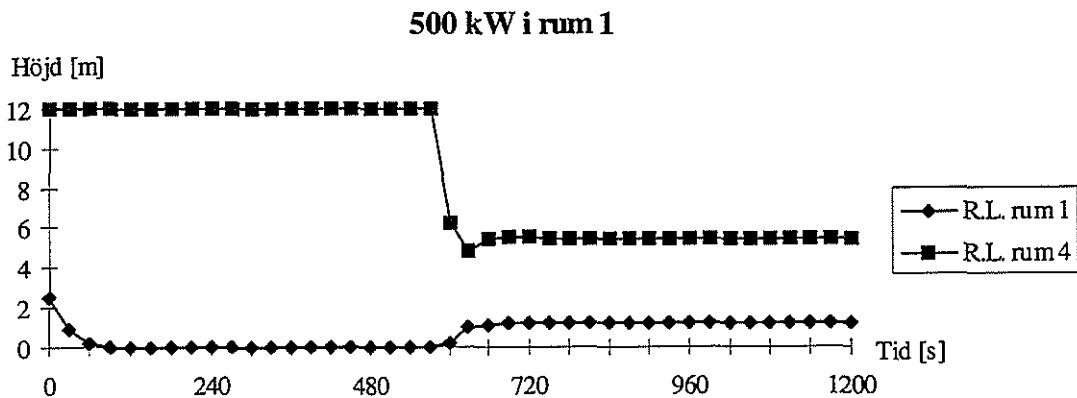
Samtliga scenarier har simulerats med den rumsgeometri som innehåller 4 rum. Detta för att komma så nära verkligheten som möjligt och det fanns inget behov av att använda 2 rumsgeometrin i och med att fläktar inte valdes att simuleras i scenarierna. Fönstret från rum 1 och ut simulerades stängt under de första 600 sekunderna. Detsamma gällde för dörren mellan rum 3 och rum 4 samt dörren från rum 4 och ut. Anledningen till att tiden för öppnandet valdes till 600 sekunder var att brandförsvaret tänktes påbörja sitt angrepp vid den tiden. Alla simuleringar avslutades efter 1200 sekunder då brandförsvaret tänktes ha angripit branden och fortsatt simulering inte skulle vara gällande.

### 4.1 Scenario 1a

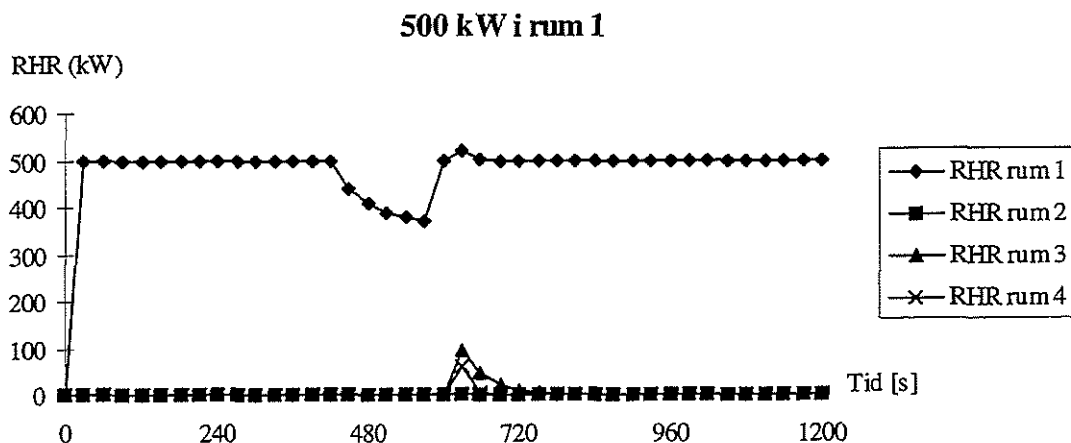
En brand med effekten 500 kW simulerades i rum 1. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.



Figur 4.11 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 1.



Figur 4.12 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 1



Figur 4.13 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 1.

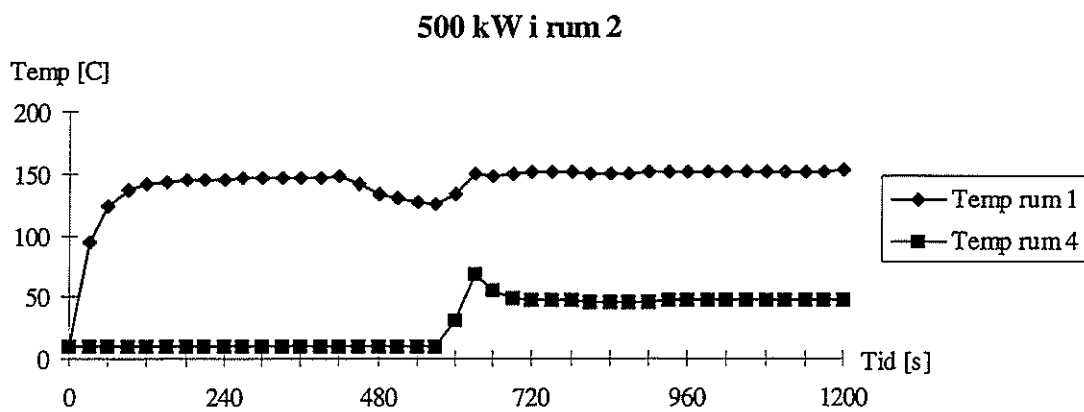
Branden blir ventilationskontrollerad efter cirka 420 sekunder vilket i sin tur påverkar temperaturen i rum 1. Den sjunker från cirka 290 °C till 240 °C . När dörrar och fönster öppnas efter 600 sekunder blir branden åter bränslekontrollerad vilket gör att temperaturen stiger till 280 °C . Den kommer inte upp i samma temperatur som innan vid full effekt. Detta på grund av de värmeförluster som blir då dörrar och fönster öppnas.

När dörren mellan rum 3 och rum 4 öppnas kommer oförbrända rökgaser ut i trapphuset och dessa antänds och det resulterar i en effektutveckling på cirka 100 kW. Med andra ord det verkar inte finnas behov för tryckavlastning.

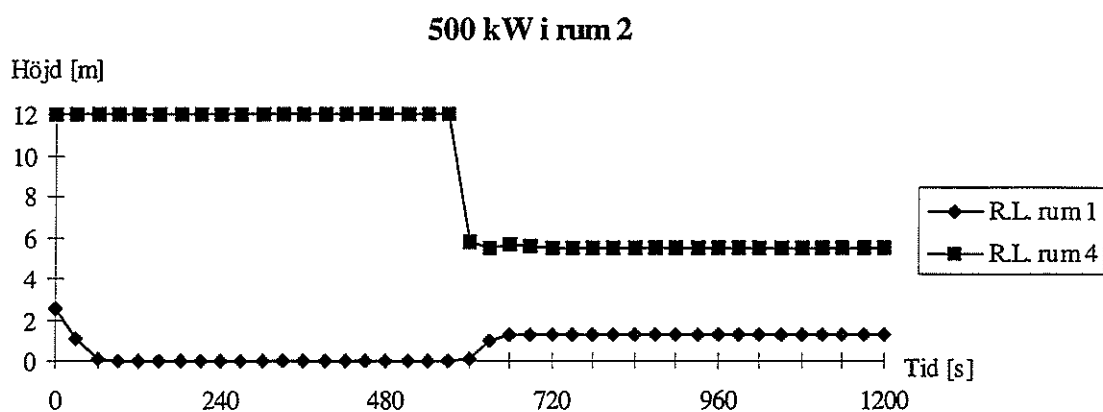
Brandgaslagrets höjd går mycket snabbt ned till golvnivå i rum 1. Vid 600 sekunder så stiger röken och lägger sig på en stabil nivå på cirka 1m. Röken börjar strömma ut i rum 4 först då dörrarna öppnas och går snabbt ned till 6m. Temperaturen på röken i rum 4 är cirka 40 °C vilket gör att den kommer att vara relativt tunn och genomskinlig. Den kommer dessutom inte att skifta sig särskilt tydligt då temperaturdifferensen mellan det kalla skiktet och det varma bara är 30 °C .

## 4.2 Scenario 1b

En brand med effekten 500 kW simulerades i rum 2. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.

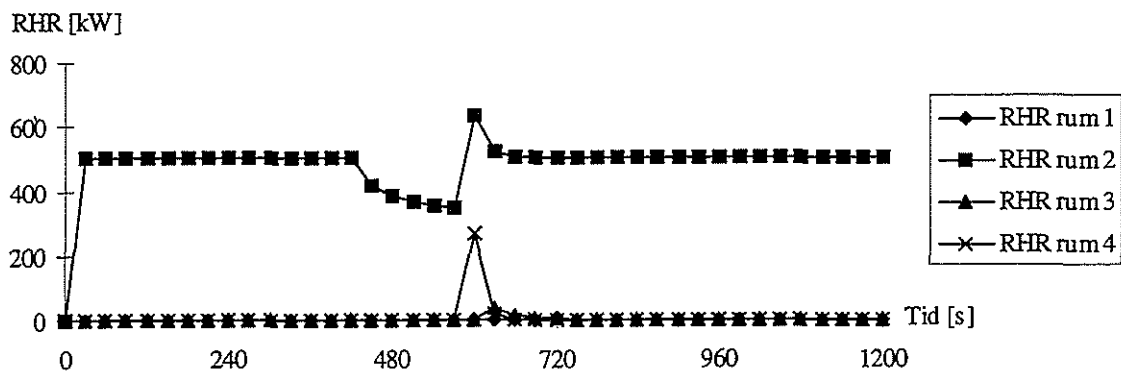


Figur 4.21 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 2.



Figur 4.22 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 2.

### 500 kW i rum 2



Figur 4.23 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 2.

Branden blir ventilationskontrollerad efter cirka 420 sekunder i och med det sjunker temperaturen i rum 1 från 150 °C till 125 °C . Efter att dörrar och fönster öppnas vid 600 sekunder stiger temperaturen till 155 °C . Temperaturen i rum 4 är konstant de första 600 sekunderna i och med att dörren är stängd och ingen rök kommer ut i rummet. Vid öppnandet dörren stiger temperaturen till cirka 50 °C där den förblir konstant resten av simuleringen.

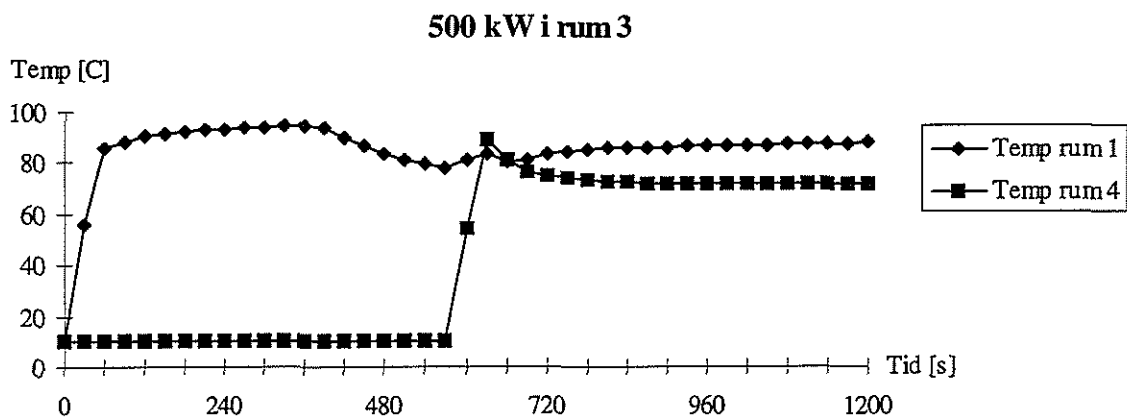
Rökgasernas i rum 1 är i golvnivå under simuleringens första 600 sekunder. Då dörrar och fönster öppnas stiger brandgaslagret till cirka 1m. Röken i rum 4 får en rökashöjd på cirka 6m.

I rum 1 blev det en effektutveckling på 50 kW vid 600 sekunder, då fönster och dörrar öppnades. Rum 4 fick en större effektutveckling. Den var på cirka 300 kW. Det tyder på att risken för snabb och hög tryckstegring inte är särskilt stor. Med andra ord är det inte nödvändigt att anordna med tryckavlastning.

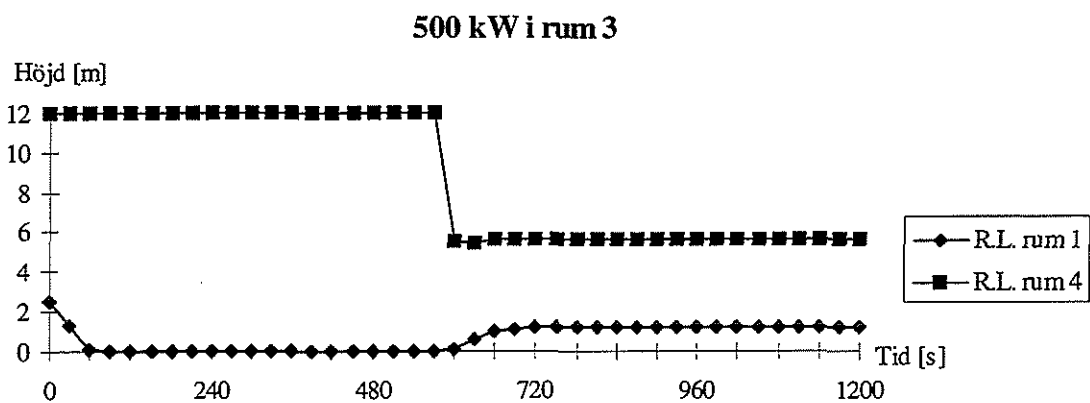


### 4.3 Scenario 1c

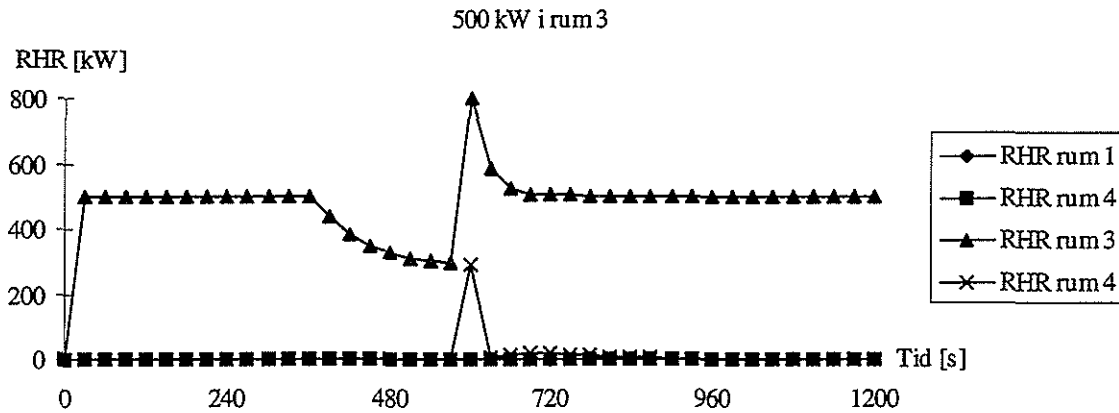
En brand med effekten 500 kW simulerades i rum 3. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.



Figur 4.31 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 3.



Figur 4.32 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 3.



Figur 4.33 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 500 kW i rum 3.

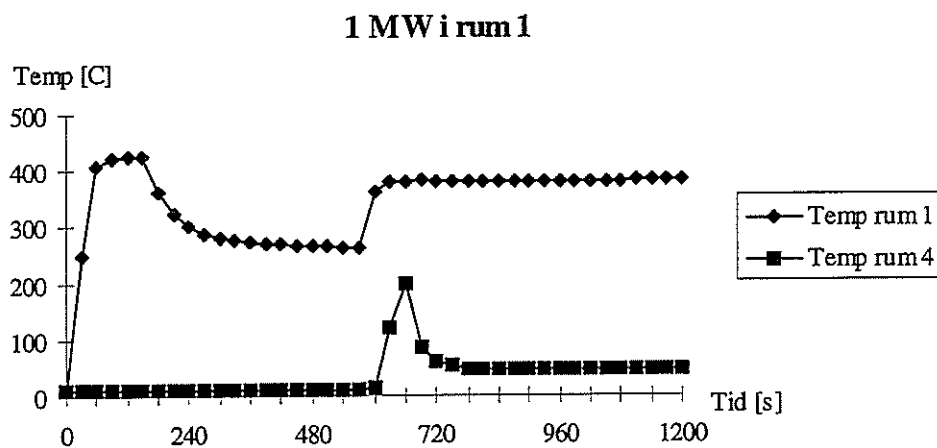
Temperaturen i rum 1 var relativt konstant under hela simuleringen och var cirka 85 °C . Rum 4 hade en temperatur i det övre brandgaslagret efter 600 sekunder på cirka 70 °C . Det var en liten temperatur topp vid 600 sekunder som berodde på att det skedde en förbränning av oförbrända gaser i rum 4.

Brandgaslagrets höjd i rum 1 var under de första 600 sekunderna i golvnivå och blev vid dörr/fönster öppnandet cirka 1m. I rum 4 låg röken konstant på 6m efter det att dörren mellan brandrummet (rum 3) och trapphuset (rum 4) öppnades.

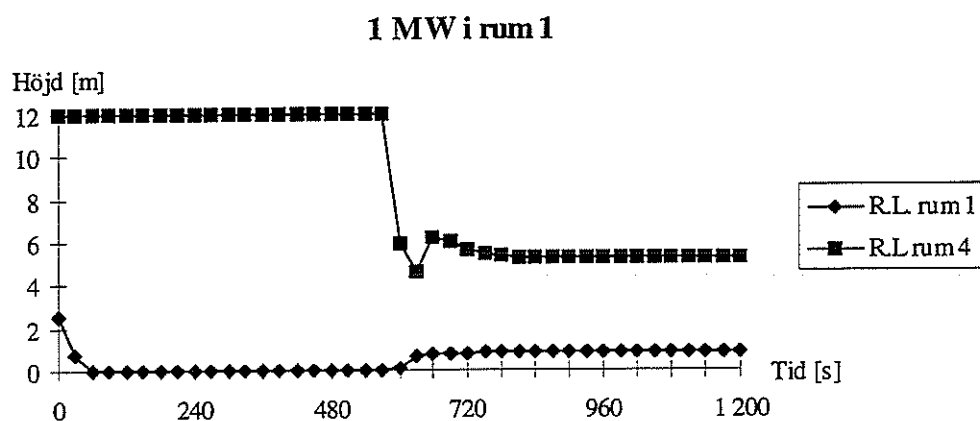
Effektutvecklingen i rum 4 sker då dörren till brandrummet öppnas. Det resulterar i en effektutveckling på cirka 300 kW. Brandeffekten i rum 3 avtar vid 360 sekunder då branden blir ventilationskontrollerad. Rum 3 får även det en ökad effektutveckling vid 600 sekunder, precis som rum 4, då de oförbrända gaserna i rummet får ökad tillgång på syre vid öppnandet av dörrar och fönster. Effekten fick en topp på cirka 800 kW.

#### 4.4 Scenario 2a

En brand med effekten 1000 kW simulerades i rum 1. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.

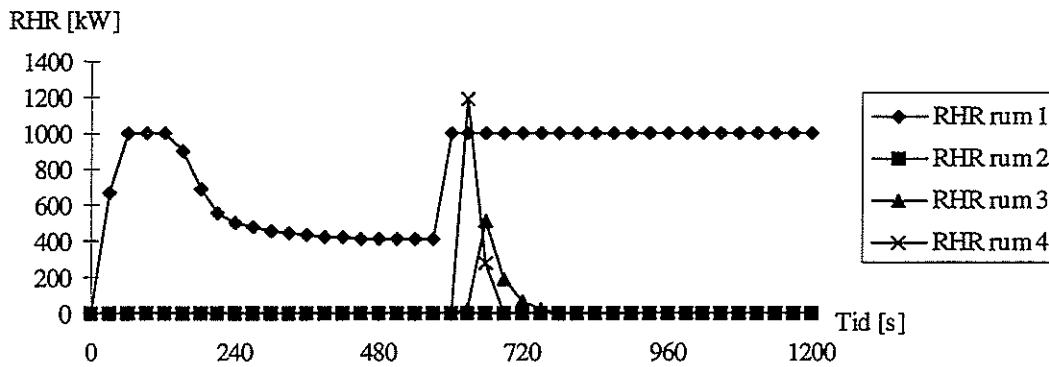


Figur 4.41 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid en brandeffekt på 1 MW i rum 1.



Figur 4.42 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid en brandeffekt på 1 MW i rum 1.

## 1 MW i rum 1



Figur 4.43 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 1.

Temperaturen i rum 1 var under de första 600 sekunderna som högst 430 °C vid 60 sekunders simulering. Efter 180 sekunder började temperaturen att avta för att därefter bli konstant på 285 °C fram tills dess att fönster och dörrar öppnades. Vid öppnandet av dörrar och fönster steg temperaturen till cirka 400 °C där den förblev konstant under resten av simuleringen. Temperaturen i rum 4 steg till cirka 200 °C i och med att dörren från rum 3 till rum 4 öppnades. Detta beroende på att oförbrända gaser antändes i rum 4. Efter att dessa gaser förbränts sjönk temperaturen till cirka 50 °C och förblev konstant resten av simuleringen.

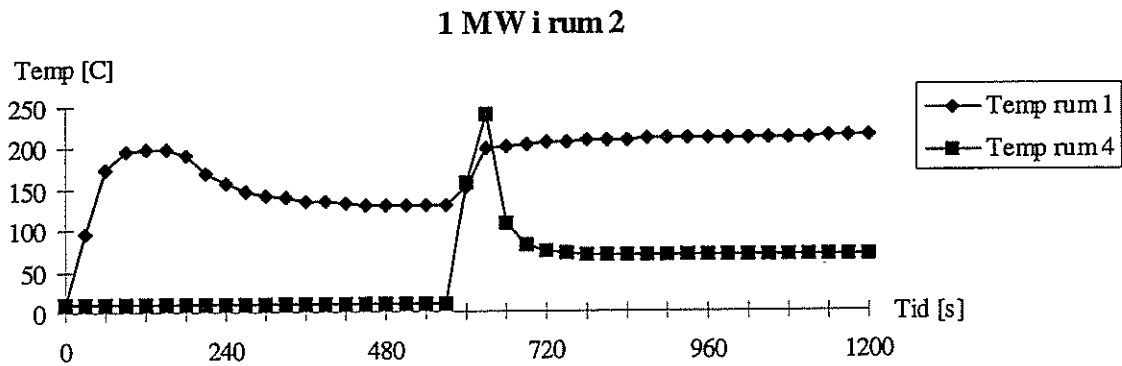
Brandgaslagrets var under de första 600 sekunderna i golvnivå i rum 1. Efter 600 sekunder steg nivån och brandgaslagret förblev konstant på cirka 0.75m höjd under resterande simulering. Brandgaslagret i rum 4 låg på cirka 5.5m höjd, efter det att dörren från rum 3 till rum 4 öppnats, under hela simuleringen.

Effektutvecklingen i rum 1 avtog efter 180 sekunder och gick ned till 420 kW. Efter 600 sekunder ökar effekten igen då branden inte längre blir ventilationskontrollerad. Rum 4 får en effektutveckling på cirka 1200 kW vid 600 sekunders simulering. Effekten avtar relativt snabbt då de oförbrända gaserna från rum 1 har förbränts. Rum 3 får en effektutveckling vid 630 sekunders simulering på cirka 500 kW.

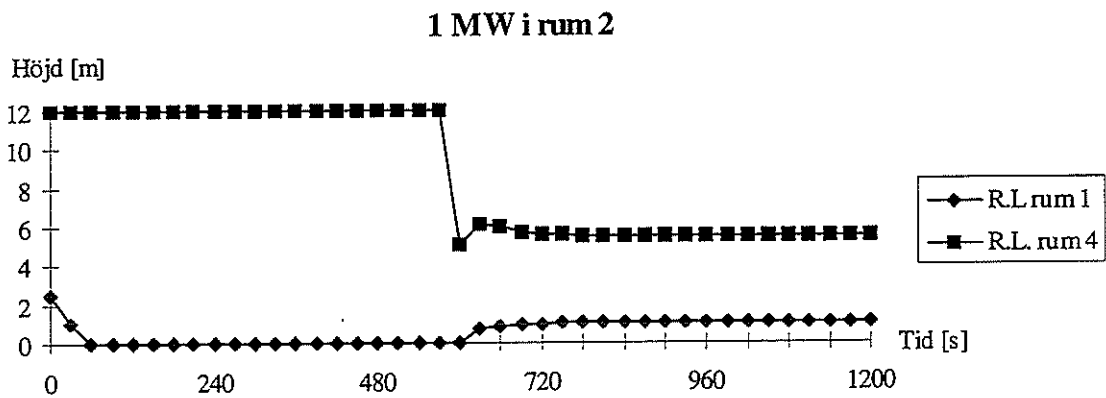
Anledningen till att denna effektutveckling sker senare än den i rum 4 beror på att syret kommer utifrån, in via rum 4, till rum 3. En effektutveckling på 1200 kW i rum 4 och på 500 kW i rum 3 kan vara en indikation på att det kan bli frågan om relativt stora tryckökningar. Det kan därför vara av vikt att ordna med någon form av tryckavlastning.

## 4.5 Scenario 2b

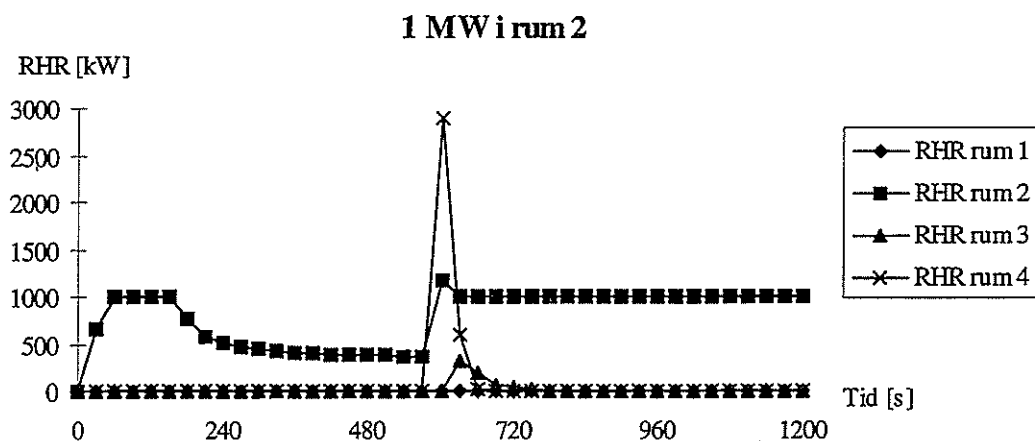
En brand med effekten 1000 kW simulerades i rum 2. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.



Figur 4.51 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid en brandeffekt på 1 MW i rum 2.



Figur 4.52 Rökgasernas höjd i rum 1 och rum 4 vid en brandeffekt på 1 MW i rum 2.



Figur 4.53 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 2.

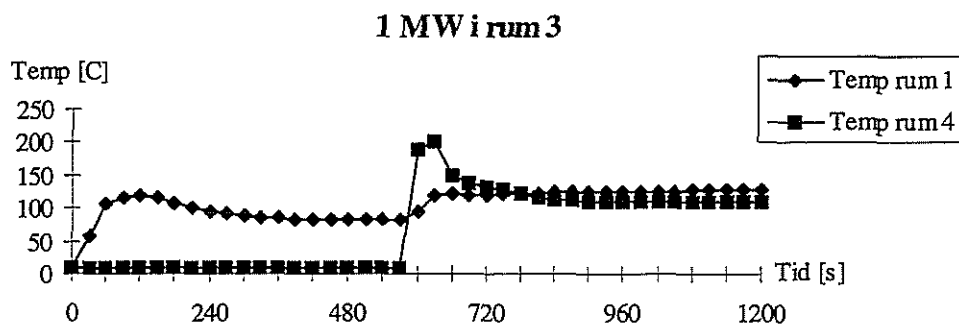
Temperaturen i rum 1 steg till cirka 200 °C och den började att avta efter 180 sekunder och sjönk till cirka 150 °C där den förblev konstant fram till dörrar och fönster öppnades vid 600 sekunder. Efter 600 sekunder steg temperaturen till cirka 225 °C och förblev konstant resten av simuleringen. Temperaturen i rum 4 var vid blev vid öppnandet av dörren från rum 3 cirka 250 °C men sjönk snabbt till 80 °C där den förblev konstant tills dess att simuleringen avslutades.

Brandgaslagrets höjs i rum 1 var under de första 600 sekunderna nere i golvnivå. Efter 600 sekunder steg nivån till 0.8m där den förblev konstant. Rum 4 hade ett rökgaslager som låg konstant på 6m från det att dörrar och fönster simulerades öppna tills dess att simuleringen avbröts.

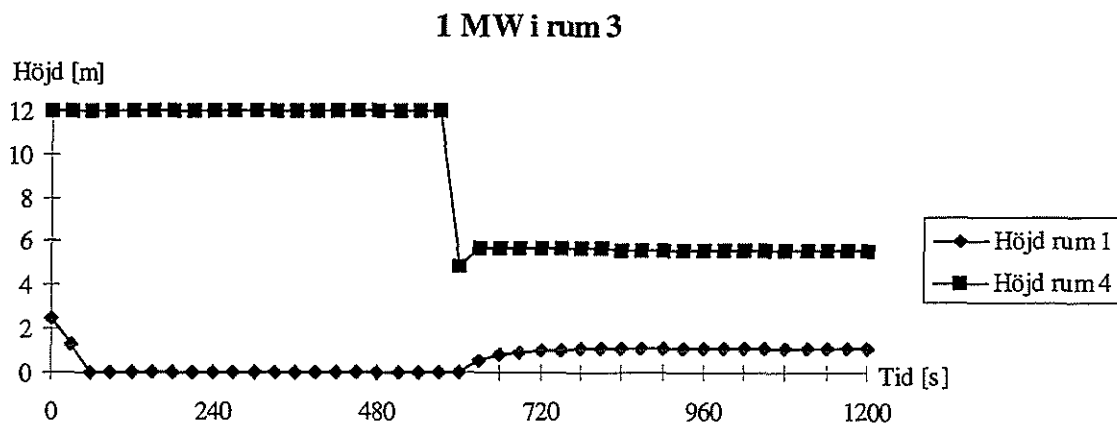
Effektutvecklingen i rum 2 var 1000 kW fram tills att den blev ventilationskontrollerad vilket skedde efter cirka 150 sekunder. Effekten sjönk till cirka 500 kW och där förblev den fram tills 600 sekunder. Därefter ökade effekten åter till 1000 kW och där förblev den under resterande simulering. Rum 4 fick en effektutveckling på cirka 2700 kW mellan 600- och 690 sekunder. En liten effektutveckling på cirka 250 kW skedde i rum 3. Den höga effekt som blev i rum 4 efter det att dörrar och fönster hade öppnats ger en indikation på att trycket kan bli så högt att det kan vara bra att installera någon form av tryckavlastning.

## 4.6 Scenario 2c

En brand med effekten 1000 kW simulerades i rum 3. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.

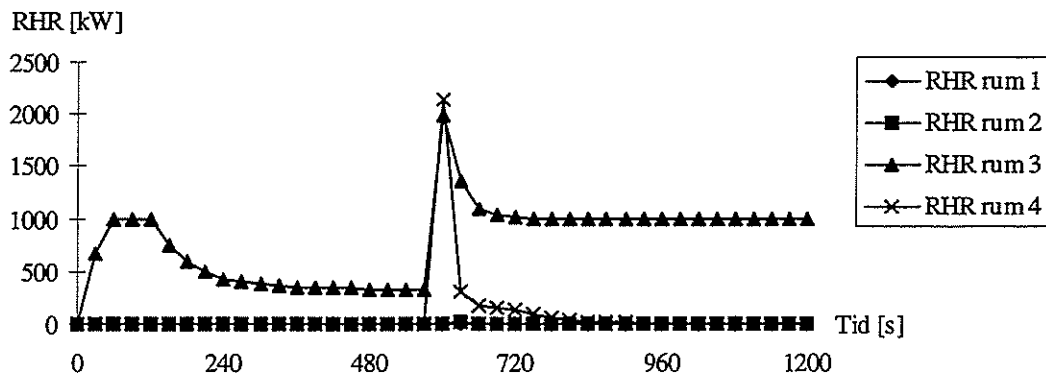


Figur 4.61 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 3.



Figur 4.62 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 3.

### 1 MW i rum 3



Figur 4.63 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 1 MW i rum 3.

Temperaturen i rum 1 steg till cirka 120 °C efter 60 sekunder. Vid 150 sekunder sjönk temperaturen, i och med att branden i rum 3 blivit ventilationskontrollerad, till cirka 85 °C. I rum 4 blev det en hastig temperaturökning då dörren från rum 3 till rum 4 öppnades. Temperaturen blev som högst cirka 200 °C men sjönk därefter och förblev konstant på 115 °C under resterande simulering.

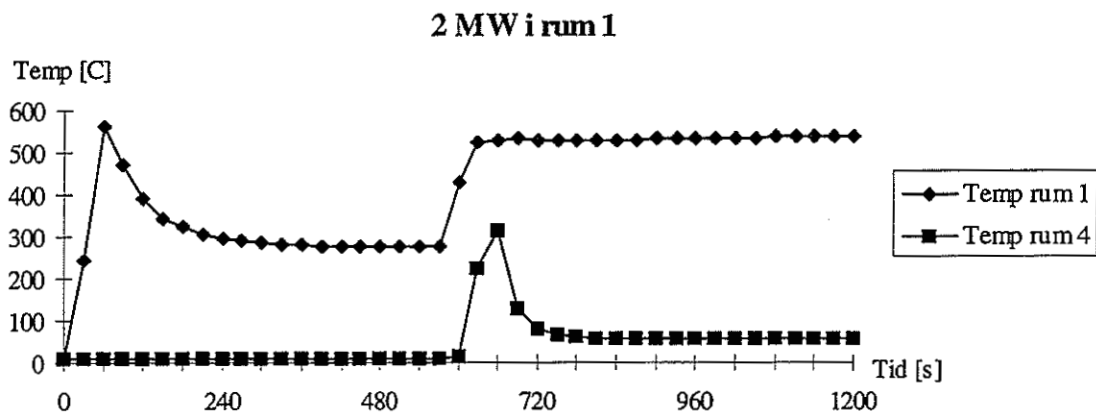
Brandgaslagrets i rum 1 var i golvnivå under de första 600 sekunderna av simuleringen. Efter att dörrar och fönster öppnats steg röken och lade sig på cirka 0.75m. Brandgaslagret i rum 4 låg konstant på 5.5m efter det att dörrar och fönster öppnats.

Effektutvecklingen i rum 3 avtog efter att branden blivit ventilationskontrollerad. Effekten gick då ned till cirka 300 kW. Efter 600 sekunder ökade åter effekten och fick en topp på 2000 kW men gick åter ned till 1000 kW och förblev där konstant under resten av simuleringen. Effektutvecklingen i rum 4 uppgick till 2000 kW efter det att dörren från rum 3 till rum 4 öppnats efter 600 sekunders simulering. Det finns anledning att ordna med någon form av tryckavlastning då det sker en relativt hög effektutveckling samtidigt i brandrummet (rum 3) och trapphuset (rum 4), under en relativt kort tid. Det är möjligt att öppen takventilation samt öppen dörr klarar av att jämna ut den tryckstegring som blir fallet men det kan ändå vara bra att ordna med någon form av extra tryckavlastning.

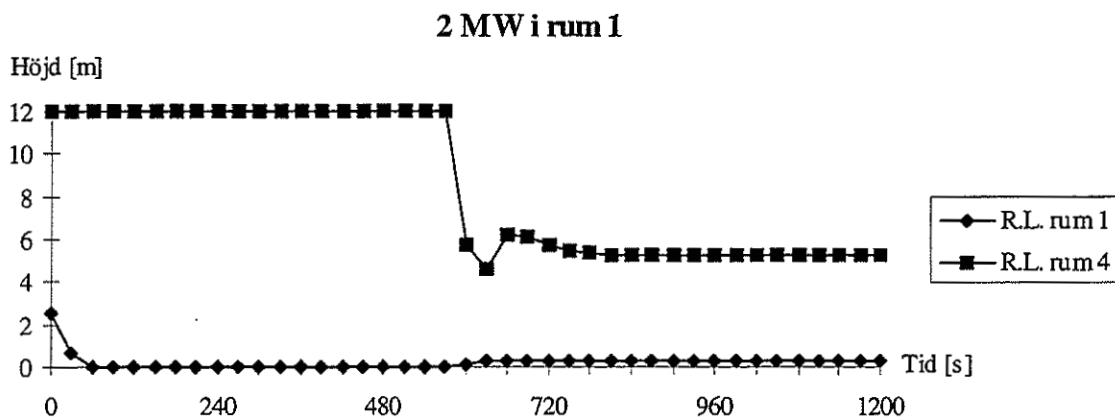


### 4.7 Scenario 3a

En brand med effekten 2000 kW simulerades i rum 1. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.

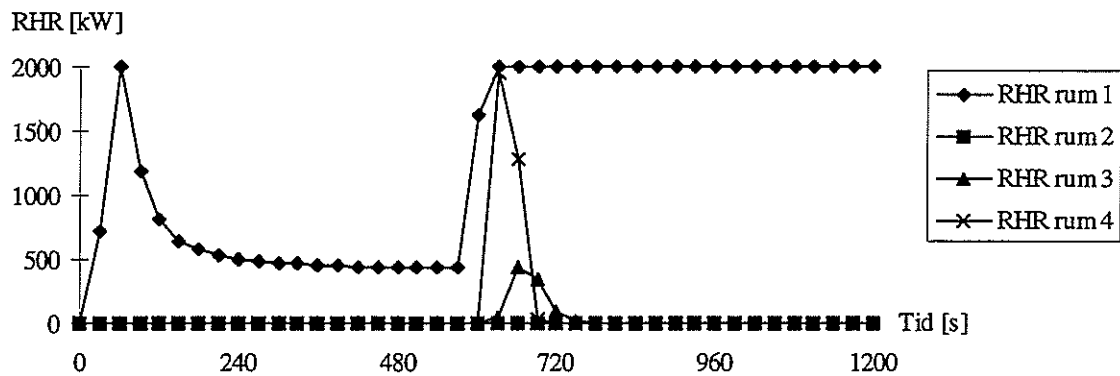


Figur 4.71 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 1.



Figur 4.72 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 1.

## 2 MW i rum 1



Figur 4.73 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 1.

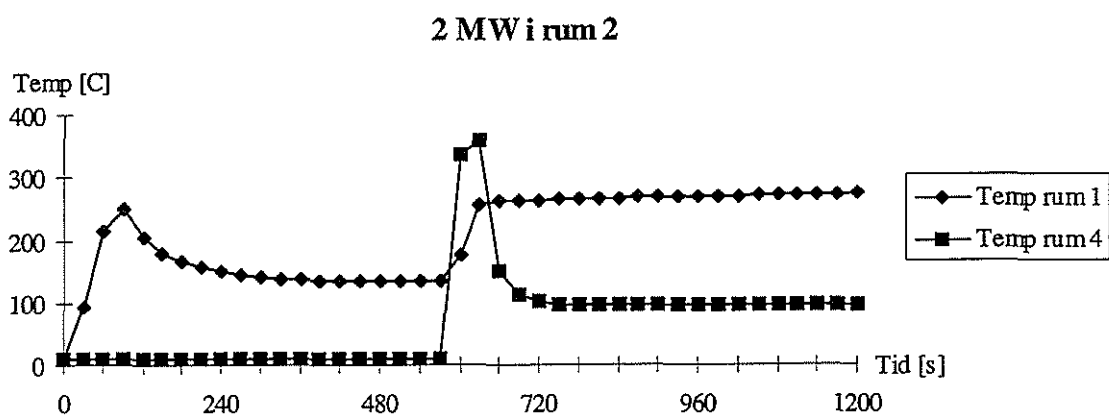
Temperaturen i rum 1 var efter 60 sekunder cirka 600 °C därefter avtog den och sjönk till cirka 300 °C där den förblev konstant fram till 600 sekunders simulering. Vid 600 sekunder ökade temperaturen åter och blev cirka 530 °C under resterande simulering. Temperaturen i rum 4 var som högst efter det att dörren till rum 3 öppnats. Den uppgick då till cirka 300 °C. Därefter sjönk den och var konstant på 80 °C fram tills dess att simuleringen avbröts.

Brandgaslagrets i rum 1 var i golvnivå under de första 600 sekunderna av simuleringen. Därefter steg röken lite grand och lades sig på cirka 0.4m. I rum 4 lade sig röken på cirka 5.5m efter det att dörren från rum 3 till rum 4 öppnats.

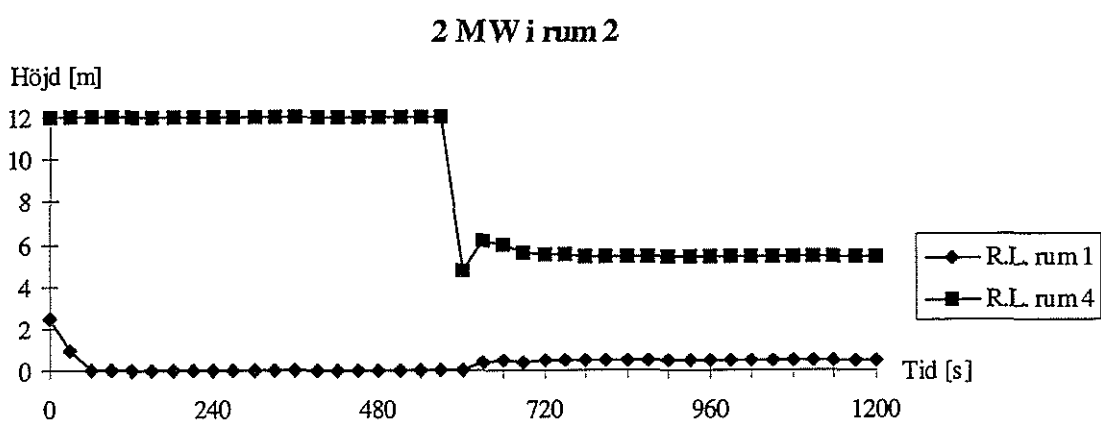
Effekten i rum 1 gick upp till 2000 kW för att därefter sjunka till cirka 500 kW i och med att branden blir ventilationskontrollerad. Efter 600 sekunder ökar effekten och uppgår till 2000 kW där den förblir resten av simuleringen. Effekten i rum 4 uppgick mellan 600- och 690 sekunder som mest till 2000 kW därefter avtar effektutvecklingen i rum 4 helt. Rum 3 fick också en liten effektutveckling på cirka 400 kW mellan 630- och 720 sekunder. Även vid detta scenario är det av intresse att ordna med någon form av tryckavlastning.

## 4.8 Scenario 3b

En brand med effekten 2000 kW simulerades i rum 2. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.

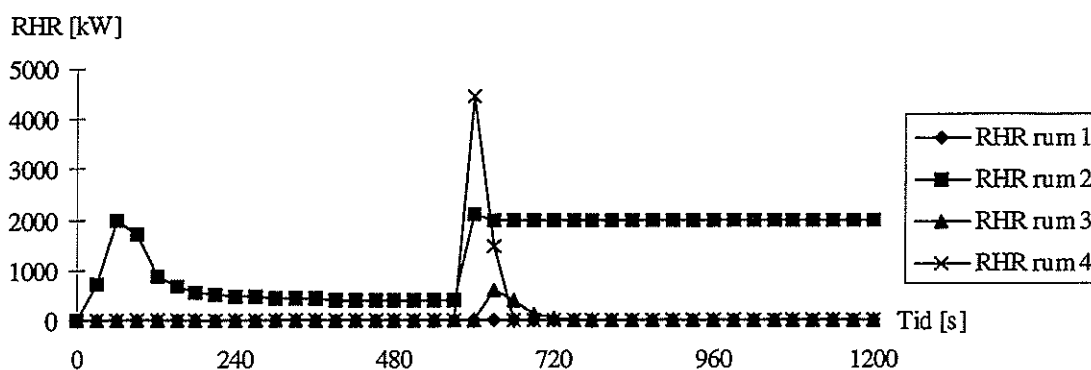


Figur 4.81 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 2.



Figur 4.82 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 2.

## 2 MW i rum 2



Figur 4.83 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 2.

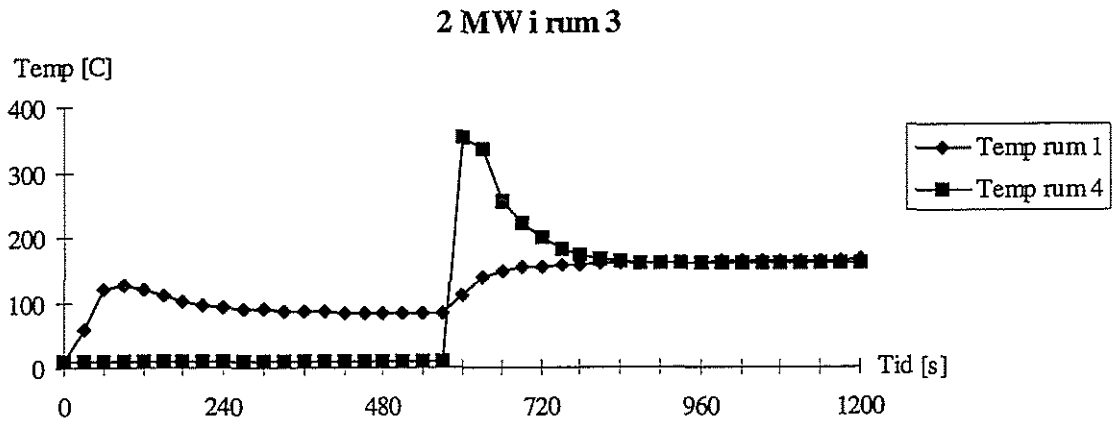
Temperaturen i rum 1 steg till cirka 250 °C efter 80 sekunder därefter sjönk temperaturen och var konstant på cirka 160 °C fram till 600 sekunder av simuleringen. Då branden i rum 2 åter ökade i effekt steg temperaturen till 250 °C där den var under resten av simuleringen. Temperaturen i rum 4 uppgick till cirka 375 °C precis efter det att dörren från rum 3 till rum 4 öppnats. Temperaturen sjönk efter det att förbränningen av oförbrända gaser hade skett och var sedan konstant på cirka 100 °C fram tills dess att simuleringen avbröts.

Brandgaslagrets i rum 1 var i golvnivå under simuleringen första 600 sekunder. Därefter steg röken och lade sig på cirka 0.4m. I rum 4 var röken på cirka 5.5m höjd efter det att dörren från rum 3 öppnats.

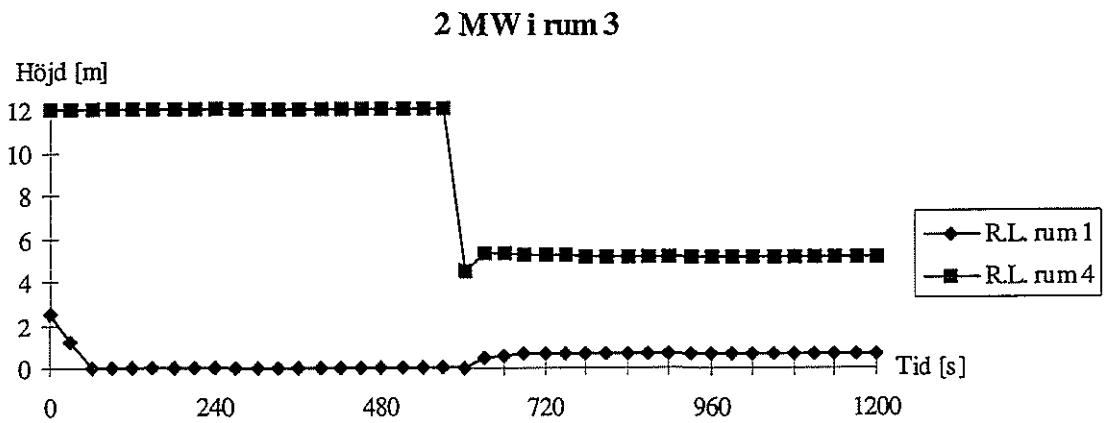
Effektutvecklingen i rum 2 var 2000 kW efter 60 sekunder. Därefter avtog effekten och gick ned till cirka 500 kW fram tills dess att dörrar och fönster öppnades. Vid 600 sekunders simulering steg effekten i rum 2 till 2000 kW där den sedan förblev konstant under resterande simulering. I rum 4 var effekten som högst cirka 4300 kW mellan 600- och 690 sekunders simulering sedan avtog effektutvecklingen helt. Rum 3 fick en liten effektutveckling på cirka 500 kW mellan 630- och 720 sekunders simulering. Vid detta scenario är det av intresse att ordna med tryckavlastning då effekten i rum 4 uppgår till 4300 kW under en relativt liten tidsperiod. Därtill var effekten i det intilliggande rummet (rum 3) cirka 500 kW så det kan bli frågan om relativt höga tryck.

### 4.9 Scenario 3c

En brand med effekten 2000 kW simulerades i rum 3. Det övre brandgaslagrets höjd, temperatur och effektutveckling presenteras för rum 1 och rum 4.

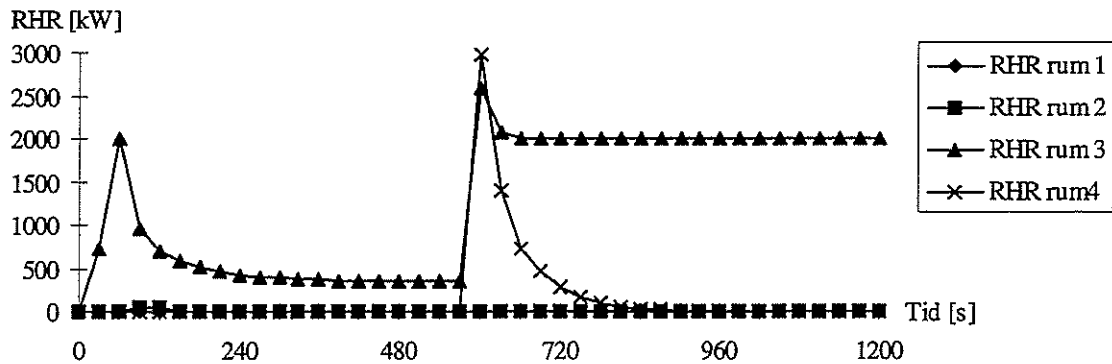


Figur 4.91 Temperaturen i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 3.



Figur 4.92 Brandgaslagrets höjd i rum 1 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 3.

## 2 MW i rum 3



Figur 4.93 Effektutveckling i rum 1,2,3 och rum 4 vid brandeffekt på 2 MW i rum 3.

Temperaturen i rum 1 var efter 60 sekunder cirka 125 °C därefter sjönk den till cirka 100 °C fram tills 600 sekunder. Därefter steg temperaturen till cirka 175 °C och förblev så hög under resterande simulering. I rum 4 var temperaturen som högst cirka 350 °C, efter det att dörren från rum 3 till rum 4 öppnats. Temperaturen sjönk därefter till cirka 175 °C där den förblev konstant fram tills dess att simuleringen avbröts.

Brandgaslagret i rum 1 var i golvnivå fram tills dess att fönster och dörrar öppnades vid 600 sekunder. Då steg röken till cirka 0.5m och var där konstant under resten av simuleringen. I rum 4 var brandgaslagret konstant på cirka 5.5m från det att dörren från rum 3 öppnats tills simuleringens slut.

Effektutvecklingen i rum 3 var efter 60 sekunder 2000 kW, därefter avtog effekten och sjönk till cirka 400 kW fram till 600 sekunder. Vid 600 sekunder steg effekten till cirka 2500 kW för att sedan åter sjunka till 2000 kW. Effekten i rum 4 var mellan 600- och 720 sekunder cirka 2900 kW som högst. Efter det avtog effekten i rum 4 helt. Även i detta scenario är det sannolikt behov av att installera tryckavlastning då det är frågan om stora effektvariationer från det att branden är ventilationskontrollerad tills det att branden åter blir bränsle kontrollerad.

## 5 Diskussion

Detta kapitel avser endast diskussion av de simuleringar som har utförts i denna del av projektet och syftar mest på de experiment som ska utföras i brandövningshuset i Revinge. För en allmän diskussion om taktik och teknik vid brandventilation hänvisas till allmänna handböcker i ämnet.

### 5.1 Scenario 1 a, b och c

Resultaten som redovisades i kapitel 4 visar att vid effekten 500 kW verkar det inte finnas särskild fara vad gäller övertändning och brandgasexplosion. Brandgaslagrets höjd ändras inte mycket mellan de olika körningarna. I rum 1, 2 och 3 hamnar brandgaslagret på cirka 1 m höjd efter att dörrar och fönster öppnas. Temperaturen i dessa rum ligger mellan  $\approx 100^\circ - 300^\circ \text{C}$ . Effekten blir svagt ventilationskontrollerad, vilket innebär liten risk för brandgasexplosion.

### 5.2 Scenario 2 a, b och c

Vid effekten 1 MW blir situationen farligare vad gäller utförande av experimenten. Brandgaslagrets höjd ändras inte särskilt mycket jämfört med scenario 1. Temperaturen blir dock markant högre, är mellan  $300^\circ$  och  $400^\circ \text{C}$  i brandrummet, vilket börjar närma sig övertändningstemperatur. Effekttutvecklingen kan bli farlig när dörrar och fönster öppnas. Här kan man vänta sig flera meter höga lågor som sticker ut genom fönstret från rum 1 eller ut till trapphuset. Detta beror till en del på vindriktningen under försöken. I värsta fall kan brandgasexplosion förekomma.

### 5.3 Scenario 3 a, b och c

Vid effekten 2 MW blir situationen ännu farligare jämfört med scenario 2. Brandgaslagret visar samma tendens som i de övriga scenarierna, men med ett något tjockare rökgaslager i detta fall. Temperaturen har dock ökat markant, i brandrummet kan den nå övertändningstemperaturen  $600^\circ \text{C}$ . Detta innebär att allt brännbart material i brandrummet förångas och blir oförbrända gaser. Stor försiktighet måste därför vidtagas vad gäller den mängd brännbar vätska som placeras i rummet. Detta leder till en stor ansamling oförbrända gaser som förbränns snabbt vid kontakt med syre. När dörren till trapphuset öppnas kan detta leda till brandgasexplosion eller en något mer sakta förbränning (som visas t ex i figur 4.83), där upp till 5 MW förbränns i trapphuset med enorma flammor, hög gastemperatur och tryckuppbyggnad som resultat.

### 5.4 Rekommendationer inför utförande av experiment

- 1) Som ett första steg bör ett antal experiment utföras, där effekttutveckling mellan 250 och 500 kW uppnås. Denna effekt uppnås lämpligen genom att använda t ex heptan i kärl med diameter 0.5 - 1.0 m. Vid brand utomhus, i ett 0.5 m diameter kärl med heptan, blir effekttutvecklingen cirka 250 - 300 kW. Det bör dock beaktas att med högre gastemperatur blir strålningen till bränslet ej försumbar, vilket leder till ökad förångningshastighet och därmed kan effekttutvecklingen bli markant högre än den som förväntas vid brand utomhus. Därför rekommenderas att kärlet placeras på en elektronisk våg, så att förångningshastigheten kan mätas. Dessa mätningar kan sedan användas för att approximera förångningshastigheten vid de följande försöken.
- 2) Mängd brännbar vätska måste noga övervägas inför varje experiment. När gastemperaturen blir hög kan en ökad förångningshastighet orsaka en större mängd oförbrända gaser än förväntat.
- 3) Vindriktningen bör beaktas. Om denna är i riktning mot fönstret till brandrummet kan man förvänta sig sticklågor ut till trapphuset när dörren dit öppnas. I motsatt vindriktning kan större delen av oförbrända gaser förväntas orsaka sticklågor ut genom fönstret. Ett säkrare alternativ är att se till att oförbrända gaser ventileras genom fönstret.

- 4) Om experiment med effektutveckling runt 1 MW ska utföras måste särskilda säkerhetsåtgärder vidtagas för att undvika olyckor när fönster och dörrar öppnas. Det är svårt att garantera att brandgasexplosion inte sker. Ett mycket mer sannolikt händelseförlopp är att de oförbrända gaserna orsakar stora flammor ut till trapphuset eller ut genom fönstret och att de oförbrända gaserna orsakar en tillfällig effektutveckling där. Denna effektutveckling kan dock orsaka omfattande flammor och höga gastemperaturer under kortare tid.
- 5) Vid experiment med effektutveckling runt 1 MW bör några fönster i trapphuset ersättas med löst monterade skivor av något slag. Dessa kan då fungera som tryckavlastning. En sådan avlastning behövs, både vad gäller en möjlig brandgasexplosion samt en möjlig snabb och kraftig effektutveckling med höga flammor.
- 6) Extrem försiktighet måste vidtagas om experiment med högre effektutveckling än 1 MW ska utföras. Rökgaserna blir varmare, därmed ökar strålningen till bränslet och förångningshastigheten. Det blir svårt att förutse om brandgasexplosion kan ske eller inte.

### **5.5 Fortsatta beräkningar inför experimenten i Revinge**

Beräkningar bör utföras även där takventilationen i trapphuset är stängd, för att se om oförbrända gaser i detta fall strömmar, i större utsträckning, ut genom fönstret. Detta kan minska faran för personal när trapphusdörren öppnas, förutsatt att massflödet i huvudsak går från trapphus ut genom fönstret.

Programmet CFAST visade svårigheter vid att simulera fläktar i detta projekt. Lyckade beräkningar vad gäller simuleringar med fläktar har dock tidigare rapporterats. Mycket tid lades ner i detta projekt vid att simulera fläktar. I de flesta fallen kunde simuleringarna inte startas på grund av numeriska problem. I vissa fall utfördes simuleringen men vid noggrann undersökning av resultaten upptäcktes oegentligheter. Det är därför viktigt att undersöka resultaten noggrant vid en sådan simulering, speciellt flöden ut och in genom öppningar. Om inte dessa stämmer med flöden som mekaniskt ventileras in får resultaten bedömas ogiltiga. Kontakt togs med NIST i Washington som har utvecklat CFAST. De bekräftade att i vissa situationer kunde problem uppstå vid simulering av fläktar. En ny version av programmet, där vissa av bristerna har åtgärdats, väntas bli tillgänglig hösten 1995.

Efter att de första försöken har utförts bör ytterligare beräkningar utföras. Dessa ska ge mer detaljerad information om förväntad förångningshastighet samt förväntad mängd oförbrända gaser.

Under försökens gång kommer scenarion att specificeras ytterligare, vilket ger bättre förutsättningar för simulering. Beräkningsarbete bör därför utföras i samband med försökens utförande.



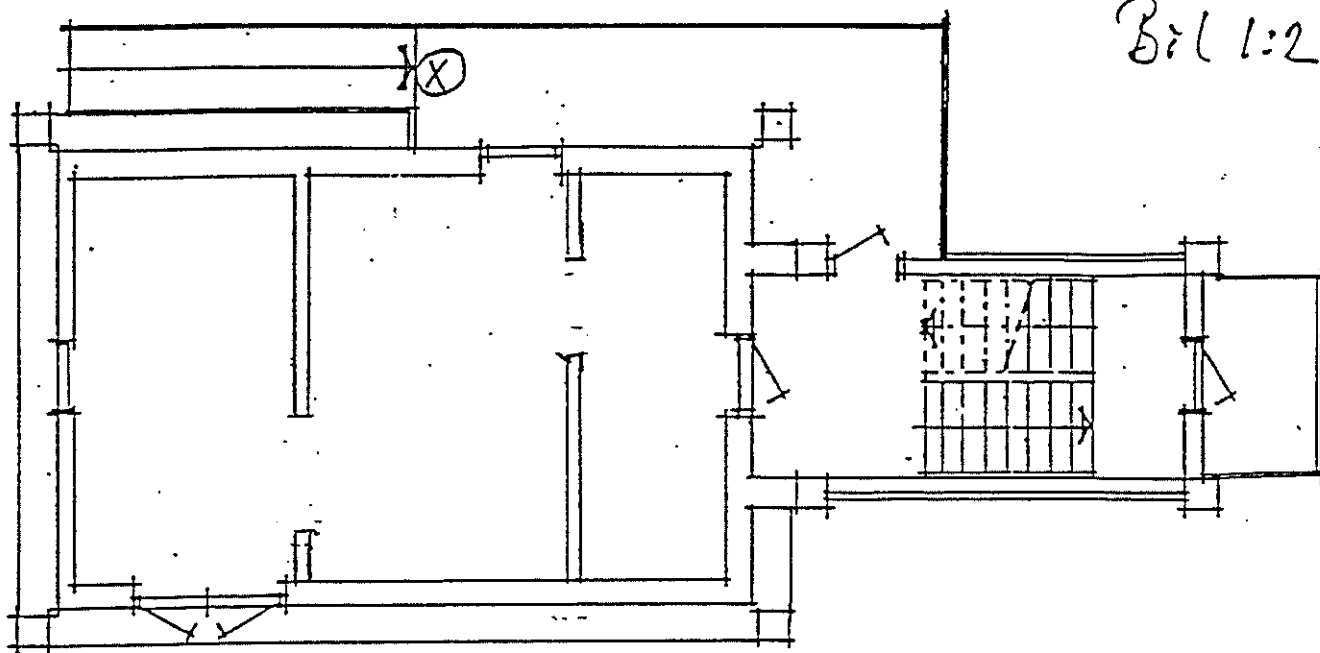
## APPENDIX



BRANDÖVNINGSHUS  
PLANER

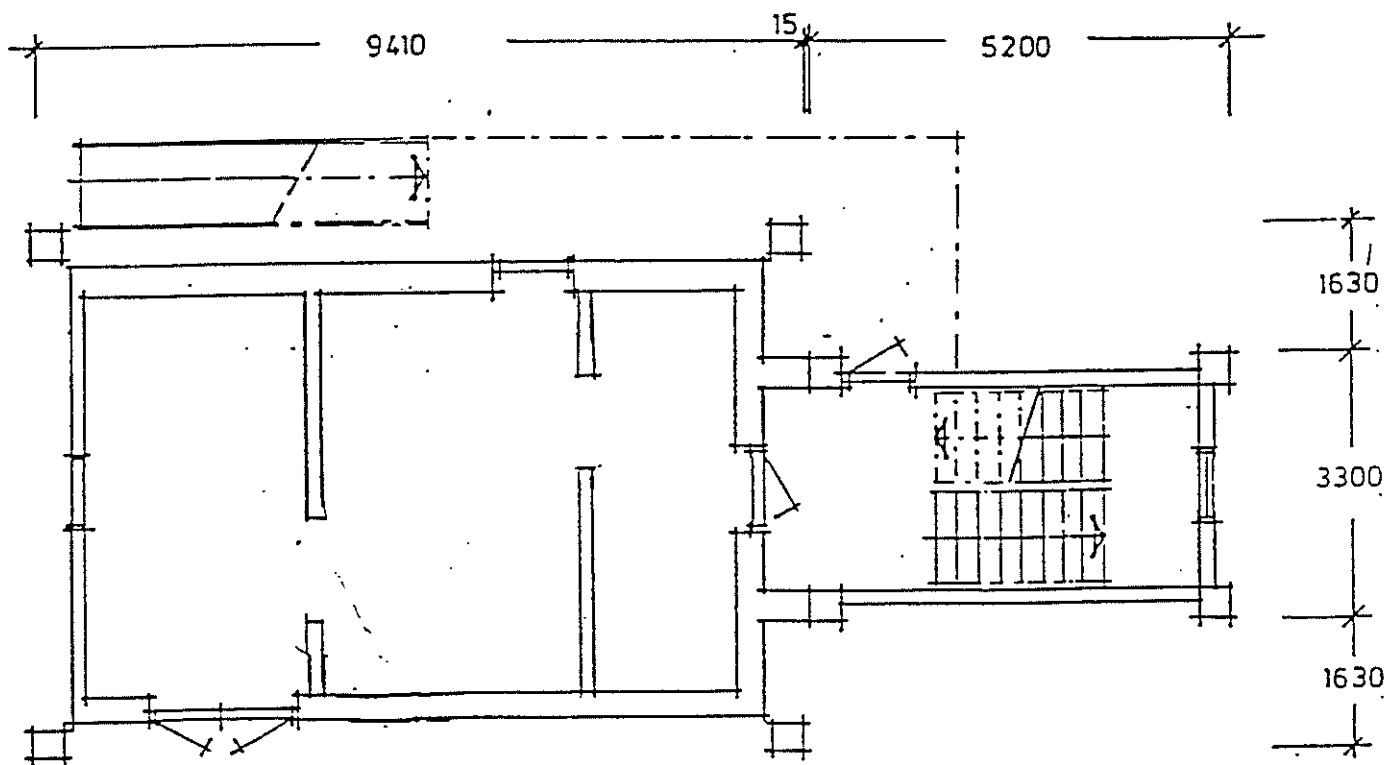
SKALA 1:100

Bil 1:2



PLAN 2

⊗ Grind ~~och~~ avspärrningsanordning för att  
försvara tillträde för obehöriga



PLAN 1

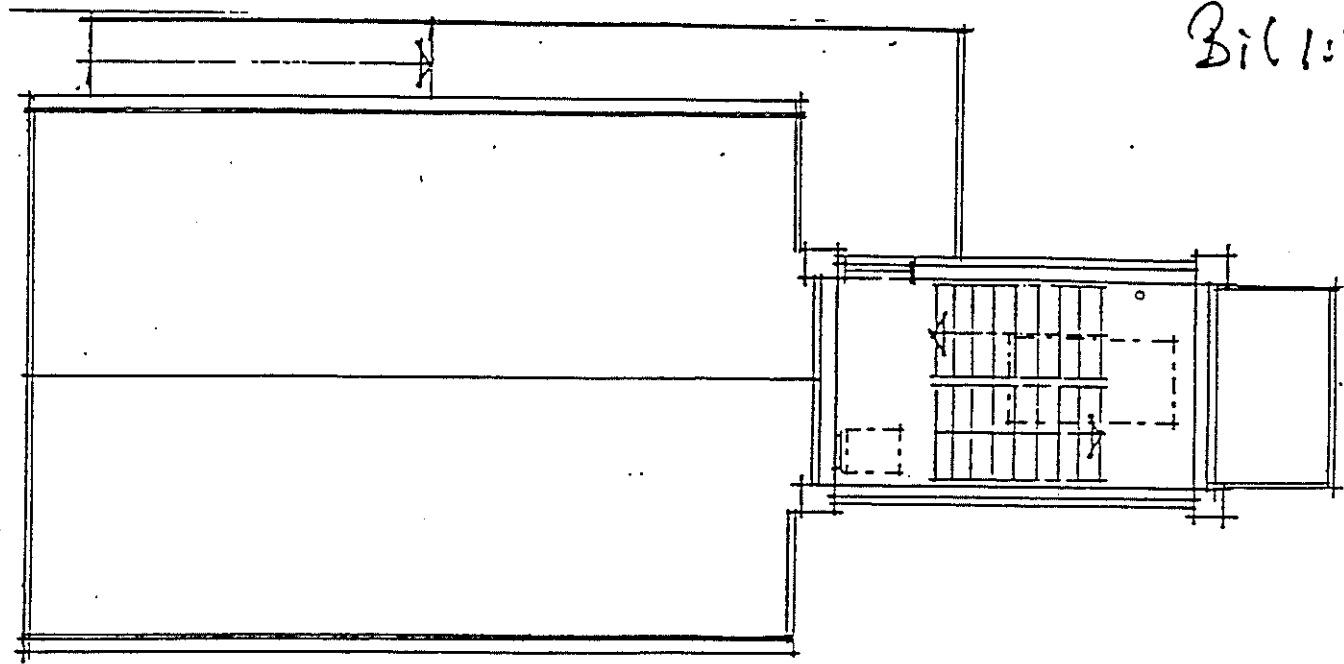


BRANDÖVNINGSHUS

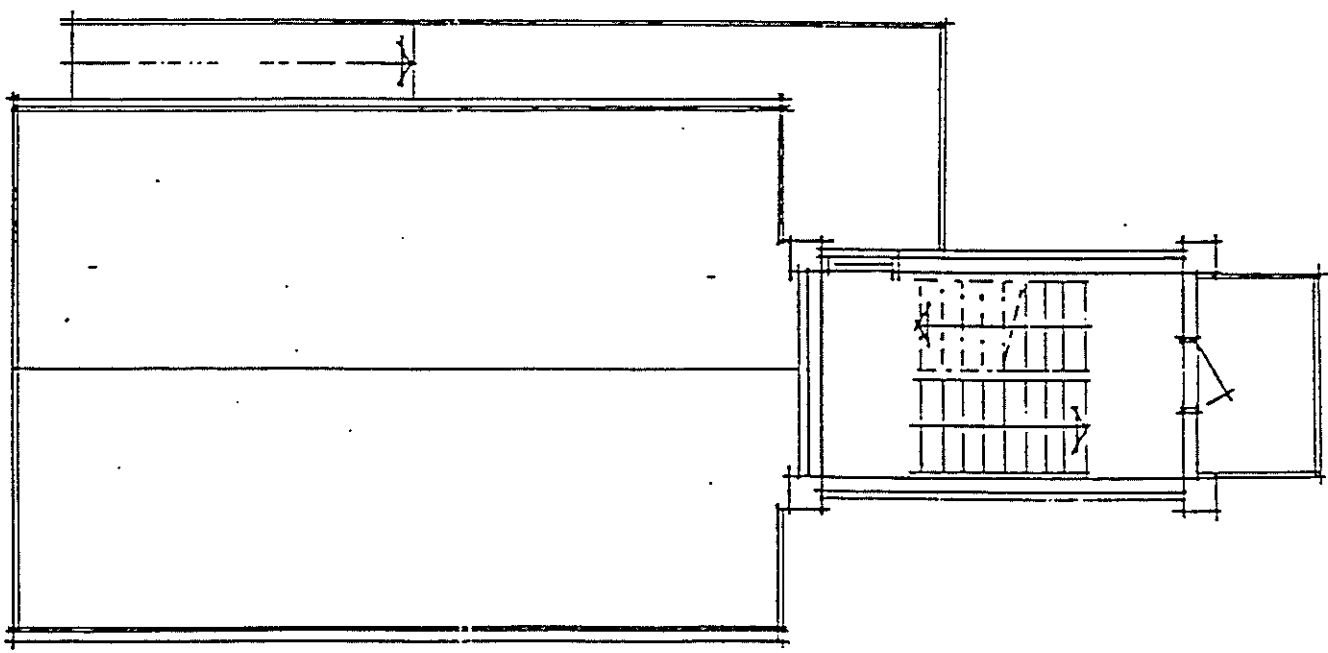
PLANER

SKALA 1:100

Bil 1:3



PLAN 4



PLAN 3

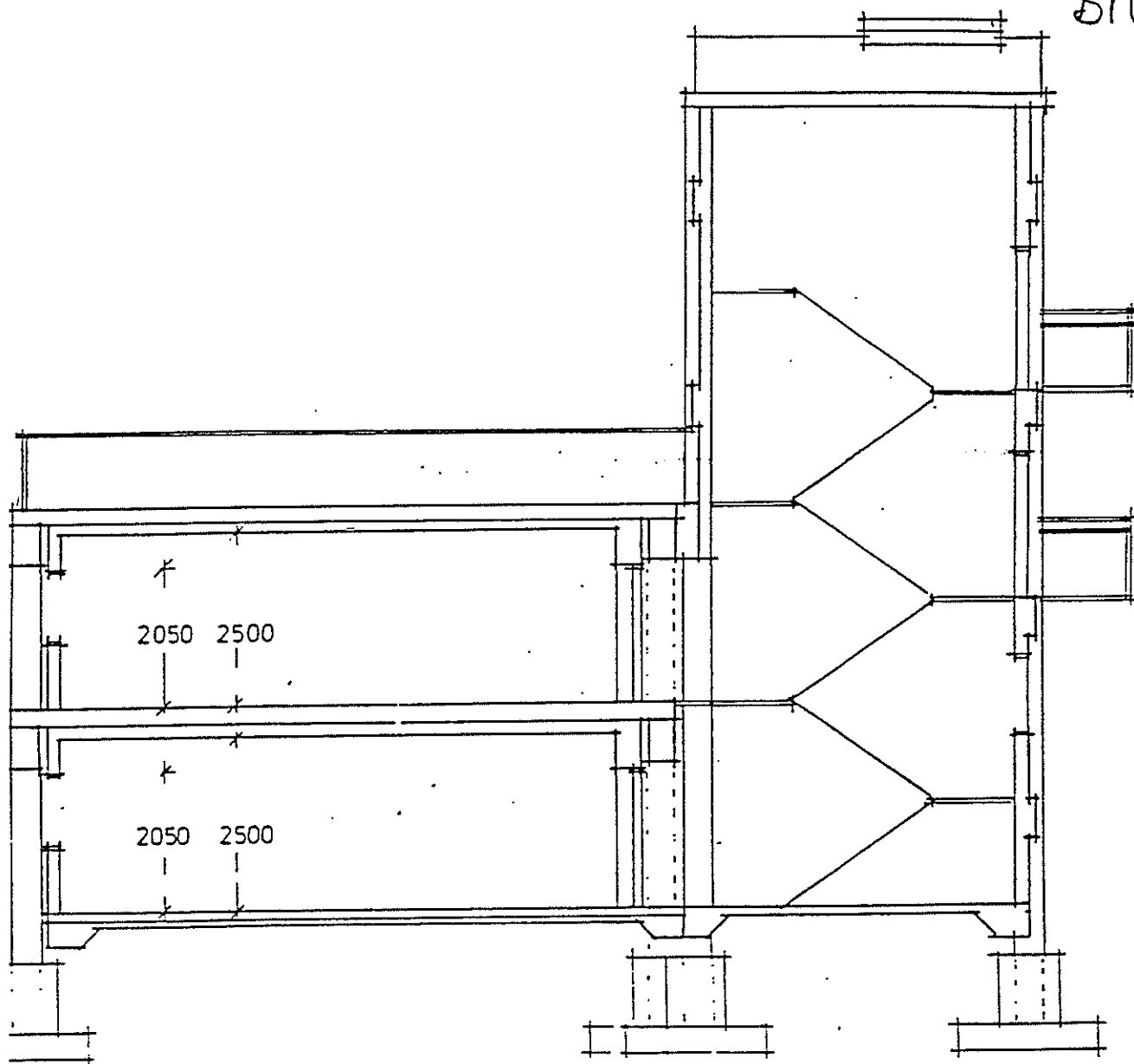


BRANDÖVNINGSHUS

SEKTION

SKALA 1:100

Bil 1:4



SEKTION



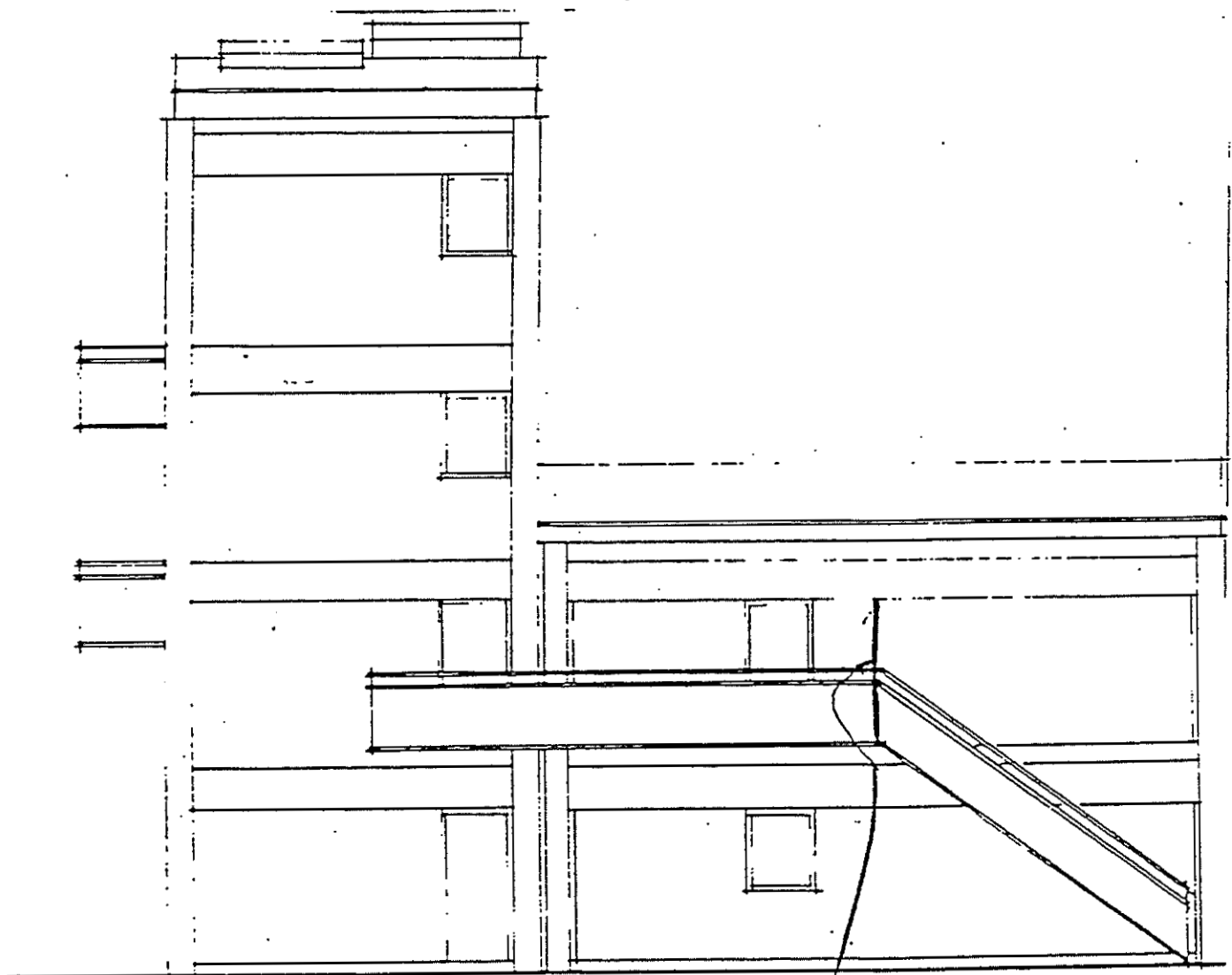


BRANDÖVNINGSHUS

FASAD

SKALA 1:100

Bil 1:5



FASAD MOT SYDVÄST

GEIND (metsu)

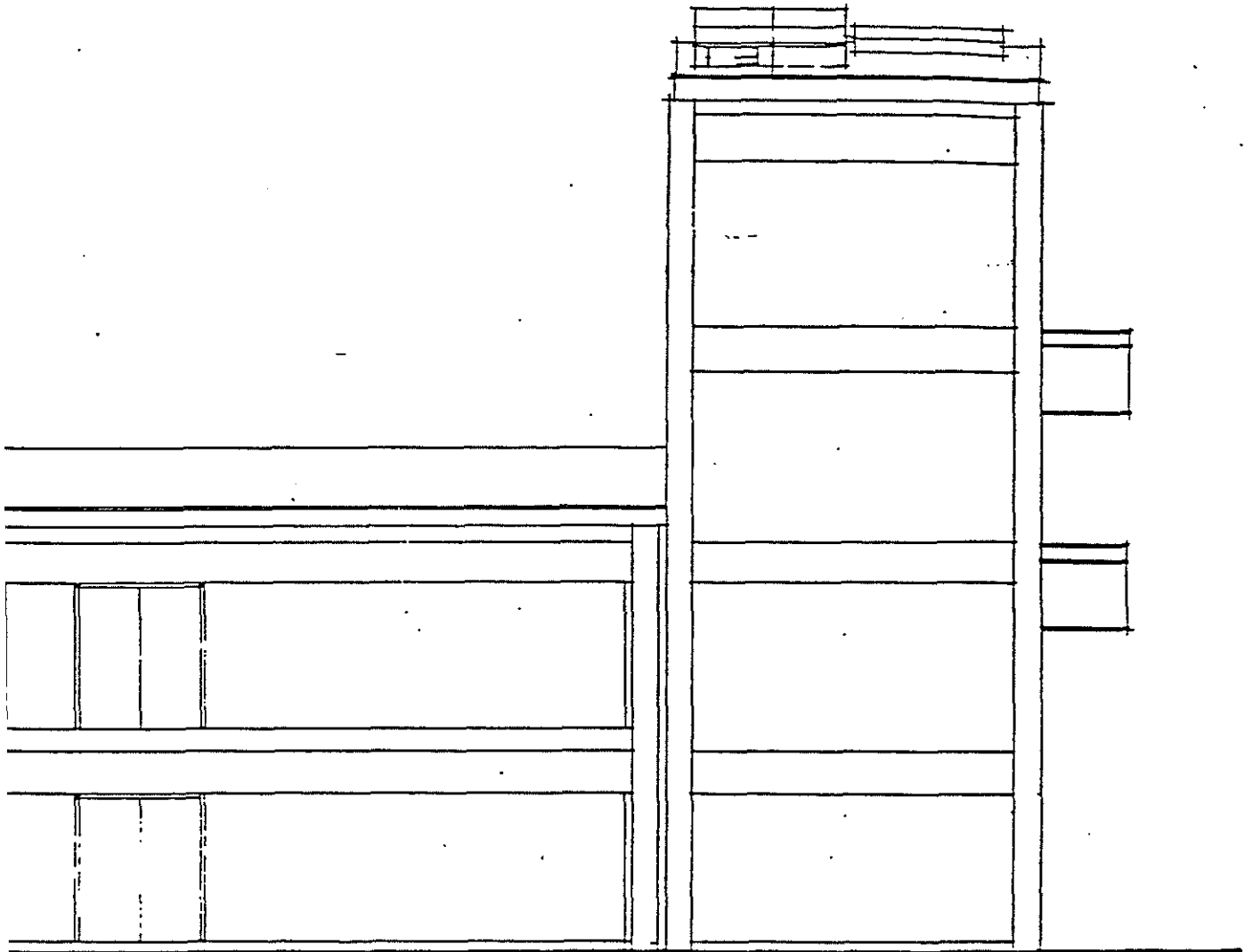


BRANDÖVNINGSHUS

FASAD

SKALA 1:100

Bil 1:6



FASAD MOT NORDOST

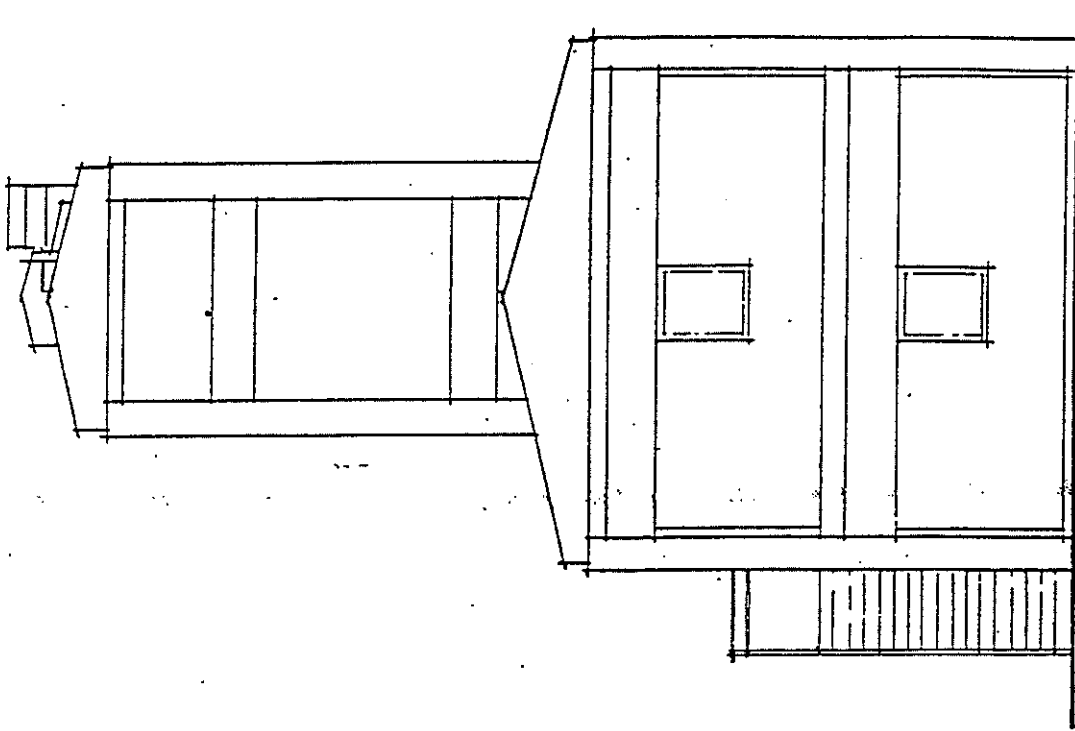


BRANDÖVNINGSHUS

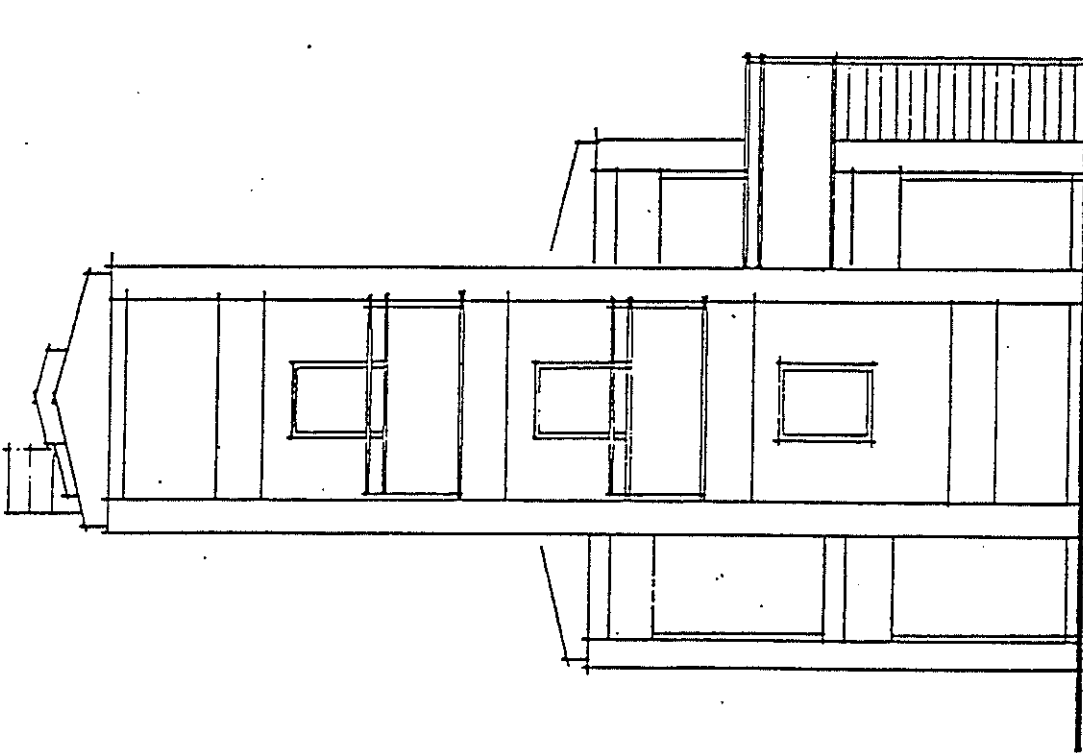
FASADER

SKALA 1:100

Bil 1:7

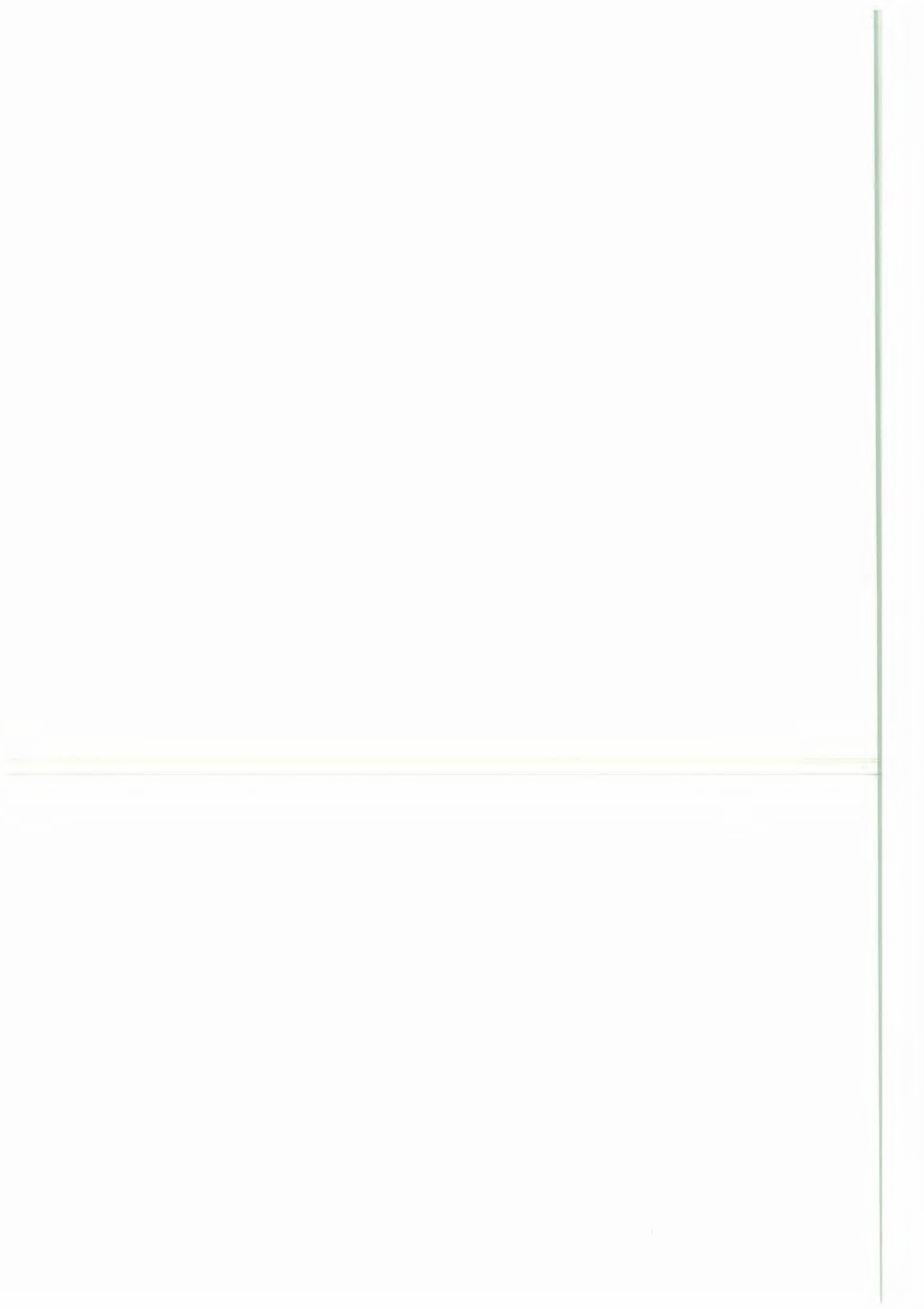


FASAD MOT NORDVÄST



FASAD MOT SYDOST





**STATENS  
RÄDDNINGSVÄRK**

Karolinen

651 80 Karlstad

Tfn 054-10 40 00 vx

ISBN 91-88890-28-7

**Beställningsnummer R53-147/96**

Tfn 054-10 42 86, Fax 054-10 42 10