

FÖRSÖK MED BRAND- GASVENTILATION I EN LITEN LÄGENHET

RAPPORT RÄDDNINGSTJÄNSTAVDELNINGEN R53-159/96

FÖRSÖK MED BRANDGASVENTILATION I EN LITEN LÄGENHET

Rapporten har utarbetats av

Stefan Svensson, Räddningstjänstavdelningen, Enheten för metod och teknik,

tfn 054 - 10 41 28

1996 Statens räddningsverk, Karlstad
Räddningstjänstavdelningen,
ISBN 91-88890-49-X

Beställningsnummer R53 -159/96
1996 års utgåva

Live fire tests with fire and smoke ventilation in a small apartment

Stefan Svensson

Abstract

As a part of a major work on fire ventilation during fire fighting operations, live fire tests were carried out in a fire training facility. The tests documented the temperatures and pressure conditions in a small apartment, before, during and after the entrainment of rescue personnel. Fifteen different scenarios were investigated, using a heptane pool fire in a three-room apartment on the second floor with an attached staircase. The fire tests showed that the risk of fire spread and flash-over will increase if the distance between the fire and the ventilation opening is large. The possibility of survival for victims trapped inside the apartment will then decrease. Positive pressure ventilation increases the burning rate. This is more significant if the fan is located outside the staircase (as in the case of pressurization of the staircase). Fire fighters may have an significant influence on pressure and flow patterns inside a burning apartment.

Keywords: live fire tests, fire ventilation, positive pressure ventilation, ppv

Försök med brandgasventilation i liten lägenhet

Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i>	5
<i>Summary in English</i>	7
<i>Inledning</i>	9
<i>Försök och mätningar</i>	11
<i>Resultat</i>	13
Förklaring till redovisade diagram	13
<i>Diskussion</i>	15
<i>Slutsatser</i>	25
<i>Förslag till fortsatta studier</i>	27
<i>Litteraturförteckning</i>	29
<i>Bilagor</i>	31
Bilaga 1, mätresultat från försök (i diagram)	33
Bilaga 2, beräkningsformler	83

Sammanfattning

Räddningsverket genomför sedan hösten 1994 ett större projekt om brandgasventilation i samband med räddningsinsats. Målet med projektet är att ge en mycket noggrann redogörelse för möjligheter, brister, problem och svårigheter samt rekommenderat tillvägagångssätt för olika metoder för brandventilation. Projektet avser också att ta fram en vetenskapligt underbyggd metodik, inklusive teorier om brandventilation, som är anpassade för fältbruk.

Som ett led i detta projekt genomfördes en försöksserie i brandövningshuset vid Räddningsskolan i Revinge. Försöken avsåg därvid att i en lägenhet på plan 2 bestående av tre rum med anslutning till trapphus, dokumentera temperatur- och tryckförhållanden före, under och strax efter uppöppnande av lägenheten. Som brandkälla användes heptan i fat, med diameter 0.50 m.

Fem olika insatssituationer studerades:

- a) insats genom lägenhetsdörr, stängt fönster,
- b) insats genom fönster, stängd dörr,
- c) insats genom lägenhetsdörr, öppet fönster,
- d) insats genom lägenhetsdörr, öppet fönster och övertrycksventilation, fläkten placerad utanför lägenhetsdörr,
- e) insats genom lägenhetsdörr, öppet fönster och övertrycksventilation, fläkten placerad utanför ytterdörr (trycksättning av trapphus).

Dessa fem situationer provades med brand i vart och ett av de tre rummen. Totalt genomfördes 15 försök.

De huvudsakliga slutsatserna är bland annat att risken för brands spridning, övertändning och därmed också för eventuellt kvarvarande människor inne i lägenheten, blir större då avståndet till ventilationsöppningen är stort. Dessutom ökar övertrycksventilering effektutvecklingen. Det uppstår därvid en viss skillnad då fläkten är placerad så att det övervägande delen är en tryckökning som verkar mot brandlägenheten, jämfört med om det är en utpräglad luftström som blåser igenom lägenheten. Tryckökning tycks ge större effektutveckling än vid verkan av luftströmmen.

Vid övertrycksventilering kan rökdykare eller annan räddningspersonal påverka tryck- och strömningsbilden märkbart. Fläkttryck och brandtryck vara av motsvarande storlek under försöken (i förhållande till geometrin) och skapade därmed brandgasrörelser av motsvarande storlek, vilket gör brandgasrörelserna känsliga för störningar av olika slag.

Rapporten ger också förslag till fortsatta studier, bland annat hur temperaturer, brandgasflöden och värmeeffekt/förbränningshastighet påverkas då lägenhetsrummen är placerade "parallellt" (till skillnad från de nu genomförda försöken, där lägenhetsrummen var placerade i "serie"). Dessutom borde studier genomföras för att i detalj kartlägga hur ofta kommunal räddningstjänst genomför aktiv brandgasventilation, på vilket sätt detta genomförs, vilket syftet är samt hur resultatet blir.

Summary in English

The Swedish Rescue Services Agency is since fall of 1994 carrying out a major work on fire ventilation during fire fighting operations (including forcible entry). The objectives are to thoroughly investigate and describe possibilities, problems, lacks of knowledge and also plausible courses of actions when using fire ventilation and forcible entry. The intention is also to develop a scientifically based method, including theories on fire ventilation, adapted for the fire ground.

As a part of this major project a series of live fire tests were carried in a three-room apartment on the second floor with an attached staircase out in a fire training facility. The tests were intended to document the temperature and pressure conditions in a small apartment before, during and after entrainment of rescue personnel. As a source of fire, heptane was used in a 0.50 m diameter pool.

Five different fire fighting situations were investigated,

- a) operation through door, window closed,
- b) operation through window, door closed,
- c) operation through door, window open,
- d) operation through door, window open and using positive pressure ventilation with the fan placed right outside the door to the apartment,
- e) operation through door, window open and using positive pressure ventilation with the fan placed outside the door to the staircase (pressurization of the staircase).

These five situations were tested with the fire source in each of the three rooms. As a total 15 tests were performed.

The main conclusions are, among others, that the risk of fire spread and flash-over will increase if the distance between the fire and the fire ventilation (the opening) is large. The possibility of survival for victims trapped inside the apartment will then decrease.

Positive pressure ventilation increases the burning rate. This is more significant if the fan is located outside the staircase (as in the case of pressurization of the staircase).

During positive pressure ventilation, fire fighters may have an significant influence on pressure and flow patterns inside a burning apartment. The pressure generated by the fan and the pressure generated by the fire were of the same proportion, which made the movement of smoke and hot gases sensitive to pressure-changes and wind.

Continued work should be aimed at studying temperature, flow-patterns and burning rates in an apartment where the room are in "parallel" (as opposed to the fire tests described in this report, where the rooms were in "series"). Investigation should also be made in order to identify fire ventilation procedures during real fire fighting operations, including methods, purpose and gain/loss.

Inledning

Räddningsverket genomför sedan hösten 1994 ett större projekt om brandgasventilation i samband med räddningsinsats. Målet med projektet är att ge en mycket noggrann redogörelse för möjligheter, brister, problem och svårigheter samt rekommenderat tillvägagångssätt för olika metoder för brandventilation. Projektet avser också att ta fram en vetenskapligt underbyggd metodik, inklusive teorier om brandventilation, som är anpassad för fältbruk.

Projektet består i huvudsak av fyra delar.

Del 1 består av ett beräkningsmässigt (ingenjörsmässigt) underlag omfattande tryckförhållanden vid olika brand- och ventilationsförhållanden i byggnader. Underlaget ska ligga till grund för del 2 (försöksserie) som är planerad till hösten 1995 och våren/hösten 1996.

Del 2 består av en försöksserie innefattande kända och eventuellt nya metoder samt känd och eventuellt ny teknik för brandventilation och håltagning. Närmre innehåll av försöksserien bestäms bland annat med ledning av det beräkningsmässiga underlaget. Både brandventilation som fenomen och håltagningsteknik ska preliminärt ingå i försöken.

Del 3 är en analys av resultaten från försöken, beräkningsunderlaget och eventuellt tidigare genomförda försök och studier.

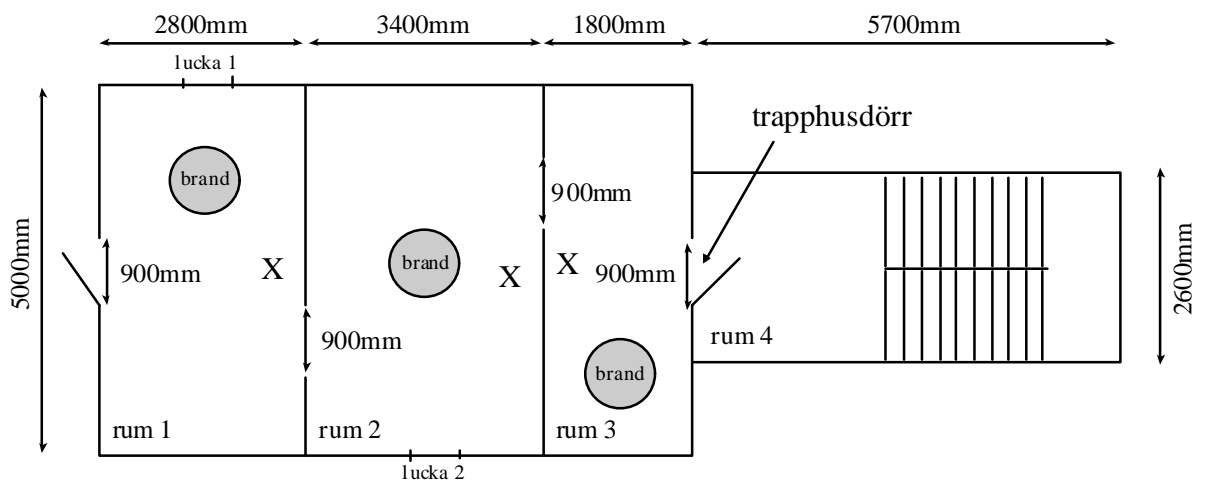
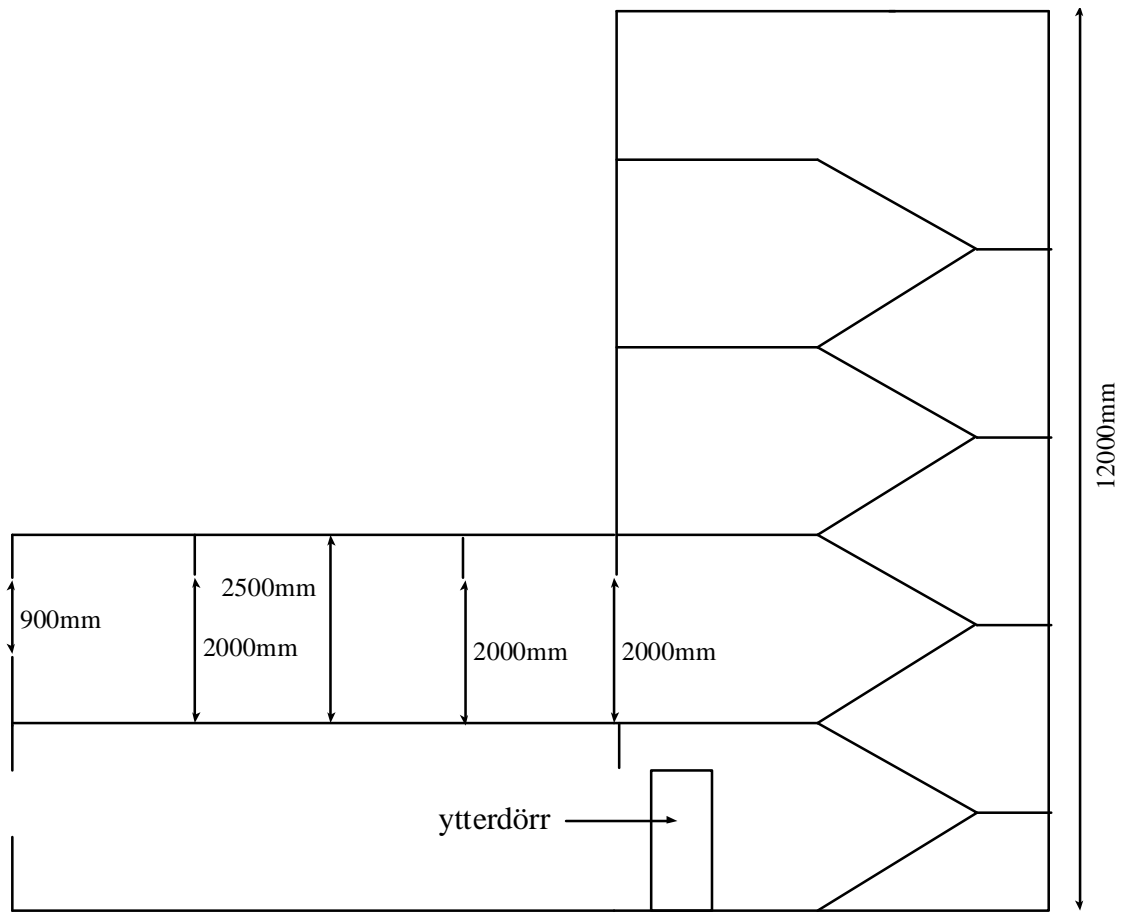
Del 4 innebär att utifrån resultatet i de första delarna ta fram underlag för nya/förbättrade metoder, ny/förbättrad teknik samt utbildningsunderlag.

Räddningsverket utförde som ett led i del 2 av detta projekt, en försöksserie i brandövningshuset ("Luleåhuset") på räddningsskolan i Revinge under vecka 41 1995. Syftet med försöken var att kartlägga de temperatur- och tryckförhållanden som råder i en brinnande byggnad, typ lägenhetsbrand, före, under och strax efter räddningsinsats/rökdykarinsats.

Försöken avsåg därvid att i en lägenhet bestående av tre rum med anslutning till ett trapphus, dokumentera temperatur- och tryckförhållanden före, under och strax efter uppöppnande av lägenheten. Försöken avsåg att simulera de brandförhållanden som kan förväntas vid räddningsinsats mot lägenhetsbrand, vid varierande metoder i samband med inträngning och släckning i lägenheten.

Som brandkälla användes i huvudsak heptan i fat. Storleken på branden valdes med hänsyn till lägenhetens och dess öppningars storlek. Totalt genomfördes 20 försök varav 3 försök med diametern 0.80m, 15 försök med diametern 0.50m samt två försök med brännbart skivmaterial på delar av vägg och tak i ett av rummen. I denna rapport redovisas resultaten från 15 försök med heptan i fat med diametern 0.50m.

Vid försöken medverkade Stefan Svensson, Hans Spets, Sören Lundström och Lennart Danielsson från Räddningsverket samt Sven-Ingvar Granemark från Institutionen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola.



X = placering av termoelement

Försök och mätningar

Avsikten var att i en trerumslägenhet på andra våningen simulera och studera fem olika insatssituationer:

- a) insats genom lägenhetsdörr, stängt fönster
- b) insats genom lägenhetsfönster, stängd dörr (till exempel då dörr/säkerhetsdörr ej går att öppna)
- c) insats genom lägenhetsdörr, öppet fönster
- d) insats genom lägenhetsdörr, öppet fönster och övertrycksventilation, fläkten placerad utanför lägenhetsdörr
- e) insats genom lägenhetsdörr, öppet fönster och övertrycksventilation, fläkten placerad utanför ytterdörr (trycksättning av trapphus)

Dessa fem situationer provades med brand i vart och ett av de tre rummen, dvs totalt femton försök.

Brandkällan var en heptanbrand i ett kärl med diameter $\varnothing 0.5\text{m}$, vilket i det fria motsvaras av effekten 370 kW (förbränningshastigheten 8.4 g/s) (formel [1] och [2] i bilaga 2).

Kärlet fylldes till mellan 30 - 50 mm höjd, vilket med avbrinningshastigheten 4 mm/min motsvarar 7.5 -12.5 minuter. Variationen beror på att bränslet fylldes på med hjälp av mätsticka under dåliga ljusförhållanden. Utgångsläget inför varje försök var helt stängt rum bortsett från två mindre ventilationsluckor i golvhöjd (0.6m \times 0.2 m) i rum 1 (lucka 1) respektive rum 2 (lucka 2). Cirka 7 minuter efter antändning inleddes ventilationsförsöken. För att simulera brandsläckning tilläts branden att självslockna någon eller några minuter efter att lägenheten öppnats upp.

Temperaturer mättes i samtliga rum på plan 2 i fyra nivåer samt i trapphus i fyra nivåer. Gasflöden mättes med hjälp av pitotrör i fönstret, trapphusdörren samt i ventilationsluckorna. Avbrinningshastigheten mättes med lastcell. Mätvärdena loggades i dator för efterbearbetning.

Fläkten som användes för övertrycksventilering under försöken var av typen Typhoon 18T5, vilken drivs av en 5 hk (3.73 kW) förbränningsmotor. Fläkten ger cirka 2.7 m³/s.

Resultat

Mätdata redovisas i diagram i bilagor.

Förklaring till redovisade diagram

Beteckning på försöken

Försöken är numrerade i rumsföljd, till exempel innebär beteckningen ”försök 2c” att branden var i rum 2 (rummet mitt i lägenheten) samt att insatssituationen var av typ c (insats genom lägenhetsdörr med öppet fönster, se ovan). De olika försöken varierar något i längd, vilket beror på att brandens varaktighet har varit styrande för hur länge försöken har pågått. Någon större noggrannhet i försökens respektive längd har inte eftersträfvats.

Temperatur

För alla försöken redovisas temperaturmätningar i samtliga utrymmen, inklusive trapphuset. Därvid är rum 1 rummet längst ifrån trapphuset (försedd med fönster till det fria, samt med lucka 1 i golvnivå), rum 2 är rummet mitt i lägenheten (utan öppningar direkt till det fria, förutom lucka 2 i golvnivå), rum 3 är rummet närmast trapphuset (försedd med trapphusdörr till trapphuset) samt rum 4 är trapphuset (försedd med ytterdörr i marknivå till det fria).

Temperaturerna i rum 1, rum 2 och rum 3 redovisas för höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv. Temperaturerna i rum 4 (trapphuset) redovisas för höjderna 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv. Skalan på y-axeln (temperatur) är olika för olika rum.

Flödes hastighet

Flödes hastigheten är beräknad utifrån uppmätta tryckdifferenserna. För försök med insatssituationen c redovisas således flödes hastighet genom trapphusdörr och fönster. Dessutom redovisas för försök med insatssituation a och b även flödes hastighet genom luckorna i golvnivå i rum 1 och rum 2, men inte för försök med insatssituationerna c, d och e, eftersom flödet vid dessa försök visade sig i huvudsak ske genom fönster- och dörröppning.

Värdena är registrerade som positiva om flödet är riktat mot pitotröret. En kurva som betecknas ”överst, in” visar således uppmätta värden överst genom en öppning och är positivt då flödet är riktat inåt. På motsvarande sätt visar negativa värden på kurvan för ”underst, ut” att flödet är riktat inåt.

Observera att det sker ganska stora brandgasrörelser i lägenheten även innan det att fönster/dörr öppnas. Pitotrören registrerade även dessa rörelser, vilket beror på pitotrörens utformning samt att utrymmena är små i förhållande till brandens storlek. Det är dock endast flödes hastigheterna efter det att fönster/dörr öppnats som är intressanta. Detta sker för samtliga försök någonstans i intervallet 400 - 500 sekunder.

Pitotröret monterades av praktiska skäl också något förskjutna i längsled. Mätningarna för inåtgående och utåtgående strömning var således förskjutna cirka 8 cm, vilket i vissa fall kan ha bidragit till viss skillnader i mätningarna. Detta har visat sig i synnerhet för mätningarna i trapphusdörren under försök 1d, 2d och 3d.

Flödes hastigheterna loggades var 10:e sekund, och redovisas som medelvärden över fem mätpunkter, dvs över 40 sekunder, vilket medför att kortare flödespulser har gått förlorade i redovisningen. Att inte göra på detta vis hade resulterat i mycket svårtydbara kurvor.

Förbränningshastighet

Diagrammen över förbränningshastigheten redovisar hur fort bränslet brinner av i gram per sekund. Det teoretiska värdet för avbrinningen är 8.4 g/s (370 kW).

Förbränningshastigheterna loggades var 10:e sekund, och redovisas som medelvärden över fem mätpunkter, dvs över 40 sekunder.

Övertryck

Tryckskillnad mot omgivningen utanför byggnaden mättes i taknivå i rum 2. Övertrycket redovisas dock inte för försök 1a - 1c, på grund av att tryckmätaren var ur funktion under dessa försök vilket observerades efter försök 1c.

Diskussion

Den diskussion som förs och de slutsatser som dras i denna rapport gör inga anspråk på att vara fullständiga, eftersom den mängd mätdata som erhöles under försöken var oerhört stor.

Nedan följer jämförelser och diskussion utifrån följande kombinationer av försök, vilka får anses höra till de mer intressanta jämförelserna.

- försök 1a jämfört med försök 1b,
- försök 2a jämfört med försök 2b,
- försök 3a jämfört med försök 3b,
- försök 1a jämfört med försök 3b,
- försök 1b jämfört med försök 3a,
- försök 1a jämfört med försök 3a,
- försök 1b jämfört med försök 3b,
- försök 1c jämfört med försök 1e,
- försök 2c jämfört med försök 2e,
- försök 3c jämfört med försök 3e,
- försök 1c jämfört med försök 2c, försök 3c och övriga försök,
- försök 1d jämfört med försök 2d och försök 3d, samt
- försök 1e jämfört med försök 2e och försök 3e.

Hänvisningar till diagram avser diagram i bilaga 1 till denna rapport.

Försök 1a jämfört med försök 1b:

Vid försök 1a är branden långt ifrån en stor öppning (dörren) och vid försök 1b är branden nära en liten öppning (fönstret). En jämförelse mellan diagram 1 och 5 (temperaturer i lägenheten) visar att temperaturen i brandrummet, efter att dörr respektive fönster öppnats, är något högre vid försök 1a än i 1b. Dessutom sker det ingen större förändring vid försök 1b i rum 2 och 3 medan motsvarande vid försök 1a visar förhöjda temperaturer i taknivå och lägre temperaturer i golvnivå.

I försök 1a passerar varma brandgaser rum 2 och 3 och ut genom trapphusdörren medan frisk (kall) luft strömmar in i golvnivå. Vid försök 1b sker inte motsvarande strömning genom lägenheten. Skiktningen av brandgaserna i rum 2 och 3 är troligen sämre vid försök 1b. En jämförelse mellan diagram 3 och 7 (flödes hastigheter genom luckor) samt mellan 4 och 8 (förbränningshastighet) visar att det inte förekommer någon signifikant skillnad mellan dessa försök med avseende på strömning genom luckor samt förbränningshastighet.

Försök 2a jämfört med försök 2b:

Vid försök 2a och 2b är branden "mitt i" lägenheten, med en stor (trapphusdörr) respektive en liten (fönster) öppning. En jämförelse mellan diagram 24 och 29 uppvisar stora likheter mellan brandrumstemperaturerna i de båda försöken. De rum som inte har någon öppning i försöken, rum 1 i försök 2a respektive rum 3 i försök 2b, uppvisar också stora likheter. De rum med öppning, rum 3 i försök 2a respektive rum 1 i försök 2b, skiljer sig dock något. Rum 3 i försök 2a uppvisar lägre temperatur i golvnivå än rum 1 i försök 2b. Detta beror troligen på den större öppningen (trapphusdörren) som sträcker sig ända ner till golvet. Skiktningen i försök 2a blir bättre eftersom frisk luft kan strömma in i lägenheten mer obehindrat än i försök 2b.

En jämförelse mellan diagram 28 och 33 visar att förbränningshastigheten efter det att respektive öppning öppnats är högre i försök 2b (cirka 7 g/s, vilket enligt formel [2] i bilaga 2 motsvarar cirka 312 kW) än i försök 2a (cirka 5 g/s, vilket motsvarar cirka 223 kW). Detta är något förvånande eftersom öppningen var 2 gånger större vid försök 2a. Den större arean borde ha medfört att förbränningshastigheten var större i försök 2a. En jämförelse mellan diagram 25 och 30 uppvisar en bättre skiktningen genom trapphusdörren (försök 2a) i ett övre utströmmande varmt brandgaslager och inströmmande i kall friskluft i nedre delen, än motsvarande genom fönstret (försök 2b).

Skiktningen av brandgaserna tycks bli sämre om öppningen är liten, motsvarande ett fönster. Detta bör medföra ökade risker för eventuella kvarvarande människor i de fall i samband med verklig lägenhetsbrand då endast en mindre del av ventilationsarean är öppen.

Försök 3a jämfört med försök 3b:

Vid försök 3a är branden nära en stor öppning (trapphusdörren) och vid försök 3b är branden långt ifrån en liten öppning (fönstret). En jämförelse mellan diagram 50 och 55 visar att temperaturen i brandrummet, efter att dörr respektive fönster öppnats, är något högre vid försök 3b än i 3a. Dessutom sker det ingen större förändring vid försök 3a i rum 1 och 2 medan motsvarande vid försök 3b visar förhöjda temperaturer i taknivå och lägre temperaturer i golvnivå. I försök 3b passerar varma brandgaser rum 1 och 2 och ut genom fönstret medan frisk (kall) luft strömmar in i fönsterts nedkant. Vid försök 3a sker inte motsvarande strömning genom lägenheten. Skiktningen av brandgaserna i rum 1 och 2 är troligen sämre vid försök 3a. Den något högre brandrumstemperaturen vid försök 3b beror troligen på återstrålningen från framför allt brandgaslagret, vilket troligen är lägre i brandrummet i försök 3b än i försök 3a. Detta bekräftas till viss del också av diagram 53 och 58, vilka visar att förbränningshastigheten är högre i försök 3b än i 3a. Dessa diagram uppvisar i övrigt mycket stora likheter. En jämförelse mellan diagram 51 och 56 visar stora likheter samtidigt som det troligen också finns stora skillnader. Likheter består i att varma brandgaser strömmar ut genom respektive öppnings ovkant och friskluft strömmar in i nedkant. Den höga hastigheten i diagram 51 beror troligen på att verkan av takstrålen är stor, eftersom branden är mycket nära öppningen. Skiktningen i resten av lägenheten är troligen, som tidigare nämnts, mindre god i försök 3a. I försök 3b är avståndet mellan branden och öppningen (fönstret) så pass stor att skiktningen blir god, trots att frisk luft, på grund av fönstrets höjd över golvet, strömmar in "uppifrån".

Då lägenhetens ventilationsarea är nära branden, sker endast mindre förändringar med avseende på temperaturen i lägenhetens övriga utrymmen. Vid ett motsvarande verkligt fall bör detta medföra ökade risker för eventuella kvarvarande människor, eftersom mindre mängder friskluft strömmar in i lägenhetens nedre delar och skiktningen därmed blir sämre. Samtidigt tycks brandrumstemperaturen bli högre om öppningen görs långt ifrån branden, med ökad brandspridnings- och övertändningsrisk som följd.

Försök 1a jämfört med försök 3b:

I försök 1a är branden långt ifrån en stor öppning (trapphusdörren) och i försök 3b är branden långt ifrån en liten öppning (fönstret). En jämförelse av diagram 4 och 58 visar att förbränningshastigheten under de båda försöken i stort sett är identiska. Branden i försök 3b har en något längre varaktighet vilket beror på skillnader i mängden bränsle. Den höga förbränningshastigheten i de båda försöken (cirka 12 g/s, vilket enligt formel [2] i bilaga 2 motsvarar cirka 535 kW) kan bland annat bero på att brandgaslagret är nära golvet i brandrummet, vilket då resulterar i kraftig värmestrålning mot bränsleytan.

Skiktningen i försök 1a (stor ventilationsöppning) tycks vara relativt god, vilket troligen beror på den relativt höga öppningen (trapphusdörren). Brandgaser och friskluft kan strömma ut respektive in tämligen obehindrat genom denna öppning. Den mindre ventilationsöppningen (fönstret) gör troligen att friskluft som strömmar in i öppningens nederkant till viss del blandar sig med utströmmande varma brandgaser, vilket leder till något sämre skiktning. Utbytet mellan omgivningen och brandlägenheten i försök 1a och 3b sker till stor del genom ventilationsöppning som är långt ifrån brandrummet, vilket medför att brandgaser från branden strömmar genom hela lägenheten innan de når öppningen. Detta bör medföra att de varma brandgaserna lämnar ifrån sig en del av sin energin och värmer upp konstruktionen samtidigt som hastigheten avtar.

Brandrumstemperaturen tycks vara mer beroende av avståndet till öppningen än till öppningens storlek. Ett ökat avstånd medför djupare brandgaslager, vilket leder till ökad återstrålning mot bränsleytan och därmed ökad förbränningshastighet varvid brandrumstemperaturen ökar.

Försök 1b jämfört med försök 3a:

I försök 1b är branden nära en liten öppning (fönstret) och i försök 3a är branden nära en stor öppning (trapphusdörren). En jämförelse mellan diagram 5 och 50 visar att brandgastemperaturen i brandrummet blir högre om öppningen är mindre. Dessutom tycks temperaturskiktningen bli sämre om öppningen är mindre, bland annat eftersom luft som tränger in i lägenhetens övriga rum, först ska passera brandrummet. Diagrammen över temperaturerna i de rum som är längst från öppningarna i försök 1b och 3a (rum 3 respektive rum 1) visar att temperaturutvecklingen i stort sett är identisk. När branden slocknat sjunker dock temperaturen något snabbare i rum 1 vid försök 3a än i rum 3 vid försök 1b, vilket troligen beror på respektive öppnings storlek. Diagram 8 och 53 visar på stora likheter i förbränningshastigheterna. Brinntiden är dock något kortare i försök 3a. Dessutom tycks avbrinningen vara något jämnare, vilket troligen beror på den större öppningen.

Brandens närhet till ventilationsöppningen tycks ge en ganska snabb ökning av förbränningshastigheten då trapphusdörren/fönstret öppnas. Utbytet av luft och brandgaser mellan brandlägenheten och omgivningen sker till stor del genom öppningen i brandrummet. Luft strömmar också in genom lucka 1 och lucka 2, i synnerhet vid försök 1b, jämför diagram 7 och 52. Vid försök 3a är strömningen genom luckorna i huvudsak relevant endast innan dörren öppnas. Detta tycks också bidra till att endast mindre temperaturförändringar sker i de övriga rummen.

Försök 1a jämfört med försök 3a:

I försök 1a är branden långt ifrån en stor öppning och i försök 3a är branden nära en stor öppning. En jämförelse mellan diagram 1 och 50 visar att temperaturen i brandrummet i försök 1a är något högre än motsvarande i försök 3a, vilket också kan utläsas i diagram 4 och 53. Förbränningshastigheten är något högre i försök 1 än i försök 3. Om man också studerar temperaturerna i de rum som är längst ifrån respektive brandrum (rum 3 i försök 1a och rum1 i försök 3a) tycks som om temperaturskiktningen är bättre (tydligare) i försök 3a än i försök 1a. Temperaturen i trapphuset blir givetvis högre i försök 3a än i försök 1a, eftersom brandrummet befinner sig närmre trapphuset i försök 3a. En jämförelse mellan diagram 4 och 53 tyder på att förbränningshastigheten ökar fortare då branden är nära öppning (trapphusdörren), vilket bör bero på att branden får tillgång till friskluft fortare i försök 3a än i försök 1a. En jämförelse av diagram 2 och 51 ger att flödes hastigheterna genom trapphusdörren är högre i försök 3a än i försök 1a, framför allt i dörrens ovankant, vilket till stor del troligen beror på takstrålen från brandplymen. Flödes hastigheten in i dörrens underkant är dock också högre i försök 3a. I försök 1a är hastigheterna lägre vilket troligen beror på att de varma brandgaserna avger en stor del av sin energi till väggar och tak på sin väg genom lägenheten. Dessa ytor i rum 2 och 3 värms därför troligen upp mer än motsvarande ytor i försök 3a (rum 1 och 2).

Risken för brands spridning, för övertändning och därmed för eventuella kvarvarande människor bör därför bli större i motsvarande verkliga lägenhetsbränder då avståndet till öppningen är stort, dvs större risker i verkliga fall motsvarande försök 1a än i försök 3a.

Försök 1b jämfört med försök 3b:

I försök 1b är branden nära en liten öppning (fönstret) och i försök 3b är branden långt ifrån en liten öppning (fönstret). En jämförelse mellan diagram 5 och 55 visar att brandrumstemperaturen är högre i försök 3b än i försök 1b, dvs då branden är långt ifrån öppningen. Temperaturen i de rum som är längst ifrån branden (rum 3 i försök 1b respektive rum 1 i försök 3b) visar också att temperaturskiktningen (övre varmt och undre kallt lager) i resten av lägenheten är tydligare i försök 3b, där brandgaserna strömmar genom lägenhet innan de når öppningen, än i försök 1b, där motsvarande genomströmning inte sker. Diagram 8 och 58 visar också att förbränningshastigheten är högre i försök 3b än i försök 1b (cirka 12 g/s mot cirka 8 g/s, vilket enligt formel [2] i bilaga 2 motsvarar cirka 535 respektive 357 kW). Diagram 6 och 56 visar att flödes hastigheterna in genom fönstrets nedkant är av motsvarande storlek (cirka 2 - 2.5 m/s). I fönstrets ovankant är däremot flödes hastigheten i försök 1b mycket större än i försök 3b, vilket beror på att branden är nära öppningen i försök 1b och att brandplymen

därmed har viss inverkan. Luftflödet genom lucka 1 och lucka 2 (sammantaget) är av samma storleksordning (se diagram 7 och 57). En stor del av luften till respektive brand tycks komma genom luckorna, medan frånluften (brandgaserna) i huvudsak passerar ut genom fönstret i såväl försök 1b som i försök 3b.

Försök 1c jämfört med försök 1e:

I försök 1c har lägenheten två öppningar, en liten nära branden och en stor långt ifrån branden, och i försök 1e tillförs dessutom en fläkt placerad utanför ytterdörren och som blåser in i trapphuset med cirka $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Diagram 9 och 19 visar att temperaturen i respektive brandrum stiger långsamt i försök 1c efter att trapphusdörren och fönstret öppnats. I försök 1e sjunker temperaturen initialt på grund av tillförseln av en stor mängd friskluft med hjälp av fläkten. Efter cirka 30 sekunder stiger dock temperaturen i brandrummet (rum 1) igen i alla nivåer. I både rum 2 och rum 3 blir det i försök 1c en tydlig temperaturskiktning. Temperaturen i de övre nivåerna av dessa båda rum ökar dock, till följd av de utströmmande brandgaserna. I försök 1e sjunker temperaturen kraftigt i rum 2 och rum 3 då trapphusdörren och fönstret öppnas. En tendens till att temperaturen stiger i de övre delarna av rum 2 kan noteras efter cirka 120 sekunder, vilket tyder på att varma brandgaser trots fläktens tillförsel av friskluft sprider sig mot denna luftström. Detta kan bero på att fläkten skapar ett övertryck som endast är något större än brandtrycket vilket också kan observeras i diagram 22.

Branden skapar inledningsvis ett övertryck på cirka 3 Pa, vilket sjunker mot noll dels på grund av ventilationskontroll (minskad förbränning) och dels eftersom lägenheten inte är helt tät. En beräkning av övertrycket i lägenheten med hjälp av formel [2] och [3] i bilaga 2, ger ett övertryck på cirka 6 Pa, vilket är i motsvarande storleksordning som det tryck mätningen uppvisar. När trapphusdörren och fönstret öppnas stiger trycket till mellan 8 och 10 Pa, vilket i sammanhanget endast är något mer än brandtrycket. Om fläkten som användes var 18" i diameter, ger $9959 \text{ m}^3/\text{h}$ (enligt tillverkare), ger detta tillsammans med formel [4] och [5] i bilaga 2 ett teoretiskt övertryck på cirka 15 Pa. Med tanke på förluster på vägen genom trapphuset innan luftströmmen når lägenheten, förefaller detta vara rimligt. Troligtvis gör den lilla skillnaden mellan brandtryck och fläktryck (faktor 2.5) att brandgaser "läcker" ut genom dörren mellan rum 1 och 2 vilket höjer temperaturen i taknivå i rum 2. Diagram 9 och 19 visar också att temperaturen stiger i trapphuset i försök 1c medan den sjunker något i försök 1e, vilket beror på den fläktens tillförsel av friskluft. På grund av fläkten förhindras varma brandgaser att sprida sig till trapphuset.

Diagram 13 och 23 visar att förbränningshastigheten ökar till ungefär samma slutvärde (cirka 11 g/s , vilket enligt formel [2] i bilaga 2 motsvarar cirka 490 kW), men att ökningen är långsammare de fläkten används. Eftersom lägenheten ges två öppningar, vilket totalt ger en ganska stor ventilationsarea, tillåts branden utvecklas tämligen fritt i båda försöken. Tillförseln av luft med hjälp av fläkt ger troligen en viss kylning av bränsleytan, åtminstone initialt, vilket medför att förbränningshastigheten ökar långsammare i försök 1e än i försök 1c. Strömningen genom fönstret är riktad utåt i försök 1e, medan den i försök 1c är riktad inåt i underkant och utåt i överkant, vilket kan observeras i diagram 10 och 20. I fönstrets ovankant i försök 1e är hastigheten tämligen hög, upp mot cirka 14 m/s , vilket troligen beror på att också brandplymen medverkar till denna utåtriktade strömning. Diagram 11 visar på i huvudsak inströmmande luft genom trapphusdörren nedre del och utströmmande brandgaser genom trapphusdörrens övre

del. Hastigheterna är tämligen små och tycks vara känsliga för störningar, som till exempel vind- och personrörelser. Diagram 21 visar på inströmmande luft genom hela öppningen. Hastigheten är dock tämligen låg, med tanke på att fläkten bör tillföra en ganska stor mängd luft. En uppskattning av flödet genom trapphusdörren ger, om hastighetsfördelning antas rätlinjig från noll vid karmen upp till maxvärdet i respektive mätpunkt, ett flöde strax över $1 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket förefaller rimligt om fläkten enligt datablad ska ge cirka $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$ om man betänker att de förluster som sker redan vid ytterdörren kan vara ganska stora och är mycket beroende av fläktens placering.

Försök 2c jämfört med försök 2e:

I försök 2c är branden mitt i lägenheten, mellan en liten öppning (fönstret) och en stor öppning (trapphusdörren), och i försök 2e tillförs dessutom en fläkt placerad utanför ytterdörren och som blåser in i trapphuset med cirka $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Diagram 34 och 45 visar att temperaturförloppet i respektive brandrum är slående lika. I försök 2c erhålls dock en något bättre temperaturskiktning i brandrummet efter att fönstret och trapphusdörren öppnats. I försök 2e sjunker visserligen temperaturen under cirka 60 sekunder efter att fönstret och trapphusdörren öppnats, men den stiger därefter igen i såväl rum 1 som i rum 3. I taket i rum 3 stiger den över $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Precis som i jämförelsen mellan försök 1c och försök 1e (se ovan) sprider sig varma brandgaser mot fläktens luftström till rum 3. Det övertryck som fläkten skapar i brandrummet (cirka 8 - 10 Pa, se diagram 48) är uppenbarligen inte tillräckligt stort för att fullständigt förhindra spridningen av brandgaser.

Enligt diagram 49 är förbränningshastigheten cirka 4.5 g/s vid tiden 80 s, vilket enligt formel [2] i bilaga 2, motsvarar 200 kW. En beräkning av övertrycket med hjälp av formel [3] ger cirka 3 Pa. Det uppmätta övertrycket vid tiden 80 s är strax under 3 Pa (se diagram 48). Formel [4] och [5] ger på motsvarande sätt ett övertryck i lägenheten på grund av fläkten på cirka 15 Pa. En jämförelse med beräknade värden ger således en mycket god överensstämmelse. Diagram 39 och 49 visar att förbränningshastigheten ökar markant i försök 2e, upp mot 14 g/s , vilket enligt formel [2] i bilaga 2 motsvarar cirka 624 kW. Dessutom sker ökningen snabbare än i försök 2c. Någon motsvarighet till eventuell kylning av bränsleytan som kunde noteras vid jämförelsen mellan försök 1c och 1e (se ovan) kan inte noteras. Diagram 35 och 36 visar att varma brandgaser strömmar ut ur lägenheten genom de övre delarna av öppningarna och frisk luft strömmar in genom de nedre delarna av respektive öppning. Diagram 46 och 47 visar på motsvarande sätt att fläkten pressar frisk luft in genom trapphusdörren och varma brandgaser ut genom fönstret. Flödeshastigheten in genom trapphusdörren är dock inte så stabil som kan förväntas.

Med hjälp av enkla beräkningar kan verkan av övertrycksventileringen uppskattas.

Försök 3c jämfört med försök 3e:

I försök 3c har lägenheten två öppningar, en stor nära branden och en liten långt ifrån branden, och i försök 3e tillförs dessutom en fläkt placerad utanför ytterdörren och som blåser in i trapphuset med cirka $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$. En jämförelse mellan diagram 60 och 71 visar att det blir en tydlig temperaturskiktning i samtliga rum i försök 3c, medan fläkten i försök 3e sprider varma brandgaser genom lägenheten, varvid temperaturen stiger i såväl rum 2 som i rum 3. Observera den förhållandevis höga temperaturstegringen i golvnivå av rum 1 under försök 3e. Detta beror troligen på att fläkten pressar varma brandgaser

genom lägenheten och ut genom fönstret i rum 1. Men eftersom fönstret sitter en dryg meter över golvnivå, kommer brandgaser i fönsternivå att ha lättast för att strömma ut. I golvnivå kan det därför bildas ett varmt brandgaslager. Också i trapphusets övre del kan en förhöjd temperatur observeras efter öppnandet av trapphusdörren och fönstret.

Diagram 64 och 75 visar att förbränningshastigheten ökar något hastigare och når ett något högre slutvärde i försök 3e än i försök 3c. Skillnaden är dock marginell. Branden var i dessa försök inte placerad direkt i linje mellan trapphusdörren och fönstret. Diagram 61 och 62 visar i huvudsak utströmmande varma brandgaser genom respektive öppnings övre del och inströmmande frisk luft genom de nedre delarna. Kring tiden 660 sekunder i samband med att branden slocknar sker dock en förändring till inströmmande friskluft genom hela trapphusdörren och utströmmande brandgaser genom hela fönstret. Detta kan bero på vindförhållanden som inte observerades under försöken i kombination med att branden slocknar. Diagram 72 och 73 visar att fläkten pressar luft in genom trapphusdörren och brandgaser ut genom fönstret. I trapphusdörrens ovankant tycks det dock som om brandgaser till viss del strömmar ut till trapphuset. Troligen är branden så nära trapphusdörren att kraften i brandgaserna (takstrålen) motverkar fläkttrycket.

I de här genomförda försöken kan det tyckas som om branden är relativt liten i förhållande till fläktens kapacitet. Trots detta spred sig varma brandgaser under försöken "mot" övertrycket och den luftström fläkten skapade. Dessutom trycker fläkten varma brandgaser genom hela lägenheten. Tendensen finns också att varma brandgaser kan ansamlas i till exempel biutrymmen eller rent av i låga nivåer om frånluftöppningen är placerad i fönsternivå eller däröver. Riskerna för eventuella kvarvarande människor vid en verklig lägenhetsbrand kan därför öka vid användningen av övertrycksventilering.

Försök 1d jämfört med försök 2d och försök 3d:

I försöken 1d, 2d samt 3d är branden placerad i respektive rum 1, 2 samt 3. Efter cirka 7 minuters brinntid i stängd lägenhet öppnas både fönster och trapphusdörr och övertrycksventilering används. Fläkten är därvid placerad på trappplanet (plan 2) och blåser direkt in genom trapphusdörren. En jämförelse mellan diagram 15, 41 och 67 visar att strömningen genom fönstret är i det närmaste likformigt fördelad då branden är placerad nära fönstret (långt från fläkten), dvs i försök 1d. I försök 2d är hastigheten störst i fönstrets mitt, vilket kan förväntas, medan hastigheten i försök 3d är lägst i fönstrets ovankant och lika i mitten och längst ner. Motsvarande jämförelse mellan diagram 16, 42 och 68 tyder på att strömningen genom trapphusdörren blir störd på grund av fläktens placering. I samtliga av försöken 1d, 2d och 3d strömmar frisk luft in genom trapphusdörrens nedre del. Den övre delen av trapphusdörren präglas i försöken av utströmmande brandgaser, trots övertrycksventilering. Detta är tydligast i försök 3d, då branden är alldeles invid trapphusdörren.

Detta tyder på att fläkten vid övertrycksventilering inte får placeras för nära tilluftöppningen till det utrymme som ska ventileras.

Givetvis får fläkten inte heller placeras för långt ifrån tilluftöppningen. Ett teoretiskt optimalt avstånd kan beräknas med hjälp av formel [4] i bilaga 2, om en viss vinkel på "luftkonen" antas (till exempel 10°). I praktiska fall kan avståndet kontrolleras genom att känna med handen så att luftkonen "täcker" hela tilluftöppningen.

Försök 1e jämfört med försök 2e och försök 3e:

I försöken 1e, 2e samt 3e är branden placerad i respektive rum 1, 2 samt 3. Efter cirka 7 minuters brinntid i stängd lägenhet öppnas både fönster och trapphusdörr och övertrycksventilering används. Fläkten är därvid placerad utanför ytterdörren och trycksätter därmed hela trapphuset innan luft pressas in i lägenheten. En jämförelse mellan diagram 20, 46 och 72 visar en tämligen god överensstämmelse. Den stora skillnaden ligger i att flödes hastigheten ut genom fönstrets övre del är markant större i försök 1e än i försök 2e och försök 3e. Detta beror troligen på brandens närhet till fönstret i detta försök och att plymen (takstrålen) därmed kraftigt påverkar strömningen ut genom fönstret. Motsvarande jämförelse mellan diagram 21, 47 och 73 visar att strömningen genom trapphusdörren i huvudsak varit riktad inåt. I försök 3e har brandplymen (takstrålen), på grund av det korta avståndet mellan branden och trapphusdörren, uppenbarligen stört strömningen genom öppningens övre del. En mindre mängd brandgaser har därför kunnat läcka ut till trapphuset, vilket också noteras i diagram 71, temperaturen i trapphuset övre del.

Försöken tyder på att brandgaser, trots trycksättning av trapphus och en till synes relativt liten brand, kan sprida sig till trapphuset om branden är nära öppningen till trapphuset.

Förbränningshastighet:

Diagram 81 visar förbränningshastigheten som medelvärden för samtliga försök samt som medelvärden för försöksserierna utförd i respektive rum 1, 2 och 3. Resultaten tyder på att små rum ger högre förbränningshastighet än stora rum, vilket troligen till större delen beror på att återstrålningen från väggarna mot bränsleytan blir större. En annan bidragande faktor kan vara att brandgaserna höjd över golvet blir lägre, varvid återstrålningen ökar också från brandgaserna som i sin tur blir varmare när effektutvecklingen ökar.

Diagram 82, 83 och 84 visar förbränningshastigheten som medelvärden för samtliga försök samt för respektive försök av typ a, b, c, d och e (diagram 83 och 84 är eventuellt något tydligare än diagram 83). Jämförelsen tyder på flera saker. Det första och mest markanta är att försök d och e, dvs försök med övertrycksventilering, har högre förbränningshastighet än försök utan övertrycksventilering. Jämförelsen tyder också på att trycksättning av trapphuset ger en större ökning av förbränningshastigheten än då fläkten blåser direkt in i brandlägenheten. Detta kan bero på att vid trycksättning av trapphuset är det i huvudsak det ökade trycket som påverkar brandgaserna och trycket ut dessa genom frånluftöppningen. Då fläkten placeras så att den blåser in i lägenheten ger detta mer effekten av "höghastighetsventilering" på så sätt att den tillförda luften blåser på och till viss del kyler bränsleytan. Känslan av "tvärdrag" blir större.

Försöken visar att övertrycksventilering ökar effektutvecklingen, vilket blir tydligare ju närmre branden är tilluftöppningen. Försöken visar också att det uppstår en viss skillnad då det till övervägande delen är en utpräglad tryckökning som verkar mot brandlägenheten jämfört med om det är en luftström som blåser igenom lägenheten. Tryckökning tycks ge större effektökning än vid "luftströmsverkan".

I försöken utan övertrycksventilering visar diagram 83 att förbränningshastigheten ökar mer vid stor ventilationsarea (trapphusdörr) än vid liten ventilationsarea (fönstret). Störst ökning av förbränningshastigheten, vid jämförelse mellan försök av typen a, b och c, erhålls då både trapphusdörren och fönstret är öppna.

Massflöde genom öppning:

Massflödet in i lägenhet kan antas vara lika med massflödet ut ur lägenheten (tillskottet från branden är ytterst litet). Den termiska expansionen gör dock att det är större volym på de gaser som ska ut än de som kommer in. Trots detta kan hastigheten på utströmmande brandgaser vara mindre än hastigheten på inströmmande friskluft. Detta kan bero på brandgaslagrets djup i öppningar är större än den inströmmande friskluftens.

Låt oss ta ett exempel. Diagram 6 och 7 visar flödehastigheten genom luckor och fönster i försök 1b. Gör antagandet att flödehastigheten är likformigt fördelad över öppningarna. Genom lucka 1 och lucka 2 strömmar luften in med hastigheterna 4 m/s respektive 2 m/s. Genom fönstret strömmar luft in med hastigheten 2.5 m/s och ut med 1.5 m/s. Fönstret är 1.17 m högt samt 0.9 m brett, luckorna är 0.6 m breda samt 0.2 m höga. Brandgaslagrets höjd, h , i fönstret (över fönstrets karmunderstycke) ges av,

$$0.6 \cdot 0.2 \cdot (2 + 4) + h \cdot 0.9 \cdot 2.5 = 1.17 \cdot 0.9 \cdot 1.5 - h \cdot 0.9 \cdot 1.5$$

Höjden på brandgaslaget över fönstrets karmunderstycke blir $h = 0.24$ m, vilket är fullt rimligt.

Med små öppningar, dvs endast lucka 1 och lucka 2 öppna under de första minuterna under varje försök, är det inte möjligt, eller åtminstone mycket svårt, att säga något om strömningsförhållandena in i eller ut ur lägenheten. Se diagram 3, 7, 25, 30, 50 samt 55. Det råder under denna period vid respektive försök inga stationära strömningsförhållanden, brandgaserna/friskluften pulserar in eller ut öppningarna med tämligen kort frekvens. Systemet är i detta skede också mycket känsligt för störningar av olika slag. Efter det att fönster/trapphusdörr öppnats inträder i de allra flesta fall relativt stabila förhållanden.

Tryck i brandrum:

Diagram 85 visar medelvärden för trycket i rum 2 för försöksserie i respektive rum 1 - 3. Medelvärden för försöken i rum 3 uppvisar de högsta trycken. Detta följer troligen direkt på den ökade förbränningshastigheten till följd av den mindre rumsstorleken (jämför med diagram 81) och att trycket är proportionellt mot kvadraten på brandeffekten (se formel [3] i bilaga 2).

Övertryck i brandrum med små läckageareor kan beräknas med hjälp av formel [3] i bilaga 2.

Intressant att notera är att övertrycket i taknivå av rum 2 förändras och blir ett undertryck efter det att fönster och/eller dörr öppnats, vid samtliga de försök då fläkten inte användes (se diagram 86).

Slutsatser

Det följande är en sammanfattning av de viktigaste slutsatserna i diskussionen ovan. De är i huvudsak giltiga endast för de här refererade försöken, även om vissa paralleller kan dras till liknande verkliga lägenhetsbränder.

Skiktningen av brandgaserna tycks bli sämre om öppningen är liten, motsvarande endast ett fönster. Detta kan medföra att riskerna för eventuella kvarvarande människor blir större då ventilationsöppningen till lägenheten är liten.

Flödes hastigheten ut genom en stor öppning ökar då branden är nära öppningen.

Flödes hastigheten genom en liten öppning ökar då branden är långt ifrån öppningen. Detta kan också bidra till en försämrad skiktning då lägenhetens ventilationsöppning är liten.

Då lägenhetens ventilationsarea är nära branden, sker endast mindre förändringar med avseende på temperaturen i lägenhetens övriga utrymmen. Detta kan medföra ökade risker för eventuella kvarvarande människor, eftersom mindre mängder friskluft strömmar in i lägenhetens övriga utrymmen och skiktningen därmed blir sämre. Samtidigt tycks brandrumstemperaturen bli högre om öppningen görs långt ifrån branden, med ökad brandspridnings- och övertändningsrisk som följd.

Brandrumstemperaturen tycks vara mer beroende av avståndet till öppningen än till öppningens storlek. Detta under förutsättning att avstånden är relativt små, dvs motsvarar en normal lägenhet. Ett ökat avstånd medför djupare brandgaslager, vilket leder till ökad återstrålning mot bränsleytan och därmed ökad förbränningshastighet varvid brandrumstemperaturen ökar.

Temperaturen i trapphuset blir högre då branden är närmre trapphuset, eftersom brandgaserna kyls ner mindre innan de strömmar ut ur lägenheten. Mängden brandgaser bör dock bli de samma oavsett om branden är nära eller långt ifrån trapphuset, om det endast finns en öppning från lägenheten (som leder till trapphuset).

Risken för brands spridning, för övertändning och därmed för eventuella kvarvarande människor inne i lägenheten, bör bli större då avståndet till öppningen är stort. Detta beror dels på den ökade uppvärmningen, men också på att det kan ta längre tid för räddningspersonal att ta sig in i lägenheten till branden.

Stor ventilationsarea (i våra försök med hjälp av två öppningar) ger bättre skiktning. Stor ventilationsarea medför också större luftflöde till branden. Detta ökar förbränningen och därmed ökar risken för brands spridning och övertändning.

Försöken visar att övertrycksventilering ökar effektutvecklingen. Denna påverkan blir tydligare då fläkten är nära branden. Försöken visar också att det uppstår en viss skillnad då det till övervägande delen är en tryckökning (fläkten långt ifrån lägenheten) som verkar mot brandlägenheten jämfört med om det är en luftström som blåser igenom lägenheten (fläkten nära lägenheten). Tryckökning tycks ge större effektökning än vid verkan av luftströmmen. Med hjälp av enkla beräkningar kan verkan av övertrycksventileringen uppskattas.

Trots den relativt lilla branden under försöken spred sig varma brandgaser "mot" övertrycket och den luftström fläkten skapade. Dessutom trycker fläkten varma brandgaser genom hela lägenheten. Tendensen finns också att varma brandgaser kan

ansamlas i till exempel biutrymmen eller rent av i låga nivåer om frånluftöppningen är placerad i fönsternivå eller däröver. Riskerna för eventuella kvarvarande människor kan därför öka vid användningen av övertrycksventilering.

Försöken med övertrycksventilering tyder på att brandgaser, trots trycksättning av trapphus och en till synes relativt liten brand, kan sprida sig till trapphuset om branden är nära öppningen till trapphuset eller om branden är stor i förhållande till lägenhetens geometri.

Vid övertrycksventilering kan rökdykare eller annan räddningspersonal påverka tryck- och strömningsbilden märkbart.

Fläkttryck och brandtryck var av motsvarande storlek under försöken (i förhållande till geometrin) och skapade därmed brandgasrörelser av motsvarande storlek.

Förslag till fortsatta studier

Försöken gav upphov till en mängd frågor. Dessa bör studeras i detalj genom till exempel fortsatta försök.

- Hur påverkas temperaturer, flöden, värmeeffekt/förbränningshastighet med lägenhetsrum placerade "parallellt" (till skillnad från de nu genomförda försöken, där lägenhetsrummen var placerade i "serie")?
- Hur påverkar fläktens placering med hänsyn till såväl tilluftöppning som frånluftöppning (avstånd, riktning mm)?
- Vad sker om fläkten blåser in i stängda rum ("återvändsgränder")?
- Kan fläkten utformas på annat sätt för bättre ventilationseffekt?
- Hur påverkar placeringen av ventilationsöppningar?
- Hur ofta genomför kommunala räddningsstyrkor aktiv brandgasventilation, hur genomförs detta, vilket är syftet och hur blir resultatet?

Litteraturförteckning

Bengtsson, L-G., Karlsson, B. & Särqvist, S. (1996). Brandventilation i teori och praktik (rapport R53-146/96). Karlstad: Räddningsverket.

Magnusson, S-E (1983). Rökspridning i byggnader: Kunskapsöversikt och forskningsbehov. Lund: Lund Tekniska Högskola.

Särqvist, S. (1994). Övertrycksventilation - förstudie över brandventilation med mobila fläktar (FoU rapport P21-092/94). Karlstad: Räddningsverket.

The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (1988).

Bilaga 1, mätresultat från försök (i diagram)

1 a. Brand i rum 1, släckinsats via trapphus

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, ingen övrig ventilation av lägenheten (bortsett från lucka 1 och lucka 2). Branden är i rum 1, dvs långt ifrån en stor ventilationsöppning (trapphusdörren).

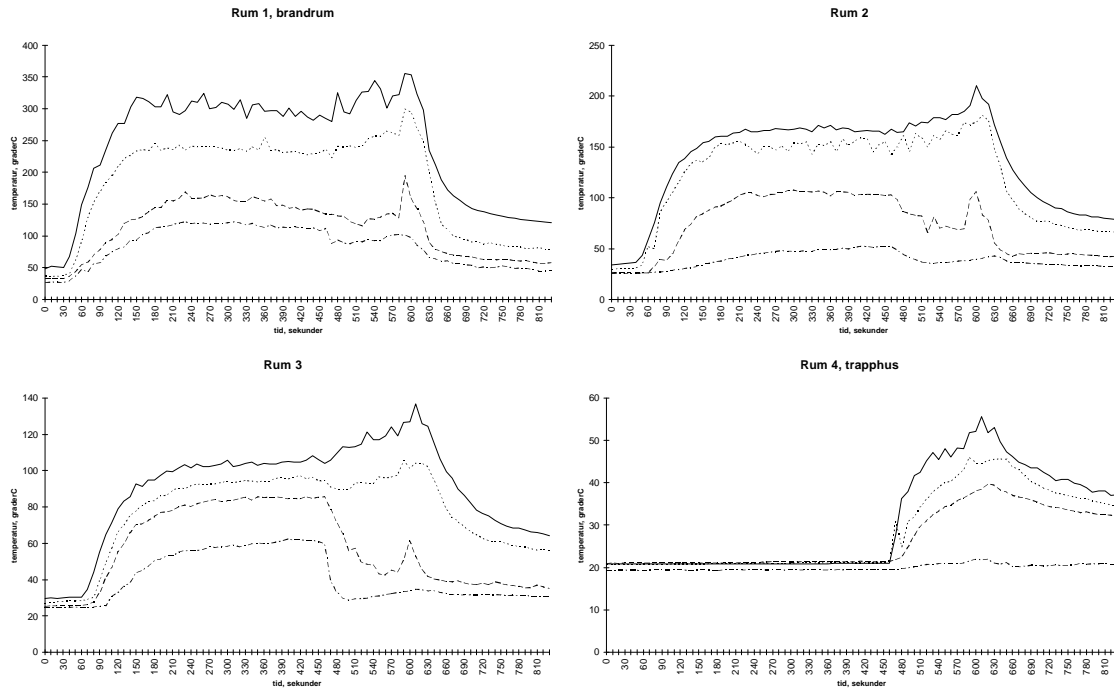


Diagram 1; försök 1a, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

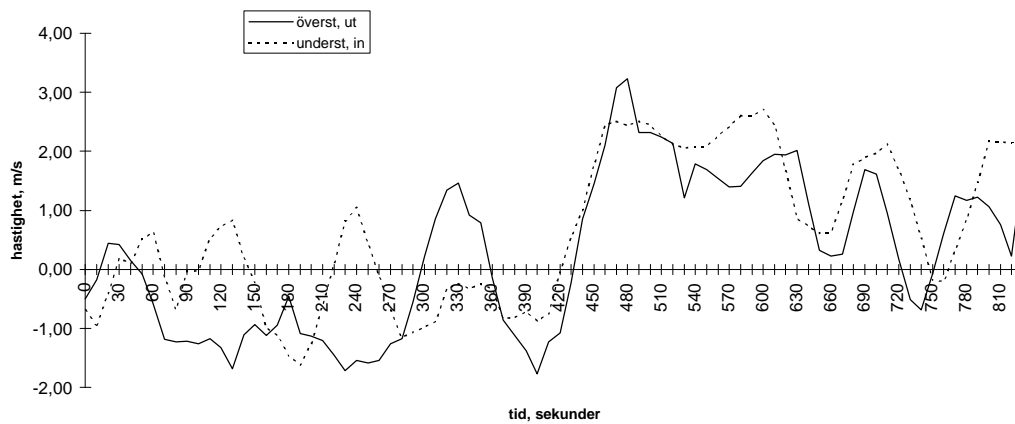


Diagram 2; försök 1a, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Flödeshastighet genom luckor

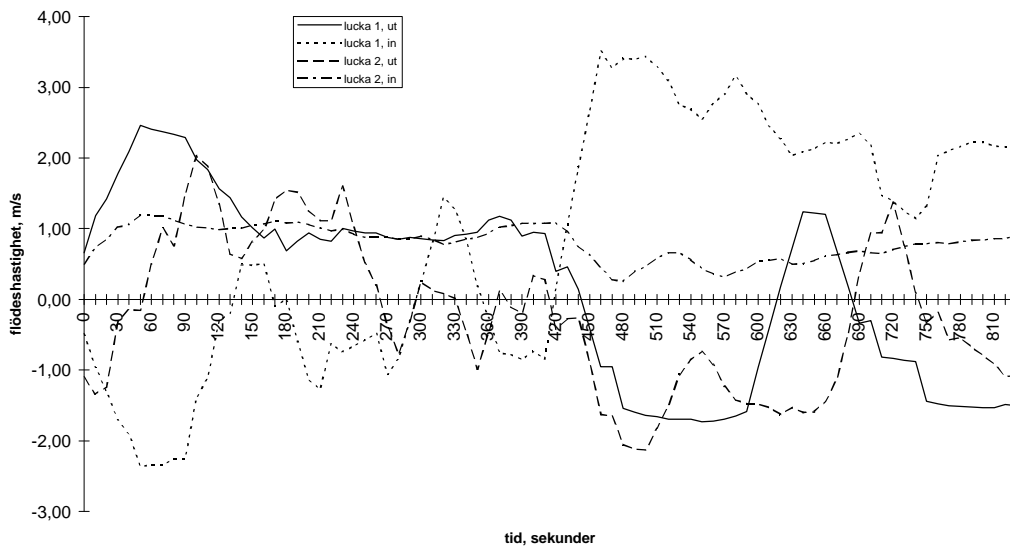


Diagram 3; försök 1a, flödeshastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Förbränningshastighet



Diagram 4; försök 1a, förbränningshastigheten.

Observationer av rökdykare i lägenheten

Rökfylnad till golvnivå inom någon minut. När dörren öppnades förbättrades sikten först till cirka 1m från golvnivå. Därefter sjönk brandgaslagret till golvnivå, troligtvis på grund av att trapphuset blev rökfyllt till denna nivå. Ingen märkbar temperaturskillnad när dörren öppnades. Lågorna i bålet sökte sig mot lucka 1, vilket tyder på viss ventilationskontroll även då trapphusdörren var öppen.

1 b. Brand i rum 1, släckinsats via fönster

Försöket avser att efterlikna en rökdykarinsats via fönster, till exempel då lägenhetsdörr är svårforcerad, och med ingen övrig ventilation av lägenheten. Branden är nära en liten ventilationsöppning (fönstret).

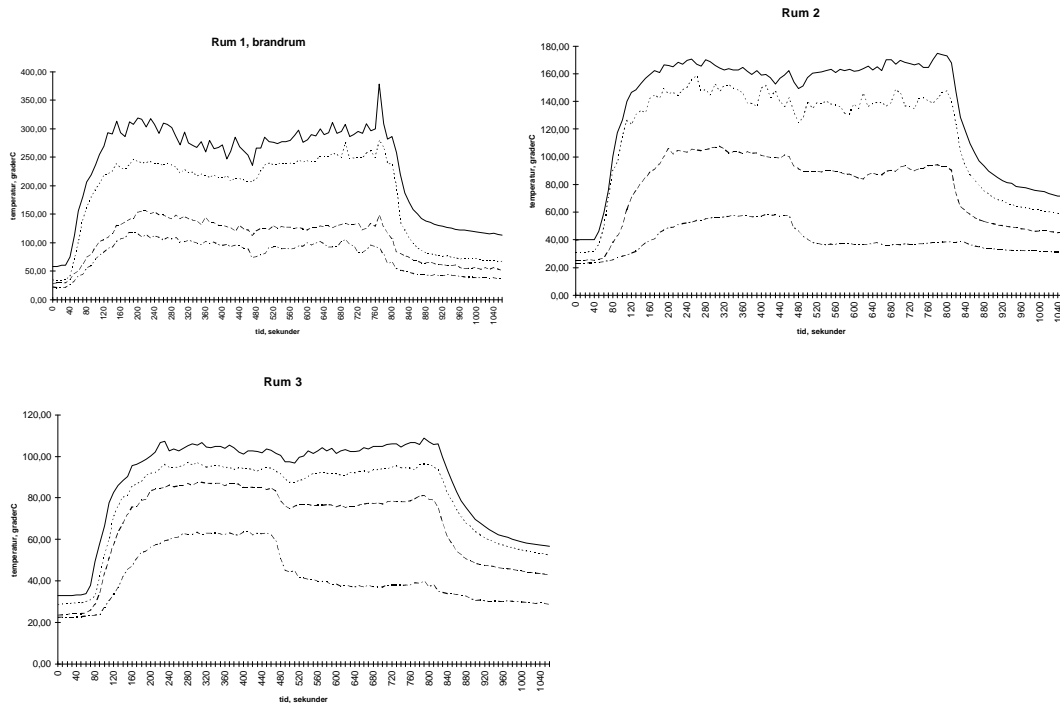


Diagram 5; försök 1b, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv.

Flödeshastighet genom fönster



Diagram 6; försök 1b, flödeshastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

Flödeshastighet genom luckor

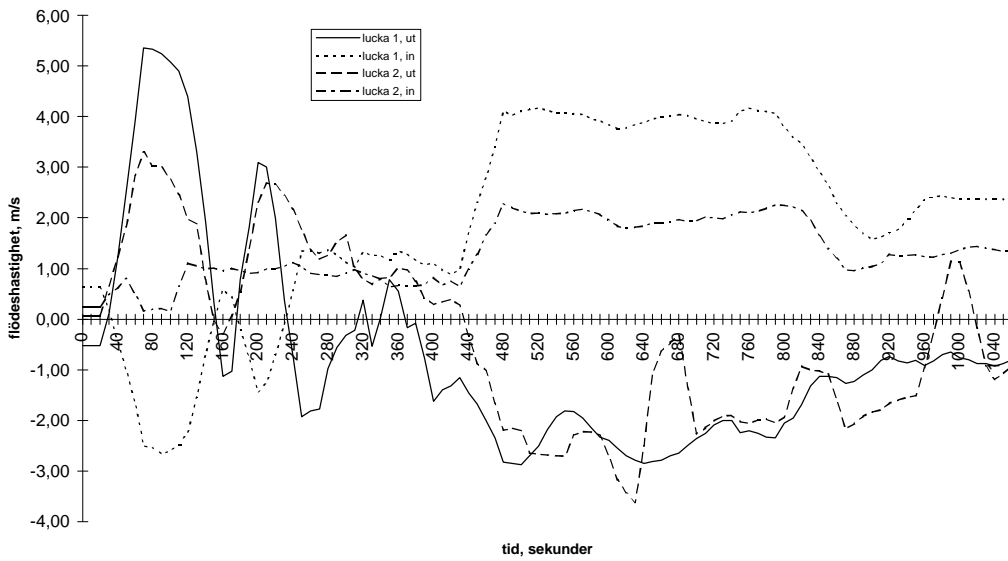


Diagram 7; försök 1b, flödeshastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Förbränningshastighet

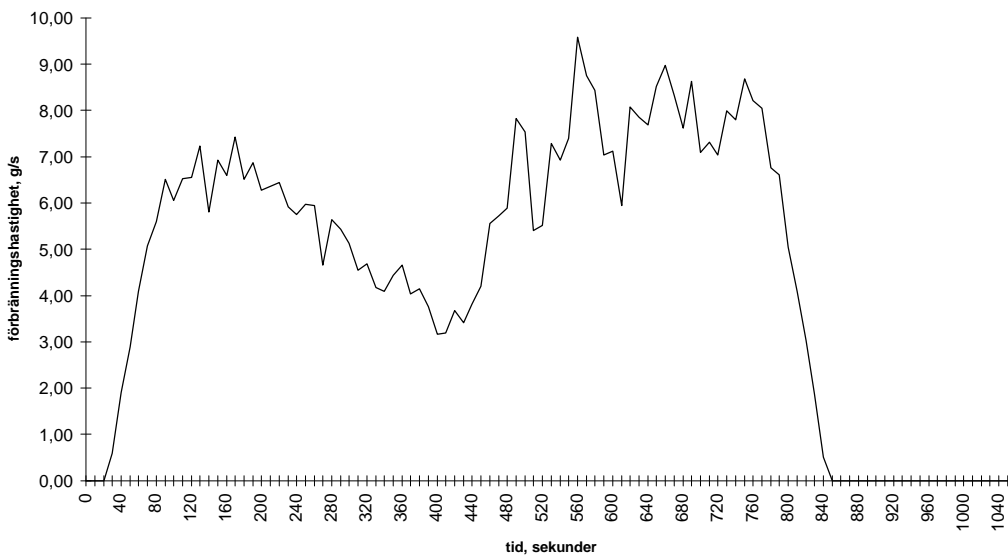


Diagram 8; försök 1b, förbränningshastigheten.

Observationer av rökdykare i lägenheten

Rökfylld till golvnivå inom någon minut. När fönstret öppnades upplevdes en temperaturhöjning, vilken bestod försöket ut. Brandgaslagret steg något och stabiliserades vid cirka 40 cm över golvnivå. Lågorna i bålet sökte sig mot lucka 1 och mot fönstret.

1 c. Brand i rum 1, släckinsats via trapphus och samtidig fönsterventilation

Försöket avser att efterlikna en ”normal” rökdykarinsats via trapphus, och samtidig fönsterventilation. Lägenheten ges således två ventilationsöppningar, en liten nära branden (fönstret) och en stor (dörren) långt från branden.

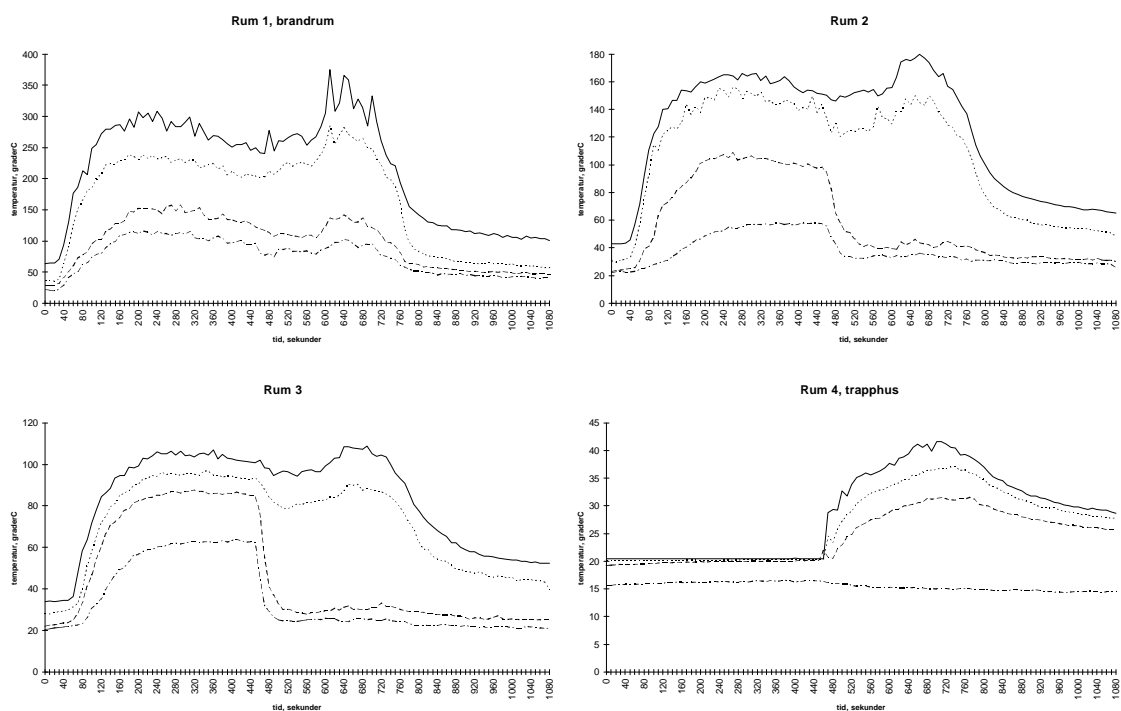


Diagram 9; försök 1c, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster



Diagram 10; försök 1c, flödes hastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

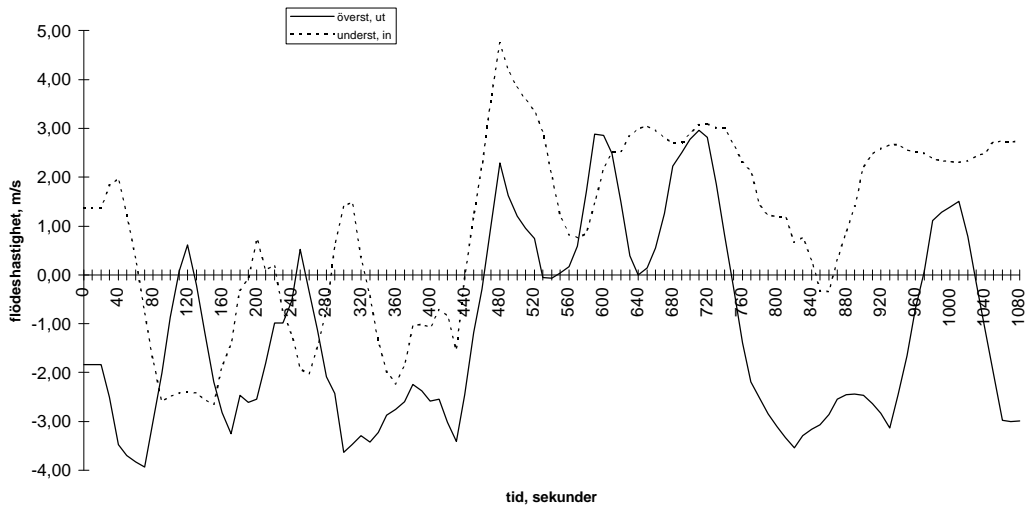


Diagram 11; försök 1c, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Flödes hastighet genom luckor

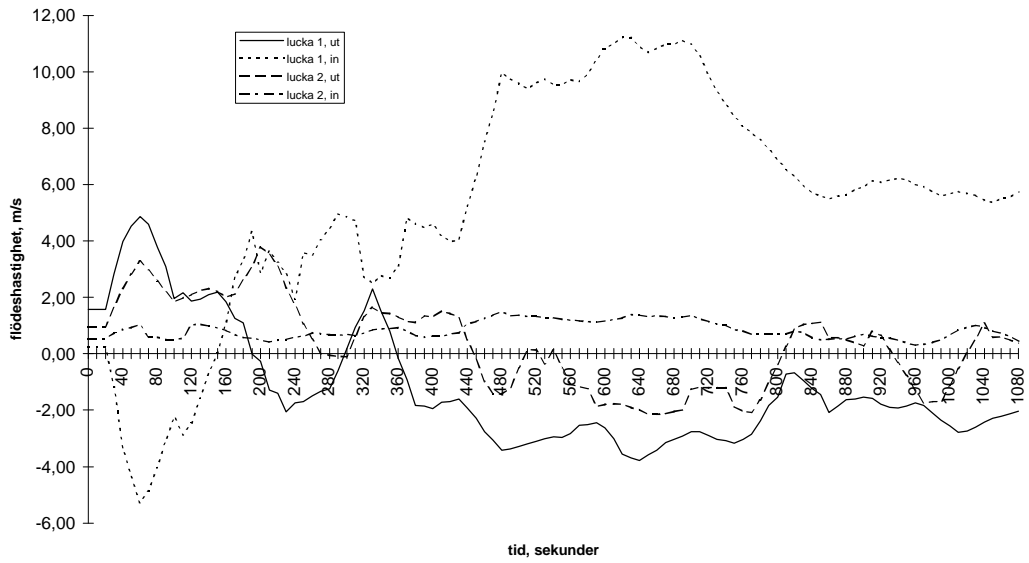


Diagram 12 ; försök 1c, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

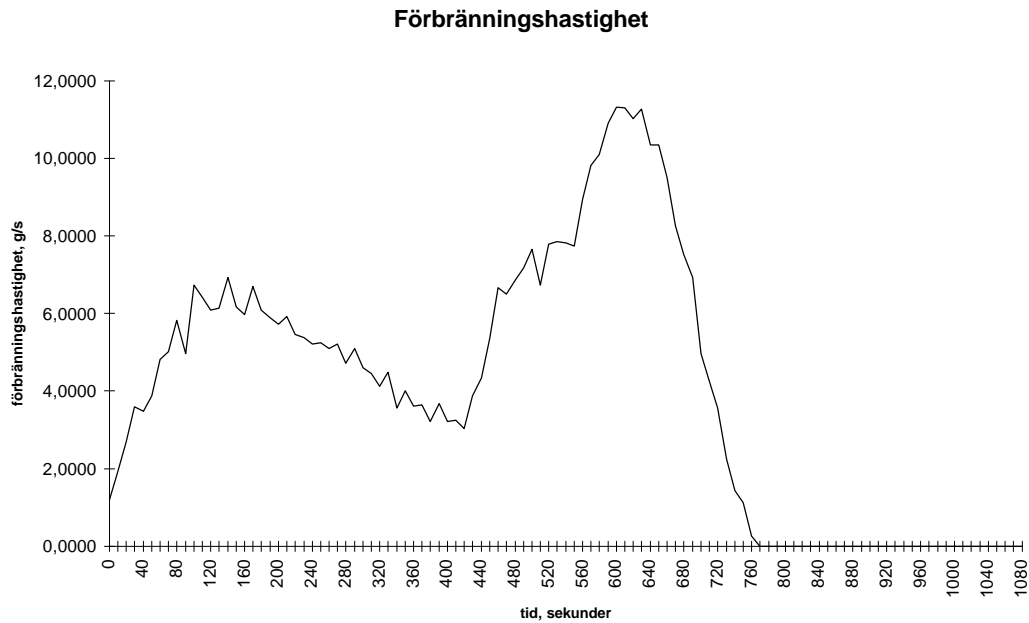


Diagram 13; försök 1c, förbränningshastigheten.

Observationer av rökdykare i lägenheten

Rökfyllnad till golvnivå inom någon minut. När trapphusdörr och fönster öppnas blir branden intensivare. Sikten förbättras och brandgaslagret stiger och stabiliseras på cirka 1 m över golvet. När branden slocknar stiger brandgaslagret och sikten förbättras.

1 d. Brand i rum 1, släckinsats via trapphus och samtidig övertrycksventilation, fläkt vid trapphusdörr

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, samtidig fönsterverntilation samt övertrycksventilation. Fläkten är därvid placerad på trappplanet strax utanför trapphusdörren. Lägenheten ges således två ventilationsöppningar, en liten nära branden (fönstret) och en stor (dörren) långt från branden samt att fläkten är placerad långt från branden men nära lägenheten.

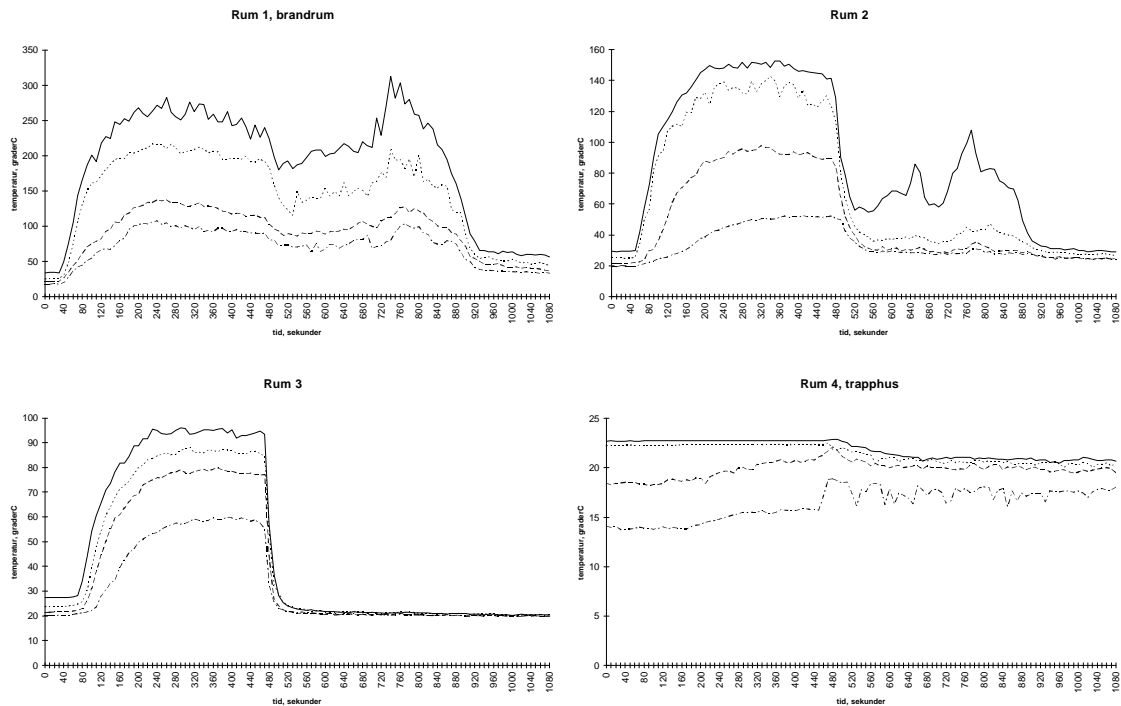


Diagram 14; försök 1d, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

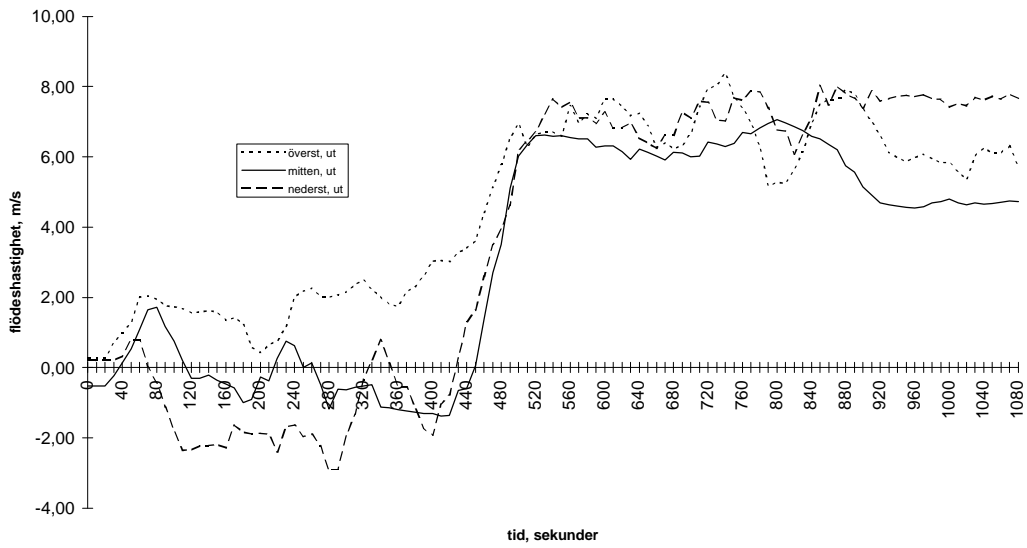


Diagram 15; försök 1d, flödes hastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

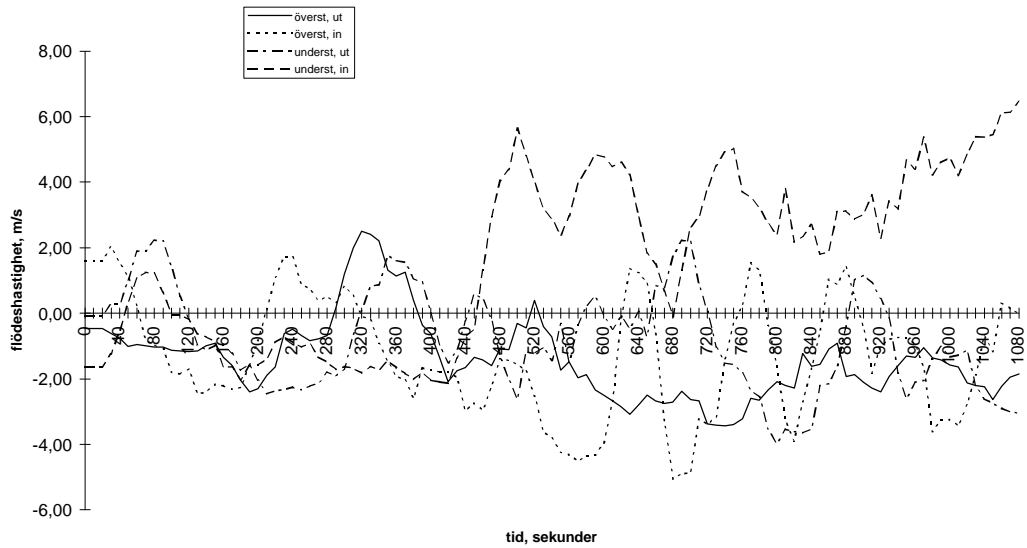


Diagram 16; försök 1d, Flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 17; försök 1d, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

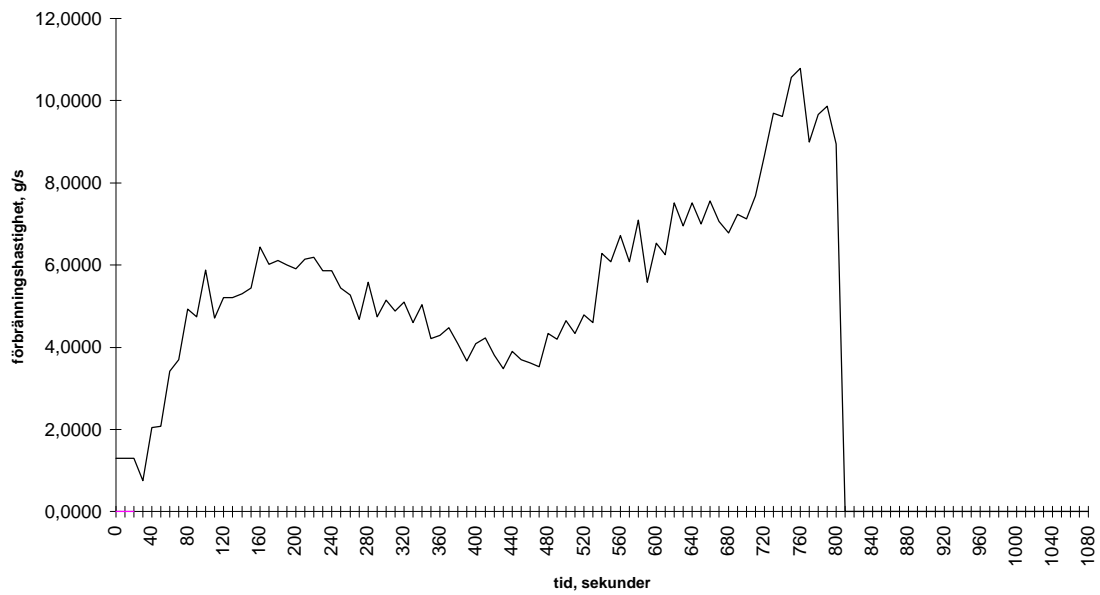


Diagram 18; försök 1d, förbränningshastigheten.

Observationer av rökdykare i lägenheten

Väldigt likt försök 1c. Skillnaden är i huvudsak att sikten förbättras något snabbare.

1 e. Brand i rum 1, släckinsats via trapphus och samtidig övertrycksventilation, fläkt vid ytterdörr

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, samtidig fönsterverntilation samt övertrycksventilation. Fläkten är därvid placerad utanför ytterdörren (utanför trapphuset) och blåser in i trapphuset. Fläkten är placerad långt ifrån såväl branden som lägenheten.

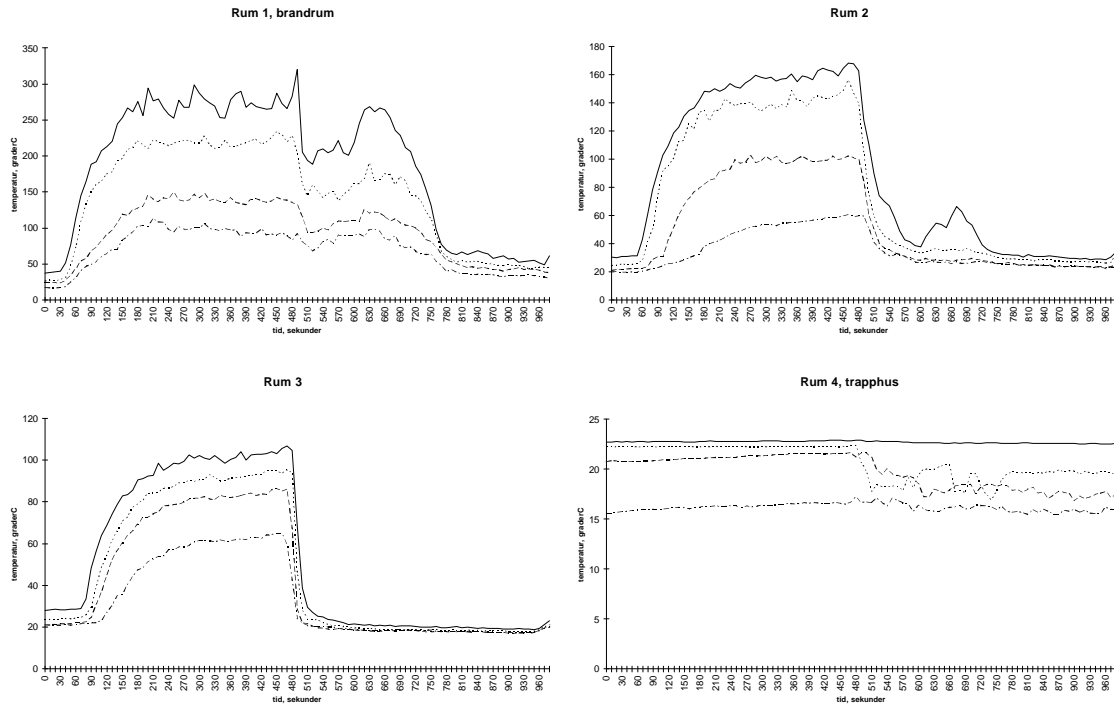


Diagram 19; försök 1e, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

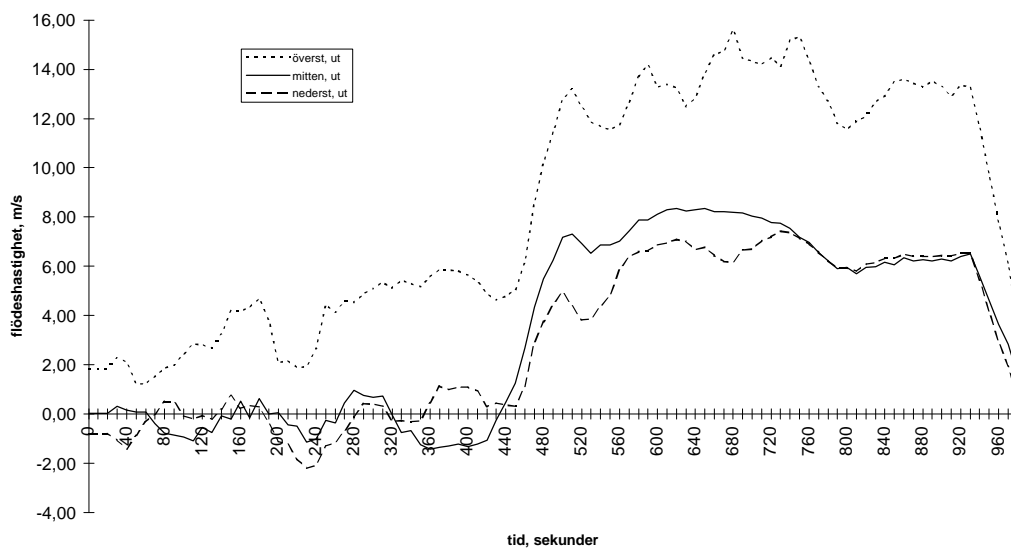


Diagram 20; försök 1e, flödes hastighet genom fönster, utgående/ingående brandgas/luft, 0.15m under överkarm, 0.15m över underkarm samt i fönstrets mitt.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

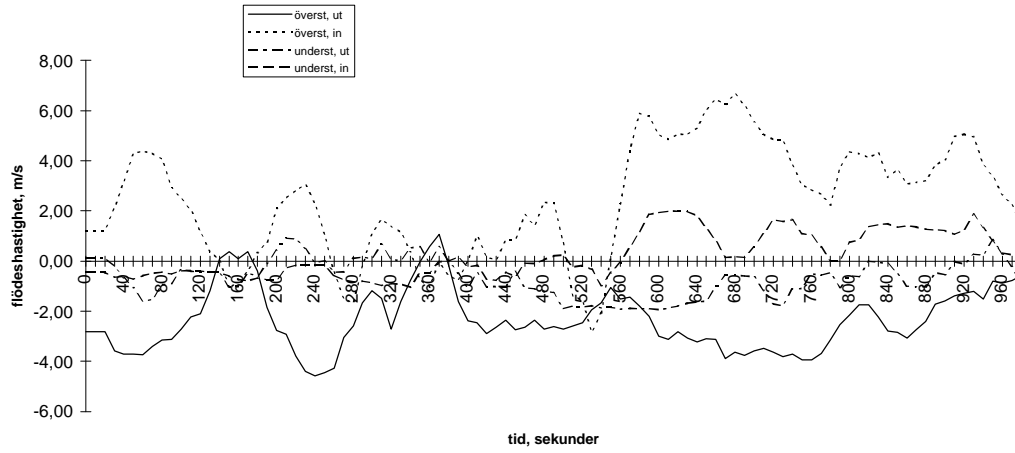


Diagram 21; försök 1e, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående/ingående brandgas/luft, 0.2m under överkarm samt 0.2m över underkarm.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 22; försök 1e, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

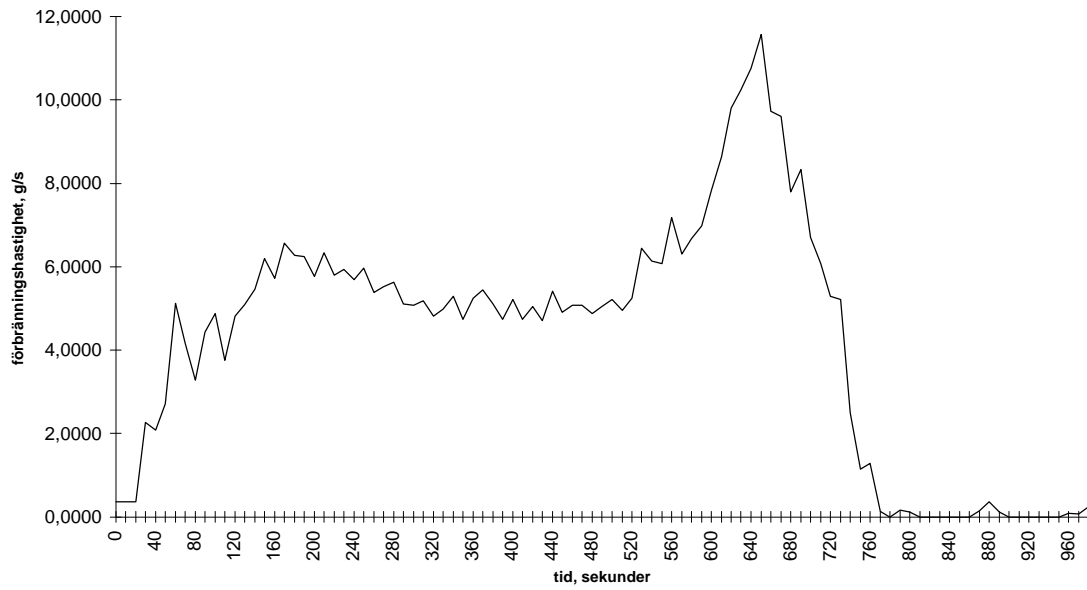


Diagram 23; försök 1e, förbränningshastigheten.

Observationer av rökdykare i lägenheten:

Rökfylld till golvnivå inom någon minut. Vid öppnandet av dörren och fönstret blir branden intensivare och sikten förbättras snabbt. Inga synliga brandgaser passerade dörrarna mellan rummen i lägenheten.

2 a. Brand i rum 2, släckinsats via trapphus

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, ingen övrig ventilation av lägenheten. Branden är "mitt i" lägenheten.

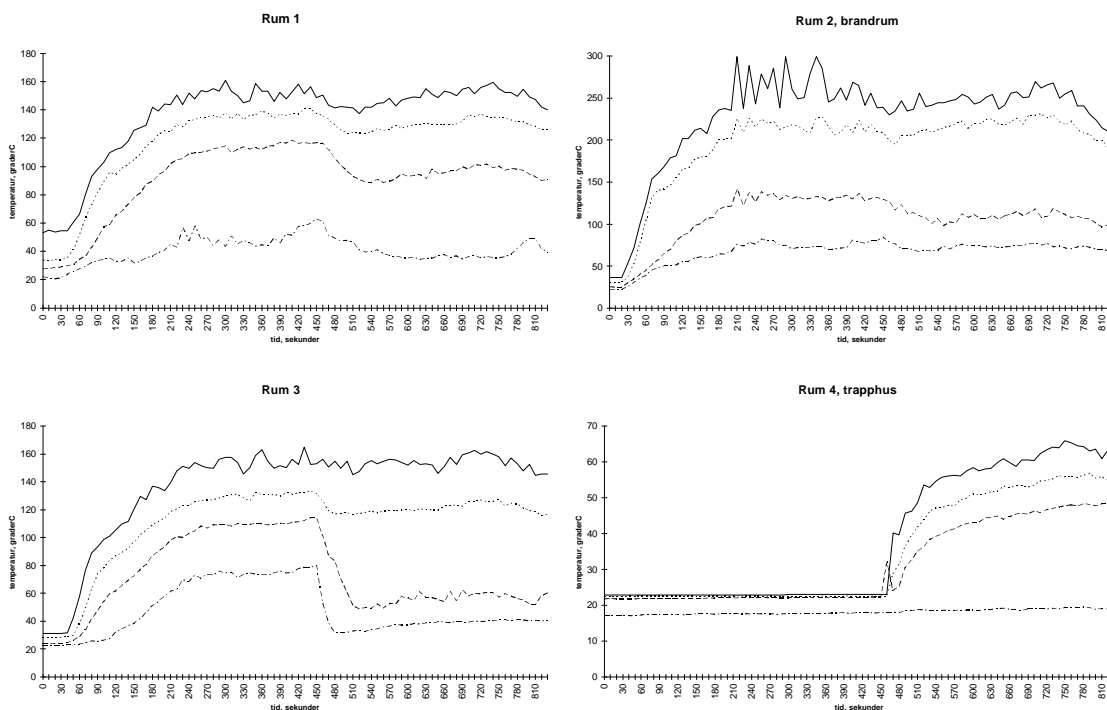


Diagram 24; försök 2a, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

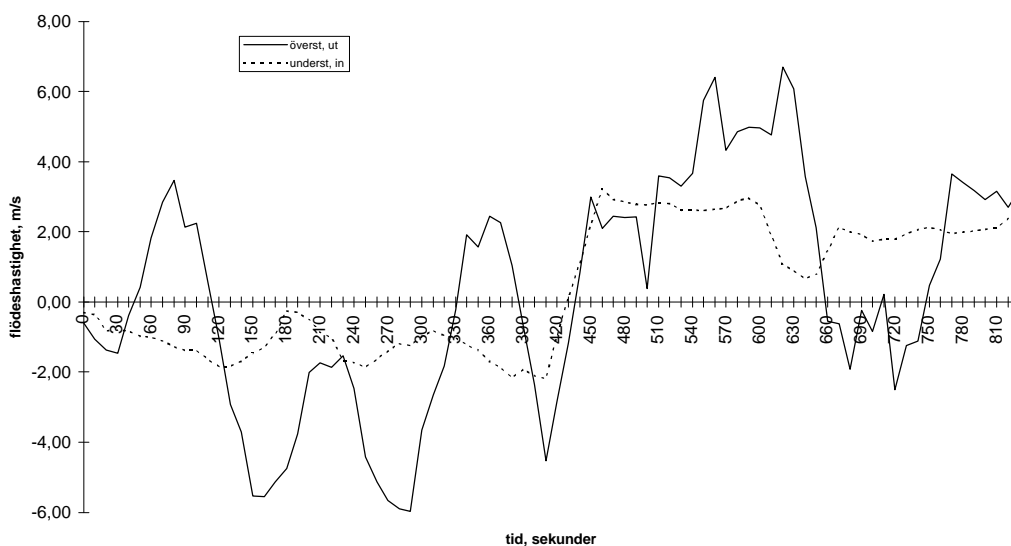


Diagram 25; försök 2a, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Flödes hastighet genom luckor

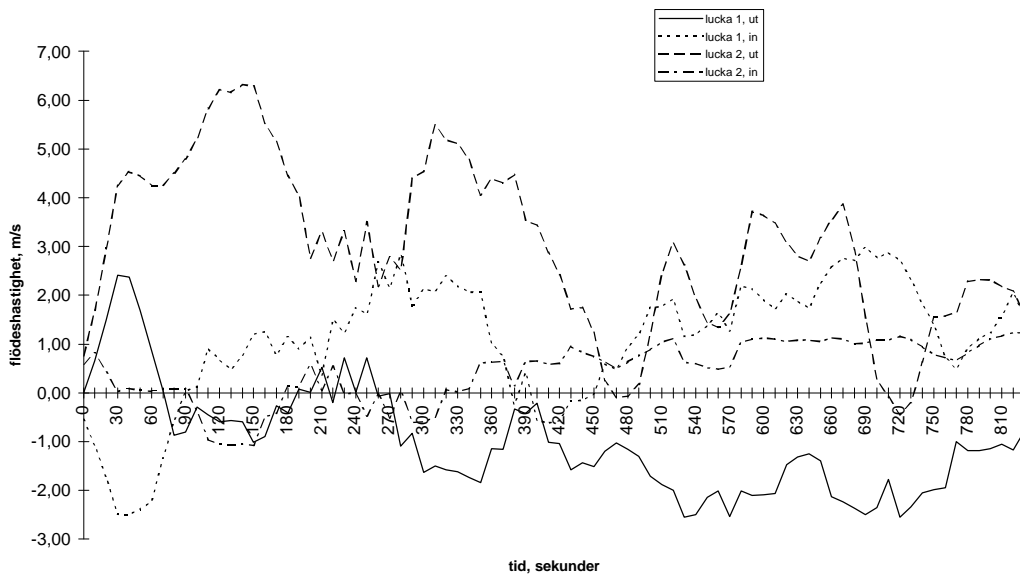


Diagram 26; försök 2a, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 27; försök 2a, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

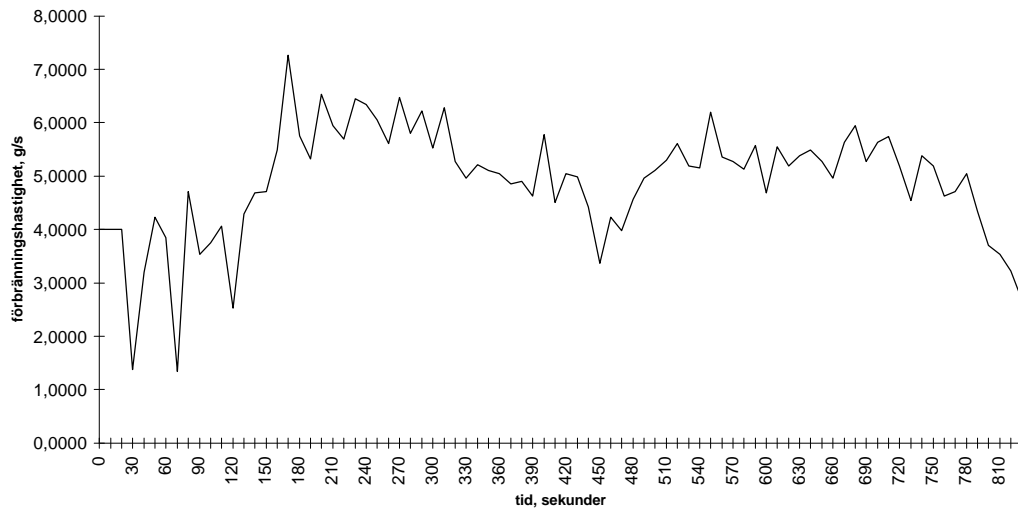


Diagram 28; försök 2a, förbränningshastigheten.

2 b. Brand i rum 2, släckinsats via fönster

Försöket avser att efterlikna en rökdykarinsats via fönster, till exempel då lägenhetsdörr är svårforcerad, och med ingen övrig ventilation av lägenheten.

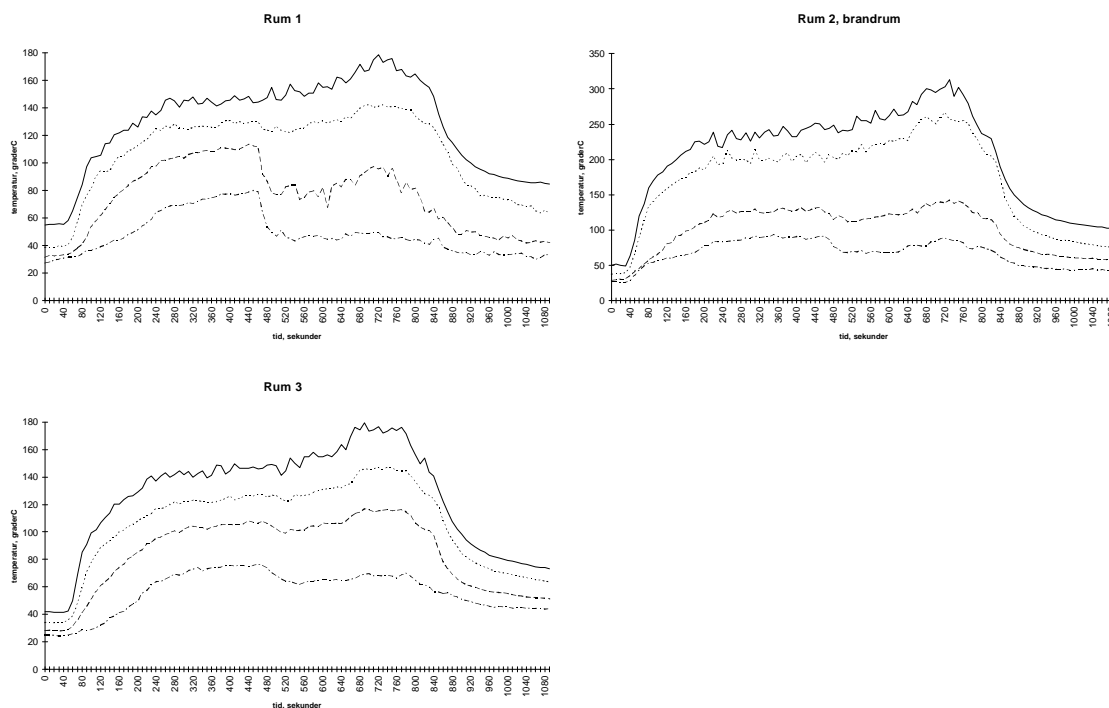


Diagram 29; försök 2b, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv.

Flödeshastighet genom fönster

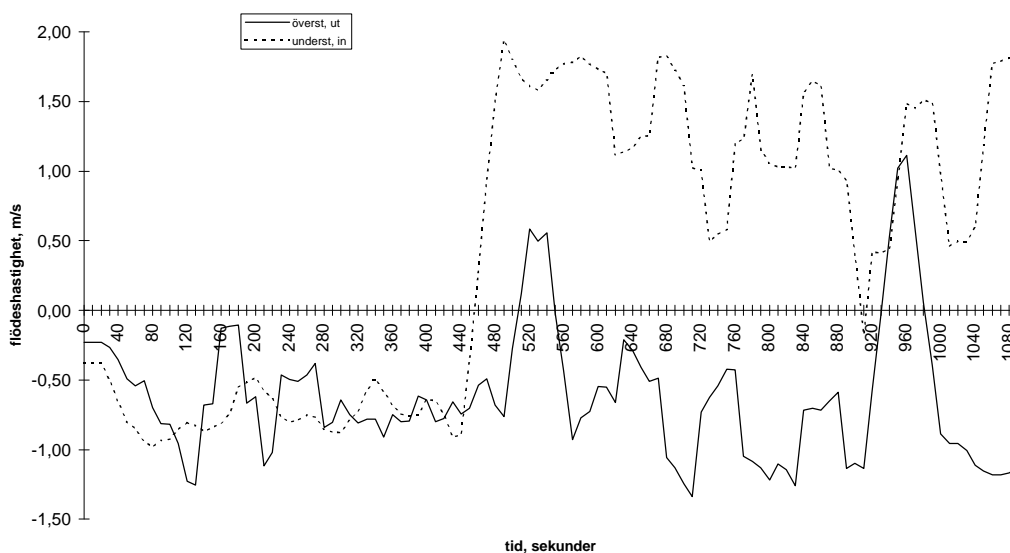


Diagram 30; försök 2b, flödeshastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

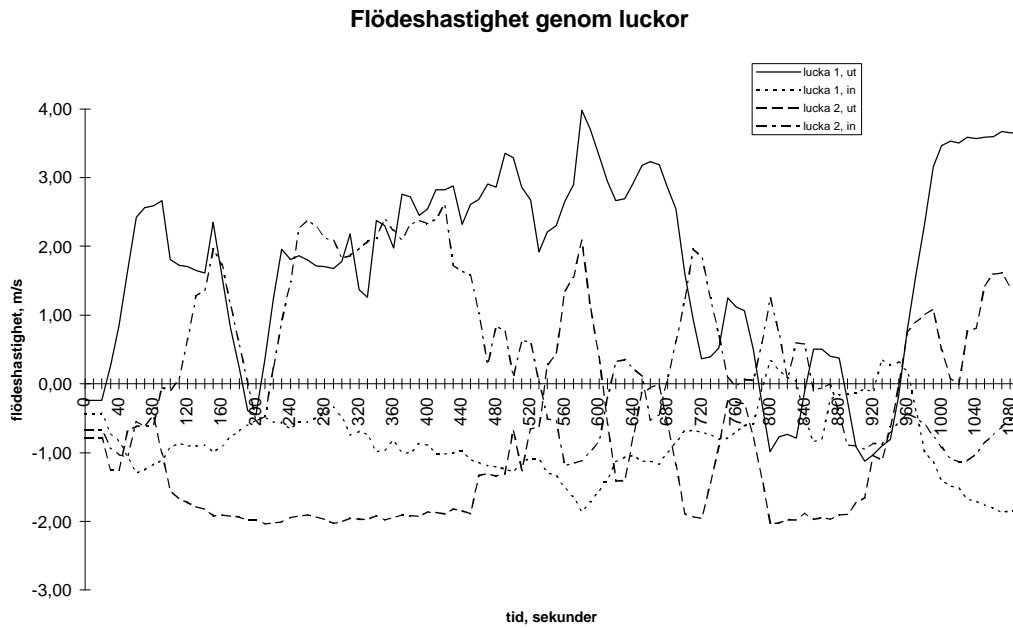


Diagram 31; försök 2b, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

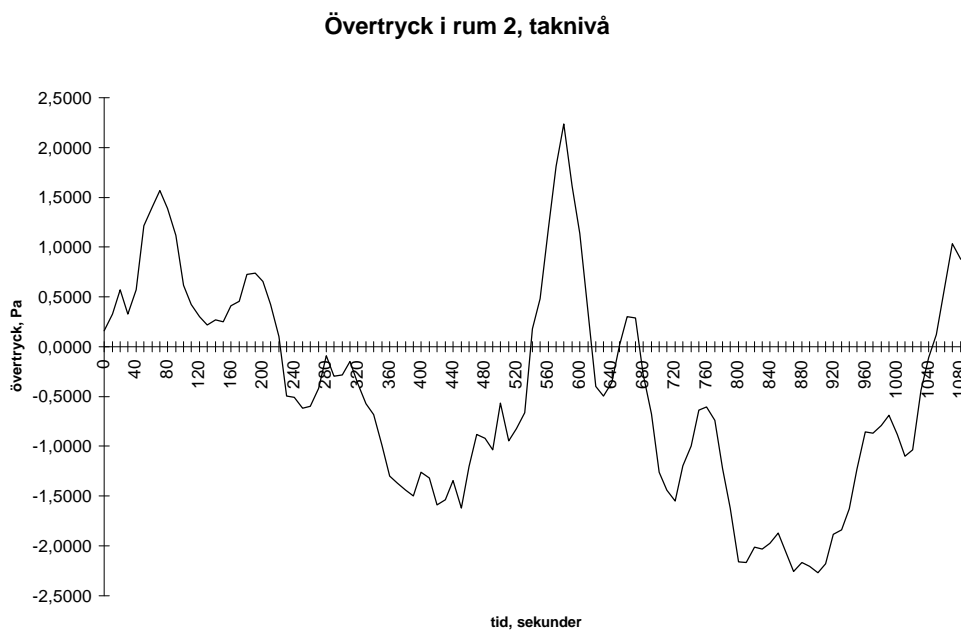


Diagram 32; försök 2b, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

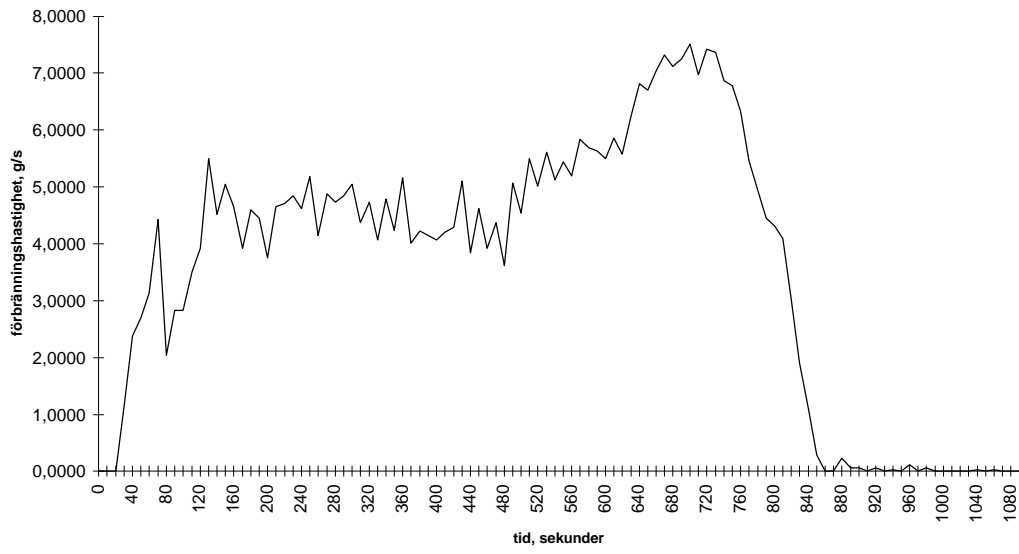


Diagram 33; försök 2b, förbränningshastigheten.

2 c. Brand i rum 2, släckinsats via trapphus och samtidig fönsterventilation

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, och samtidig fönsterventilation. Lägenheten ges två ventilationsöppningar, en stor (trapphusdörren) och en liten (fönstret). Branden är ungefär mitt mellan dessa öppningar.

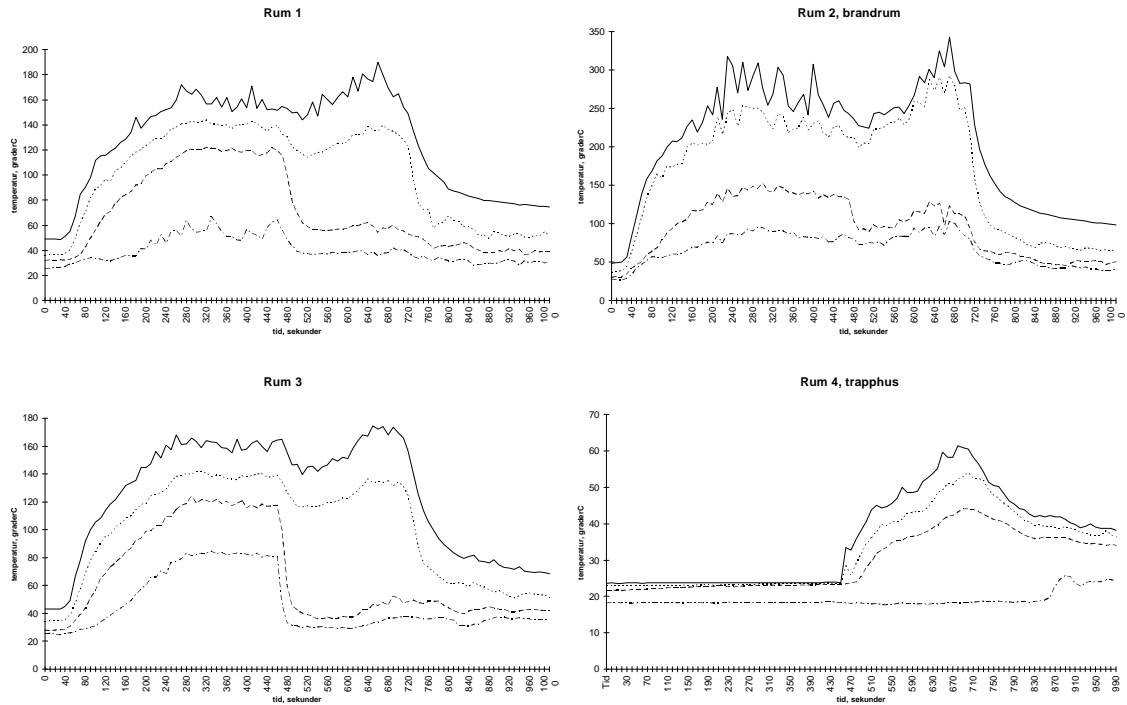


Diagram 34; försök 2c, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

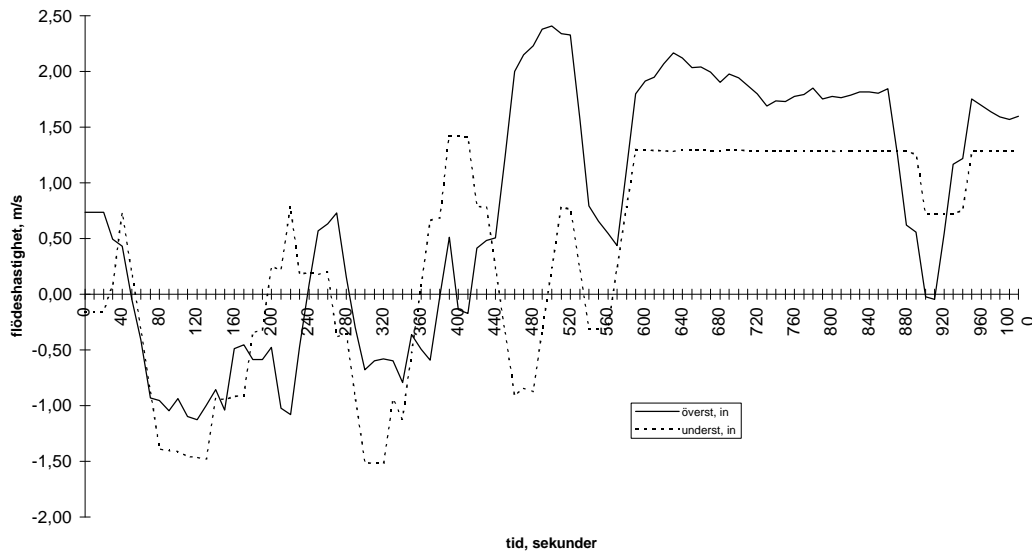


Diagram 35; försök 2c, flödes hastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

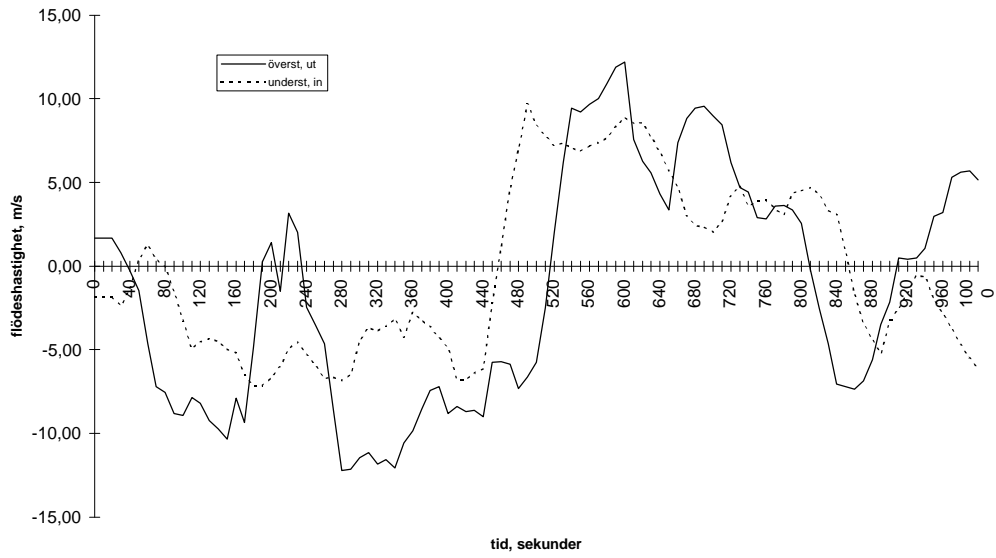


Diagram 36; försök 2c, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Flödes hastighet genom luckor

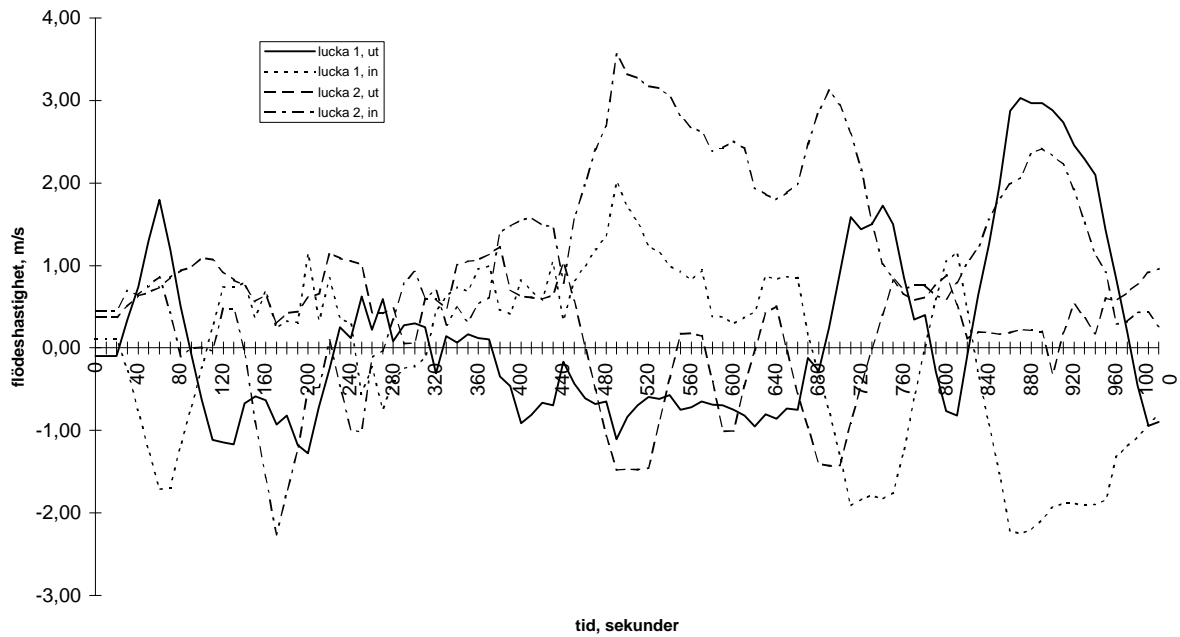


Diagram 37 ; försök 2c, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 38; försök 2c, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

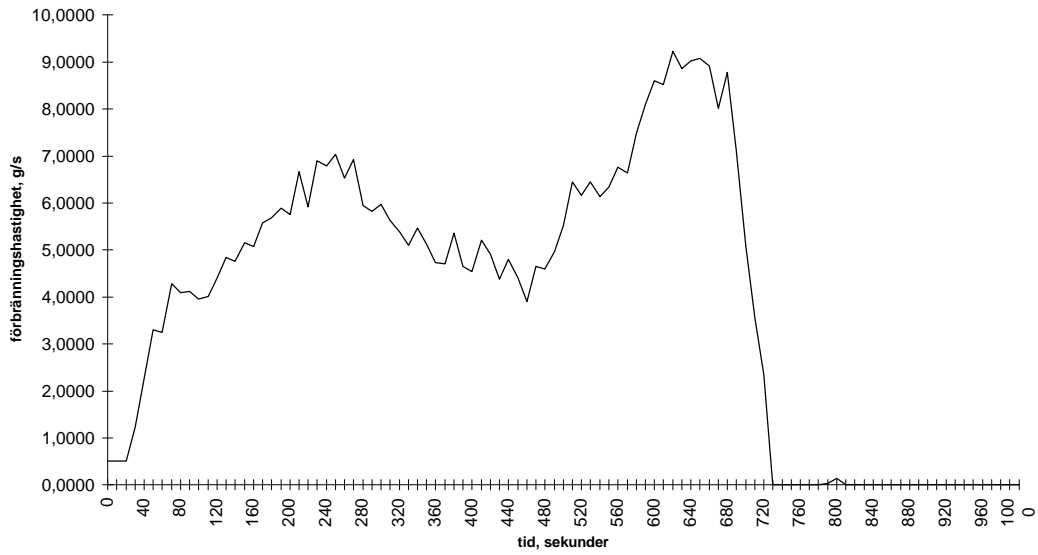


Diagram 39; försök 2c, förbränningshastigheten.

2 d. Brand i rum 2, släckinsats via trapphus och samtidig övertrycksventilation, fläkt vid trapphusdörr

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, samtidig fönsterverntilation samt övertrycksventilation. Fläkten är därvid placerad på trappplanet strax utanför trapphusdörren. Lägenheten ges två ventilationsöppningar, en liten (fönstret) och en stor (trapphusdörren). Branden är mitt emellan dessa öppningar. Fläkten är placerad ganska nära branden och nära lägenheten.

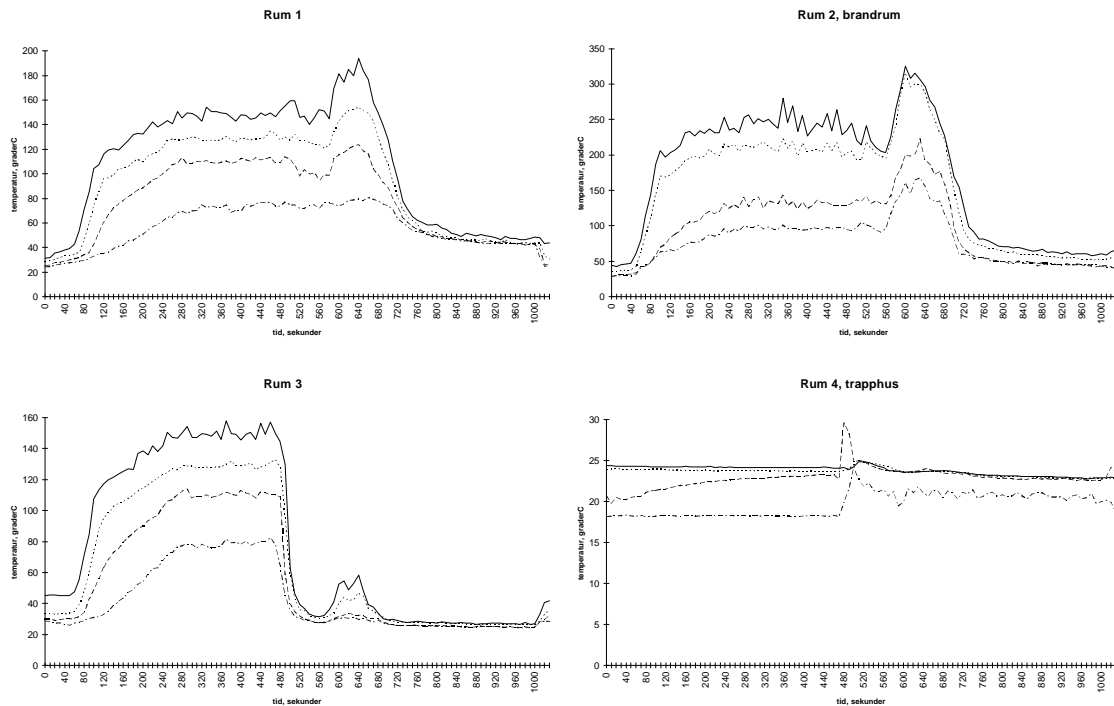


Diagram 40; försök 2d, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

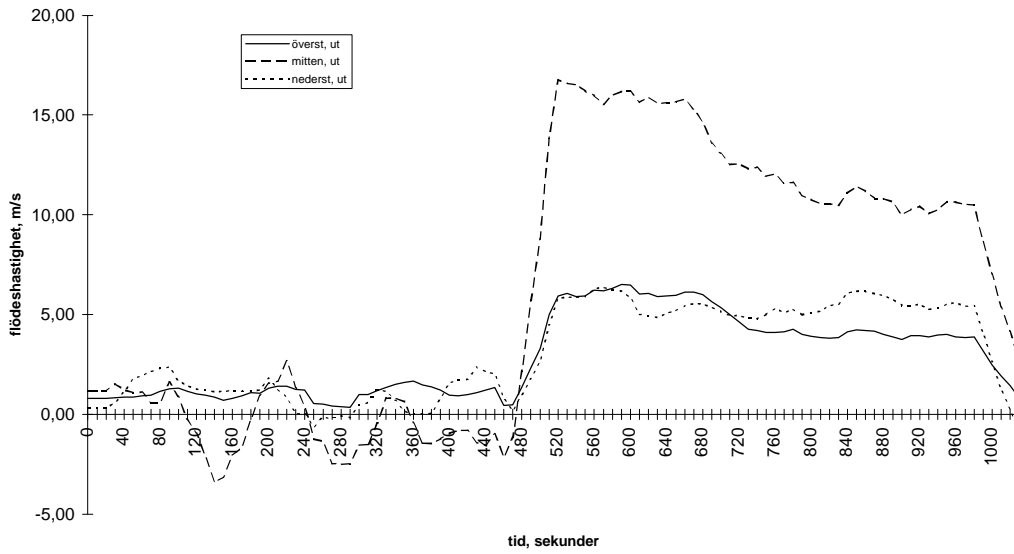


Diagram 41; försök 2d, flödes hastighet genom fönster, utgående/ingående brandgas/luft, 0.15m under överkarm, 0.15m över underkarm samt i fönstrets mitt.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

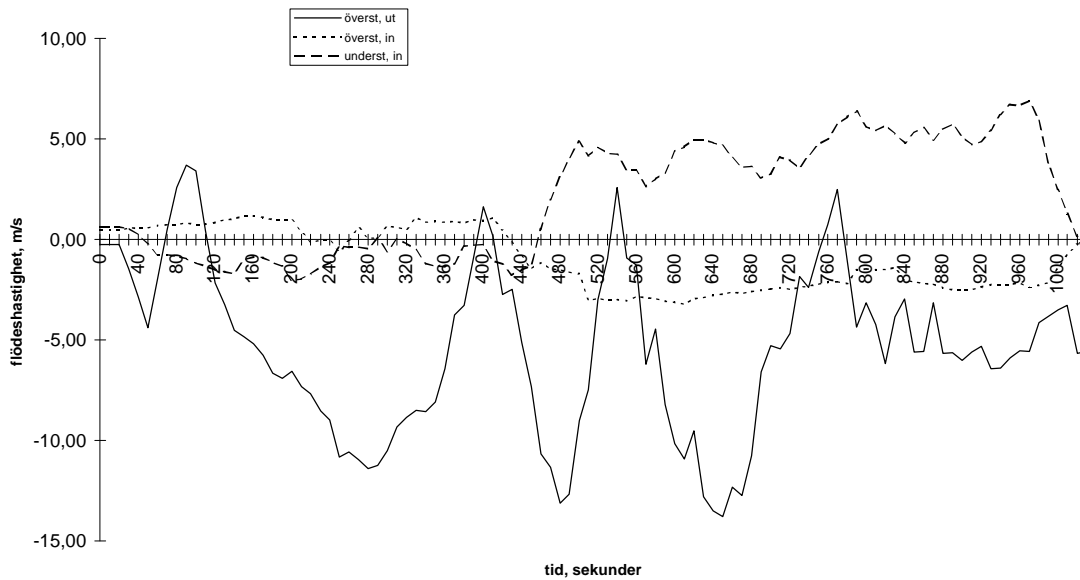


Diagram 42; försök 2d, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående och ingående brandgas (överst, ut respektive överst, in) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Övertryck i rum 2, taknivå

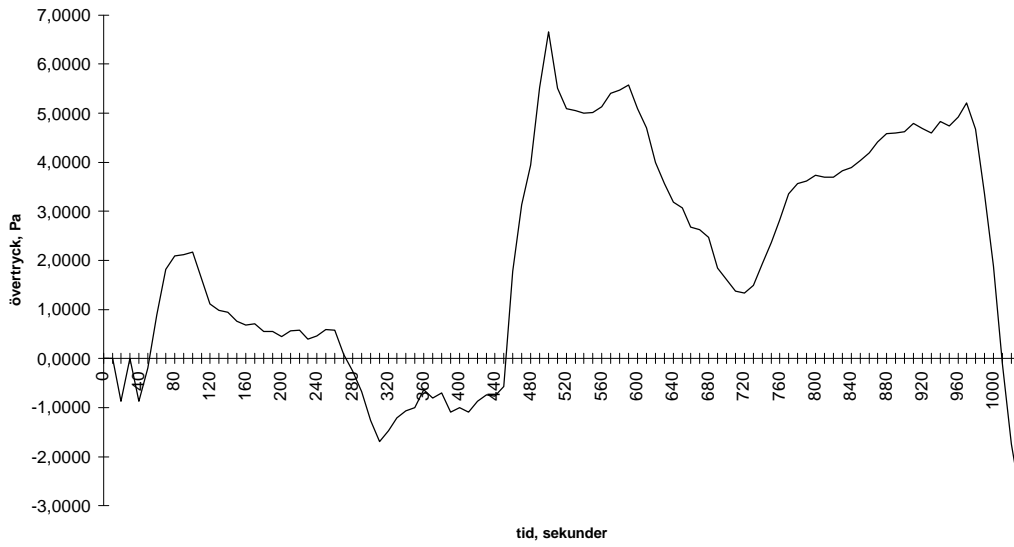


Diagram 43; försök 2d, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

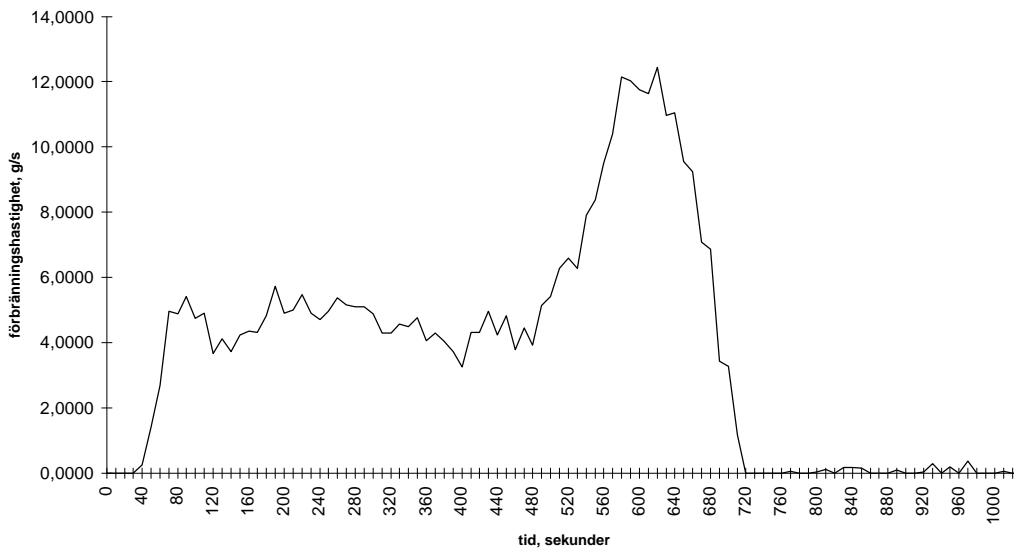


Diagram 44; försök 2d, förbränningshastigheten.

2 e. Brand i rum 2, släckinsats via trapphus och samtidig övertrycksventilation, fläkt vid ytterdörr

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, samtidig fönsterverntilation samt övertrycksventilation. Fläkten är därvid placerad utanför ytterdörren (utanför trapphuset) och blåser in i trapphuset.

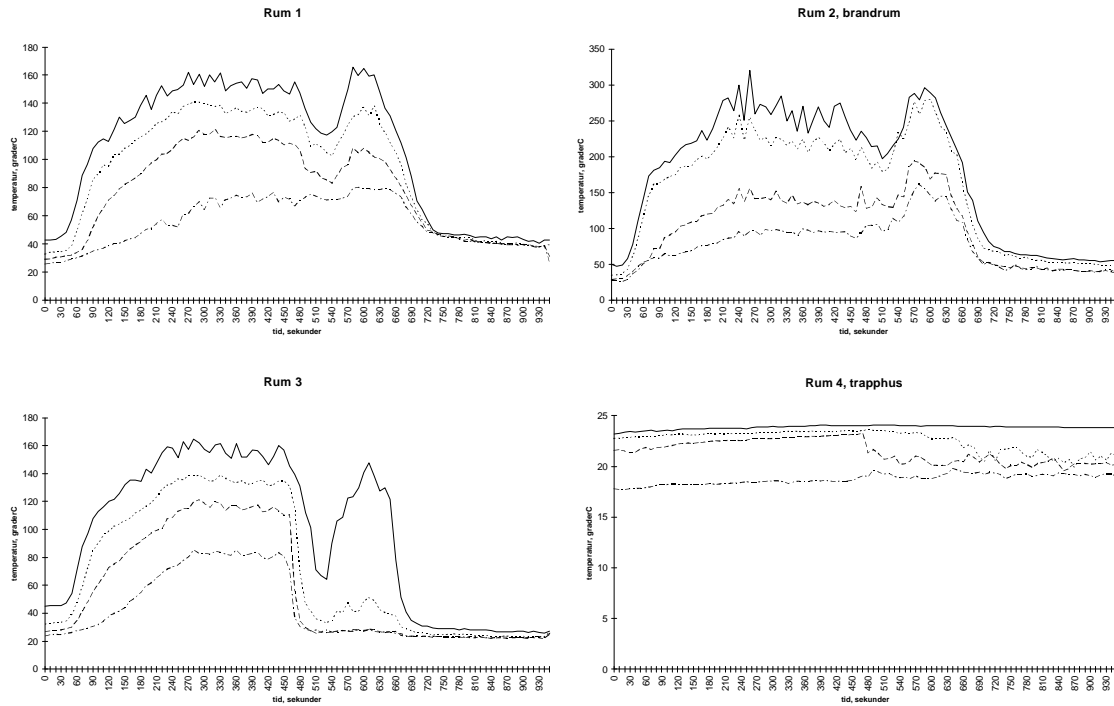


Diagram 45; försök 2e, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

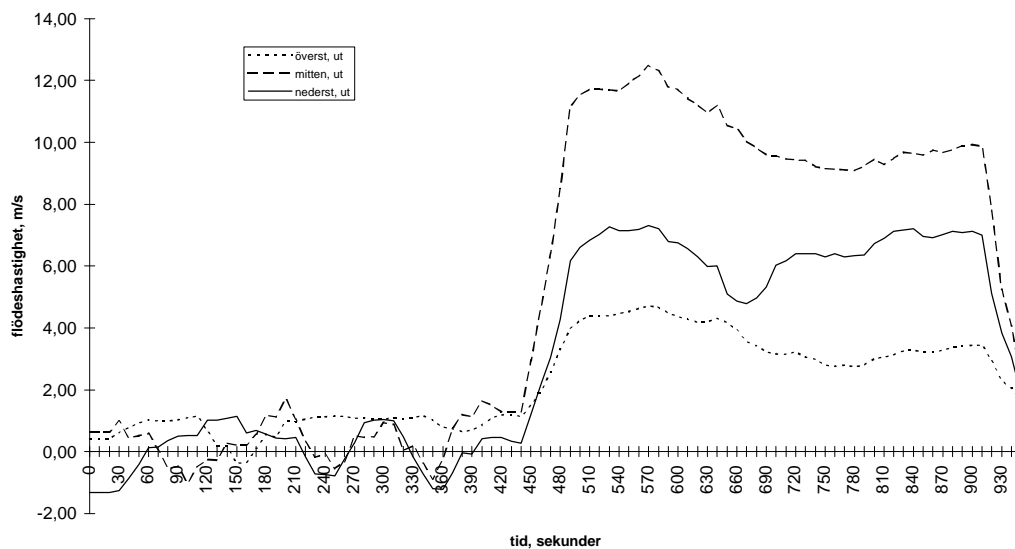


Diagram 46; försök 2e, flödes hastighet genom fönster, utgående/ingående brandgas/luft, 0.15m under överkarm, 0.15m över underkarm samt i fönstrets mitt.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

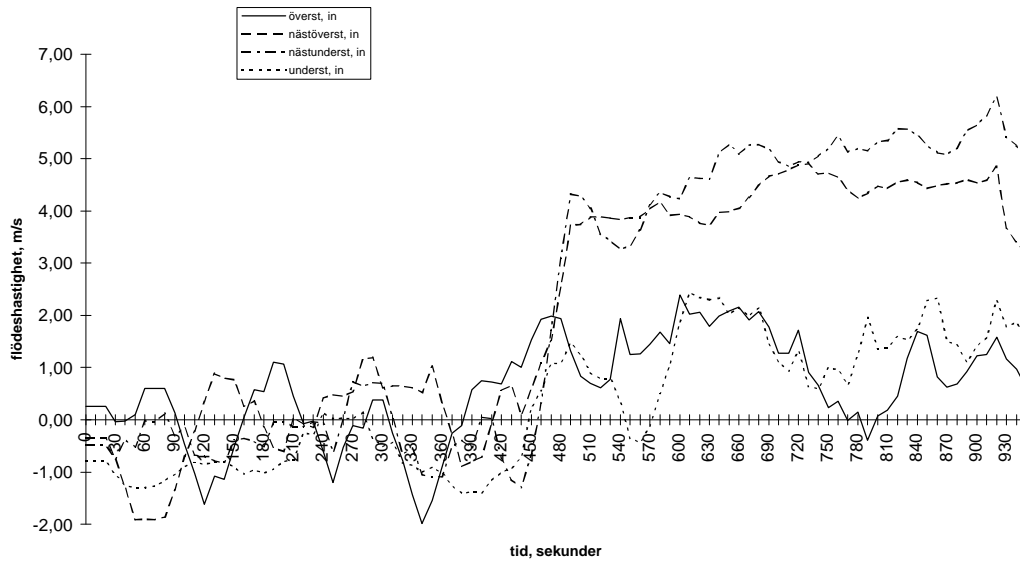


Diagram 47; försök 2e, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående/ingående brandgas/luft, 0.2m under överkarm, 0.74m under överkarm, 0.74m över underkarm samt 0.2m över underkarm.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 48; försök 2e, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet



Diagram 49; försök 2e, förbränningshastigheten.

3 a. Brand i rum 3, släckinsats via trapphus

Försöket avser att efterlikna en ”normal” rökdykarinsats via trapphus, ingen övrig ventilation av lägenheten. Branden är i rummet närmast trapphuset, dvs branden är nära en stor ventilationsöppning.

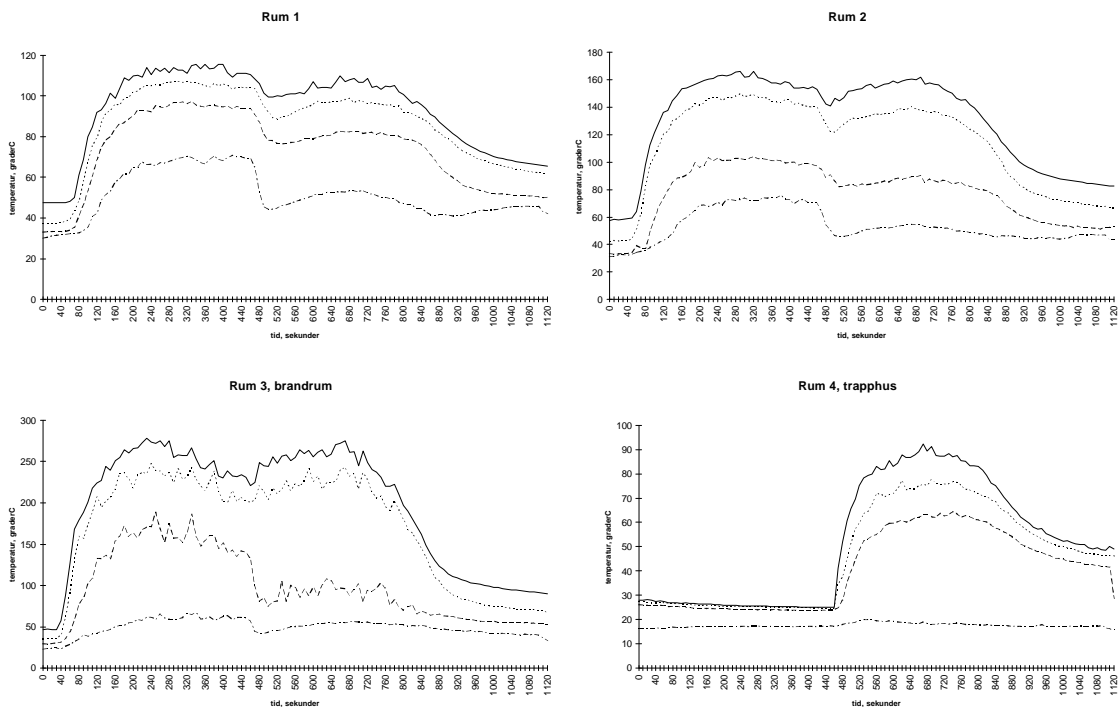


Diagram 50; försök 3a, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

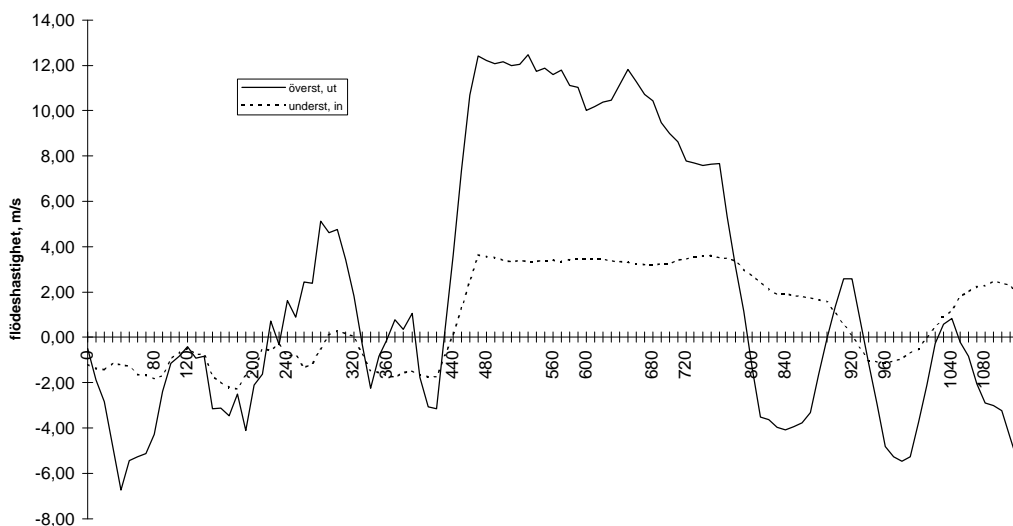


Diagram 51; försök 3a, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Flödes hastighet genom luckor

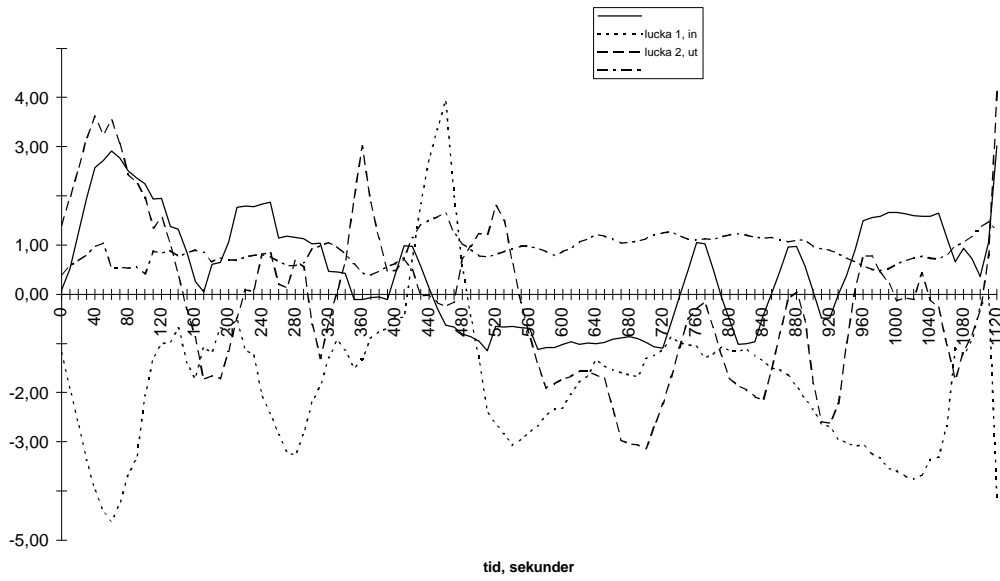


Diagram 52; försök 3a, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Förbrännings hastighet



Diagram 53; försök 3a, förbrännings hastigheten.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 54; försök 3a, övertryck i rum 2, taknivå

Observationer i trapphuset

Röken når trappplanet efter 550 sekunder och strömmar ut genom ytterdörren efter 660 sekunder.

3 b. Brand i rum 3, släckinsats via fönster

Försöket avser att efterlikna en rökdykarinsats via fönster, till exempel då lägenhetsdörr är svårforcerad, och med ingen övrig ventilation av lägenheten. Branden är därvid långt ifrån en liten ventilationsöppning (fönstret).

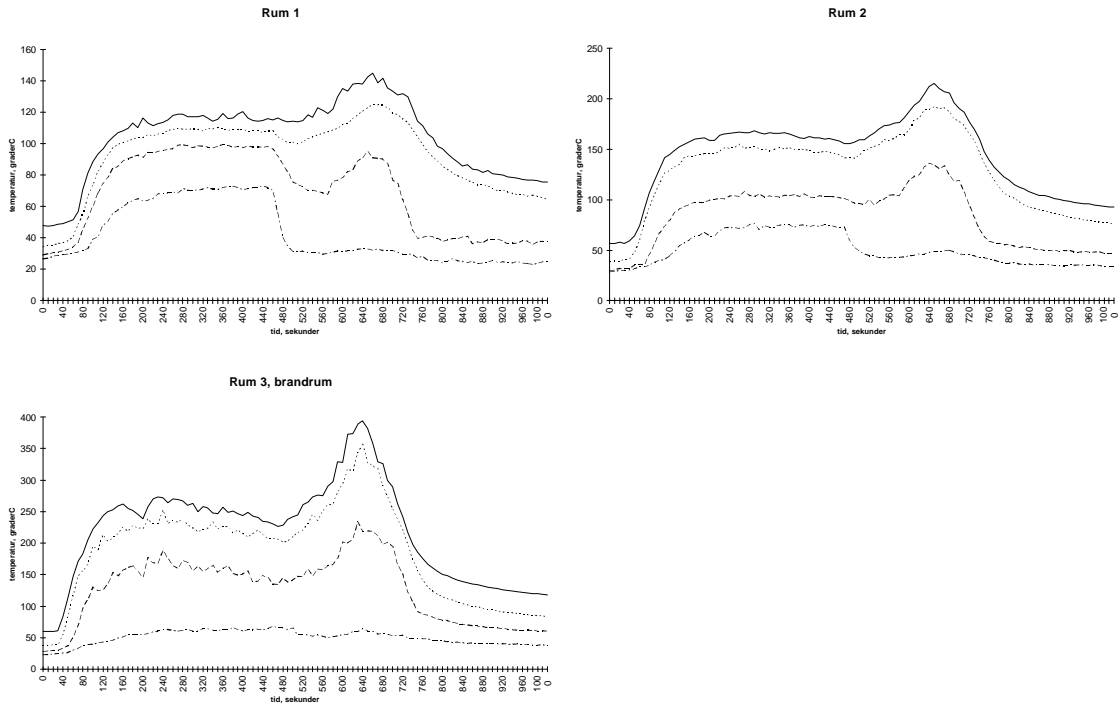


Diagram 55; försök 3b, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv.

Flödeshastighet genom fönster

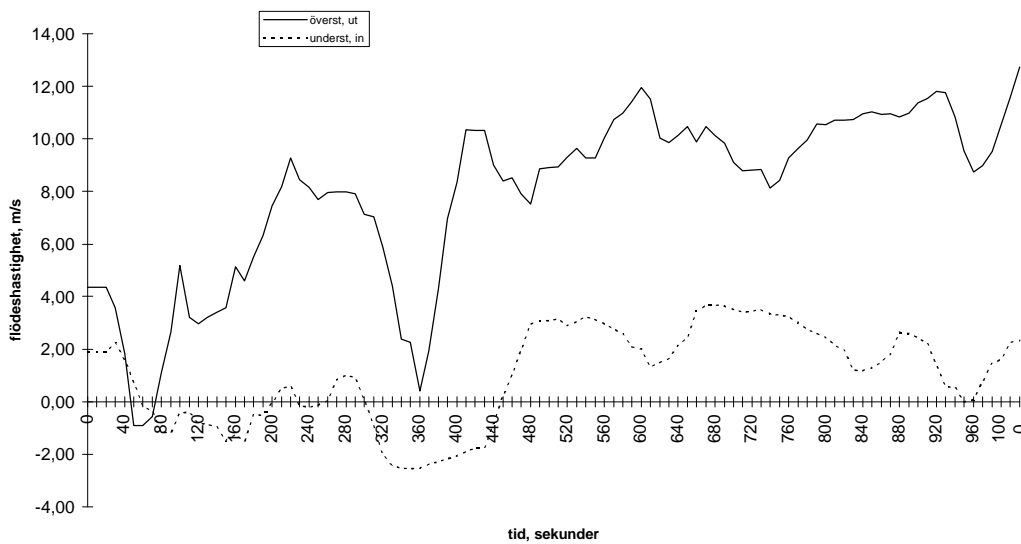


Diagram 56; försök 3b, flödeshastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

Flödes hastighet genom luckor

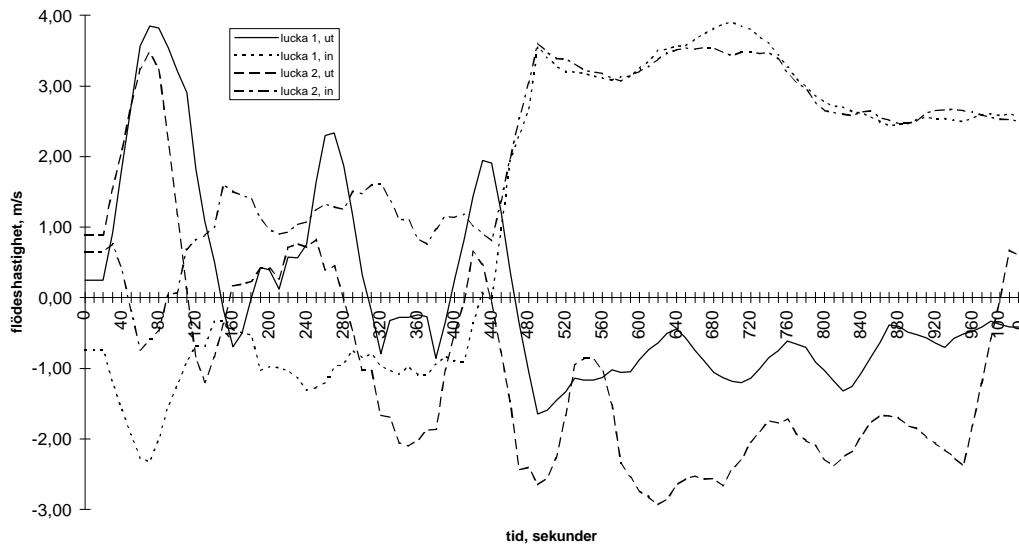


Diagram 57; försök 3b, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Förbrännings hastighet

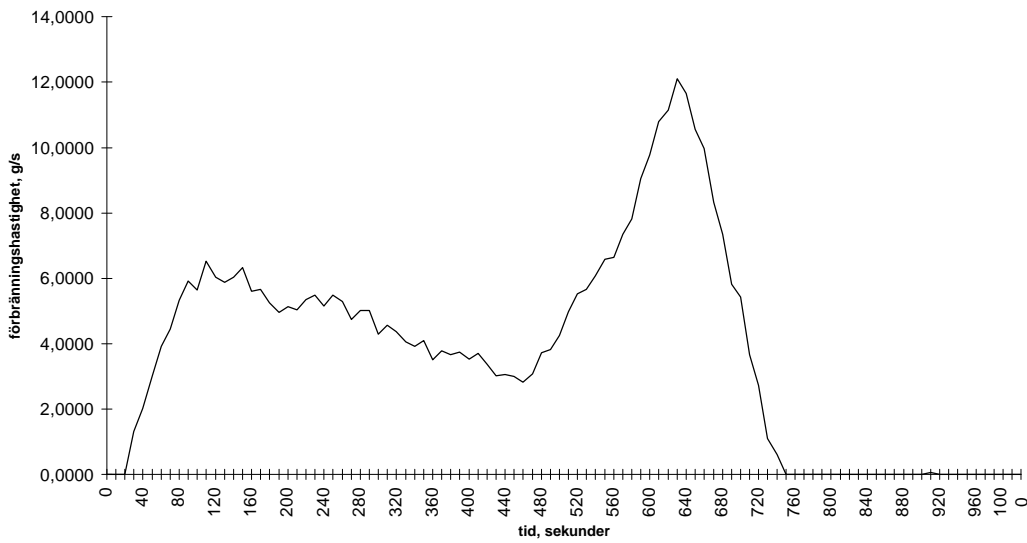


Diagram 58; försök 3b, förbrännings hastigheten.

Övertryck i rum 2, taknivå

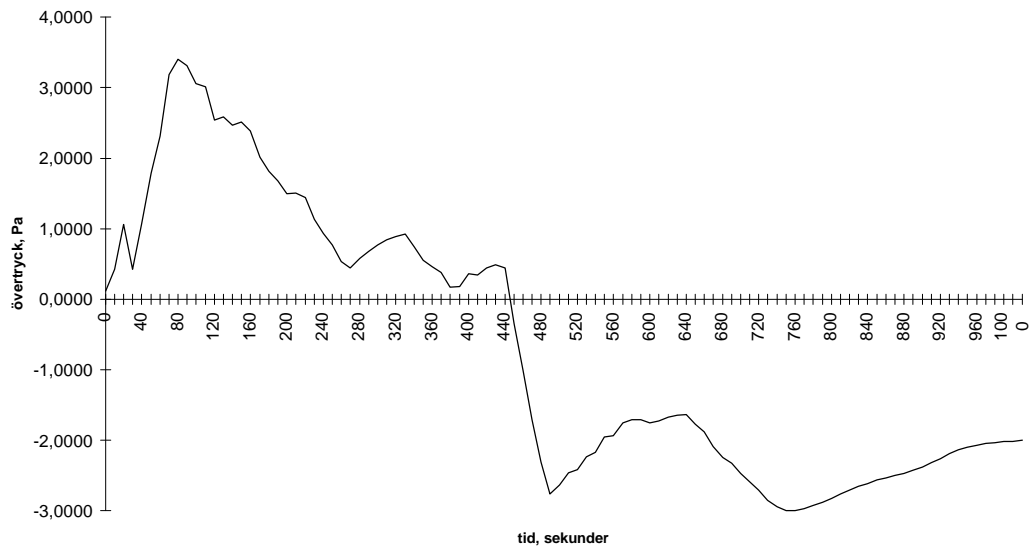


Diagram 59; försök 3b, övertryck i rum 2, taknivå

3 c. Brand i rum 3, släckinsats via trapphus och samtidig fönsterventilation

Försöket avser att efterlikna en ”normal” rökdykarinsats via trapphus, och samtidig fönsterventilation. Lägenheten ges därvid två ventilationsöppningar, en öppning stor nära branden (trapphusdörren) och en öppning liten långt ifrån branden (fönstret). Diagram 60 nedan visar temperaturprofilerna i respektive rum. Försöket startar med helt stängt rum.

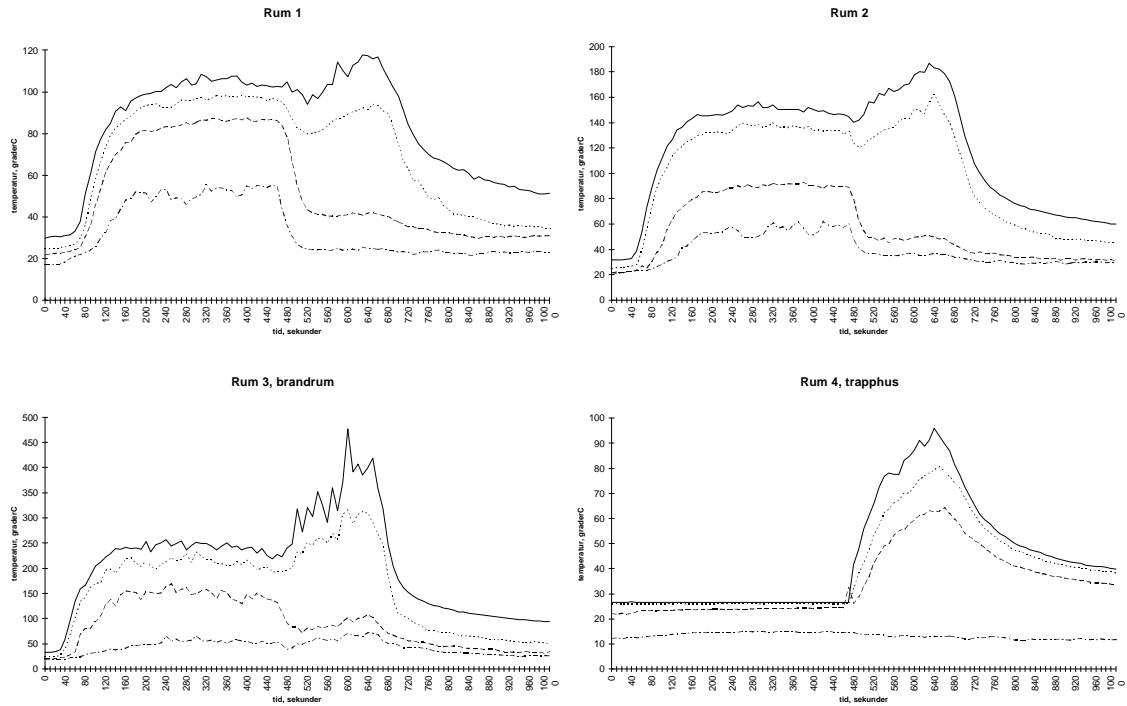


Diagram 60; försök 3c, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

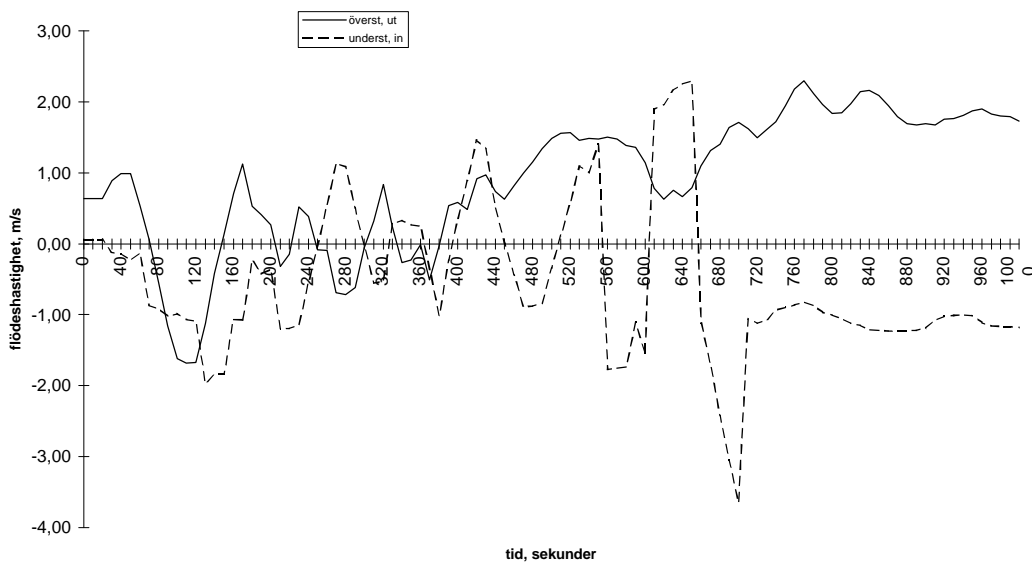


Diagram 61; försök 3c, flödes hastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.15m över underkarm.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

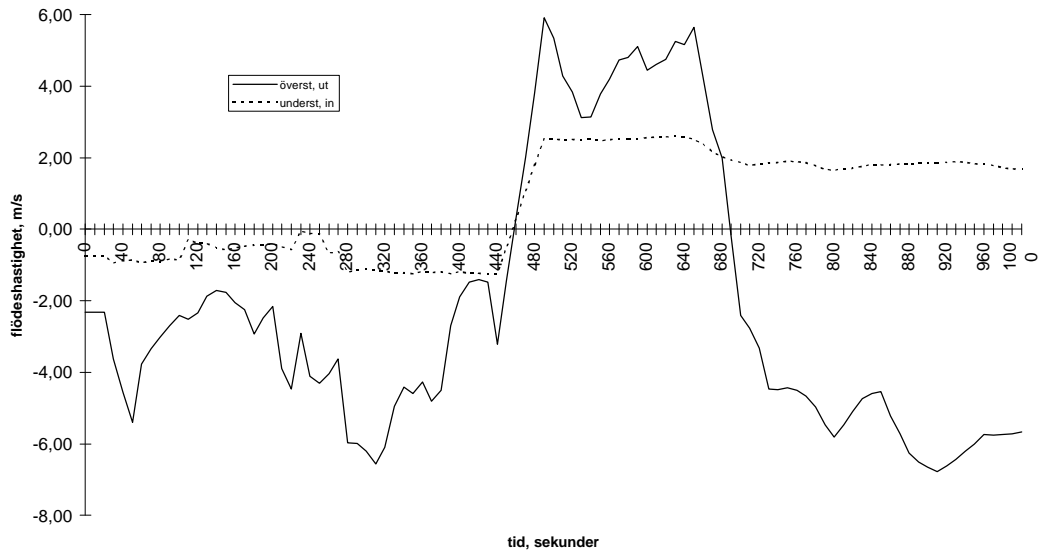


Diagram 62; försök 3c, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Flödes hastighet genom luckor

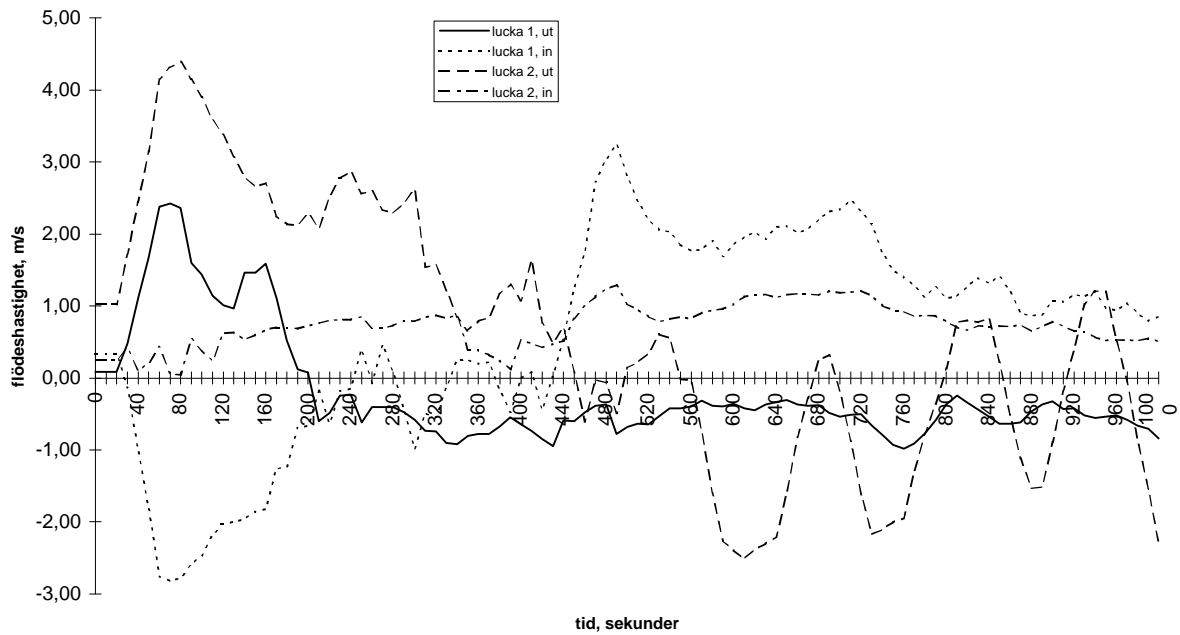


Diagram 63 ; försök 3c, flödes hastighet genom luckor, ingående och utgående luftströmmar i lucka 1 och lucka 2.

Förbränningshastighet

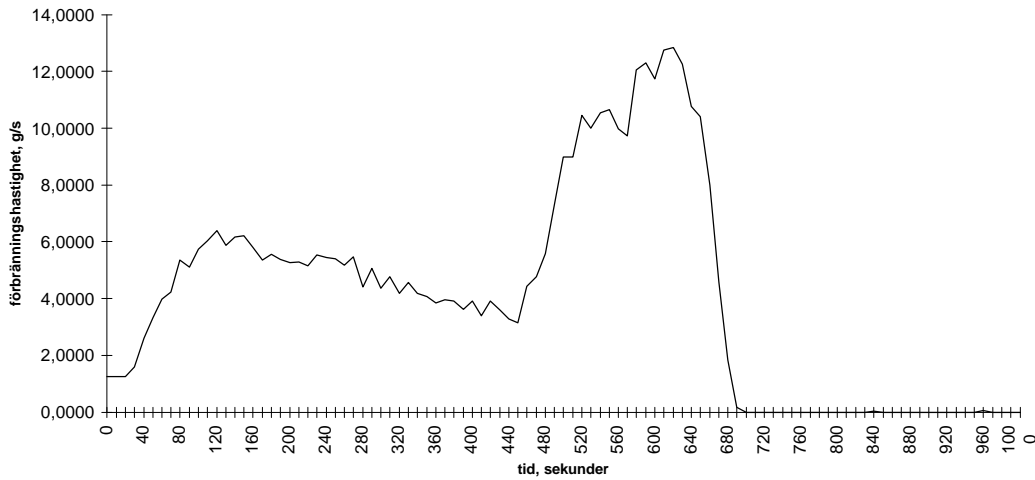


Diagram 64; försök 3c, förbränningshastigheten.

Övertryck i rum 2, taknivå



Diagram 65; försök 3c, övertryck i rum 2, taknivå

Observationer i trapphuset

Då dörren fortfarande var stängd observerades ett pulserande brandgasflöde under trapphusdörren (genom springan) med frekvens ungefär var 3:e sekund. Efter att trapphusdörren och fönstret öppnats observerades flamma pulsera mellan ~0.5 m nivå och upp till taknivå i ~20 sekunders intervall. Brandgaslagret stabiliserades cirka 1 m över golvnivå.

Övrigt

Försök 3c var det enda försöket där vi kunde registrera tydliga vindrörelser utanför byggnaden. Hur dessa påverkade är dock något oklart, eftersom vindriktningen var omkring sydostlig och därför påverkade både fönster (huvudsaklig frånluftöppning) och ytterdörr (huvudsaklig tilluftöppning).

3 d. Brand i rum 3, släckinsats via trapphus och samtidig övertrycksventilation, fläkt vid trapphusdörr

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, samtidig fönsterverntilation samt övertrycksventilation. Fläkten är därvid placerad på trappplanet strax utanför trapphusdörren, dvs mycket nära såväl lägenheten som branden.

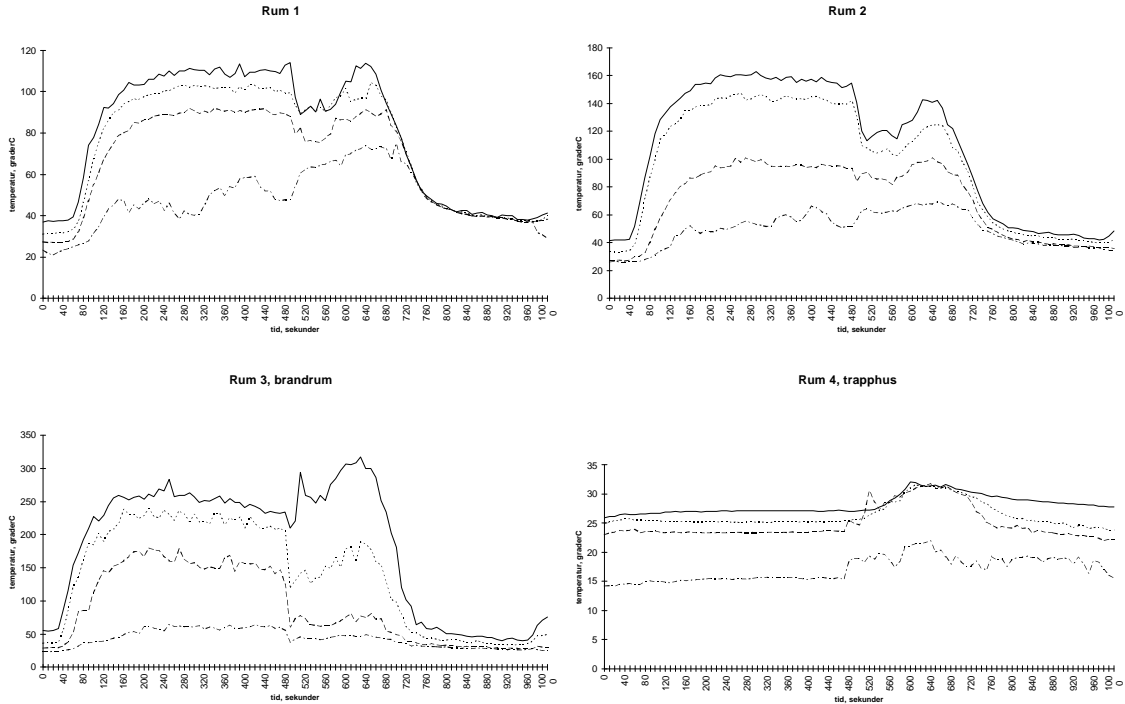


Diagram 66; försök 3d, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

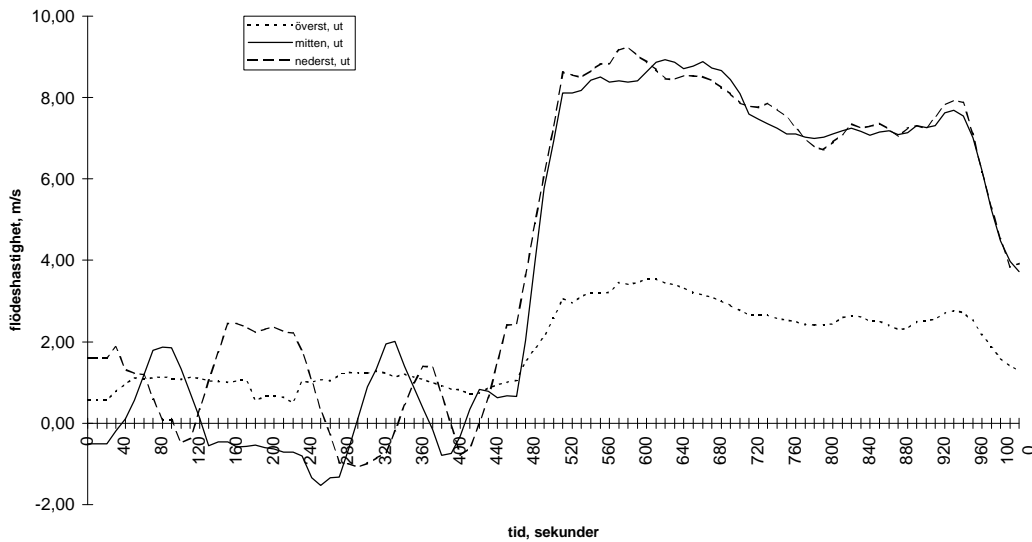


Diagram 67; försök 3d, flödes hastighet genom fönster, utgående brandgas (överst, ut) 0.15m under överkarm, ingående luft (nederst, in) 0.15m över underkarm samt utflödet i fönstrets mitt (mitten, ut).

Flödes hastighet genom trapphusdörr

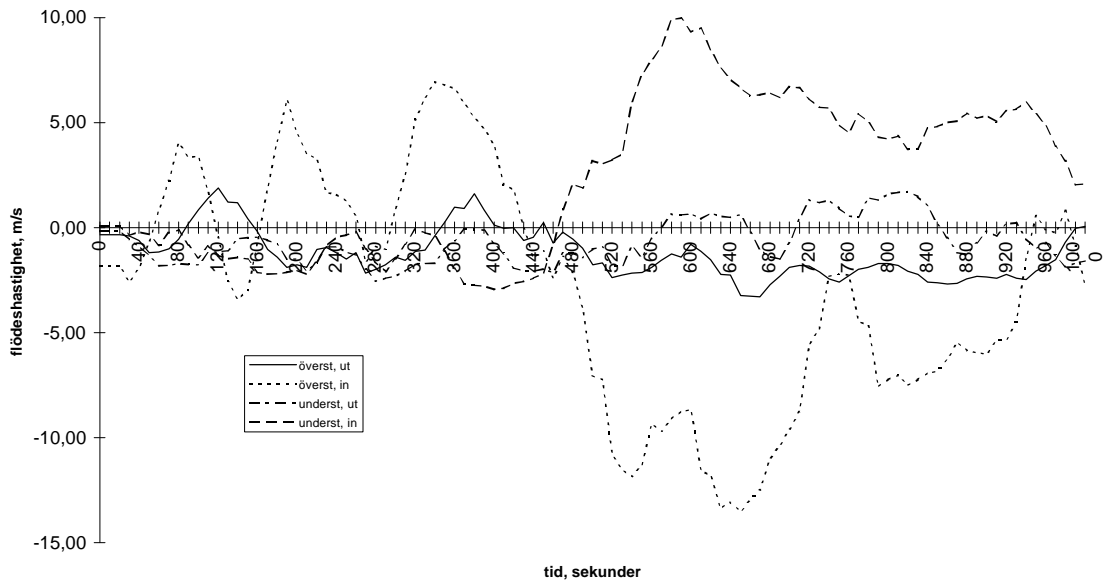


Diagram 68; försök 3d, flödes hastighet genom trapphusdörr, utgående brandgas (överst, ut) 0.2m under överkarm samt ingående luft (underst, in) 0.2m över underkarm.

Övertryck i rum 2, taknivå

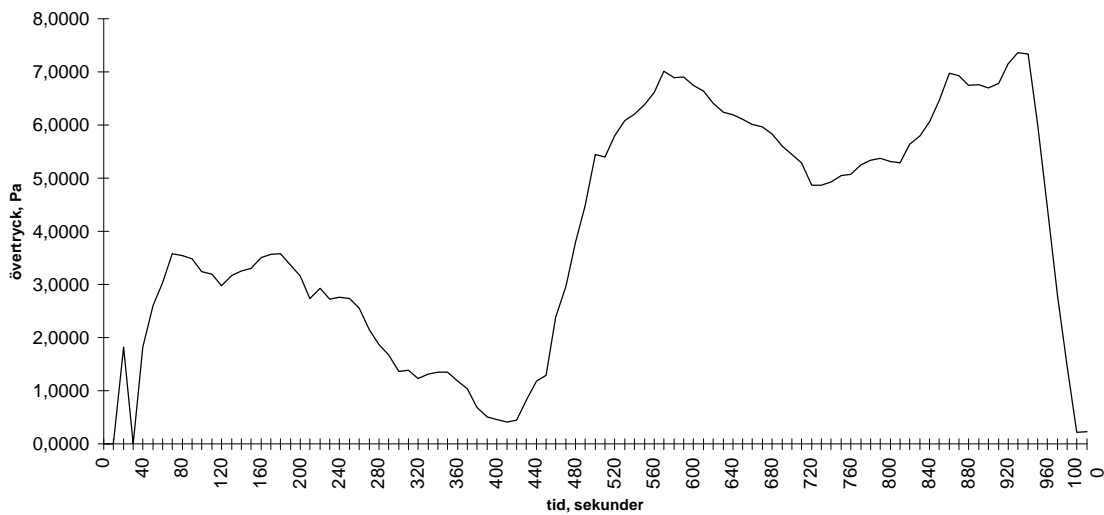


Diagram 69; försök 3d, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

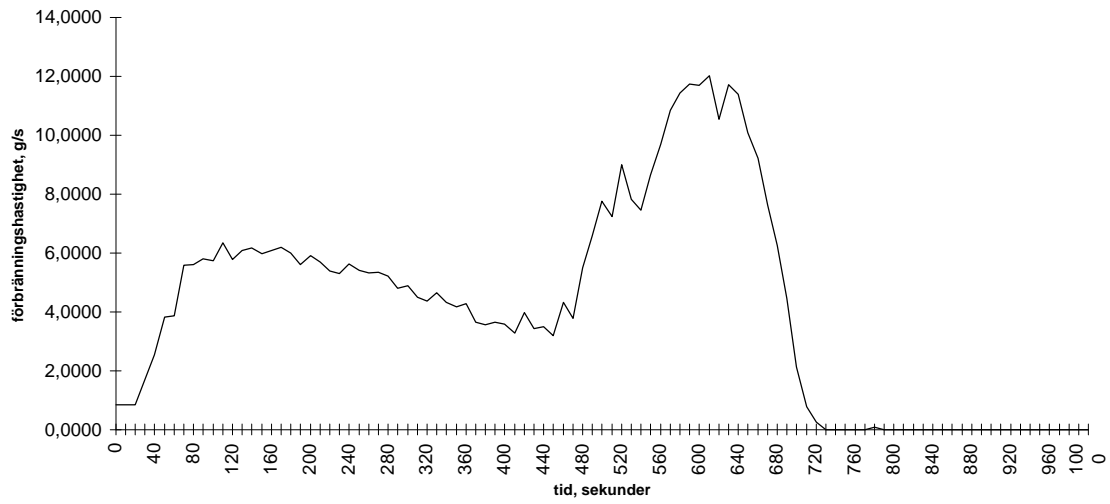


Diagram 70; försök 3d, förbränningshastigheten.

3 e. Brand i rum 3, släckinsats via trapphus och samtidig övertrycksventilation, fläkt vid ytterdörr

Försöket avser att efterlikna en "normal" rökdykarinsats via trapphus, samtidig fönsterventilation samt övertrycksventilation. Fläkten är därvid placerad utanför ytterdörren (utanför trapphuset) och blåser in i trapphuset.

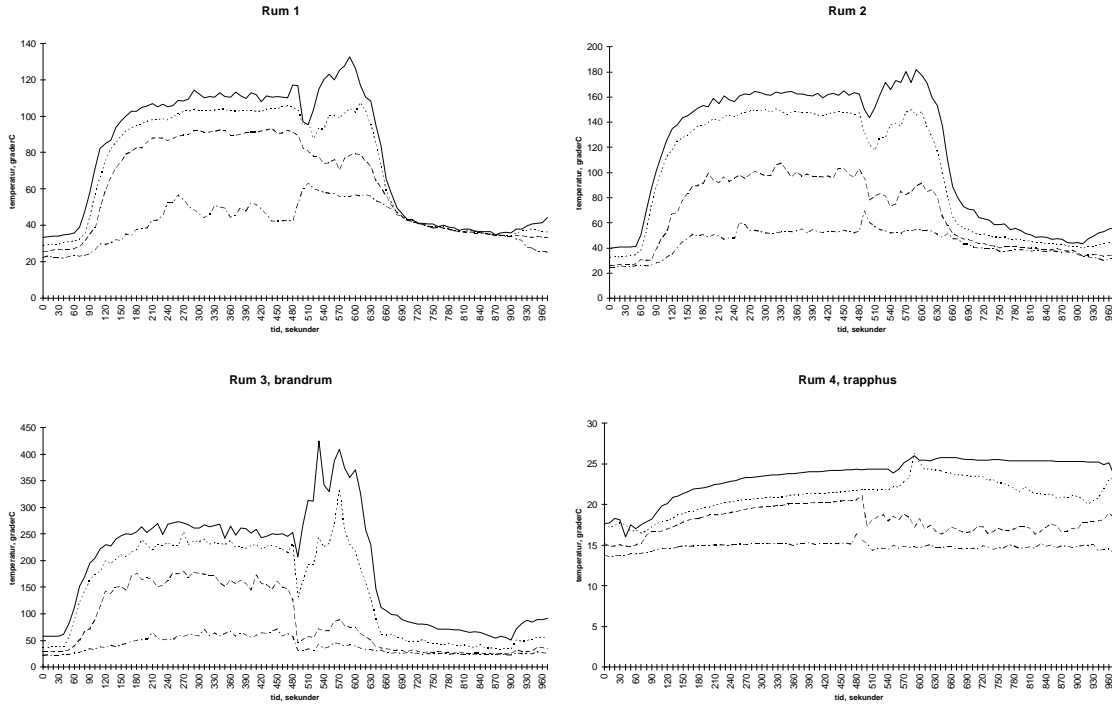


Diagram 71; försök 3e, temperaturprofiler på höjderna 2.25m, 1.59m, 0.92m samt 0.25m över golv, i trapphus 11.6m, 8.3m, 5.2m samt 2.0m över golv.

Flödes hastighet genom fönster

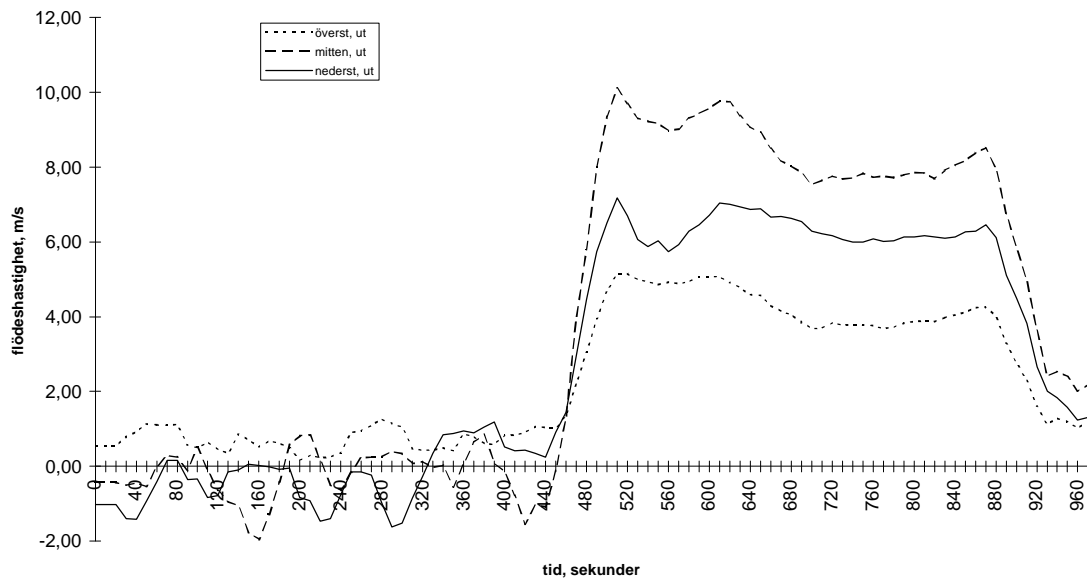


Diagram 72; försök 3e, flödes hastighet genom fönster, utgående/ingående brandgas/luft, 0.15m under överkarm, 0.15m över underkarm samt i fönstrets mitt.

Flödes hastighet genom trapphusdörr

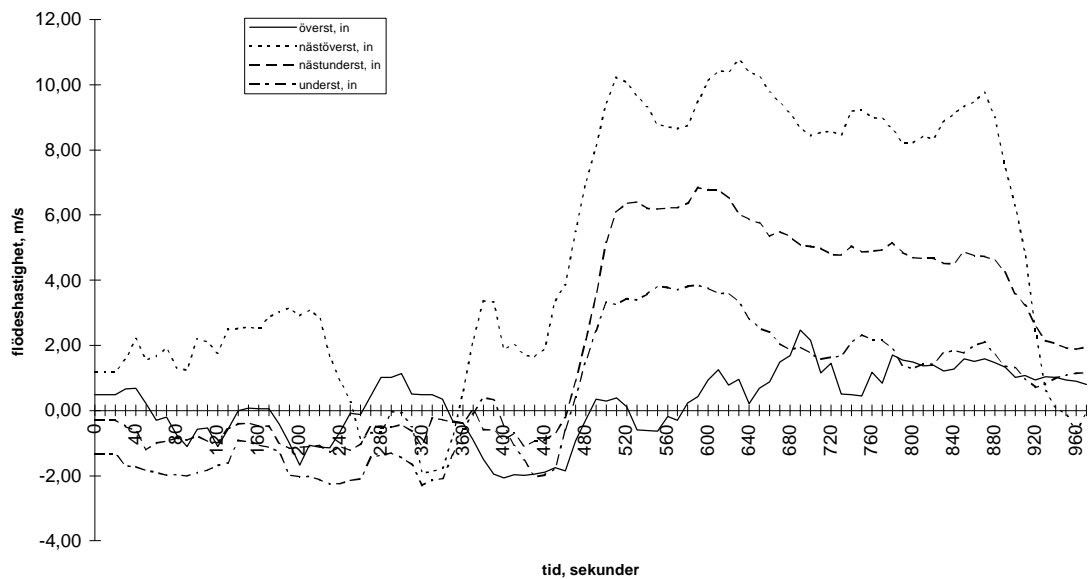


Diagram 73; försök 3e, flödes hastighet genom trapphusdörr, ingående flöde 0.2m under överkarm (överst, in) och 0.74m under överkarm (näst längst, upp) samt ingående flöde 0.2m över underkarm (underst, in) och 0.74m över underkarm (näst underst, in).

Övertryck i rum 2, taknivå

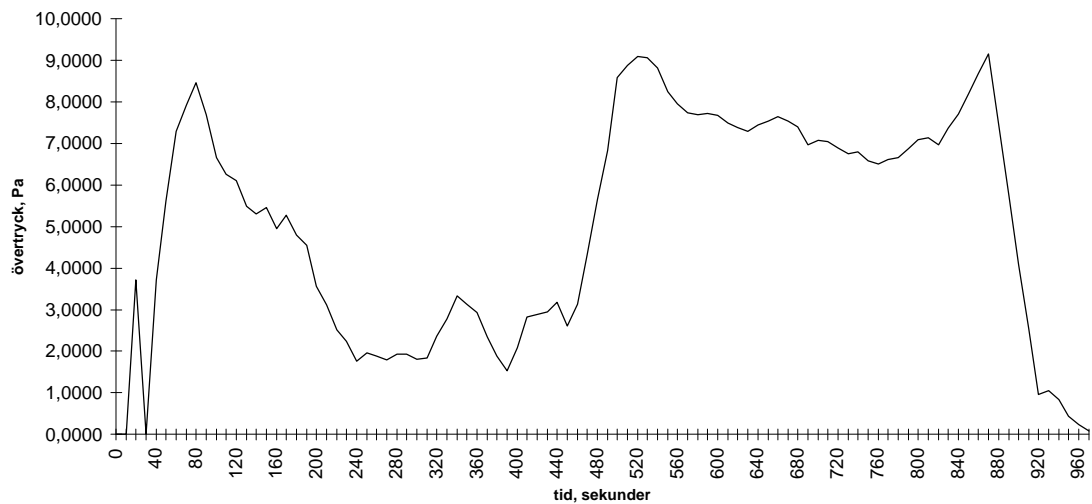


Diagram 74; försök 3e, övertryck i rum 2, taknivå

Förbränningshastighet

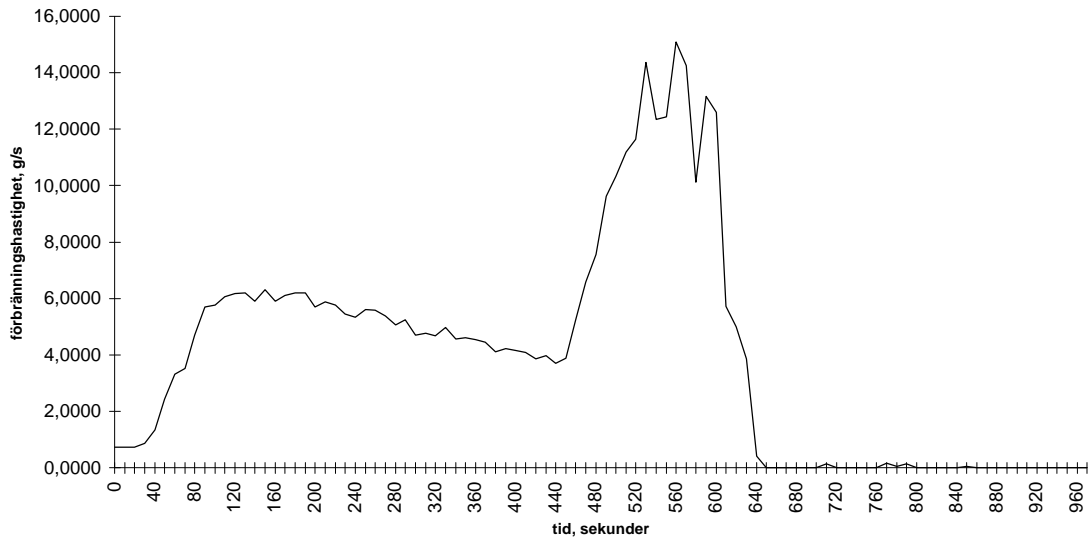


Diagram 75; försök 3e, förbränningshastigheten.

Förbränningshastighet

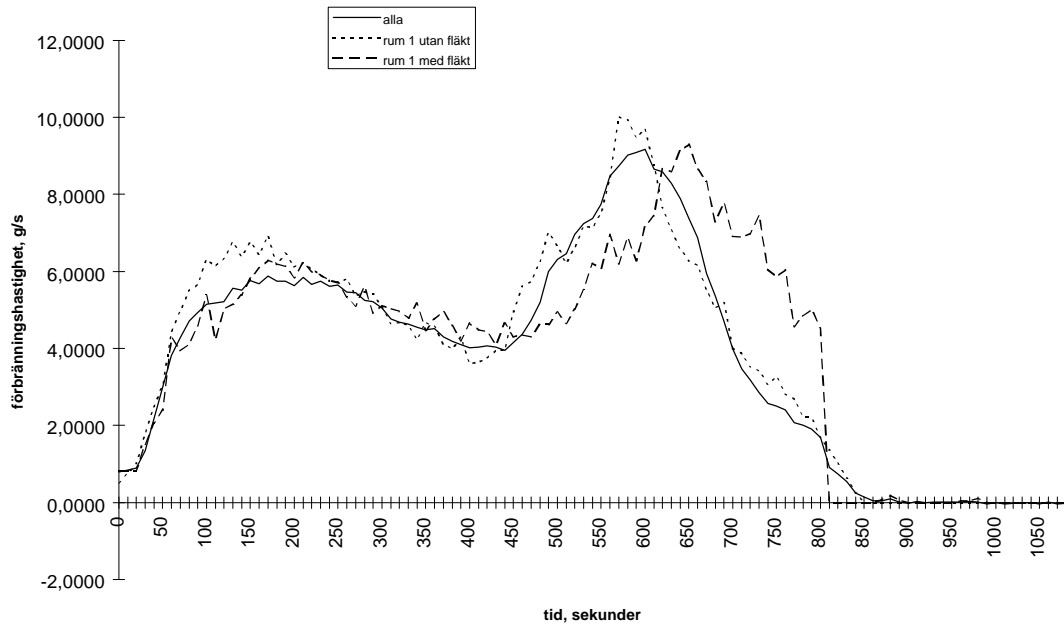


Diagram 76; förbränningshastighet, medelvärden för försök i rum 1, med respektive utan fläkt.

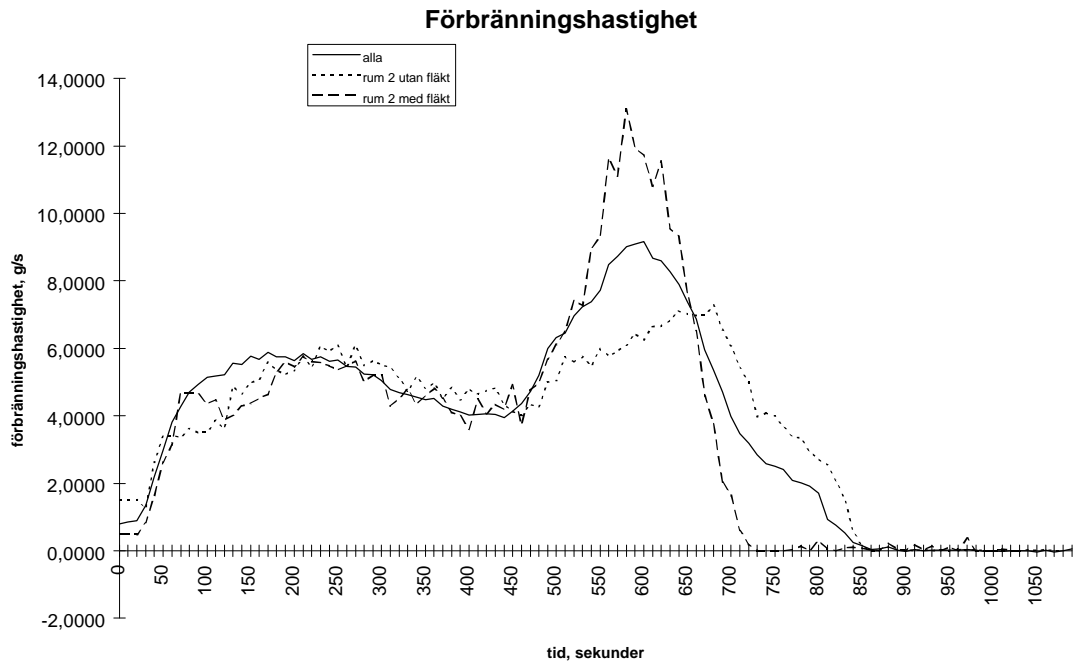


Diagram 77; förbränningshastighet, medelvärden för försök i rum 2, med respektive utan fläkt.

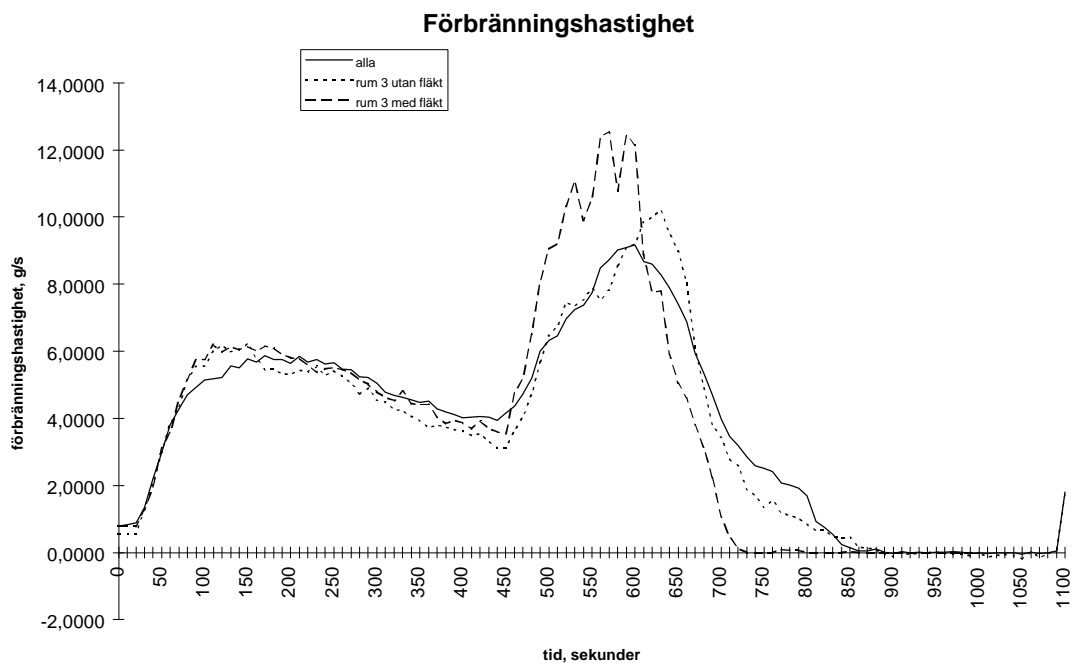


Diagram 78; förbränningshastighet, medelvärden för försök i rum 3, med respektive utan fläkt.

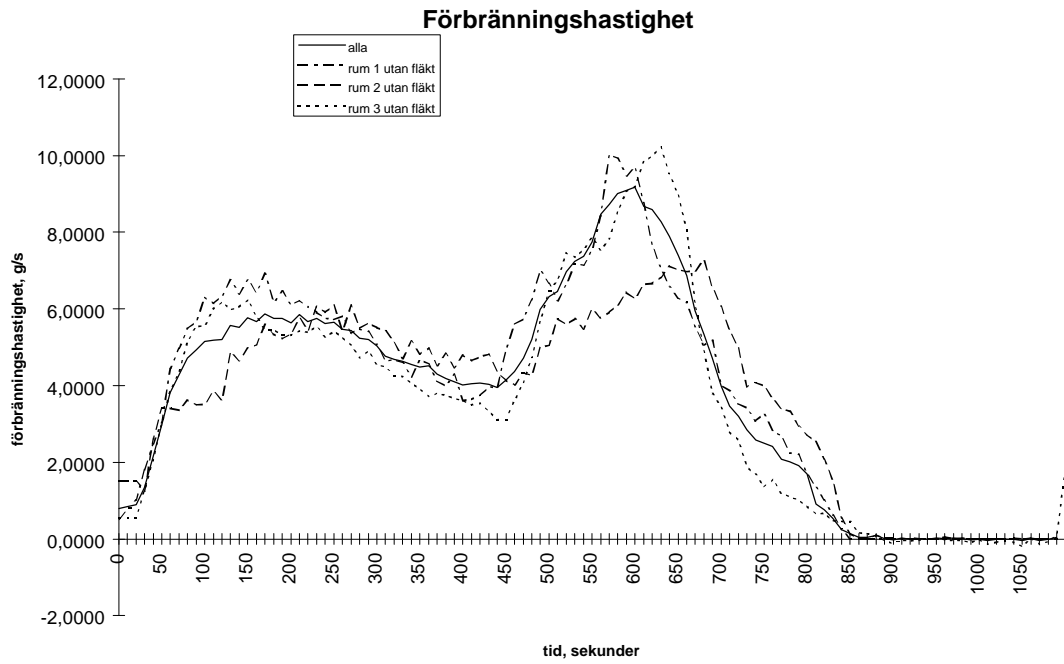


Diagram 79; förbränningshastighet, medelvärden försök utan fläkt.

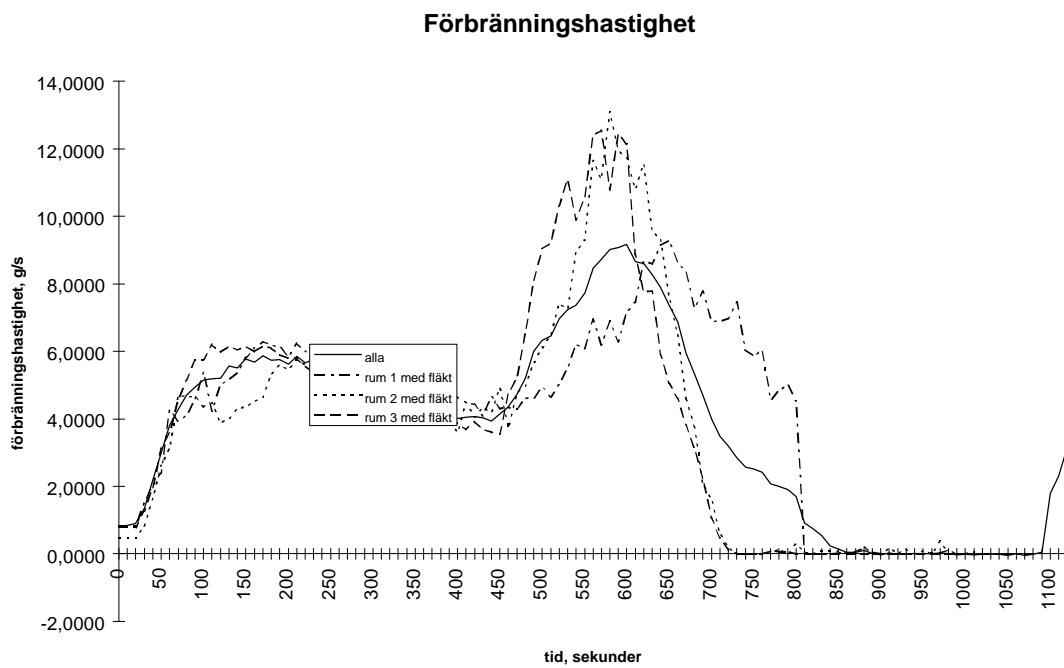


Diagram 80; förbränningshastighet, medelvärden försök med fläkt.

Förbränningshastighet

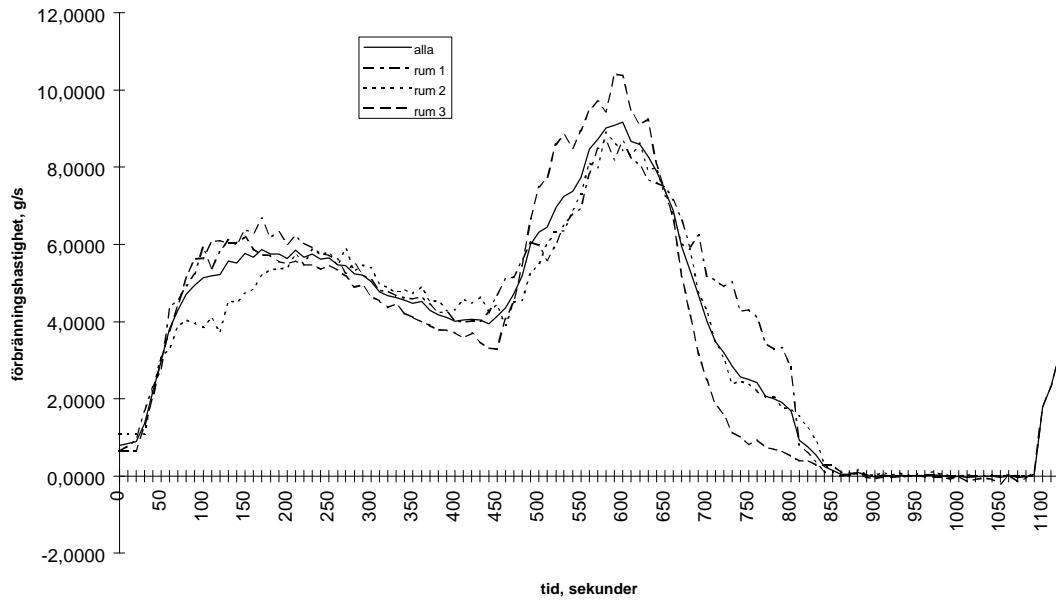


Diagram 81; förbränningshastighet, medelvärden i respektive rum.

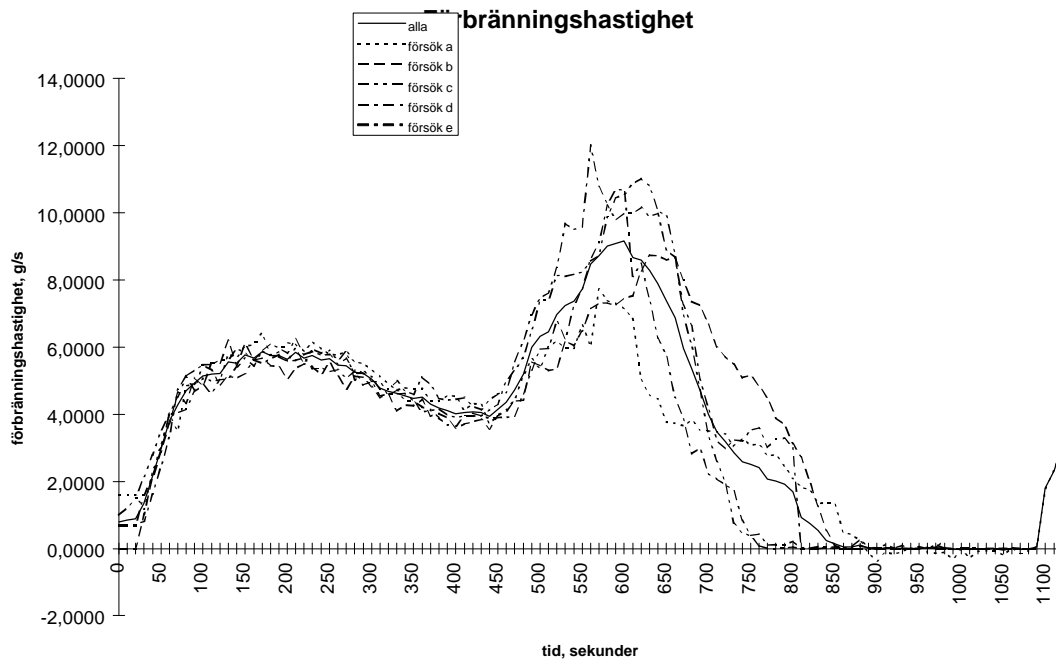


Diagram 82; förbränningshastighet, medelvärden för respektive försökstyp a - e.

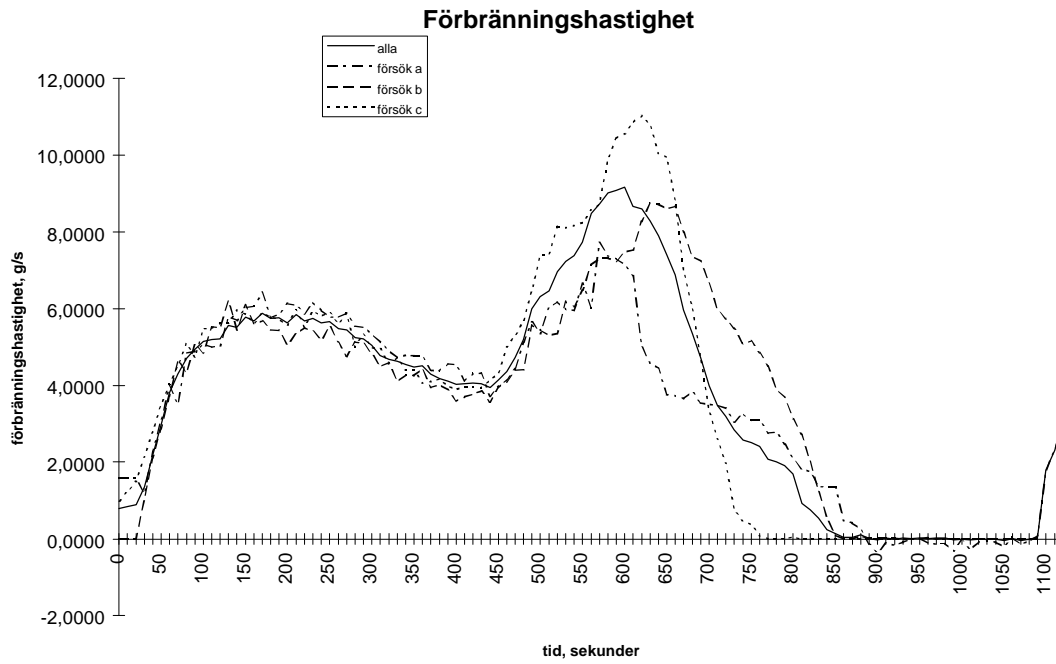


Diagram 83; förbränningshastighet, medelvärden för respektive försökstyp utan fläkt, a - c.

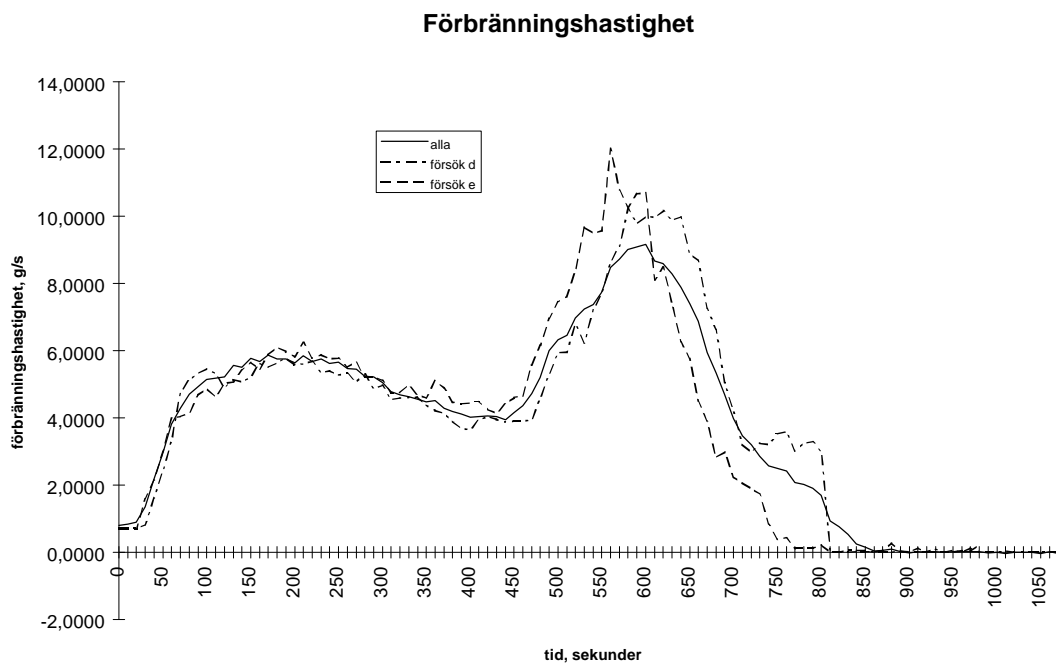


Diagram 84; förbränningshastighet, medelvärden för respektive försökstyp med fläkt, d - e.

Tryck i taknivå av rum 2, medelvärden

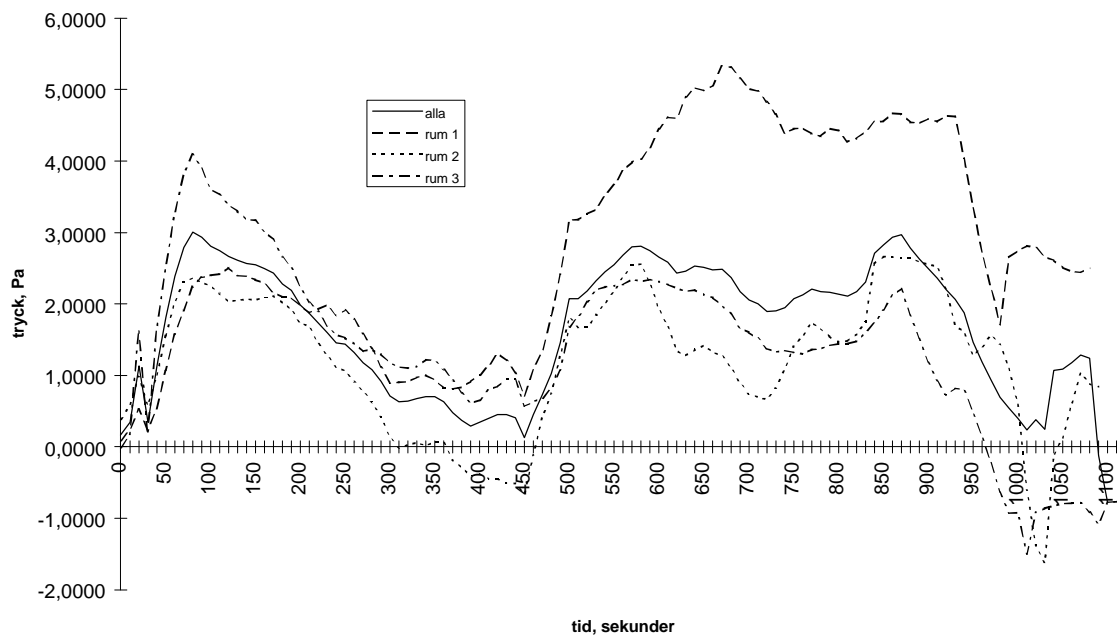


Diagram 85;tryck i taknivå av rum 2, medelvärden, rum 1 - 3.

Tryck i taknivå av rum 2, medelvärden

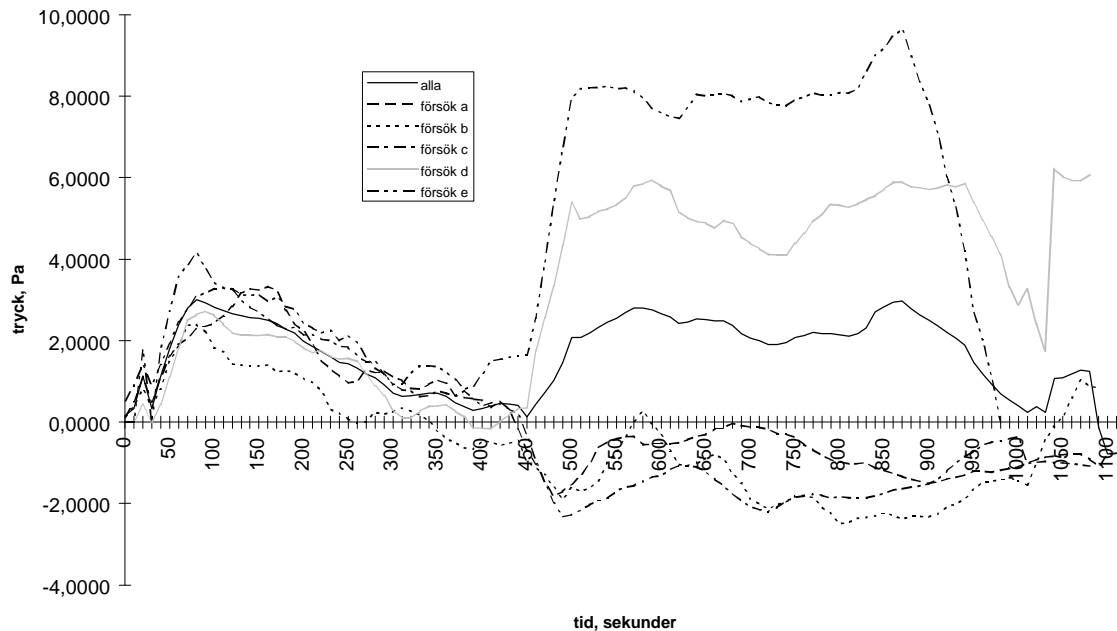


Diagram 86;tryck i taknivå av rum 2, medelvärden, försök a - e.

Bilaga 2, beräkningsformler

I det följande redovisas några enkla samband som används för att beräkna till exempel brandeffekt, tryck, massflöde samt temperatur. Dessa är hämtade ut litteraturen (se litteraturförteckningen i rapporten), men kan enkelt härledas ur grundläggande fysikaliska samband. För förklaring av nomenklatur, se nedan.

Värmeeffekt från poolbrand

Avgiven värmeeffekt för poolbränder ges av

$$\dot{Q} = \Delta h_c \cdot \dot{m}_\infty'' \cdot (1 - e^{-kbD}) \cdot A_p \quad [1]$$

Omräkning från förbränningshastighet till värmeeffekt

Efter förenkling av uttrycket (1) ovan, kan förbränningshastighet (g/s) under försöken omräknas till effekt (kW) enligt

$$\dot{Q} = 44.6 \cdot \dot{m} \quad [\text{kW}] \quad [2]$$

Övertryck i rum

Det övertryck som en konstant brand skapar i ett nästan slutet utrymme ges av

$$\Delta p = \left(\frac{\dot{Q}}{c_p \cdot T_e \cdot A_{\text{öppning}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot r} \quad [\text{Pa}] \quad [3]$$

Tryck i rum på grund av fläkt

Det tryck som övertrycksventilering av rum/lägenheter med hjälp av fläkt ger, kan beräknas ur balansekvationen

$$A_{\text{fläkt}} \cdot r \cdot v_{\text{fläkt}}^2 = A_{\text{luftström}} \cdot r \cdot v_{\text{luftström}}^2 \quad [4]$$

samt ur sambandet

$$\Delta p = \frac{r \cdot v^2}{2} \quad [5]$$

Massflöde genom öppning

Massflödet ut ur en öppning kan beräknas ur

$$\dot{m}_g = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot B \cdot r_g \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{T_g}{T_a} - 1 \right)} \cdot (H - X_n)^{1.5} \quad [6]$$

Massflödet in genom öppningen kan, före övertändning, beräknas ur

$$\dot{m}_a = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot B \cdot r_g \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{T_g}{T_a} \right)} \cdot (X_n - X_d)^{1.5} \cdot \left(X_n + \frac{X_d}{2} \right) \quad [7]$$

Efter övertändning kan massflödet beräknas ur

$$\dot{m}_a = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot B \cdot r_g \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{T_g}{T_a} \right)} \cdot X_n^{1.5} \quad [8]$$

Temperatur i brandrum

Temperaturen i brandrummet/lägenheten kan beräknas med hjälp av följande uttryck,

$$\Delta T = 6.85 \cdot \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_{\text{öppning}} \cdot \sqrt{H_{\text{öppning}}} \cdot h \cdot A_{\text{omslutning}}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [9]$$

$$t < \frac{r \cdot c}{k} \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2; \quad h = \sqrt{\frac{k \cdot r \cdot c}{t}} \quad [10]$$

$$t > \frac{r \cdot c}{k} \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2; \quad h = \frac{k}{d} \quad [11]$$

Temperatur och flöden i brandplym och under tak

Temperatur och hastighet i brandplymen samt under tak kan beräknas ur följande uttryck,

$$\frac{r}{H} \leq 0.18 \quad ; \quad \Delta T = \frac{16.9 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{3}}}{H^{\frac{5}{3}}} \quad [12]$$

$$\frac{r}{H} > 0.18 \quad ; \quad \Delta T = \frac{5.38 \cdot \left(\dot{Q}/r \right)^{\frac{2}{3}}}{H} \quad [13]$$

$$\frac{r}{H} \leq 0.15 \quad ; \quad v = 0.96 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [14]$$

$$\frac{r}{H} > 0.15 \quad ; \quad v = \frac{0.195 \cdot \dot{Q}^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{H}}{r^{\frac{5}{6}}} \quad [15]$$

Nomenklatur

A	area, m^2
A_e	läckagearea,
B	öppningens bredd, m,
C_d	flödeskoefficient,
c	specifik värmekapacitet, J/kgK,
c_p	specifik värmekapacitet vid konstant tryck (för luft = 1.00 kJ/kgK),
d	tjocklek på omslutande material, m,
H	höjd, m,
h	värmeövergångstal, W/m^2K ,
Δh_c	förbränningsvärme, J/kg, (för heptan = 44.6 MJ/kg),
g	gravitationskonstant, $9.81 m/s^2$,
k	värmegenomgångskoefficient, W/mK ,
\dot{m}	massförlust, kg/s,
\dot{m}''_{∞}	massförlust vid oändlig pooldiameter (för heptan = $0.101 kg/m^2s$),
ρ	densitet, kg/m^3 ,
\dot{Q}	värmeeffekt, W eller J/s,
r	radie, radiellt avstånd, m,
T	temperatur, K,
X_d	brandgaslagrets höjd över golvnivå,
X_n	neutrallagrets höjd över golvnivå,
v	hastighet på luftström, m/s,
$1 - e^{-k\beta D}$	omräkningsfaktor för viss pooldiameter ($k\beta$ ur tabell, heptan = $1.1 m^{-1}$).