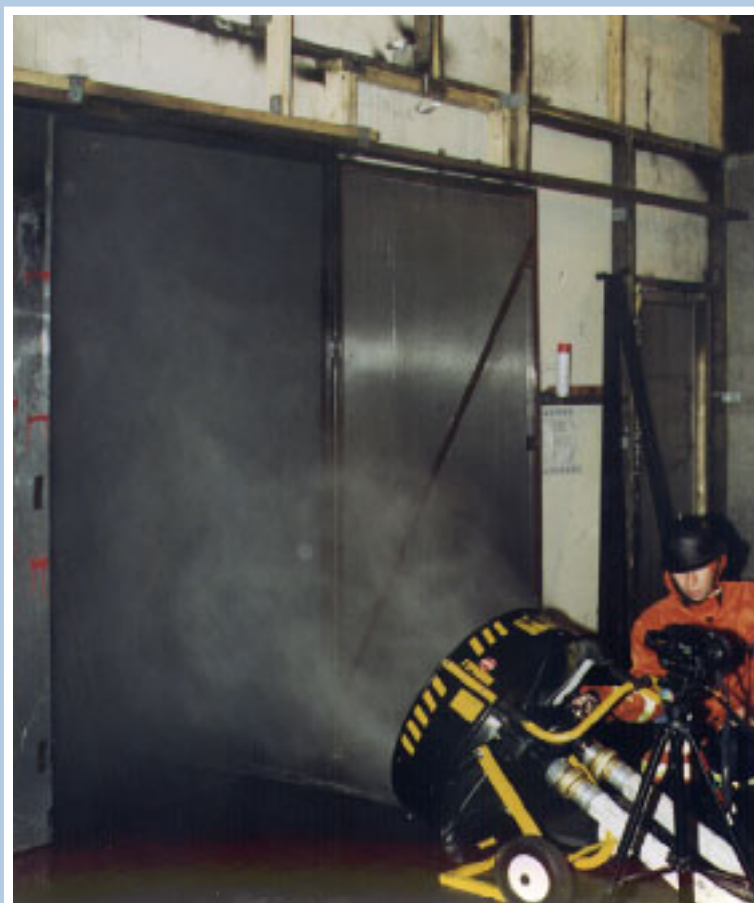


Haukur Ingason (SP)
Ronny Fallberg (SÄRF)

Övertrycksventilation i medelstora lokaler

Försök med mobila fläktar



Haukur Ingason (SP)
Ronny Fallberg (SÄRF)

Övertrycksventilation i medelstora lokaler

Försök med mobila fläktar

Abstract

Experiments were carried out in a large compartment using Positive Pressure Ventilation (PPV). The PPV is used by the fire brigade as a supplementary equipment when fighting ordinary compartment fires. The increased use of PPV has opened the possibility to use it in medium sized compartments like schoolrooms, atrium or sportshalls. The efficiency of PPV in medium sized compartments is, however, not very well known by the fire brigades. In present report test results with different type of fans and fan arrangement and different compartment sizes are presented. No fire was present in the compartment. The distance from the door opening and different ratios of exhaust to inlet areas were varied. Two different compartments were used; 10 x 16 m and 5 m high and 10 x 10 m by 4.2 m high. The volume flow rate, static pressure and gas temperatures were measured. A theoretical model was developed. The model calculate the pressure, the volume flow rate and the smoke visibility inside the compartment for different geometrical parameters such as the area ratio of exhaust to inlet opening and the volume of the compartment.

Key words: Positive Pressure Ventilation, PPV, fan, fire brigade, static pressure, volume flow rate, visibility

**Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 1998:41
ISBN 91-7848-747-1
ISSN 0284-5172
Borås 1998

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 1998:41

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone + 46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax + 46 33 13 55 02

	Sida
Abstract	2
Innehållsförteckning Sida	3
Sammanfattning	4
Förord	6
1 Inledning	7
2 Bakgrund	8
3 Genomförande	9
4 Resultat	12
4.1 Mätning av ljudnivå	12
4.2 Mätning av tryck och volymflöde genom lokal	12
5 Analys av data	17
5.1 Volymflöde i frånluftsöppning	17
5.2 Statiskt tryck	19
5.3 Serie- och parallell kopplade fläktar	21
5.4 Luftomsättning	22
6 Slutsatser	24
Bilaga - Teoretisk beräkningsmodell	A1

Sammanfattning

Målsättningen med försöken var att undersöka möjligheterna för räddningstjänsten att använda mobila fläktar vid en offensiv släckningsinsats i medelstora lokaler. Olika fläktars effektivitet provades därför i två olika stora lokaler. Det har gjorts genom att mäta tryck och volymflöde i lokalerna. Tre olika typer av mobila insatsfläktar användes.

Försöken visar att mobila fläktar förbättrar arbetsmiljön för rökdykare i medelstora lokaler. Både sikten i brandgaserna och gas temperaturen påverkas avsevärt. Det är vår bedömning att det är fullt möjligt att använda mobila fläktar i medelstora lokaler typ mindre verkstadslokaler, idrottshallar eller affärscentra. Det är dock uppenbart att det tar olika lång tid att vädra bort brandgaserna i en liten lägenhet jämfört med en medelstor lokal. Beräkningar visar att det tar mindre än 6 minuter att ventileras bort brandgaserna i en lokal som är 1000 m³ med en fläkt som ger 10 m³/s (36 000 m³/h) genom frånluftsöppningen, medan det tar mindre än en halv minut i en lägenhet som är 100 m³. För att korta ner tiden kan man öka volymflödet genom att parallell köra två fläktar. Detta är dock inte alltid möjligt eftersom det kräver att tilluftsöppningen är tillräcklig stor. Om man kan dubblera flödet med två parallella fläktar så halveras tiden tills lokalen blir rökfri. Luftomsättningen, dvs förhållandet mellan volymflödet genom byggnaden och brandrummets volym (volymflöde/volym), ger ett mycket bra mått på hur fort röken vädras bort och hur fort gastemperaturen sänks.

Försöken visar att det är ett antal faktorer som påverkar volymflödet genom frånluftsöppningen. Det är först och främst typen av fläkt, dvs primärflödet och fläktbladens diameter, byggnadens hydrauliska motstånd samt storlek på till- och frånluftsöppningar. Mindre betydelsefulla faktorer är avstånd från dörröppning, brandens storlek vid start av fläkt samt yttre vindförhållanden. Volymflödet i frånluftsöppningen för en och samma fläkt bestäms först och främst av storleken och storleksförhållanden mellan tillufts- och frånluftsöppningarna samt antalet inreddor eller hål i bjälklag.

Det volymflöde som mättes i frånluftsöppningen skiljer avsevärt från det flöde som anges som primärflöde för de provade fläktarna. Primärflödet definieras som det flöde som fläkten drar igenom oberoende på vilken byggnad som står framför fläkten. Sekundärflödet, dvs injikerad luft i luftkonen framför dörröppning, varierar också jämfört med angivna värden i broschyrer. Angivna primär- och sekundärflöden kan därför ge en felaktig uppfattning om det verkliga flödet som passerar genom byggnaden. För att erhålla mer användnings relaterade värden på volymflödena föreslår vi att man utvecklar en provningsmetod som ger mer representativa värden för de olika fläktarna. Det kan göras genom att fläktarna provas mot en lokal som anses vara representativ för de byggnader där fläktarna används mest.

Försöken visar att takhöjden och bredden i lokalen har stor betydelse för generering av stora virvlar i rummet. Tre meter lång korridor placerad direkt framför porten tenderade att minska virvlarnas intensitet inne i brandrummet. Det visar sig också att större frånluftsöppning tenderar att minska turbulensen inne i försöksrummet. Virvlarnas storlek och intensitet är viktiga för rökdykarnas säkerhet och arbetsmiljö.

Det är svårt att ange något optimalt avstånd mellan dörröppning och fläkt. Försöken visar att inom 1-3 m från dörröppningen varierar flödet genom byggnaden relativt lite. Ställer man fläkten närmare en 1 m och samtidigt sänker höjden på tilluftsöppningen för att luftkonen skall kunna täcka in dörröppningen, så kommer trycket inne i byggnaden att öka. Detta gäller speciellt när man kör mot en stängd frånluftsöppning. Försöken visar att optimalt förhållande (kvoten) mellan från- och tilluftsarea bör åtminstone ligga mellan 1.5 - 2. Detta värde är dock lite beroende på det hydrauliska luftmotståndet i byggnaden. Högre hydrauliskt motstånd (fler inredningar, fler hål i bjälklag, trapphus osv) innebär att kvoten bör vara åtminstone 2 för att uppnå hög effektivitet.

Försöken visade ingen fördel med att seriekoppla fläktar. Varken trycket eller volymflödet i frånluftsöppningen höjdes. Däremot är det en stor fördel att parallell koppla fläktar. Luftomsättningen dubblas nästan och trycket höjs betydligt. Det kräver dock att man får dubbla öppningsareorna vilket inte alltid är praktiskt genomförbart.

Förord

Tekniken med övertrycksventilation (PPV) är relativt ny i Sverige. Södra Älvsborgs Räddningsförbund (SÄRF) har i dag mycket stor erfarenhet av denna teknik för vanliga villa- och lägenhetsbränder. De har använt den vid över 200 insatser mot villa- och lägenhetsbränder. Räddningstjänsten har också genomfört ett antal fältförsök i fastigheter som skall rivas. I november 1997 genomfördes t.ex. sex demonstrationsförsök i en rivningsfastighet i Svaneholm söder om Borås. Syftet med försöken var att skaffa underlag för att bygga upp standardrutiner för insatser med fläktar. Dessa försök väckte en hel del frågeställningar som behövde besvaras. En viktig sådan var den upptäckt att volymflödet i frånluftsöppningen var betydligt lägre än fläktens angivna primärflöde.

Eftersom det finns stort intresse att undersöka möjligheterna att använda tekniken vid insatser i medelstora lokaler har SP och Räddningstjänsten i Borås inlett ett samarbete kring detta. Resultatet visas i denna rapport som beskriver ett antal "kalla" försök (försök utan brand) som genomfördes vid SP i februari och i september 1998. Projektet har finansierats av Räddningsverket (SRV) och Rådet för Arbetslivsforskning (RALF). Vi vill rikta ett stort tack till de som har försett oss med de fläktar som användes i projektet.

1 Inledning

Övertrycksventilation används först och främst för att förbättra arbetsmiljön hos rökdykare vid släcknings- och livräddningsinsatser. Eftersom erfarenheten visar att tekniken fungerar bra för mindre lokaler (lägenheter och villor) ansågs det viktigt att undersöka möjligheterna för att använda tekniken i medelstora lokaler. Med medelstora lokaler menas mindre industri- och verkstadslokaler (<1000 m²), kontors- och föreläsningsslokaler, teatrar, affärscentra eller idrottsanläggningar.

Problemet med medelstora lokaler är att man inte har tillräcklig kunskap kring nödvändig flätkapacitet i förhållande till rumsvolym. Erfarenheten visar dock att i vanliga lägenhets- och villabränder har fläktarna en viss överkapacitet. Fläktarna skapar relativt enkelt och snabbt det tryck som krävs för att effektivt vädra bort de varma brandgaserna. I medelstora lokaler kan det däremot bli ett problem eftersom det finns risk för att flätkapaciteten är underdimensionerad. Eftersom räddningstjänsten strävar efter att använda mobila fläktar är frågan, hur många fläktar som krävs för att uppnå samma effektivitet som i mindre lägenheter. Hur skall fläktarna placeras i förhållande till varandra, hur skall de placeras i förhållande till byggnaden respektive hur många krävs för att uppnå tillräcklig flätkapacitet? Om man använder för liten flätkapacitet finns en viss risk för att man rör om i brandgaserna utan att röken vädras effektivt ut ur byggnaden. Resultatet blir konstiga strömningsfenomen och risken är att man syresätter branden och förvärrar situationen. Därför är det nödvändigt att undersöka var gränserna för tekniken går.

Det finns också stort behov av att arbeta fram taktiska råd när det gäller användning av övertrycksventilationen, både för mindre och stora lokaler. Tekniken med mobila fläktar är viktig arbetsmiljöfråga för rökdykare eftersom den kan påverkas mycket med denna teknik. Praktiska råd som räddningstjänsterna i Sverige kan utnyttja när de skall avgöra lämplig taktik vid släckning av bränder i medelstora lokaler finns inte. Det är inte alltid självklart vilken lösning som ger bäst resultat. Därför är det viktigt att projektet leder till sådana anvisningar och råd. Felaktig användning kan leda till att brandsituationen förvärras.

Rapporten beskriver försök som genomfördes i lokaler som byggdes i SP's brandhall. Försöken kördes utan någon brand för att ta reda på vilka volymflöden och tryck olika fläkttypen kunde åstadkomma i medelstora lokaler.

2 Bakgrund

Övertrycksventilation eller Positive Pressure Ventilation (PPV) är, om den används på ett korrekt sätt, en mycket effektiv metod för att ventilera ut rök och värme från ett brinnande rum. Räddningstjänster i Sverige har börjat intressera sig för denna teknik eftersom de inser möjligheterna till att avsevärt förbättra sin arbetsmiljö.

Tekniken går ut på att placera mobila fläktar vid öppningar för att vädra bort farliga brandgaser genom utvalda frånluftsöppningar. Fläktarna kan startas efter att branden är släckt eller i samband med släckningsinsatsen. Om fläktarna kan startas före eller i samband med släckningsinsatsen kan branden lokaliseras och bekämpas snabbare och man blir av med hettan fortare. Detta leder till att den fortsatta brandspridningen dämpas och rökdykarna kan snabbt börja sin livräddning. Arbetsmiljön förbättras avsevärt eftersom temperaturerna sjunker och sikten blir betydligt bättre. Utrymmande personer har också större möjlighet att klara sig undan giftiga brandgaser och rökdykarna kommer att hitta dem betydligt tidigare än annars. Dessutom har räddningstjänsten större möjligheter att kontrollera rökens utbredning jämfört med om man skall förlita sig på naturlig ventilation i form av håltagning i tak eller genom att öppna fastmonterade brandluckor i tak. Erfarenheten visar att det tar längre tid innan sådan ventilation börjar fungera på ett tillfredställande sätt. Det finns ett generellt problem med ventilation. Detta gäller både naturlig och mekanisk ventilation. Branden kan, speciellt om man har en underventilerad brand, intensifieras när ventileringen börjar. Eftersom det alltid finns risk att stora mängder varma brandgaser samlas är det viktigt att gå fram med försiktighet. Räddningstjänsten har dock större möjlighet att kontrollera ventilationen med mobila fläktar jämfört med om man skall förlita sig enbart på naturlig ventilation i form av håltagning i tak som kan vara mycket riskfyllt eller genom att öppna fastmonterade brandluckor i tak. Kombinerad med t ex sprängningar och övertrycksventilation kan tekniken utnyttjas mycket effektivt.

Fördelarna med tekniken ur arbetsmiljösynpunkt är mycket stora. Räddningstjänsten i Borås har under några år använt mobila fläktar som en del i den taktiska och släcktekniska insatsen. Mobila fläktar betraktas inte som något vid sidan om det traditionella släckningsarbetet utan ett komplement till det. I kombination med rökdykning, strålrörsteknik (kylning av brandgastemperaturer) och taktisk brandventilation (vanlig ventilation kombinerad med övertrycksventilation) kan man uppnå en maximal effekt med hänsyn till arbetsmiljön. Den rökdykar- och släckningstaktik som svenska brandförsvaret använder är delvis annorlunda än hos andra utländska brandförsvaret. Svenska rökdykare tränar och arbetar betydligt mer i varma brandgaser, vilket gör övertrycksventilation, som sänker brandgastemperaturerna, till ett mycket bra komplement till normalt använd utrustning och taktik.

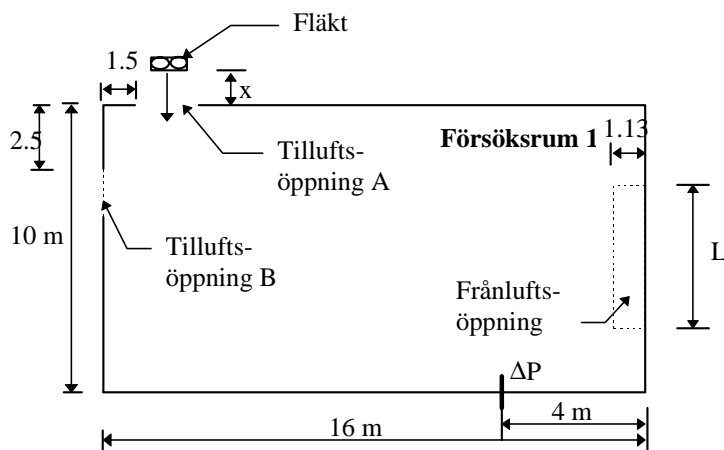
3 Genomförande

Försöken genomfördes i två olika försöksrum. Första provserien genomfördes i ett rum som vi kallar för **Försöksrum 1** och som hade måtten 10 x 16 m och 5 m högt (800 m³). Den andra försöksserien genomfördes i ett rum som vi kallar för **Försöksrum 2** och som hade måtten 10 x 10 m och 4.2 m högt (420 m³). Sex olika parametrar varierades i försöken:

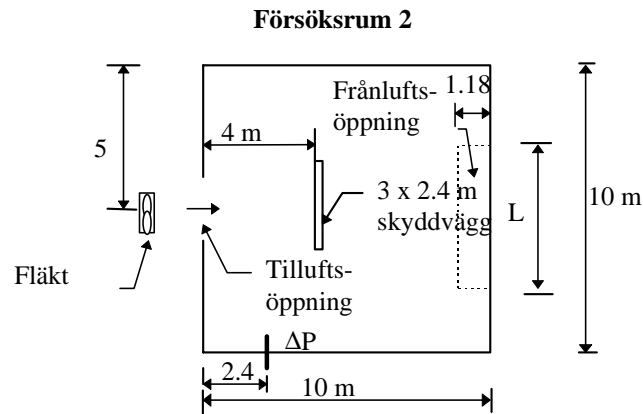
- frånlufts- och tilluftsarean,
- avståndet mellan fläkt och dörröppning,
- typ av fläkt,
- fläktarrangemang (enskild fläkt, parallella, seriekopplade),
- storlek på byggnad

Med "enskild fläkt" menas en fläkt som står framför dörröppningen (tilluftsöppningen) och skapar en luftkon som täcker in hela dörröppningen. Med "parallella" fläktar menas två fläktar som står bredvid varandra och som täcker in dubbelt så stor dörröppning. Med "seriekopplade" menas två fläktar som står på rad framför dörröppningen. Den bakre fläkten täcker in dörröppningen med luftkonen och den främre "skjuter in" luft via dörröppningen.

I figur 1 visas planbild från Försöksrum 1. En fläkt placerades utanför en port som vi kallar här för tilluftsöppning A. Tilluftsöppning A var 1,43 m bred och 2,52 m hög och tilluftsöppning B var 0,9 m bred och 2,04 m hög. Frånluftsöppningens längd, L, varierade beroende på försök. Frånluftsöppningens bredd i Försöksrum 1 var 1,13 m och 1,18 m i Försöksrum 2. Tilluftsöppningen i Försöksrum 2 hade tre olika storlekar. När enskild fläkt kördes så var den 1,43 m bred och 2,52 m hög. När parallella fläktar kördes så var den 2,88 m bred och 2,52 m hög respektive 2,88 m bred och 2 m hög beroende på fläktkombinationen.



Figur 1 Första försöksserien genomfördes i en lokal som var 16 m lång, 10 m bred och 5 m hög. Fläkten placerades utanför tilluftsöppning A i flesta av försöken. I ett fåtal försök placerades fläkten utanför tilluftsöppning B.



Figur 2 Andra försöksserien genomfördes i en lokal som var 10 m lång, 10 m bred och 4.2 m hög.



Figur 3 En vattenturbinfläkt placeras vid tilluftsöppningen i **Försöksrum 2**. En injekterad vattenstråle visar tydligt hur luftkonen täcker in tilluftsöppningen.

Väggarna var gjorda av 10 mm tjocka Promatect silica skivor. Väggar gjordes av moduler som var 3 m långa och 1.2 m höga. Skarvarna mellan modulerna var tätade med isolering. Takkonstruktionen bestod av 10 mm tjocka Promatect silica skivor monterade i ett rutnät av T-stålprofiler där varje ruta mätte 1.22 m x 0.63 m.

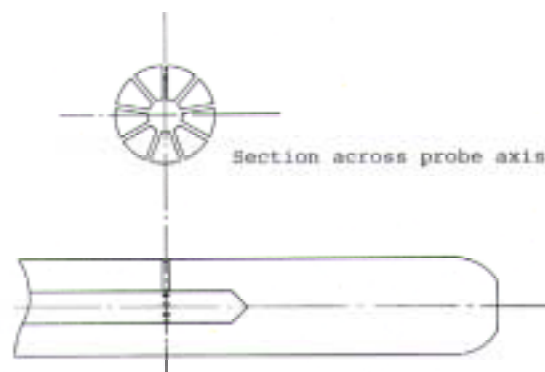
Tre olika fläktar användes i försöken:

- Fläkt A var en bensindriven 5.5 HP med en diameter på fläktbladen på 0.46 m (18"). Enligt tillverkarens broschyr har fläkten ett primärflöde på $3.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ($12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$). Injekterad luft i luftkonen mellan fläkt och dörröppning, sekundär luft, är enligt tillverkarens broschyr $6.66 \text{ m}^3/\text{s}$ ($24\,000 \text{ m}^3/\text{h}$). Totalt blir angiven flödeskapacitet då $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($6.66 + 3.33 \text{ m}^3/\text{s}$) ($36\,000 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Fläkt B var en bensindriven 5.5 HP med en diameter på fläktbladen på 0.61 m (24"). Enligt tillverkarens broschyr har fläkten ett primärflöde på $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($17\,162 \text{ m}^3/\text{h}$). Injekterad luft är inte angivet av tillverkaren.
- Fläkt C är en vattenturbinfläkt med en diameter på fläktbladen på 0.89 m (35"). Enligt tillverkarens broschyr har fläkten ett primärflöde på $12.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ($45\,720 \text{ m}^3/\text{h}$) vid 12 bar vattentryck (uppskattat från diagram). Injekterad luft är inte angivet av tillverkaren.

Instrumentering

Volymflödet i frånluftsöppningen mättes genom att placera hastighetsprober av typ "bi-directional" på tre olika ställen i frånluftsöppningens centrumlinje. Termotråd av typ K med tråddiameter på 0.25 mm användes för att mäta temperaturer i frånluftsöppningen.

Ett viktigt mätinstrument som användes var statiskt tryckgivare som mätte tryckdifferensen mellan atmosfärtrycket och trycket inne i lokalen. Tryckgivaren (ΔP), som visas i Figur 4, placerades 0.65 m från taket och 4 m från gaveln i Försöksrum 1 (se Figur 1) och 0.15 m från taket och 2.4 m från ena väggen i Försöksrum 2 (se figur 2). Att mäta det statiska trycket i en turbulent miljö är oftast besvärligt på grund av de strömningar som omger givaren. Risken finns att man även delvis mäter det dynamiska trycket (hastighetstrycket). Detta kan lösas genom att använda en speciellt konstruerad givare som SP har tagit fram för att mäta i brandugnar där miljön är relativt turbulent. [se Olsson, S., Probe for Static Pressure Measurements in Furnaces, NT-project 356-82, SP Report 1985:12].



Figur 4 Schematisk bild över statisk tryckmätare i turbulent miljö.

Olika varvtal användes i försöken. De mättes med en bärbar varvtalsmätare av typ SHIMPO EE-1. Tre olika gånghastigheter på fläkten användes; full fart, halvfart och tomgång. För de bensindrivna fläktarna så uppskattades halvfarten genom att ställa bensinhandtaget mitt emellan full fart och tomgång. Ljudnivån strax intill fläktarna uppmättes med bärbar ljudmätare vid tre olika varvtal.

4 Resultat

I följande kapitel redovisas mätresultat från mätningar av ljudnivån från fläktarna samt tryck och volymflöden i de olika försöksrummen. En analys av uppmätta tryck och volymflöden presenteras i kapitel 5.

4.1 Mätning av ljudnivå

Mobila fläktar har en ljudnivå som kan försvåra kommunikationen mellan rökdykare. För att kunna jämföra de olika fläktarna så mättes ljudnivån i öronhöjd. I Tabell 1 visas resultaten från mätningarna. Ljudnivån mättes med en bärbar ljudnivå mätare i öronhöjd (1.7-1.8 m från marken) och ca 1 m från fläkten. Ljudnivån mättes vid tre olika varvtal.

Tabell 1. Mätning av ljudnivå från tre olika fläkttypen vid tre olika varvtal.

Fläkt	Gång	Varvtal (RPM)	Ljudnivå (dB)
Fläkt A	tomgång	1600	78
”	uppskattad halv fart	2600	89
”	full fart	3600	98
Fläkt B	tomgång	810	78
”	uppskattad halv fart	1550	87
”	full fart	2300	98
Fläkt C	uppskattad tomgång	-	70
”	halvfart (6 bar)	1066	92
”	full fart (12 bar)	1590	100
Fläkt A+ Fläkt B (seriekopplade)	full fart på bägge	-	104

4.2 Mätning av tryck och volymflöde genom lokal

Enligt vedertaget sätt så ska fläkten placeras vid tilluftsöppningen så att man täcker in den med luftkonen från fläkten. På så sätt omvandlar man det dynamiska tryck som utövas mot tilluftsöppningen till ett statiskt övertryck inne i byggnaden. Eftersom fläkten inte står alldeles intill byggnadens öppning får man också en ejektorverkan som gör att luftkonen drar med luft in i byggnaden. Hur mycket mer luft man får in beror på olika faktorer t.ex. frånlufts- och tilluftsöppningarnas storlek och avståndet från tilluftsöppningen. Tumregeln säger att fläkten ska stå lika långt ifrån tilluftsöppningen som den är hög eller bred för att få bästa effekt. Det innebär att om dörren är två gånger en meter skall fläkten stå på cirka två meters avstånd ifrån dörren. För att undersöka inverkan av avståndet mellan fläkt och tilluftsöppning samt storleksförhållandet mellan tillufts- och frånluftsarea genomfördes ett antal mätningar i de två försökslokaler som användes.

I Tabell 2 visas resultaten från mätning av volymflöde och tryck i Försöksrum 1 som var 800 m³ (golvarea 160 m²). Totalt genomfördes 30 ”kalla” försök. Syftet med försöken var att hitta ett optimalt avstånd mellan fläkten och tilluftsöppning A som var 1.43 m bred och 2.52 m hög. Det gjordes genom att variera avståndet och samtidigt mäta det statiska trycket inne i testrummet och volymflödet genom frånluftsöppningen. Högst volymflöde gav det sökta avståndet. Varje försök kördes i 4 minuter och i Tabell 2 anges medelvärden från försöken.

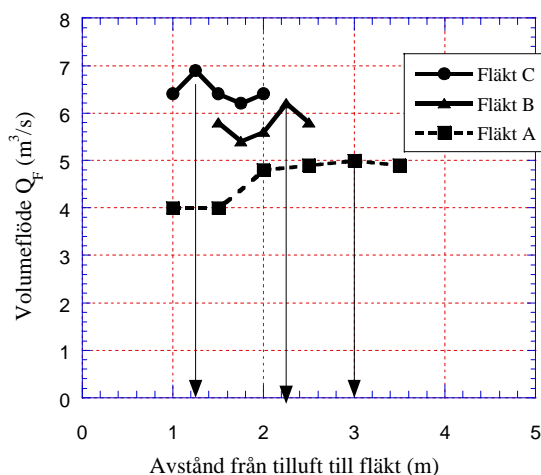
I figur 5 visas uppmätta volymflöde vid olika avstånd. I Försöksrum 1 när fläktarna var uppställda mot tilluftsöppning A. Volymflödet, Q_F , har beräknats enligt ekvation (1) i bilaga

där data från tabell 1 har använts. Som synes i figur 5 så är kurvorna relativt flacka vilket innebär att placeringen av fläktarna inte är så känsligt inom ett område på 1 - 3 m från tilluftsöppningen. Det högsta volymflödet uppnåddes på följande avstånd:

Fläkt A = 3 m

Fläkt B = 2.25 m

Fläkt C = 1.25 m



Figur 5 Uppmätta volymflöden i frånluftsöppningen enligt tabell 2. Tilluftsöppningen var 1.43 m bred och 2.52 m hög.

I tabell 3 visas resultaten från kallförsöken i Försöksrum 2 som var 420 m³ med en golvarea på 100 m². Andra storheter angivna i tabell 2 och 3 är:

x = avstånd mellan tilluftsöppning och fläkt

A_F = area på frånluftsöppning

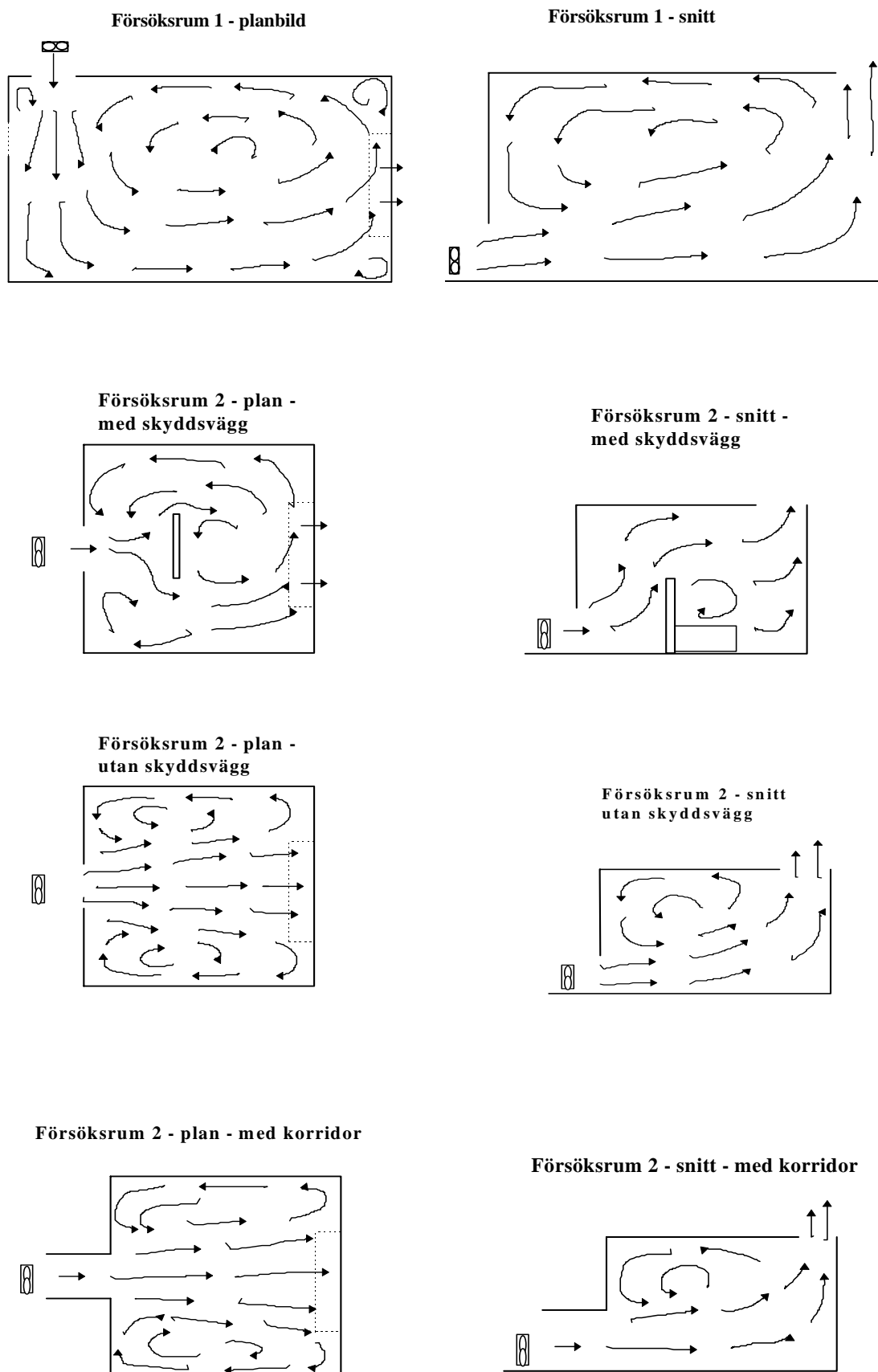
A_T = area på tilluftsöppning

ΔP = statiskt övertryck

U_F = centrisk hastighet i öppning

Q_F = beräknat volymflöde (se bilaga)

I figur 6 visas principskisser över strömningarna i de olika försöksrummen och i figur 7 visas hur man uppskattade strömningarna genom att fästa en lång plaststrimla på ett skaft. I flesta fall så bildas stora virvlar som man måste beakta vid rökdykningen. Takhöjden och bredden i lokalen har stor betydelse för hur dessa virvlar genereras. Nollplanet kommer med största sannolikhet att förstöras när fläkten startas. När en tre meter lång korridor placerades direkt framför porten så såg vi en tendens att turbulensen minskade inne i brandrummet. Det visade sig också att större frånluftsöppningen tenderar att minska turbulensen inne i försöksrummet.



Figur 6 Principskiss över strömningarna i de olika försöksrummen.

Tabell 2 Experimentella data med en fläkt i Försöksrum 1 (800 m³). Rumstemperatur var 15 °C.

Typ av fläkt	Tilluft	X (m)	varvtal (RPM)	A _F (m ²)	A _T (m ²)	A _F /A _T	ΔP (Pa)	U _F (m/s)	Q _F (m ³ /s)
Fläkt A D ₀ =0,48 m	A	1,00	3600 ⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	3,5	1,93	4,0
	A	1,50	3600	3,39	3,6	0,94	3,4	1,93	4,0
	A	2,00	3600	3,39	3,6	0,94	4,4	2,32	4,8
	A	2,50	3600	3,39	3,6	0,94	6,1	2,37	4,9
	A	3,00	3600	3,39	3,6	0,94	4,6	2,42	<u>5,0</u>
	A	3,50	3600	3,39	3,6	0,94	6,7	2,37	4,9
	A	3,00	3600	2,08	3,6	0,58	3,6	2,05	2,6
	A	3,00	3600	1,30	3,6	0,36	7,8	2,78	2,2
	B	2,42	3600	1,72	1,84	0,94	4,2	2,2	2,3
	A	3,00	2600 ⁱⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	1,9	1,45	3,0
	A	3,00	1555 ⁱⁱⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	0,9	0,87	1,8
Fläkt B D ₀ =0,61 m	A	1,5	2300 ⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	6,0	2,80	5,8
	A	1,75	2300	3,39	3,6	0,94	5,5	2,61	5,4
	A	2,00	2300	3,39	3,6	0,94	NA	2,71	5,6
	A	2,25	2300	3,39	3,6	0,94	8,0	3,0	<u>6,2</u>
	A	2,50	2300	3,39	3,6	0,94	7,4	2,80	5,8
	A	2,25	2300	2,08	3,6	0,58	7,2	3,00	3,8
	A	2,25	2300	1,30	3,6	0,36	9,9	3,15	2,5
	B	1,82	2300	1,72	1,84	0,94	9,0	3,15	3,3
	A	2,25	1550 ⁱⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	2,8	1,89	3,9
	A	2,25	810 ⁱⁱⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	1,0	0,92	1,9
Fläkt C D ₀ =0,89 m	A	1,00	1600 ^{*)}	3,39	3,6	0,94	6,7	3,09	6,4
	A	1,25	1600	3,39	3,6	0,94	8,1	3,34	<u>6,9</u>
	A	1,50	1600	3,39	3,6	0,94	7,0	3,09	6,4
	A	1,75	1600	3,39	3,6	0,94	6,4	3,00	6,2
	A	2,00	1600	3,39	3,6	0,94	7,2	3,09	6,4
	A	1,25	1070 ⁱⁱ⁾	3,39	3,6	0,94	4,2	2,32	4,8
	A	1,25	1600	2,08	3,6	0,58	12,6	3,63	4,6
	A	1,25	1600	1,30	3,6	0,36	17,1	4,04	3,2
	B	1,00	1600	1,72	1,84	0,94	9,0	3,25	3,4

i) full fart ii) halv fart iii) tomgång

* av någon anledning uppnådde den inte riktigt fullt varvtal som är 1850 rpm

Tabell 3 Experimentella data med en fläkt i Försöksrum 2 (420 m³). Rumstemperatur var 20 °C.

Fläkt	X (m)	Rotation speed (RPM)	A _F (m ²)	A _T (m ²)	A _F /A _T	ΔP (Pa)	U _F (m/s)	Q _F (m ³ /s)
Fläkt B D ₀ =0,61 m	2,25	2300 ⁱ⁾	3,54	3,60	0,98	7,85	3,43	7,41
	2,25	2300	4,96	3,60	1,38	4,93	2,54	7,69
	2,25	2300	7,08	3,60	1,97	2,94	1,93	8,34
	2,25	2300	11,33	3,60	3,15	1,33	1,27	8,78
Fläkt C D ₀ =0,89 m	1,25	1850 ⁱ⁾	3,54	3,60	0,98	13,82	3,78	8,16
	1,25	1850	4,96	3,60	1,38	8,85	3,37	10,20
	1,25	1850	7,08	3,60	1,97	6,80	2,72	11,75
	1,25	1850	11,33	3,60	3,15	3,06	1,87	12,92

i) full fart

Tabell 4 Mätresultat för serie- och parallell kopplade fläktar i Försöksrum 2 (420 m³).
Fläktarna kördes vid full varvtal i samtliga fall. Försöksrum 2. Rumstemperatur var 18 °C.

Fläkt	Arrange- mang	X (Fläkt:m)	BxH (mxm)	A _F (m ²)	A _T (m ²)	A _F /A _T	ΔP (Pa)	U _F (m/s)	Q _F (m ³ /s)
B + C	serie	B:0 , C:1,25	1,43x2,52	4,96	3,6	1,38	11,9	3,33	10,1
B + C	serie	B:0 , C:1,25	1,43x2,52	7,08	3,6	1,97	7,2	2,80	12,1
B + C	serie	B:0 , C:1,25	1,43x2,52	11,33	3,6	3,15	2,4	1,81	12,5
B + C	parallell	B:2,25, C:1,25	2,88x2,52	8,97	7,26	1,56	8,7	2,99	16,4
B + C	parallell	B:2,25, C:1,25	2,88x2,52	11,33	7,26	1,23	6,3	2,65	18,3
C + C	serie	C:1,25 , C:1,25	2,88x2,0	6,14	5,76	1,07	8,7	2,49	9,3
C + C	serie	C:1,25 , C:1,25	2,88x2,0	8,97	5,76	1,56	5,0	1,90	10,4
C + C	serie	C:1,25 , C:1,25	2,88x2,0	11,33	5,76	1,97	3,2	1,74	12,0
C + C	parallell	C:1,0 , C:2,3	2,88x2,0	6,14	5,76	1,07	17,9	4,28	16,0
C + C	parallell	C:1,0 , C:2,3	2,88x2,0	8,97	5,76	1,56	9,1	3,31	18,1
C + C	parallell	C:1,0 , C:2,3	2,88x2,0	11,33	5,76	1,97	5,5	2,87	19,8



Figur 7 Luftströmmarna i rummet dokumenterades under försöken

5 Analys av data

För att bättre åskådliggöra experimentella data kan man göra teoretiska beräkningsmodeller som beskriver hur olika parametrar påverkar resultaten. Därefter kan de teoretiska resultaten jämföras med de experimentella resultaten. I bilaga finns en sammanställning av de teoretiska modeller och ekvationer som har utvecklats. Modellerna har använts för att beräkna volymflödet och trycket för olika kvoter mellan från- och tilluftsarean samt hur fort röken vädras ut beroende på lokalens storlek och även volymflöde har beräknats.

5.1 Volymflöde i frånluftsöppning

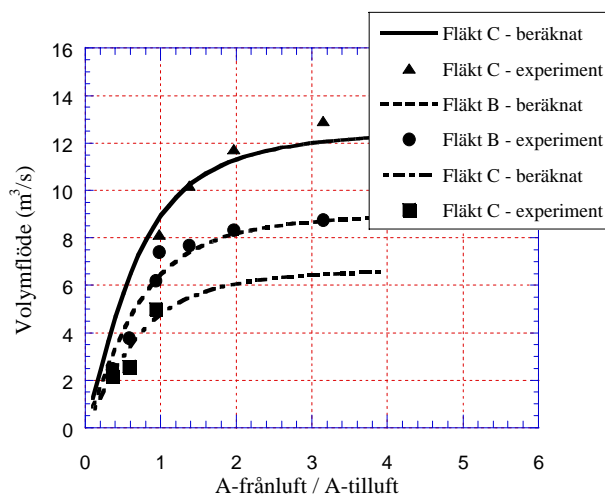
I figur 8 visas jämförelse mellan experimentella data och teoretiska beräkningar för volymflödet i frånluftsöppningen. Experimentella data är hämtade från tabell 2 och 3 och beräkningarna är gjorda med hjälp av ekvation (7) i bilaga. För att uppnå överenskommelse med experimentella data behövdes en justering av primärflödet, Q_p , för två av fläktarna. I tabell 5 visas två olika värden för primärflödet. Q_p -broschyr är det angivna värdet från tillverkarnas broschyrer och Q_p -justerad är det värde som användes i de teoretiska beräkningarna:

Tabell 5 Justering av primärflöde, Q_p

Fläkt	Q_p - broschyr (m^3/s)	Q_p - justerad (m^3/s)	Ändring
A	3,33	3,33	ingen ändring
B	4,85	5,95	ökning med 1.1 m^3/s
C	12,7	12,0	minskning med 0.7 m^3/s

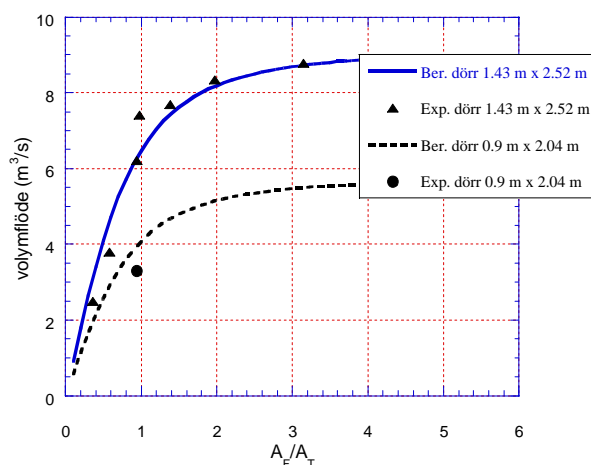
I Figur 8 visas en jämförelse mellan uppmätta volymflödet i frånluftsöppningen, Q_F , och teoretiskt beräknade volymflödet för olika förhållande mellan frånlufts- och tilluftsarea, A_F/A_T . Resultaten visar att det skiljer avsevärt mellan uppmätta volymflöden i frånluftsöppningen, Q_F , och primärflödet, Q_p , för fläkten. Den fläkt som ger högst primärflöde, dvs fläkt C, ger också högst volymflöde genom byggnaden men det varierar kraftigt beroende på kvoten mellan A_F/A_T . De angivna primär- och sekundärflöden kan därför ge en felaktig uppfattning om det verkliga volymflödet som passerar genom byggnaden. Om fläkt C skulle ställas mot en annan typ av byggnad så skulle volymflödet i frånluftsöppningen bli annat, men jämfört med fläkt A och B så skulle det bli högre eftersom fläkt C har högre Q_p .

Figur 8 visar att maximala volymflödet för fläkt C är ungefär samma som fläktens primärflöde. Fläkt B har ungefär 1.5 gånger primärflödet och fläkt A har ungefär 2 gånger primärflödet. Den luftmängd som överstiger primärflödet måste därför vara injekterad luft. Det stämmer också med det faktum att mest injekterad luft får vi från den fläkt som står längst från tilluftsöppningen (fläkt A) och minst från den som står närmast tilluftsöppningen (fläkt C). Det här visar att för att erhålla mer användnings relaterade värden på volymflödena så behövs en provningsmetod som ger mer jämförbara värden för de olika fläktarna. Det kan göras genom att fläktarna provas mot en lokal som anses vara representativ för ett stort antal byggnadstyper. Tillverkarna kan därmed erhålla information om optimal placering av fläkten från dörröppningen och optimal hantering av fläkten (lutning, höjd) för ett antal olika värden på A_F/A_T och ett antal olika storlekar på tilluftsöppningen. På köpet får de information om primärflödet och sekundärflödet eftersom primärflödet Q_p kan bestämmas utifrån ekvation (7).



Figur 8 Figuren visar jämförelse mellan uppmätta och beräknade flöden för de tre olika fläktyperna som användes i försöken.

En intressant observation från figur 8 är att ökningen i volymflödet avtar kraftigt efter att kvoten A_F/A_T är större än 2. Man kan visa teoretiskt att när A_F/A_T är lika med 1.5 så har man uppnått 83% av maximala volymflödet, $Q_{F, \max}$, och vid $A_F/A_T=2$ så har man uppnått 90% av maximala volymflödet. Detta förhållande gäller för samma typ av byggnad som användes i försöken. Detta förhållande minskar allteftersom det hydrauliska motståndet i byggnaden ökar (fler dörrar, fler hål i bjälklag, trapphus osv). Om det finns t.ex. två mindre rum i byggnaden istället för ett så blir motsvarande siffror 64 % respektive 67 % av maximala volymflödet.



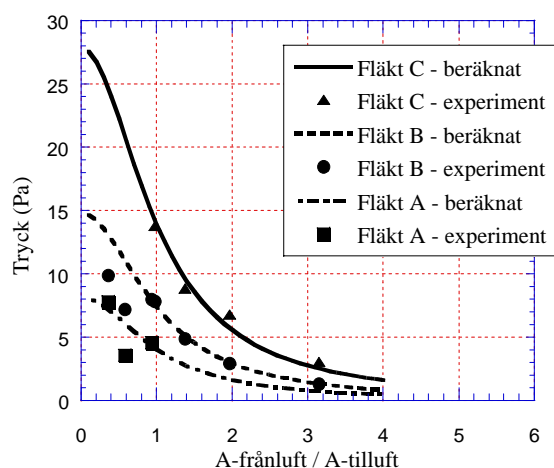
Figur 9 Volymflödet för fläkt B vid två olika areor på tilluftsöppningen. Fläkten var placerad 2.25 m från tilluftsöppning A (1.43 m x 2.52 m) och 1.87 m från tilluftsöppning B (0.9 m x 2.04 m).

Att tilluftsöppningens area påverkar volymflödet kan man se i figur 9. Genom att minska arean på tilluftsöppningen (bredd och höjd) så minskas det maximala volymflödet. Om vi antar att vi har samma fläkt i bägge fallen så ser vi med hjälp av ekvation (7) och (8) att förändringen är direkt proportionell mot tilluftsöppningens bredd B . Alla andra parametrar i ekvationen antas ha

samma värde. Om det skiljer faktor två i storlek på tilluftöppningens bredd så skiljer det faktor två i maximalt volymflöde genom byggnaden. Detta överensstämmer med de experimentella resultat som vi har erhållit.

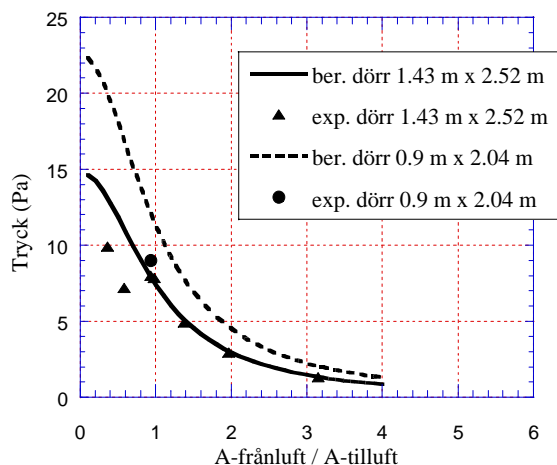
5.2 Statiskt tryck

Trycket i byggnaden bestäms av flödesmotståndet och dynamiska trycket som utövas mot tilluftsöppningen. I figur 10 visas en jämförelse mellan experimentella och teoretiskt beräknade värden för statiskt övertryck i bägge försöksrummen. Experimentella data är hämtade från tabell 2 och 3 och beräknade data med hjälp av ekvation (11) i bilaga. Justerade Q_p har använts enligt tabell 5. Överenskommelsen är mycket bra.



Figur 10 Figuren visar förhållandet mellan statiskt tryck i lokalen och förhållandet mellan frånlufts- och tilluftsarea för de tre olika fläktyperna som provades.

Resultaten i figur 10 visar att trycket är kraftigt beroende på kvoten A_F/A_T . Ökad hydrauliskt motstånd i form av ökad A_F/A_T sänker trycket. I figur 11 visas inverkan av ändrad area på tilluftsöppningen. Trycket ökar när tilluftsöppningen minskar vilket förklaras av att höjden på tilluftsöppningen minskar från 2.52 m till 2.04 m (jämför med ekvation (11)).



Figur 11 Trycket inne i försöksrummet vid två olika tilluftsöppningar. Jämförelse med experimentella data.

Teoretiskt så kan trycket inte bli högre inne i byggnaden än när kvoten A_F/A_T är lika med noll. Eftersom flesta byggnader har ett visst läckage kommer det teoretiska värdet att bli högre än det verkliga. Man kan inkludera läckage i beräkningarna genom att anta ett litet A_F . Därmed kan man beräkna vilket tryck det blir i en angränsande lokal. Det trycket bör vara högre än det tryck som branden genererar i angränsande lokal. På så sätt undviker man att brandgaserna läcker till den trycksatta lokalen.

Med hjälp av ekvation (11) i bilaga så ser vi att när tilluftöppningens höjd, H , minskar så ökar trycket inne i lokalen. Rent praktiskt innebär det att genom att ställa fläkten närmare tilluftöppningen så kan man erhålla högre tryck i lokalen. Höjden H kan man minska genom att t.ex. lägga en skiva mot tilluftöppningen. Men tjänar man något på detta? Vad händer t.ex. om A_F/A_T är nästan lika med 0 ?

Vi testar detta genom ett exempel där vi har beräknat Q_F och ΔP med hjälp av ekvation (7) respektive ekvation (11). Först visar vi ett exempel där frånluftöppningen hålls konstant, $A_F=4 \text{ m}^2$ och där H varierar (2.5, 1.5 och 0.9 m). I det andra exemplet stänger vi frånluftöppningen men på grund av att lokalen är otät så antar vi ett läckage som motsvarar $A_F=0.225 \text{ m}^2$.

Exempel 1: Inverkan av H på tryck och flöde i lokalen

$H=2,5 \text{ m}$	$H=1,5 \text{ m}$	$H=0,9 \text{ m}$ (vid dörröppning)
$Q_p=12 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=12 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=12 \text{ m}^3/\text{s}$
$D_0=0,9 \text{ m}$	$D_0=0,9 \text{ m}$	$D_0=0,9 \text{ m}$
$A_F=4 \text{ m}^2$	$A_F=4 \text{ m}^2$	$A_F=4 \text{ m}^2$
$A_T=2,25 \text{ m}^2$	$A_T=1,35 \text{ m}^2$	$A_T=0,81 \text{ m}^2$
$B=0,9 \text{ m}$	$B=0,9 \text{ m}$	$B=0,9 \text{ m}$
$A_F/A_T=1,78$	$A_F/A_T=2,96$	$A_F/A_T=4,94$
$\rho_0=1,2 \text{ kg/m}^3$	$\rho_0=1,2 \text{ kg/m}^3$	$\rho_0=1,2 \text{ kg/m}^3$
$\xi=1,4$	$\xi=1,4$	$\xi=1,4$
$Q_F=6,9 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_F=7,5 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_F=7,7 \text{ m}^3/\text{s}$
$\Delta P=6,6 \text{ Pa}$	$\Delta P=7,9 \text{ Pa}$	$\Delta P=8,4 \text{ Pa}$

Som resultaten visar så är det måttliga positiva förändringar som sker när $A_F/A_T > 0$. Både tryck (ΔP) och volymflöde (Q_F) ökar men det är svårt att motivera utifrån praktisk synpunkt. En minskad tilluftöppning innebär att rökdykare får problem med att gå in och ut ifrån byggnaden samtidigt som fläkten blockerar utgången. Om vi däremot antar att vi stänger frånluftöppningen men har ett litet läckage i lokalen som motsvarar $A_F=0.225 \text{ m}^2$ då blir resultaten helt annorlunda. Resultaten visas i exempel 2:

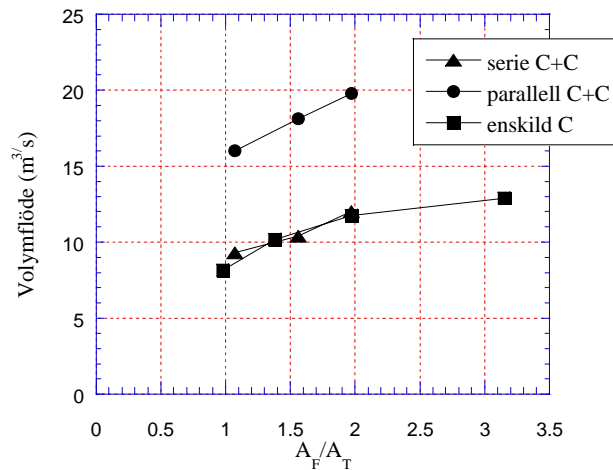
Exempel 2 - Trycksättning av angränsande lokal

H=2,5 m	H=1,5 m	H=0,9 m (vid dörröppning)
$Q_p=12 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=12 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_p=12 \text{ m}^3/\text{s}$
$D_0=0,9 \text{ m}$	$D_0=0,9 \text{ m}$	$D_0=0,9 \text{ m}$
$A_F=0,225 \text{ m}^2$	$A_F=0,225 \text{ m}^2$	$A_F=0,225 \text{ m}^2$
$A_T=2,25 \text{ m}^2$	$A_T=1,35 \text{ m}^2$	$A_T=0,81 \text{ m}^2$
$B=0,9 \text{ m}$	$B=0,9 \text{ m}$	$B=0,9 \text{ m}$
$x=0,1$	$x=0,17$	$x=0,28$
$\rho_0=1,2 \text{ kg/m}^3$	$\rho_0=1,2 \text{ kg/m}^3$	$\rho_0=1,2 \text{ kg/m}^3$
$\xi=1,4$	$\xi=1,4$	$\xi=1,4$
$\Delta P=27,4 \text{ Pa}$	$\Delta P=74,7 \text{ Pa}$	$\Delta P=198 \text{ Pa}$

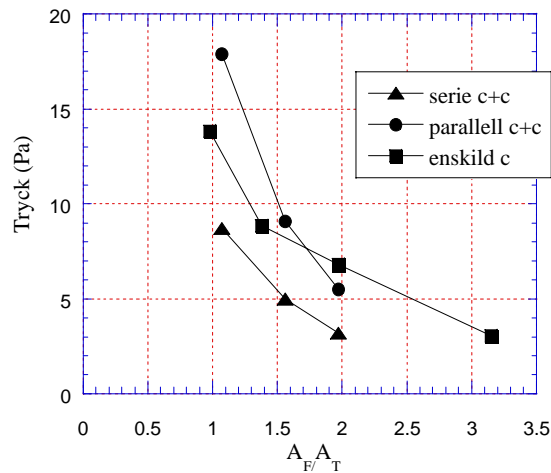
Som synes så ökar ΔP avsevärt när vi minskar H. Det är klart en fördel att öka trycket genom att minska H när man vill trycksätta en angränsande lokal. Det behöver inte innebära några praktiska problem eftersom rökdykarna inte är i behov av att passera dörröppningen.

5.3 Serie- och parallell kopplade fläktar

Det finns en tumregel som säger att om man seriekör fläktarna så kan trycket i lokalen dubbleras. Om man vill dubblera flödet så kan man köra fläktarna parallellt i tilluftsöppningen. Vi undersökte detta och körde ett antal försök med både serie- och parallellkopplade fläktar i tilluftsöppningen. Resultaten finns redovisade i Tabell 4 och i figur 12 och 13.



Figur 12 Uppmätt volymflöde i försöksrum 2 när fläkt C kördes i serie, parallellt eller som enskild.



Figur 13 Uppmätt tryck i försöksrum 2 när fläkt C kördes i serie, parallellt eller som enskild.

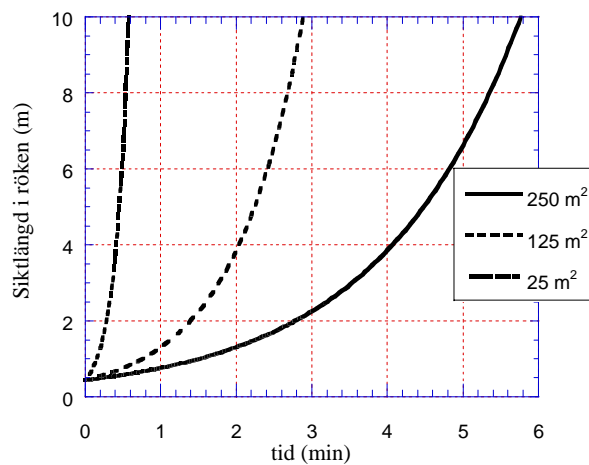
Figur 12 och 13 visar tydligt att det finns ingen fördel med att seriekoppla fläktar. Varken trycket eller volymflödet i frånluftsöppningen höjs. I figur 13 kan man till och med se att trycket blir lägre jämfört med en enskild fläkt. Däremot är det en stor fördel att parallellt koppla fläktar. Luftomsättningen dubblas nästan och trycket höjs betydligt.

5.4 Luftomsättning

En viktig del av projektet var att undersöka inverkan av lokalens volym på effektiviteten hos mobila fläktar. I bilaga redovisas ekvationer för att beräkna siktlängden i röken beroende på luftomsättningen i lokalen. Det visar sig att luftomsättningen, dvs kvoten mellan volymflödet i frånluftsöppningen och lokalens volym, avgör hur fort man blir av med brandgaserna. Det påverkar inte bara sikten i röken utan också temperaturen i lokalen. För att demonstrera vikten av luftomsättningen på hur fort man förbättrar arbetsmiljön för rökdykarna presenterar vi ett exempel som är baserat på de ekvationer som anges i bilaga.

Exempel 3:

Siktlängden i röken har antagits 0.5 m vid start av fläkten och en takhöjd på 4 m. Volymflödet i frånluftsöppningen är beräknat till $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($36\,000 \text{ m}^3/\text{h}$). I figur 14 visas resultaten för tre olika lokaler. Beräkningarna visar att det tar 5 minuter och 46 sekunder att uppnå 10 m siktlängd i lokal som har golvarean 250 m^2 (1000 m^3). Det tar 2 minuter och 53 sekunder att uppnå samma siktlängd (10 m) i en lokal som är hälften så stor eller 125 m^2 (500 m^3) och endast 35 sekunder för en lokal som är 25 m^2 (100 m^3).



Figur 14 Diagrammet visar hur siktlängden förbättras beroende på lokalens storlek. Takhöjden är 4 m för alla tre lokalerna och volymflödet genom frånluftsöppningen är $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($36\,000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Det skiljer väsentligt i tid för att uppnå samma förhållanden mellan de olika lokalstorlekarna. Tiden för hur fort man kan åstadkomma rimliga arbetsförhållanden för att göra en snabb sökning i lokalerna är kraftigt beroende på lokalens storlek. Med endast en fläkt så kan det ta flera minuter att vädra bort brandgaserna. Här förutsätts att ingen rök produceras efter att fläkten startar. I flesta fall fortsätter rökutvecklingen vilket kommer att förlänga tiden. Denna jämförelse visar dock betydelsen av lokalens storlek. Volymflödet är lika viktig parameter som lokalens volym.

Ett bra sätt att öka fläktkapaciteten i stora lokaler är att parallell köra två fläktar. Om man kan dubblera flödet med två parallella fläktar så halveras tiden tills lokalen blir rökfri. Den här övningen visar att luftomsättningen, dvs förhållandet mellan volymflödet genom byggnaden och brandrummets volym (volymflöde/volym), bestämmer hur fort röken vädras bort och hur fort gastemperaturen sänks.

6 Slutsatser

Baserad på de experimentella och teoretiska resultaten kan vi dra följande slutsatser:

- Mobila fläktar förbättrar arbetsmiljön för rökdykare i medelstora lokaler. Både sikten i brandgaserna och gastemperaturen påverkas avsevärt.
- Beräkningar visar att det tar mindre än 6 minuter att ventilerar bort brandgaserna i en lokal som är 1000 m³ med en fläkt som ger 10 m³/s (36 000 m³/h) genom frånluftsöppningen. Dubblar man flödet med två parallella fläktar istället så halveras tiden.
- Volymflödet genom byggnaden och brandrummets volym, dvs luftomsättningen (volymflöde/volym) är två mycket viktiga parametrar när det gäller bedömning av effekten av övertrycksventilation.
- Luftomsättningen i brandrummet bestämmer hur fort röken vädras bort och gas temperaturen sänks.
- Med de fläkttyper som provades mättes värden mellan 22 och 110 luftomsättningar per timme. Försöken genomfördes i lokaler som var 420 m³ respektive 800 m³.
- Det är typen av fläkt, byggnadens storlek och komplexitet samt storlek på till- och frånluftsöppningar som först och främst bestämmer volymflödet i frånluftsöppningen.
- Det volymflöde som mättes i frånluftsöppningen skiljer avsevärt från det flöde som anges som primärflöde för de provade fläktarna.
- Volymflödet för en och samma fläkt genom en byggnad bestäms först och främst av storleken och storleksförhållandena mellan tillufts- och frånluftsöppningarna samt antal inredningar eller hål i bjälklag på vägen fram till frånluftsöppningen.
- Optimala avståndet från fläkt till dörr, så hela dörröppningen täcks in är väldigt fläktberoende. För de provade fläktarna varierade det från 1- 3 m.
- Nödvärdigt att utveckla en provningsmetod för mätning av volymflöde för olika fläktar. Angivna primär- och sekundärflöden enligt tillverkarnas broschyrer kan ge en felaktig bild av det verkliga flödet som passerar genom byggnaden.
- Det är fullt möjligt att teoretiskt beräkna tryck, flöden och luftomsättningar i denna typ av lokal. Den teoretiska modell som har utvecklats har verifierats gentemot experiment.
- Takhöjden och bredden i lokalen har stor betydelse för generering av stora virvlar i rummet. Tre meter lång korridor placerad direkt framför porten tenderade att minska virvlarnas intensitet inne i brandrummet.
- Större frånluftsöppning tenderar att minska turbulensen inne i försöksrummet
- Optimalt förhållande mellan från- och tilluftsarea ligger mellan 1.5 - 2.
- Längre väg och fler mindre öppningar när luften skall passera mer tappar man i tryck (jämför med vattenhydrauliken).

- En stor frånluftsöppning ger högre luftomsättningen men mindre tryck, vilket gör att det är känsligare mot vindpåverkan
- Ingen fördel att seriekoppla fläktar. Trycket eller luftomsättningen höjs inte.
- En fördel att parallell koppla fläktar. Luftomsättningen nära att dubblas och trycket höjs betydligt. Det kräver att man får dubbla öppningsareorna vilket inte alltid är praktiskt genomförbart.

Bilaga - Teoretisk beräkningsmodell

I följande kapitel redovisas en enkel beräkningsmodell som kan användas för att bestämma tryck, volymflöde och luftomsättning i en lokal med en tilluftsöppning och en frånluftsöppning. För att förenkla modellen har vi bortsett ifrån brandens inverkan på tryck och flöde. Modellen kan användas för att bedöma hur lång tid det tar att vädra bort brandgaser i olika typer av lokaler efter att branden har släckts. Målsättningen är att utöka modellen så att både inverkan av branden och tryckfall genom flera rum inkluderas samt yttre vindpåverkan och släckning.

Volymflöde i frånluftsöppning

Volymflödet i frånluftsöppningen, Q_F , kan beräknas enligt följande ekvation:

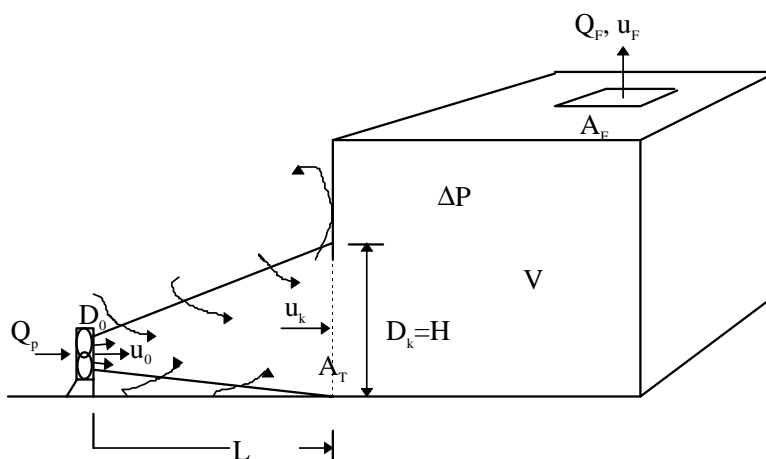
$$Q_F = C_d u_F A_F \quad (1)$$

där C_d är en utströmningskoefficient ($C_d=0.61$), u_F är den uppmätta eller beräknade hastigheten i frånluftsöppningen och A_F är frånluftsöppningens geometriska area.

Vi kan beräkna lufthastigheten i frånluftsöppningen (se figur A1) med följande ekvation:

$$u_F = \sqrt{\frac{k}{\frac{1}{2} \xi \rho_0 \left(\left(\frac{A_F}{A_T} \right)^2 + 1 \right)}} \quad (2)$$

där k är det dynamiska trycket som luftkonen utövar mot tilluftsöppningen och ξ är tryckförlustkoefficienten i till (A_T)- och frånluftsöppningen (A_F). ρ_0 är luftens densitet (1.2 kg/m^3). ξ kan antingen bestämmas utifrån experimenten eller från handböcker. Enligt handböcker är $\xi=1.5$.



Figur A1 Teoretisk modell för beräkning av tryck och flöde i en lokal.

Det dynamiska trycket k kan bestämmas enligt följande ekvation:

$$k = \frac{1}{2} \rho_0 u_k^2 \quad (3)$$

Här är u_k hastigheten i luftkonen strax intill tilluftsöppningen. Hastigheten u_k i luftkonen kan bestämmas utifrån följande ekvation (vi antar att man bevarar rörelsemängden längs hela luftkonens längd L):

$$u_k = \frac{u_0 D_0}{D_k} \quad (4)$$

där D_k är den effektiva diametern på luftkonen vid tilluftsöppningen (täcker in hela tilluftsöppningen). Luftkonens diameter motsvarar det högre värdet av tilluftsöppningens höjd (H) eller bredd (B). I flesta fall är det höjden som är bestämmande och därför blir $D_k=H$. Utgångshastigheten vid fläkten är u_0 och fläktens diameter är D_0 . Primärflödet, Q_p , från fläkten bestäms av följande ekvation:

$$Q_p = u_0 A_0 = u_0 \frac{\pi D_0^2}{4} \quad (5)$$

Med hjälp av ekvation (3), (4) och (5) erhåller vi ett samband mellan det dynamiska trycket k och fläktens primärflöde, Q_p , fläktens diameter, D_0 , och tilluftsöppningens höjd, H , (eller bredden, B , om den är större än H):

$$k = 8\rho_0 \left(\frac{Q_p}{\pi D_0 H} \right)^2 \quad (6)$$

Nu kan vi enkelt beräkna Q_F om vi vet Q_p , D_0 och kvoten $x=A_F/A_T$. Genom att utnyttja ekvationer (1) till (6) så får vi följande samband för Q_F :

$$Q_F = \frac{2.44}{\pi\sqrt{\xi}} \frac{B Q_p}{D_0} \left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \right) \quad (7)$$

där B är tilluftsöppningens bredd och x är kvoten (A_F/A_T) mellan från- och tilluftsöppningens area.. Som synes så är Q_F ej beroende på lokalens volym. Genom att låta x växa så närmar sig

kvoten $\left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \right)$ värdet 1 vilket innebär att vi kan uttrycka maximala flödet som fläkten kan

trycka igenom byggnaden på följande sätt:

$$Q_{F,\max} = \frac{2.44}{\pi\sqrt{\xi}} \frac{B}{D_0} Q_p \quad (8)$$

Med enkel matematik så kan vi visa att $Q_{F,\max}$ blir lika med eller större än Q_p när tilluftsöppningens bredd B är lika med eller större än $1.5D_0$.

Statiskt tryck

Statiska trycket inne i lokalen (försöksrummet) kan också beräknas teoretiskt. Dynamiska trycket k som fläkten utövar mot tilluftsöppningen minus tryckförlusten i tilluftsöppningen är likvärdig med det statiska övertrycket inne i lokalen. Matematiskt blir det då:

$$\Delta P = k - \frac{1}{2} \xi \rho_0 \left(\frac{A_F}{A_T} \right)^2 u_F^2 \quad (9)$$

ΔP är statiska övertrycket i försöksrummet och $\frac{1}{2} \xi \rho_0 \left(\frac{A_F}{A_T} \right)^2 u_F^2$ är tryckförlusten över tilluftsöppningen. Ekvation (9) är likvärdig med tryckförlusten genom frånluftsöppningen eller:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \xi \rho_0 u_F^2 \quad (10)$$

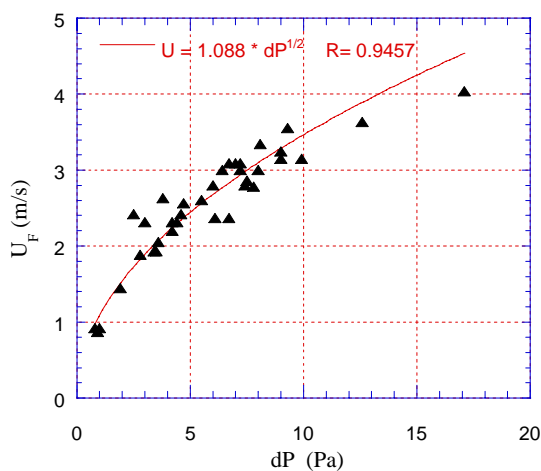
Med hjälp av ekvationer (2)-(6) kan vi formulera om ekvation (10) på så sätt att vi kan uttrycka ΔP i form av fläktens primärflöde, Q_p , fläktens diameter, D_0 , och tilluftsöppningens höjd, H :

$$\Delta P = 8 \rho_0 \left(\frac{Q_p}{\pi D_0 H} \right)^2 \frac{1}{1+x^2} \quad (11)$$

där $x = A_F/A_T$.

Bestämning av tryckförlustskoefficient

Vi kan utnyttja ekvation (10) för att bestämma ξ utifrån experimentella data i tabell 2. I figur A2 visas hur u_F har plottas som funktion av ΔP . En regression av datan ger $\xi = 1.4$ vilket kan jämföras med det teoretiska värdet på 1.5. Vi har använt 1.4 konsekvent i alla beräkningar presenterade i denna rapport.



Figur A2 Figuren visar förhållandet mellan uppmätta U_F och ΔP från tabell 2.

Luftomsättningen

För att beräkna luftomsättningen kan man använda följande ekvation:

$$n = \frac{Q_F}{V} \quad (12)$$

där n är luftomsättning per sekund och V är testrummets volym ($V=800 \text{ m}^3$ för Försöksrum 1 och $V=420 \text{ m}^3$ för Försöksrum 2) Q_F kan beräknas med ekvation (7). Om man vill erhålla n i luftomsättningar per timmer multiplicerar man ekvation (12) med 3600.

Det går att beräkna siktlängden, S , i röken som funktion av tiden för olika Q_F och V enligt följande ekvation:

$$S(t) = e^{(0.898 \frac{Q_F}{V} t - 0.693)} \quad (13)$$

I ekvation (13) har vi antagit att siktlängden vid tiden $t=0$ är 0.5 m. Ekvationen visar hur siktlängden förbättras med tiden för olika ventilationsflöden och volym på lokalen (luftomsättningen). Med enkel matematik kan man visa att om vi har två lokaler, a och b, så kan vi beroende på volymen relatera tiden för att uppnå exakt samma situation med samma Q_F :

$$t_b = \frac{V_b}{V_a} t_a \quad (14)$$

Ekvation (14) talar om för oss att om lokal b är hälften så stor som lokal a så tar det hälften så lång tid att ventileras lokal b jämfört med lokal a. Exempel: Om lokal a är 1000 m^3 och det tar 5 minuter att ventileras den så tar det 2.5 min att ventileras en lokal som är 500 m^3 med samma Q_F .

Enheter

Följande enheter skall användas i ekvationer (1)-(14):

Q (m^3/s)
 u (m/s)
 ΔP (Pa)
 k (Pa)
 ρ_0 (kg/m^3)
 A (m^2)
 D (m)
 V (m^3)
 H (m)
 B (m)
 t (sek)
 S (m)
 n ($1/\text{s}$)

