

Övertrycksventilation

Förstudie över brandventilation
med mobila fläktar



**RÄDDNINGSG
VERKET**

Övertrycksventilation
Förstudie över brandventilation med mobila fläktar

1994 Räddningsverket, Karlstad
Verkstaben, Planering och forskning
Beställningsnummer P2 1-092/94
2000 års utgåva

ÖVERTRYCKSVENTILATION

Förstudie över brandventilation med mobila fläktar

*Författare: Stefan Särdaqvist
Institutionen för brandteknik
Lunds Tekniska Högskola*

**Rapporten har utarbetats på uppdrag av enheten för Metod och teknik,
Räddningstjänstavdelningen.
Kontaktpersoner inom SRV: Ivar Rönnback, Sören Lundström, Leif Sandahl
och Stefan Svensson.**

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abstract.....	2
Förord	2
Sammanfattning.....	3
Varför ventilera	5
Teorin.....	7
Nomenklatur.....	7
Det bygger på tryckskillnader	7
Naturlig brandventilation.....	8
Mekanisk brandventilation.....	11
Jämförelse mellan olika system	14
Hur branden påverkas.....	15
Utvärdering av insatser	17
Chapel Hill	17
Mallets Bay	19
Brandon	21
Beltsville	21
Simulering av insatser.....	25
Datormodeller.....	25
Chapel Hill	26
Taktiken	29
Räddningsproblem.....	29
Insatsens syfte.....	29
Tekniken.....	31
Kontrollera luftens väg	31
Tillämpning av tekniken.....	32
Dimensionering av fläktar.....	33
säkerheten.....	35
Övertrycksventileramed försiktighet.....	35
Säkerhet for brandmännen.....	36
Standardrutin är ett måste.....	37
Utbildning och övning är nödvändig.....	37
Insatsplanering.....	37
Framtida forskningsbehov	39
Ett helhetsgrepp.....	39
Steg 1 : Beräkningar.....	39
Steg 2: Fullskaleförsök.....	39
Steg 3: Studier av tillämpning.....	40
Steg 4: Utbildning.....	40
Referenser	41

ABSTRACT

This report presents a survey of positive pressure ventilation, (övertrycksventilering). Calculations have been performed of the flows and pressures created. Some American tests and actions have been evaluated and simulated in a computer. Tactics, techniques and safety precautions necessary using positive pressure ventilation are briefly reviewed. The following conclusions were drawn.

- Positive pressure ventilation employed before fire control is effective for small fires, where smoke is the main problem rather than flames. Used after fire control, it is also an effective way of reducing damage caused by smoke.
- When positive pressure ventilation is used during a ventilation-controlled fire, the intensity of the fire increases. If is used at a fuel-controlled fire, the fire may increase or decrease depending on the fire load in the direction the flames are driven. However, the change is not as large as in the case of the ventilation-controlled fire.
- Knowledge concerning the air inlet and outlet, as well as the way in which the air travels through the building, is essential. The space between the fire and all outlets must be completely evacuated before considering the use of positive pressure ventilation.
- Under certain circumstances, the safety increases with positive pressure ventilation. Visibility increases, and with it the efficiency of actions. The heat load decreases, giving less strain on the fire fighters. However, education and training is necessary, as well as a standard operating procedure. Even fire pre-planning work is affected.
- Additional research is needed, and should be carried out in four steps: 1) Computer simulations, 2) Full-scale fire tests, 3) Development of guidelines, 4) Education and training. The best results would be obtained if a comprehensive view of the whole area of fire and smoke ventilation was taken.

FÖRORD

Denna studie är utförd hösten -94 vid Institutionen för brandteknik, LTH, på uppdrag av Statens Räddningsverk.

Syftet med studien har varit att utreda säkerheten i samband med övertrycksventilering, samt att kartlägga och utvärdera tillgänglig kunskap.

De källor som använts är dels litteratur, främst amerikansk, och dels ett antal internationella kontakter, framförallt med forskningsinstitutioner. Det visade sig ganska snart att det gjorts få vetenskapliga studier om övertrycksventilering i räddningstjänstsammanhang. De försök som finns publicerade internationellt är dessutom oftast dåligt vetenskapligt underbyggda.

SAMMANFATTNING

Rapporten ger en översikt över kunskapslaget om övertrycksventilation (Positive Pressure Ventilation, P.P.V.) med mobila fläktar. Tryck och flöden beräknas. Ett antal försök och verkliga insatser där övertrycksventilering använts utvärderas. Vidare visas att det är möjligt att använda datormodeller för att simulera räddningsinsatser. Taktik, teknik och säkerhet vid användandet av övertrycksventilering behandlas också.

De viktigaste slutsatser som dras i rapporten är följande:

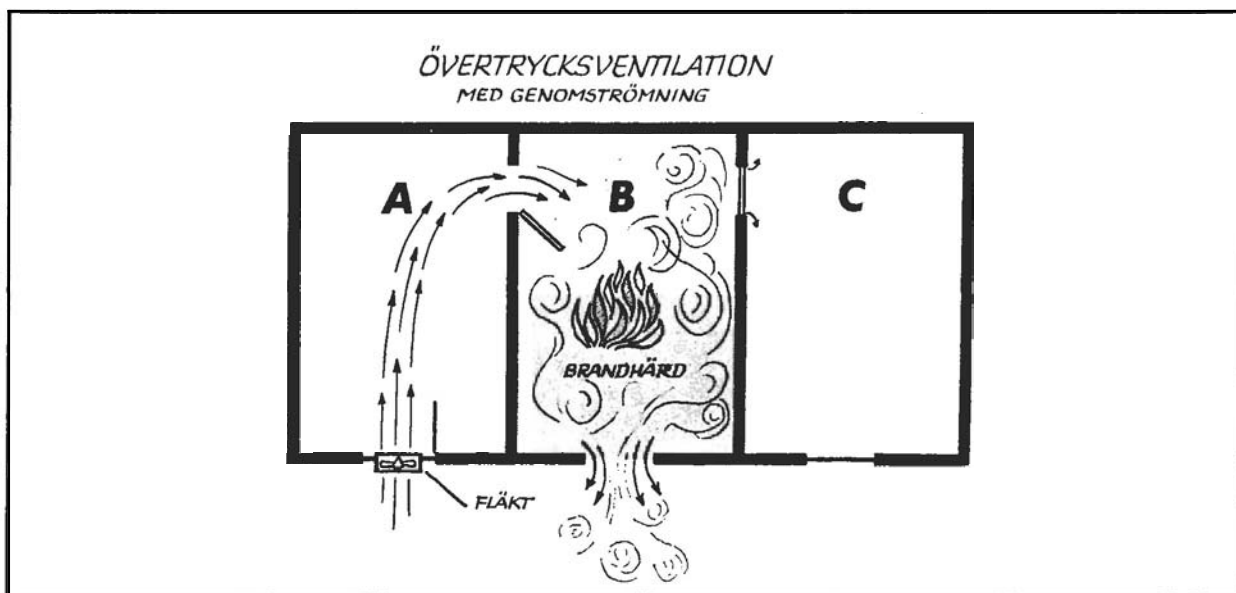
- Övertrycksventilering som ett taktiskt grepp vid räddningsinsatser är effektivt vid små bränder och i övrigt där det är röken som är det viktigaste problemet.
- Övertrycksventilation är ett mycket effektivt sätt att vädra ut brandgaser vid restvärderäddning.
- Om övertrycksventilering påbörjas vid en ventilationskontrollerad brand kommer branden att öka kraftigt i intensitet. Vill man trots detta använda övertrycksventilation måste man vara beredd att möta en betydligt större brand.
- Om övertrycksventilering påbörjas vid en bränslekontrollerad brand kan branden antingen öka eller minska i intensitet. Detta beror på att flam- och rökspidningsvägarna ändras. Förändringen blir dock inte lika stor som vid en ventilationskontrollerad brand.
- Ett säkert användande av övertrycksventilering förutsätter välkända och väldefinierade lokaler. Man måste känna till både tilluftsöppningar, luftens väg genom byggnaden och frånluftsöppningar.
- Det är viktigt att ingen befinner sig mellan brandhärden och frånluftsöppningen. Detta gäller både folk som är inestängda av branden och de rökdykare som skall angripa den.
- Brandmännens arbetsmiljö och säkerhet förbättras avsevärt under vissa förutsättningar med övertrycksventilering. För rökdykarna blir sikten bättre, och därmed orienteringsförmågan. Kommunikationen mellan rökdykare och rökdykarledare förbättras dessutom. Värmebelastningen minskar, vilket innebär att rökdykarna är i bättre kondition efter avslutad insats.
- För att kunna använda övertrycksventilering säkert och effektivt är det nödvändigt med utbildning och övning. En standardrutin behövs, liksom insatsplanering.
- Det nuvarande kunskapslaget kräver en ytterligare forskningsinsats. Det är viktigt med ett helhetsgrepp över området brandventilation. Arbetet görs lämpligen i fyra steg: 1) datorsimuleringar, 2) fullskaleförsök, 3) tillämpningsanvisningar, 4) utbildningsinsats.

VARFÖR VENTILERA

För ett par decennier började rökdykningen slå igenom på allvar som rutininsats vid bränder. Anhängarna till övertrycksventilering vill nu ta nästa steg: Varför krypa omkring i rök och värme när man kan gå i friska luften?

Övertrycksventilering som metod uppstod enligt Amerikanska källor [1] i Kalifornien 1983. Vid en insats i en rökfylld byggnad kunde man inte hitta branden. Räddningsledaren tog en chans, och beordrade fram fläktar för att vädra ut röken genom att blåsa in friskluft. Byggnaden blev rökfri på ett par minuter, och rökdykarna kunde hitta branden - en glödbrand i en säng - och att släcka den blev lätt. Man imponerades av den effektiva ventileringen och började att experimentera, öva och slutligen tillämpa metoden, en metod som fick namnet Positive Pressure Ventilation.

Begreppet övertrycksventilation är dock betydligt äldre än så. Figur 1 nedan är ur *Brandteknisk handbok, Brandventilation* av Kaare Brandsjö [2]. Boken utkom 1965 och där visas tydligt principen för övertrycksventilation.



Figur 1. Begreppet övertrycksventilation är relativt gammalt. Illustrationen ovan publicerades redan 1965 [2].

Att använda övertrycksventilering är dock inte riskfritt. Om metoden används fel kan insatsresultatet försämrats, med en oönskad spridning av brand och brandgaser. Det är därför viktigt med kunskap om metodens för- och nackdelar, och framförallt dess begränsningar.

TEORIN

Nomenklatur

A	[m ²]	yta	ρ	[kg/m ³]	densitet
g	9.81 [N/kg]	gravitationskraften	$\Delta\rho$	[kg/m ³]	densitetsskillnad
h	[m]	höjd	T	[K]	temperatur
P	[Pa]	tryck	v	[m/s]	lufthastighet
Δp	[Pa]	tryckskillnad	V	[m ³ /s]	luftflöde
Q	[kW]	brandeffekt			

Det bygger på tryckskillnader

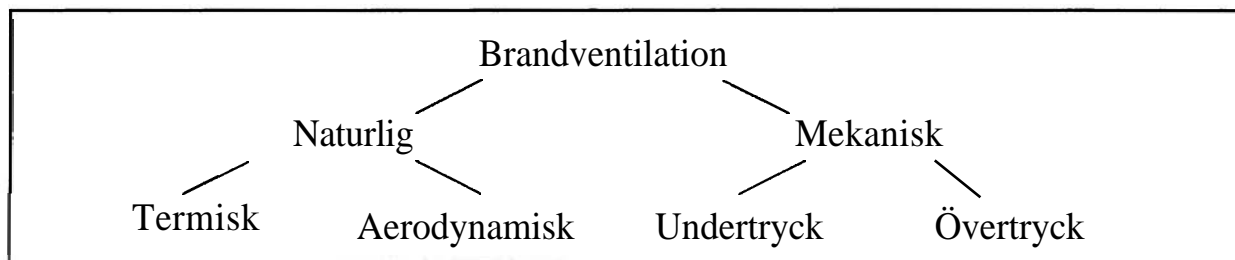
All ventilation bygger på skillnad i tryck, och både rök och luft förflyttar sig från utrymmen med högt tryck till utrymmen med lägre tryck. Vid brandventilation - av olika slag - gäller alltid denna fysikaliska princip.

I det här kapitlet finns beräkningsexempel som visar hur stora tryckskillnader som kan åstadkommas med olika metoder. Tryck anges i enheten Pa, och det normala atmosfärstrycket är 101 325 Pa. Som jämförelse kan nämnas att ett övertryck om 1 Pa motsvarar trycket mot skrivbordsytan från ett pappersark. Vid 100 Pa övertryck i ett rum är det svårt att öppna dörren, och en frin upplagd glasruta med tjockleken 1 mm och ytan 1 m² splittras vid ett övertryck på ca 5000 Pa .

Tryckskillnaden kan i princip uppkomma på två olika sätt: naturligt eller mekaniskt.

Naturlig brandventilation består av två typer: termisk ventilation som utnyttjar tryckförändringen vid brandgasernas uppvärmning, och aerodynamisk ventilation som utnyttjar de tryckförändringar som vinden åstadkommer.

Vid mekanisk ventilation utnyttjas fläktar för att skapa tryckskillnaden, och de typer som kan särskiljas är undertrycksventilering, där fläkten används för att suga ut brandgaser, och övertrycksventilering, där fläkten används för att blåsa in friskluft.



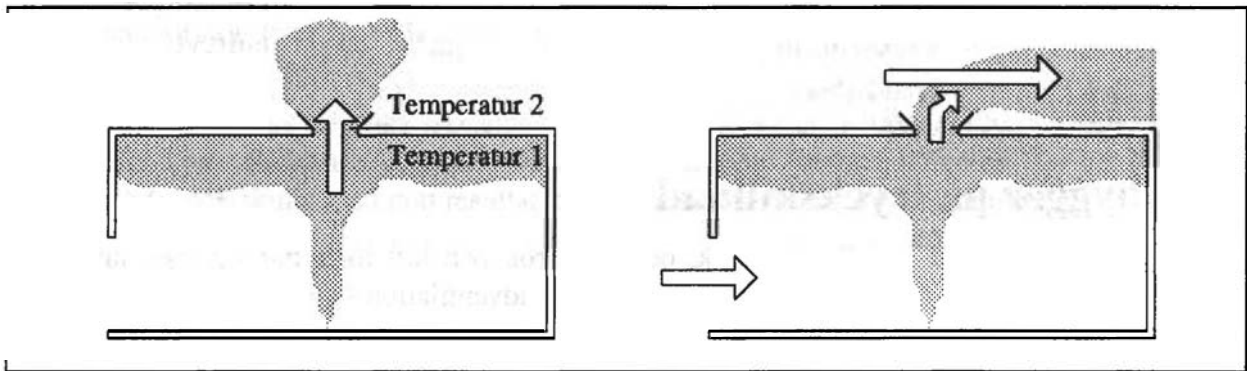
Figur 2. Olika typer av brandventilation utnyttjar olika drivkraft för att skapa den nödvändiga tryckskillnaden.

Man kan också särskilja mellan fasta och mobila system. Den fysikaliska bakgrunden är identisk, men i denna studie berörs endast de mobila systemen, avsedda för räddningstjänstens behov.

Naturlig brandventilation

Naturlig brandventilation består av två komponenter, enligt figur 3.

Termisk brandventilation bygger på att en tryckskillnad skapas genom att brandgaserna expanderar vid uppvärmning, och därigenom får en lägre densitet än friskluften. Tryckskillnaden är i storleksordningen några Pa per meter av brandgaslagrets tjocklek.



Figur 3. Naturlig brandventilation. Den termiska stignakraften (t.v.) och den aerodynamiska kraften, d.v.s. vindkraften (t.h.) skapar den nödvändiga tryckskillnaden.

Utöver den termiska tryckskillnaden, kan också vinden skapa den nödvändiga tryckskillnaden vilket ger en aerodynamisk brandventilation. På vindsidan skapas ett övertryck och på läsidan ett undertryck. Därför måste öppningarna placeras på rätt sida i förhållande till vinden, så att inte röken går motsatt väg jämfört med den önskade. Tryckskillnaden som vinden skapar kan vara upp mot 50 Pa för måttliga vindhastigheter.

Termisk brandventilation

Rökens termiska expansion ger en tryckskillnad som kan beräknas ur:

$$\Delta p = \Delta \rho \cdot g \cdot h$$

Densiteten för luft med temperaturen 20 C är 1.2 g/m^3 , och för rök med temperaturen 200 C är densiteten 0.75 kg/m^3 (densiteten kan beräknas ur $p = 353/T$, där T är temperaturen uttryckt i Kelvin). Detta ger en densitetsskillnad mellan luft och brandgaser om $1.2 - 0.75 = 0.45 \text{ kg/m}^3$. Räknat per meter brandgaslager, alltså $h = 1 \text{ m}$, blir tryckskillnaden:

$$\Delta p = 0.45 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ N/kg} \cdot 1 \text{ m} = 4.5 \text{ N/m}^2 = 4.5 \text{ Pa}$$

Hur tryckskillnaden varierar beroende på temperaturen i brandgaserna och brandgaslagrets tjocklek framgår av tabell 1. Då brandgaslaget i normala lokaler kan bli upp till ett par meter tjockt innebär detta att den termiska tryckskillnaden skulle kunna bli upp till i storleksordningen 15 Pa vid normala rumshöjder.

Tabell 1. Hur den termiska tryckskillnaden i Pa beror på brandgasernas temperatur och brandgaslagrets tjocklek.

Temperatur, °C Tjocklek, m	100	200	400	600
0.5	1.4	2.2	3.3	3.9
1	2.5	4.5	6.6	7.8
2	5.0	8.9	13.2	15.6
4	10.0	17.8	26.5	31.2

Förhindrad termisk expansion

Beräkningarna ovan gäller om ventilationsöppningarna är relativt stora. Om dörrar och fönster är stängda, så kommer det att ske en tryckuppbyggnad i brandrummet. Denna tryckökning orsakas av att gaserna varms upp, men förhindras att expandera. Vid konstant volym och gasmängd kan trycket beräknas med hjälp av Guy-Lussacs lag som säger att $p_1/T_1 = p_2/T_2$, där p är trycket [Pa] och T temperaturen [K], före respektive efter uppvärmning. Om temperaturen ökar till 600 °C (d.v.s. tre gånger) så blir trycket 304 000 Pa, eller tre gånger högre än atmosfärstrycket. Ingen byggnad skulle tåla ett så högt tryck utan att rämna, men lyckligtvis har byggnader i allmänhet så många otätheter att en tryckuppbyggnad av den storleken är otänkbar. Dessutom sker expansionen successivt, då det tar några minuter för luften att värmas upp. Fönstren går sönder vid några tusen Pa, och vid en räddningsinsats öppnas dörren till byggnaden, och en tryckuppbyggnad förhindras.

Aerodynamisk brandventilation

Storleken på vindtrycket kan beräknas med hjälp av uttrycket:

$$\Delta p = \rho v^2 / 2$$

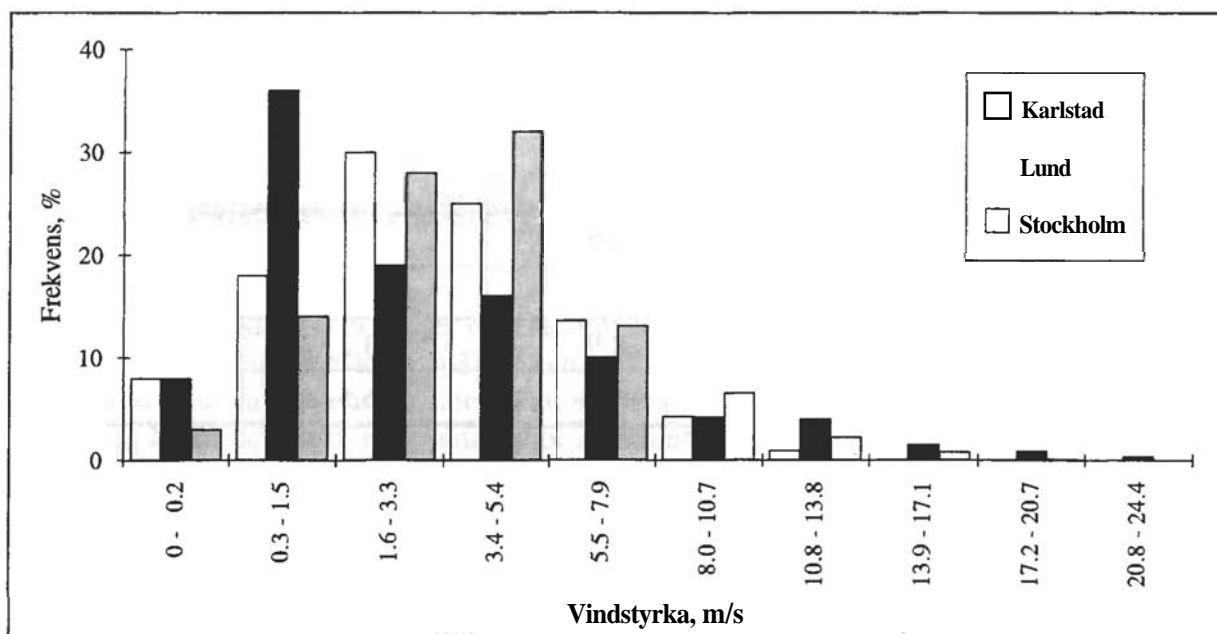
Med luftens densitet 1.2 kg/m³ och en vindhastighet på 1 m/s alltså nästan vindstill, blir den dynamiska tryckskillnaden

$$\Delta p = 1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot (1 \text{ m/s})^2 / 2 = 0.6 \text{ kg/ms}^2 = 0.6 \text{ Pa}$$

Vindtrycket är proportionellt mot vindhastigheten i kvadrat. Om vindhastigheten ökar tio gånger till 10 m/s ger detta en tryckskillnad som blir hundra gånger större än i förra fallet, vilket framgår av tabell 2.

Tabell 2. Hur den aerodynamiska tryckskillnaden mätt i Pa varierar med vindhastigheten.

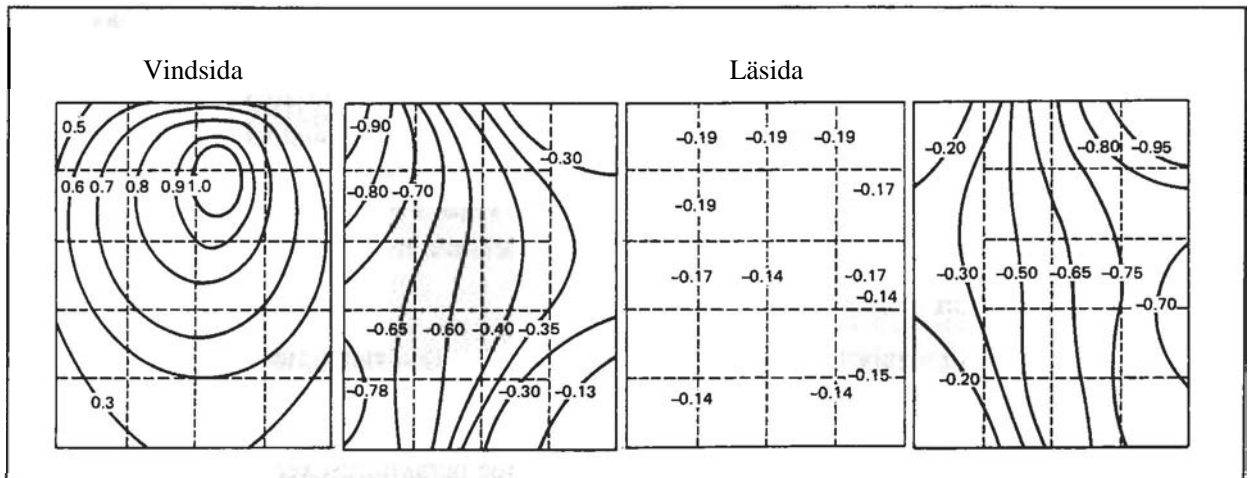
Vindhastighet	m/s	1	2.5	5	10	20
Tryckskillnad	Pa	0.6	3.8	15	60	240



Figur 4. Vindstyrkans fördelning för Karlstad, Lund och Stockholm. Hastigheten varierar ganska mycket, men är normalt 1 - 5 m/s [3]. Orsaken till den udda skalan i diagrammet är att den följer Beauforts indelning.

Figur 4 visar hur vindhastigheten varierar i Karlstad, Lund och Stockholm. Vindhastigheten varierar ganska mycket under året, men är normalt 1 - 5 m/s [3]. Under ca 20 % av årets dagar är vindhastigheten högre än 5.5 m/s. Grovt räknat kan man alltså säga att under en femtedel av dagarna är vindhastigheten högre än den vind som övertrycksfläktarna åstadkommer. Man bör i och för sig ha i minnet att vindens hastighet mäts på referenshöjden 10 m och att hastigheten avtar med höjden till vindstilla vid marknivå. Dessutom påverkar bebyggelse, vegetation m.m. så att vindhastigheten ofta är lägre. Slutsatsen blir att i skyddade lägen kan vindens inverkan försummas, men i öppna lägen, eller på platser med stor turbulens kan vinden ha betydelse för ventilationens effektivitet. Turbulensen medför också att vindriktningen kan ändras lokalt, vilket har betydelse för valet av ventilationsöppningar.

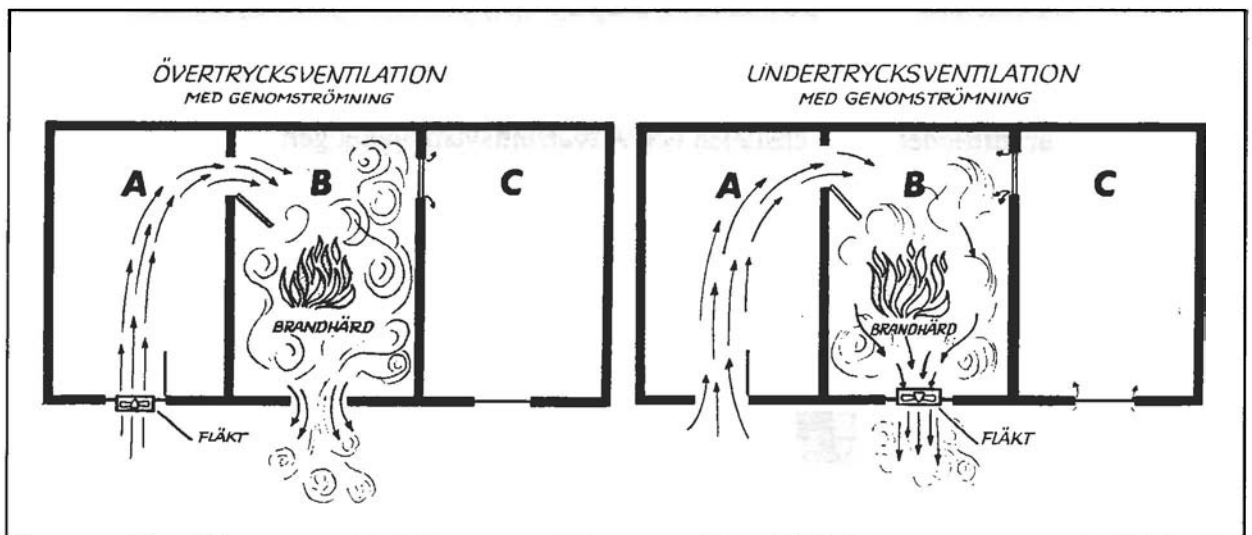
En fördel med övertrycksventilation är att man kan använda vertikala frånluftsöppningar i större utsträckning än vid naturlig brandventilation och undertrycksventilation. Detta ger en bättre arbetsmiljö då arbete på hög höjd kan undvikas, men ställer också större krav på utövaren. Vindpåverkan ger nästan alltid ett undertryck på horisontella ytor, medan det på vertikala ytor kan bildas både över- och undertryck, vilket visas i figur 5. Siffrorna i figuren anger andelen av den maximala vindpåverkan, oberoende av vindhastigheten, och kan variera mellan 1 (fullt övertryck) och -1 (fullt undertryck).



Figur 5. Ett exempel på hur tryckbilden varierar runt en byggnad [4]. I ruta 1 blåser vinden rakt mot fasaden. Fasaderna i ruta 2 och 4 ligger parallellt med vinden och i ruta 3 visas fasaden som ligger i lä. Siffrorna anger andelen av den maximala vindpåverkan.

Mekanisk brandventilation

Vid mekanisk brandventilation skapas tryckskillnaden med hjälp av fläktar. Beroende på om man använder fläktarna för att blåsa in friskluft eller för att suga ut brandgaser får man övertrycksventilation resp. undertrycksventilation, vilket framgår av figur 6. Eftersom både till- och frånluftsöppningarna är relativt stora, kan det inte byggas upp någon större tryckskillnad mellan brandrummet och omgivningen.



Figur 6. Mekanisk brandventilation [2]. Vid övertrycksventilering (t.v.) används fläktar för att blåsa in friskluft, medan man vid undertrycksventilation (t.h.) använder fläktarna för att suga ut röken.

Den skapade tryckskillnaden är inte beroende av om fläkten är placerad på övertrycks- eller undertryckssidan. Däremot påverkar fläktarnas utformning och placering i öppningen. Fläkten bör inte placeras precis mitt i en öppning, utan någon meter framför, så att så stor del av öppningen som möjligt täcks in av den skapade luftströmmen. En stor mängd luft sugas med, och luftströmmens ejektorverkan utnyttjas maximalt, se figur 7. Givetvis har flätkapaciteten avgörande betydelse. Mobila brandgasfläktar har ofta en kapacitet i storleksordningen $2 \text{ m}^3/\text{s}$, medan de fläktar som rekommenderas för övertrycksventilation har den dubbla kapaciteten.

Övertrycksventilation

Det finns ett antal olika fabrikat att välja mellan vid anskaffandet av fläktar för övertrycksventilering. Även fläktarnas storlek, motoreffekt och övriga prestanda varierar. En av fläktfabrikanterna saluför **fläktar** för räddningstjänsten i fyra storlekar: 18", 21", 24", och 27" [5] (1" = 25.4 mm). De fyra fläktarna återkommer i de följande beräkningsexemplen.

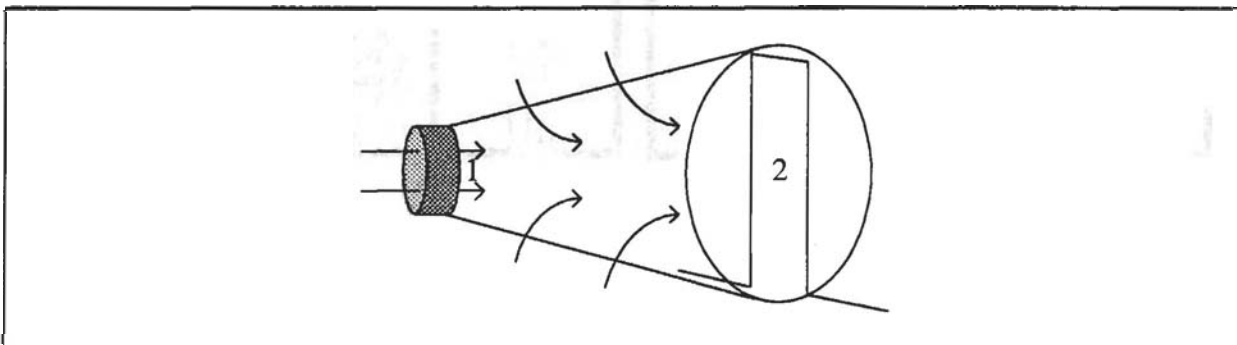
Det uppgivna luftflödet genom 21"-fläkten är 8000 kubikfot per minut, eller $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Flödet för de övriga fläktarna framgår av tabell 3. Med hjälp av fläktens diameter kan fläktarean, och därmed lufthastigheten räknas ut. Lufthastigheten är i storleksordningen 15 - 20 m/s i samtliga fläktar.

Tillverkaren rekommenderar en 18" fläkt för små utrymmen, och en 21" eller 24" för lokaler av normal storlek. Nedan följer en beräkning av det luftflöde och den tryckskillnad fläktarna åstadkommer, placerade framför en normal dörr.

För att kunna utföra beräkningarna krävs att man ställer upp en balansekvation, där man beräknar hur lufthastigheten varierar med avståndet till fläkten, och hur mycket luft som sugas med av ejektorverkan. Ett annat sätt, om man vill göra en överslagsberäkning, är att anta att rörelsemängden bevaras, d.v.s. att rörelsemängden är lika för strömmens tvärsnitt vid fläkten respektive vid dörren, enligt figur 7. Vidare antas att hastigheten är lika över hela strömmens tvärsnitt, i stället för den verkliga gaussiska fördelningen. Detta innebär en underskattning i beräkningarna.

Rörelsemängden kan beräknas som $m \cdot v = V \cdot \rho \cdot v = A \cdot \rho \cdot v^2$, där m är massflödet, v är lufthastigheten, V är luftflödet, ρ är densiteten och A tvärsnittsytan, vilket ger:

$$A_{\text{fläkt}} \cdot \rho \cdot v_{\text{fläkt}}^2 = A_{\text{ström}} \cdot \rho \cdot v_{\text{ström}}^2$$



Figur 7. En stor volym luft sugas med av strömmens ejektorverkan. Rörelsemängden är däremot lika i tvärsnitt 1 (vid fläkten) och 2 (vid dörren) av luftströmmen.

Exempel:

Hur stort övertryck kan skapas med en 21" fläkt placerad framför en normal dörr?

Fläkten placeras så att luftströmmen precis täcker dörröppningen. Vid dörren har strömmen då diametern 2m, vilket ger ytan 3.14m^2 . Om vi förenklar uttrycket ovan, och använder värden för en 21" fläkt ger detta lufthastigheten i strömmen vid dörren:

$$v_{\text{ström}} = v_{\text{fläkt}} \sqrt{\frac{A_{\text{fläkt}}}{A_{\text{ström}}}} = 16.8 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{0.22}{3.14}} = 4.5 \text{ m/s}.$$

Man kan räkna om lufthastigheten till ett statiskt tryck genom att använda sambandet:

$$p = \frac{\rho v^2}{2}, \text{ vilket ger } p = \frac{1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot (4.5 \text{ m/s})^2}{2} = 12.1 \text{ Pa}.$$

En 21" fläkt ger alltså en lufthastighet vid dörren om 4.5 m/s, vilket motsvaras av ett statiskt övertryck om 12.1 Pa. Resultaten från motsvarande beräkningar för de övriga fläktarna återfinns i tabell 3.

Tabell 3. Hur luftflödet och lufthastigheten varierar vid fläkten respektive vid dörren beroende på fläktens storlek, samt hur det bildade övertrycket varierar. Fläkten är placerad så att luftströmmens diameter blir 2 m.

Fläktstorlek	"	18	21	24	27
Fläktarea	m ²	0.16	0.22	0.29	0.37
Luftflöde genom fläkt	m ³ /s	3.1	3.8	4.3	7.4
Lufthastighet vid fläkt	m/s	18.7	16.8	14.9	20.0
Luftflöde genom dörr	m ³ /s	7.7	8.1	8.1	12.4
Lufthastighet vid dörr	m/s	4.3	4.5	4.5	6.9
Skapat övertryck	Pa	10.9	12.1	12.2	28.3

anm.: 1" = 25.4 mm. Det kan synas märkligt att 21"-fläkten ger samma flöde och lufthastighet vid dörren som 24"-fläkten. Orsaken är att de två fläktarna har samma motorstyrka. Dessutom finns brister i tillgängliga indata för beräkningarna, exempelvis fläktarnas dimensioner och flöde.

Exempel:

Hur mycket mindre blir luftflödet om fläkten placeras mitt i en dörr med öppningen $0.9\text{m} \cdot 2.0\text{m}$ jämfört med om fläkten placeras ett par meter framför dörren?

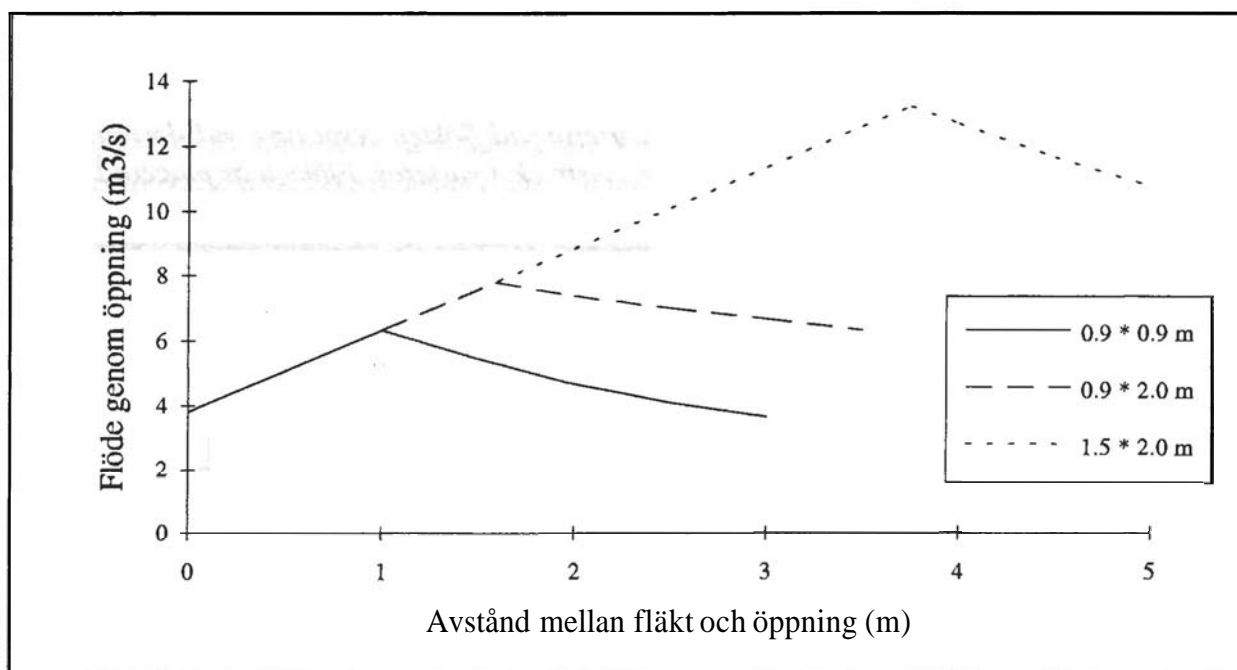
Placeras fläkten mitt i dörren är luftflödet samma som den luft som passerar genom fläkten, eller i vårt fall $3.8\text{m}^3/\text{s}$.

Placeras fläkten ett par meter framför dörren ges flödet av $A \cdot v$, där A är dörrens tvärsnittsytta och v lufthastigheten. Genom dörröppningen blir då flödet $(0.9 \cdot 2.0) \text{ m}^2 \cdot 4.5 \text{ m/s} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Flödet minskar alltså med hälften om fläkten placeras i dörröppningen.

Beräkningsexemplen ovan förutsätter en optimal placering av fläkten. Hur varierar då flödet genom öppningen beroende på fläktens avstånd till öppningen?

Det är luftströmmens konvinkel som bestämmer det optimala avståndet mellan fläkt och öppning. Med utgångspunkt från de tidigare beräkningarna framgår av figur 8 hur avståndet varierar för en 21" fläkt med konvinkeln 10° . Placeras fläkten på ett mindre avstånd än det optimala, så utnyttjas ejektorverkan sämre, och flödet genom dörren minskar. Är avståndet större än det optimala, så minskar flödet eftersom öppningen upptar en mindre andel av luftströmmens tvärsnittsytta.



Figur 8. Exempel på hur flödet genom en öppning varierar med fläktens avstånd för tre öppningar med olika storlek. I exemplet har använts en 21" fläkt, och luftströmmens konvinkel är 10° .

Jämförelse mellan olika system

I tabell 4 visas en sammanfattning av storleken på de tryckskillnader som räknats fram i rapporten. Det övertryck som skapas vid övertrycksventilering är nästan alltid större än vad som kan åstadkommas med hjälp av naturlig ventilation, både termisk och aerodynamisk. Den aerodynamiska tryckskillnaden kan dock bli större vid höga vindhastigheter. Förhindrad termisk expansion kan orsaka stora tryckskillnader, beroende på hur stora läckageöppningar det finns i byggnaden och hur snabbt branden växer.

Undertrycksventilation ger samma tryckskillnad som övertrycksventilation om identiska fläktar används, och de placeras lika i förhållande till öppningen. I båda fallen gäller att man bör placera fläkten så att dörren täcks in av luftstrålen. Vid undertrycksventilation placeras alltså fläkten ett par meter in i rummet och vid övertrycksventilation ett par meter utanför. Med undertrycksventilation är det svårare att åstadkomma en optimal placering av fläkten, då fläkten måste komma upp i brandgaserna för att få bästa verkan.

Fasta installationer för övertrycksventilering ger ett övertryck som motsvarar de mobila systemens, medan vanlig komfortventilation ger en obetydlig tryckökning.

Tabell 4. Jämförelse över hur stora tryckskillnader som kan åstadkommas med olika metoder

System	Tryckskillnad
Termisk brandventilation	0 - 10 Pa
Förhindrad termisk expansion	Upp till tusentals Pa
Aerodynamisk brandventilation	0 - 15 (-240) Pa
Övertrycksventilation	10 - 30 Pa
Fast övertrycksventilation	12 / 25 Pa *
Vanlig ventilation (komfortventilation)	Enstaka Pa

* Enligt NFPAs bestämmelser. Lokaler med resp. utan sprinkler. Takhöjd 3 m,

Hur branden påverkas

Vid en brand krävs bränsle, syre och värme. Vid en ventilationskontrollerad brand finns både bränsle (pyrolysgaser) och värme i överskott, och det är syretillgången som avgör brandens intensitet. Om man startar övertrycksventilering av en ventilationskontrollerad brand, så kommer branden därför att öka kraftigt i omfattning, vilket visas i nedanstående exempel.

Exempel:

Hur stor blir ökningen av brandens intensitet om man startar övertrycksventilering (21" fläkt) vid en brand som är ventilationskontrollerad?

$$\text{Massflödet av syre kan beräknas ur sambandet: } m = \frac{V \cdot \chi_{\text{syre}} \cdot M}{0.0224}$$

I förra kapitlet beräknades flödet genom dörren till 8.1m³/s. Med hjälp av att luftens syreinhåll, χ , är 21% , att syrets molekylvikt M är 32 g/mol samt att molvolymen för gas är 0.0224 m³/mol, kan mängden syre beräknas:

$$m = \frac{8.1 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 0.21 \cdot 32.0 \text{ g} / \text{mol}}{0.0224 \text{ m}^3 / \text{mol}} = 2400 \text{ g syre} / \text{s}$$

Allmänt gäller att för varje gram syre som förbrukas, så frigörs 13.1 kJ energi [6]. Detta innebär att den energimängd som kan frigöras av den extra mängden syre är:

$$Q = 2400 \text{ g/s} \cdot 13.1 \text{ kJ/g} = 32000 \text{ kW}$$

För de andra fläktarna redovisas resultatet från motsvarande beräkningar i tabell 5.

Denna extra effekt skall jämföras med brandens effekt om man inte använder övertryck. Effekten vid en övertänd, ventilationskontrollerad brand kan beräknas till [7]:

$$Q = 1500 A \sqrt{H}$$

där A är öppningens yta och H dess höjd. Med två dörrar med vardera öppningen 0.9m · 2.0m (har räknas frånluftsöppningen också) ger detta en effekt på:

$$Q = 1500 \cdot 2 \cdot (0.9 \cdot 2.0) \sqrt{2.0} \text{ kW} = 7600 \text{ kW}$$

Om man jämför storleksordningen mellan denna och den tidigare beräknade effekten, så finner man att den effekt som möjliggörs med övertrycksventilationen är i storleksordningen fyra gånger större än effekten vid en ventilationskontrollerad brand.

Tabell 5. Hur stor brand som möjliggörs med den extra syretillförseln.

Fläktstorlek	"	18	21	24	27
Möjlig effekt	kW	30000	32000	32000	49000

Exemplet ovan förutsätter att branden är ventilationskontrollerad. Vad kommer att hända om övertrycksventilering i stället startas vid en bränslekontrollerad brand? Nu blir det istället mängden bränsle (pyrolysgaser), som sätter gränsen för hur stor branden kan bli. Övertrycksventilation påverkar mängden pyrolysgaser endast indirekt.

Med ventilationen kommer en stor mängd brandgaser att vädras ut. Detta innebär generellt att mängden brandgaser minskar. Däremot kommer brandgaserna att drivas igenom utrymmet mellan branden och frånluftsöppningen. Det är alltså viktigt att ingen befinner sig mellan brandhärden och frånluftsöppningen. Detta gäller både folk som är inestängda av branden och rökdykarna som skall angripa den.

Strålningen från flammorna påverkas endast i liten utsträckning av ventilationen. Däremot kan flammornas riktning ändras av vinddraget. Är mängden brännbart material större i den nya riktningen, kommer branden att öka i styrka.

Hur en bränslekontrollerad brand påverkas av övertrycksventilering varierar alltså med brandscenariot, och branden kan antingen minska eller öka i intensitet. Påverkan är dock betydligt mindre än för den ventilationskontrollerade branden.

Vid övertrycksventilation drivs oftast brandgaserna ut genom ett fönster eller någon annan öppning i fasaden. Framförallt vid ventilationskontrollerade bränder ökar därför risken för brandspridning om det finns något brännbart ovanför ventilationsöppningen, exempelvis en träfasad. Om det finns fönster, ventiler eller liknande kan också dessa bidra till att branden sprids till andra delar av byggnaden.

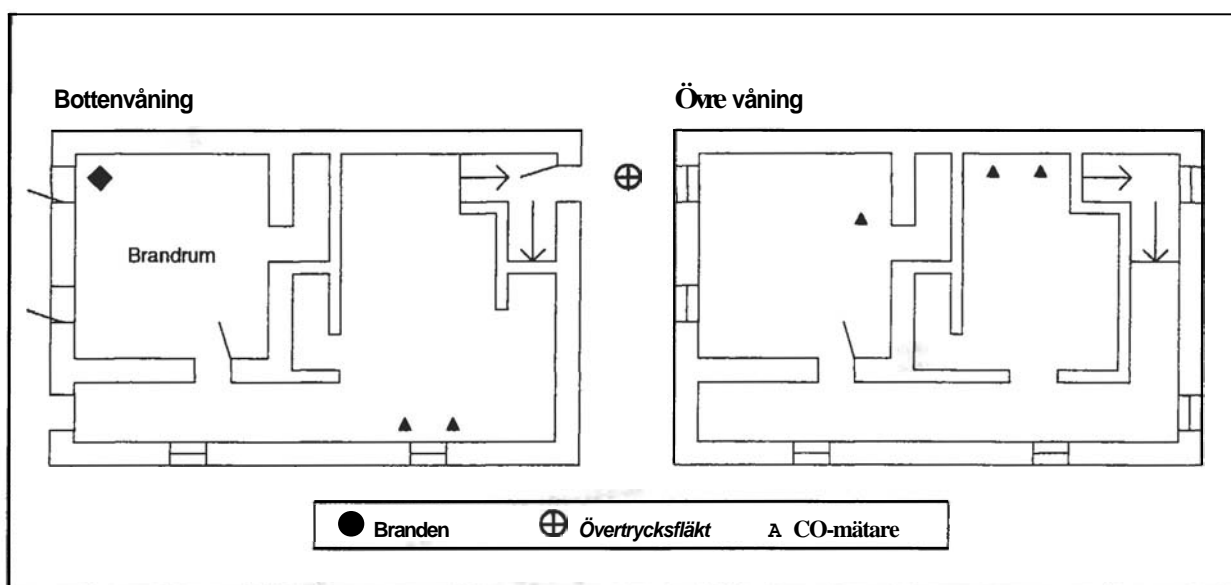
UTVÄRDERING AV INSATSER

Nästan alla försök med övertrycksventilering som beskrivs i olika rapporter redovisar försök som är utförda i små lokaler med tillgång till en kraftig fläkt. Förhållandena är ideala och angreppet sker tidigt i brandförloppet, med relativt låga temperaturer i brandgaserna och liten risk för brandspridning. Det finns några undantag, men de är inte tillräckligt många för att några entydiga slutsatser skall kunna dras. Dessutom är det faktaunderlag som beskriver insatserna genomgående bristfälligt. Så är det snarare regel än undantag att mätningar av exempelvis brandgaslagrets höjd eller temperatur saknas.

Det är värt att notera att samtliga försök som finns beskrivna redovisar exempel där metoden har fungerat. Det kan finnas situationer där insatsen misslyckats just p.g.a. felaktigt tillämpad övertrycksventilation. Om så är fallet har inte varit möjligt att få reda på.

Chapel Hill

I figur 9 visas planritningen för en byggnad där en testserie genomförts [8]. Exemplet är från USA, Chapel Hill, N.C. Fire Department Training Center, och byggnaden är ett rökövningshus i två våningar, jämförbart med dem som finns vid de svenska räddningsskolorna och flera brandförsvär.



Figur 9. Planritning över rökövningshuset i Chapel Hill, bottenvåning och övre våning.

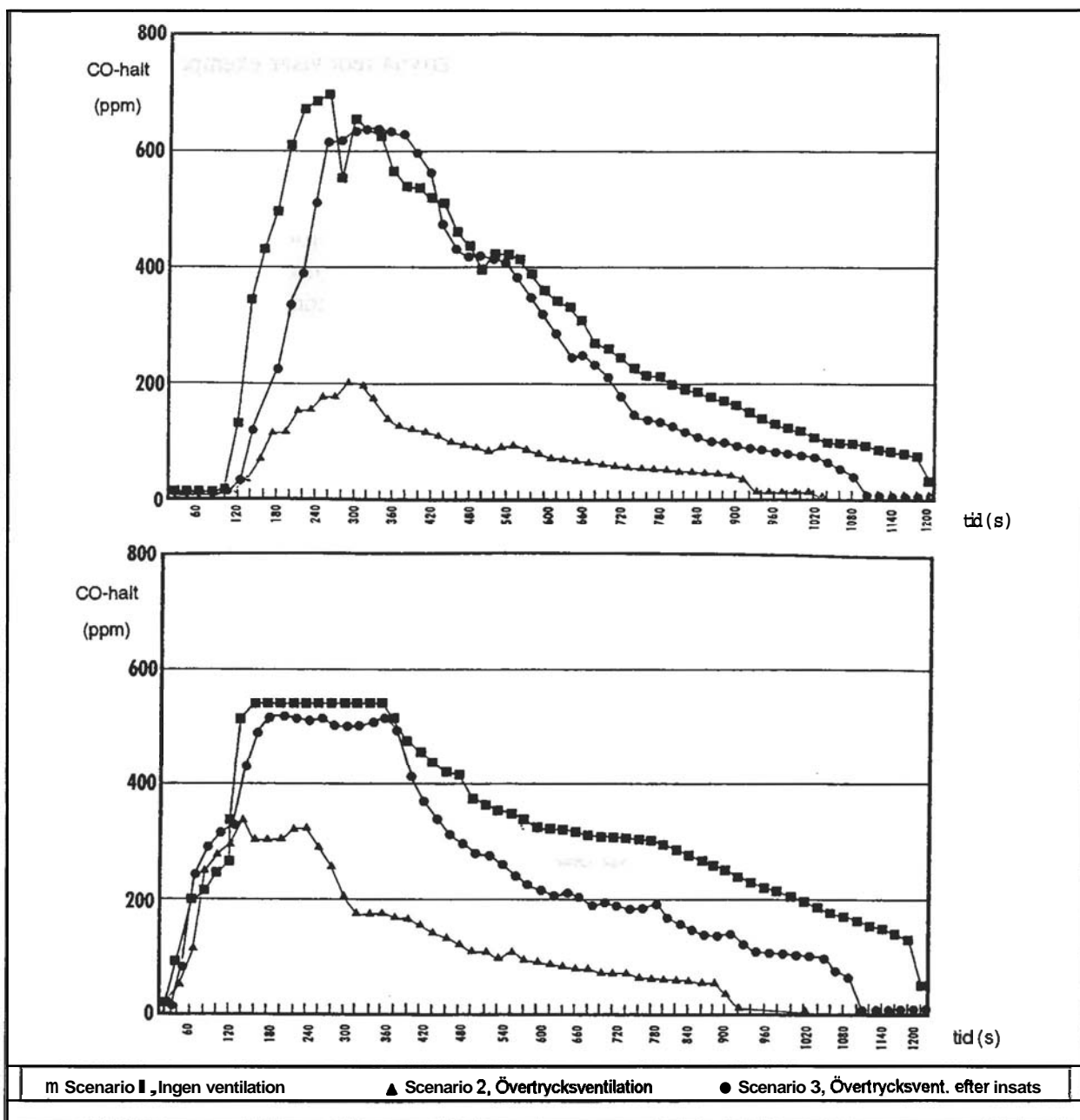
Tre försök finns redovisade:

- 1 Släckinsats med rökdykare, ingen ventilering
- 2 Övertrycksventilering, därefter släckinsats med rökdykare
- 3 Släckinsats med rökdykare, därefter övertrycksventilering

Vid de tre insatserna användes identiska bränder, bestående av en halv halmbal, två liter dieselolja samt fem lastpallar i trä. Hur stor effektutveckling detta motsvarar mättes inte, men i storleksordningen 400 kW är en rimlig uppskattning. Hur länge branden pågått är också

okänd, men insatsen påbörjas 2 minuter efter det att temperaturen i brandrummet nått 500 °F, vilket motsvarar 260 °C.

Vid försöken mättes kolmonoxidhalten, syrehalten och temperaturen på ett antal ställen i byggnaden. Halten kolmonoxid redovisas, bl.a. i figur 10, och man konstaterar att halten kolmonoxid är ungefär lika i två av scenarierna, och avsevärt mindre i scenariot med övertrycksventilering, nr 2 i figuren.



Figur 10. Genomsnittlig kolmonoxidhalt i ppm på bottenvåningen, där brandrummet var beläget (överst) och på övre våningen (nederst) som funktion av tiden i sekunder [8].

Vid försöken konstaterades att eftersom den vanligaste dödsorsaken vid bränder är kolmonoxidförgiftning, så kan övertrycksventilering ge ett bättre insatsresultat. Offren blir utsatta för röken under kortare tid, och brandmannen hittar dem snabbare eftersom sikten förbättras.

Slutsatserna är helt riktiga för detta scenario. Vill man använda metodiken i vidare sammanhang bör man dock konstatera att slutsatserna inte är allmängiltiga:

1. Man har i testbyggnaden mycket goda förutsättningar för övertrycksventilation. Lokalen är utformad så att brandrummet ligger i ena hörnet av byggnaden och ytterdörren i den motsatta änden. Branden är dessutom placerad i omedelbar närhet av ett fönster. Man slipper alltså problematiken med vad som finns mellan branden och frånluftsöppningen.
2. Ventilationen är mycket väl definierad. De enda öppningarna är ytterdörren, där fläkten är placerad, och fönstren i brandrummen, genom vilka röken vädras ut. Alla övriga fönster och ytterdörrar är stängda vilket innebär att luften går en väl definierad väg genom byggnaden. Dessutom öppnas alla dörrar med vindriktningen och man undviker därmed att de blåser igen av vinddraget.
3. Insatstiden är obefintlig då fläktar och annan utrustning finns på plats innan insatsen påbörjas. Detta innebar att tidsförlusten med att rigga upp fläktar och att ordna ventilation inte finns med. Insatsen med övertrycksventilering gynnas därför framför insatsen med endast naturlig ventilation. Försöken kan alltså sägas vara tillrättalagda.
4. Temperaturen är låg. Insatsen påbörjas två minuter efter det att brandgastemperaturen i brandrummet nått 500 °F, vilket motsvarar 260 °C. Risken för Övertändning är alltså liten, då detta kräver en ytterligare lika stor temperaturhöjning, till en temperatur om 500 - 600 °C.
5. Risken för brandspridning är obefintlig. Allt brännbart material (halm och trä med dieselolja för antändningen) är samlat i en hög på golvet i brandrummet. Innertak och väggar är liksom fasaden obrännbar. Effekttutvecklingen är låg, endast i storleksordningen 400 kW.
6. Fläkten är överdimensionerad. För den aktuella byggnadstypen rekommenderar tillverkaren en 18" eller 21" fläkt, men vid försöken användes en 24" fläkt.

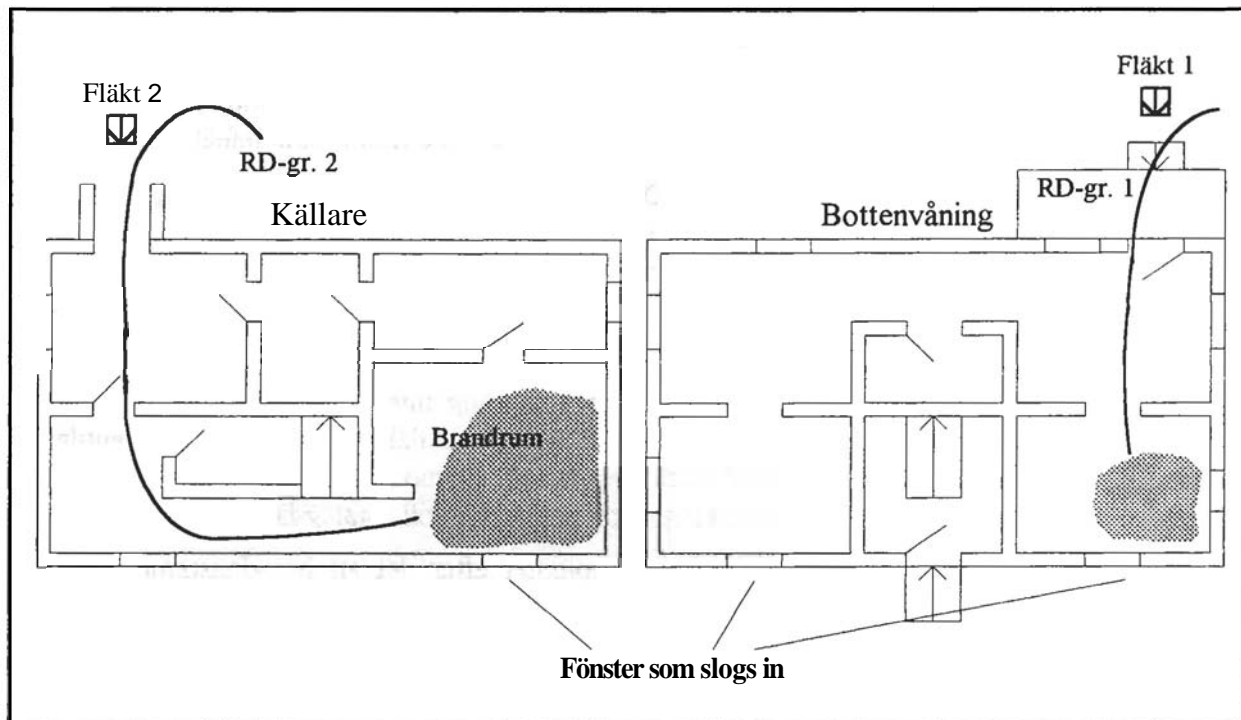
Den generella slutsats man kan dra av försöksserien är alltså endast att om man har ett utrymme som skall ventileras, så går det snabbare om man använder fläkt. Märkligt vore väl annars.

Mallets Bay

Den frivilliga brandkåren i Mallets Bay, Colchester, Vermont, hade övat övertrycksventilering under ett par veckor. Man använde brandstationen som övningsobjekt och ventilerade på alla upptänkliga sätt, och imponerades över hur effektiv metoden var, och hur enkelt den kunde användas. En temporär instruktion för övertrycksventilation fanns dessutom tillgänglig.

Man skulle få användning av tekniken tidigare än väntat [9]. Insatsen började bra. Två poliser, f.d. brandman, var först på platsen och gjorde den första orienteringen: Byggnaden, en tvåvånings villa med källare, var rökfylld men ingen brand syntes, vare sig på första eller andra våning. Samtliga boende i huset hade utrymt, och en brandpost fanns i närheten.

När brandstyrkan, som bestod av två släckbilar, stegbil, räddningsbil, samt ledningsfordon anlände, kom rök ur källarfönster och genom skarvar i träpanelen. En rökdykargrupp trängde in på bottenvåningen, se figur 11. Under tiden ställdes stegbilen upp för att kunna ta håll i taket vid behov, och slackvattentillgången säkrades.



Figur 11. Planritning över villan i Mallets Bay, källare och bottenvåning.

Rökdykargruppen rapporterade tjock rök, men ingen brand. Värme kändes från golvet i ena hörnet av byggnaden. Ytterligare en rökdykargrupp sattes därför in mot källarbranden genom en källardörr. Denna grupp rapporterade att källaren var en veritabel labyrint av vagnar och dörrar och dessutom helt rökfylld. Sikten var noll och värmen ökande.

I detta skede av branden övertogs befälet av vice brandchefen. Vid kåren hade man sedan några veckors tid övat övertrycksventilering. Fläktar beordrades därför fram till de två in-trängningspunkterna, medan fönster krossades på byggnadens motsatta sida. Effekten var nästan omedelbar. Rökdykargruppen i källaren rapporterade att sikten förbättrades snabbt, och att de kunde hitta fram till branden och släcka den. Detta med ett minimum av vattenskador.

Branden var begränsad och resurserna överstarka vid denna insats. Man kunde ju sätta in två rökdykargrupper. Insatsresultatet visar att övertrycksventilering var effektiv. Man bör dock hålla i minnet att det är situationen som avgör vilken teknik som bör användas. Här var det röken som var problemet. Branden var tämligen liten och till en början inte lokaliserad. Dessutom hade brandkåren övat övertrycksventilering under ett par veckor.

Brandon

I en försöksserie från Brandon, Manitoba [10] beskrivs några försök i ett rökövningshus. Försöken var följande:

1. Tre brandmän fick till uppgift att släcka en brand i rökövningshuset. Tiden från antändning till lokalisering och släckning av branden var 6 min.
2. Med samma uppgift då övertrycksventilation användes, reducerades tiden till 3 min 45 s. Vid detta försök rapporterades dessutom starkt förbättrad sikt och minskad värme.
3. I en tredje testomgång användes två brandmän med andningsskydd som skademarkörer. Branden tändes, och efter två minuter startades övertrycksventilationen. Inom 15 s hade så mycket rök försvunnit att rökdykarna kunde gå upprätt. Skademarkörerna kunde se röken röra sig mot öppningen, med en så gott som omedelbar minskning av värmen.

Bortsett från att försöken är på tok för dåligt dokumenterade för att några mer långtgående slutsatser skall kunna dras, kan man göra några konstateranden.

Brandscenariot är något tveksamt. En förbrinntid om två minuter är mycket kort och i normalfallet är det tveksamt om brandkåren ens blivit larmad ännu. På denna korta tid bör branden endast ha hunnit växa till någonstans i storleksordningen några hundra kW om den fått växa fritt. Eftersom man använder ett rökövningshus är det troligt att branden redan hunnit bli bränslekontrollerad. Dessutom är insatstiden obefintlig, vilket innebär att resultatet förändras till övertrycksventilationens fördel. Tiden det tar att plocka fram fläkten och ordna ventilationsöppningar är ju inte inräknad. Man har alltså en extremt snabb insats mot en mycket liten brand utan risk för brandspridning. Dessutom används ett rökövningshus vilket innebär att man har fullständig kontroll över ventilationsöppningar och luftens väg inne i byggnaden.

Försöken kan alltså endast användas för att styrka påståendet att övertrycksventilation fungerar. Riskerna med metoden har däremot undvikits väl i försöken. Frågan om metoden är saker kvarstår därför.

Beltsville

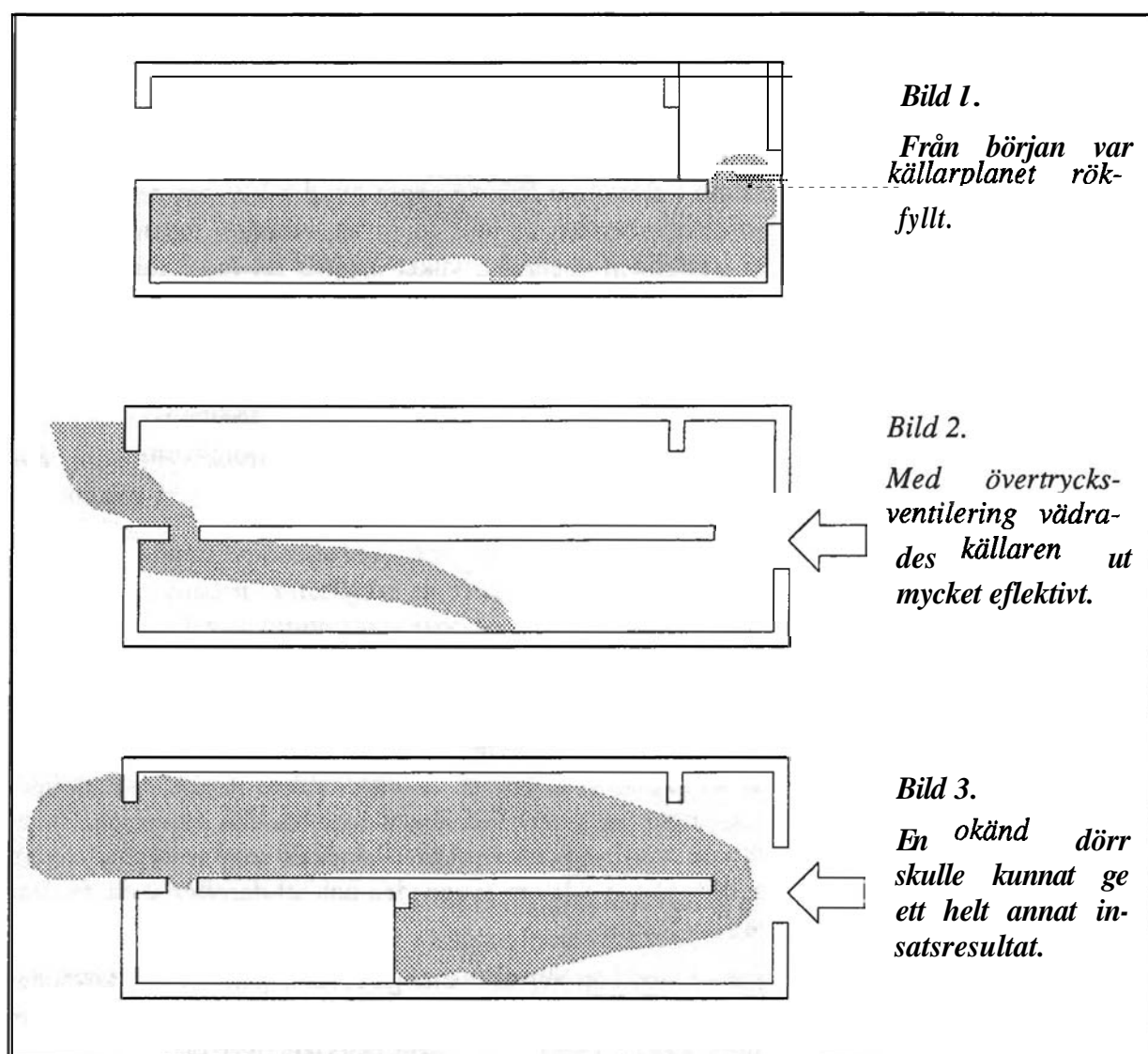
Från Beltsville beskrivs fyra olika situationer där övertrycksventilation använts med framgång [11]. Tyvärr är exemplen dåligt dokumenterade i det tillgängliga materialet.

1. Vid en brand i ett större lager hade man svårighet att vädra ut röken med konventionella metoder när branden var släckt. Efter en timme tillkallades resurser för övertrycksventilation, och efter ytterligare 15 min. var byggnaden rökfri. Tekniken som användes var att stänga alla öppningar utom en dörr på var sida om byggnaden och att därefter sätta den ena sidan under övertryck med hjälp av fläktar.
2. Efter att ha slagit ner en övertänd brand i ett hus där samtliga fönster gått sönder, användes övertrycksventilation för att vädra ut röken. Två fläktar användes, en vid huvudingången och den andra vid köksingången. Röken vädrades ut, men trots att övertrycket blev litet, var metoden effektivare än att använda undertrycksventilation.
3. Vid en övningssituation brändes ett antal radhus, ett i taget. Vid ett tillfälle blev branden så häftig att lågor slog ut från taket. Man befارade att branden blivit okontrollerad och att hela

radhuslängan skulle stryka med, då de var byggda i trä. Övertrycksstyrkan slog på fläkten, på full effekt, och drev ut röken genom taket. Rökdykargruppen hade sedan inga problem att hitta och släcka branden. De rapporterade en mycket liten mängd värme och rök på övervåningen, också när de rev innertaket för att komma åt vindsbranden.

4. Vid en brand i källaren till en galleria gjordes ett inträngningsförsök genom en bakdörr från det fria. Strålföraren hade sikten noll, men kunde både höra branden och känna värmen. Ett hål togs upp i golvet nära huvudentrén och fläktar placerades vid bakdörren, varvid sikten klarnade på några sekunder och branden kunde slackas.

De två första situationerna beskriver hur övertrycksventilering används vid restvärderäddning. Här är riskerna mycket små, och det finns inga invändningar, utan man kan konstatera att övertrycksventilering är ett mycket effektivt sätt att vädra ut brandgaser på.



Figur 12. *Situationen före och efter övertrycksventilation av källarbranden, samt vad som skulle kunnat inträffa.*

I den tredje och fjärde situationen är läget ett annat. Vid branden i radhuslängan används övertrycksventilering vid en kritisk situation som ett sätt att försöka begränsa branden, och man kan konstatera att risken för att branden skulle sprida sig var stor. Här kunde man alltså genom att vädra ut brandgaserna möjliggöra att en rökdykargrupp kunde gå in och släcka branden invändigt. Då insatsen var snabb kunde problematiken med rasrisk undvikas. Brandspridning till grannhusen p.g.a. lågor och rök ut genom taket uteblev. Det framgår inte var frånluftsöppningen var placerad. Om man tagit hål i taket bör man haft god hjälp av den termiska stigningskraften hos röken.

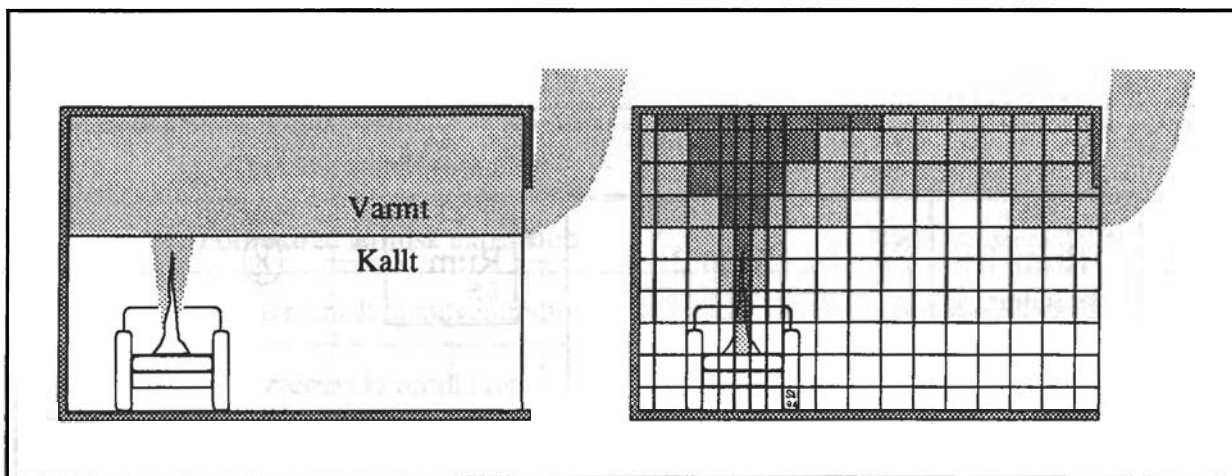
Källarbränder är ett välkänt problem inom räddningstjänsten. Här löstes problemet genom att såga hål i golvet och ventilerade. Oftast är det inte brandspridningen som är det huvudsakliga problemet vid källarbränder, utan ansamlingen av värme och brandgaser. I detta fall fungerade ventilationen bra. En viktig anledning var förmodligen att hålet togs upp i källartaket, och på så sätt utnyttjades rökens termiska stigningskraft. Frågan är vad som skulle inträffat om det fanns ytterligare, okända, öppningar mellan våningsplanen. Dokumentationen är bristfällig, men från början bör situationen ha sett ut något i stil med bild 1 i figur 12. Övertrycksventilering inleddes, med resultat enligt bild 2. Om det hade funnits en dörr mellan branden och ventilationsöppningen hade resultatet blivit helt annorlunda, i värsta fall en total rökfyllnad enligt bild 3.

SIMULERING AV INSATSER

Datormodeller

Det finns flera olika sätt att beräkna vad som händer under ett brandförlopp. Handräkningsmetoder är enkla att använda för att göra en överslagsberäkning av tryck eller gasflöden vid en brand. Om scenariot växer, med fler rum och öppningar, om man lägger till förändringarna som branden skapar o.s.v., måste man ta till en datormodell.

Det finns två olika typer av datormodeller som kan användas för att göra dessa beräkningar, zonmodeller och fältmodeller.



Figur 13. I en tvåzonsmodell delar man in rummet i en zon för det varma rökgaslagret och en zon för friskluften. I fältmodellerna delar man i stället in rummet i tusentals kuber.

I zonmodellerna görs antagandet att man har ett övre, varmt brandgaslager, och ett nedre rumstempererat friskluftslager, se figur 13. Programmet beräknar transport av massa och värme mellan de båda lagren och till de angränsande rummen. Beräkningar görs också av värmeförluster till väggar och tak. I övrigt bygger dessa modeller på samma enkla samband som är grunden till handräkningsformlerna.

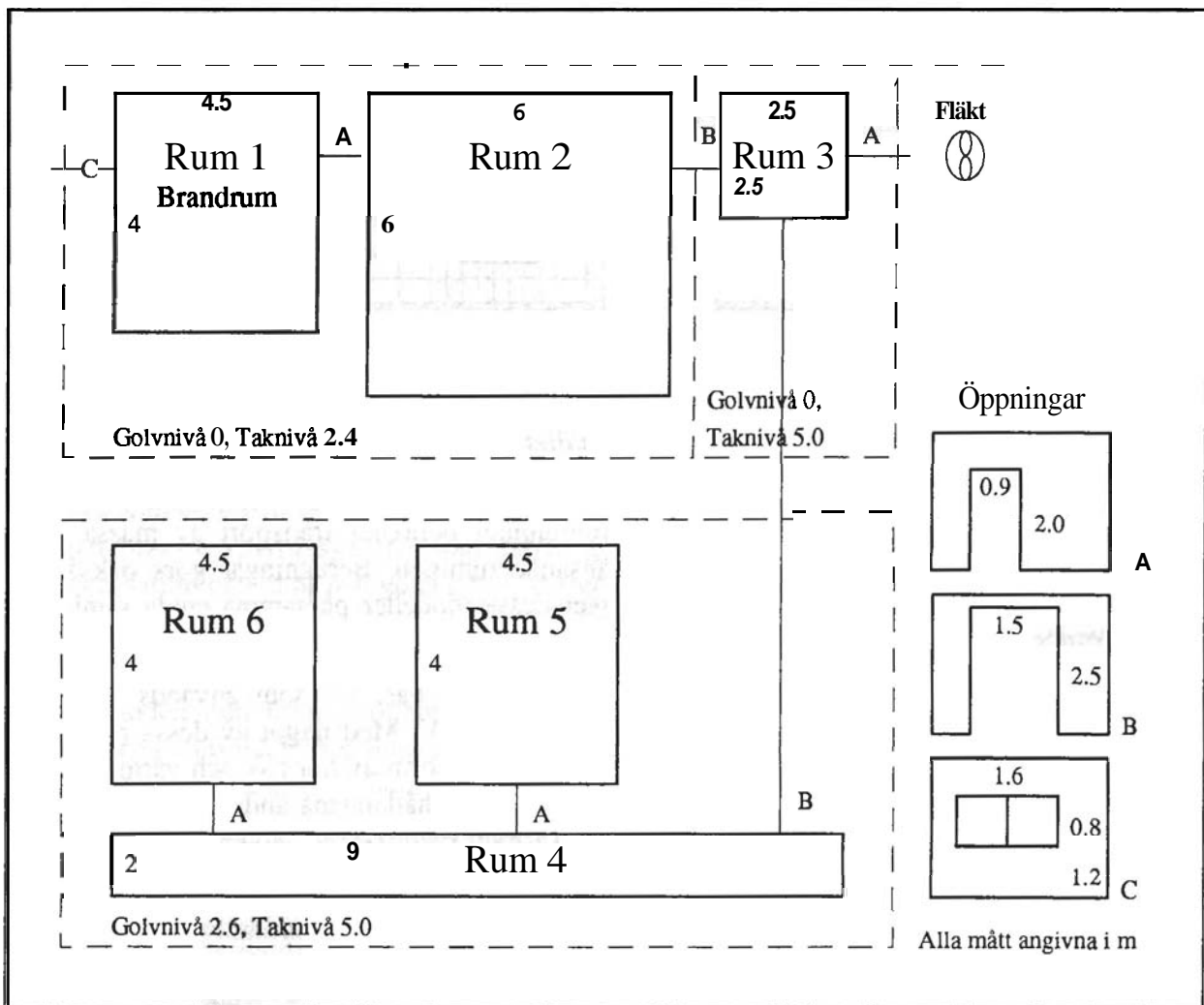
Det finns flera olika datorprogram med zonmodellen som bas. De som används mest är HAZARD I och FPE TOOL. Ett äldre program är DSLAY V. Med något av dessa program kan man göra en enkel simulering av bränder, med resultat i form av hur rök och värme transporteras i byggnaden. I datorprogrammen kan ventilationsförhållandena ändras, och man kan simulera nästan alla typer av ventilation, inklusive övertrycksventilation. Modellerna bygger på empiriska samband och är mycket enkla att använda.

Fältmodeller ger exaktare beräkningar. De bygger inte på några empiriska samband, utan löser i stället de grundläggande ekvationerna för bevarande av massa, energi och rörelsemoment. Ett annat namn är CFD-modeller. CFD står för computational fluid dynamics, vilket är precis vad det hela handlar om: att beräkna flöden av gaser. I stället för att använda empiriska samband, så utgår programmet från grundläggande bevarandesamband som löses för **alla** de tusentals kuber som rummet delats in i. Fältmodellerna har den fördelen att man i nästan obegränsad omfattning kan simulera ventilationsöppningar, fläktar, vindpåverkan m.m. Nackdelen är att de kräver större kunskap av användaren, och kraftfullare datorer.

Chapel Hill

För att demonstrera de möjligheter som finns att göra beräkningar av ventilationens inverkan visas här resultaten från några datorsimuleringar. Eftersom projektets omfattning har varit begränsad skall simuleringarna endast ses som ett smakprov på vilka möjligheter till teoretisk modellering av bränder som datorprogrammen öppnar.

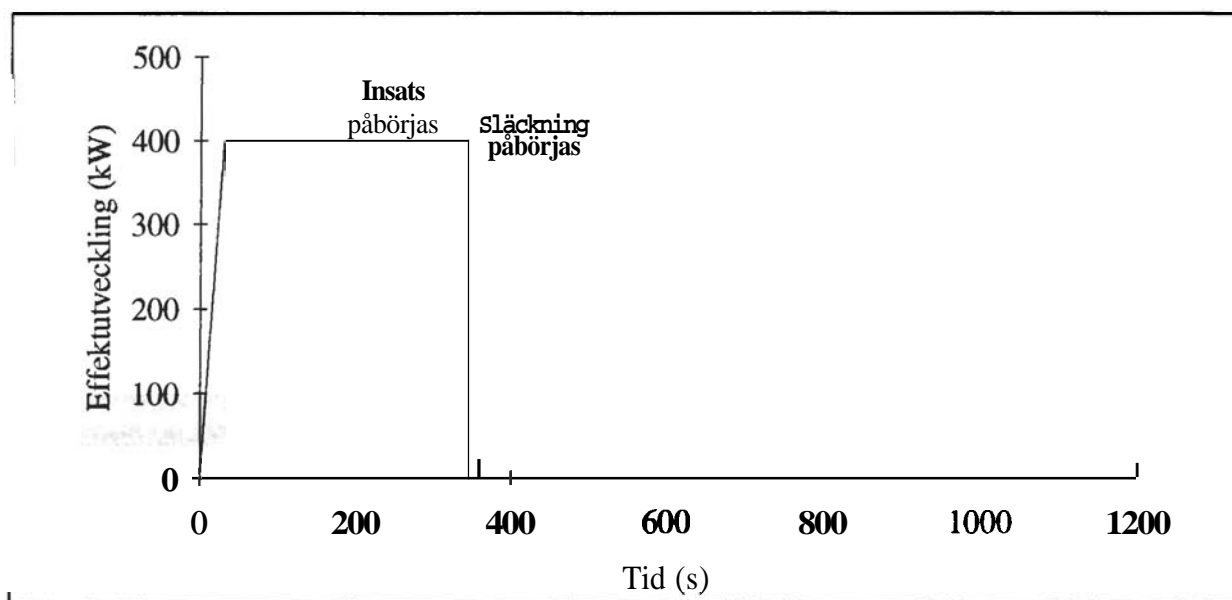
Det program som använts är HAZARD I, version 1.2, och det scenario som valts är en förenkling av rökövningshuset från försöken i Chapel Hill som beskrevs tidigare i rapporten. En ganska verklighetsnära rumsindelning kan användas, och en enkel skiss visas i figur 14. I figuren visas också storleken på de öppningar som använts. Varje våningsplan har en golvyta om 60 m², men övriga sifferuppgifter är uppskattade i brist på dataunderlag.



Figur 14. Skiss över rumsindelning och ventilationsöppningar som använts vid datorsimuleringarna med HAZARD I. Övertryckfläkten placerades vid öppningen A till rum 3.

Branden simulerades enligt figur 15. Branden var mycket liten, med en konstant effektutveckling om 400k W fram till släckning. Tre olika insatser simulerades, motsvarande dem som finns redovisade från fullskaleförsöken:

1. Rökdykarinsats vid tiden 180s. Naturlig ventilation vid tiden 360 s.
2. Rökdykarinsats med övertrycksventilering vid tiden 180s.
3. Rökdykarinsats vid tiden 180s. Övertrycksventilation vid tiden 360s.



Figur 15. Effektutvecklingen för den brand som använts vid simuleringarna.

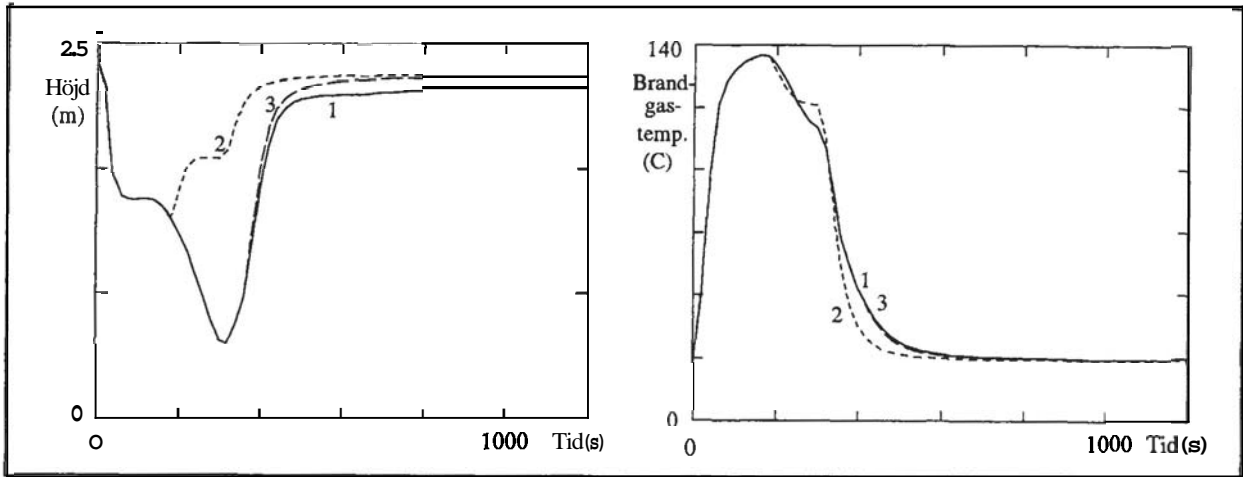
Resultaten från simuleringarna blev ungefär samma som fullskaleförsöken visade, vilket framgår av figurerna på nästa sida. Diagrammen visar brandgaslagrets höjd och temperatur i rum 2 och 5, för de tre scenarierna. Det var i dessa rum som mätningarna av kolmonoxid gjordes vid fullskaleförsöken.

Att jämföra halten kolmonoxid med brandgaslagrets höjd eller temperatur är givetvis omöjligt, men man kan jämföra kurvornas tendenser. (Datormodellen har stora osäkerheter i beräkningen av **CO**-halt, och inga andra parametrar finns redovisade från försöken)

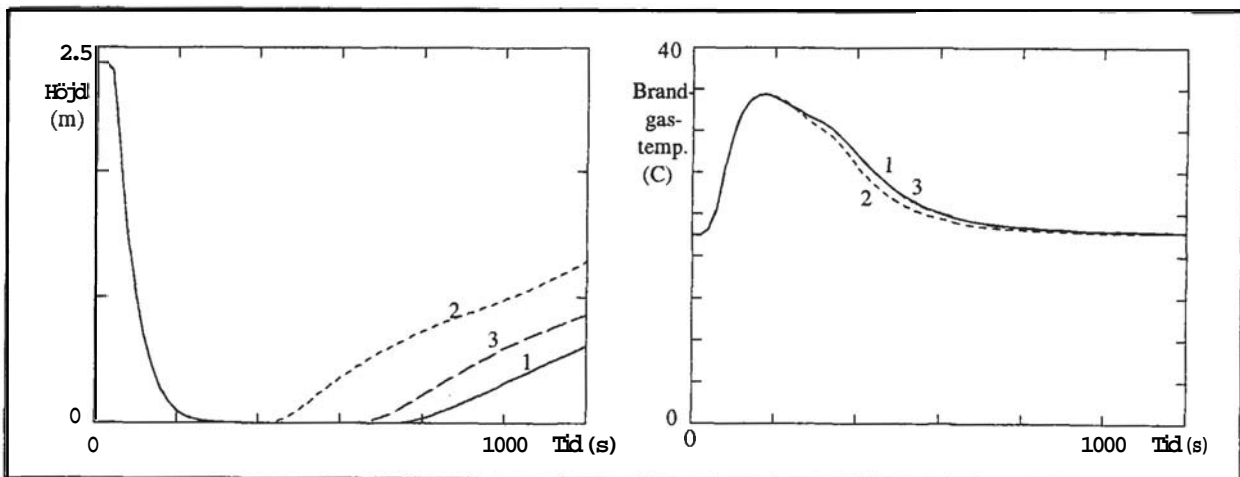
Vad man först kan konstatera är att övertrycksventilationen har en stor inverkan på brandgaslagrets höjd. Med övertrycksventilering i ett tidigt skede höjs rökgaslagret radikalt, och det är förmodligen denna effekt som rökdykarna kände av då de rapporterade en minskad värmebelastning. Skillnad mellan de två andra fallen är inte lika stor, men framför allt på övre plan märks att det går fortare att vädra om man använder en fläkt.

Brandgastemperaturen påverkas inte alls lika mycket, vilket framgår av de högra diagrammen i figur 16 och 17. Detta beror delvis på att datormodellen inte tar hänsyn till den turbulens som fläkten orsakar. En simulering med fältmodell hade tagit hänsyn till denna aspekt.

Om man jämför simuleringens resultat (figur 16 och 17) med resultaten från fullskaleförsöken (figur 10), så finner man att kurvornas tendenser följer varandra, trots att det är olika parametrar som visas. Det finns alltså goda möjligheter att använda datormodeller för att simulera olika brandförlopp med övertrycksventilering som en del av räddningsinsatsen.



Figur 16. Resultat från datorsimulering för de tre scenarierna. Diagrammen visar brandgaslagret höjd respektive temperatur i rum 2 på bottenvåningen, det rum där CO-mätarna var placerade.



Figur 17. Resultat från datorsimulering för de tre scenarierna. Diagrammen visar brandgaslagret höjd respektive temperatur i rum 5, ett av de mindre rummet på övre plan.

TAKTIKEN

Räddningsproblem

Grundläggande vid bedömningen av vilken taktisk grundinriktning (TGI) som skall gälla vid en räddningsinsats, är en analys av situationen. Beträffande övertrycksventilation är det främst två problem som är av intresse: branden och röken. Man kan något förenklat säga att är branden det huvudsakliga problemet, skall man försöka släcka, och är röken huvudproblemet, skall man försöka ventileras. Räddningsledaren måste ta ställning till vilket av de båda problemen som är det viktigaste, och utifrån detta göra den taktiska utformningen av insatsen.

Insatsens syfte

Man bör ha klart för sig att övertrycksventilation inte endast är ett tekniskt begrepp, utan att metoden kan användas som ett medvetet *taktiskt* grepp.

Ett beslut att använda brandventilation bör grundas på den taktiska grundinriktning som räddningsledaren valt för insatsen. Vid bränder är de fyra grundinriktningarna livräddning, begränsning, fördröjning och släckning [12]. En annan situation är då räddningsinsatsen avslutats och restvärderäddning tar vid. Eftersom restvärderäddning inte är räddningstjänst i egentlig mening, används inte begreppet TGI här.

Då insatsens syfte varierar, blir också målsättningen för ventilationen olika mellan olika räddningsinsatser.

TGI: Livräddning

Snabb utvädring av brandgaserna bryter det livshotande laget för personer inestängda i den brinnande byggnaden. Dels minskar koncentrationerna av exempelvis kolmonoxid och andra giftiga ämnen i brandgaserna, dels minskar temperaturen och därmed värmebelastningen. Ventilering kan vara ett sätt att förbättra insatsresultatet då många personer är drabbade, eller då det är svårt att evakuera dem, som exempelvis vid sjukhus och vårdanläggningar eller fängelser. Detta sätt att använda ventilering är utpräglat offensivt, men är inte alltid tillämpligt. Om det är själva branden i stället för brandgaserna som orsakar det livshotande laget, har inte ventilation lika god effekt.

En annan aspekt som hamnar under de livräddande åtgärderna är att man kan hålla utrymningsvägar fria från brandgaser med hjälp av övertrycksventilering, eller se till att inte brandgaser sprids till angränsande lokaler, så att ytterligare personer drabbas. Denna variant är betydligt mer defensiv.

TGI: Begränsning / Fördröjning

Begränsning, men i synnerhet fördröjning är defensiva förhållningssätt. Övertrycksventilation kan ha användas för att skapa och förstärka brandbegränsningslinjer. Finessen är att man bygger upp ett statiskt övertryck i det utrymme man vill skydda. Det är normalt att inte ens brandcellsskiljande väggar är helt röktäta, så därför blir den förstärkande effekten god om man kan ersätta inströmmande rök med utströmmande friskluft. Här skiljer tekniken sig något, då man inte tar upp några frånluftsöppningar. Luftflödet genom byggnaden blir liten, men tryckskillnaden desto större.

TGI: Släckning

Genom att vädra ut brandgaserna, förbättras sikten avsevärt. Det blir därigenom lättare för rökdykarna att orientera sig och att kunna angripa elden, med en utpräglat offensiv insats. Att orienteringsförmågan förbättras har störst betydelse för möjligheten att hitta eventuella glödbränder.

Syretillförseln ökar med övertrycksventilering. Detta innebär - i synnerhet vid ventilationskontroll - att branden kommer att öka i omfattning. Dessutom bör man vara på det klara med att man förändrar flamspridningsvägarna. Beroende på om brandbelastningen är större eller mindre åt det håll man driver branden, kan branden öka eller minska i omfattning. Den största effekten i brandrummet blir dock att värmen minskar och att sikten förbättras, varvid rökdykarna betydligt snabbare kan komma åt att släcka branden.

Restvärderäddning

Normalt följer restvärderäddning när en räddningsinsats avslutats. Ibland löper räddningsinsats och restvärderäddning parallellt, och kan dessutom vara beroende av varandra.

Vid restvärderäddning är varken tidsaspekten eller de taktiska aspekterna lika avgörande som under själva insatsen. Trots detta är det givetvis Önskvärt att arbetet genomförs så bra och effektivt som möjligt. Förmodligen är det här som det finns bäst förutsättningar för övertrycksventilering, då man kan arbeta helt och hållet på tekniknivån och inte behöver ta några taktiska hänsyn till risken för övertändning m.m. Arbetet med att vädra ut brandgaser blir både snabbt och effektivt om övertrycksventilering används.

TEKNIKEN

Kontrollera luftens väg

En grundförutsättning för att få önskat resultat då man använder brandventilation, är att man vet vilken väg luft och brandgaser tar genom byggnaden. Vid undertrycksventilation är frånluftsidan väldefinierad. En okänd öppning i byggnaden kommer då att fungera som tilluftsöppning.

Vid övertrycksventilation är tilluftsidan väldefinierad. En okänd öppning kommer att verka som frånluftsöppning, och kan i värsta fall konkurrera ut de valda öppningarna. Detta innebär att röken leds genom byggnaden i stället för ut ur den.

Det är alltså A och O med fullständig kännedom om tilluftsöppningarna, luftens väg genom byggnaden samt frånluftsöppningarna.

Kontrollera tilluften

Att kontrollera tilluften är den enklaste åtgärden vid övertrycksventilation. Fläkten placeras ett par meter framför öppningen, och genom att se till att dörröppningen täcks in av fläktens luftström utnyttjar man luftströmmens ejektorverkan på bästa sätt.

Normalt placeras fläkten på samma plats som rökdykargruppens baspunkt. På så sätt kan rökdykarna arbeta i friskluft och med vinden i ryggen.

Kontrollera vägen

Att kontrollera luftens väg genom byggnaden kan ställa till större bekymmer. Dels gäller det att välja en väg så att utsläppsöppningen hamnar så nära branden som möjligt, dels gäller det att se till att vägen verkligen finns tillgänglig. Det får t.ex. inte finnas några stängda dörrar eller liknande i vägen. Man bör också hålla i minnet att man kan blåsa igen dörrar med fläkten, om de öppnas mot vindriktningen.

Något som särskilt bör beaktas är vägen mellan branden och frånluftsöppningen. Här finns det risk att branden ökar i omfattning. Eventuella offer som hamnat mellan branden och frånluftsöppningen kan alltså få sämre möjligheter att klara sig.

Det är inte alltid man endast har en brand. Framförallt vid anlagda bränder kan man tänka sig en situation med flera bränder i samma byggnad. Detta kan innebära problem, då övertrycksventilering förutsätter ett väldefinierat scenario. Med flera bränder kan det vara svårt framförallt att välja frånluftsöppning så att vägen från respektive brand blir så kort som möjligt.

Kontrollera frånluften

Frånluften är den kritiska faktorn vid övertrycksventilation. Att välja frånluftsöppning är relativt enkelt. De skall helt enkelt ligga så nära branden som möjligt. Okända öppningar utgör ett större problem. Med ett övertryck i byggnaden kommer alla öppningar, utöver den där fläkten placerats, att verka som frånluftsöppningar: otätheter, ventiler, öppna fönster etc. Är de små kan de kanske försummas, men större öppningar, exempelvis ett öppet takfönster, kan i värsta fall driva ut brandgaserna på fel ställe, genom rum som inte påverkats av branden och förbi instängda personer som kanske klarat sig dittills.

Det är inte endast en fråga om att röken kan ta fel väg, utan man måste också ha klart för sig att övertrycksventilation kan ge en situation med flammor ut genom fönstren. Är fasaden

obrännbar och det inte finns några fönster eller ventilationsöppningar i närheten har det kanske inte så stor betydelse, men annars kan brandspridning via fönstren komma som en otrevlig överraskning.

Tillämpning av tekniken

En fläkt

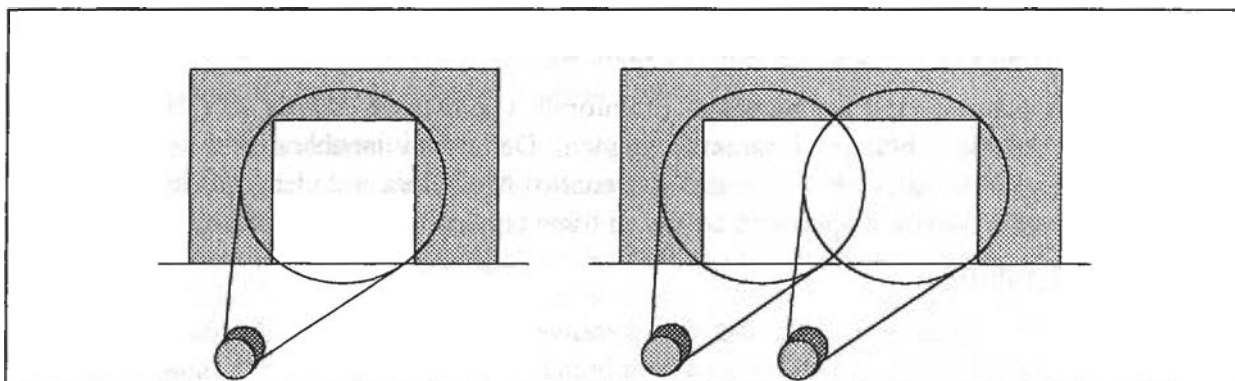
Fläkten placeras så att den täcker in hela tilluftsöppningen med en luftkon. För en normal dörr innebär det att fläkten placeras på marken ca 2 - 3 m framför dörren, och något uppåtriktad. Fläkten och luftströmmens ejektorverkan utnyttjas då maximalt. En annan fördel med denna placering är att det alltså inte finns något som hindrar passage genom öppningen. Egentligen borde en motsvarande placering av fläkten vara önskvärd vid undertrycksventilering också, i stället för att placera fläkten mitt i öppningen som görs på många ställen. En orsak till placeringen i öppningen är att det är enkelt att montera fläkten i karmen och därigenom komma upp i rökgaslagret med fläkten.

En skillnad mellan att placera fläkten på till- resp. frånluftssidan, är att turbulensen är större på fläktens positiva sida. En övertrycksfläkt skapar kraftig turbulens som kan riva sönder och dra med sig ett eventuellt brandgaslager. Med en undertrycksfläkt får man i värsta fall en laminär strömning genom en liten del av utrymmet, medan andra delar lämnas opåverkade.

Parallellkörning

Liksom vanliga vattenpumpar går fläktar att köra både parallellt och i serie.

Vid större öppningar, exempelvis en skjutport, kan man tvingas att sätta två fläktar bredvid varandra för att säkerställa övertrycket över hela dörrpartiet. Med en fördubbling av öppningens storlek, kan man räkna med att tryckökningen blir lika, och att luftflödet blir dubbelt så stort.

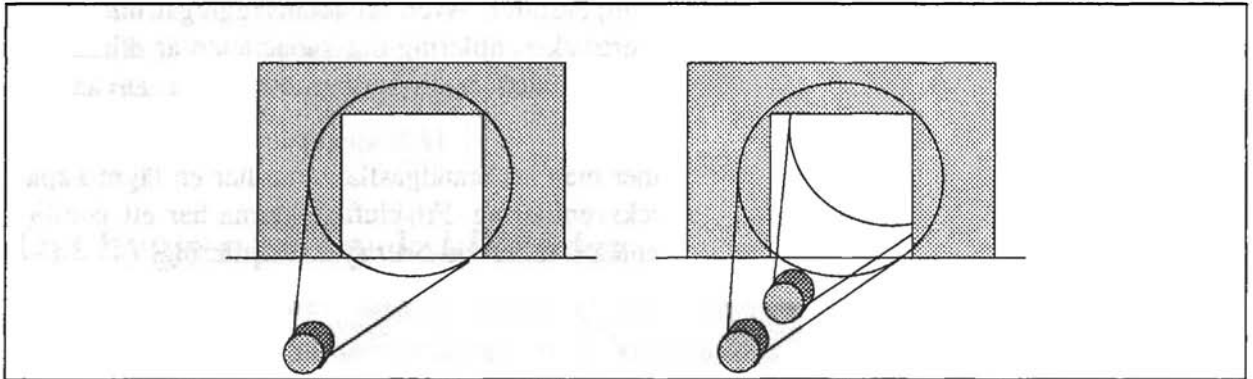


Figur 18. Parallellkörning av fläktar. Ökningen av trycket blir lika, medan luftflödet fördubblas med två fläktar i en dubbelt så stor öppning.

Seriekörning

Om man har en stor lokal, långa korridorer eller höga trapphus kan det vara nödvändigt att köra fläktarna i serie för att skapa en tillräcklig tryckskillnad. Man placerar då en fläkt ungefär

en meter från dörröppningen, och ytterligare en fläkt en bit bakom som täcker hela dörröppningen. Hur tryck och flöde förändras beror mycket på fläktarnas placering. Med två lika fläktar placerade omedelbart efter varandra blir ökningen av trycket dubbelt så stort, medan luftflödet förblir lika. I praktiken är det svårt att åstadkomma en sådan situation, och i stället kommer man att få en ökning av både tryckskillnaden och luftflödet.



Figur 19. Seriekörning av fläktar. Med två lika fläktar placerade omedelbart efter varandra blir ökningen av trycket dubbelt så stort, medan luftflödet förblir lika. Praktiskt kommer dock både flödet och tryckskillnaden att öka, då fläktarna placeras en bit ifrån varandra.

Inte bara bränder

Om man i stället för brand har ett kemikalieutsläpp och i stället för brandgaser en giftig, frätande eller brännbar gas, så är det möjligt att använda samma metoder för ventilering. Är gasen lättare än luft och utsläppet är riktat uppåt blir situationen identisk med den uppåtriktade brandplymen av lätt rök. Vid andra utsläppsscenarioer och för andra gaser blir det fysikaliska beteendet något annorlunda, men principerna och metodiken för ventilering är fullt möjlig att justera och applicera inom ett ganska stort område.

Även utomhus kan fläktar användas, framförallt för att skapa en artificiell vind. Man kan t.ex. tänka sig en trafikolycka med farligt gods, ett mindre gasutsläpp, och fastklämda personer. En fläkt som blåser friskluft mot de skadade kan innebära att det livshotande läget för dessa bryts, och man kan då arbeta lugnt och metodiskt med losstagningen. Exemplet handlar inte om övertrycksventilering, men visar att det finns möjlighet att använda fläktar även i andra situationer.

Dimensionering av fläktar

Flätkapacitet

Insatsresultatet vid övertrycksventilation är starkt beroende av fläktens prestanda, tillsammans med placeringen av fläkten en bit framför öppningen så att ejektorverkan erhålls.

De fläktar som i USA rekommenderas för övertrycksventilation av mindre byggnader har ett flöde i storleksordningen $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Som en jämförelse kan nämnas kapaciteten på några av de fläktar som används inom svensk räddningstjänst idag. Utrustningsnivån och tillgången till fläktar varierar kraftigt, men hos flera räddningskårer ingår en fläkt i standardutrustningen av släckbilar och höjdfordon.

Av de mobila fläktar som används inom räddningstjänsten har brandgasfläktarna normalt en kapacitet i storleksordningen $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Dessa har en konstruktion som tål varma brandgaser. Friskluftsfläktar har ofta en högre kapacitet, i storleksordningen $4 \text{ m}^3/\text{s}$, då de har en lättare konstruktion som inte behöver tåla så höga temperaturer. Även lättskumsaggregat har en inbyggd fläkt som skulle kunna användas vid övertrycksventilering om kapaciteten är tillräcklig. Ett extremfall av övertrycksfläkt är förmodligen den hydrokoftermotor som används i Västerås.

Jämför man flödet hos de olika fläktarna, finner man att brandgasfläktarna har en lägre kapacitet än den som rekommenderas för övertrycksventilering. Friskluftsfläktarna har ett jämförbart luftflöde, och skulle med gott resultat kunna användas vid övertrycksventilering.

SÄKERHETEN

Övertrycksventilera med försiktighet

Vid ventilationskontrollerade bränder

Vid en situation med en ventilationskontrollerad brand, eller vid risk för Övertändning kommer den tillförda luften att ge en kraftig ökning av branden. Skall man trots detta använda övertrycksventilering måste man alltså vara beredd på att möta en brand som kanske tredubblats i effektutveckling, något som visades tidigare i rapporten.

Om det finns folk mellan branden och frånluftsöppningen

Med övertrycksventilation kommer de varma brandgaserna att drivas mot frånluftsöppningen. Om det finns folk - det kan vara både de som drabbats av branden och brandman som skall angripa den - mellan denna öppning och branden kommer personerna att utsättas för en större dos giftiga gaser, rök och värme.

Om ej tilluften - vägen - frånluften kan kontrolleras

För att övertrycksventilering skall fungera krävs att luftflödet är väldefinierat. Man måste känna till både tilluften, luftens väg och frånluften. I synnerhet okända öppningar, exempelvis ett öppet takfönster, kan leda till att rök sprids på ett oönskat sätt.

Under pågående rökdykning

Vid naturlig brandventilation gäller att man inte bör ändra ventilationsförhållanden under pågående rökdykning. Denna regel bör vara tillämplig även vid övertrycksventilation, och orsaken är densamma, nämligen att den ökade lufttillförseln kan ge ett mer intensivt brandförlopp. Givetvis kan rökdykarna behöva öppna eller stänga dörrar inne i byggnaden, men detta bör göras med försiktighet.

Vid risk för dammexplosion

Med övertrycksventilation skapas ett luftflöde in mot branden. I exempelvis snickerier eller kvarnar kan så mycket damm virvlas upp och drivas med luftströmmen att det finns risk för en dammexplosion.

I kombination med fasta släcksystem

Generellt finns det ingen anledning att utnyttja övertrycksventilation vid bränder i byggnader där det finns fasta släcksystem, exempelvis vattensprinkler. Släcksystemen skall vara dimensionerade så att de kan kontrollera situationen, och eventuell ventilation kommer sällan att ge någon positiv effekt. Däremot kan övertrycksventilation vara en bra fortsättning då branden är släckt och brandgaser eller gasformiga släckmedel skall vädras ut.

Sprinkler

Sprinklersystem utnyttjar det faktum att brandplymen stiger mot taket vid en brand. Plymen viker sedan av och följer takkonstruktionen. Sprinklerhuvuden placeras alltid nära taket, och är med andra ord konstruerade för att fånga upp takplymen. Om ett sprinklersystem utlöst och man börjar ventilera, drivs plymen mot frånluftsöppningarna i stället för fortsätta fritt längs taket. Detta innebär att det inte är säkert att fler sprinklerhuvuden kommer att lösa ut, något som skulle kunna leda till att systemet inte kan släcka eller kontrollera branden. Om man venti-

lerar måste man alltså vara beredd att komplettera sprinklersystemet med en manuell släckinsats.

Ett sprinklersystem som utlöst vid brand, ger två effekter på de dittills producerade brandgaserna. För det första kommer de att kylas, och för det andra kommer de att röras runt av vattendropparna. Detta gör att man går från en situation med ett rökgaslager, ett väldefinierat gränsskikt och en zon med friskluft till en situation där hela gasvolymen rörts om till en homogen gasblandning från golv till tak. Sikten kommer att minska från att vara god till att bli i det närmaste obefintlig. Termisk brandventilation fungerar inte i denna situation, då någon temperaturskillnad att tala om inte längre finns. Här krävs alltså mekanisk brandventilation för att driva ut röken.

Gasformiga släcksystem

Om det finns gasformiga släcksystem som löst ut, och man börjar ventilera kommer släcksystemets funktion att spolieras. släckningen bygger ju på inertering, att branden kvävs, och att då tillföra mer syre får motsatt effekt. Däremot kan övertrycksventilering vara ett bra sätt att vädra ut släckmedlet på när man försäkrat sig om att branden slocknat.

Säkerhet för brandmannen

Brandmannens arbetsmiljö, och därmed säkerheten, förbättras avsevärt med övertrycksventilering under vissa förutsättningar.

Vid rökdykning minskas värmestrålningen, då temperaturen ovanför rökdykarna sjunker från i storleksordningen 300-500 °C till normal rumstemperatur. Normalt är det värmen som är avgörande för hur länge en rökdykare orkar arbeta. En drastisk minskning av värmebelastningen innebär följaktligen att rökdykarna är i bättre skick när de är färdiga med insatsen, och får en kortare återställningstid.

Sikten för rökdykarna förbättras vilket ger bättre orienteringsförmåga och därigenom en snabbare insats. Detta bör i normalfallet uppväga den snabbare brandtillväxten i brandrummet som kan uppstå.

Att sikten förbättras ger också bättre möjligheter för rökdykarledaren att ha uppsikt över rökdykarna. Använder man tilluftsöppningen som baspunkt, står dörren på vid gavel och sikten är fri. Rökdykarledaren behöver inte endast förlita sig på radiokontakten, och kan i mindre utrymmen t.o.m. ha ögonkontakt med rökdykarna. Detta bör uppväga att rökdykarledaren tvingas stå i vinddraget av en bullrande fläkt.

Luften, som omger rökdykarna är inte längre lika giftig. Normalt har inte detta någon betydelse, men det innebar att ett fel på andningsskyddet hos en rökdykare inte längre är lika kritiskt (även om det givetvis måste åtgärdas),

Med övertrycksventilering kan dörrar och fönster användas som ventilationsöppningar i större utsträckning än vid naturlig brandventilation. Detta innebär att arbetet med att ta hål i taket ofta kan undvikas, liksom de risker som är förknippade med arbete på hög höjd. Man övergår alltså i ett flertal situationer från horisontella öppningar till vertikala.

Standardrutin är ett måste

Ett av de främsta argumenten mot övertrycksventilering som en taktisk resurs, är att den stjäl dyrbar tid i inledningsskedet av insatsen. Hur stora tidsskillnaderna är framgår inte av de försök som finns tillgängliga, och är alltså ett av de områden som måste studeras vidare.

Man kan däremot konstatera, att om övertrycksventilering skall användas, kan tidsförlusten minimeras med en standardrutin. En standardrutin medför att alla på skadeplatsen vet vad de skall göra i en viss situation, och därmed har möjlighet att arbeta så effektivt som möjligt mot samma mål.

Den standardrutin som används vid brandventilering bör vara:

- Allmänt känd inom kåren
- Nedskriven
- Inövad av samtliga

Man bör så långt möjligt kombinera standardrutinerna för rökdykning med respektive utan övertrycksventilation. Exempelvis bör rökdykargruppens baspunkt vara samma som tilluftsöppningen vid övertrycksventilation. Detta beror både av tekniska skäl (om man övertrycksventilerar bör man inte öppna ytterligare dörrar) och säkerhetsaspekter (ju fler olika standardrutiner, desto svårare är det att komma ihåg dem och att hålla isär dem. Eller, som salig Dumbom uttryckte saken: Ju enklare, ju simplare!).

Utbildning och övning är nödvändig

För både brandman och befäl är det självklart att vid grundutbildningen, och därefter flera gånger om året öva rökdykning. Det finns dessutom reglerat i föreskrifter. På samma sätt bör det vara praxis med en grundläggande utbildning och därefter återkommande övningar i hur man använder ventilation inom räddningstjänsten. Denna utbildning bör ge ett helhetsperspektiv över hur och när olika varianter av brandventilation kan användas för att ge ett bättre insatsresultat. Man bör också få kännedom om de olika metodernas för- och nackdelar, samt metodernas begränsningar.

Det är värt att notera, att även om man anammar övertrycksventilation, så bör man även i framtiden öva rökdykning utan ventilation. Detta inte enbart för att det står i föreskrifterna, utan för att man även fortsättningsvis skall ha vana att arbeta i rök och värme. Det är ju inte vid alla situationer som ventilation kan användas.

Insatsplanering

Även insatsplaneringen kommer att påverkas av nya metoder att ventileras, då en effektiv ventilation förutsätter ett ganska stort mått av objektskännedom. Ett sätt att uppnå denna objektskännedom är genom ett bra underlag i form av insatsplaner m.m. Det vore alltså en fördel om insatsplanerna innehöll information om vilka öppningar som är användbara för till- och frånluft, samt vilka vägar luften kan ta inne i byggnaden.

1881

1881
1882
1883

1884

1885
1886
1887

1888

1889

FRAMTIDA FORSKNINGSBEHOV

Ett helhetsgrepp

Det är i det närmaste självklart att räddningstjänsten tar fram en fläkt och vädrar ut brandgaserna efter exempelvis en lägenhetsbrand. Däremot är det inte alltid man använder den effektivaste metoden, eller ens är medveten om vilken teknik man använder, då röken vädras ut förr eller senare i alla fall. Ibland är undertrycksventilation effektivast och ibland är övertrycksventilation bättre.

Det finns behov av ett helhetsgrepp över området brandventilation, som utreder begreppen naturlig ventilation, undertrycksventilation, övertrycksventilation, sprinkler/brandventilation m.fl. Det behöver redas ut för- och nackdelar med de olika metoderna, i vilka situationer de bör användas och i vilka situationer man bör avstå. Det behövs också en enhetlig och vetenskapligt underbyggd metodik för dimensionering som är anpassad för fältbruk:

Vid Home Office i England pågår ett projekt med syftet att öka kunskapen om brandventilation. En bra grund är deras rapport A Survey of Fire Ventilation [13], som behandlar olika typer av taktisk brandventilation. Det finns också planerat en fortsättning på projektet, bl.a. med datorsimuleringar och fullskaleförsök. Uppenbarligen finns samma kunskapsbehov i både Sverige och England, så ett samarbete skulle kunna vara fruktbart för båda länderna.

Steg 1: Beräkningar

Datorsimuleringar

Ett första steg är att med hjälp av tillgängliga datormodeller studera vilken ventilation som fungerar bäst i olika scenarier. Med tanke på den stora turbulens som skapas då man använder övertrycksventilering bör en fältmodell användas vid beräkningarna. Resultatet bör bli en sammanställning av situationer där olika metoder fungerar eller inte fungerar. Dessutom bör det gå att identifiera ett antal situationer på gränsen, och dessa kan det bli aktuellt att testa i full skala.

Steg 2: Fullskaleförsök

Provbränder

Fullskaleförsök kan behövas för att belysa oklarheter från datorsimuleringarna. Då det endast blir de situationer som ligger på gränsen, kan mängden fullskaleförsök hållas nere.

Insatstid

Hur insatstiden, och i synnerhet angreppstidens del av insatstiden, påverkas av användandet av övertrycksventilering framgår inte av det tillgängliga materialet. Detta är en aspekt som förmodligen studeras lättast experimentellt.

Steg 3: Studier av tillämpning

För- och nackdelar

Något som behöver göras, är en jämförelse mellan olika metoder att ventileras, med deras respektive för- och nackdelar, så att varje metod kan användas där den passar bäst och, framförallt undvikas där den inte passar.

Underlag för dimensionering av brandventilation

Räddningstjänsten är till sin uppbyggnad nästan enbart baserad på erfarenhet. Denna empiriska kunskap är värdefull och, om den används, fullt tillräcklig för att utveckla bästa metodiken vid standardinsatser. Det är dock inte alltid den räcker till för att dra slutsatser om olyckor som ännu inte inträffat, eller som inträffar sällan, exempelvis större industribränder.

Det finns behov av ett underlag för dimensionering av brandventilation i allmänhet och övertrycksventilering i synnerhet. De rekommendationer som finns, angående fläktkapacitet, öppningar o.s.v., är mycket summariska och saknar, vetenskaplig underbyggnad. Med befintliga modeller för att beräkna tryck och flöden skulle ett vetenskapligt underbyggt hjälpmedel för att dimensionera ventilationen kunna tas fram med en relativt måttlig insats.

Steg 4: Utbildning

När begreppen är klargjorda, och metoder för dimensionering finns framtagna för de olika typerna av brandventilation bör detta följas av en utbildningsinsats, exempelvis i stil med skumutbildningen i Räddningsverkets brandmannaskola. Framförallt bör särskild vikt läggas på när man bör och när man inte bör använda de olika metoderna.

En sådan utbildningsinsats kan förebygga risken att det bildas olika skolor inom räddningstjänsten, där några tillämpar "klassisk brandventilation", och några använder övertrycksventilation, i stället för att alla använder den ventilation som är mest effektiv för respektive insats.

REFERENSER

- [1] Tempest Technology Corp., *Fire Attack for the '90's*, Positive Pressure Ventilation, Tempest Training System, USA 1992.
- [2] Brandsjö, K., Brandteknisk handbok, Brandventilation, SBF 1965.
- [3] Taesler, R., Klimatdata for Sverige, 1972.
- [4] Kandola, B.S., *Introduction to Mechanics of fluids*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, ed. DiNenno, P.J., USA 1988.
- [5] Tempest Controlled Airstreams, Tempest Power Blowers, USA, 1992.
- [6] Drysdale, D.D., *An introduction to Fire Dynamics*, J. Wiley & Sons Ltd, 1988
- [7] Walton, W.D. and Thomas, P.T., *Estimating Temperatures in Compartment Fires*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, ed. DiNenno, P.J., USA 1988.
- [8] Hughes, L.D., *Positive-Pressure Ventilation in a Test Setting*, Fire Engineering, (pp 56-59) December 1989.
- [9] Gallas, M., *Positive-Pressure Ventilation on the Fireground*, Fire Engineering, December 1989.
- [10] Richardson, R., P.P.V. *Outcomes, Positive Pressure Ventilation*, Tempest Training System, USA 1992.
- [11] Moltrup, D., *Positive Pressure Ventilation, Positive Pressure Ventilation*, Tempest Training System, USA 1992.
- [12] Räddningsverket, Räddningstaktik, *Påverkan och utformning*, Statens Räddningsverk, 1992.
- [13] Hay, A., *A Survey of Fire Ventilation*, Home Office, Fire Research & Development Group, Pub No 6/94, ISBN 1-85893-193-2, London, 1994.

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-13 50 00, telefax 054-13 56 00. Internet <http://www.srv.se>

Beställningsnummer P21-092/94. Telefax 054-13 56 05