Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

STEFAN SVENSSON

Brandgasventilation

Stefan är disputerad brandingenjör och docent i Brandteknik vid Lunds Universitet. Han har under många år arbetat som lärare vid MSB Revinge men har även varit anställd vid Lunds Universitet och under många år arbetat som deltidsbrandman. Han har skrivit ett flertal böcker, rapporter och artiklar samt bedriver ett omfattande nationellt och internationellt utvecklingsarbete för räddningstjänsten.

Brandgasventilation

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Foto omslag: Åsa Brorsson
Text: Stefan Svensson
Tryck: DanagårdLiTHO
Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB1477 - februari 2020
ISBN: 978-91-7927-000-1

Innehåll

Brandgasventilation – introduktion 9
Mål och syfte med brandgasventilation 9
Håltagning och brandgasventilation 10
Håltagning och ventilation av brandutsatt utrymme 11
Håltagning och ventilation av angränsande utrymmen 12
Håltagning vid brand i en konstruktion, till exempel vägg eller bjälklag 12
Håltagning och ventilation för eftersläckning/ restvärdesräddning 14
Olika sätt att ventilera ut brandgaser 14
Horisontell brandgasventilering 15
Vertikal brandgasventilering 15
Mekanisk brandgasventilering 15
Grundläggande principer 16
Bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad brand 17
Ventilera det brandutsatta utrymmet eller angränsande utrymmen 18
Släcka först eller ventilera först 19

Brandförlopp 21
Brandförloppets fyra faser 21
Det tidiga brandförloppet 22
Övertändning 22
Den fullt utvecklade rumsbranden 23
Avsvalningsfas 26
Brand som omfattar flera rum, stora rum eller en hel byggnad 26
Från bränslekontrollerad till ventilationskontrollerad brand 27

Brandgaser 31
Luft och förbränningsprodukter bildar brandgaser 31
Brandgasernas egenskaper 32
Brandgasers genomsiktlighet 32
Brandgasers brännbarhet 33
Brandgasers giftighet 34
Brandgasers reaktivitet 37
Varma brandgaser 37

Brandgasspridning 39
Grunder för spridning av brandgaser 39
Termisk stigkraft 42
Termisk expansion 44
Produktion av förbränningsprodukter 46
Temperaturskillnader mellan inne- och uteluft 47
Yttre vindförhållanden 52
Komfortventilation 57
Brandgasspridning i praktiken – en helhetsbild 60

Att arbeta med brandgasventilation 69
Storlek på öppningar 69
Frånluftsöppningar 71
Tilluftsöppningar 75
Horisontell brandgasventilering av brandutsatta utrymmen 80
Vertikal brandgasventilering av brandutsatta utrymmen 81
Brandgasventilering av angränsande utrymmen 82
Mekanisk brandgasventilation med fläktar 83
Undertrycksventilation 86
Trycksättning av angränsande lokaler 88
Övertrycksventilation 91

Rökgardin 102
Strålrörsventilation 102

Konstruktionsbränder och brandgasventilation 107
Konstruktionsbrand – brand i dolt utrymme 107
Utvändiga konstruktionsbränder 109
Invändiga konstruktionsbränder 109

Spridning av brand och brandgaser vid konstruktionsbränder 110
Brand i större hålrum 111
Brand i mindre hålrum 112
Håltagning i konstruktioner riskfyllt men ofta nödvändigt 113

Metoder för håltagning vid konstruktionsbränder 114
Verktyg för håltagning av konstruktioner 116
Eldrivna verktyg 116
Förbränningsmotordrivna verktyg 116
Exempel på olika typer av verktyg och deras grundläggande funktioner 116
Specialverktyg 118

Säkerhet vid arbete på hög höjd 121
Fallskyddsanordningar 121
Arbeten på hög höjd 125
Säkring vid arbeten från stege eller höjdfordon 125
Säkring vid arbeten utan höjdfordon 127

Exempel på håltagning i olika konstruktioner 129
Ytterväggar 132
Innerväggar 135
Plåttak på äldre hus 136
Tegeltak 138
Papptak 139
Tak med korrugerad plåt 140
Fasta installationer för brandgasventilation 142

Taktik 149
Att använda resurser effektivt 149
Koordinerade åtgärder 150
Att få kontroll och behålla den 151
Taktiska mönster vid brandgasventilation 152

Exempel på insatssituationer 155
Liten brand i förhållande till lokalens storlek 156
Det tidiga brandförloppet 158
Fullt utvecklad brand 161
Ventilationskontrollerad brand i slutet utrymme 163
Trapphus med varma brandgaser 165
Trapphus med kalla brandgaser 166
Brand i källare 168
Konstruktionsbrand 170

Slutord 175

För vidare läsning 176

Bildförteckning 181

Förord

Den här boken gavs ut första gången år 2000 och baserades redan då på såväl forskning som beprövad erfarenhet. Mycket vatten har runnit under broarna sedan dess och vi sitter idag på en mängd nya forskningsresultat och en stor mängd erfarenhet kring brandgasventilation. Något årtionde sätter sina spår, märkligt vore det väl annars.

I grund och botten har inget förändrats, det är fortfarande branden och dess produktion av värme och förbränningsprodukter som ställer till det i samband med räddningsinsatser, på flera sätt. Men vi har under årens lopp lärt oss att på olika sätt hantera de problem som uppstår. Dessutom har en mängd undersökningar gjorts, nationellt och internationellt.

När jag nu har fått möjlighet att revidera boken, har det kommit att bli en ganska rejäl omstuvning i materialet. Mycket nytt har tillkommit och en del gammalt har plockats bort. Jag har givetvis också mött en hel del ytterst kloka människor under årens lopp, vilka samtliga har bidragit till utvecklingen och vårt ständiga och gemensamma lärande. Detta är således mer än en reviderad version, det är en helt omarbetad och betydligt fylligare upplaga.

Boken handlar om brandgasventilation och alla de åtgärder som kommunernas räddningsstyrkor vidtar vid bränder i byggnader, för att släppa ut värme eller brandgaser till det fria. Framförallt handlar den om vad dessa åtgärder bör baseras på och vilka konsekvenser åtgärderna får. Själva utförandet av åtgärderna behandlas endast översiktligt, eftersom dessa kan utföras på en mängd olika sätt beroende på bland annat byggnaden, brandförloppet och de tillgängliga resurserna. Det är helt enkelt svårt att säga exakt hur brandgasventilation ska gå till.

Boken är i första hand avsedd att användas vid utbildning av räddningstjänstpersonal. Den omfattar grundläggande teorier och principer för brandgasventilation och för hur brandgaser sprids i byggnader och ut ur byggnader. I boken beskrivs också översiktligt hur brandgasventilation kan genomföras praktiskt och vilka problem och möjligheter som finns vid håltagning i olika typer av konstruktioner. Således har en del text om konstruktionsbränder utifrån problematiken med brandgasventilation lagts till. Mot slutet förs ett allmänt resonemang om taktik vid brandgasventilation. Boken avslutas med ett kapitel med några exempel på insatssituationer relaterade till brandgasventilation.

Boken gör inga anspråk på att vara fullständig, dels eftersom en mängd varianter på brandgasventilation förekommer, dels eftersom det ständigt pågår ett lärande. Brandgasventilation är dessutom en tämligen komplex fråga. Jag förutsätter därför att läsaren tar det som jag har skrivit till sig och driver utvecklingen vidare. För den som vill veta mer finns längst bak en ganska omfattande förteckning med rekommenderad litteratur och litteratur som legat till grund för den omarbetade upplagan. Även här har det givetvis tillkommit en hel del i denna version.

Stora bidragsgivare till boken har under årens lopp varit Sören Lundström, Lasse Bengtsson, Magnus Nygren, Lasse Nelson, Steve Kerber, Ed Hartin, Paul Grimwood och John Chubb. Även Bertil Wildt-Persson var tidigt en stor inspirationskälla. Dessutom har alla studenter som under årens lopp ställt en hel del kluriga frågor givetvis bidragit till utvecklingen.

Revinge, 20 februari 2020

Stefan Svensson

Kapitel 1

Brandgasventilation – introduktion

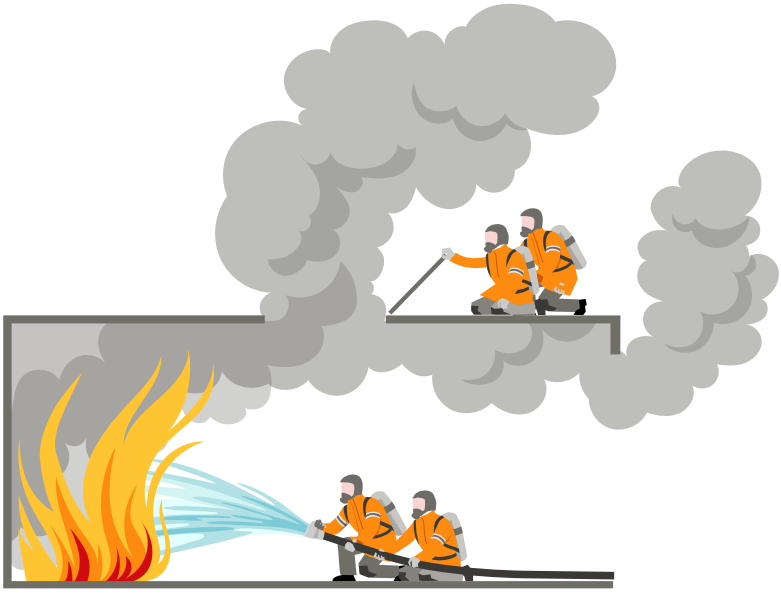
Grundprincipen för brandgasventilation är att aktivt och på ett kontrollerat sätt förändra de förhållanden som råder i en brinnande byggnad, med avsikt att släppa ut brandgaser. Men även ett beslut eller en åtgärd med syfte att inte släppa ut brandgaser kan sägas falla under samlingsbegreppet brandgasventilation. Arbetsmetoderna och insatsens taktiska utformning påverkas av målet med räddningsinsatsen (MMI) och syftet med de åtgärder som avser att påverka brandgaserna i byggnaden. Det handlar om att ha klart för sig vad man vill åstadkomma med brandgasventilation, som en del av hela räddningsinsatsen.

Mål och syfte med brandgasventilation

Det övergripande målet med brandgasventilation kan sägas vara att släppa ut brandgaser eller på annat sätt förändra förhållandena i en brinnande byggnad så att brandgaser strömmar på det sätt vi vill. I de allra flesta fall medför detta då också att luft strömmar in i byggnaden, vilket kan få avsevärda konsekvenser.

Beroende på insatsens utformning och genomförande uppnås olika syften. Vi använder oss av brandgasventilation för att

- minska brandgas- och värmepåverkan på innestängda människor och underlätta utrymning för människor i byggnaden
- underlätta räddningsinsatsen genom att minska värmebelastningen och förbättra sikten i byggnaden för räddningspersonalen
- hindra eller begränsa brand- eller brandgasspridning genom minskad tryck- och värmepåverkan i byggnaden
- möjliggöra eller underlätta restvärdesräddning i ett tidigt skede av räddningsinsatsen.



Brandgasventilation kan ha flera syften, som till exempel att underlätta utrymning och att förbättra arbetsmiljön för räddningspersonal.

Det primära syftet vid brandgasventilation bör generellt vara att minska brandgas- och värmepåverkan på innestängda människor och i synnerhet att underlätta utrymning för människor i byggnaden. Därför blir en primär uppgift för räddningstjänsten att hålla trapphus och andra utrymningsvägar fria från brandgaser. Det gör att människor kan ta sig ut själva, vilket är extra viktigt i byggnader som inrymmer ett större antal människor, t.ex. höghus eller i publika lokaler som biografer, restauranger och idrottsanläggningar. Att bekämpa branden får då vänta.

Man kan även behöva prioritera att säkra utrymningsvägarna framför att undsätta människor i det brandutsatta utrymmet. Att hjälpa många människor att utrymma måste generellt ha en högre prioritet, än att rädda enstaka människor. Samtidigt är ju själva branden orsaken till problemen med brandgaser och det blir en viktig avvägning mellan behovet av olika åtgärder. Tänk också på att utrymningsvägar många gånger även fungerar som inträngningsvägar för räddningstjänsten.

Håltagning och brandgasventilation

I de allra flesta fall använder vi befintliga öppningar för att ventilera ut brandgaser, såsom dörrar, fönster eller luckor. Men ibland finns inte det alternativet. I enstaka fall behöver vi därför utföra håltagning av konstruktioner, t.ex. göra hål i ett tak, om det är möjligt. Avsikten med håltagning är dock oftare att komma åt brand, än att ventilera

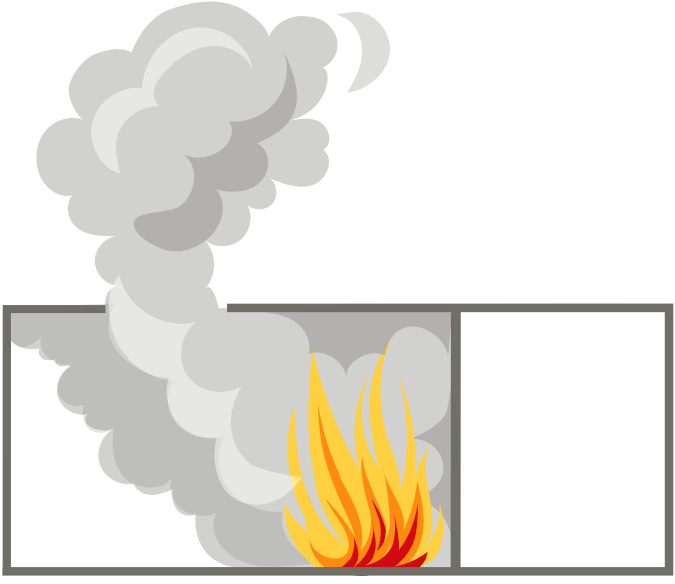
ut brandgaser. Men konsekvensen av håltagning vid brand kan bli att brandgaser strömmar ut och luft strömmar in. Det vill säga en effekt som liknar den vid brandgasventilation.

Ibland används även fläktar för att påverka brandgaserna. Syftet med fläkten kan t.ex. vara att trycka ut brandgaser ur det brinnande utrymmet, men det kan också vara att t.ex. trycksätta ett trapphus så att brandgaserna inte sprider sig dit från ett brinnande utrymme. Tydliggör alltid vid varje insatssituation vilket som är syftet med de åtgärder som vidtas, t.ex. klargör om syftet med att använda fläktar är att trycka ut brandgaser eller om det är för att trycksätta ett utrymme. All personal måste också ha klart för sig vad som händer i byggnaden när brandgaser ventileras ut och luft, som en direkt konsekvens, strömmar in.

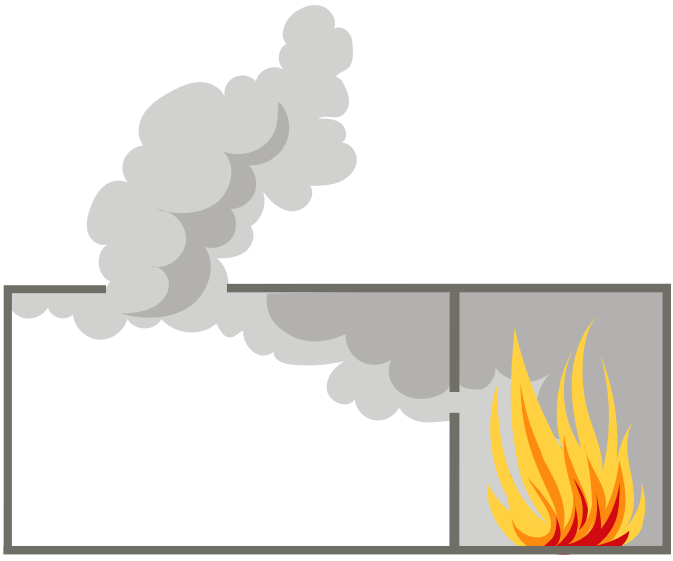
Håltagning kan ske utifrån följande utgångspunkter, som samtliga kan falla under benämningen brandgasventilation:

Håltagning och ventilation av brandutsatt utrymme

Det som normalt förknippas med begreppet brandgasventilation är att aktivt och under kontrollerade former skapar öppningar i det utrymme där det brinner och ventilera ut brandgaser därifrån, t.ex. från en brandcell, ett rum, en byggnad eller ett så kallat dolt utrymme.



Håltagning och ventilation av brandutsatt utrymme.



Håltagning och ventilation av angränsande utrymme.

Håltagning och ventilation av angränsande utrymmen

Håltagning kan också göras i ett angränsande utrymme. Det sker ofta i anslutning till avskiljningar eller tänkta begränsningslinjer. Denna typ av håltagning och brandgasventilation kan fylla minst två funktioner:

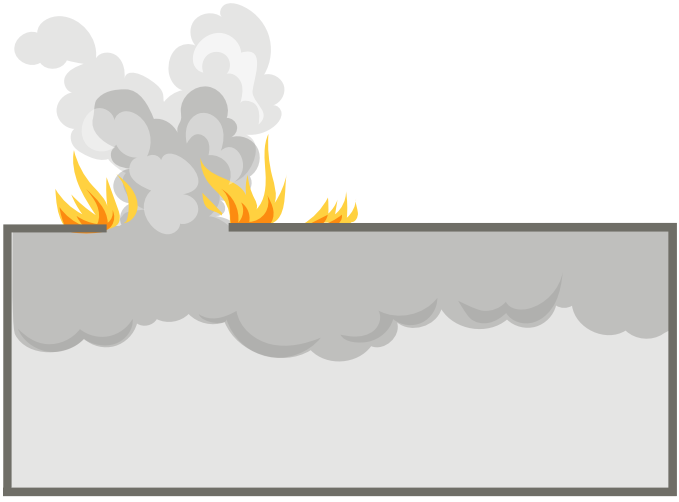
1. att minska värme- och tryckpåverkan på konstruktionen eller det angränsande utrymmet
2. att fysiskt avskilja konstruktionen så att brandspridning inte kan ske.

Man måste från fall till fall avgöra på vilken sida om t.ex. en avskiljning eller tänkt begränsningslinje som den här typen av håltagning bör ske. I vissa situationer kan det vara bäst att ta hål på den brandutsatta sidan, medan det i andra situationer kan vara bättre att göra det på någon annan plats. Det avgörande kan vara byggnadstypen, konstruktionstypen, hur omfattande branden är, hur fort den sprider sig eller vilket utrymme som primärt behöver skyddas från brandgaser.

Håltagning vid brand i en konstruktion, till exempel vägg eller bjälklag

Håltagning kan också behöva göras av en konstruktion som det brinner i, t.ex. inne i en vägg eller i ett bjälklag, en så kallad konstruktionsbrand.

Konstruktionsbränder kan definieras som brand i dolda utrymmen eller i utrymmen med begränsad tillgänglighet, som normalt inte nyttjas



Håltagning för att komma åt brand som spridit sig in i konstruktionen, till exempel i väggar eller bjälklag.

för t.ex. förvaring eller vistelse. I sådana utrymmen finns ofta exponerade brännbara ytor (byggnadsmaterial, installationer eller liknande). Exempel på utrymmen för konstruktionsbränder är

- luftspalter eller andra konstruktionstekniska hålrum inuti byggnadsdelar
- hålrum som uppstått till följd av brand (t.ex. på grund av smält isolering)
- skadedjursorsakade hålrum
- krypvindar
- krypgrunder
- schakt.

Håltagning vid konstruktionsbränder liknar ofta och kan förväxlas med såväl ”håltagning och ventilation av brandutsatt utrymme” som ”håltagning och ventilation av angränsande utrymmen.” Avsikten med håltagning i konstruktioner är dock primärt att komma åt och släcka brand inne i konstruktionen, inte att ventilera ut brandgaser. Men denna håltagning kan ge liknande effekter som när syftet är brandgasventilation, dvs. att värme och brandgaser strömmar ut och luft strömmar in. På grund av ventilationsförhållandena i sådana utrymmen kan konsekvenserna bli oönskade. Den luft som strömmar in till branden kan göra att såväl brand som brandgaser sprider sig snabbt och häftigt.

Håltagning och ventilation för eftersläckning/ restvärdesräddning

Gränsen mellan räddningstjänst och restvärdesräddning är ofta hårfin. Restvärdesräddning påbörjas ofta långt innan räddningsinsatsen avslutas i lagens mening. Restvärdesräddning behandlas dock inte vidare i denna bok. Samtidigt kan de åtgärder för brandgasventilation som vidtas under en räddningsinsats ha stor betydelse för restvärdesräddningen. Ju tidigare vi kan få ut värme och brandgaser, desto mer egendom får vi förutsättningar för att kunna rädda. Men det finns också fall där t.ex. användningen av fläktar har medfört ett ökat behov av restvärdesräddning på grund av att brandgaser har tryckts in i utrymmen som tidigare var oskadade. Att öppna upp dolda utrymmen med syfte att komma åt konstruktionsbränder kan också leda till ökade skador om man är oförsiktig eller om åtgärderna inte genomförs som del av en plan. Oavsett vilken typ av ventilationsåtgärder som vidtas, måste det således ske med viss försiktighet så att det inte åsamkar mer skador än vad själva branden gjort.

Samtliga dessa fyra utgångspunkter faller ofta under samlingsbegreppet brandgasventilation eftersom de i den praktiska verksamheten liknar varandra eller angränsar till varandra på olika sätt. De skiljer sig dock åt stort, bland annat i vad som uppnås med åtgärden och hur brandförloppet påverkas, vilket i sin tur påverkar den fortsatta insatsen. Brandgasventilation bör inte genomföras utan att man har en ganska god uppfattning om vilka konsekvenserna kan bli.

Olika sätt att ventilera ut brandgaser

Brandgasventilation kan utföras på tre olika sätt: horisontellt, vertikalt eller mekaniskt med hjälp av fläktar. Vilket sätt som är lämpligast beror bland annat på hur tilluftsöppningar (öppningar där frisk luft strömmar in), frånluftsöppningar (öppningar där brandgaser strömmar ut) och branden är placerade i förhållande till varandra vad gäller avstånd och höjd. Lämpligast sätt beror också på vilka andra hjälpmedel som används. Var medveten om att de olika sätten att ventilera ger konsekvenser av olika slag.

Horisontell brandgasventilering

Brandgasventileringen är horisontell när frånluftsöppningarna är i samma plan som branden och brandgaserna flödar i sidled. Så kan t.ex. vara fallet vid lägenhetsbränder eller för vissa typer av industribyggnader, där byggnaden endast är i ett plan eller där takfönster och brandventilatorer saknas.

Vertikal brandgasventilering

Brandgasventileringen är vertikal när frånluftsöppningarna är högre upp än branden, och brandgaserna flödar uppåt ut ur byggnaden. Frånluftsöppningarna ska normalt vara placerade så högt som möjligt i byggnaden, för att utnyttja den termiska stigkraften så mycket som möjligt. Som frånluftsöppningar kan t.ex. användas befintliga fönster eller ljusinsläpp eller i förväg inbyggda brandventilatorer. Men ibland kan det även vara nödvändigt att ta hål i taket. Frånluftsöppningar som är högre belägna än branden ger andra flödesförhållanden än då öppningarna är i samma plan som branden, även om branden är i nivå med tilluftsöppningen. Den termiska stigkraften kan utnyttjas bättre vid vertikal brandgasventilering.

Ett specialfall med vertikal brandgasventilering är vid källarbränder. Eftersom källare är under marknivå, kommer ventileringen normalt alltid att ske vertikalt. Dessutom blir ventilationsöppningarna ofta även inträngningsvägar för räddningstjänstens personal. Följaktligen är vi många gånger tvingade att använda en inträngsväg där varma brandgaser strömmar ut, vilket medför en rad risker och problem. Även om det finns flera inträngningsvägar kan det vara svårt att förhindra brandgasspridning via dessa inträngningsvägar, på grund av den termiska stigkraften.

Mekanisk brandgasventilering

Med hjälp av fläktar kan man skapa en mekanisk övertrycksventilering eller undertrycksventilering. Den mekaniska ventileringen måste kombineras med håltagning för till- och frånluft, så att det uppstår en horisontell eller vertikal ventilering.

Fläktar kan även användas för att trycksätta en angränsande lokal (dvs. ett utrymme som inte är brandutsatt). Syftet är då att förhindra eller begränsa spridningen av brandgaser (eller brand) till den angränsande lokalen. Vid sådan trycksättning görs ingen öppning för frånluft, utöver byggnadens normala läckageöppningar, eftersom det är ett tryck i det angränsande utrymmet som eftersträvas.

Gränsdragningen mellan dessa olika sätt är inte alltid helt tydlig eller självklar. I vissa situationer måste vi dessutom kombinera ett eller flera sätt att utföra brandgasventilation.

Grundläggande principer

Brandgasventilation innebär att brandgaser ska ventileras ut, men också att frisk luft strömmar in. Denna tillförsel av luft påverkar normalt branden på så vis att brandens effektutveckling ökar eller att branden sprider sig snabbare. Omvänt innebär detta givetvis också att man i vissa fall kan begränsa ett brandförlopp genom att inte utföra brandgasventilation. Sett över hela förloppet försämrar dock brandgasventilation sällan insatsens resultat, under förutsättning att ventilationsåtgärden sker kontrollerat och koordineras med andra åtgärder, t.ex. släckning. Brandgasventilation kan visserligen förvärra situationen lokalt, men gör det samtidigt möjligt att påverka branden på ett sådant sätt att eventuella problem kan hanteras. Troligtvis uppstår andra och svårare problem om ingen brandgasventilation genomförs. Brandgasventilationen bör dock utföras på rätt sätt, på rätt plats och vid rätt tid och koordineras med andra åtgärder, framförallt släckning. Det måste finnas en plan, där brandgasventilering eventuellt ingår som en del.

> Brandgasventilation bör genomföras så tidigt som möjligt under insatsen och kombineras med släckåtgärder. Avgörande för resultatet av brandgasventilation är i stor utsträckning om branden är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad när åtgärden genomförs.

Att i stället försöka stänga in branden så att den självslocknar fungerar endast i vissa mycket speciella fall och kräver dessutom tålamod, eftersom den typen av åtgärder kan ta lång tid. Men även om det oftast inte är möjligt att kväva branden helt genom att stänga in den, kan det tillfälligt begränsa brandens storlek eller spridningshastighet. Vid inträngning i en byggnad där det brinner, kan det därför ofta vara viktigt att insatspersonalen stänger dörren bakom sig i den mån det går, eller att man på annat sätt har kontroll på vad som sker vid inträngningspunkten. Framförallt bör man vara uppmärksam på hastiga förändringar i flödet av luft eller brandgaser, in i eller ut ur byggnaden.

Bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad brand

Avgörande för resultatet av brandgasventilation kan i huvudsak sägas vara om branden är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad då åtgärden genomförs. En bränslekontrollerad brand styrs huvudsakligen av mängden tillgängligt bränsle, hur bränslet är placerat och bränslets egenskaper. En ventilationskontrollerad brand styrs i huvudsak av hur mycket luft som branden har tillgång till, vilket i praktiken baseras på hur många öppningar som finns (t.ex. dörrar och fönster), hur stora de är och hur de är placerade. Om brandgasventilation kan genomföras tidigt under brandförloppet, dvs. då branden eventuellt fortfarande är bränslekontrollerad, kan detta förhindra eller åtminstone fördröja att branden blir ventilationskontrollerad. Detta är samma sak som att en fullt utvecklad brand eventuellt kan undvikas eller fördröjas. Brandspridning kan enklare förhindras och brandskadorna därmed begränsas bättre. Att påverka branden på detta vis är dock normalt endast möjligt i större lokaler där mängden bränsle är relativt liten i förhållande till utrymmets storlek eller då branden av andra anledningar har full tillgång till luft. Detta är sällan fallet vid t.ex. bostadsbränder och i synnerhet inte vid konstruktionsbränder.

Vid räddningsinsatser i byggnader är branden normalt ventilationskontrollerad. Detta medför ofta att invändig släckning blir svårare att genomföra. T.ex. så kan brandförloppet i slutna utrymmen accelerera våldsamt när brandgasventilationen ger branden tillgång till luft, i synnerhet om branden har pågått under en längre tid i det slutna utrymmet och det råder kraftig ventilationskontroll. Brandeffekten kan öka, brandspridningen bli snabbare, mer brandgaser kan bildas och branden kan bli mycket svårare att få under kontroll. Om branden sprider sig

Lågor som slår ut genom fönster, tyder ofta på att branden är ventilations-kontrollerad.

snabbt, t.ex. till andra utrymmen än startutrymmet, eller övergår till en konstruktionsbrand, kan det bli ännu mycket svårare och mer tidskrävande att släcka branden eller att få den under kontroll. Värmepåverkan blir större både på omslutande konstruktioner och på brandpersonalen. Det alstras också mer brandgaser som kan sprida branden.

Ventilera det brandutsatta utrymmet eller angränsande utrymmen

Att försöka ventilera utrymmen med fullt utvecklad brand kan få avsevärda konsekvenser, inte minst eftersom en fullt utvecklad rumsbrand normalt är ventilationskontrollerad. Eftersom brandgasventilation även medför att mer luft tillförs branden, kan branden öka i storlek och effektutveckling. Det kan därför vara klokt att istället ventilera angränsande utrymmen dit branden inte spridit sig eller där skadorna inte är så stora. Men tänk samtidigt på att brandgasventilation i sig kan sprida såväl brandgaser som brand till nya utrymmen. Det gäller således att ha kontroll på hur och varför brandgaser (och brand) kan spridas. Ibland är det också lämpligt att ventilera ut det brandutsatta utrymmet, t.ex. genom att använda övertrycksventilation (fläktar). Detta behandlas mer utförligt längre fram.

Brandgaser som trycker ut genom springor i byggnaden, tyder ofta på att branden är ventilationskontrollerad.

Särskild försiktighet krävs vid ventilationskontrollerade bränder i mycket stora eller svåråtkomliga utrymmen, t.ex. vid konstruktionsbränder. Framför allt krävs koordinering med övriga åtgärder på skadeplatsen, i synnerhet släckning. Sannolikt ökar branden snabbt i intensitet efter en håltagning. Om luft tillförs en kraftigt ventilationskontrollerad brand kan i värsta fall *backdraft* uppstå. Och om håltagning sker vid konstruktionsbränder, kan den luft som då tillförs bidra till att sprida såväl brandgaser som brand vidare inne i konstruktionen eller i det dolda utrymmet.

Släcka först eller ventilera först

Att på något sätt få släckmedel på en brand, måste alltid övervägas som en första åtgärd. Ibland löser en omedelbar släckning problemet, så att behovet av andra åtgärder minskar. Men det kan också finnas skäl att genomföra en brandgasventilation så snart som möjligt under räddningsinsatsen, i synnerhet för att säkerställa att utrymningsvägar hålls fria från brandgaser. Om brandgasventilation bedöms kunna underlätta utrymning eller släckning, kan det således vara lämpligt att först ventilera innan utrymning eller släckning påbörjas. Oavsett vilket, bör släckmedel alltid finnas tillgängligt då brandgasventilation görs.

Kapitel 2

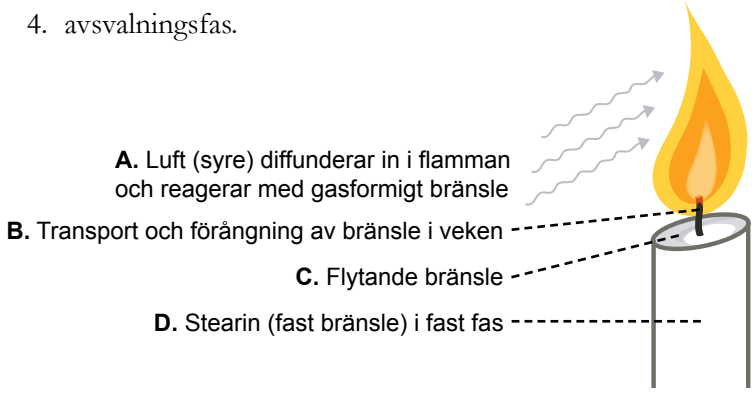
Brandförlopp

För att en brand ska kunna uppstå och fortgå krävs värme, bränsle och luft. Normalt vid bränder i byggnader finns bränslet för sig, t.ex. i form av en TV eller en soffa, och luften för sig (vi bortser från den luft som finns t.ex. i soffans stoppning). Bränslet och luften blandas inte förrän vid själva förbränningen eller strax dessförinnan. Den typ av flamma som då uppstår kallas *diffusionsflamma*. Ett bra exempel på en sådan flamma är lågan i ett vanligt stearinljus. Bränslet (stearinet) smälter, transporteras upp genom veken och förgasas. Luft tränger in mot bränslet från sidorna, dvs. luft från omgivningen och bränsle i form av förgasat stearin diffunderar in i förbränningszonen. Förbränningen sker i kontaktytan mellan bränslet och syret dvs. i *förbränningszonen*.

Brandförloppets fyra faser

En brand i en byggnad eller i ett utrymme kan delas upp i och beskrivas utifrån fyra faser som tillsammans utgör det fullständiga brandförloppet:

1. det tidiga brandförloppet
2. övertändning
3. den fullt utvecklade rumsbranden
4. avsvalningsfas.



Lågan från ett vanligt stearinljus är ett exempel på en diffusionsflamma.

Det tidiga brandförloppet

I det tidiga brandförloppet brinner ett eller ett fåtal föremål, t.ex. en TV eller en soffa (så kallad initialbrand, dvs. den första branden i utrymmet). Brandgaser bildas av branden, stiger uppåt och skapar ett varmt brandgaslager närmast taket. Detta växer i volym och blir allt varmare, efterhand som mer brandgaser tillförs. Denna del av förloppet är relativt lugn och odramatisk. Branden är då bränslekontrollerad, dvs. brandens utveckling styrs huvudsakligen av mängden tillgängligt bränsle och hur det är placerat.

Ofta kan man vistas i utrymmet utan större problem och branden är i de flesta fall relativt enkel att släcka med handbrandsläckare, en filt, matta eller liknande.

Så småningom blir det dock omöjligt att vistas i rummet på grund av brandgaser och värme. Branden och de varma brandgaser som bildas avger värmestrålning till brandens närmaste omgivning och utrymmet i övrigt. Detta medför att branden efterhand ökar i omfattning i en allt mer accelererande process.

Övertändning

När initialbranden vuxit sig tillräckligt stor och rummets tak, väggar, golv och inredning värmts upp så mycket att de kan antändas, kan en så kallad *övertändning* ske. Övertändningen är övergångsskedet mellan det tidiga brandförloppet och den fullt utvecklade branden. I detta skede förändras branden från att omfatta ett eller flera enstaka föremål till att, på några sekunder, omfatta hela utrymmets föremål och ytor. Hela rummet blir omvälvt av flammor. Viktiga förutsättningar för att en övertändning ska ske är dels att det finns en viss minsta mängd brännbart material i rummet, dels att det finns tillräckligt med luft i utrymmet eller att luft tillförs i tillräckligt mängd. I annat fall sker ingen övertändning utan branden minskar snabbt i intensitet och blir ventilationskontrollerad.

I stora lokaler går det normalt heller inte att beskriva förloppet i termer av övertändning. En övertändning kan givetvis ske även i stora lokaler, men på grund av utrymmets karaktär sker det på annat sätt. Förloppet kan snarare likställas med brandspridning mellan föremål. För stora lokaler kan brandspridningshastighet således vara mer relevant. Men även brandgaserna kommer givetvis att spela in.

Under förutsättning att det finns tillräckligt mycket bränsle i rummet bestäms effektutvecklingen från branden i stor utsträckning av förhållandet mellan mängden bränsle och mängden luft.

Vid en fullt utvecklad rumsbrand, kan flammor trycka ut genom öppningar. Branden är då ventilationskontrollerad.

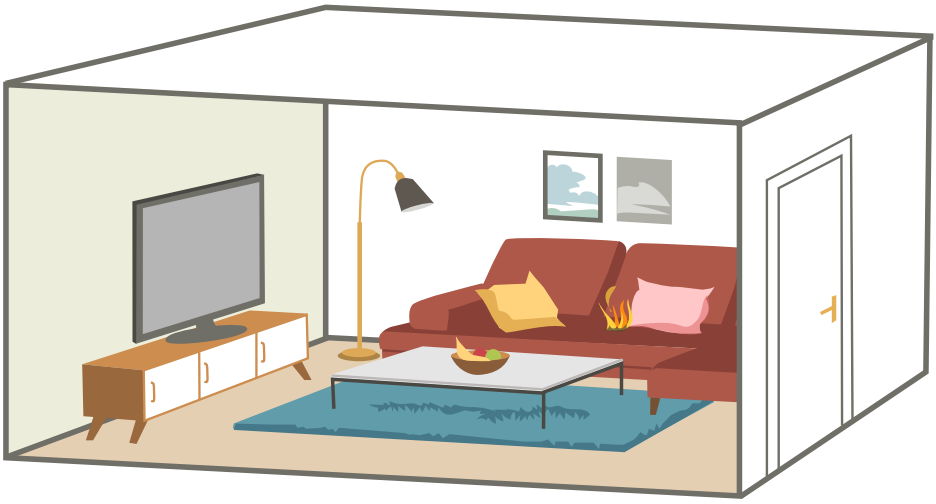
Den fullt utvecklade rumsbranden

Övertändning resulterar normalt i en fullt utvecklad brand. Lågor slår ut genom öppningar och värmepåverkan är kraftig på omgivande konstruktioner, genom såväl strålning som konvektion (värmetransport genom luftrörelser), och ledning (värmetransport inuti material). I detta skede finns en överhängande risk att branden sprider sig till närliggande utrymmen eller byggnader. Brandpåverkan på den omgivande konstruktionen är också kraftig.

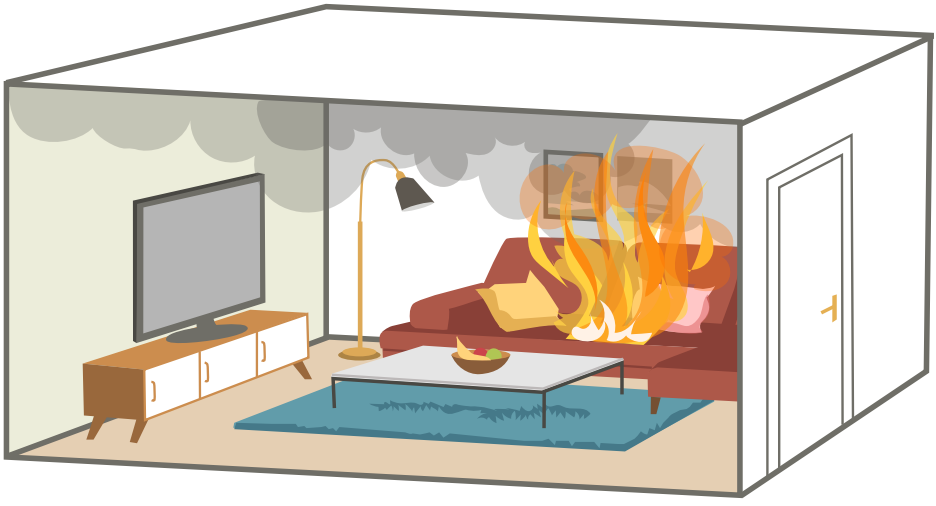
En fullt utvecklad rumsbrand är normalt ventilationskontrollerad, dvs. brandens utveckling styrs i huvudsak av hur mycket luft som branden har tillgång till, vilket i praktiken bygger på antalet, storleken och placeringen av öppningar såsom fönster eller dörrar. Anledningen till att en stor del av flamförbränningen sker utanför utrymmet, är att det inte finns tillräckligt med luft inne i utrymmet.

Övertändningen kan därför också generellt sägas vara övergångsfasen från bränslekontroll till ventilationskontroll.

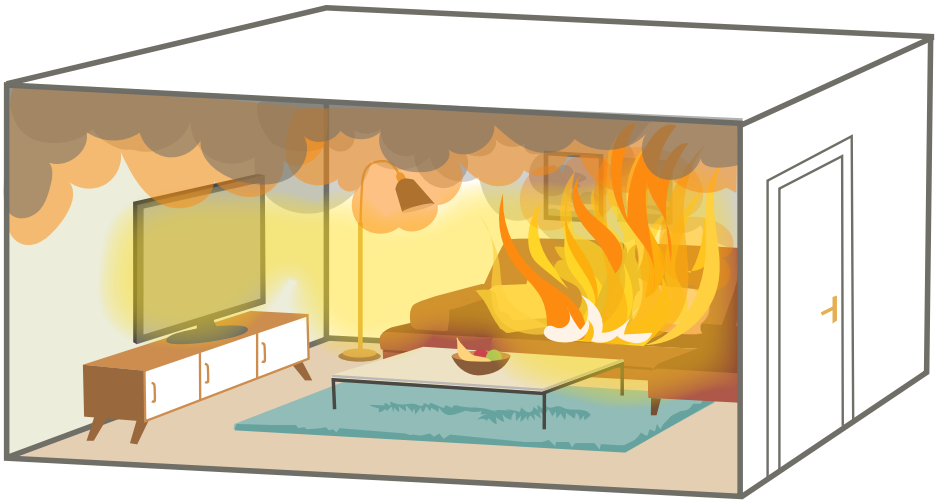
Ett undantag då övertändning inte resulterar i en fullt utvecklad rumsbrand, kan vara om luften i rummet eller i byggnaden tar slut i samband med övertändningen. Då avtar givetvis brandens omfattning och spridningshastighet. Precis som vid en fullt utvecklad rumsbrand, blir branden även i detta fall ventilationskontrollerad men det slår inte ut lågor genom öppningar och branden kan fortfarande vara begränsad till ett eller ett fåtal föremål.



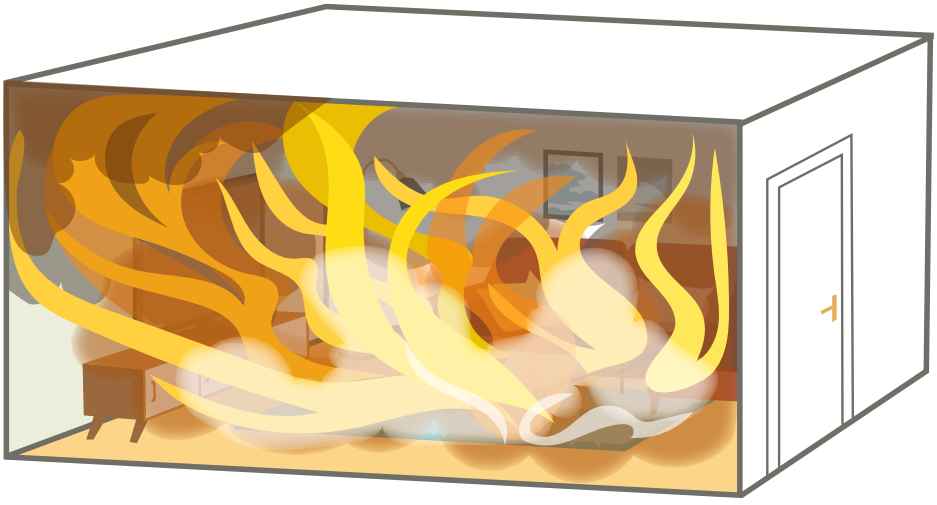
Initialbranden är till en början ofta liten, och den kan vara svår att upptäcka.



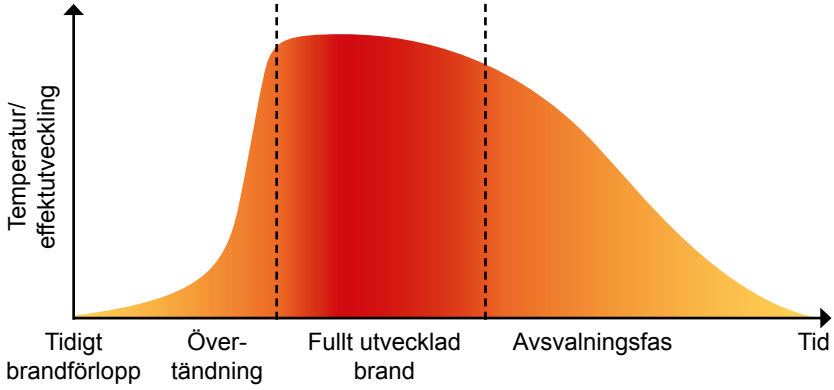
Efterhand som branden växer, bildas mer och mer varma brandgaser som stiger uppåt och fyller rummets övre del.



Efter några minuter kan brandgaserna vara mycket varma och de bidrar då till att rummets väggar och tak samt föremål i rummet värms upp.



Om det finns tillräckligt med luft i rummet, kommer alla föremål i rummet att värmas upp så mycket att hela rummet så småningom kan antändas under en relativt kort period. Denna övergående period kallas övertändning.



Temperaturen/effektutvecklingen under ett fullständigt brandförlopp i ett rum. Observera att figuren inte är skalenlig, i synnerhet inte med avseende på tid.

Avsvalningsfas

När bränslet börjar ta slut avtar branden. Den kommer in i sin avsvalningsfas och temperaturen sjunker så småningom. Branden blir då så småningom bränslekontrollerad igen.

Brand som omfattar flera rum, stora rum eller en hel byggnad

En rumsbrand som sprider sig till flera rum eller till hela byggnaden är mer komplex att beskriva. En sådan brand kan också omfatta stora delar av konstruktionen. I sådana fall går det inte att beskriva branden lika enkelt i fyra faser. I olika delar av byggnaden kan branden också vara i olika faser samtidigt.

En brand i ett stort rum (stor golvarea eller hög takhöjd) går inte heller att beskriva på detta sätt. Om till exemplet bränslet är begränsat till endast en liten del av lokalen, kan branden inte sprida sig lika enkelt. Mängden brandgaser kan bli betydande, men inte nödvändigtvis tillräckligt för att det ska ske en övertändning. I korridorer eller långsmala rum kan också brandspridning och brandens utveckling ske på annat sätt än i ett rum av normala dimensioner.

Backdraft

Den förbänning av oförbrända brandgaser som kan inträffa när luft introduceras i ett utrymme vars syreinnehåll är kraftigt reducerat på grund av branden, men där temperaturen fortfarande är hög. Detta fenomen kan ge upphov till flammor som hastigt och med stor kraft trycker ut ur byggnaden.

Det är många gånger i sådana situationer, när branden påverkar en hel byggnad på olika sätt, som det kan vara viktigt med brandgasventilation. Brandgasventilering av endast ett enstaka rum med ”normala” dimensioner eller av en mindre lägenhet där risken för brandspridning är obefintlig, är sällan ett problem. I alla andra fall är det i synnerhet viktigt att man har goda kunskaper kring hur brand i en byggnad kan utvecklas och spridas, beroende på till exempel byggnadens geometri, olika bränslens egenskaper och hur öppningar påverkar en brand.

Från bränslekontrollerad till ventilationskontrollerad brand

Är det tillräckligt varmt i rummet bildas mer *pyrolysgaser*, dvs. brännbara gaser från fasta föremål, än vad som kan förbrännas (eftersom det saknas tillräckligt med luft). Dessa gaser ansamlas då närmast taket i rummet. Om en dörr öppnas kommer mer luft till branden, mer bränsle kan förbrännas och effektutvecklingen ökar. Under vissa förhållanden kan också de oförbrända gaserna som ansamlats, antändas och brinna, antingen utanför eller i rummet, eller både i och utanför rummet.

En bränslekontrollerad brand brinner med luftöverskott, t.ex. i ett mycket stort rum eller i ett rum med mycket stora öppningar, och har redan tillräckligt med luft. Ytterligare öppningar (t.ex. om en dörr öppnas) kommer inte att öka förbränningen märkbart och därmed inte heller direkt påverka brandens effektutveckling nämnvärt. Däremot kan ytterligare öppningar givetvis påverka branden efter ett tag.

Pyrolys

Vid värmepåverkan sönderdelas brännbara fasta material så att brännbara gaser bildas. Denna kemiska process kallas pyrolys.

I det tidiga brandförloppet är branden normalt bränslekontrollerad, medan den fullt utvecklade branden normalt är ventilationskontrollerad. Överständningen är således övergångsstadiet från bränslekontroll till ventilationskontroll. När branden är ventilationskontrollerad kan det brinna med en begränsad effektutveckling eller med långsam spridningshastighet, något som bestäms av mängden tillgänglig luft. Det som ofta kan ske vid brandgasventilation är att förhållandena förändras så att effektutvecklingen och spridningshastigheten ökar mer eller mindre hastigt.

Det tidiga brandförloppet vid rumsbrand
är branden normalt bränslekontrollerad.

Överständning

Under en rumsbrand kan det inträffa ett stadium där den termiska strålningen från branden, de varma gaserna och de varma omslutningsytorna orsakar att alla brännbara ytor i i brandrummet pyrolyseras och antänds. Detta plötsliga och sammanhangande övergangsstadium av ökande brand kallas överständning.

Det som saknas vid en ventilationskontrollerad brand är ju luft och genom ventilationsåtgärden tillförs den luft som krävs för att branden ska växa och sprida sig. Att med hjälp av brandgasventilation vända förhållandena från ventilationskontroll till bränslekontroll går normalt inte och är således inte att rekommendera.

Utgångspunkten vid insatser mot brand i byggnad bör normalt vara att branden är ventilationskontrollerad, eftersom det är den typ av situation som ställer högst krav på precision i räddningstjänstens åtgärder. Det är vid ventilationskontroll som brandgasventilation kan medföra avsevärda problem, om man inte är medveten om detta och vidtar motåtgärder. Det är med andra ord mycket viktigt att koordinera ventilationsåtgärder med bland annat släckåtgärder, oavsett om det gäller rumsbrand eller konstruktionsbrand och oavsett om det är en stor eller liten byggnad, ett rum eller flera rum som omfattas av branden.

Denna kvalitativa beskrivning av brandförloppet gäller i första hand för ett eller ett fåtal rum, t.ex. vid bostadsbränder. Vid mer komplexa lokaler, t.ex. större publika lokaler, många sammanbyggda brandceller eller motsvarande, kan förloppet och därmed spridningen av brandgaser och brand bli mångfalt mer komplicerat. I sådana fall är det i synnerhet viktigt att ha klart för sig vilka faktorer som påverkar spridningen av brandgaser och hur vi kan påverka detta genom olika typer av ventilationsåtgärder.

Brandgasexplosion

När brandgaser läcker in i utrymmen som angränsar till brandrummet kan de blandas med luft. Denna blandning kan fylla hela eller delar av volymen och ligga inom brännbarhetsområdet. Om blandningen antänds kan tryckökningen bli mycket kraftig. Detta fenomen kallas brandgasexplosion.

Avgörande för resultatet av brandgasventilation kan ofta vara om branden är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad när åtgärden genomförs.

Kapitel 3

Brandgaser

När det brinner bildas alltid brandgaser. De är oftast giftiga, och kan även vara brännbara och reagerar ofta också lätt med olika material och ger följdskador som till exempel korrosion. Detta kapitel handlar om brandgasernas uppbyggnad och egenskaper.

Luft och förbränningsprodukter bildar brandgaser

De brandgaser som bildas vid bränder består av två komponenter:

- luft
- förbränningsprodukter, t.ex. koldioxid och sot.

Den absolut största komponenten utgörs av luft, som värms upp av branden och är relativt opåverkad av de kemiska reaktioner som sker i branden. En del av den luft som finns i byggnaden eller som tillförs byggnaden, kommer dock att delta i och påverka själva förbränningsprocessen.

Den andra komponenten består av förbränningsprodukter som bildas vid branden och blandar sig med luften. Det är t.ex. gaser som koldioxid, kolmonoxid, kväveoxider, svavelväte, vattenånga och cyanväte, men även partiklar i fast form (sot) eller i vätskeform (t.ex. tyngre kolväteföreningar). Denna andra komponent är förhållandevis liten till både vikt och volym, jämfört med den luft som ingår i brandgasen. Brandgasers fysikaliska egenskaper är därför i stort sett desamma som för luft. Därför kan flöden av brandgaser behandlas som ett flöde av uppvärmd luft vid såväl beräkningar som vid taktiska bedömningar av bränder. Strömningsförhållandena påverkas inte ens om brandgasutvecklingen är kraftig, innehåller mycket partiklar och därför har låg genomsiktlighet, eftersom mängden luft som tillförs brandgaserna och värms upp är många gånger större än det övriga innehållet. Det går

dock inte att helt bortse från den massa som tillförs brandgaserna vid förbränning. Detta kommer att belysas närmre längre fram.

Den exakta sammansättningen av brandgaserna bestäms bland annat av de förhållanden som råder vid branden – dels bränslets sammansättning och egenskaper, dels mängden luft som finns tillgänglig för förbränning. Sammansättningen kan således förändras vid brandgasventilation, dvs. när brandens tillgång till luft ändras. Dessutom påverkas brandgasernas sammansättning av temperaturen. Och eftersom temperaturen i ett brandrum påverkas av tillgången till luft (och därmed även av de ventilationsåtgärder som eventuellt vidtas), medför detta att rumsbranden är en mycket komplex process när det gäller vilka ämnen som finns i brandgaserna och hur mycket av dessa ämnen det finns.

Beroende på bland annat förhållandet mellan komponenterna bränsle och luft bildas det således olika förbränningsprodukter och olika mängder av dessa förbränningsprodukter.

Brandgasernas egenskaper

Det finns i huvudsak fem aspekter att ta hänsyn till när det gäller brandgaser:

1. Brandgaser kan vara ogenomsiktliga och begränsar därmed vårt seende.
2. Brandgaser kan vara brännbara, även om de är helt genomsiktliga.
3. Brandgaser är generellt giftiga och påverkar kroppen på såväl kort som lång sikt.
4. Brandgaser kan vara reaktiva och kan då göra att inredning, verktyg eller annan utrustning påverkas och förstörs.
5. Brandgaser kan vara varma.

Brandgasers genomsiktlighet

Den första aspekten, begränsad genomsiktlighet, ger oss den fördelen att vi kan se var brandgaserna finns. Detta kan ge oss vissa ledtrådar exempelvis om var det brinner, hur mycket det brinner eller hur fort det sprider sig. Ibland går det även att visuellt bedöma t.ex. om temperaturen hos brandgaserna är hög eller låg, vilket kräver ett tränat öga. Ibland talas det även om att kunna göra vissa bedömningar utifrån

färgen på brandgaserna. Detta är tämligen komplext, eftersom färgen på brandgaserna påverkas av en mängd faktorer, t.ex. bränslets egenskaper, ventilationsförhållandena och temperaturen.

Nackdelen med begränsad genomsiktlighet är att vi inte kan se igenom brandgaserna. Det kan bli svårt att orientera sig såväl inne i en byggnad som utanför och svårt att hitta saknade människor eller föremål inne i byggnaden. Ett verktyg för att kunna hantera dessa problem är så kallade IR-kameror eller värmekameror. Sådana IR-kameror upptäcker strålning från föremål, inklusive ytor, flammor, sot och (i vissa fall) brandgaser. Kamerorna omsätter detta till en visuell bild på en skärm, vilket ökar vår förmåga att se igenom och orientera oss i brandgaser. Men även IR-kameran har sina begränsningar, t.ex. att den upptäcker såväl direkt strålning som reflekterad strålning. Det gäller då att vara tränad i att kunna tolka bilden på skärmen. Den upptäcker dessutom endast strålning från ytor (men i vissa fall även från brandgaser). Man bör även ha i åtanke att vattenånga blockerar en stor del av den infraröda strålningen, vilket kan påverka den bild som IR-kameran visar.

Brandgasers brännbarhet

Den andra aspekten, brandgasers *brännbarhet*, är något svårare att kvantifiera och avgöra. Förbränningen vid bränder i byggnader är så gott som alltid ofullständig. Det bildas då förbränningsprodukter som är mer eller mindre brännbara och som därmed kan brinna under vissa omständigheter. Dessa förbränningsprodukter utgör en del av brandgaserna och samlas i brandgaslagret. Ett exempel på en sådan brännbar gas som bildas vid rumsbränder är kolmonoxid. Brännbarhetsområdet för kolmonoxid är mellan 11 och 74 procent vid rumstemperatur, men detta intervall ökar vid ökande temperatur. Även inblandningen av de gaser och partiklar som bildas vid rumsbränder påverkar såväl brännbarhetsområdet som antändligheten, vilket gör att brännbarheten hos brandgaser är ytterst komplex. Brännbarheten hos brandgaser låter sig inte heller på ett enkelt sätt likställas med brännbarheten hos en enskild gas.

Den blandning av gaser och partiklar som brandgaser består av kan göra att brännbarheten ökar eller minskar. Vissa typer av partiklar kan t.ex. göra att brännbarheten minskar, eftersom partiklarna fungerar som ett slags ”termisk last”. Men partiklarna kan också göra att brännbarheten ökar, eftersom de kan bidra till att höja temperaturen, att temperaturen förblir hög under längre tid eller att partiklarna i sig själva är brännbara.

Även helt genomsiktliga brandgaser kan vara brännbara. Kolmonoxid är ett exempel på en osynlig men brännbar gas. Eftersom vi inte känner till den exakta sammansättningen av brandgaserna, och därmed inte heller deras exakta egenskaper, är det mycket svårt att avgöra brandgasernas brännbarhet baserat på genomsiktligheten. Då det finns risk för att stora mängder genomsiktliga brandgaser bildats, bör räddningstjänstpersonal använda fullständig skyddsutrustning inklusive andningsapparat samt att det bör finnas direkt tillgång till släckmedel.

Brännbarhet

Ett ämnes brännbarhet beskriver hur brännbart det är, dvs. hur lätt det fattar eld och brinner. Det krävs också en viss minsta mängd luft för att ett ämne ska kunna brinna.

Brandgasers giftighet

Brandgaser är även giftiga och påverkar kroppen på såväl kort som lång sikt. Dessutom kan partiklarna i brandgaserna vara mycket irriterande på ögon, slemhinnor och andningsvägar. De flesta förbränningsprodukter som bildas vid bränder är giftiga, och tillsammans kan det dessutom bli en rad synergieffekter som gör gaserna än mer giftiga.

Toxicitet

Toxicitet (eller giftigheten) beskriver hur giftigt ett visst ämne är. Eftersom brandgaser är en blandning, kan detta förvärra toxiciteten eftersom det då är flera olika ämnen som påverkar.

Exempel på förbränningsprodukter och deras hälsoeffekter

Koldioxid (CO_2) – Är inte akut giftig, men stimulerar andningsfrekvensen och kan därmed bidra till att öka upptaget av andra förbränningsprodukter. Koldioxid tränger även undan luftens syre och påverkar då givetvis kroppen genom att sänka syrgashalten.

Kolmonoxid (CO) – Orsakar syrebrist eftersom blodet tar upp kolmonoxid många gånger lättare än syre. Gasen har därför en akut kvävande effekt.

Kväveoxider (NOx) – Påverkar andningssystemet och misstänks även kunna orsaka cancer.

Vid allt arbete i brandgaser ska andningsskydd användas. Även då det finns risk för att utsättas för brandgaser, bör andningsskydd användas.

Eftersom brandgaser är giftiga, krävs normalt andningsskydd även vid eftersläckning.

Vätehalogenider (Hx) – Är ett samlingsnamn för halogeners (fluor, brom, jod, klor) föreningar med väte. Av dessa ger t.ex. väteklorid (HCl) frätskador på slemhinnor. Vätefluorid (HF) är ett ämne som klassas som mycket giftigt. Dess molekyl är liten och kan lätt ta sig igenom biologiska membran. Hos människor kan kontakt med HF ge allt ifrån irritation av ögon, näsa och hals till svåra frätskador, bröstsmärtor och hjärtstillestånd. Vätecyanid (HCN) är akut giftig och leder snabbt till medvetslöshet, andningsförlamning och död. Det går inte utesluta att HCN är en starkt bidragande orsak till dödsfall vid bränder.

Det har under senare år blivit allt vanligare med batterier, även i våra bostäder. Produkter som förekommer allt mer och som innehåller olika typer av batterier är bland annat mobiltelefoner, surfplattor, elcyklar och bilar. Dessutom har batterilagring av energi från t.ex. solceller gjort sitt intåg. Den typ av batterier som då ofta används är så kallade litium-jonbatterier. Förutom att dessa batterityper är oerhört svårsläckta, bildas det också stora mängder vätecyanid och väteklorid när de brinner, vilket gör brandgaserna ännu mer giftiga och reaktiva än vid vanliga rumsbränder. I skrivande stund finns det inget som tyder på att vi inte skulle få ett fullgott skydd med räddningstjänstens normala skydds-utrustning inklusive andningsapparat, åtminstone kortvarigt. Däremot

bör utrustningen kontrolleras noga om det finns misstanke att den utsatts för den här typen av brandgaser. Eventuellt måste utrustningen kasseras efter exponering, givetvis beroende på dos. Dessutom sker det just nu en tämligen omfattande utveckling av batteriteknik och det kan förväntas att andra typer av batterier dyker upp i våra hushåll, på arbetsplatser och i fordon.

Inte heller brandgasernas giftighet kan avgöras baserat på genomsiktlighet. Luktsinnet kan normalt inte heller användas för att avgöra giftigheten, annat än som möjligtvis en första och tidig indikator på närvaron av brandgaser. Känner man kraftig lukt av brandgaser, bör någon form av andningsskydd användas. Men även mer eller mindre luktfria miljöer kan innehålla en mängd förbränningsprodukter som är direkt ohälsosamma. Även i detta fall är kolmonoxid ett bra exempel på en sådan förbränningsprodukt. Samtidigt är luktsinnet en dålig indikator på brandgasers farlighet, eftersom det är mycket känsligt för vissa lukter och helt okänsligt för andra och ger därmed inte någon rättvisande bild av brandgasers giftighet.

> Brandgasventilation kan påverka brandgasernas sammansättning och egenskaper. Vid taktiska bedömningar måste hänsyn tas till brandgasernas brännbarhet, toxicitet och reaktivitet samt om brandgaserna är varma eller inte.

Skyddsutrustning, inklusive andningsapparater, som exponeras för brandgaser kan kontamineras och bära med sig stora mängder partiklar och gaser som kondenserat på utrustningen. Förbränningsprodukter kan därför komma att spridas genom så kallad korskontaminering. Detta kan t.ex. innebära att skadliga produkter sprids från vår utrustning via fordonshytter vidare till våra privata kläder och in i våra bostäder. Det är därför viktigt att ha rutiner för att ta hand om kontaminerad utrustning redan på skadeplatsen i direkt anslutning till att insatsen avslutas och att den transporteras på ett säkert sätt till rengöring.

Brandgasers reaktivitet

Slutligen är brandgaser många gånger också *reaktiva* och kan bidra till korrosion på olika typer av utrustning, skador som eventuellt inte uppkommer förrän efter relativt lång tid. Ett exempel på en *korrosiv* förbränningsprodukt är väteklorid (HCl), som bildar saltsyra när det löses i vatten. Ett annat är svaveldioxid (SO_2), som vid kontakt med vatten bildar svavelsyrlighet. Båda dessa produkter kan medföra stora skador och långvariga driftstopp vid t.ex. industriella processer.

De allra flesta av de förbränningsprodukter som brandgaser utgörs av påverkar på flera olika sätt samtidigt. Det är således viktigt att inte utsätta räddningstjänstpersonalen för dessa produkter, och att det finns skyddsutrustning när det behövs. Det är även viktigt att försöka få bort brandgaserna från byggnaden så fort som möjligt, genom olika brandgasventilationsåtgärder, så att såväl saknade människor som utrustning exponeras så lite som möjligt. Såsom tidigare nämnts bör en av de primära uppgifterna för räddningstjänsten vara att trygga byggnaders utrymningsvägar vid brand.

Reaktivitet

Ämnen som lätt reagerar med andra ämnen sägs ha hög reaktivitet. Eftersom brandgaser är en blandning, kan detta öka reaktiviteten då flera olika ämnen påverkar.

Varma brandgaser

Brandgaser kan givetvis vara varma, vilket påverkar på en mängd olika sätt. Dels ger det oss de grundläggande mekanismerna för brandspridning, främst termisk stigkraft men även termisk expansion. Dels kan varma brandgaser orsaka skador på såväl byggnadskonstruktioner som inredning.

Men varma brandgaser kan också medverka till brandspridning, även på stora avstånd från branden. Värmen i brandgaserna är också en starkt bidragande orsak till bland annat övertändning i rum, inte minst genom strålning från brandgaserna mot ytor och föremål i rummet.

Flera av dessa egenskaperna relaterade till varma brandgaser och brangasers energiinnehåll diskuteras mer ingående på andra platser i boken.

Kapitel 4

Brandgasspridning

Flöden av brandgaser sker från högre tryck till lägre. Det är då storleksskillnaden mellan det högre och det lägre trycket som bestämmer hur stort flödet av brandgaser är och hur fort detta flöde sker. Normalt uppstår endast ganska små tryckskillnader vid bränder, med något undantag. Dessutom strävar eventuella tryckskillnader efter att jämnas ut, vilket också bidrar till att tryckskillnaderna normalt är små. Faktiska och mätbara tryckskillnader uppstår egentligen endast då flödet av brandgaser (eller luft) eller brandgasernas expansion begränsas eller förhindras av någon anledning.

Men det finns också ett antal andra faktorer som påverkar hur brandgaser sprids inom byggnaden och ut ur byggnader. Exempel är bland annat antalet öppningar mellan rum, öppningarnas storlek, vindförhållanden, brandens storlek, hur branden utvecklas och sprids samt ventilationssystem i byggnaden. Dessutom påverkar brandgasernas densitet (den termiska stigkraften) i mycket stor utsträckning, eventuellt mer än vad andra tryckskillnader gör. Dessa faktorer kan medföra att brandgaser och brand sprids långa sträckor och på sätt som inte alltid är lätta att förutse. Med kunskap om faktorerna och hur dessa påverkar varandra, kan spridningen av brandgaser ändå till viss del förutses eller förhindras. Ibland går det rent av att förändra brandgasernas väg och styra brandgaserna genom och ut ur en byggnad, så att brandgasventilationen blir till räddningstjänstens fördel och sker på ett kontrollerat sätt. Det kan dock vara mycket svårt att skapa sig en helhetsbild av hur alla dessa faktorer påverkar spridningen och flödet av brandgaser i byggnader.

Grunder för spridning av brandgaser

Det är väl känt hur brandgaser sprider sig i ett rum där det brinner och mellan ett fåtal rum när det brinner i en byggnad. Men när hela byggnaden berörs av branden, blir problemet mer komplext. Då finns ett stort antal faktorer att ta hänsyn till och alla dessa faktorer är sällan

kända. Under en brand, finns det dessutom sällan eller aldrig några möjligheter att göra någon mer omfattande analys av de faktorer som påverkar spridningen av brandgaser. Det är dock viktigt att förstå dels vilka de viktiga faktorerna är, dels hur de påverkar varandra i stora drag. I annat fall blir det svårt att på ett kontrollerat sätt kunna påverka och styra brandgasers spridning i en byggnad och ut ur byggnaden.

De faktorer som främst styr och påverkar hur brandgaser sprids inom och ut ur en byggnad är

- termisk stigkraft (skillnader i densitet)
- termisk expansion
- produktion av förbränningsprodukter
- temperaturskillnader mellan inne- och uteluft
- yttre vindförhållanden
- komfortventilation.

De tre sistnämnda är faktorer som kan betraktas som normala, i den mening att de alltid råder oavsett om det brinner eller inte. De tre första däremot, är faktorer som uppstår när en brand startar i byggnaden. I stort kan sägas att dessa tre, eller åtminstone de första två, baseras på den tillförsel av energi som branden ger. Det är således i huvudsak brandens utveckling av energi som ger upphov till flödet av brandgaser inne i och ut ur ett rum eller en byggnad, men också att luft strömmar in. Kan vi på olika sätt begränsa denna tillförsel av energi, t.ex. genom att få släckmedel på branden, har vi också begränsat produktionen av brandgaser. Tänk på att termisk stigkraft kan göra sig gällande även då det inte brinner, i synnerhet i höga byggnader.

Vid användning av fläktar tillkommer dessutom direkta tryckskillnader. Det sker genom att fläktarna skapar ett förhöjt tryck i ett utrymme, vilket leder till skillnader i tryck mellan olika utrymmen i byggnaden eller mellan byggnaden och dess omgivning. Genom att använda fläktar tillför vi tryck- och rörelseenergi, och den energin används för att motverka brandens tillförsel av energi.

En del av dessa faktorer förekommer således under normala förhållanden, dvs. då det inte brinner, medan andra uppstår när det börjar brinna. I vissa fall är faktorerna i sig desamma, men blir mer uttalade eller ändrar karaktär då brand uppstår.

Bernoullis princip

Bernoullis princip beskriver förhållandet mellan tryck och hastighet i en friktionsfri strömning av inkompressibla fluider (gaser och vätskor). Den gäller endast under starkt idealiserade förhållanden: flödet ska vara stationärt, inkompressibelt, isotermiskt, friktionsfritt och adiabatiskt. Den är således egentligen inte tillämpbar för brandgaser (eller luft) men fungerar ändå tillräckligt bra vid beräkningar av till exempel flöden av brandgaser.

Tryck och hastighet för strömmande brandgaser kan då beskrivas enligt följande ekvation (Bernoullis ekvation) under förutsättning att ingen värme tillförs fluiden eller mekaniskt arbete uträttas:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h = \text{konstant}$$

Där

P = det statiska trycket [Pa]

ρ = densiteten [kg/m³]

g = gravitationskonstanten, 9.81 m/s²

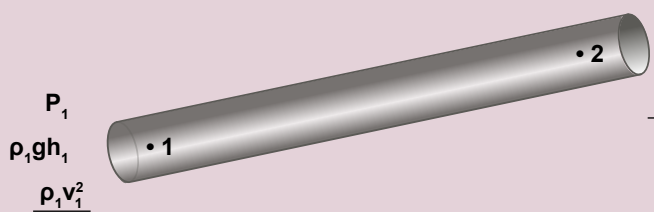
v = hastigheten [m/s]

h = höjd över referensplanet

En praktisk tillämpning av Bernoullis ekvation är att kunna beräkna hastigheten på gasen med hjälp av ett så kallat pitotrör. Genom att mäta tryckskillnaden över pitotröret, kan hastigheten bestämmas med hjälp av

$$\Delta P = \frac{\rho v^2}{2}$$

Med hjälp av Bernoulli's ekvation går det att härleda och analysera hur tryckbilden kan se ut i en byggnad och därmed också få en bild av hur brandgaser kan tänkas strömma.



P_2 $\rho_2 g h_2$ $\frac{\rho_2 v_2^2}{2}$

P_1 $\rho_1 g h_1$ $\frac{\rho_1 v_1^2}{2}$

$$P_1 + \rho_1 g h_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 g h_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

Varma brandgaser har lägre densitet än den omgivande kallare luften. Brandgaserna stiger därför uppåt och bildar ett brandgaslager under ett tak.

Termisk stigkraft

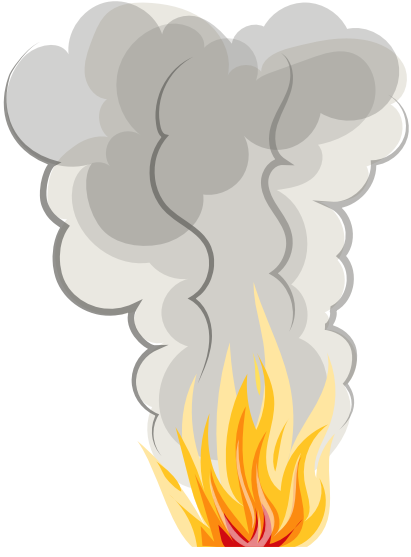
Varm luft är lättare än kall och detsamma gäller för brandgaser. Densiteten för brandgaserna är omvänt proportionell mot temperaturen, vilket innebär att när temperaturen ökar, sjunker densiteten. Som exempel kan nämnas att luft vid 20°C har densiteten 1,2 kg/m^3. Luft (och brandgaser) med temperaturen 300°C har densiteten 0,6 kg/m^3. Är temperaturen 500°C blir densiteten på brandgaserna 0,45 kg/m^3. Vi kallar detta för termisk stigkraft, dvs. brandgasers (och lufts) förmåga att stiga uppåt då de värms upp.

Förbränningsprodukterna från branden bildar en så kallad plym – en uppåtströmmande ”kon” av gaser ovanför branden – som är varmare än omgivande luft och som därmed kommer att stiga uppåt. Förutom att luft strömmar in till själva branden och deltar i förbränningen, blandas luft också in i plymen under dess väg uppåt. Denna luft värms upp. Förbränningsprodukterna och den uppvärmda luften utgör tillsammans brandgaserna, vilka då har lägre densitet än den omgivande kallare luften.

Den lägre densiteten på de varma brandgaserna gör att dessa stiger uppåt och bildar ett brandgaslager som samlas under taket. Hur tjockt detta brandgaslager blir beror bland annat på utrymmets volym, öppningars höjd, brandens storlek och brandens tillväxthastighet. Samtidigt får vi ett undre lager som till allra största delen består av opåverkad luft. Ett exempel på termisk stigkraft kan vara när varma brandgaser strömmar uppåt och fyller ett trapphus. Det kan även synas i öppningar till byggnaden eller till brandrummet, där varma brandgaser strömmar ut genom öppningarnas övre delar och frisk luft strömmar in genom de nedre.

Brandgaserna kyls av när de stiger uppåt, dels eftersom det blandas in kallare luft, dels på grund av konvektionen mot väggarna (eller föremål i rummet). Detta medför att brandgaserna i höga byggnader eventuellt inte når taket, utan stannar eller rent av sjunker. Detta kan särskilt hända varma sommardagar då luften närmast taket eller i trapphusets övre del kan vara varmare än brandgaserna. På motsvarande sätt kan brandgaserna sjunka mot golvet då de strömmar i en lång korridor, eller i en tunnel, och kyls av mot tak och väggar.

Att det bildas ett brandgaslager och att brandgaserna strömmar ut genom öppningars övre del, bygger på densitetsskillnader och därmed den termiska stigkraften.



Varma brandgaser är lättare än luft och stiger därför uppåt.

Termisk stigkraft

Tryckskillnaden över ett brandgaslager till följd av termisk stigkraft, kan beräknas enligt

$$\Delta P = (\rho_a - \rho_g)\, gh$$

där ρ_a är luftens densitet på undersidan av brandgaslagret, ρ_g brandgasernas medeldensitet, g är gravitationskonstanten och h är brandgaslagrets tjocklek. Detta kan även skrivas som

$$\Delta P = \left(\frac{353}{T_a - T_g}\right) gh$$

där T_a är luftens temperatur på undersidan av brandgaslagret, och T_g är brandgasernas medeltemperatur. Temperaturen anges här i Kelvin.

Antag en lokal med ett cirka 1 m tjockt brandgaslager. Brandgaserna har den genomsnittliga temperaturen 400°C. Den termiska tryckskillnaden över detta brandgaslager (från undersida till översida på brandgaserna) blir då cirka 9 Pa.

Termisk expansion

Förutom att brandgaser är varma, har lägre densitet än kallare luft och därmed stiger uppåt, kommer den luft som strömmar in i plymen att värmas upp och expandera. Den uppvärmda luften tar då mer plats än den kalla luften.

Vid en brand i ett helt stängt rum kommer en tryckuppbyggnad att ske till följd av att luften värms upp och expanderar. Det måste inte brinna för att en sådan termisk expansion ska ske, men i utrymmen utan brand blir trycket litet. Vid brand där temperaturen kan nå många hundra grader kan denna tryckskillnad däremot ha en avsevärd effekt, i synnerhet om branden utvecklas snabbt eller i täta utrymmen.

Normalt finns ett visst luftläckage i brandrummet, t.ex. i form av komfortventilation eller otätheter vid fönster och dörrar. Eftersom en brand i ett rum normalt är växande, kommer trycket på grund av otätheter och läckage att utjämnas efterhand. Tryckökningen blir normalt därför endast i storleksordningen någon enstaka Pascal, om det ens blir någon tryckökning i rummet. Detta beror i stor utsträckning på öppningarnas storlek i förhållande till brandens tillväxthastighet, men även tiden spelar in eftersom det sker en tryckutjämning över tiden.

Om rummet är tillslutet, sker en tryckökning i rummet. Brandgaser kan då ses tryckas ut till exempel genom fönsterspringor.

Brandgaser som värms upp expanderar och tar större plats, vilket medför att trycket i ett stängt rum ökar.

Pascal

Tryck mäts i enheten Pascal [Pa]. 1 Pa är detsamma som 1 N/m^2 (1 Newton per kvadratmeter) eller 10^{-5} bar (0,00001 eller tio miljondels bar). 1 Pa motsvarar ungefär det tryck ett vanligt A4-papper som ligger på ett bord utövar mot bordsytan. Luftens normala tryck är 101 325 Pa.

Termisk expansion

Vid en brand i ett helt stängt rum kommer en tryckuppbyggnad att ske till följd av att luften värms upp och expanderar. Tryckuppbyggnaden kan beräknas med

$$\Delta P = P_a \frac{\dot{Q}t}{V\rho_a c_p T_a}$$

där P_a är omgivande tryck (starttrycket), Q är brandeffekt, t är tiden, V utrymmets volym, ρ_a luftens medeldensitet i utrymmet, c_p specifik värmekapacitet för luft och T_a är luftens medeltemperatur i utrymmet.

För ett hermetiskt tillslutet kontorsrum med volymen 60 m^3 och med en stationär brand med storleken 100 kW blir den maximala tryckuppbyggnaden cirka 1 500 Pa per sekund (trycket växer linjärt med tiden). Eftersom utrymmet värms upp av branden, kommer dock tryckuppbyggnaden att avta efterhand. Men för ett hermetiskt tillslutet rum kan trycket bli avsevärt även för en relativt liten brand.

För ett mer realistiskt rum med läckage i golvnivå, kan tryckuppbyggnaden beräknas med

$$\Delta P = \left(\frac{\dot{Q}}{c_p T_e A_e}\right)^2 \frac{1}{2\rho_e}$$

där ρ_e den utströmmande luftens densitet, c_p specifik värmekapacitet hos den utströmmande luften, T_e är den utströmmande luftens temperatur och A_e är öppningens area.

För ett sådan rum med en läckagearea på 0.02 m^2 (dvs. en öppning som är 10×20 cm), blir den maximala tryckuppbyggnaden cirka 100 Pa. Om rummet istället har ett öppet fönster om 1 m^2, blir den maximala tryckuppbyggnaden i storleksordningen 0.1 Pa, dvs. mycket lågt.

För ett öppet rum med en tillväxande brand, dvs. vad vi kan kalla för en normal rumsbrand, blir tryckökningen till följd av termisk expansion i praktiken obefintlig.

Produktion av förbränningsprodukter

Branden tillför förbränningsprodukter som påverkar hur brandgaser sprids inom och ut ur byggnaden. Även om brandgaserna i stort kan betraktas som uppvärmd luft vid beräkningar eller bedömningar av spridningen, går det inte att helt bortse från hur produktionen av brandgaser påverkar spridningen. Svårigheten med detta är att mängden brandgaser som bildas är beroende av bränslets egenskaper. Det

skiljer även mellan välventilerade (bränslekontrollerade) bränder och ventilationskontrollerade bränder.

Den mängd förbränningsprodukter som tillförs brandgaserna kommer för ett stängt rum också att bidra till tryckuppbyggnaden i rummet, på motsvarande sätt som den termiska expansionen. Men även i detta fall kommer detta tryck att jämnas ut relativt snabbt, på grund av otätheter i konstruktionen (komfortventilation, otätheter vid fönster och dörrar m.m.). Den mängd förbränningsprodukter som tillförs är dessutom väldigt liten och dess påverkan på tryckuppbyggnaden blir liten.

Produktion av förbränningsprodukter

Vid bränslekontroll ger trä cirka 1,33 gram CO_2 per gram bränsle medan propan ger 2,85 gram CO_2 per gram bränsle. För det ventilationskontrollerade fallet ger trä 0,14 gram och propan 0,23 gram CO_2 per gram bränsle.

Temperaturskillnader mellan inne- och uteluft

Luft är normalt varmare inomhus än utomhus, i synnerhet i vårt land. Såsom tidigare beskrivits expanderar luft när den värms upp, den tar större plats och har även lägre densitet än kall luft. Detta medför att den luft som tillförs en byggnad värms upp och stiger uppåt. Så gott som alla byggnader har läckage genom öppningar högre upp i byggnaden. Den uppvärmda luften strömmar ut ur byggnaden genom högt placerade läckageytor. Även den expansion som sker då luften värms upp kommer att bidra till att den uppvärmda luften strävar efter att strömma ut, eftersom den tar mer plats. I och med att en byggnad sällan eller aldrig är helt tät, kommer (uppvärmd) luft således alltid att tränga ut ur byggnaden och, åtminstone så småningom, ersättas med kall luft som strömmar in. Är öppningarna små, kan det bli en tryckuppbyggnad inne i byggnaden. De tryckskillnader som uppstår är dock små. Dessutom jämnas tryckskillnaderna ut allteftersom den luft som strömmar in i byggnaden värms upp och strömmar ut igen. Den huvudsakliga drivkraften för detta flöde av luft är den termiska stigkraften (varm luft stiger uppåt).

Inflöde sker normalt genom en öppning och utflöde genom en annan. Är öppningarna stora kan in- och utflöde ske genom en och samma öppning. Den varma inomhusluften stiger uppåt, vilket medför att utflöde normalt sker genom högt belägna öppningar och inflöde genom lågt belägna öppningar. Precis som när det brinner, är det den termiska stigkraften och densitetsskillnader som driver detta flöde,

även om densitetsskillnaderna i normalläget är mindre än vid brand. I låga byggnader eller inom ett och samma våningsplan är skillnaderna i densitet således relativt små, medan de i höga byggnader kan bli mycket stora (även om det inte brinner). Detta kan gälla höghus med flera våningar, men också lagerbyggnader eller industrihallar med stor takhöjd. I höga byggnader med vertikala schakt, t.ex. trapphus eller hissar, bildas då en uppåtgående luftström i schaktet. Denna uppåtgående luftström kan påverka hur såväl frisk luft som brandgaser strömmar in i eller ut ur schaktet och ge upphov till komplexa spridningsförhållanden.

I höga hus eller i byggnader med hög takhöjd kan det, särskilt under varma dagar, samlas en varm luftmassa närmast taket eller högst upp i ett trapphus. Om det då börjar brinna, men brandgaserna håller en relativt låg temperatur, kan den varma luftmassan högst upp i byggnaden motverka att brandgaserna stiger uppåt. Den uppvärmda luften inne i byggnaden är helt enkelt varmare än brandgaserna, vilket kan få till effekt att det kan bli svårt att ventilera ut brandgaserna.

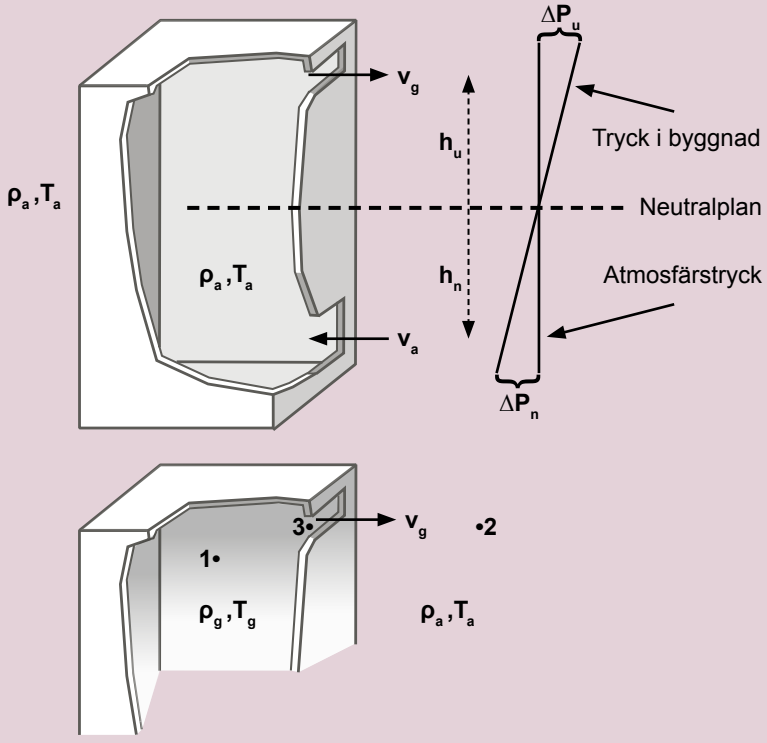
För byggnader med öppning både längst upp och längst ner, kan det uppstå en så kallad skorstenseffekt. Benämningen kommer av det som kan observeras t.ex. i en kamin med skorsten, där frisk luft strömmar in längst ner, värms upp av branden, stiger uppåt och strömmar ut genom skorstenen. Flödet på den strömmande gasen kan beräknas med hjälp av *Bernoullis ekvation*. Denna skorstenseffekt kan bli särskilt märkbar vid så kallade konstruktionsbränder, eftersom de utrymmen där sådana bränder uppstår och sprider sig i vissa fall kan liknas vid en skorsten. Tvärsnittsarean är förhållandevis liten i förhållande till utrymmets höjd (eller längd).

För höga byggnader med trapphus, kan skorstenseffekten bli den dominerande orsaken till spridningen av brandgaser. För sådana byggnader kan flödet av brandgaser bli oerhört komplext, och det skulle krävas omfattande och tidskrävande beräkningar för att utreda det. Vid räddningsinsatser finns inte den möjligheten. Skorstenseffekten, som i grunden baseras på den termiska stigkraften, kan medföra att brandgaser som sprids till trapphuset trycks ut i lägenheter i de övre delarna av byggnaden, medan luft kan sugas in till trapphuset från lägenheterna i de nedre delarna av trapphuset. Det finns dock stora osäkerheter i detta antagande, inte minst eftersom det finns flera komplicerande faktorer som kan inverka. Exempel på sådana faktorer kan vara yttre vindförhållanden, trapphusets höjd, vilket plan branden är på, eventuella öppningar mellan trapphuset och lägenheter, öppningar mellan lägenheter och det fria m.m. Men i synnerhet i höga hus är det viktigt att trapphus i största möjliga mån hålls fria från brandgaser, för att underlätta utrymning.

Skorstenseffekt

Antag att vi har en kamin med en öppning längst ner och en öppning längst upp (i princip en skorsten). Luften som strömmar in i längst ner värms upp i kaminen. Den omgivande luften har temperaturen $\mathbf{T_a}$ och densiteten $\boldsymbol{\rho_a}$ och den uppvärmda luften i skorstenen har temperaturen $\mathbf{T_g}$ och densiteten $\boldsymbol{\rho_g}$. Den övre öppningen (skorstenens topp) är på höjden $\mathbf{h_u}$ över neutralplan, dvs. ett tänkt plan där det dynamiska trycket inne i skorstenen är lika stort som trycket utanför. Den nedre öppningen är på höjden $\mathbf{h_n}$ under detta tänkta neutralplan.

För att kunna beräkna hastigheten och flödet på den strömmande gasen behöver vi först räkna ut tryckskillnaden är över respektive öppning, $\Delta\mathbf{P_u}$ och $\Delta\mathbf{P_n}$. Observera att dessa beräknade tryckskillnader endast är giltiga för öppningarna.



Vi förenklar problemet genom att endast studera punkterna 1, 2 och 3 i den övre delen av byggnaden. Den hydrostatisk tryckskillnad mellan punkt 1 och punkt 2 är:

$$\mathbf{v_1 = v_2 = 0}$$

$$\mathbf{P_1 - P_2 = \rho_2 g h_2 - \rho_1 g h_1} \qquad \Delta\mathbf{P_u = h_u g(\rho_a - \rho_g)} \qquad \textbf{Ekvation 1}$$

Den dynamiska tryckskillnaden mellan punkt 1 och punkt 3 är:

$v_1 = 0,$ $\rho_1 = \rho_3 = \rho_g,$ $h_1 = h_3 = h_u$

$$P_1 - P_3 = \frac{\rho_3 v_3^2}{2}$$

$$\Delta P_u = \frac{\rho_g v_g^2}{2}$$

Ekvation 2

Hastigheten genom den övre öppningen får vi genom att använda ekvation (1) och (2):

$$\frac{\rho_g v_g^2}{2} = h_u g(\rho_a - \rho_g)$$

$$v_g = \sqrt{\frac{2h_u g(\rho_a - \rho_g)}{\rho_g}}$$

Ekvation 3

Förhållandet mellan temperatur och densitet ges av allmänna gaslagen, och vi kan använda detta för att bestämma förhållandet mellan densitet och temperatur. För normalt atmosfärstryck får vi förhållandet:

$PM = \rho RT$	allmänna gaslagen
$P = 101.3$ kPa	normalt atmosfärstryck
$M = 0.0289$ kg/mol	molmassan för luft
$R = 8.314$ J/Kmol	allmänna gaskonstanten
$\rho = \frac{353}{T}$	förhållandet mellan densitet och temperatur

Massflödet i öppning ges av $\dot{m} = C_d A v \rho$

Genom att göra på motsvarande sätt för flödet in i den nedre öppningen och likställa det erhållna uttrycket med ekvation 3, fås ett uttryck för neutralplanets läge i förhållande till öppningars storlek:

$$\frac{h_n}{h_u} = \left(\frac{A_u}{A_n}\right)^2 \frac{\rho_g}{\rho_a}$$

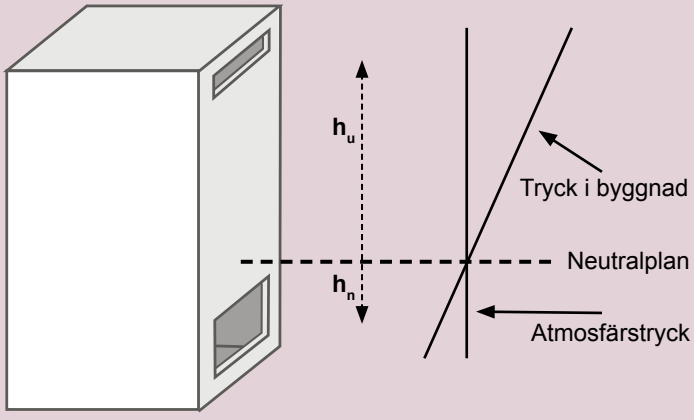
Ekvation 4

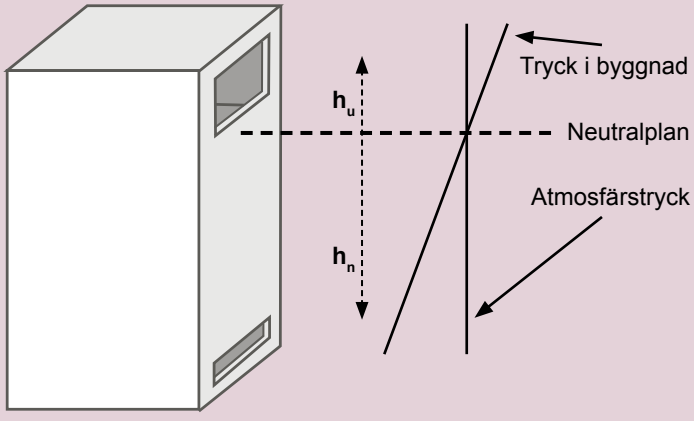
eller, uttryckt i termer av temperatur

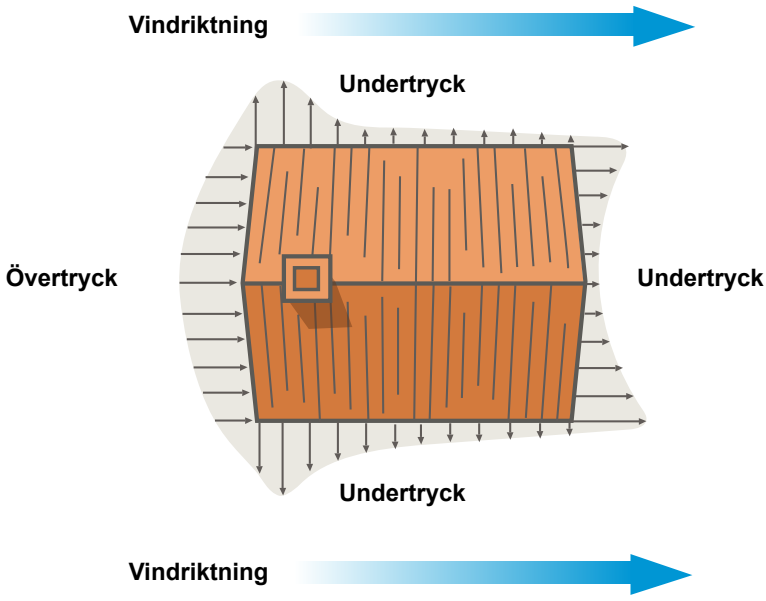
$$\frac{h_n}{h_u} = \left(\frac{A_u}{A_n}\right)^2 \frac{T_g}{T_a}$$

Ekvation 5

Detta innebär att om $\mathbf{A_n}$ är stort i förhållande till $\mathbf{A_u}$, blir $\mathbf{h_n}$ litet vilket medför en stor tryckskillnad över $\mathbf{A_u}$. Detta är till exempel önskvärt i en skorsten för att få bra ”drag”, men även vid enbart termisk brandgasventilation. Ekvation 5 ger således en indikation om hur förhållandet mellan storleken på tilluftsöppningar och frånluftsöppningar bör vara, vid enbart termisk stigkraft. Observera dock att det måste vara frånluftsöppningens storlek som är avgörande för tilluftsöppningens storlek, inte tvärtom. Behovet av frånluftsöppning, dess storlek, placering m.m., måste således bestämmas först.







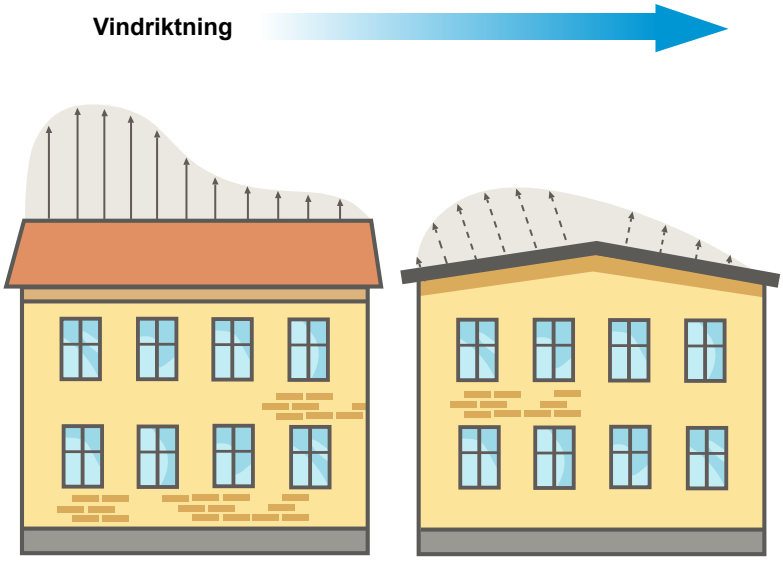
Tryckfördelning runt en byggnad, sedd uppifrån.

Yttre vindförhållanden

Alla byggnader är mer eller mindre otäta och i många fall kan vinden ha mycket stor inverkan på hur brandgaser strömmar inne i eller ut ur en byggnad. Och även om byggnaden är relativt tät, kommer vinden att ge ett tryck mot byggnadens ytterväggar. Det kan i sin tur ge upphov till tryckskillnader mellan byggnadens olika sidor som påverkar flödet av brandgaser ut ur byggnaden och flödet av luft in i byggnaden.

Vindtrycket är proportionellt mot vindhastigheten i kvadrat. Detta innebär att om vindens hastighet ökar från 1 m/s till 10 m/s, så ökar trycket på vindsidan från t.ex. 0,4 Pa till 40 Pa eller från 0,6 Pa till 60 Pa (typiska värden). Redan en relativt svag vind kan ge upphov till tryckskillnader mellan byggnadens olika sidor som påverkar flödet av brandgaser och luft.

Vertikala ytor (väggar) ger normalt övertryck på vindsidan (vinkelrätt mot vinden) och undertryck på läsidan (motsatta/parallella sidan). Undertrycket på läsidan är ungefär hälften av övertrycket på vindsidan. På takytor som utsätts för vind är trycket beroende av takvinkeln. Vid takvinklar över cirka 45° skapas ett övertryck på vindsidan och ett undertryck på läsidan. Både övertrycket och undertrycket är störst vid respektive takfot och minskar successivt upp mot taknocken. Vid takvinklar under cirka 30° utsätts hela taket för undertryck. Undertrycket är störst på vindsidan. Men vid takvinklar mellan cirka 30° och 45° kan det bli ett undertryck också på vindsidan närmast taknocken.



Takvinkel <30°

Tryckets fördelning över ett platt tak. Det råder normalt undertryck över hela takytan.

Takvinkel 30 – 45° **Takvinkel >45°**

Tryckets fördelning över sadeltak. Trycket varierar mellan undertryck och övertryck, beroende på takvinkel och var på taket man befinner sig.

Sadeltak kan utsättas för undertryck på hela ytan (båda sidor), om vinden blåser parallellt med taknocken, oavsett takvinkel.

De skillnader i tryckförhållanden som uppstår beroende på takvinkeln kan i vissa fall utnyttjas för att göra effekten av brandgasventilation bättre än om endast den termiska stigkraften utnyttjas.

Brandgasventilation genom fönster och dörrar, kan bli bättre om frånluftsöppningar görs på läsidan av byggnaden, medan tilluftsöppningarna görs på vindsidan. Detta ställer stora krav på att öppningarna

väljs med omsorg och att vindriktningen med säkerhet kan bestämmas. Detta är inte alltid möjligt. Om det råder osäkerhet kring vindförhållanden och hur detta kan påverka brandgasventilation, bör man undvika att krossa fönster eller såga hål. Skulle åtgärden inte fungera, blir det svårt att stänga öppningen igen om t.ex. ett fönster är krossat.

På grund av friktionen mot markytan varierar också vindhastigheten, och därmed även trycket, med höjden. Friktionen varierar beroende på ytans beskaffenhet.

I och vid bebyggelse kan vinden uppföra sig helt annorlunda än i öppen terräng. Längs gator kan den trängas samman så att lufthastigheten blir högre än förväntat. Dessutom kan den turbulens som ofta bildas inom bebyggelse göra att vinden får en helt annan riktning. Vid öppna ytor (torg och parker) där gator strålar samman, kan det uppstå mycket komplexa vindförhållanden.

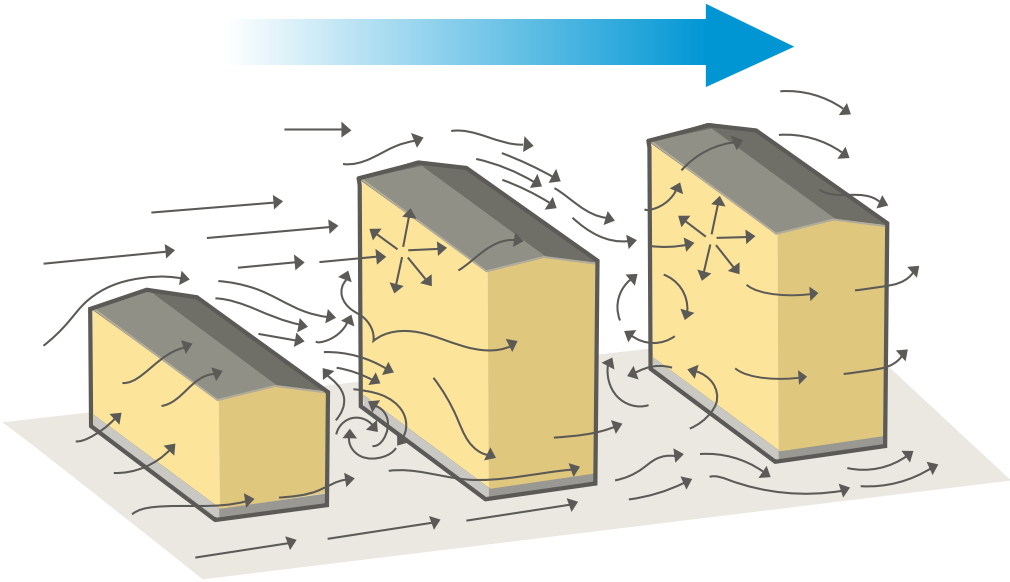
Sammanfattningsvis utgör vinden en försvårande faktor vid brandgasventilation. Dels kan det vara svårt att avgöra vindstyrkan, annat än i termer av hög eller låg. Dels kan det vara svårt att avgöra vindriktningen, vilket då medför svårigheter i att bestämma var det är bäst att placera tillufts- respektive frånluftsöppningar. Det är dessutom svårt att avgöra hur stora tryck vinden bidrar med, annat än i termer av stora eller små. Man bör komma ihåg att om en brandgasventilationsåtgärd inte fungerar, så kan det bero på att vindförhållandena inte är gynnsamma.

Beräkning av vindpåverkan

Det stationära tryck som vinden utövar på en byggnad kan uttryckas som:

$$\Delta p = 0{,}5 c_f \rho_a v^2$$

där c_f är formfaktorn, ρ_a är uteluftens densitet och v är vindhastigheten. Formfaktorn varierar dels beroende på hur ytan är i förhållande till vinden, dels beroende på hur byggnaden ser ut. Formfaktorn varierar från 1 (motsvarande fullt övertryck) till –1 (motsvarande fullt undertryck). Formfaktorn används framförallt för att dimensionera byggnader mot vindlast, men det ger oss en uppfattning av hur vinden skapar tryck på och runt en byggnad.



Runt torg, parker, gator och byggnader i en stadskärna kan det råda mycket komplexa vindförhållanden.

Vinddrivna bränder

Det har vid en rad uppmärksammade fall, i synnerhet internationellt, och som en följd av dessa fall, kunnat påvisas ett fenomen som kallas vinddrivna bränder (”wind-driven fires”). Detta är bränder i byggnader som sprider sig hastigt eller som på annat sätt får våldsamma förlopp som en direkt följd av mer eller mindre kraftiga vindförhållanden.

De fall som förekommit och som tydligt uppvisat detta fenomen har främst varit i höga byggnader, där vinden har haft en tydlig påverkan på byggnadens olika sidor. Fenomenet kan liknas vid det tvärdrag som kan bildas då vi öppnar fönster på båda sidor av en byggnad för att vädra.

Ett typiskt exempel kan vara då ett fönster på vindsidan av en byggnad gått sönder och fallit ut som en följd av en rumsbrand. Om då räddningstjänsten gjort en angreppsöppning från läsidan av byggnaden, har det då skapats förutsättningar för att vinden ska kunna ”trycka” brand från brandrummet mot räddningstjänstens personal. Det finns få, om något, sätt att motverka detta. Angrepp måste istället ske från vindsidan, alternativt att den tilluftsöppning som finns på vindsidan stängs igen.

Vind-drivna bränder kan orsaka stora bekymmer för räddningstjänsten. I synnerhet om det är en kraftig vind mot öppningar i byggnaden, så att värme, flammor och brandgaser trycks mot räddningstjänstpersonal. I bilden är tilluftsöppningen på andra sidan byggnaden.

För att kunna stänga igen fönster på vindsidan har New York Fire Department utvecklat en ”gardin” som kan släppas ner från våningen ovanför. Detta är främst aktuellt vid byggnadshöjder där höjdfordon inte når den brandutsatta våningen. Denna metod kräver också att fönstret till brandrummet enkelt kan nås från våningen ovanför. Detta är normalt svårt att åstadkomma i moderna höga byggnader, eftersom fönstren där inte alltid är öppningsbara, och dessutom kan vara svåra att krossa.

I Sverige ökar antalet höga byggnader där den här typen av fenomen eventuellt skulle kunna uppstå, och därför bör problemet givetvis uppmärksammas. Samtidigt bör fönster i aktuella typer av byggnader normalt kunna stå emot brand under relativt lång tid. Risken för vind-drivna bränder är därmed liten, men kan inte uteslutas.

Fenomenet kan uppstå även i byggnader med lägre höjd, eventuellt till och med i enplanshus, om vindförhållandena är ogynnsamma. En viss uppmärksamhet bör därför riktas mot denna problematik vid rädd-ningsinsatser mot brand i byggnad då det blåser kraftigt.

> På takytor bildas generellt ett övertryck på vindsidan och ett under-tryck på läsidan. Platta tak utsatts för undertryck över hela takytan. Även sadeltak kan utsattas för undertryck över hela ytan, om vinden blåser parallellt med taknocken. I stadsmiljöer kan vinden skapa mycket komplexa tryckbilder runt byggnader.

Komfortventilation

Med komfortventilation menas den ventilation som finns i byggnader för att släppa in frisk luft och ventilera ut värme, restprodukter från vår andning (koldioxid), fukt och matlagningsos. I det sistnämnda fallet, matlagningsos, används benämningen imkanaler om det är ventilationskanaler från kök.

Det finns i huvudsak två typer av komfortventilationssystem:

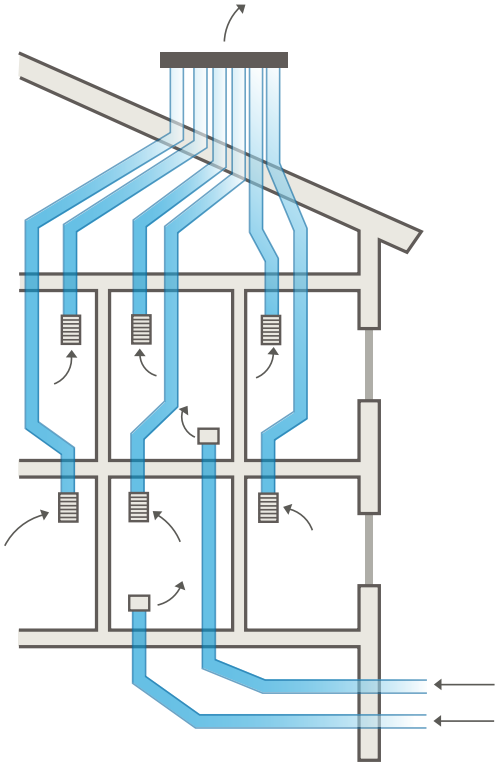
- självdragsventilation
- mekaniska ventilationssystem.

Komfortventilationssystemen i byggnader är normalt utförda så att brand- och brandgasspridning till angränsande brandceller begränsas. Detta uppnås t.ex. genom att ventilationskanaler isoleras med obrännbar isolering, kanalerna förses med olika typer av spjäll som stänger automatiskt då brand uppstår eller att ventilationen är helt separerad mellan olika brandceller. Ventilationssystemet ska i princip ha motsvarande skydd mot spridning av brand och brandgaser som byggnaden i övrigt, dvs. de ska motsvara brandcellens nivå på skydd mot spridning av brand och brandgaser.

Självdragsventilation

Självdragsventilation fungerar genom de temperaturskillnader som naturligt uppstår i byggnader, i byggnaders schakt och i kanaler. Dessa system utförs som frånluftssystem, dvs. eventuella kanaler är normalt avsedda endast för frånluft. Tilluften tas genom byggnadens naturliga otätheter eller genom ventiler i fasaden. I äldre hus användes ofta vedspisar, kaminer och kakelugnar som frånluftskanaler. Från 20-talet installerades ofta separata kanaler för såväl tilluft som frånluft. Självdragsventilation återfinns numera nästan enbart i fritidshus, eftersom högre krav på energihushållning har gjort att även småhus många gånger har återvinning på frånluften så att värme återförs till tilluften.

Självdragsventilation medverkar normalt inte till brandgasspridning mellan brandceller, eftersom ventilationen ofta sker i separata kanaler. Däremot kan självdragssystem medföra att även bränder som blivit ventilationskontrollerade kan fortgå, eftersom branden då fortfarande har tillgång till ett visst luftflöde. Om det sker brandspridning till ventilationskanalerna kan det finnas risk för konstruktionsbränder och brandspridning till angränsande utrymmen, eftersom temperaturen kan bli hög inne i kanalerna, precis som vid så kallad soteld (brand i skorstenar).

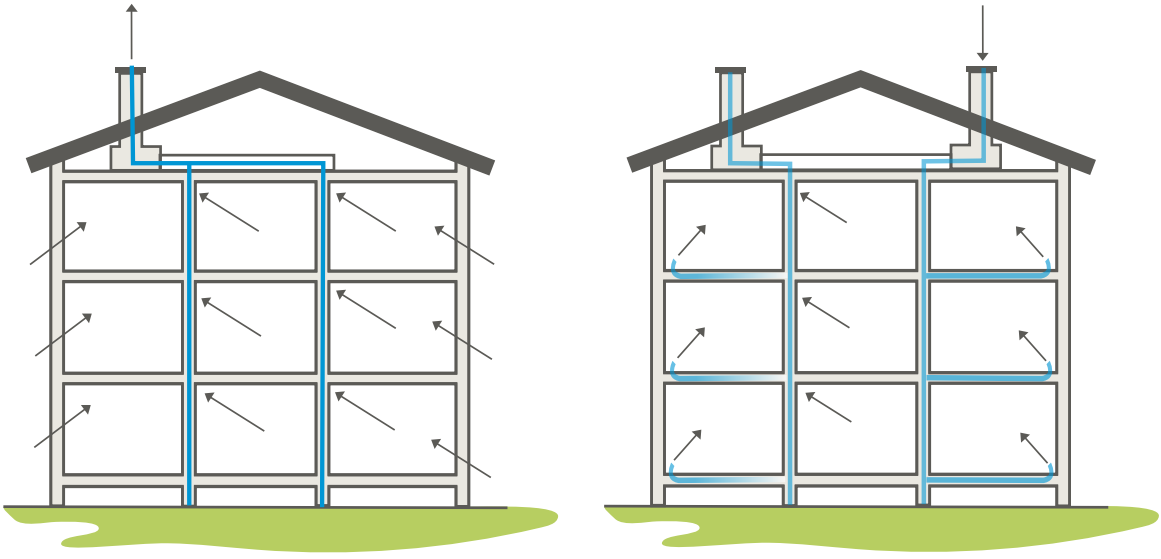


Självdragsventilation med separata kanaler är vanligt i byggnader från cirka 20-talet och framåt.

Mekaniska ventilationssystem

Mekaniska ventilationssystem kan vara utförda som något av följande:

- **Tilluftssystem**: Fläktar tillför luft genom ventilationskanaler. Frånluften trycks ut genom otätheter eller till angränsande utrymmen. Systemet skapar ett mer eller mindre stort övertryck i brandcellen, beroende på hur det är utfört.
- **Frånluftssystem**: Fläktar suger ut luft genom ventilationskanaler. Tilluften dras in genom otätheter, från angränsande utrymmen eller via ventiler i fasaden. Systemet skapar ett mer eller mindre stort undertryck i brandcellen, beroende på hur det är utfört. Frånluften vid dessa system tas normalt från kök eller våtrum.
- **Öppet till- och frånluftssystem**: Fläktar anslutna till utrymmen förser dessa med såväl tilluft som frånluft genom kanaler. Frånluft tillåts också strömma genom otätheter såväl till omgivningen som till angränsande utrymmen.
- **Slutet till- och frånluftssystem**: Fläktar anslutna till utrymmen förser dessa med såväl tilluft som frånluft genom ventilations-kanaler. Den här typen av system blir allt mer vanlig, på grund av kraven på energihushållning.



I byggnader uppförda från 60-talet är det vanligt med mekanisk frånluftsventilation eller mekanisk till- och frånluftsventilation.

Normalt är brandgasspridningen till angränsande utrymmen inom byggnaden liten, så länge de mekaniska ventilationssystemen är i drift. Om hela eller delar av de mekaniska ventilationssystemen upphör att fungera, kan detta bidra starkt till brandgasspridning inom byggnader. Detta kan bli ett problem i synnerhet vid öppna och slutna till- och frånluftssystem, eftersom de olika brandcellerna kan vara förbundna genom ventilationskanaler. Normalt förhindras spridning av brandgaser (och även av matos etc.) av tryckskillnaden som är över ventilationsdonet (”hålet i väggen”). Om ventilationssystemet upphör att fungera försvinner denna tryckskillnad och brandgaser kan lätt spridas via ventilationskanalerna mellan de olika brandcellerna/rummen. Med fungerande mekaniska ventilationssystem är risken för brandgasspridning genom ventilationssystemet liten. Upphör ventilationssystemet att fungera, kan detta bidra till brandgasers spridning mellan brandceller inom byggnader.

Ett modernt ventilationssystem kan vara en integrerad del av byggnadens skydd, i synnerhet i publika lokaler, kontorslokaler eller liknande. Ventilationssystemets utformning och funktion baseras då på ett visst dimensionerande brandförlopp. Systemet kan till exempel styras så att utrymningsvägar trycksätts eller genom att det brandgasventilator endast i det brandutsatta utrymmet öppnas. Genom att säkerställa

ventilationssystemets funktion även vid brand och så länge det dimensionerande brandförloppet inte överskrids, kan systemet många gånger klara av att förhindra spridningen av brand och brandgaser under ganska lång tid. I sådana fall är det viktigt att se till så att ventilationssystemet upprätthåller sin funktion, genom att räddningstjänsten t.ex. sätter in ytterligare åtgärder för att skydda systemet. Det kan också finnas anledning att kontrollera och säkerställa genomföringar eller liknande, i synnerhet i brandcellsgränser, så att inte brandgaser kan spridas den vägen.

Brandgasspridning i praktiken – en helhetsbild

Flöden av brandgaser inne i en byggnad eller ut ur en byggnad där det brinner påverkas såsom beskrivits i detta kapitel av i huvudsak sex faktorer:

- termisk stigkraft (skillnader i densitet)
- termisk expansion
- produktion av förbränningsprodukter
- temperaturskillnader mellan inne- och uteluft
- yttre vindförhållanden
- komfortventilation.

> De olika krafter och mekanismer som verkar i och runt en brinnande byggnad är av samma storleksordning. Detta medför att spridningen av brandgaser är oerhört komplex och svårbedömd.

I praktiken går det inte att lyfta ut och betrakta dessa drivkrafter var för sig, utan vi måste behandla dem samtidigt. Men för att ändå försöka förenkla och ge något slags helhetsbild, kommer det följande resonemanget att bortse från faktorerna yttre vindförhållanden, komfortventilation samt temperaturskillnader mellan inne- och uteluft.

Låt oss utgå från antagandet att vi har ett rum som är helt slutet samt att brand uppstår i detta slutna rum. Det finns således inget utbyte med omgivningen med avseende på gaser eller partiklar (massa). När det börjar brinna stiger temperaturen i rummet, på grund av tillskottet av energi vid förbränning Som en direkt följd av temperaturökningen, kommer också trycket i rummet att öka. Denna tryckökning är direkt proportionell mot temperaturökningen.

Dessutom tillför förbränningsprocessen massa till gasen i rummet. Bränslet, i det här fallet i fast eller möjligtvis flytande form, bildar förbränningsprodukter då det brinner. En del av den massa som ursprungligen utgör bränslet kommer således att tillföras rummet, i gasform eller som partiklar. Detta bidrar också till att trycket ökar i rummet, även om detta bidrag är ytterst litet.

Om rummet har en öppning (eller flera), kommer det tryck som uppstår att utjämnas. Hur fort utjämningen sker beror bland annat på öppningens eller öppningarnas storlek. Delvis kan det även bero på hur långt ifrån branden öppningen eller öppningarna befinner sig. Detta är främst aktuellt vid mycket stora byggnader eller om byggnaden har flera rum som förbinder det primära brandrummet med öppningen eller öppningarna. Då blir det öppningen eller öppningarna mellan dessa rum som kommer vara avgörande för hur fort trycket i brandrummet (och även i övriga rum) utjämnas.

I ett rum som har en liten öppning i förhållande till rummets storlek, eller ett rum där branden växer fort, kan trycket i rummet komma att vara relativt högt under lång tid. Utifrån kan detta synas genom att brandgaser tydligt flödar ut genom öppningar, eventuellt under visst tryck (dvs. hastigheten eller flödet uppfattas som ”hög”/”stort” i någon mening).

Detta kan också få till följd att trycket sjunker när temperaturen sjunker i ett förhållandevis tätt rum eller i en förhållandevis tät byggnad. Det skulle t.ex. kunna ske när branden efter en viss tillväxt blir ventilationskontrollerad, före övertändning eller efter övertändning. Om så är fallet är det inte helt självklart att det kommer synas någonting från utsidan. Eftersom temperaturen och därmed trycket i byggnaden sjunker, kommer luft strömma in i byggnaden och inga brandgaser syns nödvändigtvis från utsidan, även om det fortfarande är en

pågående (ventilationskontrollerad) brand i byggnaden. Så småningom kommer trycket att ha utjämnats genom att luft strömmar in. Detta tillskott av luft gör då att branden kan växa igen, temperaturen och därmed även trycket ökar och brandgaser trycks ut. Denna pulserande effekt kan fortgå under lång tid och medföra en kraftigt ventilationskontrollerad brand i ett utrymme där temperaturen fortfarande är hög. Om utrymmet öppnas upp, kan det uppstå en så kallad backdraft.

Det som beskrivs ovan är det tryck som uppstår till följd av termisk expansion i slutna rum eller i en sluten byggnad. Dessutom produceras det förbränningsprodukter som också bidrar till att trycket ökar i rummet. Det beskrivs även vad som sker om rummet, eller byggnaden, har en förhållandevis liten öppning. Detta är normalt fallet i de allra flesta byggnader, vilka har läckage på något sätt. Även om tryck uppstår i byggnaden som en följd av brand, kommer detta normalt att utjämnas relativt fort.

Vi antar nu i stället att vi har ett rum med en relativt stor öppning i förhållande till rummets storlek. Det kan t.ex. vara ett ordinärt sovrum med måtten 5×3 m och med 2,5 m i takhöjd samt med en dörr av storleken 2×0,8 m. I detta rum uppstår en brand. Eftersom rummet är öppet och öppningen är relativt stor i förhållande till såväl rummets totala volym som i förhållande till den brand som uppstår, kommer det inte att uppstå något tryck i rummet (eller ett mycket litet tryck). Trycket jämnas helt enkelt ut efterhand.

Förbränningsprodukterna från branden bildar en plym som är varmare än omgivande luft och därmed stiger uppåt (så sker förstås även i slutna och nästan slutna rum). Även den luft som strömmar in i rummet och som följer med plymen uppåt kommer att värmas upp. Förbränningsprodukterna och den uppvärmda luften har då lägre densitet än den omgivande kallare luften. Såsom beskrevs tidigare kan vi för enkelhetens skull betrakta de brandgaser som bildas som varm luft. Densiteten för dessa brandgaser är omvänt proportionell mot temperaturen. Som tidigare berörts har t.ex. luft vid 20°C densiteten 1,2 kg/m^3. Luft (och brandgaser) med temperaturen 300°C har densiteten 0,6 kg/m^3. Är temperaturen 500°C blir densiteten på brandgaserna 0,45 kg/m^3. Densitetsskillnaderna blir fort stora redan vi relativt små temperaturhöjningar.

Den lägre densiteten på de varma brandgaserna gör att dessa stiger uppåt och bildar ett brandgaslager som samlas under taket. Hur tjockt detta brandgaslager blir och hur mycket det ökar i volym beror bland annat på utrymmets volym, öppningars höjd, brandens storlek och tillväxthastighet samt bränslets egenskaper. När brandgaserna når ner till överkant på dörren, kommer dessa att strömma ut ur rummet och in till nästa rum (eller ut i det fria).

Eftersom rummet är öppet, antingen direkt till det fria eller till ett eller flera andra rum som är öppet mot det fria, kommer det inte att uppstå något större tryck i någon del av rummet (eller rummen). Detta förutsätter givetvis att öppningen eller öppningarna är tillräckligt stora så att utflödet av brandgaser inte begränsas. Istället är det i stor utsträckning brandgasernas lägre densitet, den termiska stigkraften, som ger upphov till ett flöde av brandgaser ut ur rummet och ett flöde av luft in i rummet. Branden blir så att säga en ”motor” som genom att tillföra energi (men även massa) driver brandgaser uppåt och ”tvingar” luft att sugas med in i rummet och upp i plymen. Men även den termiska expansionen och tillförseln av massa till brandgaserna vid förbränning kommer givetvis att bidra till flödet av brandgaser. De brandgaser som bildas måste helt enkelt ta vägen någonstans, dvs. uppåt och utåt från branden, och som en direkt konsekvens kommer det även att strömma in luft i rummet som ersätter det som strömmar ut. Denna inströmning av luft sker normalt i golvnivå eftersom den kalla luften som strömmar in har högre densitet än de varma brandgaserna som strömmar ut.

Återigen, under förutsättning att rummet är öppet antingen direkt till det fria eller till ett eller flera andra rum som är öppna mot det fria, bildas i princip inget tryck i rummet. Det är istället skillnader i densitet som i stor utsträckning är den drivande kraften som ger ett flöde av brandgaser, såväl inne i rummet som ut ur rummet (eller byggnaden). Det brandgaslager som bildas inne i rummet, och eventuellt även i anslutande rum, bildas då också som en direkt följd av skillnader i densitet (den termiska stigkraften). Den ”skiljelinje” som är mellan det övre brandgaslagret och det undre (mer eller mindre brandgasfria) lagret, är en tydlig skillnad mellan de olika gaslagrens temperatur och därmed även densitet. Ofta går det att känna en tydlig skillnad i temperatur mellan det övre brandgaslagret och det nedre brandgasfria lagret.

Detta så kallade neutralplan (även neutrallager, nollplan, m.m.) är således en gräns där det finns en tydlig skillnad i densitet mellan det övre lagret av brandgaser och det undre lagret av luft.

Detta neutralplan som uppstår i ett (eller flera) brandrum beror till största delen på skillnader i densitet. Som en konsekvens av denna densitetsskillnad, men även som en följd av den termiska expansionen och den tillförsel av förbränningsprodukter som sker, kommer brandgaser att strömma ut ur rummet ovanför denna gräns och frisk luft strömma in nedanför denna gräns.

Slutsatsen av resonemanget är att skillnader i densitet är den huvudsakliga drivkraften till att det bildas ett brandgaslager samt att brandgaserna strömmar ut ur brandrummet och antingen in i andra rum eller direkt till det fria. Är rummet, eller hela byggnaden, helt eller delvis stängt kan det också uppstå skillnader i tryck som en direkt följd av uppvärmningen. Men denna tryckuppbyggnad utjämnas relativt fort för normala byggnader, eftersom det finns en hel del läckageytor. Denna utjämnande effekt gör att brandgaser strömmar från ett högre tryck mot ett lägre. Dessutom tillför branden i sig förbränningsprodukter, vilket också kan bidra till att trycket i ett slutet eller nästan slutet rum ökar. Men detta tryck utjämnas också relativt snabbt för normala byggnader då brandgaserna strömmar ut genom öppningar eller läckageytor.

Det är viktigt komma ihåg att de drivande krafterna för spridning av brandgaser är av samma storleksordning, oavsett om det är skillnader i densitet, faktiska tryckskillnader mellan rum, vindens påverkan på byggnaden, osv. Relativt små förändringar i öppningars placering eller storlek, brandens storlek eller förändringar i vindförhållanden, kan ha stor inverkan på hur brandgaser sprids inom och ut ur en byggnad. Brandgasventilation innebär att förhållandena i och kring byggnader förändras eller utnyttjas på ett sådant sätt att brandgaser fås att strömma ut ur byggnaden. Samtidigt strömmar då luft in i byggnaden, vilket kan få konsekvenser för brandens spridning och för produktionen av brandgaser.

Vid olika bränder i olika typer av byggnader med olika förutsättningar kan någon eller några av de faktorer som beskrivits ovan vara mer eller mindre dominerande. De som fattar beslut om brandgasventilation måste därför skapa sig en bild av vilken eller vilka faktorer som dominerar, och fatta beslut om ventilationsåtgärder utifrån detta.

Ju större eller mer komplex en byggnad är, desto viktigare är det att göra en helhetsbedömning av situationen innan brandgasventilation genomförs.

I mycket höga byggnader med schakt (såsom trapphus) kan temperaturskillnader mellan ute- och inneluft medföra ansenliga skillnader i densitet mellan de övre delarna och de lägre delarna av byggnaden. Dessa skillnader i densitet kan vara stora, i synnerhet vid mycket kall eller mycket varm väderlek.

Vind kan ha mycket stor inverkan på brandgasers spridning, såväl inom byggnader som till andra byggnader, i synnerhet på vissa geografiska platser eller vid höga byggnader.

Komfortventilation kan i vissa typer av byggnader, framför allt sådana med öppna eller slutna till- och frånluftssystem, medföra problem med brandgasspridning. I synnerhet om ventilationssystemet upphör att fungera.

Bränder i slutna eller nästan slutna byggnader eller rum skapar tryckskillnader på grund av förhindrad termisk expansion, dvs. att de varma brandgaserna inte kan expandera, samt på grund av produktionen av förbränningsprodukter. Vid bränder med hög effektutveckling, bränder som växer snabbt, eller i byggnader där öppningarna är förhållandevis små, kan dessa tryckskillnader tillsammans bli ansenliga och bidra till spridningen av brandgaser. Spridningen sker då alltid från högre tryck till lägre tryck.

Om en brandcellsgräns är bristfällig eller om konstruktionen är försvagad t.ex. på grund av brandpåverkan, kan sådana tryckskillnader göra att brandcellsgränsen eller konstruktionen försvagas ytterligare, i synnerhet vid mycket häftiga eller snabba brandförlopp eller vid höga temperaturer. Speciella fenomen såsom backdraft eller brandgasexplosion kan medföra att byggnadsdelar brister. Detta är dock ovanligt. Orsaken till byggnadsdelar som brister beror snarare på värmepåverkan från branden.

Vilken faktor som påverkar mest varierar från fall till fall. Blåser det mycket kan det vara vinden som ger den största tryckskillnaden och som därmed påverkar mest. Är branden mycket häftig och temperaturen hög i brandrummet och även i omgivande rum, kan det vara tryckskillnader på grund den termiska expansionen som är störst. På motsvarande sätt kan det vara med den termiska stigkraften, som i synnerhet vid höga temperaturen eller i höga hus kan vara den avgörande faktorn för spridningen av brandgaser. Vilken eller vilka faktorer som är störst kan också variera medan branden pågår. I det tidiga brandförloppet eller vid små bränder, kan det vara komfortventilationen som till allra största del påverkar brandgasspridningen, i synnerhet den

brandgasspridning som sker inom brandcellen till följd av luftrörelser skapade av komfortventilationen. Senare under brandförloppet kan komfortventilationen medverka till brandgasspridning även till andra brandceller, i synnerhet om temperaturen är hög eller vid en fullt utvecklad brand.

Det är oerhört komplext att avgöra hur räddningstjänsten bör agera i dessa olika fall, och de taktiska problemen måste bedömas i varje enskilt fall. Vid brandgasventilation bör man eftersträva att få de olika faktorer som påverkar spridningen av brandgaser att samverka för att uppnå avsett resultat.

Kapitel 5

Att arbeta med brandgasventilation

Avsikten med brandgasventilation är att försöka förändra brandgasernas strömningsförhållanden i en byggnad som brinner, i syfte att släppa ut brandgaser till det fria. Dessa strömningsförhållanden förändras på olika sätt beroende på hur brandgasventileringen genomförs. Den kan i huvudsak utföras på två olika sätt, horisontellt eller vertikalt. Dessa två kan dessutom kombineras med fläktar, mekanisk brandgasventilering. I vissa fall kan en metod som kallas strålrörsventilation användas. Det går även att montera rökgardiner i öppningar för att förhindra eller begränsa spridningen av brandgaser. Ibland finns risk för så kallade vinddrivna bränder, såsom beskrevs ovan. Då bör man överväga att stänga igen den öppning som finns på vindsidan och undvika ytterligare öppningar innan branden slagits ner.

Generellt är det alltid bättre att först försöka få släckmedel på branden, innan brandgasventilering genomförs.

Storlek på öppningar

Generellt går det inte att ange några absoluta värden på hur stora öppningar ska vara vid räddningsinsatser. Det går dock att ange vissa riktlinjer för hur olika öppningar påverkar ett brandförlopp eller flödet av brandgaser. För att brandgasventilationen ska få avsedd effekt, krävs att den utförs vid rätt tidpunkt och på rätt plats i förhållande till brandens läge, storlek och utveckling. Framför allt krävs det att såväl tilluftsöppningar som frånluftsöppningar är av en viss minsta storlek. Avgörande för frånluftsöppningarnas storlek är bland annat temperaturen i brandrummet, vilken i sin tur styrs av brandens storlek och utveckling. Avgörande är även vilka syften man vill uppnå med åtgärden. Det måste också vara ett visst förhållande mellan storleken på tilluftsöppningar och storleken på frånluftsöppningar för att brandgasventilationen ska fungera så bra som möjligt. För att en viss mängd brandgas

ska kunna strömma ut, måste också (minst) motsvarande mängd luft kunna strömma in. I de fall vi använder fläkt, blir problematiken i princip tvärtom: eftersom vi trycker in stora mängder luft, måste minst motsvarande mängd brandgaser kunna strömma ut någonstans.

Av praktiska skäl kan det ibland vara svårt att åstadkomma öppningar som är tillräckligt stora. Takstolar, bärande eller avskiljande väggar samt fönster- eller dörröppningars storlek kan vara begränsande faktorer. Det finns dock vissa faktorer som direkt påverkar hur stora öppningar bör vara. T.ex. medför ofta hög temperatur i brandrummet att stora öppningar bör göras. Hög temperatur kan innebära att branden är stor och producerar mycket brandgaser, att den termiska expansionen kan vara kraftig samt att den termiska stigkraften är stor. Mängden och typen av bränsle i rummet kommer också att påverka produktionen av brandgaser. Är produktionen av brandgaser stor, krävs det större öppningar för att dessa ska kunna ventileras ut.

Men det är inte heller bra att göra för stora öppningar, eftersom in- och utflöde då kan uppstå genom samma öppning och att stora öppningar dessutom är känsliga för vind. Många gånger kan det vara bättre att göra flera mindre öppningar än en stor. Små öppningar har dock också nackdelar, t.ex. större strömningsförluster (större motstånd för de utströmmande brandgaserna) i förhållande till den mängd brandgaser som ska ventileras ut. Är det en stor mängd brandgaser med hög temperatur, kommer hastigheten på de utströmmande brandgaserna att bli större om öppningen är liten. Detta medför att flödesmotståndet i öppningen blir stort och att öppningen då inte är tillräckligt stor för att de brandgaser som produceras ska kunna ventileras ut. Då minskar effekten av brandgasventilationen och kan även medföra att utrymmet fortsätter fyllas med brandgaser. Det som ventilationsåtgärden då främst bidrar med, är tillförsel av luft till branden vilket kan medföra att branden sprids eller ökar i storlek.

Antalet och storleken på öppningarna beror också på syftet med åtgärden. Om syftet förutom brandgasventilering, också är att fysiskt avskilja konstruktioner för att förhindra brandspridning, är det givetvis bättre med en stor öppning, t.ex. tvärs över ett tak och med en viss minsta bredd så att brand inte kan sprida sig i konstruktionen.

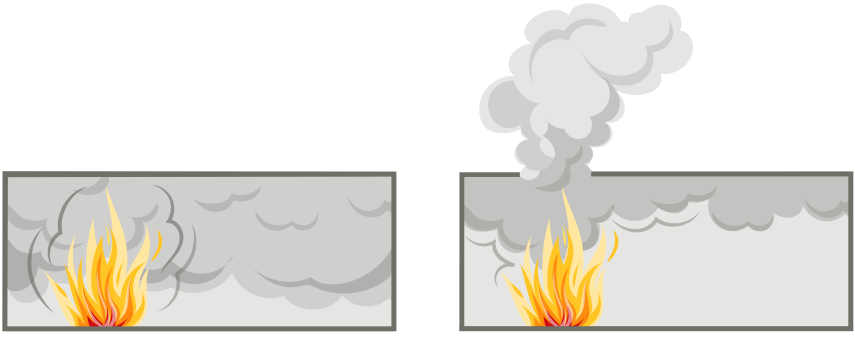
Tänk också på att håltagning av konstruktioner kan ta ganska lång tid. Oftast är det således mycket effektivare och säkrare att använda befintliga öppningar såsom dörrar och fönster, än att försöka göra hål i konstruktionen. Håltagning av konstruktioner bör normalt endast göras för att komma åt dolda bränder (konstruktionsbränder), och då

Vid brandgasventilation strömmar värme och brandgaser ut genom frånluftsöppningar.

måste stor försiktighet iakttas. Om hål ska göras behöver det dock inte ta så mycket längre tid att göra ett större hål än ett mindre. Det som tar mycket tid är ofta att förbereda själva håltagningen, t.ex. fallsäkring av personal och verktyg.

Frånluftsöppningar

Frånluftsöppningar är de öppningar där brandgaser huvudsakligen strömmar ut ur byggnaden. Dessa kan gärna utgöras av befintliga öppningar, såsom fönster eller dörrar, eller om inga andra alternativ finns hål som tas upp med hjälp av olika verktyg. Generellt bör frånluftsöppningar göras så högt som möjligt, för att brandgasernas termiska stigkraft ska kunna utnyttjas så mycket som möjligt. I vissa fall kan man också ta hjälp av de vindförhållanden som råder. Frånluftsöppningar bör således göras där det är som varmast, oavsett om ventilationen sker av brandutsatt eller angränsande utrymme. Problemet är att det här kan bli svårare för personalen att arbeta med håltagningen, på grund av hög temperatur eller stora mängder brandgaser. Dessutom bör frånluftsöppningar helst göras på läsidan av byggnaden, men vi har inte alltid möjlighet att välja sida. Även detta kan medföra att personalen måste arbete i utströmmande brandgaser.



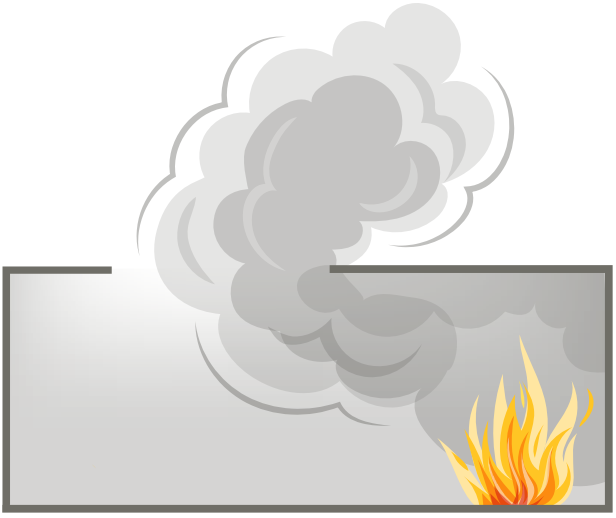
När håltagning skett kan man ofta se en tydlig höjning av brandgaslagret, dvs. det bildas en relativt brandgasfri zon nära golvet, och arbetet för räddningspersonalen underlättas väsentligt.

Storleken på frånluftsöppningarna bestäms framförallt av temperaturen på brandgaserna och mängden brandgaser som produceras. Om branden är stor eller har pågått en längre tid krävs generellt en större frånluftsöppning för att åstadkomma utventilering av varma brandgaser. Ju större höjning av brandgaslagret som eftersträvas eller ju mer brandgaser som ska ventileras ut, desto större öppning krävs. Ett vanligt kriterium för ventilationsåtgärden är att så pass mycket brandgaser ska ventileras ut att sikten förbättras för personal som arbetar inne i byggnaden. Men man bör även beakta t.ex. utrymmande personers möjligheter att ta sig ut samt brandgasernas brännbarhet. I praktiska situationer vill man normalt givetvis ventilera ut så mycket brandgaser som möjligt och så fort som möjligt.

Ofta krävs relativt små öppningar för att åstadkomma en väsentlig förbättring av miljön i ett brandrum. I utrymmen med upp till några hundra kvadratmeter golvyta och med bränder på några megawatt upp till något enstaka tiotal megawatt, räcker det ofta med öppningar på några enstaka kvadratmeter för att få märkbar effekt av brandgasventilationen.

Följande riktlinjer kan ges:

- Ju större höjning av brandgaslagret som eftersträvas, dvs. ju större verkan av brandgasventilationen som eftersträvas, desto större frånluftsöppning krävs. (Observera den maximala storleken på frånluftsöppningar, eftersom större öppningar även kan komma att fungera som tilluftsöppningar.)
- Ju högre brandgastemperatur i brandutrymmet, desto större frånluftsöppning krävs för att uppnå avsedd verkan. Hög temperatur betyder normalt att effektutvecklingen är stor i förhållande till utrymmets volym, vilket också innebär att mycket brandgaser bildas.
- Ju mer brandgaser som produceras, även om temperaturen är låg som t.ex. vid glödbränder, desto större frånluftsöppning krävs. I detta fall kan effekten av brandgasventilering dock bli låg på grund av begränsad termisk stigkraft.



Stora frånluftsöppningar kan medföra att frisk luft strömmar in och kyler brandgaserna. Då minskar effekten av brandgasventilationen.

Den enskilt största parametern som påverkar frånluftsöppningars storlek är temperaturen, och den kan vi många gånger göra en grov bedömning av. Temperaturen är ofta direkt relaterad till brandens effekt. Hög temperatur motsvarar normalt hög effektutveckling och medför också normalt att mer brandgaser bildas, men också större termisk stigkraft (lägre densitet på brandgaserna). Behovet av storlek på öppningen eller öppningarna ökar generellt med effektutvecklingen.

För att uppnå bästa effekt av brandgasventilation är det viktigt att inte göra för stora öppningar i förhållande till branden och brandgaslagrets tjocklek. Blir öppningen för stor, kan frisk luft från tilluftsöppningarna strömma direkt ut med brandgaserna. Då minskar naturligtvis effekten av håltagningen. Stora frånluftsöppningar kan också medföra att frånluftsöppningen även blir tilluftsöppning. Dessa fall är dock oftast små problem i räddningstjänstsammanhang.

Var också uppmärksam så att de brandgaser som strömmar ut genom frånluftsöppningar inte strömmar tillbaka in i byggnaden genom tilluftsöppningar eller så att personal på utsidan av byggnaden inte påverkas av utströmmande brandgaser.

Effektutveckling

Effektutveckling mäts i watt [W], vilket är detsamma som avgiven energi Joule [J] per sekund [s], J/s. Brandeffekt anges oftast i kilowatt [kW] (tusentals watt) eller megawatt [MW] (miljontals watt).

Exempel på karaktäristiska maximala effektutvecklingar

Papperskorg cirka 50–300 kW, soffa cirka 1–2 MW, sovrum cirka 3–5 MW, personbil cirka 3–7 MW.

Beräkning av frånluftsöppningens storlek

Maximala frånluftsöppningen bestäms bland annat av Froudes tal, vilket anger kvadratroten ur förhållandet mellan antingen tröghetskraft och gravitationskraft eller rörelseenergi och lägesenergi. Ur kritiska värden på Froudes tal kan en enkel tumregel för maximal öppningsarea $\mathbf{A_v}$ (enskilda öppningar) härledas:

$$A_v < 2d^2$$

där **d** är brandgaslagrets tjocklek.

Detta innebär till exempel att om man i en helt brandgasfylld industribyggnad med takhöjden 3 m, vill höja brandgaslagret till halva takhöjden, bör varje enskild öppning (eller grupp av öppningar i direkt anslutning till varandra) inte göras större än cirka:

$$A_{v,\,max} \approx 2\left(\frac{3}{2}\right)^2 = 4{,}5\ m^2$$

Totalt kan dock större öppningsarea än så erfordras. Detta kan då åstadkommas genom att flera öppningar med maximal öppningsarea skapas. Om öppningen är för stor, minskar effektiviteten på ventilationsöppningen.

Frånluftsöppningar bör placeras där temperaturen är som högst, dvs. så högt som möjligt, för att utnyttja den termiska stigkraften maximalt. Brandens storlek och utveckling (brandgasernas temperatur) samt lokalens storlek är avgörande för frånluftsöppningarnas storlek, men 1–4 m^2 kan fungera som riktvärde (mindre för småhus och större eller mycket större för industribyggnader). I första hand bör fönster, dörrar eller brandventilatorer väljas som frånluftsöppningar. Det kan många gånger vara bättre att göra flera mindre frånluftsöppningar än ett fåtal stora.

Tilluftsöppningar

Oftast förknippas brandgasventilation med håltagning för att ventilera ut brandgaser, dvs. att skapa frånluftsöppningar. Men minst lika viktigt för att överhuvudtaget kunna ventilera ut brandgaser, är att det finns tilluftsöppningar där luft kan strömma in och ersätta de brandgaser som strömmar ut.

Det kan ibland vara svårare att skapa tilluftsöppningar än frånluftsöppningar. Generellt bör tilluftsöppningar vara nedanför brandgaslagret, dvs. i nivå med eller nedanför branden, eftersom varm luft stiger uppåt och frisk luft då bör fyllas på underifrån. Ibland måste tilluften av praktiska skäl anordnas långt från både branden och frånluftsöppningarna.

I vissa fall kan frånluftsöppningar i form av brandventilatorer i tak användas som tilluft. Detta förutsätter dock att ventilatorerna är placerade i taket till angränsande utrymmen som inte är direkt utsatta för brand eller brandgas, och att det finns invändiga öppningar mellan dessa utrymmen och de brandutsatta utrymmena. Dessutom kan det i sådana fall vara nödvändigt att ta hjälp av yttre vindförhållanden, så att ventilatorer som är avsedda att fungera som tilluftsöppningar hamnar på vindsidan av byggnaden/taket.

Eftersom brandgaser till allra största delen består av frisk luft som har tillförts branden, värmts upp och expanderat, bör tilluftsöppningarnas storlek förhålla sig till frånluftsöppningarna ungefär i ett förhållande 1:1 och helst upp till 2:1, dvs. tilluftsöppningar bör vara minst lika stora och helst upp till dubbelt så stora som frånluftsöppningar. Att försöka göra ännu större tilluftsöppningar har normalt ingen avgörande betydelse. Det bör redan här noteras att vid övertrycksventilation, dvs. då fläktar används, bör förhållandet mellan tillufts- och frånluftsöppningars storlek vara tvärtom (se längre fram). Eftersom rumsindelningar, öppningar mellan rum och inredningens placering begränsar luftens strömning, är det så gott som alltid lämpligt att sträva efter något större tilluftsöppningar än frånluftsöppningar, i synnerhet om avståndet är stort mellan tillufts- och frånluftsöppningarna. Ännu större tilluftsöppningar medför endast liten eller obefintlig ökning av den avsedda effekten.

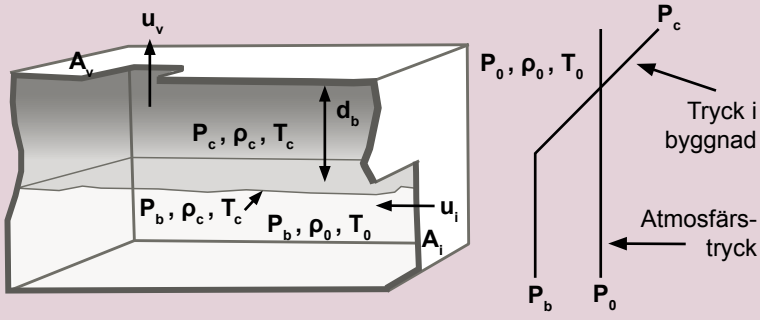
> Tilluftsöppningar bör placeras så lågt som möjligt. Tilluftsöppningarnas sammanlagda yta bör vara minst lika stor och helst upp till dubbelt så stor som frånluftsöppningarnas sammanlagda yta.

Baksidan med att skapa tilluftsöppningar, är att den luft som strömmar in även kommer att påverka brandens förlopp. I synnerhet vid ventilationskontrollerade bränder är det viktigt att ha detta i åtanke, men även bränslekontrollerade bränder kommer givetvis förr eller senare att påverkas. Eventuellt bör någon form av brandsläckningsåtgärd göras om möjligt, med syfte att dämpa branden eller begränsa dess möjligheter att sprida sig, innan såväl tilluftsöppningar som frånluftsöppningar görs.

Var alltid medveten om att luft tillförs branden vid brandgasventilation, och att detta i allra högsta grad kan påverka branden negativt. I värsta fall kan brandgasventilationen som en konsekvens av lufttillförseln medföra att byggnaden går förlorad, eftersom tillförseln av luft kan ge upphov till oönskad och hastig spridning av brand eller brandgaser. Å andra sidan kan brandgasventilation, åtminstone tillfälligt, göra situationen bättre och underlätta sökningen efter t.ex. saknade personer.

Förhållandet mellan storleken på tillufts- och frånluftsöppning vid termisk ventilation

Betrakta ett rum med ett övre varmt brandgaslager, med tjockleken $\mathbf{d_b}$, trycket $\mathbf{P_c}$, densiteten $\boldsymbol{\rho_c}$ samt temperaturen $\mathbf{T_c}$. I rummets nedre del är trycket $\mathbf{P_b}$, densiteten $\boldsymbol{\rho_0}$ (samma som för den omgivande luften) samt temperaturen $\mathbf{T_0}$ (samma som för den omgivande luften). Hastigheten på den utströmmande brandgasen genom frånluftsöppningen i taket, med arean $\mathbf{A_v}$, är $\mathbf{u_v}$. Hastigheten på den inströmmande luften genom tilluftsöppningen, med arean $\mathbf{A_i}$, är $\mathbf{u_i}$.



Tryckfallet över frånluftsöppning är:

$\mathbf{P_c - P_0}$

Tryckfallet över tilluftsöppning är:

$\mathbf{P_0 - P_b}$

Bernoulli's ekvation ger att:

$$P_c - P_0 = \frac{\rho_c u_v^2}{2}$$

Ekvation 1

$$P_0 - P_b = \frac{\rho_0 u_i^2}{2}$$

Ekvation 2

Det statiska trycket till följd av brandgasernas temperatur ges av:

$$P_c - P_b = (\rho_0 - \rho_c) d_b g$$

Ekvation 3

Förhållandet mellan temperatur och densitet ges av:

$$\rho_0 T_0 = \rho_c T_c \Rightarrow \frac{T_o}{2} = \frac{\rho_c}{\rho_0}$$

Ekvation 4

Temperaturskillnaden är:

$$\theta_c = T_c - T_0$$

Ekvation 5

Ekvationerna 1–2 ger att:

$$P_c - P_b = P_0 + \frac{\rho_c u_v^2}{2} - P_0 + \frac{\rho_0 u_i^2}{2} = \frac{\rho_c u_v^2}{2} + \frac{\rho_0 u_i^2}{2}$$

Tillsammans med ekvation 3 ger detta:

$$\frac{\rho_c u_v^2}{2} + \frac{\rho_0 u_i^2}{2} = (\rho_0 - \rho_c) d_b g$$

Division med densiteten ρ_0 ger:

$$\frac{\rho_c u_v^2}{\rho_0 2} + \frac{u_i^2}{2} = d_b g - \frac{\rho_c}{\rho_0} d_b g$$

vilket tillsammans med ekvationerna 4 och 5 ger:

$$\frac{T_0 u_v^2}{T_c 2} + \frac{u_i^2}{2} = \frac{d_b \theta_c}{T_c} g$$

Ekvation 6

Massflödet genom tilluftsöppningen kan beskrivas med:

$$M_i = C_i A_i \rho_0 u_i$$

Ekvation 7

Motsvarande för frånluftsöppningen ger, tillsammans med ekvation 4 att:

$$M_v = C_v A_v \rho_c u_v = C_v A_v \rho_0 u_v \frac{T_0}{T_c}$$

Ekvation 8

Om Ai och Av är lika stora och likformiga är:

$$C_i = C_v$$

Ekvation 9

Vi antar att allt inflöde sker genom A_i och allt utflöde genom A_v. Dessutom bortser vi från massflödet från bränslet, dvs:

$$M_i = M_v$$

Ekvation 10

Ekvationerna 6–10 ger då att:

$$M_v = \frac{C_v A_v \rho_0 (2 g d_b \theta_c T_0)^{1/2}}{T_c^{1/2}\left(T_c + A_v^2 \frac{T_0}{A_i^2}\right)^{1/2}}$$

Ekvation 11

Om Ai går mot oändlighet, dvs. om det finns obegränsat med tilluft, blir ekvation 11:

$$M_v = \frac{C_v A_v \rho_0 (2 g d_b \theta_c T_0)^2}{T_0 + \theta_c}$$

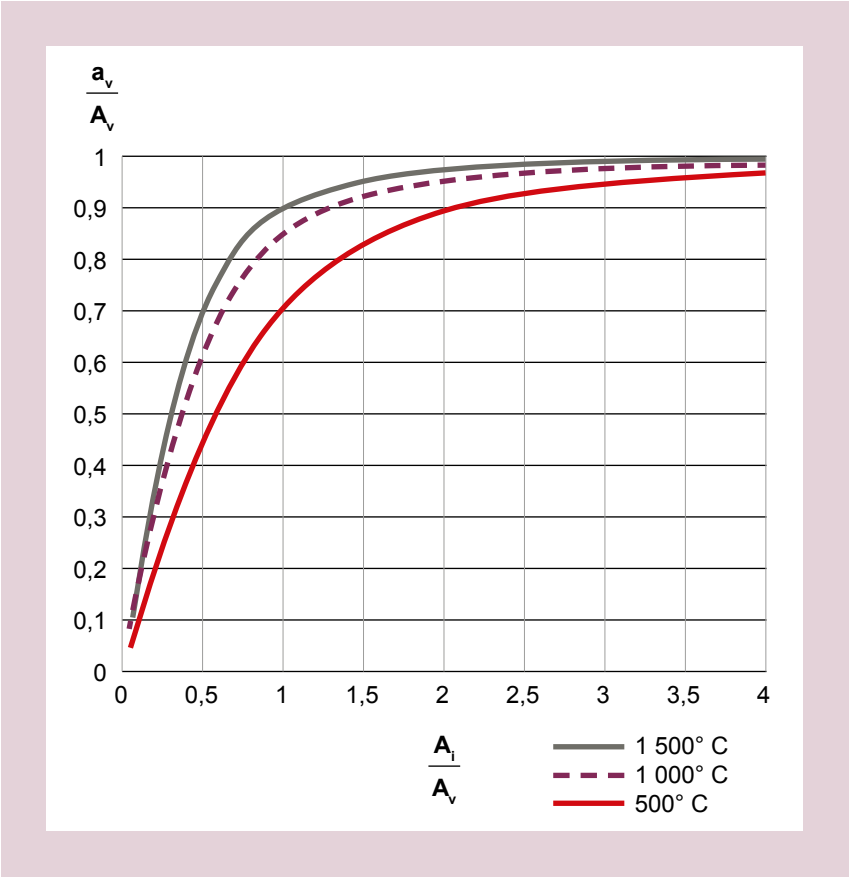
Ekvation 12

Ekvationerna 11 och 12 blir helt identiska om A_v byts mot en ”korrigerad” ventilationsarea, a_v, definierad av:

$$\frac{1}{a_v^2} = \frac{1}{A_v^2} + \frac{1}{A_i^2}\frac{T_0}{T_c}$$

Ekvation 13

Låt oss i ett diagram, se nästa sida, rita in förhållandet mellan tilluftsöppningens area, A_i, och frånluftsöppnings area, A_v, mot förhållandet mellan a_v och A_v, som blir ett slags effektivitetsmått på frånluftsöppningen. Då ser vi att effektiviteten blir större, ju större tilluftsöppningen är. Ur diagrammet kan man dra slutsatsen att tilluftsöppningen bör vara minst lika stor som frånlufts-öppningen, gärna dubbelt så stor, då effektiviteten blir cirka 90 %. Observera också att förhållandet är temperaturberoende, även om detta inte förändrar slutsatsen.

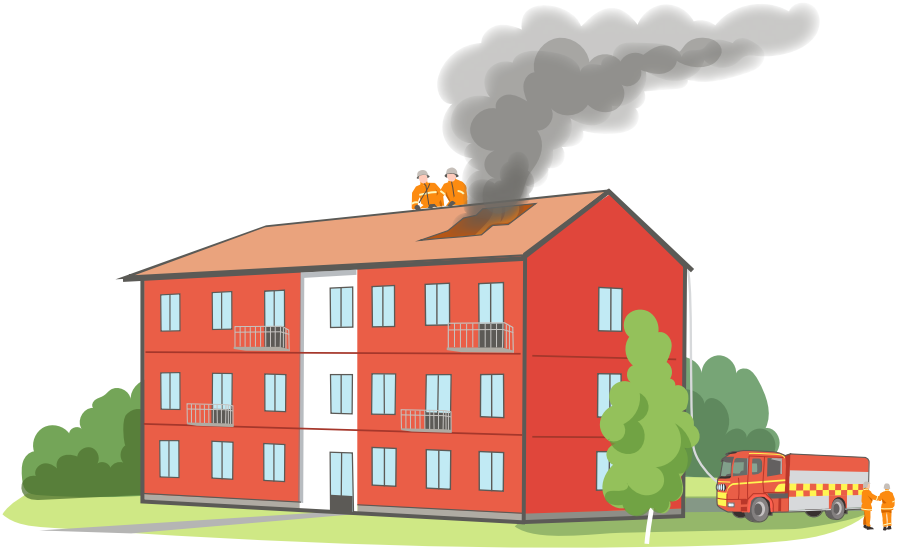

$\frac{a_v}{A_v}$
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
$\frac{A_i}{A_v}$
1 500° C
1 000° C
500° C

Håltagning och ventilation kan göras genom att fönster och dörrar utnyttjas, så kallad horisontell brandgasventilation. Brandgaserna strömmar horisontellt från branden/brandrummet och ut genom fönster eller dörrar.

Horisontell brandgasventilering av brandutsatta utrymmen

I många byggnader går det inte att skapa lämpliga öppningar ovanför branden. Det kan t.ex. röra sig om brand i en industribyggnad med lättbetongtak där det inte heller finns några brandventilatorer. Eller så brinner det i en lägenhet i ett flerbostadshus där ventilering genom befintliga fönster- eller dörröppningar är enda möjligheten. Så kallad horisontell ventilering bygger på att frånluftsöppningarna är i samma plan som branden. Detta skapar normalt ingen strömning av brandgaser uppåt i byggnaden och effekten av densitetsskillnader och därmed den termiska stigkraften utnyttjas då inte fullt ut. Men brandgaserna strömmar horisontellt ut genom frånluftsöppningarna (normalt fönster eller dörrar), ändå huvudsakligen drivna av den termiska stigkraften.

Horisontell ventilering utförs genom att byggnadens ordinarie öppningar (fönster, dörrar eller luckor), i så stor utsträckning som möjligt används för att ventilera ut brandgaser. Högt placerade öppningar på läsidan bör användas som frånluftsöppningar. Lågt placerade öppningar på vindsidan bör användas som tilluftsöppningar. På detta sätt utnyttjar man dels brandgasernas termiska stigkraft så mycket som möjligt, dels vindens tryck, för att ventilera ut brandgaserna. Men, var medveten om de problem som kan uppstår med så kallade vinddrivna



Håltagning och ventilation kan ibland göras genom hål (högt placerade) eller luckor i tak, så kallad vertikal brandgasventilation. Brandgaserna strömmar vertikalt från branden/brandrummet och ut genom öppningar i tak.

bränder, dvs. att vinden medverkar till en hastig spridning av brandgaser och brand, eventuellt på ett sådant sätt att räddningspersonalen kommer till skada.

Effekten av horisontell brandgasventilation kan förbättras med hjälp av fläktar. Detta beskrivs utförligare längre fram.

> Horisontell brandgasventilering innebar att frånluftsöppningar är i samma plan som branden. Detta minskar effekten av brandgasernas termiska stigkraft, men är ofta enda sättet att ventilera vid t.ex. lägenhetsbränder.

Vertikal brandgasventilering av brandutsatta utrymmen

Vertikal brandgasventilation innebär att frånluftsöppningarna är ovanför branden, ofta så högt som möjligt i byggnaden. Brandgaserna strömmar då vertikalt, dvs. uppåt, från branden eller från brandrummet och ut genom frånluftsöppningar. Tilluftsöppningar däremot bör däremot,

(som beskrivits ovan), vara i nivå med, eller under branden. Ju större höjdskillnad det är mellan tillufts- och frånluftsöppningarna, desto mer kan den termiska stigkraften utnyttjas.

Högt placerade frånluftsöppningar skapas normalt genom att öppna befintliga luckor (fönster/ljusinsläpp eller som så kallade brandventilatorer/luckor). Eventuellt kan håltagning i takkonstruktionen också göras, men sådana åtgärder kan ta lång tid och ställa särskilda krav på säkerheten och på den utrustning som används.

Ofta kan det bli problem vid källarbränder, där frånluftsöppningar kan anordnas ovanför branden, men där även tilluftsöppningar måste anordnas ovanför branden. Det är då extra viktigt att ta hänsyn till vinden eller ta hjälp av fläktar. I vissa fall kan man bli tvungen att använda samma öppning för både tilluft och frånluft. Dessutom kan räddningstjänstpersonalens inträngningsväg bli där brandgaser strömmar ut, vilket kan medföra betydande risker.

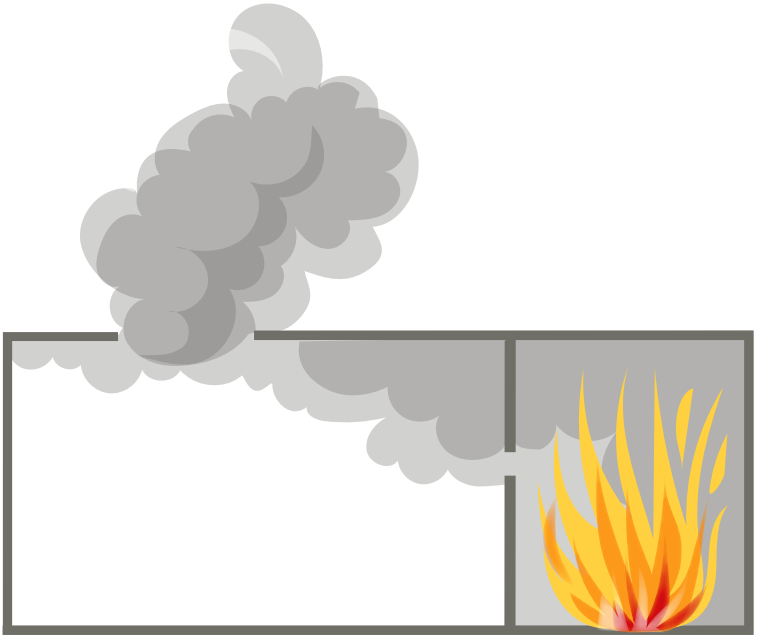
Effekten av vertikal brandgasventilation kan förbättras med hjälp av fläktar. Detta beskrivs utförligare längre fram.

> Vertikal brandgasventilering innebär att frånluftsöppningarna är ovanför branden, ofta så högt som möjligt i en byggnad. På detta sätt utnyttjas brandgasernas termiska stigkraft bättre.

Brandgasventilering av angränsande utrymmen

Om branden i ett utrymme är fullt utvecklad, kan det vara lämpligare att brandgasventilera angränsande utrymmen än att ventilera utrymmet där det brinner. Det främsta syftet med det kan vara att säkerställa utrymningsvägarna för människor som fortfarande befinner sig i byggnaden. Åtgärden kan förhindra spridning av brand (direkta flammor) och brandgas, till ej brandutsatta utrymmen som t.ex. angränsande brandceller.

Brandgasventilation av angränsande utrymmen kan utföras genom att öka trycket från angränsande lokaler med hjälp av fläktar (se nedan), men givetvis också genom att använda befintliga fönster, dörrar eller



När ett utrymme eller en brandcell är att betrakta som förlorat, kan det ofta vara bättre att rikta in sig på att skydda angränsande utrymmen, till exempel genom håltagning och ventilation av det angränsande utrymmet.

andra öppningar för att ventilera ut värme och brandgaser direkt. I vissa fall kan det utföras genom att ta hål på konstruktionen. Håltagningen kan då göras som en begränsningslinje dvs. att t.ex. såga ett hål i taket mellan den del som brinner och den del av byggnaden som ännu är oskadad. Denna håltagning kan göras såväl horisontellt som vertikalt och även kombineras med mekanisk ventilering. Tänk på att håltagning av konstruktioner ofta tar längre tid än beräknat och även kan ställa särskilda krav på säkerheten.

Tänk också på att även brandgasventilering av angränsande utrymmen kan tillföra luft. Antingen till det brandutsatta utrymmet via det angränsande utrymmet eller på ett sådant sätt att risken ökar för spridning av brand och brandgaser till det angränsande utrymmet.

Mekanisk brandgasventilation med fläktar

Fläktar kan användas dels för mekanisk brandgasventilering, dels för trycksättning av angränsande lokaler. Mekanisk ventilering kan göras med undertryck eller övertryck. Undertrycksventilering innebär att brandgaser sugs ut ur brandrummet eller ur angränsande rum. Övertrycksventilering innebär att brandgaserna trycks ut ur brandutsatta utrymmen med hjälp av fläktar, kombinerat med ett snabbt släckangrepp.

Det finns en mängd olika typer av fläktar på marknaden som kan användas för mekanisk ventilering, från turbindrivna (med vatten) till bensinmotordrivna och eldrivna (såväl med batteri som med kabelanslutning).

Man kan också trycksätta angränsande lokaler. Skillnaden mellan trycksättning av angränsande rum och övertrycksventilation är ibland hårfin. T.ex. kan övertrycksventilation vid en lägenhetsbrand samtidigt innebära trycksättning av trapphuset. Det går också att genomföra en mängd olika varianter på övertrycksventilation.

Vid mekanisk brandgasventilation måste tillufts- och frånluftsöppningar skapas, så att det uppstår en horisontell eller vertikal ventilering. Vid trycksättning av angränsande lokaler görs däremot inga frånluftsöppningar. Då bör lokalen i stället hållas så tät som möjligt, så att det blir ett faktiskt tryck. Trycksättning är således egentligen inte brandgasventilation, eftersom brandgaser inte ventileras ut ur byggnaden. Men åtgärderna liknar brandgasventilation på så vis att vi med hjälp av ventilationsåtgärder påverkar strömningen av brandgaser och värme, med syftet att förhindra spridning av brandgaser (och värme) till det angränsande utrymmet. Dessutom finns det normalt läckage i byggnader, så även vid trycksättning kommer det att ske ett visst flöde av luft från det trycksatta utrymmet till angränsande utrymmen eller ut ur byggnaden.

Mekanisk brandgasventilation och användning av fläktar bygger på att stora mängder luft tillförs (eller bortförs) från utrymmet eller byggnaden. Därför måste man vara särskilt observant vid den typen av åtgär-

Vid trycksättning av angränsande lokaler, kan spridningen av brandgaserna ofta begränsas effektivt.

der, och ständigt fatta aktiva beslut om fläktanvändningen. Fläktarna måste kanske stängas av endast efter en kort stunds körning för att det ska finnas möjligheter att utvärdera situationen. Det kan t.ex. vara svårt att se om det stora luftflödet har orsakat brandspridning in i konstruktionen eller till tidigare odrabbade delar av byggnaden. Ett beslut om att använda fläktar måste omvärderas kontinuerligt under insatsen. En fläkt är ett aktivt verktyg. Fläkten ska startas vid behov och framförallt stängas av vid behov och får normalt heller inte lämnas utan tillsyn oavsett hur den används.

Värt att nämna är att den tidigaste referensen som står att finna till användningen av mekanisk brandgasventilation, är en norsk skrift utgiven 1947 av Norsk Brannvern Forening med titeln Fenno-Vent skriven av Leo Pesonen. I den beskrivs såväl undertrycksventilation som övertrycksventilation och trycksättning av angränsande utrymmen.

All mekanisk brandgasventilering kan påverka brandförloppet mycket och hastigt. Den typen av ventilering måste därför bedömas kontinuerligt och eventuellt avbrytas om det finns indikationer om att situationen försämras.

Undertrycksventilation

Undertrycksventilation bygger på att ett undertryck skapas i en öppning till brandrummet eller till det brandutsatta utrymmet med hjälp av en fläkt. Alternativt kan undertrycket skapas med hjälp av en fläkt mitt inne i utrymmet eller i byggnaden. Denna fläkt sammankopplas då med omgivningen t.ex. med hjälp av slang. Det förekommer också att fläkten placeras utanför byggnaden, med en sugande slang in i byggnaden.

Undertrycksventilation kan användas som en taktisk åtgärd under räddningsinsats, men används mest under eftersläckning och restvärdesräddning. Metoden kräver flera arbetsmoment. Om fläkten placeras i en öppning måste resten av öppningen täckas för att full effekt ska uppnås. Eventuellt måste en slang för borttransport av varma brandgaser också monteras.

Situationer där undertrycksventilation kan vara lämplig är brand i källare eller andra brandrum som ej har direkt förbindelse ut i det fria och då brandgaser måste transporteras genom ännu ej drabbade lokaler, t.ex. via ett trapphus. Undertrycksventilation kan också vara aktuell då en och samma öppning måste användas för både tilluft och frånluft. Vid eftersläckning och restvärdesräddning kan tekniken användas för att förbättra arbetsmiljön för personal som exempelvis ska riva tak eller väggar för att komma åt dolda brandhärdar.

Vid undertrycksventilation kan tilluftsöppningar anordnas separat. Om slang används kan man utnyttja samma öppning, som den där slangen dras. Om samma öppning används för både tilluft och frånluft (genom slang) bör slangen dras så pass långt in i det brandgasutsatta utrymmet att frisk luft inte strömmar direkt från tilluftsöppningen till slangen och direkt ut i det fria igen.

En slang som placeras på sugsidan ska vara självbärande, formstabil, medan en slang på trycksidan kan vara mjuk. Tänk på att slangen i båda fallen måste vara avsedd för höga temperaturer. Mjuka slangar av polyeten eller motsvarande, så kallad engångsslang, tål högst cirka 100°C, och är därför inte lämplig att använda för frånluft vid ventilering av utrymmen med varma brandgaser. Däremot kan den typen av slang vara användbar vid restvärdesräddning.

Den formstabila slangen på undertryckssidan placeras så långt in i rummet som möjligt och helst även högt för att få med varma brandgaser under taket. Eventuellt måste en extra fläkt placeras i rummet som ”rör omkring” brandgaserna så att inte stillastående fickor bildas i hörn och dylikt. Olika tekniker förekommer för att placera en fläkt

eller formstabil slang uppe under taket. Ett exempel är att placera en expanderande stång i ett dörrhål och hänga upp fläkten i den. Det förekommer även specialtillverkade justerbara stativ för fläkt.

Undertrycksventilation ställer stora krav på fläkten, t.ex. att den tål höga temperaturer. Drivs fläkten av en förbränningsmotor kan effektuttaget minska på grund av påverkan från brandgaserna.

Den mängd brandgas som kan ventileras ut med hjälp av undertrycksventilation begränsas av fläktens kapacitet, men också av det flödesmotstånd som finns i en eventuell slang. Ju längre eller smalare slang, desto större motstånd och därmed mindre flöde. Traditionellt har elektriska fläktar använts för undertrycksventilation. Dessa fläktar hade en relativt liten kapacitet, cirka 2 000–8 000 m^3/h (cirka 0,5–2 m^3/s). Ju större kapacitet, desto större blir normalt även fläkten. Det finns idag elektriska fläktar med god kapacitet, upp mot cirka 45 000 m^3/h. Dagens batteridrivna fläktar har också ganska god kapacitet, upp mot cirka 25 000 m^3/h. Båda dessa typerna kan användas med formstabil slang och kan därför även fungera för undertrycksventilation.

Undertrycksventilation är användbar vid såväl små som stora bränder, även om dess största värde är vid mindre bränder eller vid restvärdesräddning. Ju större fläkt (större kapacitet) som används, och ju mindre utrymmet är, desto snabbare sker utvädringen av brandgaser.

Undertrycksventilation kan också användas vid ventilering av utrymmen där brandfarliga, explosiva eller giftiga gaser har läckt ut. Om frånluftsöppningen kan begränsas till en slang från det drabbade utrymmet, kan vidare spridning av gaser i byggnaden förhindras. Tilluften tas då endast genom byggnadens naturliga läckageareor. Det är oerhört viktigt att fläkten är explosionsskyddad, i synnerhet vid arbete med brandfarliga eller explosiva gaser. Statisk elektricitet kan uppstå i slangen, vilket ökar explosionsrisken. Vid ventilering av giftiga gaser bör man också tänka på vart gaserna transporteras och att slangens utlopp förläggs så att vidare skador inte uppstår.

Undertrycksventilation används normalt under eftersläckning och restvärdesräddning. Fläkten placeras högt i öppningen eller kombineras med slang. Tänk på att varma brandgaser kan förstöra såval slang som fläkt. Undertrycksventilation är lämplig vid källarbränder, då brandgaser måste transporteras genom ännu ej drabbade lokaler, eller då en och samma öppning måste användas för både tilluft och frånluft. Metoden kan också användas vid ventilering av utrymmen där brandfarliga, explosiva eller giftiga gaser har läckt ut. Tänk dock på explosionsrisken!

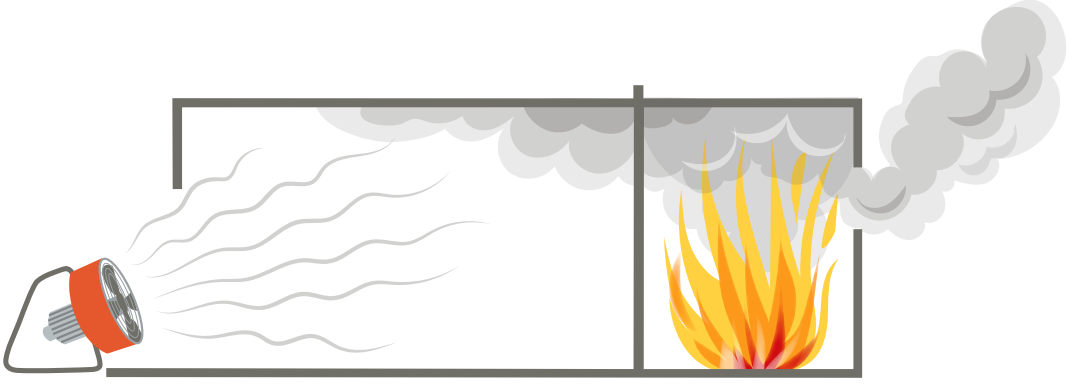
Erfarenhet har också visat att det som fungerar alldeles utmärkt vid en insats kanske inte alls fungerar nästa gång trots en liknande situation. Detta kan t.ex. bero på att undertrycksventilationen är känslig för hur fläkten placeras och var från- och tilluftsöppningar placeras i förhållande till varandra och till branden.

Det finns i skrivande stund inte några riktiga undersökningar kring undertrycksventilation och det är därför svårt att dra några slutsatser om dess funktion eller användbarhet. Det är också en metod som kommit att användas allt mer sällan.

En speciell situation där undertrycksventilation används är vid lätt-skumfyllning av utrymmen. För att få ut luft snabbt ur lokalen som ska skumfyllas sätts en ”sugande” fläkt vid frånluftsöppningen. Det har visat sig vara en användbar lösning för att snabbare lättskumfylla ett utrymme och få skummet att fylla upp utrymmet bättre. Detta förutsätter att fläkten placeras korrekt.

Trycksättning av angränsande lokaler

Trycksättning av angränsande lokaler innebär att man med hjälp av en fläkt skapar ett större tryck i angränsande utrymmen, dvs. utanför brandutrymmet. Syftet är att förhindra spridning av brand och brand-gaser till det angränsande trycksatta utrymmet. Detta kan vara en lämplig åtgärd om branden är stor eller svåråtkomlig, om det är svårt



Då ett utrymme eller en brandcell är att betrakta som förlorat, kan det ofta vara bättre att rikta in sig på att skydda angränsande utrymmen, till exempel genom att med hjälp av fläktar trycksätta det angränsande utrymmet.

Fläktar kan placeras i serie, dvs. efter varandra. Detta har dock visat sig ha begränsad effekt, men kan användas till exempel genom att en fläkt utanför byggnaden kan kompletteras med ytterligare en fläkt längre in i byggnaden eller högre upp i ett trapphus.

att ventilera brandutrymmet eller om branden i övrigt är svårsläckt. Det krävs dock att väggar eller andra avskiljningar har ett visst brandmotstånd, dvs. att de kan stå emot flammor, hög temperatur eller brandgaser under viss tid, utan att branden eller brandgaserna sprids genom dem.

Man kan trycksätta angränsande lokaler genom att skapa endast tilluftsöppning och placera en fläkt i där. Detta räcker oftast om brandgasspridningen till det trycksatta utrymmet inte är omfattande. Om varmare brandgaser däremot redan hunnit sprida sig till det angränsande utrymmet, bör trycksättningen kompletteras med håltagning för frånluft. Då börjar man med att ventilera ut brandgaser, och därefter, när utrymmet är fritt från brandgaser stänger man frånluftsöppningen och trycksätter utrymmet. Det kan t.ex. vara lämpligt i ett rökfyllt trapphus vid en lägenhetsbrand.

Ett alternativ är att koppla en slang till fläkten, som leder frisk luft in i det angränsande utrymmet. I sådana fall kan så kallad engångsslang av polyeten användas eftersom temperaturen i slangen blir låg när luft strömmar genom den. Detta kan vara en lämplig åtgärd om lokalen

Vid trycksättning kan fläktar placeras parallellt, dvs. vid sidan om varandra, för att åstadkomma ett större tryck i utrymmet, eller för att täcka stora tilluftsöppningar, t.ex. en garageport.

ligger långt in i byggnaden eller i lokaler som har speciellt värde (arkiv, datorhallar, museer m.m.). Det är då viktigt att andra öppningar än slangen för tilluften sätts igen, så att det uppstår ett så stort övertryck som möjligt i utrymmet. Det finns även fläktar som har en så kallad dörradapter. Denna placeras då mellan fläkten och tilluftsöppningen och säkerställer att så mycket luft som möjligt trycks in i lokalen.

Vid trycksättning kan fläktar placeras parallellt, dvs. vid sidan om varandra, för att åstadkomma ett större tryck i utrymmet, eller för att täcka stora tilluftsöppningar, t.ex. en garageport.

Fläktar kan också placeras i serie, dvs. efter varandra. Detta har dock visat sig ha begränsad effekt. Trycket ökar inte nämnvärt med fläktar placerade efter varandra. Undantaget kan vara vid större eller mer komplexa byggnader, där en fläkt utanför byggnaden kan kompletteras med ytterligare en fläkt (eller flera) längre in i byggnaden i anslutning till avdelade utrymmen som behöver trycksättas.

Observera också att trycksättning av angränsande lokaler egentligen inte är brandgasventilering, eftersom inga brandgaser ventileras ut. Vid beslut om trycksättning är det därför viktigt att vara särskilt tydlig med syftet med åtgärden, dvs. att utrymmet ska trycksättas och inte ventileras.

Övertrycksventilation innebär att brandgaser och värme trycks ut genom en frånluftsöppning med hjälp av kraftiga fläktar.

Övertrycksventilation

Övertrycksventilation innebär att brandgaser och värme trycks ut genom en frånluftsöppning, genom att stora mängder luft tillförs brandrummet, den brandutsatta brandcellen eller byggnaden, med hjälp av kraftiga fläktar. Åtgärden kombineras normalt med en invändig släckinsats. Det är av största vikt att det finns en eller flera frånluftsöppningar. Annars leder lufttillförseln endast till en kraftig ökning och spridning av såväl branden som brandgaserna.

Syftet med övertrycksventilation är att snabbt kunna lokalisera branden och göra sig av med såväl brandgaser som värme så att den fortsatta brandspridningen dämpas och räddningstjänstens personal snabbt kan påbörja livräddning och släckning. Arbetsmiljön för personalen förbättras avsevärt eftersom temperaturerna sjunker och sikten blir betydligt bättre. Utrymmande personer får också större möjlighet att klara sig undan farliga brandgaser och personalen har större möjlighet att hitta instängda personer snabbare. Övertrycksventilation gör det ofta möjligt att göra snabba, invändiga släckinsatser på ett säkert sätt. Men det finns även risker med övertrycksventilation, vilket beskrivs senare i detta avsnitt.

Användningar av fläktar måste ske utifrån en kontinuerlig bedömning av situationen och bör inte lämnas utan tillsyn.

Metoden bygger på att en eller flera fläktar placeras nära öppningar för att trycka ut och ventilera bort brandgaser genom frånluftsöppningar. Ett grundläggande förfaringssätt är att man

1. gör klart för invändig släckning/livräddning
2. lokaliserar brandrummet
3. gör en frånluftsöppning, helst i brandrummet eller så nära branden som möjligt
4. startar fläkt och placerar fläkten så att den blåser in genom tilluftsöppningen
5. gör inträngning och attackera branden.

Vid övertrycksventilation måste fläktens användning och effekt kontinuerligt bedömas och utvärderas. En fläkt bör inte lämnas utan översyn och får inte köras längre än nödvändigt.

Vid övertrycksventilation bör fläkten placeras utanför byggnaden.

Fläktar som är lämpliga för övertrycksventilation drivs antingen av förbränningsmotor eller av vattenturbin men det finns även elektriska fläktar, inklusive batteridrivna, som har visat sig fungera väl. Kapaciteten för dessa fläktar ligger på cirka 8 000–50 000 m^3/h (2–14 m^3/s), beroende på bland annat motorns/turbinens kapacitet, fläktens diameter och fläktbladens utformning. Större diameter på fläkten ger större flöden och turbindrivna fläktar ger större flöden än fläktar som drivs med förbränningsmotor (om storleken i övrigt är lika). Elektriska fläktar ger normalt lägre flöden, men det beror i stor utsträckning på hur mycket effekt som kan tas ur strömkällan. En trefasfläkt har således högre kapacitet än en batteridriven, men med tiden kan vi förvänta oss allt mer kraftfulla batteridrivna fläktar. Flödet genom brandutrymmet beror på utrymmets geometri, frånluftsöppningens storlek och placering, fläktens placering samt inredningens mängd och placering. Brandens storlek och tillväxthastighet, och därmed även produktionen av brandgaser, kan vara avgörande för vilken kapacitet som fläkten behöver ha.

För att brandgaser inte ska tränga ut ur en tilluftsöppning, är det viktigt att luftströmmen täcker hela eller så stor del som möjligt av tilluftsöppningen. För öppningar med normal storlek, såsom lägenhetsdörrar

eller dörrar till trapphus, bör avståndet mellan fläkt och öppning vara cirka 1–3 meter, beroende på typ och storlek på fläkten. Det är relativt enkelt att prova och mäta sig fram till ett lämpligt avstånd vid övning eller motsvarande. Det finns även fläktar som är konstruerade för att placeras längre från tilluftsöppningen. Det är således viktigt att kontrollera och eventuellt prova för den eller de fläktar som ska användas, så att man är medveten om dess funktion och kapacitet vid olika typer av situationer.

Vid övertrycksventilation kan fläktar placeras parallellt, dvs. vid sidan om varandra, för att åstadkomma ett större volymflöde, eller för att täcka in stora tilluftsöppningar, t.ex. en garageport.

Fläktar kan också placeras i serie, dvs. efter varandra. Detta har dock visat sig ha begränsad effekt för normala byggnader såsom småhus de flesta flerfamiljshus. Volymflödet ökar inte nämnvärt med fläktar placerade efter varandra. Undantaget är höga trapphus. Där kan man placera en fläkt utanför trapphuset och ytterligare en fläkt på ungefär var tolfte till femtonde våning. Det ökar effekten av övertrycksventilationen väsentligt. Övertrycksventilation fungerar således bra med endast en fläkt upp till ungefär dessa höjder, under förutsättning att det i övrigt finns bra förutsättningar för övertrycksventilation. Över cirka 12 till 15 våningsplan, bör ytterligare fläktar placeras längre upp i trapphuset för att förbättra effekten.

Förluster i luftflödet kan vara avsevärda. Bland annat roterar luftströmmen och svänger av på grund av turbulensen från fläkten. Delar av luftströmmen kommer att träffa såväl mark- som väggytor. Det innebär att en hel del av luftströmmen överhuvudtaget inte når frånluftsöppningen.

På vägen mellan tillufts- och frånluftsöppning (inne i byggnaden) uppstår förluster vid varje förträngning, t.ex. i dörröppningar och vid möbler eller andra större föremål. Förluster uppstår även t.ex. i långa korridorer eller om flödesvägarna kröker. Exempel på detta kan vara i höga trapphus, där ett luftflöde måste följa trapploppet runt. Även räddningspersonal som rör sig inne i utrymmet kan skapa förluster, i synnerhet om de befinner sig i öppningar mellan rum och på så sätt begränsar luftflödet.

För att få så bra resultat som möjligt av övertrycksventilation bör förhållandet mellan tilluftsöppning och frånluftsöppning vara minst 1:1 och helst 1:2. Detta betyder att frånluftsöppningen bör vara minst lika

stor som tilluftsöppningen, gärna upp till dubbelt så stor. Vid övertrycksventilation är det således, i motsats till ventilationsåtgärder då fläkt inte används, viktigt att ha tillräckligt stor frånluftsöppning så att hela fläktens kapacitet utnyttjas. Det är i stor utsträckning frånluftsöppningens storlek och placering som är avgörande för resultatet när övertrycksventilation används, inte placeringen av fläkten. Men även alla de utrymmen och innerdörrar som kan finnas mellan tilluftöppningen och frånluftsöppningen kan påverka resultatet.

En stor frånluftsöppning ger större volymflöde genom brandutrymmet, men troligtvis ökar samtidigt känsligheten för vind. Om frånluftsöppningen inte kan göras på läsidan av en byggnad, bör man därför överväga att göra en mindre frånluftsöppning. Samtidigt kan detta medföra att effekten av övertrycksventilationen blir sämre.

Övertrycksventilation är en användbar metod, främst i lägenheter och villor, där såväl golvyta som takhöjd är relativt begränsad (100–200 m^2 golvyta, 2–3 m takhöjd). Bäst resultat får vi om rummen ligger efter varandra, så att det blir en tydlig flödesväg från tilluftsöppning (där fläkten är placerad) till frånluftsöppning.

Generellt kan sägas att metoden är användbar vid bränder i småhus, lägenheter och höghus där brandgaserna kan transporteras genom trapphus eller korridorer. Även i kontorslokaler, vårdlokaler och liknande kan metoden fungera väl.

Att tänka på vid övertrycksventilation:

- Gör frånluftsöppningar.
- Se till att frånluftsöppningarna är minst lika stora som tilluftsöppningarna, helst dubbelt så stor.
- Tryck inte brand eller brandgaser till angränsande utrymmen eller byggnader.
- Tryck inte brand eller brandgaser mot innestängda människor eller egen personal.
- Övertrycksventilera inte utan att ha släckvatten framme.
- Koordinera övertrycksventilation med andra åtgärder, till exempel håltagning, inträngning, livräddning och invändig släckinsats. Då görs de största vinsterna med denna metod.

Om frånluftsöppningen är för liten vid övertrycksventilation, kan flammor slå ut genom tilluftsöppningen och försvåra arbetet för personalen.

Frånluftsöppningen bör göras i brandrummet, så att de brandgaser som produceras och den energi som branden tillför får så kort sträcka som möjligt att transporteras ut i det fria. Men ofta är det svårt att avgöra var branden är. Det kan bli problem t.ex. om en lägenhet består av två rum och kök förbundna endast genom en hall och inga andra inbördes förbindelser. Om frånluftsöppning görs i ett annat utrymme än i brandutrymmet, kan detta medföra att risken för brandspridning ökar, att brandens effektutveckling ökar och att brandgasspridningen till övriga utrymmen blir avsevärd, eftersom det finns risk för att fläkten trycker brand och brandgaserna till andra utrymmen. De positiva följderna av övertrycksventilationen uteblir då helt eller delvis.

Övertrycksventilation bör undvikas vid brand i större lokaler. I många fall kan det fungera bra även där, eftersom utflödet av brandgaser och värme givetvis ökar. Men risken är stor att övertrycksventilationen förvärrar situationen. Från början ganska väl skiktade brandgaser, varma i utrymmets övre delar och kallare i rummets nedre, kan komma att röras om så att sikten blir sämre och värmen ökar i hela utrymmet. I dessa fall kan det eventuellt vara bättre att inledningsvis trycksätta angränsande utrymmen.

Vid övertrycksventilation kan fläkten användas för att trycka värme och brandgaser framåt, så att arbetsmiljön för personalen förbättras.

Man ska också ha i åtanke att övertrycksventilation tillför branden luft. Brandens intensitet kommer att öka och glödbränder kan flamma upp och spridas snabbt. Luftflödet gör att branden sprider sig (eventuellt till konstruktionen) och värmen mellan branden och frånluftsöppningen kan bli avsevärd. Övertrycksventilation bör användas med försiktighet vid något av följande förhållanden

- om backdraftförhållanden kan råda, dvs. vid kraftig ventilationskontroll och där brand/pyrolys pågått en längre tid
- vid konstruktionsbränder, dvs. när branden har trängt in i dolda utrymmen eller in i byggnadens konstruktionselement
- om brandrummet inte med säkerhet kan bestämmas
- om människor kan finnas mellan branden och frånluftsöppningen.

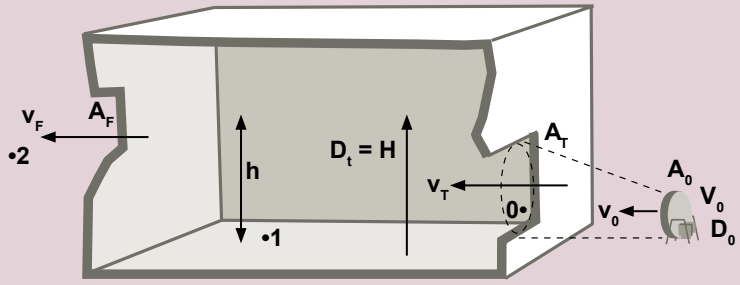
Det finns givetvis en mängd varianter på hur övertrycksventilation kan genomföras. Men grundprincipen är densamma: att brandgaser trycks ut genom frånluftsöppningar med hjälp av en fläkt som placeras vid tilluftsöppningen.

Vid t.ex. räddningsinsatser mot lägenhetsbränder kan trapphus många gånger vara rökfyllda. Eftersom det är viktigt att säkra utrymningsvägarna, bör då trapphuset först göras rökfritt innan ett angrepp mot själva brandlägenheten sker. Övertrycksventilation kan då användas för att först göra trapphuset fritt från brandgaser, genom att trapphuset öppnas upp så långt upp som möjligt. Om frånluftsöppningen därefter stängs, sätts trapphuset under tryck och fortsatt spridning av brandgaser begränsas eller förhindras. När sen dörren till brandlägenheten öppnas, kommer luftströmmen (och trycket) från fläkten göra att brandgaserna trycks tillbaka in i lägenheten. Detta förutsätter att det finns en frånluftsöppning någonstans i brandlägenheten. I annat fall finns det återigen risk för spridning av brandgaser till trapphuset.

Vid lägenhetsbränder över markplan kan det vara svårt att skapa frånluftsöppningar innan ett invändigt angrepp sker. Ett sätt att lösa detta på, är att skapa frånluftsöppningarna från insidan. Detta kan innebära att branden måste bekämpas helt eller delvis först. Ett annat alternativ är att räddningstjänstpersonalen först tar sig in i den brandutsatta lägenheten, gör en frånluftsöppning och återvänder till trapphuset innan fläkten startar. Återigen, tänk på att fläkten tillför stora mängder luft på kort tid och snabbt kan påverka brandens förlopp. Personalen bör således vara på sin vakt och hålla hög beredskap för att snabbt kunna påföra släckmedel.

Vid övertrycksventilation är det också viktigt att kontinuerligt bedöma åtgärdens effekt och behovet av fortsatt övertrycksventilation. En fläkt bör normalt inte köras längre än att större delen av brandgaserna tryckts ut och branden har slagits ner eller släckts. Därefter bör fläkten normalt stängas av så att situationen kan bedömas utifrån eventuell brandspridning, kvarvarande glödbränder eller liknande. Vid behov kan fläkten därefter startas igen för att trycka ut ytterligare brandgaser innan den återigen stängs av. Fläkten måste hanteras aktivt och utifrån en kontinuerlig bedömning av situationen. En fläkt som ”glöms” kan lätt sprida såväl brandgaser som brand okontrollerat och på ett sådant sätt att hela byggnaden går förlorad.

Förhållandet mellan storleken på tillufts- och frånluftsöppning vid övertrycksventilation



Betrakta ett utrymme med en tilluftsöppning där arean är $\mathbf{A_T}$, lufthastigheten $\mathbf{v_T}$ och höjden **H** (=$\mathbf{D_T}$, luftkonens höjd/diameter), samt med en frånluftsöppning där arean är $\mathbf{A_F}$ och gashastigheten $\mathbf{v_F}$. Fläkten har arean $\mathbf{A_0}$, diametern $\mathbf{D_0}$ samt flödet genom fläkten är $\mathbf{V_0}$. Vi antar alltså att luftkonen från fläkten helt täcker tilluftsöppningen.

Vi bortser här från branden. I de fall övertrycksventilation primärt är tillämplig, är detta ett rimligt antagande, eftersom fläkten i dessa fall skapar ett mycket större tryck än branden. Vi bortser också från vindens inverkan.

Lagen om rörelsemängdens bevarande ger att:

$$V_T D_T = v_0 D_0 \text{ dvs. } v_T = \frac{v_0 D_0}{D_T}$$

Ekvation 1

Det dynamiska tryck som utövas av luftkonen (från fläkten) mot tilluftsöppningen ges av:

$$P_{dyn} = \frac{\rho_0 V_T^2}{2}$$

Ekvation 2

Flödet från fläkten ges av:

$$V_0 = v_0 A_0 = v_0 \frac{\pi D_0^2}{4}$$

Ekvation 3

Volymflödet i frånluftsöppningen ges av:

$$\dot{V}_F = C_d v_F A_F$$

Ekvation 4

där $\mathbf{C_d}$ är utströmningskoefficienten och beror på hur öppningen ser ut.

Betrakta punkterna 0, 1 och 2 i figuren ovan, och ansätt Bernoulli's ekvation för dessa punkter. Höjdskillnad mellan punkterna 0/1 och punkten 2 är h. Detta ger:

$$P_0 + P_{dyn} = P_1 + \frac{1}{2}\xi\rho_0 v_T^2 + \frac{1}{2}\rho_0 v_1^2$$

Ekvation a

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_0 v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\xi\rho_0 v_F^2 + g\rho_0 h$$

Ekvation b

$$P_2 = P_0 - g\rho_0 h$$

Ekvation c

där ξ är tryckförlustkoefficienten i till- och frånluftsöppningar.
Nu gäller att:

$$V_T = \frac{V_F A_F}{A_T} \qquad V_1 \approx 0,\ V_2 \approx 0$$

Sätt in ekvationerna b och c i a, vilket ger:

$$v_F = \sqrt{\frac{P_{dyn}}{\frac{1}{2}\xi\rho_0\left[\left(\frac{A_F}{A_T}\right) + 1\right]}}$$

Ekvation 5

Med hjälp av ekvationerna 1, 2 och 3 får vi ett uttryck för det dynamiska tryck fläkten utövar mot tilluftöppningen:

$$P_{dyn} = 8\rho_0\left(\frac{\dot{V}_0}{\pi D_0 H}\right)^2$$

Ekvation 6

Obs! Om öppningens bredd är större än **H** används bredden.

Med hjälp av ekvationerna 1–6 får vi också att:

$$\dot{V}_f = \frac{2.44}{\pi\sqrt{\xi}}\,\frac{HV_0}{D_0}\,\frac{\frac{A_F}{A_T}}{\sqrt{1 + \frac{A_F}{A_T}^{\,2}}}$$

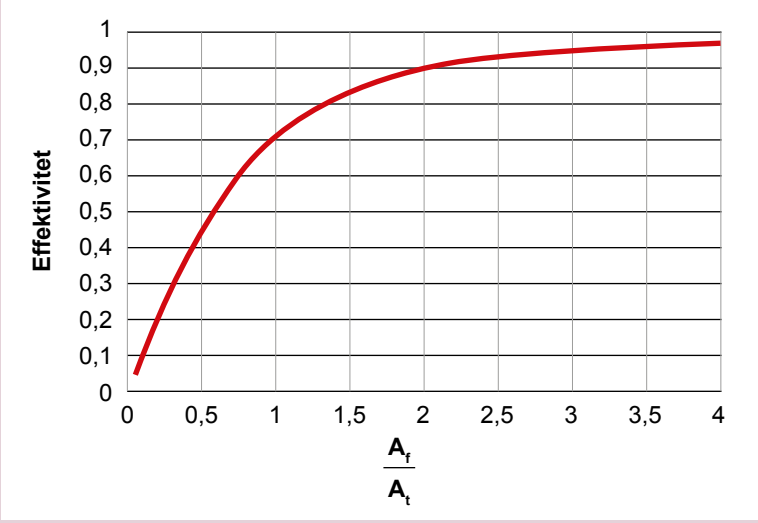
Ekvation 7

Uttrycket inom den stora parentesen kan vi kalla för ”ventilationsfaktor”. Låt oss rita in förhållandet mellan frånluftsöppning, $\mathbf{A_F}$, och tilluftsöppning, $\mathbf{A_T}$, mot olika värden på ventilationsfaktorn, från 0 till 1, se diagrammet.

$$A_f >> A_t \Rightarrow \frac{\frac{A_F}{A_T}}{\sqrt{1 + \frac{A_F}{A_T}^{2}}} = \text{Ventilationsfaktor} \Rightarrow 1$$

Ekvation 8

Om frånluftsöppningen är mycket större än tilluftsöppningen, går uttrycket inom parentes i ekvation 8 mot 1. Ur detta samt ur diagrammet kan man således dra slutsatsen att effektiviteten av övertryckventilation blir större, ju större frånluftsöppningen är. I diagrammet ser vi att frånluftsöppningen bör vara minst lika stor som tilluftsöppningen, gärna dubbelt så stor vilket ger en ventilationsfaktor på cirka 90 %.



Rökgardin

Rökgardinen har utvecklats relativt nyligen, men har redan fått stor spridning i flera länder. Det är en ganska enkel anordning som kan placeras i en dörröppning för att hindra att brandgaser sprids till exempelvis ett trapphus. Samtidigt medger den passage genom öppningen, genom att den fästs i ovankant av dörren medan den nedre delen hänger fritt. Efter installationen av gardinen kan dörren till det drabbade området öppnas och användas för evakuering av personer utan att rök och värme sprids i byggnaden.

Såväl forskning som försök har visat att rökgardiner effektivt förhindrar spridning av brandgaser.

I Sverige är det vanligt med utåtgående dörrar. Sådana gör det svårare att installera rökgardinen eftersom dörren måste öppnas innan gardinen kan monteras. Detta kan medföra att det hinner spridas en stor mängd brandgaser till exempelvis trapphuset. Trots detta kan rökgardin vara en lämplig åtgärd för att säkerställa utrymningsvägar, som till exempel trapphus inte minst i höghus.

Det har sedan länge funnits krav på bland annat brandgasventilation av trapphus till flerfamiljshus samt brandteknisk avskiljning mellan utrymningsvägar (trapphus) och bostadslägenheter. Rökgardiner kan därför antas spela en mindre viktig roll för svenska förhållanden. Men en rökgardin kan många gånger vara ett bra verktyg för att minimera spridningen av brandgaser till bland annat utrymningsvägar.

Rökgardinen begränsar även inflödet av frisk luft till branden, vilket då eventuellt kan förhindra eller begränsa brandens utveckling.

Strålrörsventilation

Strålrörsventilation är en metod som kan användas t.ex. vid lägenhetsbränder. Efter genomförd släckning riktas strålröret ut genom t.ex. ett fönster så att vattenströmmen drar med sig brandgaserna ut genom öppningen. Det är viktigt att vattenströmmen placeras på ett sådant sätt att den kon som släckstrålen bildar täcker öppningen så väl som möjligt. Samtidigt vill vi inte ha något vatten på väggar och golv inne i rummet.

Denna metod kan vara bra som en första åtgärd i syfte att få ut så mycket varma brandgaser som möjligt innan arbetet med t.ex. eftersläckning eller med att riva ner väggar eller tak påbörjas. Finns det möjlighet att använda fläkt, är detta dock ofta att föredra, eftersom strålrörsventilation är ineffektivt, sett i förhållande till effekt och den personalresurs som krävs.

Rökgardinen placeras i en dörröppning för att hindra att brandgaser sprids till exempelvis ett trapphus. Samtidigt medger den passage genom öppningen, genom att den fästs i ovankant av dörren medan den nedre delen hänger fritt.

Strålrörsventilation kan vara en första åtgärd för att öka flödet av brandgaser ur byggnaden, efter att släckning är genomförd.

Forskning har visat att den mängd luft som ett dimstrålrör kan förflytta kan vara i storleksordningen 4–5 m^3/s. Detta beror givetvis på såväl tryck och flöde från strålröret, som konvinkeln på vattenstrålen. Högre flöde, högre tryck eller större konvinkel ger större luftflöde och vice versa.

Metoden bör användas med försiktighet, så att den inte åstadkommer onödiga vattenskador. Strålröret bör därför öppnas utanför fönstret. Därefter backar man in i rummet, tills ventilationseffekt uppstår. Kontrollera vad som finns utanför fönstret, så att vattnet inte ställer till skada utanför byggnaden. Tänk också på att det behövs personal till att hantera både stålröret och vattnet.

Det finns även diskussioner om att dimstrålrör kan tillföra luft till branden vid brandsläckning, vilket även kunnat påvisas genom experimentell forskning. Men om dimstrålröret används korrekt vi brandsläckning torde detta inte vara något stort problem, eftersom även släckmedel (vatten) ju tillförs. Vid invändig brandsläckning är det dessutom främst den luft (och de brandgaser) som finns inne i utrymmet som kommer att röras runt och tillföras branden.

Kapitel 6

Konstruktionsbränder och brandgasventilation

Det som hittills beskrivits har i huvudsak handlat om brandgasventilation av ett eller flera rum i såväl stora som små byggnader. Tänk på att brandgasventilation och flödet av brandgaser ut ur byggnader och flödet av frisk luft in i byggnader, blir mer komplext

- om flera rum berörs
- om det finns flera tillufts- eller frånluftsöppningar
- om byggnaden har flera våningsplan.

Samtliga dessa fall bör betraktas som normalt vid brand i byggnad. Brandgasventilation är därför ett tämligen komplext och svårhanterat problem.

Ett specialfall som komplicerar brandgasventilationen ytterligare, är så kallade konstruktionsbränder, dvs. där branden uppstått i eller spridit sig in i byggnadens konstruktion (hålrum, schakt eller liknande). Detta område behandlas i detta kapitel. Vi ger exempel på olika typer av konstruktioner där håltagning kan vara aktuell. Sist i kapitlet behandlas även olika verktyg som kan vara till hjälp vid håltagning för att t.ex. komma åt konstruktionsbränder.

Konstruktionsbrand – brand i dolt utrymme

En konstruktionsbrand kan definieras som brand i dolda utrymmen eller på ytor med begränsad tillgänglighet, ofta med exponerade brännbara ytor som t.ex. byggnadsmaterial och installationer, och som normalt inte nyttjas för t.ex. förvaring eller vistelse. Det är således i huvudsak konstruktionen och dess komponenter i sig själv som utgör bränsle till branden. Dessutom är såväl storleken som geometrin annorlunda i förhållande till ”vanliga” rumsgeometrier, vilket påverkar spridningen av brandgaser och brand.

Vid konstruktionsbrand, som till exempel på en krypvind, krävs ofta att släckmedel påförs innan håltagning sker.

Exempel på sådana dolda utrymmen kan vara

- mindre hålrum såsom
  - luftspalter i fasad, takfot eller isolerade tak
  - konstruktionstekniska hålrum i byggnadsdel, som t.ex. förekommer vid trapetsplåt, modulhus, ombyggnation eller bjälklag
  - hålrum som uppstår till följd av brand, t.ex. på grund av att isolering smälter
  - skadedjursorsakade hålrum
  - oisolerade innerväggar
- större hålrum såsom
  - kallvind
  - krypvind
  - krypgrund
- vertikala större hålrum såsom
  - schakt.

Det går även att skilja mellan utvändiga och invändiga konstruktionsbränder. Invändiga konstruktionsbränder innefattas då av definitionen ovan, dvs. brand i dolda utrymmen. Utvändiga konstruktionsbränder är i stället bränder som inte är i dolda utrymmen, men som i stora delar uppfyller övriga delar av definitionen ovan, främst begränsad tillgänglighet.

Konstruktionsbränder medför ofta att stora delar av konstruktionen måste rivas.

Utvändiga konstruktionsbränder

Utvändiga konstruktionsbränder kan definieras som brand i utrymmen eller snarare på ytor med begränsad tillgänglighet, ofta med exponerade brännbara ytor såsom byggnadsmaterial och installationer. Exempel på sådana utrymmen eller ytor kan vara fasader, utvändiga takytor, takfotens utsida eller liknande.

Ytterligare kännetecken på utrymmen eller ytor med begränsad tillgänglighet där konstruktionsbränder kan uppstå kan t.ex. vara att förhållandet mellan höjd och längd/bredd är mycket litet. Detta avser då främst ytor som är mycket höga i förhållande till dess bredd (utvändiga fasader på höga byggnader). I vissa fall är det även tänkbart att förhållandet är tvärtom, dvs. en mycket bred yta i förhållande till dess längd. Det är då främst höjden (eller längden/bredden) som gör utrymmet svårtillgängligt, men det medför även att brandspridning och spridning av brandgaser ges andra förutsättningar än vid en rumsbrand. Något förenklat kan man säga att räddningstjänsten vid den här typen av bränder helt enkelt inte kan nå branden.

Invändiga konstruktionsbränder

Vid invändiga konstruktionsbränder kan avståndet mellan motstående ytor vara mycket litet, t.ex. avståndet mellan golvet och taket på en krypvind. Detta bidrar till begränsad tillgänglighet och till ändrade förutsättningar för brandspridning och spridning av brandgaser.

Dessutom kan förhållandet mellan omgivande ytor och volymen vara mycket stort. Ju mindre volymen är på ett utrymme desto större blir den omslutande arean, relativt sett. Det går inte heller att utesluta att utrymmen eller ytor där konstruktionsbränder kan uppstå även har andra egenskaper. Utrymmen med begränsad tillgänglighet kan även samla en hel del damm, stoft och andra partiklar, vilket kan bidra till såväl brandgasproduktion som brandspridning.

En konstruktionsbrand kan definieras som brand i dolda utrymmen eller på ytor med begränsad tillgänglighet, ofta med exponerade brännbara ytor som t.ex. byggnadsmaterial och installationer, och som normalt inte nyttjas för t.ex. förvaring eller vistelse.

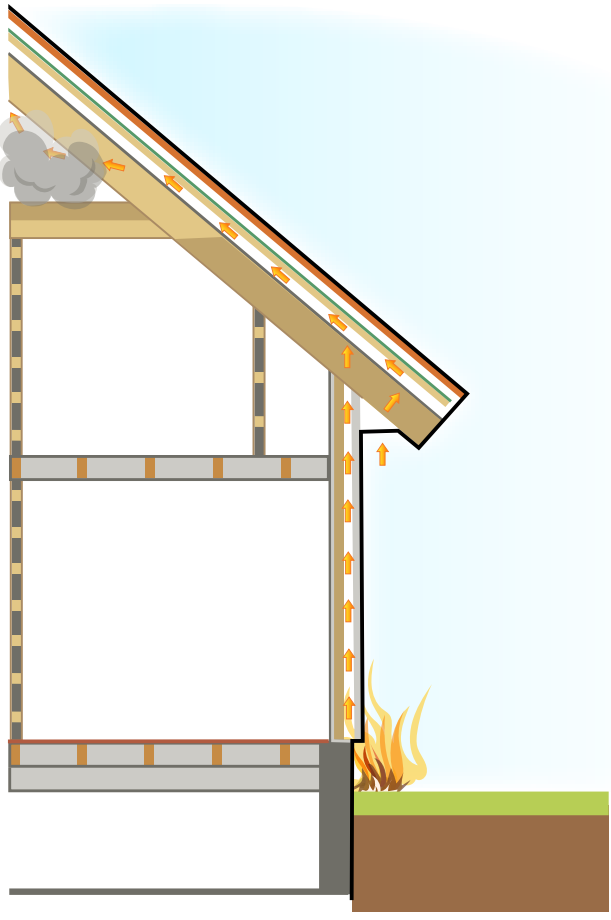
Utvändiga konstruktionsbränder kännetecknas bland annat av ytor som är mycket höga i förhållande till dess bredd, som till exempel utvändiga fasader på höga byggnader.

Invändiga konstruktionsbränder kännetecknas bland annat av att avståndet mellan motstående ytor är mycket litet eller att förhållandet mellan omgivande ytor och volymen är mycket stort. Vid konstruktionsbrand är det i stor utsträckning konstruktionen i sig självt som utgör bränslet.

Spridning av brand och brandgaser vid konstruktionsbränder

Produktionen av brandgaser och spridningen av brand i byggnader beror i stor utsträckning på om en brand är bränslekontrollerad eller ventilationskontrollerad. Detta gäller även vid konstruktionsbränder, trots att volymer eller ytor där har helt andra egenskaper än ”normala” rum. Sammantaget kommer brandgaser och därmed även brand att ges helt andra förutsättningar för spridning. Och om vi gör felaktiga antaganden kring produktionen av brandgaser och spridning, så kan det leda till att räddningstjänstens åtgärder vid brandgasventilation av konstruktionsbränder sprider såväl brandgaser som brand på ett okontrollerat sätt.

Vid all håltagning i samband med konstruktionsbränder är det viktigt att först försöka påföra släckmedel, för att minimera risken för oönskad och hastig spridning av brandgaser eller brand när håltagning sker.



Skorstenseffekter kan uppstå vid håltagning av konstruktioner, så att brandgaser och brand sprids hastigt.

Brand i större hålrum

Vid brandgasventilation av större hålrum såsom krypvindar eller krypgrunder beror händelseutvecklingen i mycket hög grad på om branden är ventilationskontrollerad eller inte, och även på graden av ventilationskontroll. En bränslekontrollerad brand innebär inte problem i samma utsträckning, där är det snarare tillgängligheten i sig som är ett problem (kanske främst vid utvändiga konstruktionsbränder). En ventilationskontrollerad brand saknar ju luft, så alla försök att öppna upp utrymmet kommer att tillföra luft till branden. Detta kan i sin tur medföra att branden sprider sig snabbt och okontrollerat vid brandgasventilation, om inga andra åtgärder vidtas. Brandgasernas inverkan på spridning av brand är stor, i synnerhet vid konstruktionsbränder.

I schakt består problematiken främst i att det vid håltagning, eller genombränningar, uppstår så kallade skorstenseffekter, något som beskrivits tidigare. Skorstenseffekten bygger på skillnader i densitet, där varm luft har lägre densitet än kall och därför strömmar uppåt.

Om detta sker inne i ett schakt (eller en skorsten, därav namnet) med en tvärsnittsarea som är liten i förhållande till schaktets höjd, kan det bli höga hastigheter på den varma luften som strömmar uppåt. Om det har uppstått brand inne i schaktet, blir densitetsskillnaderna på grund av den förhöjda temperaturen stora och därmed blir även hastigheten många gånger större än vid mer normala temperaturer. Följden blir att brandgaserna strömmar uppåt med hög hastighet, och att konvektionen, dvs. värmeflödet från den varma gasen och in i schaktets väggar, blir större. Detta får i sin tur konsekvensen att branden kan sprida sig snabbare uppåt i schaktet, eftersom ytorna värms upp fortare av de uppåtströmmande varma brandgaserna.

Brand i mindre hålrum

I mindre hålrum bör utgångspunkten alltid vara att branden är ventilationskontrollerad. En sådan brand kan medföra stora problem om håltagning sker och inga andra åtgärder vidtas. Problemet med mindre hålrum är att de kan vara svårare att identifiera, samt att det kan vara svårt avgöra hur långt sådana hålrum sträcker sig. Vi vet helt enkelt inte vart de tar vägen.

Mindre hålrum kan vara vertikala eller horisontella. Om de är vertikala, kan det uppstå skorstenseffekter vilket då kan sprida brand och brandgaser såväl snabbt som långa vägar. Är de mindre hålrummen horisontella sker spridningen troligtvis långsammare, men eftersom hålrummen är dolda, kan spridning ske till oväntade platser. Konsekvensen av håltagning med syfte att ventilera ut brandgaser, kan bli spridning till hela byggnaden med en totalskada som följd.

Konsekvenserna av konstruktionsbränder kan bli att brandgasproduktionen och då även brandspridningen accelererar mycket fortare än vid bränder i utrymmen av mer normala mått, dvs. vanliga rum. Om utrymmets volym då också är förhållandevis liten, kan det ansamlas mer brandgaser i förhållande till tillgängligt bränsle, vilket ökar värmeöverföringen ytterligare till ännu ej antänt bränsle.

Och eftersom produktionen av brandgaser kan bli stor, i förhållande till utrymmets storlek eller geometri, begränsas syrgaskoncentrationen fortare, vilket medför att branden fortare kan bli ventilationskontrollerad. Och som tidigare beskrivits, är det i synnerhet vid kraftig ventilationskontroll som det kan uppstå en mängd problem när man tar hål i syfte att ventilera ut brandgaserna och komma åt att släcka branden. Är då utrymmet högt och smalt, kan ventilationsåtgärder i form av håltagning medföra att det skapas en ”skorsten” vilket snabbt kan sprida såväl brand som brandgaser långa vägar.

Dimspikar eller skärsläckare kan användas för att påföra släckmedel till en konstruktionsbrand, innan konstruktionen öppnas upp.

Håltagning i konstruktioner riskfyllt men ofta nödvändigt

Håltagning i dolda utrymmen är ofta en viktig åtgärd för att överhuvudtaget kunna komma åt att släcka. Men eftersom håltagning då medför att även frisk luft strömmar in till branden, kan detta leda till en rad oönskade konsekvenser, t.ex. att såväl brandgaser som brand sprids fort och långa vägar inne i konstruktionen. De skador som uppstår kan bli avsevärda. Ventilation av dolda utrymmen med kraftigt ventilationskontrollerad brand kan till och med medföra att brandgaser och brand sprids på ett sätt som resulterar i en totalskada på byggnaden.

Vid brandgasventilering av konstruktionsbränder, oavsett om syftet är att ventilera ut brandgaser eller om det är att komma åt branden, bör man normalt först påföra någon form av släckmedel. Som hjälpmedel för detta ändamål finns det t.ex. dimspikar och skärsläckare. Det går även att använda vanliga strålrör om man först gör ett mindre hål. Välj släcksystem, släckmetod och släckmedel utifrån bland annat utrymmets

volym och förväntad effekt av åtgärden. Att påföra släckmedel i dolda utrymmen har begränsad eller ingen effekt om det inte pågår någon brand i utrymmet eller om temperaturen är förhållandevis låg. Vatten kan givetvis ha en viss fördröjande effekt, men detta måste då ställas mot risken för vattenskador.

Metoder för håltagning vid konstruktionsbränder

Håltagning kan i vissa fall vara en väsentlig del av arbetet med brandgasventilation, i synnerhet vid konstruktionsbränder. Här avses de metoder där hålet tas upp manuellt med hjälp av handverktyg. Sprängramar och vätskeskärning är metoder som kräver speciell utbildning och speciell utrustning. De behandlas därför endast översiktligt. Vätskeskärning (skärsläckare) har visserligen kommit att bli relativt vanligt. Men den utrustning för vätskeskärning som idag finns tillgänglig används sällan för att skapa ventilationsöppningar, utan snarare för att kunna påföra släckmedel inne i dolda utrymmen med hjälp av endast ett mindre hål.

Det finns inga generella metoder som kan tillämpas för håltagning vid brandgasventilation under en insats. Däremot finns det ett stort antal verktyg som är lämpliga att använda och vissa riktlinjer kan anges för håltagning i några vanliga typer av konstruktioner. Men exakt hur håltagning ska ske eller hur man bäst kommer åt en konstruktionsbrand måste avgöras från fall till fall.

Flera faktorer påverkar hur framgångsrik ventilering kan utföras genom håltagning. Exempel på sådana faktorer är

- brandförloppet och brandens intensitet
- rumsvolymer och geometrier
- tilluftsöppningars storlek och placering
- rådande vindförhållanden
- tillgång till mekanisk ventilation
- personalens förmåga
- håltagningsutrustningen
- konstruktionen.

Om brand spridit sig in i byggnadens konstruktion, måste ofta delar av eller hela konstruktionen brytas upp och friläggas.

Typen av konstruktion påverkar taktiken under insatsen. Konstruktionen påverkar också var hål bör tas, hur stora de bör vara och när de bör göras, vilka problem som kan uppstå vid håltagningen, liksom säkerheten för personalen och behovet av specialverktyg. Om rätt utrustning finns tillgänglig, inklusive lämpligt släckmedel och släckutrustning, och konstruktionen medger en snabb håltagning, så kan brandgaserna med stor sannolikhet ventileras ut och branden släckas.

I de följande avsnitten beskrivs vanliga verktyg för håltagning i några olika typer av konstruktioner. Det ges också några exempel på håltagning i olika konstruktioner som är vanliga för svenska förhållanden. Okonventionella metoder behandlas inte, som t.ex. att riva väggar och tak med hjälp av grävmaskiner eller kranbilar. I vissa fall kan sådana metoder mycket väl vara lämpliga lösningar på taktiska problem, men de bör användas med viss försiktighet.

> Var alltid försiktig vid håltagning, i synnerhet när arbetet sker över markplan.

Verktyg för håltagning av konstruktioner

De verktyg som visas finns vanligtvis tillgängliga hos landets räddningstjänster och förekommer vid håltagning. Verktygen kan delas in i elmotordrivna verktyg, förbränningsmotordrivna verktyg, handverktyg och specialutrustning.

Eldrivna verktyg

De eldrivna verktygen är ofta mindre och lättare än ett motsvarande verktyg med förbränningsmotor. En annan fördel är att deras funktion inte försämras av rökgaser. Till nackdelarna hör att rörelsefriheten begränsas med kablar och att tillgången till el kan vara begränsad i vissa situationer. En annan nackdel är att eldrivna verktyg ofta har lägre effekt än motsvarande verktyg med förbränningsmotor. Å andra sidan har batteridrivna elverktyg blivit allt bättre och deras kapacitet fortsätter att utvecklas. Det går troligtvis inte längre att finna några större skillnader i effekt mellan kabelanslutna och batteridrivna elverktyg. Vid tyngre eller mer långdragna arbeten är det dock fortfarande en fördel att kunna ansluta elverktyg till en fast elkälla.

Förbränningsmotordrivna verktyg

Verktyg med förbränningsmotor används oberoende av yttre kraftkälla och utvecklar en jämförelsevis stor effekt. De är dock ganska tunga och motoreffekten kan påverkas av brandgaserna vid håltagning. Vid kraftig brandgasutveckling kan motorn i värsta fall stanna. Det är viktigt att veta hur verktygen ska användas, bland annat på grund av den relativt stora effekten och verktygens tyngd. Dessutom kan den större effekten och tyngden kräva annan skyddsutrustning med högre skyddsklassning och i vissa fall även specialutbildning.

Exempel på olika typer av verktyg och deras grundläggande funktioner

Tigersågen arbetar med fram- och återgående rörelser. Den kan användas för sågning i trä, gips och metall. För plåtkapning är skärhastigheten lägre än för roterande verktyg, men ljudnivån och gnistbildningen är mindre. Sågbladet är normalt cirka 15 cm långt, men det finns såväl kortare som längre blad. Ju grövre material, desto lägre blir såghastig-

Bilden till vänster visar en tigersåg, bilden till höger visar en cirkelsåg.

heten. Tigersågen har visat sig vara ett bra verktyg för håltagningsarbeten i en mängd olika typer av konstruktioner.

Cirkelsågen används för att såga i mjukare material såsom trämaterial och gips. Den är effektiv och relativt enkel att ta med sig vid en insats. Den kan användas för både täckande skivor och bärande delar i takkonstruktioner av trä. Sågdjupet varierar mellan 30 och 70 mm, beroende på fabrikat och typ.

Som **skruvdragare** används en särskild maskin eller en batteridriven borrmaskin som förses med skruvmejselbits eller mutterhylsa. Skruvförband och fastsättning av skivmaterial med skruv är idag mycket vanligare än förr, då spik användes mer flitigt. Skruvdragaren används därför med fördel när man vill lossa större skivor eller liknande. Många gånger ger det håltagningar som är lättare att återställa.

Motorsågen är smidig att använda vid håltagning i träkonstruktioner. Funktionen kan sättas ned av spik och plåtförband i konstruktionen. Vid håltagning i ett trätak som täckts med tjärpapp kan kedjan komma att klibba igen av tjäran. En motorsåg med förbränningsmotor har större effekt och ofta också längre svärd än en elmotorsåg, vilket gör den till ett mer mångsidigt verktyg.

Elmotorsågen är smidig att använda vid håltagning i träkonstruktioner. Funktionen kan sättas ned av spik och plåtförband i konstruktionen. Vid håltagning i ett trätak som täckts med tjärpapp, kan kedjan klibba igen av tjära. Jämfört med en motorsåg med förbränningsmotor, är effekten relativt begränsad.

Motorkapen är ett kraftfullt verktyg som kan förses med olika klingor beroende på vad som ska kapas. Motorkapen kräver, liksom övriga motordrivna verktyg, kunskap om rätt handhavande för att användningen ska vara säker och effektiv. Kapen bör gå på fullt varvtal och får då ”äta” sig genom materialet utan att man skjuter på.

Bilden till vänster visar en skruvdragare, bilden till höger visar en motorsåg.

Elkapmaskinen är vanlig för hemmabruk men har en relativt liten praktisk användning vid håltagning i olika typer av konstruktioner, främst på grund av begränsad effekt och begränsat skärdjup. Den kan förses med olika klingor och används främst för kapning av metalldelar i olika takkonstruktioner, t.ex. metallstänger, plåtluckor etc.

Tvillingkapmaskinen skär med två metallklingor som monterats intill varandra och roterar åt olika håll. Den klarar att skära i rostfritt, gjutgods, aluminium, trä, vissa plaster m.m. Däremot klarar den inte att bearbeta glas, sten, betong eller keramik. Det maximala skärdjupet är 60–65 m.m. Det är troligtvis ett relativt ovanligt verktyg och används endast i speciella situationer.

Olika typer av handverktyg är spett, pincettspett, brytjärn, kofot, pikyxa och huggyxa.

> Beakta gällande säkerhetsbestämmelser vid all användning av maskiner och verktyg. Flera typer av maskiner och verktyg kräver också särskild utbildning samt särskild skyddsutrustning.

Specialverktyg

Plåtdragarens käftar spänns över plåten som dras ned från t.ex. ett tak med kättingen som sitter monterad i verktyget, t.ex. med ett höjdfordon. Detta fungerar bäst på låga tak. Sitter plåten fästad ordentligt i taket kan det bli svårt att dra bort den från höga tak med höjdfordonet, eftersom momentet blir stort. Lyftkapaciteten för ett höjdfordon är normalt förhållandevis lågt. För att underlätta bortdragningen kan plåtens fästskruvar lossas.

Bilden till vänster visar en motorkap, bilden till höger visar en borrmaskin.

Sprängramar används i första hand för att ta hål i tak med falsad plåt på råspont och eventuellt även med underlagspapp. Sprängramen består av en styv cellplastram som kan monteras ihop med andra ramar, för att ge möjlighet att skjuta större hål. Ramen kan bäras av en person och lyftas upp genom vanliga takluckor (□0,60m). I ramen läggs en spränglist av ett plastiskt sprängmedel med riktad sprängverkan, ett kopparmaterial som skär igenom taket, skumplast som håller ihop beståndsdelarna samt tejp för vidhäftning mot underlaget. Det är ett ovanligt verktyg, men bör inte förbises, eftersom det har flera fördelar som t.ex. snabbhet. Sprängramen kräver dock såväl specialutbildning som särskilda åtgärder för bland annat transport och förvaring.

Hydrauldrivna excentriska kapmaskiner har den stora fördelen att kapskivan arbetar excentriskt, dvs. drivningen sker inte i centrum av skivan. Kapskivan kan därför arbeta i material med större djup än skivans radie (typiskt cirka 25 cm arbetsdjup). Den kan arbeta i de flesta material. Nackdelen med maskinen är att den kräver hydrauldrift med hjälp av ett separat hydraulaggregat och att den kräver kylning. Den används därför främst i speciella situationer och då också av företag som är specialiserade på den här typen av håltagningar. Det finns även elektriska och motordrivna excentriska kapmaskiner.

Vätskeskärning innebär att man med hjälp av vatten under högt tryck skär hål i en konstruktion. Trycket kan variera, beroende på utrustning, mellan cirka 200 och 300 bar. Vattenflödet varierar normalt mellan 25 l/min och 50 l/min. För skärning i hårda material (betong, stål m.m.) behövs ofta ett abrasiv (skärmedel) tillsättas i vattnet. Håltagning med vätskeskärning ger också en kylande och släckande effekt. Utrustning för vätskeskärning klarar normalt att skära i alla förekommande material. Även den här typen av utrustning kräver normalt specialutbildning, på grund av de risker som är förknippat med utrustningen.

Kapitel 7

Säkerhet vid arbete på hög höjd

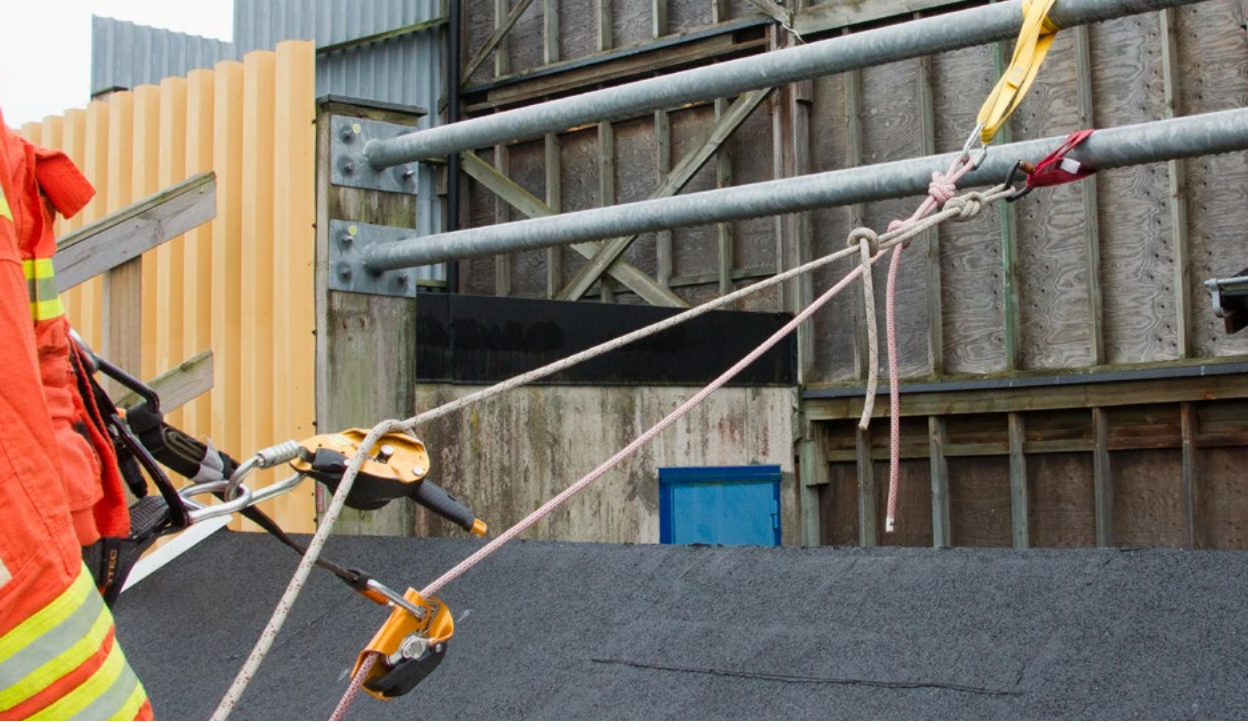
Det är alltid riskfyllt att arbeta på höga höjder, t.ex. vid håltagning av olika typer av konstruktioner i samband med brandgasventilation. Säkerheten vid sådana arbeten fordrar att personalen har bra utrustning, är väl utbildad och övad och medveten om de risker som är förknippade med arbetet.

Fallskyddsanordningar

Vid arbete på höjder över 2 m ställs det krav på någon form av fallskyddsanordning. Man kan skilja mellan gemensamma och personliga fallskyddsanordningar. Gemensamma fallskyddsanordningar är bland annat fallskyddsräcken, ställningar och arbetsplattformar. Vid ventilationsåtgärder eller andra håltagningsarbeten vid räddningsinsatser är det främst arbetsplattformar som är aktuellt att använda. En byggnad kan givetvis ha t.ex. fallskyddsräcken, men det bör noga övervägas om de ger tillräckligt skydd. Om det brinner i en byggnad kan fallskyddsräcket tappa sin skyddande funktion under pågående arbete.

Det finns en mängd regler för personlyft med arbetsplattformar. De ska bland annat vara utformade så att

- det finns lämpliga anordningar som förebygger risken för att arbetsplattformen ska falla eller tippa
- användaren hindras från att falla från arbetsplattformen
- användaren inte riskerar att komma i kläm, fastna eller bli knuffad, särskilt genom ofrivillig kontakt med något föremål
- säkerheten garanteras för personer som har fastnat till följd av driftstopp eller annan händelse och så att de kan evakueras.



Stödsystem och fallskyddssystem kräver separat infästningar.

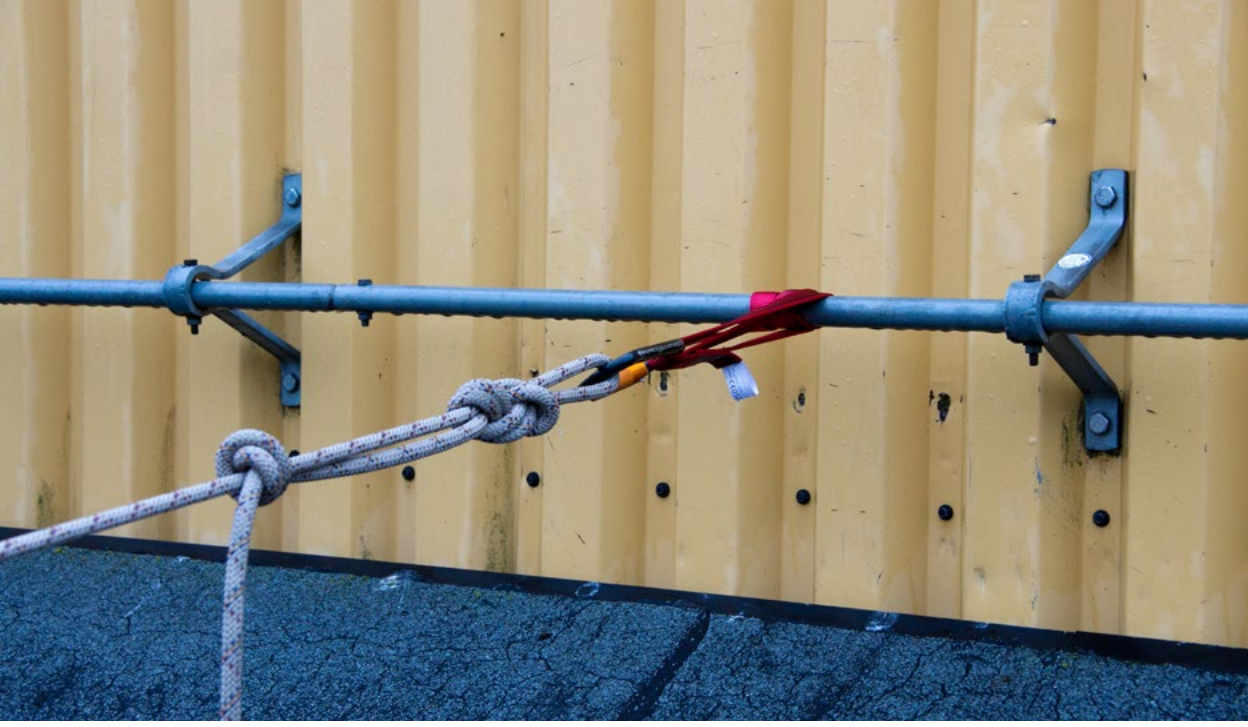
Framförallt bör den som befinner sig på arbetsplattformen normalt även använda personlig fallskyddsutrustning.

Att däremot enbart använda personlig fallskyddsutrustning bör betraktas som ett sistahandsval vid arbete som innefattar fallrisker. Även om personlig fallskyddsutrustning används, finns det risk för att ett fall medför skador. T.ex. kan ett fall ge upphov till stora påfrestningar på kroppen, även om fallhöjden är låg.

Den personliga fallskyddsutrustningen ska bromsa och stoppa ett fall. Den består av en helsele, ett kopplingssystem med falldämpande funktion och en förankringsanordning. Det finns fyra olika typer av kopplingssystem med falldämpande funktion att använda tillsammans med helsele:

- falldämparlina
- säkerhetsblock med funktion som dämpar ett fall
- styrt glidlås på fast förankrad lina eller skena
- styrt glidlås på flexibel förankringslina.

> Allt arbete med håltagning av konstruktioner över markplan är komplicerat, tidskrävande och riskfyllt.



Exempel på infästning för ett fallskyddssystem eller ett stödsystem.

Den förankringsanordning som används måste klara belastningen vid ett fall. Den som använder utrustningen ska också ha utbildning i hur man använder, kopplar och provar utrustningen före användning, samt känna till riskerna med att använda utrustningen felaktigt och hur man sköter och underhåller den.

Reglerna medger vissa möjligheter till undantag från att använda fallskydd för att kunna

- utföra enstaka och korta arbeten från lös stege
- påbörja vissa arbeten genom att antingen montera en förankringspunkt, eller genom att första gången fästa i en befintlig förankringspunkt
- arbeta på ett platt tak (högst 6 graders lutning) utan fallskydd om avståndet till kant är minst 2 meter och inga andra risker finns, som att halka.

Fallskyddsutrustning ska vara CE-märkt och uppfylla tillämplig standard. Såväl gemensamma (främst arbetsplattformar, såsom höjdfordon) som personliga fallskyddsanordningar (främst helsele med tillbehör) kräver normalt också utbildning för att få användas.

Verktyg måste också fästas in, till exempel med en separat anordning infäst i helselen.

Det undantag som troligtvis är vanligast i samband med räddningsinsatser är arbete från lös stege. Då måste följande villkor vara uppfyllda:

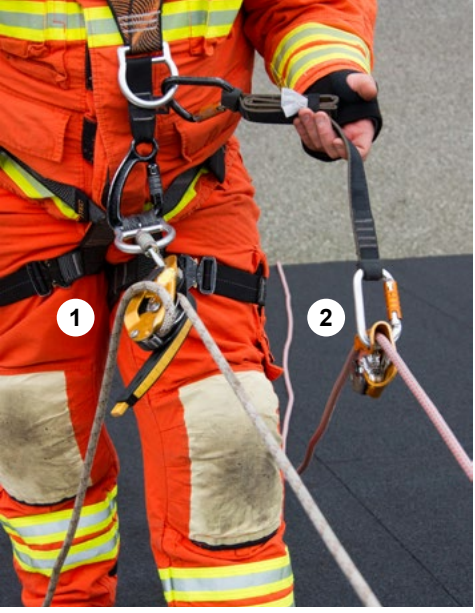
- Arbetet kan utföras med en hand, den andra handen ska kunna användas för att hålla sig fast.
- Stegen som används måste vara kortare än 5 meter (men för att montera infästning för säkerhetslina eller motsvarande får man klättra upp till 7 meter).
- Den tid det tar från att stegen ställs upp tills man är nere igen måste vara kortare än 15 minuter.
- Arbetet med lös stege får endast ske vid ett fåtal tillfällen.

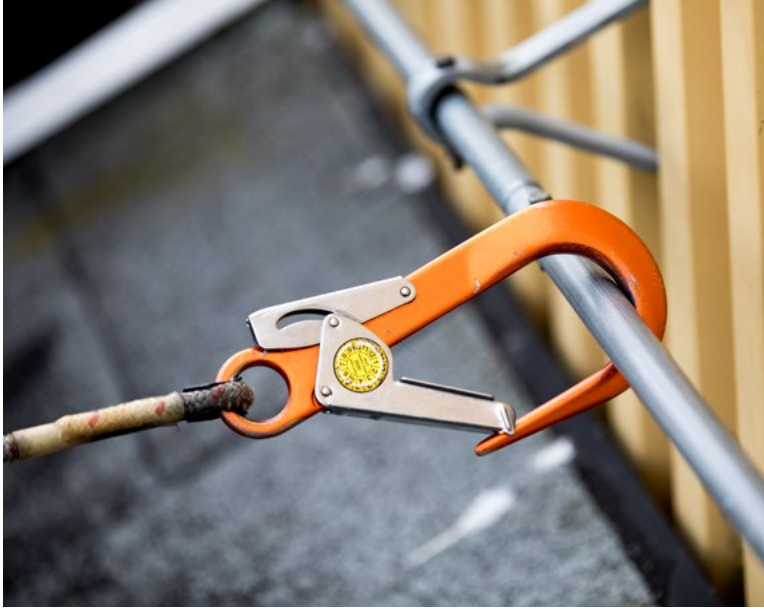
Stegen måste också stå stadigt och behöver oftast breddas nedtill, stagas eller förankras. Olyckor med stegar som glider eller välter är vanliga.

Samtlig utrustning som används ska givetvis vara CE-märkt och uppfylla tillämplig standard. Såväl gemensamma som personliga fallskyddsanordningar kräver normalt också utbildning för att få användas, t.ex. arbetsplatsformar/höjdfordon och helsele med tillbehör.

Vid höghöjdsarbeten vid räddningsinsatser kan även stödutrustningssystem användas, dvs. brandbälte eller sittsele med tillbehör. Denna utrustning används främst för att ge stöd under arbetet. Ett stödutrustningssystem får således inte användas som fallskydd. Den kopplingslina som används tillsammans med systemet ska begränsa ett eventuellt fall till 0,5 meter. Längden på kopplingslinan får inte heller överstiga 2 meter.

Observera att det som beskrivits i detta avsnitt inte innefattar så kallat reparbete. Vid reparbete går det att hänga fritt i en lina och samtidigt





Helsele med stödsystem (1) och fallskyddssystem, med falldämpare (2).

En så kallad storkrok kan vara ett bra sätt att fästa in fallskyddsanordningen eller stödsystemet.

utföra ett arbete. Det går också att göra en vertikal upp- eller nedstigning från en höjd och utföra arbete utan fast underlag som stöd. Den typ av arbete som behandlas i detta avsnitt görs också med linor och rep, men kräver fast underlag och betraktas normalt inte som reparbete. De krav som ställs på linor och rep är dock samma som vid reparbeten. Reparbeten ställer särskilda krav på såväl utrustning som utbildning.

Arbeten på hög höjd

Skyddsåtgärder måste vidtas då arbete bedrivs i sådan miljö att risk för fall föreligger. En riskbedömning måste alltid göras vid arbeten på tak eller från höjdfordon i samband med brandgasventilation. De risker som arbetet medför måste ställas mot dels vad som kan uppnås med åtgärden, dels mot möjligheten att vidta andra åtgärder med motsvarande effekt men med färre eller mindre risker.

Säkring vid arbeten från stege eller höjdfordon

Det är vanligt med arbete från såväl stege som höjdfordon. Det enklaste sättet att säkra sig vid sådant arbete är att säkra sig i stegen eller höjdfordonet (i stegtoppen eller i korgen). Då används förutom brandbälte eller sele endast kopplingslina, inget kopplingssystem med falldämpande funktion. Så kort lina som möjligt eftersträvas; den får

Om stege används till exempel på ett tak, måste denna fästa in ordentligt.

Exempel på stödsystem infäst i stege. Observera att två system används, infästa i två separate stegpinnar, eftersom endast en normalt inte klarar eventuellt belastning.

vara maximalt 2 meter och ett eventuellt fall ska begränsas till 0,5 meter. Kopplingslinan kan bestå av syntetiskt rep, band, vajer eller kätting. Kopplingslinan till brandbältet består normalt av en kätting med tillhörande karbin. Användningsområdena för sele med kopplingslina eller brandbälte med kätting blir av naturliga skäl ganska begränsade. Det är i stort sett självsäkring vid arbete i stege eller från höjdfordon som är aktuell.

För att åstadkomma ett större arbetsområde på taket, kan man använda ett höjdfordon som förankringspunkt/säkringspunkt. Detta förutsätter då att ett kopplingssystem med falldämpande funktion används (se ovan).

Exempel på stödsystem infäst i höjdfordonets korg. Observera att repen måste vara sträckta.

Säkring vid arbeten utan höjdfordon

En annan vanlig situation är arbeten på tak där det inte finns möjlighet till säkring i höjdfordon eller att man av praktiska skäl vill lämna stegen eller höjdfordonet för att kunna arbeta mer fritt över en större yta. Då behövs en förankringspunkt där kopplingsystemet med falldämpande funktion kan fästas. Denna punkt måste klara den belastning som uppstår om man faller. Det kan vara en skorsten, en takstege eller ett räcke.

Man bör också försöka skapa sig en säker flyktväg t.ex. genom att lägga och förankra en stege på taket. Denna bör man försöka använda som arbetsplattform och arbeta utifrån i så stor utsträckning som möjligt.

Själva håltagningen bör utföras på ett sådant sätt att man hela tiden har en säker tillflyktsort. De första kapsnitten på t.ex. ett tak bör läggas bort från arbetsplattformen (stegen eller höjdfordonet), så att de sista kapsnitten kan göras stående på arbetsplattformen.

Ofta kan det vara lämpligt att utarbeta någon form av standardrutin för arbeten på hög höjd, med grund i de regelverk som finns för sådant arbete. Avsikten med detta är att arbetet ska kunna genomföras så säkert som möjligt, t.ex. genom att skapa en säker flyktväg och en säker utgångspunkt för arbetet.

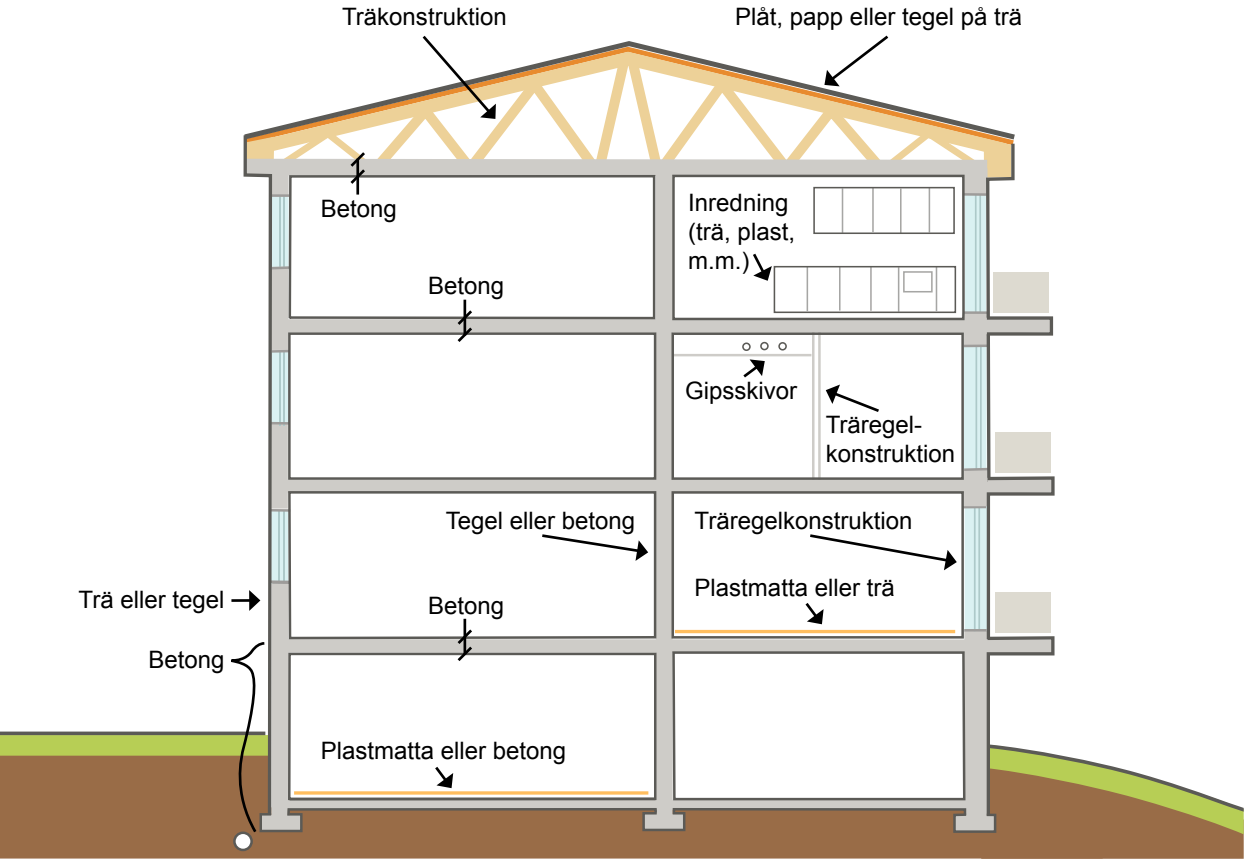
Kapitel 8

Exempel på håltagning i olika konstruktioner

Sättet att konstruera och bygga hus på har givetvis förändrats under årens lopp. Drivkraften bakom utvecklingen har bland annat varit energihushållning, förändringar i byggteknik och byggnadsmaterial, samt behovet av andra typer av byggnader än tidigare. Dessutom har de arkitektoniska trenderna också satt sina tydliga spår i byggnaders utveckling. Det finns även regionala skillnader eftersom byggnader historiskt har uppförts med de byggmaterial som funnits lätt tillgängliga.

Även de byggnadsmaterial, konstruktionslösningar och byggmetoder som används har förändrats under årens lopp. Det finns därför ingen generell metod för håltagning som kan tillämpas för alla de olika typer av konstruktioner som finns. Enklare konstruktioner med stomme av trä eller tunnare metall kan oftast bearbetas relativt enkelt så att ett hål för brandgasventilation eller för att identifiera och släcka konstruktionsbränder kan göras vid en insats. De konstruktioner som innehåller betong eller stål får betraktas som mer eller mindre ogenomträngliga för sådan håltagning. Det finns dock verktyg som konstruerats för att skära i betong, t.ex. hydrauldrivna excenterkapmaskiner som har större uteffekt eller vätskeskärning. Håltagning i sådana material kan dock ta mycket tid och utförs därför endast i speciella fall.

I de fall då håltagning görs för brandgasventilationen, krävs det att såväl frånlufts- som tilluftsöppningar är tillräckligt stora. Brandens och lokalens storlek avgör, men för frånluftsöppningen kan 1–4 m^2 fungera som riktvärde. I de fall håltagning görs i samband med konstruktionsbränder, kan även mycket mindre öppningar än så snabbt få negativa konsekvenser för räddningsinsatsen. Detta diskuterades mer ingående ovan. Men små öppningar kan även göra så att vi snabbt kan påföra släckmedel. Därefter kan större hål göras, så att branden slutligen kan släckas och brandgasernas ventileras ut.



En byggnad är ofta en komplex sammansättning av en mängd olika byggnadsdelar utförda av olika byggnadsmaterial.

Det tar också tid att genomföra håltagning för brandgasventilation eller för att komma åt konstruktionsbränder. Oavsett vilken metod som väljs och används, måste hänsyn tas till tidsaspekten. Brandförloppet utvecklas och förändras hela tiden, det är dynamiskt. Det gör att situationen kan vara en helt annan när håltagningen väl är klar mot då den påbörjades eller då beslut fattades om håltagning.

Insatsen måste vara samordnad för att håltagning av konstruktioner, oavsett syfte, ska vara framgångsrik. Hela den räddningsstyrka som deltar i insatsen bör vara samövad och tränad på att använda de verktyg och de metoder som är lämpliga för håltagning i olika typer av konstruktioner. För håltagning i en konstruktion bör det finnas minst två personal, gärna tre, tillgängliga. Dessa bör även ha erforderlig personlig skyddsutrustning för arbetet samt ha den utbildning och övning som arbetet kräver.

Hur mycket personal som går åt till uppgiften avgörs dock av brandens storlek, typen av konstruktion och valet av verktyg/metod. Säkerhetsaspekten för personal som jobbar med håltagning måste övervägas. Den är direkt avgörande för hur och om arbetet överhuvudtaget ska utföras.

Nedan följer några exempel på håltagning i olika typer av konstruktioner som är vanliga i Sverige, främst takkonstruktioner eftersom dessa är mer komplexa i sin uppbyggnad. Det är en god förberedelse att inventera och gå igenom olika konstruktionstyper i det egna insatsområdet, i synnerhet i mer komplexa byggnader såsom större publika lokaler, tät och eventuellt äldre bebyggelse i en innerstad eller större industrier.

Viktigt att generellt tänka på vid håltagning i konstruktioner över markplan är att det bör utföras på ett sådant sätt att man hela tiden har en säker tillflyktsort, vilket beskrevs i förra kapitlet. De första kapsnitten i t.ex. ett tak bör läggas bort från en arbetsplattform (stege eller höjdfordon), så att de sista kapsnitten kan göras stående på denna arbetsplattform.

I de fall håltagning sker med syfte att komma åt brand som spridit sig in i konstruktionen, så kallade konstruktionsbränder (se tidigare beskrivning av detta), är det en mängd saker som måste beaktas. I sådana fall görs håltagning normalt inte för att ventilera ut värme eller brandgaser, syftet är då istället att komma åt brand som spridit sig in i konstruktionen. Men många gånger kan det vara svårt att skilja dessa båda syften åt. Det vanligaste syftet med håltagning av konstruktioner är att komma åt konstruktionsbränder.

Detta medför dels att håltagning måste ske där det faktiskt brinner, eller åtminstone i närheten av den brandutsatta delen av konstruktionen. Då är det inte alltid lämpligt att skapa både en tillufts- och en frånluftsöppning. Det är snarare så att håltagning bör ske med viss försiktighet, så att den luft som tillförs då konstruktionen öppnas upp inte medför att brand eller brandgaser sprider sig vidare i konstruktionen. Konstruktionsbränders karaktär medför att det kan vara svårt att avgöra var såväl tillufts- som frånluftsöppningar finns, utöver dem som räddningstjänstens personal skapar. Vi vet inte heller alltid om de öppningar som görs blir tillufts- eller frånluftsöppningar, eftersom det kan finnas andra öppningar som vi inte känner till.

Normalt är det lämpligt att först vidta vissa brandsläckningsåtgärder eller åtgärder som på andra sätt minskar risken för spridning av brand eller brandgaser. Exempel på en sådan åtgärd kan vara att använda

dimspik, med vilken vi kan tillföra släckmedel i dolda utrymmen utan att först göra något hål. För att identifiera var branden är i det dolda utrymmet eller i konstruktionen, kan en värmekamera vara ett bra hjälpmedel. Man måste dock vara uppmärksam på att det tar viss tid för värme att sprida sig genom konstruktionen så att värmekameran kan detektera förhöjda strålningsnivåer från ytan. Och när värmen väl trängt igenom, kan branden ha spridit sig vidare i det dolda utrymmet eller i konstruktionen. Värmekameran ser så att säga endast historia.

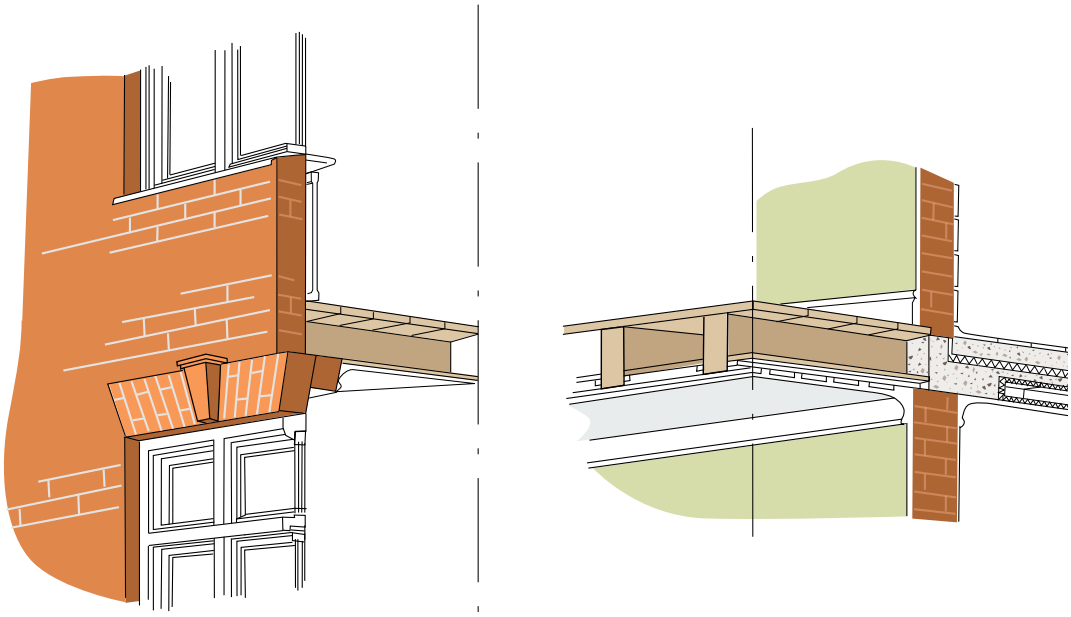
För att släcka en brand och därmed förhindra vidare produktion och spridning av brandgaser, krävs normalt att släckmedlet träffar bränslet. Och för att åstadkomma detta måste vi i de allra flesta fall förr eller senare öppna eller bryta upp konstruktionen för att komma åt bränsleytorna. Släckmedel som inte når branden eller varma utrymmen, har normalt ingen eller endast en mycket begränsad effekt.

De metoder för håltagning av takkonstruktioner som beskrivs nedan gäller i tillämpliga delar även när syftet inte är brandgasventilation, utan för att komma åt brand inne i konstruktionen. Det viktiga är att man är medveten om hur konstruktionen ser ut, så att håltagning kan ske på ett lämpligt ställe och på ett så effektivt sätt som möjligt. För att komma åt brand som spridit sig inne i konstruktionen, måste man ofta blottlägga en relativt stor del av konstruktionen.

> Vid all håltagning av konstruktionen, är det viktigt att förstå hur konstruktionen är uppbyggd, oavsett om syftet är att ventilera ut brandgaser eller om det är att komma åt brand inne i konstruktionen.

Ytterväggar

Många typer av ytterväggar har en så kallad luftspalt i väggen, främst för att förhindra att fukt tränger in i byggnaden. Detta är särskilt vanligt i byggnader med träregelväggar, men förekommer även i bland annat ytterväggar med stålbalkar eller ytterväggar med bärande stomme av lättbetong. Luftspalten är helt enkelt en öppen del av väggen där frisk luft kan strömma mer eller mindre fritt, med syfte att ventilera ut fukt ur konstruktionen. Detta medför tyvärr också att det finns ett utrymme



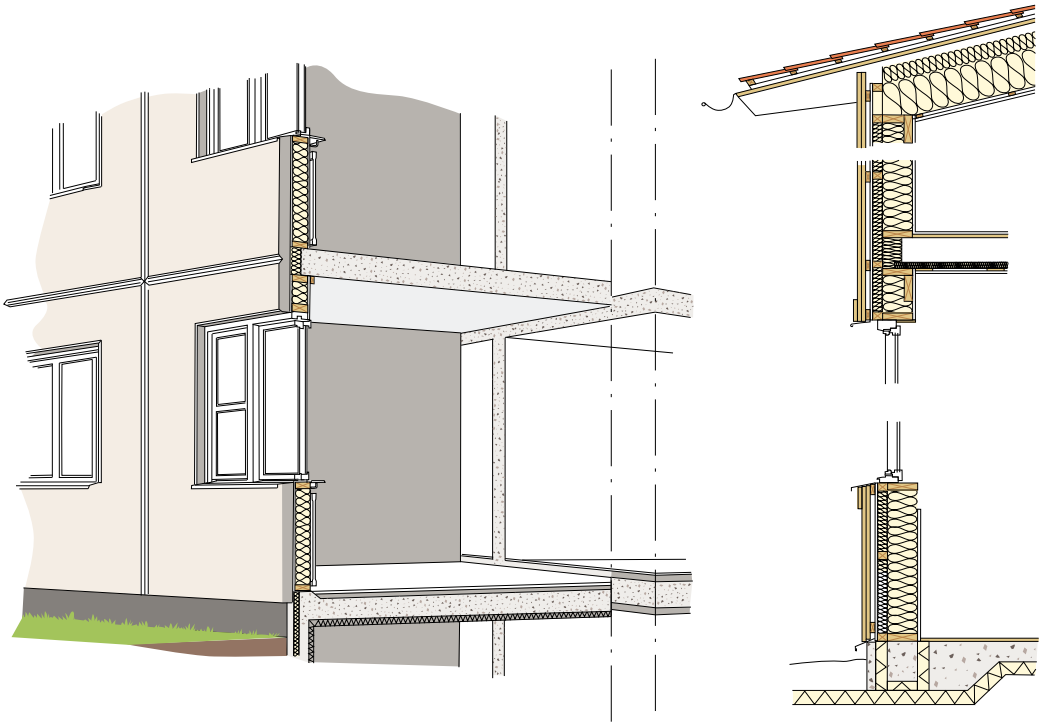
Tvärsnitt av en äldre tegelyttervägg samt ett träbjälklag. Längst till höger syns ett senare påbyggt betongbjälklag.

där brand relativt enkelt kan sprida sig. I höga byggnader ska det dock finnas någon form av skydd mot brandspridning inne i fasaden, mellan våningsplanen.

I äldre småhus med träregelstomme och yttervägg med brädor, kan det också finnas ytterligare hålrum inne i konstruktionen, t.ex. om gammal isolering har fallit samman eller om skadedjur har gjort gångar inne i isoleringen. Äldre byggnader kan också ha brännbar isolering i väggarna, vilket komplicerar problemet ytterligare.

En träregelvägg med stående träpanel på ett modernt småhus kan bestå av följande, utifrån och in:

- lockläkt (vertikala), bottenbräda och spikläkt (horisontella)
- luftspalt (för fuktavledning), cirka 20–35 mm bred
- vindpapp eller skiva (som vindskydd)
- stående väggregel med mellanliggande isolering, normalt 145–195 mm
- diffusionstät ångspärr (plastfolie)
- väggregel med mellanliggande isolering, normalt minst 45 mm
- invändig skivbeklädnad (OSB-skiva + gipsskiva).



Till vänster syns ett exempel på en platsgjuten begonstomme med isolerade betongelement i fasaden. TIll höger syns ett tvärsnitt av en panelklädd trä-regelstomme.

Om brand uppstått i eller spridit sig in i den här typen av konstruktioner, är det flera saker som måste beaktas. För det första, var försiktig vid håltagning. Då tillförs luft branden, vilket kan leda till en skorstens-effekt. Såväl brandgaser som brand kan snabbt sprida sig vidare i konstruktionen. (Se tidigare kapitel om håltagning.) För det andra måste normalt stora delar av konstruktionen kontrolleras och eventuellt plockas bort. Att riva ner stora delar av en fasad kan vara tidsödande och arbetsamt, men ibland helt avgörande för att brandgaser och brand inte ska sprida sig.

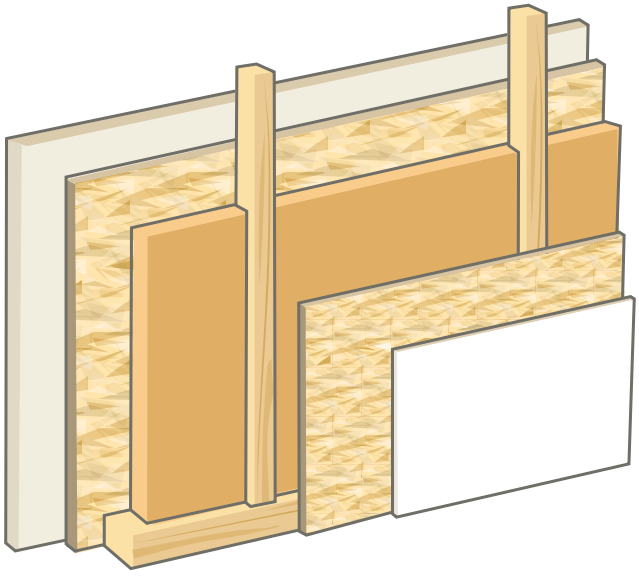
Att öppna upp en den här typen av konstruktioner kan göras på en mängd olika sätt och med hjälp av olika typer av verktyg. Det viktiga är att när man väl påbörjat en håltagning, genomföra den så snabbt som möjligt. Verktyg och metoder måste väljas bland annat utifrån behovet av snabbhet. Ofta är det en god idé att försöka påföra släckmedel före håltagningen, t.ex. med hjälp av dimspik. Om inte det görs behöver det i direkt samband med håltagningen finnas beredskap för att påföra släckmedel, t.ex. med ett vanligt strålrör. Oavsett vilket, måste någon typ av släckmedel finnas tillgängligt då håltagningen sker, även om släckmedel införts i konstruktionen innan håltagning sker.

Håltagning bör normalt ske utifrån och in, om det inte finns tydliga tecken på att branden bara kan nås från insidan av byggnaden. Även i de fall håltagning behöver göras på våningar över markplan kan de behöva göras från insidan. Sådana arbeten över markplan ökar risken för skador på personalen. Vid rumsbränder bör konstruktionen givetvis kontrolleras inifrån. Kontrollera även om brandgaser eller brand spridit sig via fönster till den utvändiga fasaden, och åtgärda det i så fall.

I ytterväggarna på höghus kan det finnas omfattande system med fasadbeklädnader och luftspalter. Det finns flera exempel runt om i världen, där brand har spridit sig mycket fort uppför höga fasader. Detta behandlas inte i detalj här, men var medveten om detta och inventera sådana konstruktioner vid insatser i höghus.

Innerväggar

Till skillnad från ytterväggar, är innerväggar ofta oisolerade. De är dessutom tunnare eller av enklare konstruktion. Undantaget är bland annat väggar mellan lägenheter, som även har en brandavskiljande funktion. Dessa kan vara såväl tjockare som mer välisolerade än innerväggar som inte har motsvarande funktion.



Tvärsnitt av innervägg.

Även innerväggar kan ha luftspalter, i synnerhet oisolerade väggar inne i lägenheter. Problem med hålrum är förstås mindre i byggnader uppförda i huvudsak med obrännbart material, t.ex. platsgjuten betong eller olika typer av prefabricerade betongelement. Men även i sådana konstruktioner kan det finnas hålrum där brandgaser och brand kan sprida sig. Det kan t.ex. vara kanaler för el, ventilation, vatten och avlopp. Förutom att sådana kanaler många gånger är av plast, kan de också innehålla stora mängder brännbart material som t.ex. kablar.

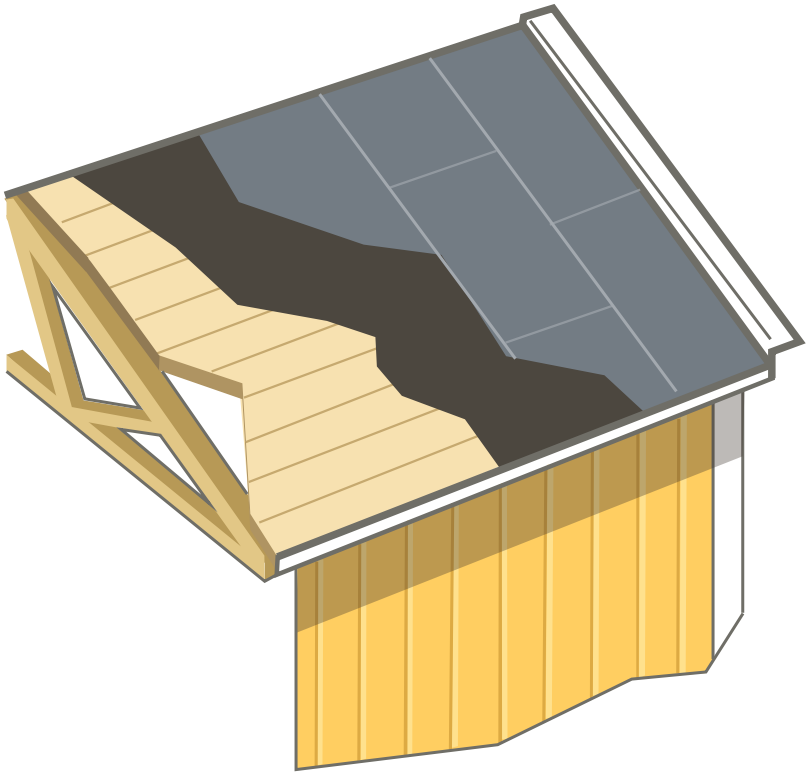
Även för håltagning i innerväggar finns det en mängd olika sätt att arbeta. Och precis som för ytterväggar är det viktig att håltagningen genomförs så snabbt som möjligt, när man väl har börjat. Även här är det lämpligt att ha någon typ av släckmedel tillgänglig då håltagningen sker. IR-kameror är värdefulla verktyg vid håltagning i såväl ytterväggar som innerväggar (men givetvis också vid en rad andra tillfällen eller situationer). IR-kameran ger oss en möjligt att se relativt små förändringar i strålning från ytan av till exempel en vägg. IR-kameror kan dock inte detektera strålning inifrån konstruktionen eller värmen på baksidan av en vägg, utan endast strålningen från ytan. Och eftersom värmeledning genom väggens material har en viss tidsfördröjning, kommer IR-kameran att se ”historia”. Värmen på utsidan av en yta motsvarar inte alltid det som finns på andra sidan ytan, dvs. inne i konstruktionen.

Plåttak på äldre hus

Plåttak på äldre hus kan t.ex. bestå av följande, inifrån och ut:

- takstolar av trä
- takpanel av trä (råspont)
- eventuell underlagspapp
- falsad plåt.

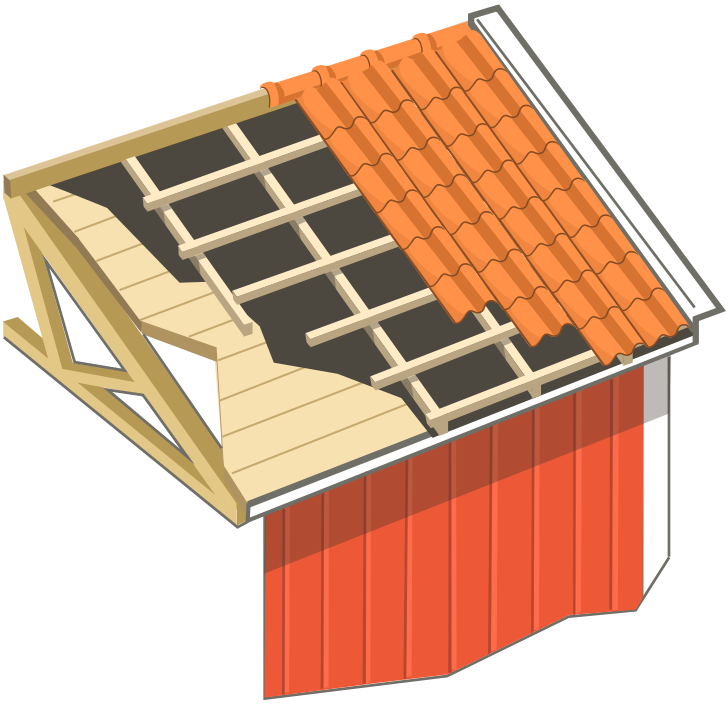
Öppningen tas upp mellan takstolarna. På tak med falsad plåt är det svårt att se var takstolarna är. På vissa byggnader kan de sticka ut vid takfoten. Alldeles intill takstolar, nock och takfot finns ofta plåtförband eller andra metallföremål. Lämna därför en kant kvar om cirka en decimeter från dessa.



Tvärsnitt av plåttakkonstruktion med papp och råspont.

För att ta upp ett hål för brandgasventilation kan den falsade plåten forceras på olika sätt. Ett sätt är att skära upp den med hjälp av motorkap. Om motorkapen orkar, kan också takpanelen sågas i samma moment. För att motorkapen ska arbeta effektivt måste den gå på fullvarv. Den ska ”arbeta sig fram” själv utan alltför mycket handkraft. Om inte takpanelen tas bort i samma moment sågas den när plåten tagits bort, t.ex. med motorsåg eller cirkelsåg.

En fördel med att först ta bort plåten och sedan såga panelen, är att spikraderna vid takstolarna blir synliga. Då blir det lätt att avgöra takstolarnas placering. En annan metod för att ta bort plåten är att slå upp falsarna med en klubba eller större hammare. När falsarna kring en plåt slagits upp kan den lyftas eller dras bort. Kärvar plåten så att den är svår att få bort, kan en plåtdragare användas. Plåtdragarens kätting fästs t.ex. i korgen till ett höjdfordon så att plåten sedan lyfts bort med höjdfordonet. Detta kräver dock dels att höjdfordonet klarar av belastningen, dels att man hela tiden kontrollerar belastningen.



Tvärsnitt av tegeltakkonstruktion.

Tegeltak

Ett tegeltak kan bestå av följande, inifrån och ut:

- takstolar av trä
- takpanel (råspont)
- underlagspapp
- läkt
- takpannor.

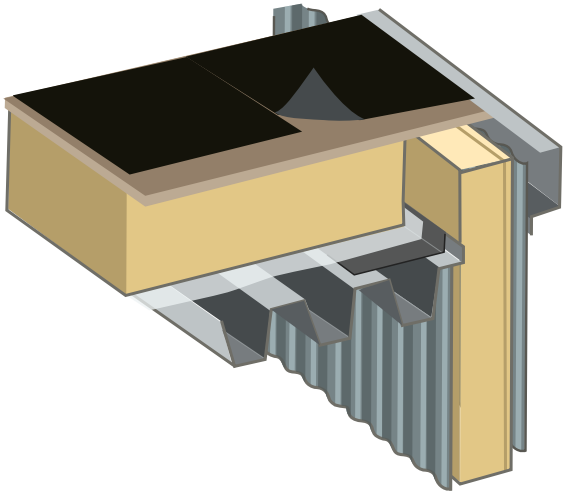
Takpannorna plockas bort där hålet ska tas upp. Öppningen tas upp mellan takstolarna, med en kant kvar om cirka en decimeter till takstolar, nock och takfot. Takstolarnas placering kan ibland avgöras på de konstruktioner där takstolen sticker ut vid takfoten, men i många byggnader är takkonstruktionens nedandel helt dold av takfotsinklädnaden. Vid behov kan spikraden i takpanelen göras synlig genom att underlagspappen tas bort. Det går eventuellt också att avgöra takstolarnas placering genom att slå med en hammare mot panelen för att känna var det ”svarar” bäst.

När takpannorna är bortplockade sågas öppningen genom takpanelen med t.ex. motorkap och ”katastrofklinga”, motorsåg eller cirkelsåg. Lättast är att starta uppe vid nocken. Såga sedan hålets sidor och sist längs med takfoten. För att få bort panel och läkt helt behövs oftast ett brytjärn eller en kofot.

Speciella risker med tegeltak är bl.a. lösa pannor som kan rasa ner på personal som står på marken eller på en stege. Blir brandförloppet häftigt kan takpannorna rasa ner. Därför bör personal, fordon och materiel placeras på säkert avstånd från byggnaden. De takpannor som plockas bort bör läggas på marken. På äldre hus kan takpannornas infästning i läkten eller takpanelen ha gjorts med en avkapad spik som sticker ut en eller ett par centimeter. När takpannorna plockats bort är det lätt att skada sig på dessa spikar vid håltagningen eller när man tar stöd mot taket för att hålla balansen.

Papptak

Papp (underlagspapp och ytpapp, eller motsvarande) kan vara lagd på mineralullsboard, takpanel eller dylikt. Detta kan vara svårt att identifiera utifrån. Under underlaget finns oftast isolering. Längst ner eller i isoleringen finns den bärande konstruktionen. Den kan vara av traditionella takstolar eller korrugerad plåt lagd på stålbalkar (se nästa avsnitt).



Exempel på papptak på självbärande plåt.

Det kan vara svårt att komma igenom pappen, i synnerhet på äldre hus där det kan ligga flera lager tjärpapp. Används motorsåg klibbar kedjan igen av tjäran. Motorkap eller motorsåg med ”katastrofklinga” kan klara av att komma igenom. För att slippa problemet med tjära som klibbar, avlägsna pappen från underlagsskivan med en betongskrapa där spåren ska sågas. Till och med att skära genom pappen med en kniv, kan medföra stora bekymmer.

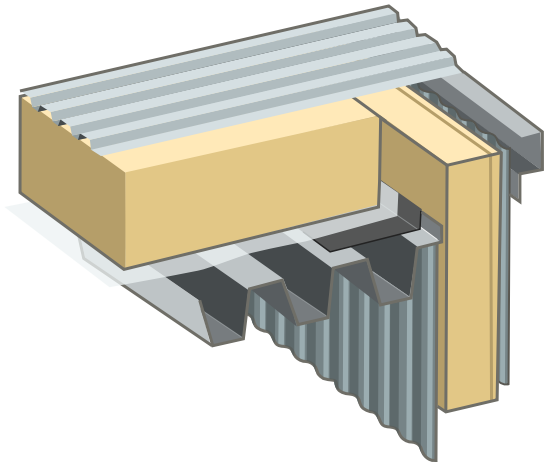
Ta upp hål i underlaget till pappen och avlägsna isoleringen. Därefter kan takstolarnas placering eller den bärande plåtens upplag avgöras.

Tak med korrugerad plåt

Ett tak med korrugerad plåt kan, inifrån och ut, bestå av

- profilerad plåt
- plastfolie
- isolering (mineralull, stenull eller cellplast)
- eventuellt asfaltboard, eventuellt också med papp
- profilerad plåt.

I en sådan konstruktion är den innersta plåten bärande och upplagd på stålbalkar.



Tvärsnitt av tak med korrugerad plåt.

För att en öppning för brandgasventilation ska kunna göras måste både den yttre och den inre profilerade plåten forceras. Den yttre profilerade plåten är oftast inte lika djupt profilerad och kan därför sågas med motorkap. Ett annat alternativ kan vara att använda plåtdragare, men det förutsätter att plåtens infästning brister utan alltför stor kraft.

Det kanske smidigaste sättet att ta bort den yttre profilerade plåten är att använda en skruvdragare. Infästningarna till plåten kan lossas med en batteridriven skruvdragare som förses med en fasthylsa eller skruvmejselbits. Plåtarna kan då enkelt lossas och lyftas ner. Är plåtarna fästade med skruv blir det relativt enkelt att ta upp en stor öppning i det yttre plåttaket.

När det inre hålet för brandgasventileringen ska tas upp är det bra om det yttre är rejält tilltaget. För att komma åt att såga med motorkapen nere i plåtens rännor kan följande metod användas:

1. Såga två parallella spår tvärs över takplåtens rännor. Mellanrummet mellan dem ska vara bredare än motorkapen.
2. Trampa ner plåten mellan spåren.
3. Såga plåten i rännornas botten.
4. Gör likadant på hålets andra sida.
5. Såga kortsidorna på hålet uppe på ett plåtveck. Sågas dessa spår först ökar risken för genomtramp när plåten mellan de båda parallella spåren ska trampas ner.

Om takplåtarna är fästade med skruvar i varandra och i balkarna kan det vara relativt lätt att demontera en takplåt istället för att såga upp hålet.

Ett speciellt problem med den här typen av tak är att smält tjära från takpappen rinner ner i botten på plåtens rännor. Om taket dessutom lutar kan branden därför sprida sig under isoleringen. Takpapp och isolering bör därför avlägsnas en bra bit från ventilationsöppningen. Om taket är så varmt att tjäran smälter utan att något hål gjorts för brandventilering, bör håltagning istället ske för att förhindra brandspridning i takkonstruktionen. Tänk på att tjäran rinner snabbt. Tänk också på att avskiljningen vid brandcellsgränser under plåten kan vara bristfälligt utförd vid den här typen av tak.

Källare ska normalt ha fasta installationer för brandgasventilation.

Fasta installationer för brandgasventilation

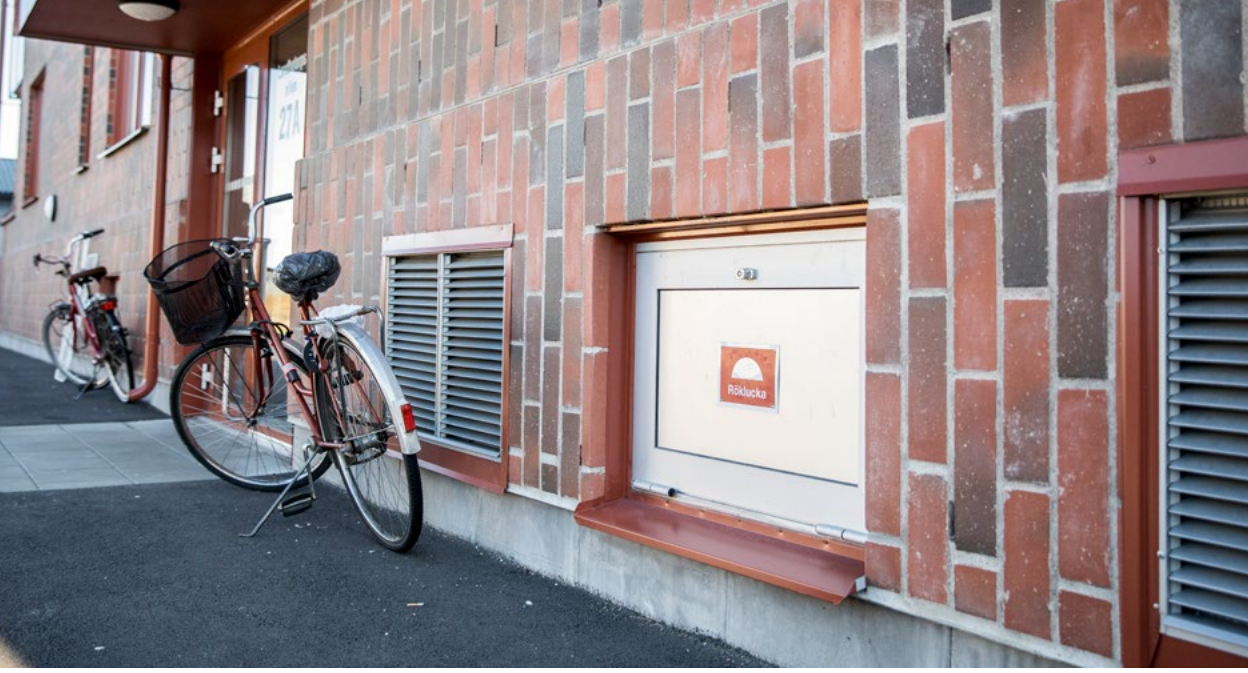
Många typer av byggnader har i förväg inbyggda system för att kunna ventilera ut brandgaser. Dels för att underlätta utrymning, dels för att skydda egendom eller att underlätta eventuella räddningsinsatser.

Exempelvis har det i flerfamiljshus med tre eller fler våningsplan under många år ställts krav på brandgasventilation i trapphus. Det kan vara öppningsbara fönster i minst vartannat våningsplan eller en lucka längst upp i trapphuset. Om trapphuset är över en viss höjd, normalt mer än 8 våningsplan, ska denna lucka vara öppningsbar från bottenvåningen. Även på vindar som används som förråd i flerfamiljshus kan det finnas fasta installationer för brandgasventilation.

Källare ska normalt ha fasta installationer för brandgasventilation, oavsett byggnadstyp. I byggnader med fler än ett källarplan ska det normalt finnas separat brandgasventilation för varje plan. I flerfamiljshus ska trapphus normalt inte behöva användas för brandgasventilation av källare.

I byggnader med fler än åtta men högst 16 våningsplan ska bostäder och lokaler utformas med tillgång till minst ett trapphus Tr2. I byggnader med fler än 16 våningsplan ska bostäder och lokaler utformas med tillgång till minst ett trapphus Tr1.

Ett trapphus Tr1 och Tr2 ska utformas med avskiljande konstruktion så att brand- och brandgasspridning till trapphuset begränsas. För trapphus Tr1 innebär detta bland annat att trapphuset endast bör ha förbindelse med andra utrymmen genom en brandsluss som är öppen mot det fria. För trapphus Tr2 innebär detta bland att vissa typer av bostäder



Brandgasventilation (frånluftsöppningar) från källare kan sitta i fasaden på byggnader.

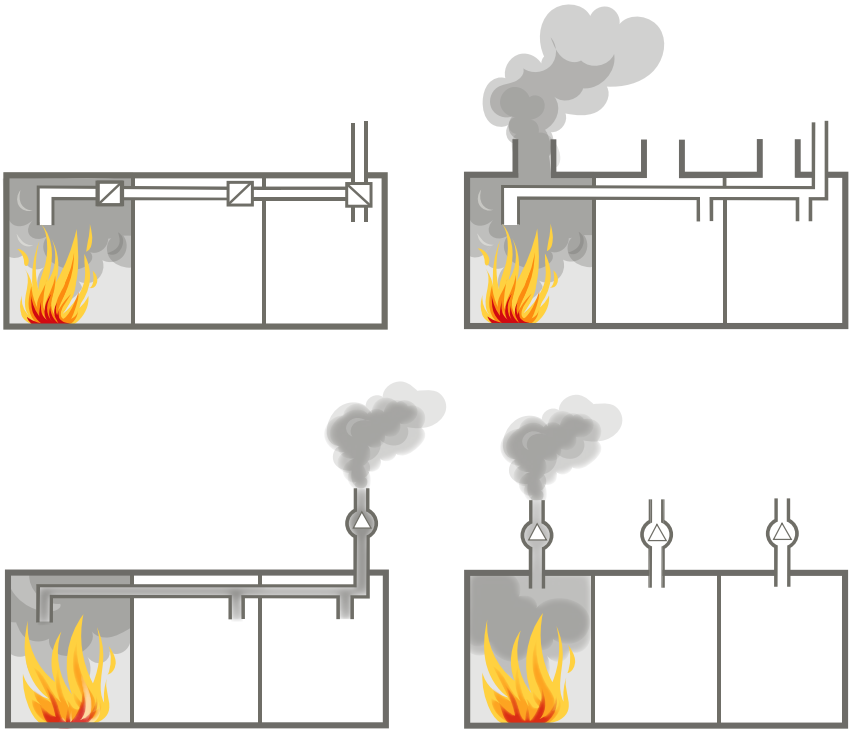
endast bör ha förbindelse med trapphuset genom ett utrymme i egen brandcell, i praktiken någon form av sluss som är brandtekniskt avskild.

Utrymmen där personer vistas mer än tillfälligt, ska också utformas med tillgång till minst två av varandra oberoende utrymningsvägar, vilket också ger fördelar i samband med brandgasventilation.

Även i bland annat industribyggnader och större publika lokaler (såsom köpcentrum) kan det finnas fasta installationer för brandgasventilation, så kallade brandventilatorer. De är normalt utformade för att släppa ut brandgaser med hjälp av brandgasernas termiska stigkraft och kan vara utformade som huvar med luckor eller som ljusinsläpp. I vissa fall kombineras dessa med fast installerade fläktar. Ventilatorerna öppnas automatiskt eller manuellt vid brand. Öppnas de automatiskt är de antingen kopplade till ett automatiskt brandlarm eller också finns så kallade smältbleck. Smältbleck förekommer inte i modernare byggnader, men består av två hoplödda metaller som ska smälta av vid en viss temperatur varvid ventilatorn öppnar. I ännu äldre byggnader kan det i stället för smältbleck finnas en så kallad nitrerad tråd som brinner av vid relativt måttlig brandpåverkan. Smältbleck eller nitrerad tråd är dock inte längre särskilt vanligt förekommande.

I ladugårdar och stall kan brandventilatorerna bestå av plastskivor (ljusinsläpp), avsedda att brinna igenom i ett tidigt skede av branden.

Brandventilatorer som öppnas manuellt kan öppnas med hjälp av strömbrytare eller vred vid t.ex. en brandlarmcentral. Ventilatorernas luckor hålls stängda med hjälp av magneter. När strömmen bryts öppnas luckan. Ett annat alternativ är att ventilatorn är fjäderbelastad



Exempel på olika system för styrning av till- och frånluftsflöden med hjälp av detektionssystem och spjäll.

och att det finns ett handtag i närheten av ventilatorn, kopplat till en låsanordning. Luckan öppnas då genom att man drar i handtaget. Detta är vanligt förekommande när det krävs fast brandgasventilation i trapphus, det vill säga när det är fler än åtta våningsplan.

En helt manuell lucka, ofta i form av ett ljusinsläpp, måste öppnas genom att låsblecket avlägsnas och luckan lyfts av. Ofta behövs då hammare, skruvmejsel eller brytjärn (kofot).

Ventilationssystem i byggnader är normalt utförda så att brand- och brandgasspridning förhindras, t.ex. genom att kanalerna isoleras. Men ventilationssystemen kan också i vissa fall dimensioneras och användas för att på ett mer aktivt sätt underlätta utrymning och räddningsinsats. Ofta talas i dessa sammanhang om ”smoke control” eller ”smoke management” – hantering och styrning av brandgaser. Det handlar om ett helhetskoncept för att sörja för människors trygghet, begränsa skadeverkningar på egendom och underlätta arbetet för räddningstjänsten. En del i detta helhetskoncept kan bestå i att mekaniska ventilationssystem utformas för att

- underlätta utrymning
- förhindra eller begränsa spridning av brandgaser i byggnaden
- underlätta räddningsinsats.

Trapphus med fler än 8 våningsplan ska ha röklucka som är öppningsbar från markplan. Manöverhandtag till rökluckan sitter i skåpet, som öppnas med en så kallad brandkårsnyckel (ibland även kallad "guldnyckel").

Möjligheterna att använda mekaniska ventilationssystem som en aktiv del av det byggnadstekniska brandskyddet begränsas av lokalernas karaktär. Det är mindre lämpligt i mindre byggnader med många små och avgränsade lokaler. Däremot är metoden möjlig vid överbyggda gårdar, köpcentrum, samlingslokaler, industrihallar eller lagerhallar. Normalt används vid dessa system två olika principer, tryckavlastning respektive trycksättning, ofta i kombination.

Tryckavlastning är en åtgärd riktad mot brandrummet eller startbrandcellen, t.ex. i större utrymmen som samlingslokaler och industrilokaler. Tryckavlastningen sker genom att en eller flera luckor eller fönster öppnas så att brandgaser strömmar ut. En annan lösning är att tryckavlastningen görs genom särskilda schakt. Både schakt och luckor (brandventilatorer) kan förses med en temperaturtålig fläkt som startar när systemet aktiveras vid brand.

Som alternativ eller komplement till tryckavlastning kan också trycksättning användas. Denna åtgärd sätts då in mot angränsande utrymmen, t.ex. utrymningsvägar (trapphus, korridorer eller liknande). Huvudsyftet med åtgärden är att hålla utrymningsvägarna fria från brandgaser så att såväl utrymning som räddningsinsats underlättas. Som beskrivits tidigare, är säkerställandet av utrymningsvägars funktion en prioriterad uppgift vid bränder i byggnader.

System för brandgasventilation kan vara integrerade med komfortventilationen, men de kan också vara helt separerade.

Rökluckor för brandgasventilation i trapphus kan vara utförd på flera olika sätt.

Brandgasventilation i trapphus till flerfamiljshus kan utgöras av öppningsbara fönster i minst vartannat våningsplan.

I integrerade system kan komfortventilationssystemet styras med hjälp av detektorer så att brandrummet t.ex. sätts under undertryck (tilluften stängs av) medan frånluften i angränsande utrymmen stängs av.

I system särskilt avsedda för trycksättning finns det normalt ett separat fläktsystem som startar vid brand och som sätter vissa utrymmen t.ex. utrymningsvägar under övertryck. Om ett sådant system sätts i drift stängs byggnadens normala ventilationssystem eventuellt av.

För att underlätta utrymning är det viktigt att de mekaniska ventilationssystemen startar tidigt. Därför är dessa normalt kopplade till ett automatiskt brandlarm. Systemet startar vid indikation om brand. I vissa fall kan systemet dock vara beroende av manuell styrning.

Existerande och fungerande ventilationssystem bör normalt inte stängas av, eftersom dom kan vara en del av byggnadens brandskyddssystem.

I byggnader som har system för trycksättning (över- eller undertryck), tänk på följande:

- Trapphus är inte alltid förlagda i anslutning till yttervägg.
- Sektionering av utrymningsvägar kan vara förenklade.
- Utrymningsvägar kan vara längre än normalt.
- Antalet trapphus kan vara begränsat.
- Systemet kan göra dörrar svåra att öppna eller stänga.

Kapitel 9

Taktik

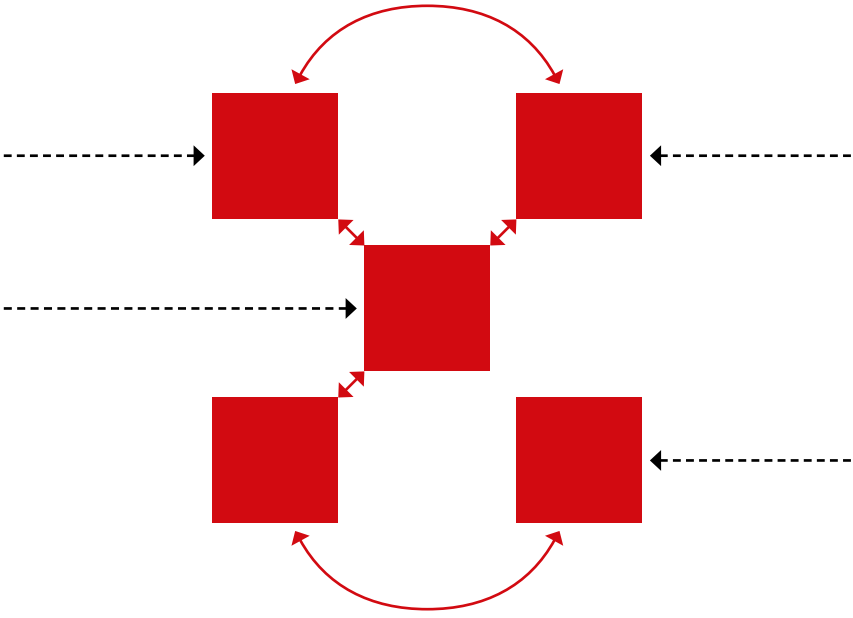
Taktik kan sägas vara att ägna sig åt rätt saker vid rätt tillfälle. Taktik i samband med räddningsinsatser kallas räddningstaktik. En definition som använts under flera år, säger att räddningstaktik kan ses som mönster av tänkande och agerande för att utifrån det övergripande syftet att hindra eller begränsa skador på människor eller egendom eller i miljön, nå så bra insatsresultat som möjligt.

> Taktik handlar om hur de olika delarna i en räddningsinsats sätts samman, struktureras och bildar en helhet. Denna helhet ingår i ett större sammanhang och ska vara så bra sammansatt som möjligt.

Att använda resurser effektivt

Taktik handlar om att använda resurser så effektivt som möjligt med hänsyn till hjälpbehov, situationens dynamik samt situationens krav i övrigt, i syfte att få och behålla kontroll. Taktiken beskriver således vad och hur något ska göras, inte vem som gör det.

När man på olika sätt använder sig av resurser, t.ex. på en skadeplats, initierar, koordinerar och genomför man vissa åtgärder. Åtgärder utförs således av resurser som tilldelats uppgifter. I vissa fall benämns resursen ”enhet”, vilket är en organisatorisk förankring av resursen, dvs. att man knyter resursen till en viss plats i en organisation. En sådan enhet består av såväl människor (personal) som maskiner (tekniska hjälpmedel). Det är med hjälp av enheter man producerar åtgärder. Det antal människor och den mängd maskiner och utrustning som enheten består av, kan variera. Enheter definieras normalt i förväg, innan räddningsinsatser genomförs, men kan även skapas eller omdefinieras under en pågående räddningsinsats.



De åtgärder som initieras, koordineras och genomförs i samband med räddningsinsatser, sätts samman i taktiska mönster. Åtgärderna är här knutna till varandra och beroende av varandra på olika sätt. Dessutom finns de i ett visst sammanhang.

Koordinerade åtgärder

Normalt genomförs flera åtgärder samtidigt. Man kan säga att åtgärderna sätts samman i taktiska mönster, där flera olika åtgärder är knutna till varandra och beroende av varandra på olika sätt. Detta kan t.ex. vara fallet med övertrycksventilation, då man bland annat bör koordinera placeringen av fläkten med skapandet av en frånluftsöppning och invändig släckning.

Åtgärder initieras, koordineras och genomförs också i ett visst sammanhang. Med sammanhang menar vi då hur förhållandena ser ut i byggnaden och vilka huvudsakliga krafter som driver brandens utveckling. Detta sammanhang är viktigt för vilka åtgärder som överhuvudtaget ska, kan eller bör initieras, koordineras och genomföras och i vilken ordning. Det är därför väsentligt att kunna identifiera sammanhanget och de problem som ska lösas, på kort och lång sikt. Sammanhanget

påverkar således både valet av åtgärder och på vilket sätt eller i vilken ordningsföljd de initieras, koordineras och genomförs, dvs. det taktiska mönstret.

De åtgärder som initieras, koordineras och genomförs skapar tillsammans med olyckors förlopp ett dynamiskt förhållande, dvs. ett tids- och rumsberoende, mellan olika typer av åtgärder, mellan respektive åtgärd och olyckans förlopp samt mellan det taktiska mönstret och olyckans förlopp. Olycksförloppet kommer också att fortgå oavsett om vi vidtar några åtgärder eller inte. Det är i denna dynamik, dvs. i samspelet mellan åtgärderna och olyckan, som taktik uppstår. Taktiken är således kopplingen mellan åtgärder och olycksförloppet. I samband med brandgasventilation måste man t.ex. ta hänsyn till den tid håltagning tar i förhållande till hur branden utvecklas. Det är viktigt att åtgärder initieras i god tid.

Samtliga inblandade vid räddningsinsatser behöver ha goda kunskaper om den dynamik som påverkar olyckors utveckling och händelseförlopp, oavsett om åtgärder vidtas eller inte. Det är också viktigt att knyta an denna dynamik till olyckors inverkan på drabbade människor, egendom eller miljö, eftersom det är hjälpbehovet som måste vara i fokus. Man bör också ha i åtanke att brandgasventilation i vissa fall kan leda till en oönskad händelseutveckling och påverkan på människor, egendom eller i miljön. Det bör återigen poängteras att den luft som i de flesta fall strömmar in till branden när brandgaser strömmar ut, kan ge upphov till hastig och oönskad spridning av brandgaser och brand.

Att få kontroll och behålla den

Man kan tala om ett övergripande syfte med räddningsinsatser – att få och behålla kontroll. För att få och behålla kontroll krävs normalt att fyra generella villkor är uppfyllda:

- Det måste finnas ett mål (målvillkor).
- Det måste vara möjligt att avgöra systemets tillstånd (observationsvillkor).
- Det måste vara möjligt att förändra tillståndet i systemet (påverkansvillkor).
- Det måste finnas en modell av systemet (modellvillkor).

Det är endast genom kontroll som händelseutvecklingen kan styras i avsedd riktning, och det är genom att initiera, koordinera och genomföra åtgärder som man kan få och behålla kontrollen.

Taktiska mönster vid brandgasventilation

Brandgasventilation är ett samlingsbegrepp för ett antal olika typer av åtgärder, med det gemensamma målet att släppa ut brandgaser. Utifrån syftet i en viss situation, utförs en eller flera ventilationsåtgärder. Beroende på sammanhanget och på vilka resurser (enheter) som finns tillgängliga, kan ventilationsåtgärden också utföras på olika sätt, dvs. i olika taktiska mönster. Det kan t.ex. i vissa situationer vara bättre att ventilera först och sedan göra ett ”traditionellt angrepp”, medan man i andra situationer kanske inte kan ventilera förrän väldigt långt fram i insatsen. Ibland kan det kanske vara bättre att inte ventilera alls. Detta är i stor utsträckning beroende av sammanhanget. Om målet är att ventilera ut brandgaser, måste det också vara möjligt att förändra tillståndet i systemet. Om det inte är möjligt att påverka på avsett sätt med hjälp av brandgasventilation så är brandventilation helt enkelt inte ett sätt att få och behålla kontroll.

En av de viktigaste utgångspunkterna som måste identifieras vid brand i byggnad, är om branden är ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad. Om det råder minsta osäkerhet, bör branden betraktas som ventilationskontrollerad. Detta är det mest komplicerade fallet, eftersom brandgasventilation även tillför luft till branden. Om branden då är ventilationskontrollerad, kan tillförseln av luft göra att branden ökar i storlek, sprider sig okontrollerat, att fenomen såsom backdraft inträffar osv. Brandgasventilation av ventilationskontrollerade bränder bör göras med stor försiktighet eller rent av undvikas, innan några släckåtgärder vidtagits.

Vid ventilationskontrollerade bränder, i synnerhet konstruktionsbränder, bör ventilationsåtgärder normalt föregås av att släckmedel tillförs utrymmet eller ännu bättre direkt på branden. Ett undantag kan vara när övertrycksventilation genomförs eller i lokaler där släckmedel av olika anledningar troligtvis inte kommer få någon effekt. Det kanske inte är möjligt att lokalisera eller nå branden från utsidan. Om brandgasventilation då genomförs är det viktigt att kombinera detta med andra åtgärder. Syftet med de ventilationsåtgärder som då genomförs, bör bland annat vara att underlätta för andra åtgärder.

Brandgasventilation är endast en del av de åtgärder som behöver utföras. En sådan ventilationsåtgärd måste oftast kombineras med andra åtgärder för att resultatet ska bli så bra som möjligt.

> Taktik bygger på att resurser ska användas så effektivt som möjligt med hänsyn till hjälpbehov, situationens dynamik samt situationens krav i övrigt, i syfte att få och behålla kontroll.

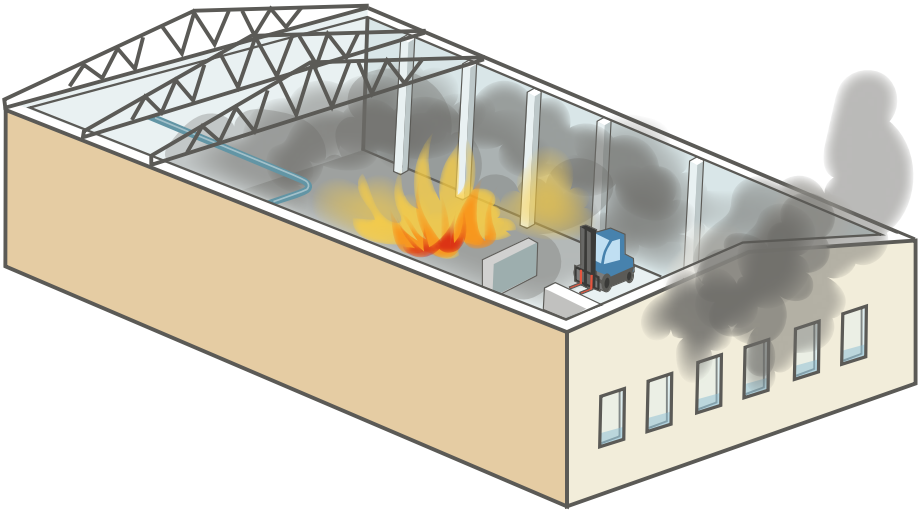
Kapitel 10

Exempel på insatssituationer

Tidigare i denna bok har brandgasventilation i stor utsträckning behandlats som en enskild åtgärd. Men vi behöver även knyta samman brandgasventilationen med andra delar av räddningsinsatsen, beroende på bland annat hur branden ser ut, hur byggnaden och brandrummet ser ut, vilka resurser som finns till förfogande samt de andra åtgärder som behöver genomföras. Vi vill ju att våra åtgärder för brandgasventilation ska uppfylla ett visst syfte och därmed ge en effekt som vi kan dra nytta av. Brandgasventilation kan påverka räddningsinsatsen på flera sätt samtidigt, och vi måste försöka skapa oss en helhetsbild av händelseutvecklingen, oavsett om brandgasventilation genomförs eller inte.

Nedan beskrivs ett antal tänkbara insatssituationer, där brandgasventilation kan vara en lämplig åtgärd. De exemplifierade situationerna är renodlade för att visa frågor, problem och möjligheter med just brandgasventilation. Vid verkliga bränder är det sällan så här enkelt. Framförallt finns det en tidsaspekt att ta hänsyn till som är svår att beskriva i text. Dessutom kan flera av de exempel som beskrivs nedan pågå samtidigt. T.ex. så kan såväl varma som kalla brandgaser i ett trapphus bero på en källarbrand. Dessutom bör vi vid så gott som alla byggnadsbränder ta hänsyn till risken för konstruktionsbränder och den problematik sådana medför när det gäller brandgasventilation. Avsikten med exemplen är endast att skapa en bild av hur några olika, men troliga, situationer kan se ut.

Oavsett situation, är det normalt två saker som bör prioriteras. Dels att säkerställa att utrymningsvägarna är fria från brandgaser. Dels att få släckmedel på branden så fort som möjligt. Båda måste givetvis ske på ett så säkert sätt som möjligt. Men att på ett lämpligt sätt ventilera ut brandgaser och värme underlättar normalt insatsen ur flera perspektiv, oavsett om det sker tidigt eller sent.



En liten brand i en stor lokal kan medföra låg temperatur på brandgaserna och därmed begränsad stigkraft. Det kan därmed vara svårt att ventilera en sådan lokal. Även fläktar kan ha begränsad effekt, eftersom luftströmmen rör om och kan försämra förhållandena i lokalen.

Liten brand i förhållande till lokalens storlek

Om branden är liten i förhållande till lokalens storlek och framförallt om mängden bränsle är begränsat, når brandförloppet sällan en fullt utvecklad rumsbrand. Då kan branden förbli bränslekontrollerad under hela sitt förlopp. Branden kan dock utveckla en stor mängd brandgaser som behöver ventileras ut.

Detta kan vara fallet t.ex. i en stor industrilokal med en relativt begränsad brand, eller om det är högt i tak. Ju högre det är till taket, desto mer luft blandas in i brandgaserna. Brandgasvolymen blir då stor, men relativt kall och utspädd. På grund av den stora lokalen kommer branden att vara bränslekontrollerad under lång tid. Den kanske inte alls blir ventilationskontrollerad.

Riskerna med brandgasventilation är liten i denna situation, i synnerhet med tanke på att branden är bränslekontrollerad. Ventilationsåtgärder, som även tillför luft, kommer då inte ha någon direkt inverkan på brandens spridning och förlopp, även om det över något längre tid kan påverka.

Det är också tänkbart att motsvarande situation uppstår vid lägenhetsbränder. Invändiga tak- och väggytor kan vara obrännbara (t.ex. gips) och inredningen (möbler m.m.) kan vara placerad på sådant sätt att brand i ett enskilt föremål inte sprider sig till andra föremål. Då kan branden förbli bränslekontrollerad under hela sitt förlopp, alternativt bli ventilationskontrollerad längre fram. Oavsett vilket, sprider den sig inte utan håller sig till ett eller ett fåtal föremål i rummet. Branden kan till och med självslockna när bränslet tar slut. Riskerna med brandgasventilation i dessa situationer är relativt små.

En liten brand kan dock öka snabbt och kraftigt vid brandgasventilation om det är en konstruktionsbrand, det vill säga om det brinner i exempelvis trossbottnar, undertak, under golvutrymmen eller i annat instängt utrymme. Detta ställer stora taktiska krav framför allt i form av resursuppbyggnad. Även om lokalen är väl ventilerad kan det finnas dolda utrymmen som är dåligt ventilerade.

Eftersom brandgaserna har relativt låg temperatur och mycket begränsad stigkraft, bör håltagning för frånluftsventilation göras så högt som möjligt, helst i taket. Tilluft tas så lågt som möjligt. Mekanisk ventilation är inte alltid lämplig vid den här typen av situationer. Undertrycksventilation kan på grund av praktiska problem vara svår att genomföra, bland annat på grund av att lokalen kan vara mycket stor. I stora lokaler kan dessutom övertrycksventilation vara svårt eller rent av olämpligt eftersom tilluften skapar turbulens, vilket kan förstöra eventuell skiktning av brandgaserna. På grund av lokalens storlek kan det ta lång tid att övertrycksventilera, vilket försvarar för räddningspersonalen.

Trycksättning av angränsande utrymmen är dock en åtgärd som kan vara lämplig då branden är liten i förhållande till lokalens storlek. Trycksättning sker då givetvis i icke brandutsatta utrymmen i byggnaden.

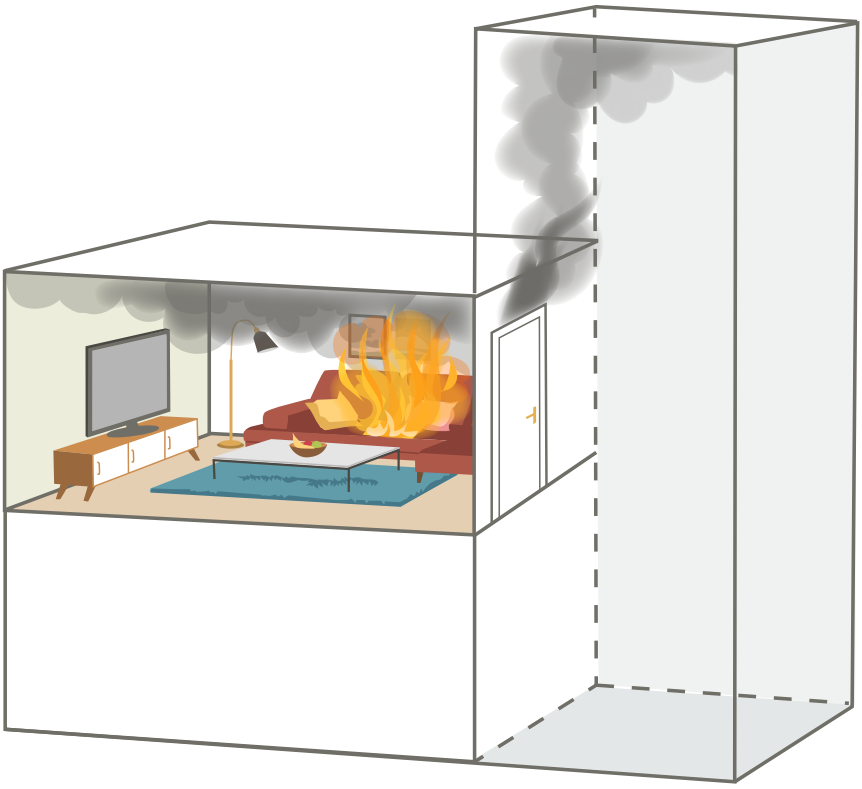
Att tänka på vid liten brand i förhållande till lokalens storlek: Är lokalen mycket stor behövs stora luftflöden för att få tillräckligt övertryck vid trycksättning. Övertrycksventilation kan medföra problem då brandgaserna rörs om i utrymmet och försämrar förhållandena. Vid höga vindhastigheter (mer än 5–8 m/s) måste val av till- och frånluftsöppningar väljas med stor omsorg.

Under det tidiga brandförloppet kommer såväl varma brandgaser som flammorna att värma upp såväl tak- och väggytor som föremål i rummet.

Det tidiga brandförloppet

Branden kan fortfarande befinna sig i det tidiga brandförloppet då räddningstjänsten anländer, t.ex. om upptäckt och larm sker tidigt eller om insatstiden är kort, eller i vissa typer av lokaler med relativt låg brandbelastning. Brandgaserna kan vara varma, övertändning har ännu ej skett och tilluftsöppningar tillåter relativt fritt inflöde av luft. Varma brandgaser strömmar ut genom öppningars övre delar och frisk luft strömmar in genom de nedre. Brandförloppet kan vara väldigt lugnt, stationärt, mycket intensivt eller kraftigt tillväxande, beroende på t.ex. lokalens geometri, bränslets placering eller materialet på tak- och väggytor.

Eftersom brandgaserna är varma kan naturlig ventilation användas med gott resultat. Det innebär att skapa öppningar i brandrummets eller byggnadens övre del (öppna befintliga dörrar eller fönster) samt att se till att tilluftsöppningarna är minst 1–2 gånger så stora som frånluftsöppningarna.



Övertändning har ännu inte skett och riskerna med brandgasventilation är relativt små.

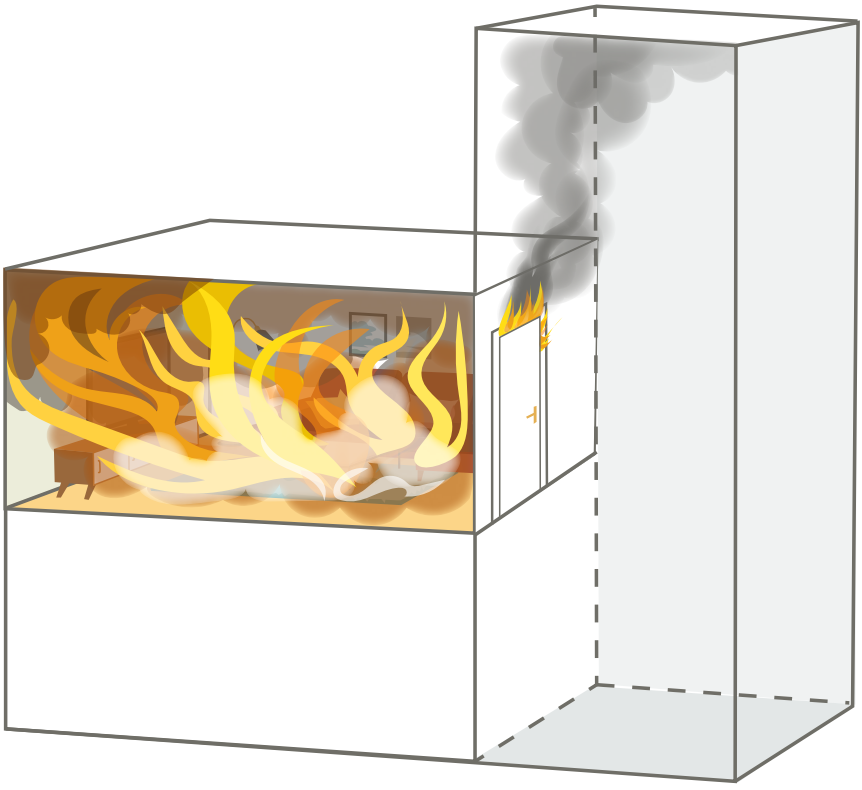
Övertrycksventilation kan användas för att förbättra effekten av håltagningen. Övertrycksventilation gör också att kravet på frånluftsöppningarnas placering minskar. Men vi måste tydligt bestämma var vi ska ha såväl tillufts- som frånluftsöppningar, så att vi får ett tydligt flöde av brandgaser ut ur byggnaden. Frånluftsöppningar bör givetvis inte heller placeras så att det finns risk för brandspridning till det som finns utanför öppningen, i de fall branden ökar i intensitet och eventuellt blir en fullt utvecklad rumsbrand. Övertrycksventilation kan också öka risken för spridning av brand till konstruktionen eller till andra hålrum, även om branden är liten. Vid övertrycksventilation bör frånluftsöppningar vara 1–2 gånger så stora som tilluftsöppningarna.

Brandens effektutveckling kan öka snabbt på grund av ökad lufttillförsel vid brandgasventilation och eftersom brännbara material och ytor i rummet är uppvärmda. Eventuellt når brandförloppet också övertändning. Vid brandgasventilation medför det vissa risker att branden fortfarande befinner sig i det tidiga brandförloppet, men det kan också vara till stor fördel. Denna fördel bör utnyttjas, framförallt genom snabbhet.

Under det tidiga brandförloppet samlas brandgaser närmast taket och strömmar ut genom den över delen av öppningar.

Att snabbt få släckmedel på branden är alltid viktigt. Men om branden är längre in i byggnaden kan det vara svårt. Att påföra släckmedel på brandgaser, framförallt om de strömmar ut, har begränsad effekt. Men det kan vara en åtgärd för att på ett säkert sätt kunna ta sig fram till branden, så kallad brandgaskylning.

> Att tänka på under det tidiga brandförloppet: Välj frånluftsöppningar med omsorg eftersom brännbara gaser kan antändas i öppningarna. Iaktta situationens förändring en kort stund innan eventuell invändig insats påbörjas. Genomför en snabb släckinsats för att stoppa en ökande effektutveckling. Använd eventuellt övertrycksventilation.



Övertändning har skett och branden är fullt utvecklad. Risk för spridning av brand är överhängande.

Fullt utvecklad brand

I många fall är branden fullt utvecklad och ventilationskontrollerad när räddningstjänsten anländer. Lågor slår ut genom öppningar och det finns en stor risk att branden sprider sig till angränsande lokaler eller byggnader.

I det eller de utrymmen där övertändning har skett och där branden är fullt utvecklad, är det normalt inte aktuellt vare sig med livräddande insats eller brandgasventilation. I angränsande utrymmen däremot, kan detta vara motiverat och av högsta prioritet. Där kan brandgasventilation underlätta för både nödställda och räddningstjänstens personal.

Eftersom brandgaserna är varma, kan naturlig/termisk ventilation användas med gott resultat. Då bör frånluftsöppningar göras i utrymmets övre del (tak) och tilluftsöppningarna bör vara minst 1–2 gånger så stora som frånluftsöppningarna.

Liksom i det tidiga brandförloppet kan övertrycksventilation användas för att förbättra effekten av håltagningen. Övertrycksventilation gör att kravet på frånluftsöppningarnas placering minskar. Men vi måste

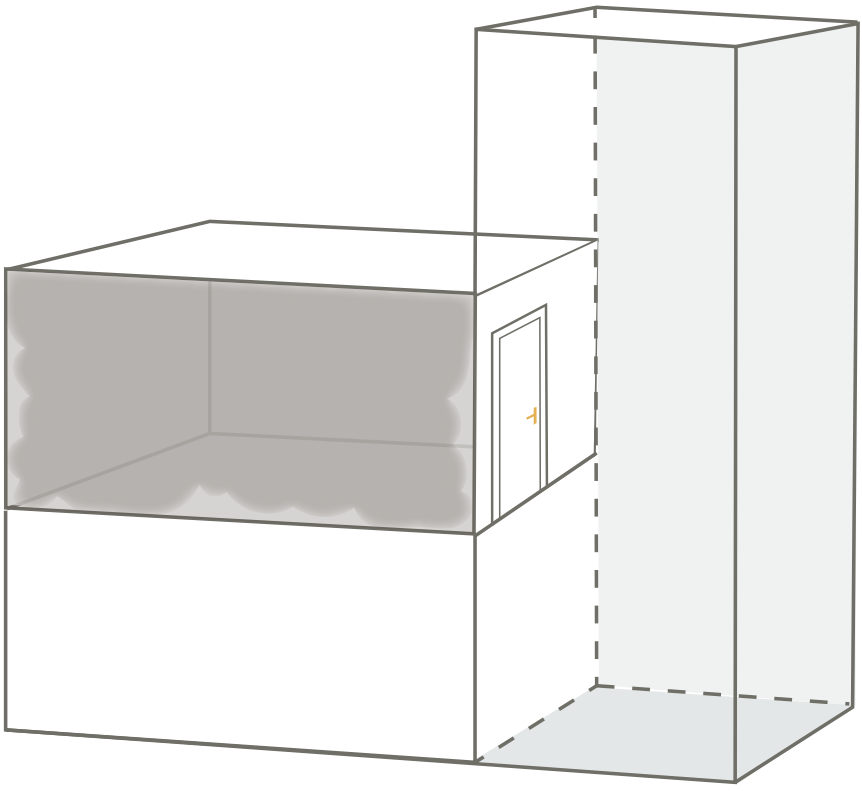
tydligt bestämma var vi ska ha såväl tillufts- som frånluftsöppningar, så att vi får ett tydligt flöde av brandgaser ut ur byggnaden. För att utnyttja den termiska stigkraften bör frånluftsöppningar vara i utrymmets övre del. Frånluftsöppningar bör dessutom placeras så att det inte finns risk för brandspridning till det som finns utanför öppningen, om rumsbranden ökar i omfattning och sprider sig i rummet. Risken för att brand eller brandgaser sprids till angränsande utrymmen kan eventuellt öka, men framförallt bör man vara uppmärksam på utvändig spridning i t.ex. fasaden. Övertrycksventilation kan också öka risken för spridning av brand till konstruktionen eller till andra hålrum. Vid övertrycksventilation bör frånluftsöppningarna vara 1–2 gånger större än tilluftsöppningarna.

Det är inte självklart att ventilera i själva brandrummet. Eftersom branden är ventilationskontrollerad kommer brandeffekten att öka ytterligare om håltagning sker. Om öppningar istället stängs till, kommer brandeffekten att minska. I vissa situationer, om släckning av olika anledningar utesluts som första åtgärd, kan det därför vara mer gynnsamt att försöka stänga in branden och istället ventilera angränsande utrymmen. Detta kan t.ex. vara en lämplig åtgärd då resurser inte finns för att direkt angripa branden, eftersom livräddning i angränsande utrymmen måste ske först. En förutsättning är naturligtvis att öppningar går att stänga, vilket kan vara svårt eller rent av omöjligt om fönster har gått sönder eller om tak eller väggar har brunnit sönder.

Vanligen är det dock av högsta prioritet att få släckmedel på branden. Om så kan ske, minskar snabbt spridningen av brandgaser och riskerna för spridning av brand.

Vid den fullt utvecklade branden är riskerna och problemen stora men också ofta tydliga. Brandgaserna brinner i kontakt med luften och hela brandutrymmet är involverat. Utöver livräddning bör de primära uppgifterna för räddningstjänsten vara att förhindra att branden och brandgaserna sprider sig.

Att tänka på vid fullt utvecklad brand: Iaktta stor försiktighet vad gäller val av frånluftsöppningar, med tanke på de flammor som kommer ut ur brandutrymmet. Ha en väl planerad och koordinerad ventilations- och släckinsats, eftersom lufttillförsel kommer att öka effektutvecklingen. Överväg alternativa metoder.



Hela utrymmet är fyllt av brandgaser som även kan vara varma. Om brandrummet öppnas kan luft strömma in och en eventuell antändning kan ske snabbt och tryckvågen kan bli avsevärd.

Ventilationskontrollerad brand i slutet utrymme

Vid en ventilationskontrollerad brand kan brandförloppet ha utvecklats mot övertändning, men sedan gått tillbaka och minskat i effektutveckling på grund av syrebrist. Branden är dock inte helt kvävd och kan ibland klara att bibehålla en hög brandgastemperatur på kanske 200–400°C. Det kan därför produceras stora mängder oförbrända gaser. Koncentrationen av dessa varierar, men är ofta tillräckliga för att de ska kunna brinna vid tillförsel av luft, särskilt som brandgaserna är varma. Om brandgasventilation görs kan en snabb övertändning ske och risken för backdraft kan vara överhängande. Detta kräver dock mycket speciella förhållanden och är relativt ovanligt.

I denna typ av situation är inga dörrar eller fönster öppna. Luftutbytet sker endast genom små läckageytor, t.ex. genom komfortventilationen. Stora mängder oförbrända gaser kan också spridas till angränsande utrymmen.

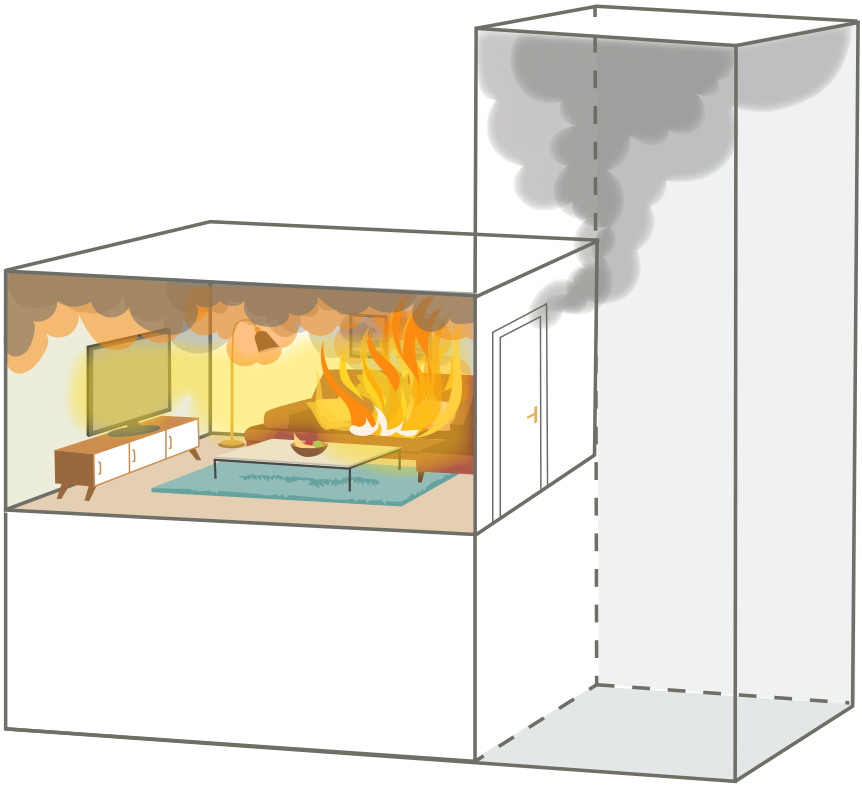
Syftet med brandgasventilation av slutna utrymmen med ventilationskontrollerad brand kan vara att minska spridningen av brandgaser genom att minska tryckuppbyggnaden av varma brandgaser i brandutrymmet eller i angränsande utrymmen. I undantagsfall kan syftet också vara att forcera brandförloppet och låta övertändning ske under kontrollerade former. Undvik detta om möjligt. Men i vissa utrymmen kan det av olika anledningar vara svårt att påföra släckmedel innan ventilation sker, och då kan detta eventuellt vara en väg framåt. Om det finns släckmedel omedelbart tillgänglig när utrymmet öppnas upp, bör det vara möjligt att hantera eventuella övertändningar eller andra hastiga brandspridningsfenomen.

Om branden är kraftigt ventilationskontrollerad bör alternativ eller komplement till brandgasventilation övervägas. Vid kraftig ventilationskontroll är det i stället ofta lämpligt att först göra någon form av släckangrepp från utsidan. Att slå ner en brand från utsidan, via ett fönster eller ett mindre hål genom konstruktionen, är ofta lämpligt innan brandgasventilation eller eventuell invändig släckinsats sker.

Om brandgaserna först kan kylas ner på detta sätt, kan brandgasventilation eller invändig släckning därefter ske med betydligt mindre risker. Många gånger kan det också vara lämpligt att först säkra angränsande utrymmen eller byggnader, innan åtgärder vidtas mot brandutrymmet. Vid ventilationskontrollerade bränder kan det finnas liv att rädda i brandutrymmet, eftersom värmepåverkan på innestängda människor kan vara relativt måttlig.

Ventilationskontrollerade bränder medför stora risker, eftersom brandgaserna innehåller stora mängder oförbrända gaser. Vid snabb inblandning av stora mängder luft finns risk för backdraft. Framförallt finns det risk för mycket snabba övertändningsförlopp när brandgasventilation genomförs.

Att tänka på vid ventilationskontrollerad brand: Överväg alternativa eller kompletterande metoder till brandgasventilation t.ex. kylning av brandgaser utan att några öppningar görs. Iaktta stor försiktighet vid brandgasventilation. Iaktta stor försiktighet vad gäller val av frånluftsöppningar. Undvik turbulent inblandning av frisk luft i brandgaserna. Ha en väl planerad och koordinerad ventilations- och släckinsats, eftersom lufttillförsel kommer att öka effektutvecklingen och riskerna för spridning av brand och brandgaser.



Den övre delen av trapphuset är fylld med varma brandgaser.

Trapphus med varma brandgaser

Vid lägenhetsbränder kan relativt varma brandgaser i vissa fall tränga ut i trapphuset, i synnerhet om dörren till brandlägenheten har lämnats öppen. Skiktningen i trapphuset blir tydlig med en övre brandgasfylld del och en nedre mer eller mindre brandgasfri del. Det blir då svårt att utrymma från de övre lägenheterna.

Det finns också risk för att brandgaser kan tränga in i de övre lägenheterna. Den risken beror bland annat på komfortventilationens beskaffenhet, brandgasernas temperatur och dörrarnas täthet.

Eftersom brandgaserna har relativt hög temperatur, kan naturlig ventilation användas med gott resultat. Detta förutsätter dock att det finns en öppningsbar lucka eller fönster i trapphuset övre del, vilket ska vara fallet i trapphus med fler än tre våningsplan. Att i stället använda övertrycksventilation medför vissa risker. Om fläkten placeras i marknivå utanför trapphuset, trycksätts hela trapphuset och då kan brandgaser tryckas in i de övre lägenheterna. Det kan dock fungera bra med övertrycksventilation, om den samordnas på ett riktigt sätt med släckinsatsen mot brandlägenheten.

Vid lägenhetsbränder över markplan kan det vara svårt att påföra släckmedel innan brandgasventilation sker eller innan utrymmet öppnas upp av andra anledningar. Släckmedel som inte når brandutrymmet eller åtminstone ett varmt utrymme, gör generellt ingen nytta.

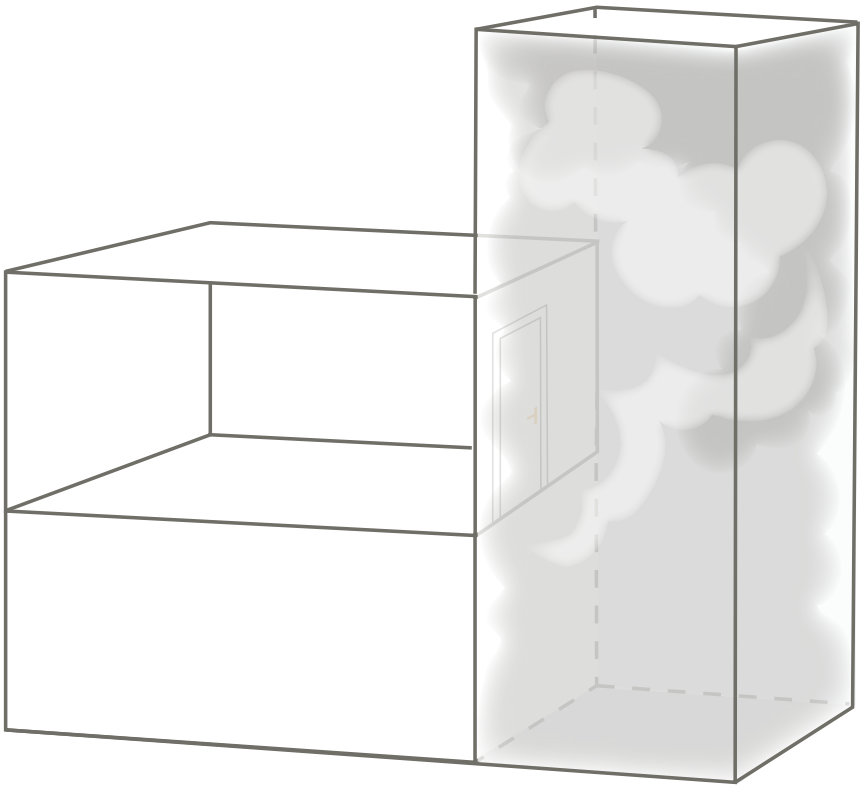
Det primära syftet vid räddningsinsatser bör vara att underlätta utrymning för människor i byggnaden. Därför måste en grundläggande uppgift vara att säkerställa så att trapphus blir fria från brandgaser. Det gör att människor kan ta sig ut själva, vilket är extra viktigt i byggnader som inrymmer ett större antal människor, t.ex. höghus eller publika lokaler som biografer, restauranger och idrottsanläggningar. Att bekämpa branden får då vänta.

Att tänka på vid trapphus med varma brandgaser: Brandgasventilation av trapphus bör ske omgående, så att utrymningsvägen säkerställs och så att risken för spridning av brandgaser minskas. Överväg trycksättning av trapphus och övertrycksventilation av brandlägenhet. Överväg även alternativ inträngningsväg, via till exempel fönster, för att minimera fortsatt spridning av brandgaser till trapphuset. Risken för övertändning eller flamspridning till trapphuset måste beaktas.

Trapphus med kalla brandgaser

Vid lägenhetsbränder kan det, om brandeffekten är liten i förhållande till brandlägenhetens storlek, tränga ut brandgaser med relativt låg temperatur i trapphuset. Eller så blandas relativt små mängder varma brandgaser upp med frisk luft och kyls av då de tränger ut i trapphuset. I detta fall blir det ingen tydlig skiktning mellan frisk luft och brandgaser i trapphuset.

Effekten av naturlig ventilation blir därför dålig och en eventuell håltagning i trapphusets övre del bör kompletteras med övertrycksventilation. Förutsättningarna för övertrycksventilation, koordinerat med släckinsats, är i detta fall goda, eftersom insatsen kan genomföras utan att särskilt mycket brandgaser sprider sig till trapphuset. Men då är det nödvändigt att göra en öppning för frånluftsventilation i brandlägenheten.



Trapphus fyllt med kalla brandgaser kan vara svårt att ventilera.

Det primära syftet vid räddningsinsatser bör vara att underlätta utrymning för människor i byggnaden. Därför måste en grundläggande uppgift vara att säkerställa så att trapphus blir fria från brandgaser. Det gör att människor kan ta sig ut själva, vilket är extra viktigt i byggnader som inrymmer ett större antal människor, t.ex. höghus eller publika lokaler som biografer, restauranger och idrottsanläggningar. Att bekämpa branden får då vänta.

Att tänka på vid trapphus med kalla brandgaser: Brandgasventilation av trapphus bör ske omgående, så att utrymningsvägen säkerställs och så att risken för spridning av brandgaser minskas. Överväg trycksättning av trapphus och övertrycksventilation av brandlägenhet. Överväg även alternativ inträngningsväg via till exempel fönster, för att minimera fortsatt spridning av brandgaser till trapphuset.

Vid brand i ett källarutrymme är det viktigt att förhindra spridningen av brandgaser till trapphuset, så att utrymning av bostadslägenheter kan ske på ett säkert sätt.

Brand i källare

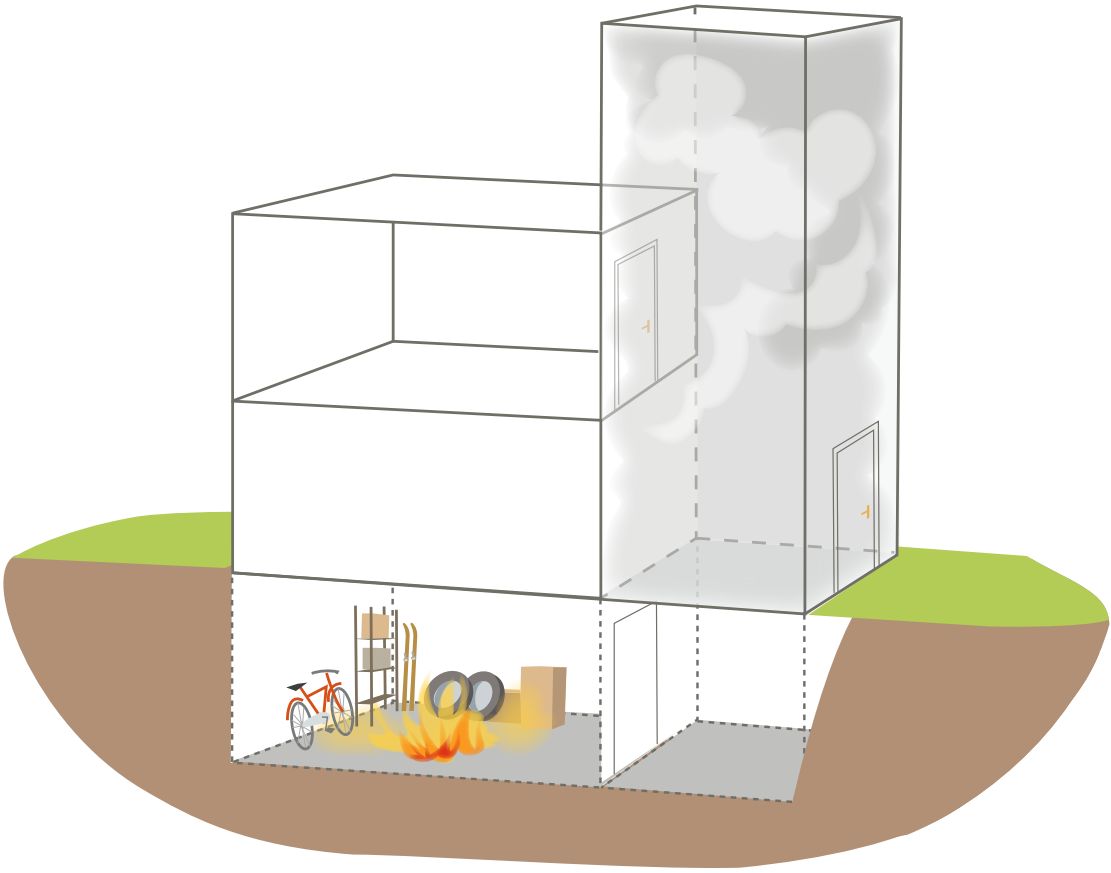
Bränder i källare utgör ett särskilt problem, och det är svårt att ange någon specifik taktik för hur sådana bränder bör hanteras, med avseende på brandgasventilation. Vanligen är det dock viktigt att försöka få släckmedel på branden innan ventilation sker.

Flera av de aspekter som gör att källarbränder kan vara särskilt svårhanterade, gäller även andra typer av undermarksanläggningar.

Problemet är huvudsakligen att den drivande kraften för brandgasers spridning är den termiska stigkraften. Vid en brand under marknivå, som t.ex. i en källare, gör den termiska stigkraften att brandgaserna kan spridas till samtliga utrymmen ovan mark i byggnaden. Det byggnadstekniska brandskyddet, såsom brandcellsindelningar och utrymningsvägar, blir många gånger avgörande för hur brandgaser och värme sprids.

Risken att källarbränder fort blir ventilationskontrollerade är också större än vid många andra typer av utrymmen i byggnader. Eftersom utrymmet är under mark, är det ofta tätare och har mindre tillgång till luft.

Den termiska stigkraften gör att alla vägar in till källaren i princip blir som en skorsten där brandgaser och värme tränger ut. Brandgaser och



Källarbränder utgör ett särskilt problem.

värme stiger ju uppåt och strävar därför efter att strömma ut genom högt placerade öppningar eller genom vägar som leder till högt placerade öppningar.

Vid källarbränder är det i synnerhet viktigt att utrymningsvägar hålls fria från brandgaser, i synnerhet i flerfamiljshus. Undvik därför i möjligaste mån att angripa källaren via trapphuset. Istället bör öppningar direkt till det fria användas för brandgasventilation. Tänk på att varje öppning som görs till källaren kommer att påverka flödet av brandgaser, eftersom den termiska stigkraften kan bli mycket påtaglig.

I enfamiljshus och liknande byggnader, finns det normalt ingång till källare från utsidan. Om så är fallet, bör dessa användas i första hand för brandgasventilation eller angrepp.

I fall det inte finns några utvändiga angreppsvägar eller öppningar för brandgasventilation direkt till det fria, kan fläktar eller rökgardiner vara användbara för att förhindra eller begränsa spridningen av brandgaser till trapphus. Trapphuset måste då trycksättas innan öppningar görs till källarutrymmet.

Att tänka på vid källarbränder: Såväl utrymningsvägar som angreppsvägar kommer att leda till utrymmen eller öppningar som befinner sig ovanför källarutrymmet. På grund av den termiska stigkraften, kommer brandgaser och värme att sträva efter att stiga uppåt genom dessa utrymningsvägar och angreppsvägar. Insatser mot källarbränder, men även mot andra typer av undermarksanläggningar, kommer därför bli som att göra angrepp genom en skorsten. Vid källarbränder, men även vid andra typer av undermarksanläggningar, bör släckmedel påföras branden innan ventilation sker.

Konstruktionsbrand

Vid misstanke om att brand har börjat i eller spridit sig in i konstruktionen, dvs. i ett dolt utrymme, är det viktigt att insatsen genomförs med stor försiktighet. Helst ska släckmedel påföras det dolda utrymmet innan det öppnas upp och det finns en mängd olika sätt att göra detta på. Syftet med att öppna upp konstruktionen är främst att komma åt för släckning. Men då konstruktionen öppnas upp, kan flera av de effekter som beskrivits tidigare uppstå.

På grund av bland annat geometrin på dolda utrymmen, kan till exempel skorstenseffekten (den termiska stigkraften) göra sig kraftigt gällande vid ventilationsåtgärder mot sådana utrymmen. Geometrin på utrymmena kan också göra att konstruktionsbränder fort blir ventilationskontrollerade. Konsekvenserna av att öppna upp en konstruktion där brand uppstått eller dit brand spridit sig, kan bli att brandgasproduktionen och då även brandspridningen kan accelerera mycket fortare än vid bränder i vanliga rum. Är volymen då också förhållandevis liten, kan det ansamlas mer brandgaser i förhållande till tillgängligt bränsle, vilket ökar värmeöverföringen ytterligare till ännu ej antänt bränsle. Varje åtgärd som medför att luft tillförs utrymmet, kan göra att brandgaser sprids okontrollerat och att brand kan uppstå på stora avstånd från där öppningar görs.

Håltagning av dolda utrymmen är normalt en viktig åtgärd för att överhuvudtaget kunna komma åt att släcka samt att ventilera ut brandgaser.

Innan en konstruktion öppnas upp för kontroll, släckning eller ventilering av brandgaser, måste det finnas släckmedel framme så att detta omedelbart kan påföras inne i konstruktionen. Det är då viktigt

Ventilationsåtgärder mot bränder i dolda utrymmen kan medföra att brandgaser och brand sprids okontrollerat.

komma ihåg att släckmedlet i så stor utsträckning som möjligt måste träffa bränsleytor. I vissa fall kan det vara nödvändigt att påföra till exempel vatten med hjälp av dimspik, skärsläckare eller motsvarande innan håltagning sker. Observera att val av släcksystem, släckmetod eller släckmedel beror på bland annat utrymmets volym men även av vilken effekt av åtgärden som förväntas samt hur konstruktionen ser ut. Att påföra släckmedel i dolda utrymmen har begränsad eller ingen effekt om det inte pågår någon brand i utrymmet eller om temperaturen är förhållandevis låg. Vatten kan givetvis ha en viss fördröjande effekt, men detta måste då ställas mot risken för vattenskador.

Lokalisera branden om så är möjligt. I vissa fall kan en värmekamera vara till hjälp, men tänk på att värmekameran endast detekterar värme på utsidan av konstruktionen. Eftersom det kan ta viss tid för värmen att sprida sig från det dolda utrymmet till utsidan, kan branden ha hunnit sprida sig långt från där värme på utsidan kan detekteras. Kunskap och förståelse för hur konstruktionen kan tänkas se ut är ett viktigt verktyg för att kunna hantera konstruktionsbränder effektivt.

När det dolda utrymmet identifierats, försök om möjligt påföra släckmedel innan håltagning sker. Om detta inte går, måste håltagning ske försiktigt och på ett sådant sätt att släckmedel kan påföras direkt då håltagning skett.

På horisontella ytor är det normalt lämpligt att göra håltagning på vindsidan, främst för att undvika att personalen utsätter sig för brandgaser eller värme. På vertikala ytor går det inte att ge några generella riktlinjer för var håltagning bäst görs. Vid håltagning nedanför där brand kan finnas, kommer den termiska stigkraften göra att luft strömmar in och vilket därmed kan förvärra situationen. Fördelen är att den skorstenseffekt som kan uppstå eventuellt kan hjälpa till att få släckmedel in i det dolda utrymmet (små vattendroppar, pulver, m.m.). Vid håltagning ovanför där branden kan finnas, kommer den termiska stigkraften göra att öppningen blir frånluftsöppning och att personalen då utsätts för värme eller brandgaser. Fördelen är att risken för ytterligare spridning inne i konstruktionen eventuellt minskar. Båda fallen förutsätter att det finns en förhöjd temperatur i utrymmet.

Själva håltagningen sker utifrån vilken typ konstruktionen är av. En träkonstruktion kan normalt rivas eller öppnas upp med enklare handverktyg som till exempel kofot. En plåtkonstruktion kräver normalt antingen att plåten skruvas bort eller en kapmaskin som kan skära hål.

Betong och tegel kräver normalt att åtkomst till utrymmet måste ske från annat håll, till exempel från ett annat utrymme. Tänk på att de flesta typer av konstruktioner är sammansatta av flera olika typer av material i flera lager.

All håltagning tar viss tid att genomföra. Under denna tid kan en konstruktionsbrand hinna sprida sig ytterligare inne i konstruktionen.

När håltagning skett, är det viktigt att dels få in släckmedel i det dolda utrymmet så fort som möjligt. Dels är det viktigt att tillräckligt mycket av konstruktionen tas bort, så att brand inte kan fortsätta eller uppstå igen (till följd av glödbränder eller liknande).

Att tänka på vid konstruktionsbränder: Håltagning av dolda utrymmen kan medföra att frisk luft strömmar in till branden, vilket kan leda till en rad oönskade konsekvenser. Ventilation av dolda utrymmen med kraftigt ventilationskontrollerad brand kan medföra att brandgaser och brand sprids på ett sätt som resulterar i en totalskada på byggnaden. Vid all håltagning i samband med konstruktionsbränder bör man normalt först påföra någon form av släckmedel, innan håltagning sker. Men att påföra släckmedel i dolda utrymmen har begränsad eller ingen effekt om det inte pågår någon brand i utrymmet och om temperaturen är förhållandevis låg.

Slutord

Det som behandlas i den här boken är brandgasventilation i situationer som är relativt vanliga inom svensk räddningstjänst. Exempel på sådana situationer är bland annat

- lägenhetsbränder
- bränder i småhus
- bränder i relativt små kontors- eller butikslokaler
- bränder i relativt små industri- eller lagerlokaler.

Däremot behandlas inte brandgasventilation vid t.ex. tunnlar, större parkeringsgarage under mark, större köpcentrum eller liknande.

Men de grundläggande principerna för brandförlopp, vad brandgaser innehåller och hur brandgaser sprider sig är desamma. T.ex. kan ju konstruktionsbränder uppstå också i mer komplexa byggnader. Då krävs mer eftertanke, mer kunskap och bättre förmåga till analys. Ibland kan det vara värt att lägga lite mer tid på att planera åtgärderna för brandgasventilation, innan sådana påbörjas. I vissa fall krävs det dock framför allt snabbhet. Tricket är att kunna förstå och skilja mellan dessa situationer.

Den som påstår sig veta helt säkert hur brandgaser sprider sig i byggnader och vilka konsekvenser det får, bör nog ta sig ytterligare en funderare. Det finns alltid ett antal faktorer som vi inte har kontroll över eller som är okända i stunden. Det kan räcka att en innerdörr som vi inte känner till står öppen eller är stängd, så förändras förutsättningarna fullständigt. Eller att vinden vänder aldrig så lite. Eller att branden har spridit sig till konstruktionen.

Vem har sagt att det skulle vara enkelt med brandgasventilation?

För vidare läsning

Beal, C.M., Fakhreddine, M. & Ezekoye, O.A. Effects of Leakage in Simulations of Positive Pressure Ventilation. *Fire Technology, vol. 45, No. 3*, 2009.

Bengtsson, L. *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv* (report 1019). Lund: Institutionen för Brandteknik. 1999.

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

Bengtsson, L-G. *Inomhusbrand.* (U30-611/01). Karlstad: Räddningsverket. 2001.

Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2011:6 (BBR 27). Boverket. 2011.

Braidwood, J. *Fire Prevention & Fire Extinction*. London: Bell & Daldy. 1866.

Brandventilation. (U16-409/93). Karlstad: Räddningsverket. 1993.

Fallberg, R. & Ingason H. *Erfarenheter med övertrycksventilation* (P21-331/00). Karlstad: Räddningsverket. 2000.

Garcia, K., Kauffmann, R. & Schelble, R. *Positive Pressure Attack for Ventilation & Firefighting.* PennWell. 2006.

Hay, A. *A Survey of Fire Ventilation* (Home Office, Publication No 6/94). London: Home Office Fire Research and Development Group. 1994.

Home Office. *Fire Service Manual, Volume 2, Fire Service Operations – Compartment Fires and Tactical Ventilation.* HM Fire Service Inspectorate Publications Section, London: The Stationary Office. 1997.

Hultman, D. & Magnusson, S. *Friska brandmän – Skellefteåmodellen förbättrar arbetsmiljön* (MSB743). Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. 2014.

Ingason, H. & Fallberg, R. *Övertrycksventilation i medelstora lokaler, försök med mobila fläktar* (SP rapport 1998:41). Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. 1998.

International Fire Service Training Association (IFSTA). *Essentials of Fire Fighting*. Oklahoma State University: Fire Protection Publications. 1992.

Jensen, L. *Spridning av rök och brandgaser i ventilationssystem* (Rapport TABK–93/3011). Lund: Lunds tekniska högskola, Institutionen för byggnadskonstruktionslära. 1993.

Kerber, S. Evaluation of Fire Service Positive Pressure Ventilation Tactics on High-Rise Buildings, *In Proceedings: 11th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'07)*, 3rd–5th September, InterScience Communications, London, 2007.

Kerber, S. *Evaluation of the Ability of Fire Dynamic Simulator to Simulate Positive Pressure Ventilation in the Laboratory and Practical Scenarios*. Master of Science Thesis, University of Maryland. 2005.

Kerber, S. *Evaluation of the Ability of Fire Dynamic Simulator to Simulate Positive Pressure Ventilation in the Laboratory and Practical Scenarios, NISTIR 7315*. National Institute of Science and Technology. 2006.

Kerber, S. *Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction*. Northbrook: Underwriters Laboratory. 2010.

Kerber, S. Madrzykowski, D. & Stroup, D. *Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments, NISTIR 7412*. National Institute of Science and Technology. 2007.

Kerber, S. *Study of the Effectiveness of Fire Service Vertical Ventilation and Suppression Tactics in Single Family Homes*. Underwriters Laboratory, ULFSRI. 2013.

Kerber, S., Madrzykowski, D. *Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Fire Experiments, NISTIR 7468*. National Institute of Science and Technology. 2007.

Kerber, S., Madrzykowski, D. *Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: School Pressure and Fire Experiments, NIST TN 1498*. National Institute of Science and Technology. 2008.

Kerber, S., Walton, W. D. *Full Scale Evaluation of Positive Pressure Ventilation in a Fire Fighter Training Building, NISTIR 7342*. National Institute of Standards and Technology. 2006.

Kerber, S., Walton, W.D. *Characterizing Positive Pressure Ventilation using Computational Fluid Dynamics, NISTIR 7065*. National Institute of Science and Technology. 2003.

Kerber, S., Walton, W.D. *Effect of Positive Pressure Ventilation on a Room Fire. NISTIR 7213*. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD. 2005.

Klote, J. H. et al. *Handbook of Smoke Control Engineering*. ASHRAE, Atlanta, GA. 2012.

Lambert, K. & Merci, B. Experimental Study on the Use of Positive Pressure Ventilation for Fire Service Interventions in Buildings with Staircases. *Fire Technology, Volume 50, No 6*, pp 1517–1534. 2014.

Livkiss, K. (2020). *Fires in Narrow Construction Cavities: Fire Dynamics and Material Fire Performance*. Division of Fire Safety Engineering, Lund University.

Livkiss, K., Svensson, S., Husted, B., van Hees, P. *Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities*. Fire Technology, Volume 54, issue 3, pp 689-713. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0706-2. 2018.

Madrzykowski, D. & Weinschank, C. *Understanding and fighting basement fires*. UL Firefighter Safety Research Institute. 2018.

Magnusson, S.E. *Rökspridning i byggnader: kunskapsöversikt och forsknings-behov* (Rapport LUTVDG/(TVBB- 3013)). Lund: Lunds tekniska högskola. 1983.

McBride, P.J. & Carpenter, D.W. *Positive Pressure Ventilation for High-Rise Buildings* (report 102). Institute for Research in Construction, National Research Council Canada. 2002.

Mowrer, F.W. Enclosure Smoke Filling and Fire-Generated Environmental Conditions. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (5th edition)*. Springer. 2016.

Nygren, M. *Konventionell håltagning för brandgasventilation* (opublicerat). Norrköpings Brandförsvar. Norrköping. 1998.

O.A. Ezekoye, K. Lakshminarasimhan, P. Seers, & R. Nicks. Effects of PPV Attack on Thermal Conditions in a Compartment Downstream of a Fire. *Fire Technology, vol. 41, No.31*, pp 193–208, 2005.

Orestal, U. *Ventilation förr och nu*. Stockholm: Svensk Byggtjänst. 1992.

Pesonen, L. Fenno-Vent: *Den kunstige vind som fjerner røyken, kjøler luften, begrenser brannen*. Norsk Brannvern Forening. 1947.

Rimen, J., Thomas, M. Use of Positive Pressure Ventilation in Fire-Fighting Operations. *Fire Engineers Journal, vol. 60, no. 206*, pp. 7–13, 2000.

Rimen, J.G. *An Assessment of the Use of Positive Pressure Ventilation in Domestic Properties* (Home Office, Publication No 17/96). London: Home Office Fire Research and Development Group. 1996.

Säkerhet vid arbete på höga höjder. Bestnr. R53-158/97. Karlstad: Räddningsverket. 1997.

Särdqvist, S. *Övertrycksventilation, förstudie över brandventilation med mobila fläktar*. Bestnr. P21-092/94. Karlstad: Räddningsverket. 1994.

Stenblom, L.G., Karlsson, B. *Datorsimulering av brandventilation* (R53-147/96). Karlstad: Räddningsverket. 1996.

Svensson, S. *Brandförsök med sprängram samt övertrycksventilation* (R53-132/96). Karlstad: Räddningsverket. 1996.

Svensson, S. (red.), Cedergårdh, E., Martensson, O. & Winnberg, T. *Taktik – ledning – ledarskap*. Karlstad: Räddningsverket. 2005.

Svensson, S. A Study of Tactical Patterns During Firefighting Operations. *Fire Safety Journal. Vol. 37, no. 7*, pp 673–695, 2002.

Svensson, S. *Brandgasventilation*. Karlstad: Räddningsverket. 2000.

Svensson, S. Experimental Study Of Fire Ventilation Actions During Firefighting Operations. *Fire Technology, vol. 37, No. 1*, 2001.

Svensson, S. *Fire Ventilation* (U30-651/05), Karlstad: Swedish Rescue Services Agency/Räddningsverket. 2005.

Svensson, S. *Försök med brandgasventilation i en liten lägenhet* (rapport R53-159/96). Karlstad: Räddningsverket. 1996.

Svensson, S. Investigating Fire Fighting Tactics in a Mechanical Workshop. *In Proceedings: 10th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'04)*, Edinburgh 5th–7th July, InterScience Communications, London, 2004.

Svensson, S. Investigating Tactical Patterns In A Residential Type Structure. *Fire Technology, vol. 43, No. 3*, 2007.

Svensson, S. Tactical Patterns And Their Implications For Fire Fighting Operations. Poster presented at: *11th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'07)*, 3rd–5th September, InterScience Communications, London, 2007.

Svensson, S. *The Operational Problem of Fire Control* (doctoral thesis/report 1025). Lund University: Department of Fire Safety Science. 2002.

Svensson, S., Ezekoye, O. A., Nicks, R. Investigating positive pressure ventilation, *In Proceedings: 11th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'07)*, 3rd–5th September, InterScience Communications, London, 2007.

Svensson, S., Kerber, S. Developments in Positive Pressure Ventilation. *In Proceedings: 12th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'10)*, 5th–7th July, InterScience Communications, London, 2010.

Svensson, S., Werling, P. Experimental Study Of Fire Ventilation Procedures In A Large Hall, *In Proceedings: 9th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam'01)*, Edinburgh, 17th–19th September 2001, InterScience Communications, London, 2001.

Tanaka. T. *Vent Flows. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th edition). Springer. 2016.

Thomas, P.H., Hinkley, P.L., Theobald, C.R. & Simms, D.L. *Investigations into the flow of hot gases in roof venting*. Fire Research Technical Paper No.7. London: Her Majesty's Stationary Office. 1963.

Ziesler, P.S., Gunnerson, F.S. & Williams, S.K. Advances in Positive Pressure Ventilation, *Fire Technology, Vol. 30, Second quarter*, pp. 269–277, 1994.

Bildförteckning

Illustrationer

Christina Jonsson

Foton

Pavel Koubek (s. 42, 65, 84, 85, 89, 90, 91, 92, 93, 105, 113, 117, 118, 119, 142, 143, 145, 146, 168)

Kicki Nilsson (insida omslag, s. 23, 28, 35, 45, 71, 96, 97, 109, 115, 147, 158, 160)

Åsa Brorsson (omslag, s. 18, 19, 108, 115)

Stefan Svensson (s. 122, 123, 124, 125, 126, 127)

Steve Kerber (s. 56)

Manfred Wimmer (s. 103)

För att kunna genomföra räddningsinsatser så bra som möjligt behövs kunskap. Vid räddningsinsatser mot brand i byggnad kan kunskaper om brandgaser, brandgasers spridning, tryckförhållanden och ventilationsåtgärder ofta vara avgörande för resultatet av insatsen. Brandgasventilation förenar erfarenheter och forskning inom ämnet. I boken beskrivs grundläggande principer för brandgasventilation och brandgasspridning, hur brandgasventilation kan genomföras, övertrycksventilation och vilka möjligheter och problem som förekommer i samband med håltagning i olika typer av konstruktioner. I boken ges exempel på insatssituationer och det förs också ett allmänt resonemang om taktik vid brandgasventilation. Boken är i första hand avsedd för utbildningsverksamheten, men vänder sig även till yrkesverksam räddningstjänstpersonal och övriga intresserade.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB1477 - februari 2020 ISBN 978-91-7927-000-1