



LUND UNIVERSITY

Dimensionerande utspädning för skydd mot brandgaser

Jensen, Lars

2009

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2009). *Dimensionerande utspädning för skydd mot brandgaser*. (TVIT; Vol. TVIT-7040). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Dimensionerande utspädning för skydd mot brandgaser

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2009
Rapport TVIT--09/7040



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat. Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Dimensionerande utspädning för skydd mot brandgaser

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2009

ISRN LUTVDG/TVIT--09/7040--SE(60)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Innehållsförteckning

1	Funktionskrav mot brandgasspridning	5
	Frågeställningar	5
	Enhetsbrandcell 1 m ³	7
	Avgränsning	7
	Hjälpvariabler och parametrar	8
	Funktionskrav – utspädning	9
	Sammanställning av olika funktionskrav	10
	Verklig och nominell utspädning	11
2	Föroreningsnivå och dos vid yttre förorening	13
3	Kolmonoxidförgiftning vid yttre förorening	17
4	Kolmonoxidnivå vid slutna mindre bränder	21
	Undersökning av brandgasspridning i olika ventilationssystem	22
	Undersökning av brandgasspridning via golvnivå	23
	Test av olika brandgasspjäll i FT-ventilationssystem	24
	Försök med soffbrand	24
	Medelvärde för CO-nivå under spridningsfasen	29
	Nödvändig utspädning	30
	Uppsummering	32
5	Kolmonoxidförgiftning vid brand och icke brand	33
	Forskningsprojektets bakgrund	33
	Forskningsprojektets arbetsuppgifter	33
	Databasstudie USM	34
	Databasstudie CWRU	36
	Andra databasstudier	38
	Forskningsprojektets slutsatser	41
	Några kommentarer	42
6	Funktionskrav på minsta siktsträcka	43
	Siktsträcka i brandgasförorenad luft	43
	Högsta extinktionskoefficient för brandgaser	44
	Nödvändig utspädningsfaktor	44

7	Utspädningskrav för brandgaskomponenter	45
	Val av funktionskrav	45
	Gränsvärden ERPG	47
	Gränsvärden AEGL	48
	Gränsvärden Arbetsmiljöverket	49
	Omräkning av gränsvärden till startvärden	49
	Tillräcklig utspädning	50
	Högsta massförlust	51
	Högsta sothalt och optisk densitet	51
	Högsta temperatur	52
	Högsta CO ₂ -nivå	52
	Lägsta O ₂ -nivå	53
	Högsta CO-nivå	53
	Högsta HbCO-halt	53
	Högsta HCN-nivå (cyanväte)	54
	Högsta HCl-nivå (saltsyra)	54
	Högsta CH ₂ CHO-nivå (acrolein)	54
	Högsta HCHO-nivå (formaldehyd)	55
	Uppsummering av olika krav	55
	Några sifferexempel	56
	Ett exempel från verkligheten	57
	Fortsatt forskning	58
	Referenser	59

1 Funktionskrav mot brandgasspridning

Syftet med denna arbetsrapport är att göra ett första försök att bestämma funktionskrav för skydd mot brandgaser med avseende på utspädning, nivå, siktsträcka, temperatur, dos och kolmonoxidförgiftning eller vad som kan vara begränsande vid brandgasspridning från ett slutet brandutsatt rum till ett annat rum oberoende av spridningsväg (här dock via tilluft). Spridningen sker under några minuter till dess att syrebristen blir påtaglig och därmed avtar brandeffekten och brandflödet.

Den nödvändiga utspädningen bestäms av föroreningsnivån och spridningsvolymen på det som sprids från branden och den föroreningsnivå eller föroreningsdos som kan tillåtas i ett spridningsutsatt rum. Föroreningsnivåer för olika komponenter som sprids från en sluten brand endast delvis kända. Det finns stora osäkerheter. Tillåtna föroreningsnivåer eller föroreningsdoser är ganska välkända och osäkerheten här ligger mer i valet av vilket gränsvärde eller funktionskrav som skall användas.

Detta första försök att bestämma den nödvändiga utspädningen dokumenteras sist med en tabell, vilken kan kompletteras allt eftersom nya och säkrare data tillkommer.

Ett stort tack går till Bo Backvik som bidragit med värdefulla synpunkter, klargörande och förbättringar av denna arbetsrapport.

Frågeställningar

Syftet är att besvara följande nedanstående konkreta frågor kring risker med brandgasspridning mellan två rum i en och samma byggnad. Spridningen antas ske via ventilations-systemet och via otätheter i byggnadskonstruktionen mellan de två rummen.

Kravet är att personer som utsätts för brandgasspridning i ett annat rum skall kunna vistas där under obegränsad tid. Fallet med personer i det brandutsatta rummet behandlas inte, eftersom förhållandena blir livsfarliga inom några minuter. Detta fall är väl undersökt och kräver omgående utrymning.

- Kan CO-nivån eller dosen bli för hög?
- Kan O₂-nivån eller dosen bli för låg?
- Kan CO₂-nivån eller dosen bli för hög?
- Kan HCN-nivån eller dosen bli för hög?
- Kan HCl-nivån eller dosen bli för hög?
- Kan brandgaser bli för irriterande?
- Finns det andra förbränningsprodukter som skall beaktas?
- Kan temperaturen bli för hög?
- Kan siktsträckan bli för kort?
- Finns det en minsta utspädning som ger skydd mot alla frågeställningar enligt ovan?

Det första steget för att kunna svara på de flesta av frågeställningarna ovan är att bestämma vilka förbränningsprodukter och vilka nivåer som kan skapas i en slutet rum med en brand. Detta är också det svåraste steget. När de olika förbränningsprodukterna bildas under branden har stor betydelse och särskilt vad som bildas under spridningsfasen.

Ett exempel är att CO-nivån ökar betydligt under en sluten brand samtidigt som O₂-nivån faller. Slutvärdet för CO-nivån, när branden avtar på grund av låg O₂-nivå, kan vara mycket högre än den genomsnittliga CO-nivå under hela spridningsfasen.

Om slutvärden används ger det en betydande marginal, men samtidigt kan dessa marginaler vara onödigt stora och omöjliggöra vissa lösningar av skyddet mot brandgasspridning. Ett överslag av medelvärdet för spridningsfasen kommer att göras i ett senare underavsnitt.

Rapporten bygger på ett antal olika avsnitt i SFPE's handbok som berör brandgaser och personskydd. Följande avsnitt har studerats för version från 2002 med angivande av sektionsnummer : kapitelnummer och titel enligt nedan:

1:5	Thermochemistry
1:6	Chemical Equilibrium
1:7	Thermal Decomposition of Polymers
2:4	Visibility and Human Behavior in Fire Smoke
2:5	Effect of Combustion Conditions on Species Production
2:6	Toxicity Assessment of Combustion Products
2:9	Smoldering Combustion
2:13	Smoke Production and Properties
3:1	Heat Release Rates
3:4	Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires
3:12	Behavioral Response to Fire and Smoke
4:12	Smoke Control
App:C	Fuel Properties and Combustion Data

En uppsummering av ovanstående handboksavsnitt är följande:

- Det finns mycket försöksdata på materialnivå med olika luftöverskott eller underskott
- Det finns mycket försöksdata med bränslekontrollerade rumsbränder
- Det finns en del försöksdata med delvis ventilationskontrollerade rumsbränder
- Det finns inga försöksdata med helt instängda bränder motsvarande ett rum med stängda fönster och dörrar med ett litet läckage som förhindrar dubbelströmning
- Det finns inga försöksdata med helt instängda bränder i normalt ventilerade rum.

- Fall med personer i brandrummet behandlas
- Livshotande förhållande uppstår i brandrummet inom några minuter
- Utrymningsvägar med kort uppehållstid berörs

- Siktsträckan skall vara minst 5 m (10 m) i välkända (okända) omgivningar

- Inget alls om brandgasspridning via ventilationssystem eller via otätheter

- Kolmonoxid anges som den farligaste komponenten
- Cyanväte är en farlig komponent, men kolmonoxidhalt är samtidigt oftast farligare
- Irriterande brandgaser
- Acrolein är en farlig komponent men kolmonoxidhalt är samtidigt oftast farligare

- Doser är utslagsgivande
- Olika faktorerers doser för kan adderas samman till en resulterande dos
- Dödsfall kan orsakas av en icke dödlig faktor som på något sätt förhindrar utrymning och därefter orsakas dödsfallet av en annan kanske mätbar faktor.

Enhetsbrandcell 1 m³

Ett sätt att besvara de olika frågeställningarna är att utgå från en brand i en sluten volym utan några stora öppningar med en volym om 1 m³ och undersöka vilka föroreningsnivåer som kan uppstå. Arbetsgången blir att uppskatta hur mycket material kan förbrännas och därefter bestämma i vilka mängder som olika förbränningsprodukter kan bildas.

Fullständig förbränning av 1 m³ luft frigör 3000 kJ och för ett rimligare fall med en halvering av luftens syrenehåll frigörs 1500 kJ. Förbränningsvärmets för trä är mindre än 20 MJ/kg och många plaster mindre än 40 MJ/kg. Ett grovt överslagsvärde för en rumsbrand kan därför vara 30 MJ/kg. Detta innebär att endast 0.050 kg eller 50 g material kan rimligen förbrännas med 1 m³ luft.

Sotproduktionen kan bestämmas med uppgifter om sotomvandlingsfaktor och mängd material som förbränns. Sotbildningen påverkas av hur förbränningen sker. Sotomvandlingsfaktorn är som högst 0.17 för en flambrand och kan vara betydligt mindre än 0.1 för många material. Ett överslag på mängden sot per 1 m³ luft blir 0.005 kg eller 5 g med sotfaktorn 0.1.

Avgränsning

En viktig avgränsning är att fallet gäller en brand i ett ventilerat rum med stängda fönster och dörrar. Endast risker med spridning av brandgaser till andra rum via ventilationssystem eller läckage skall beaktas. Risken i själva brandrummet behandlas inte, eftersom den är välutredd sedan tidigare.

Brandgasspridningen antas ske under kort tid och därefter sker utvädring med en avklingande föroreningsnivå som bestäms av luftomsättningen.

Spridningen av brandgaser till andra rum kan ske mellan rum i samma byggnad och mellan omgivningen och en byggnads rum. Detta senare fallet med en yttre spridningskälla behandlas för ett allmänt fall i avsnitt 2 och särskilt för kolmonoxidförgiftning i avsnitt 3. Stora industribränder eller även stora utsläpp vid olyckor är exempel på en yttre spridningskälla. Endast fallet med en konstant yttre föroreningsnivå behandlas, vilket är en förenkling.

En sammanställning av funktionskrav mot brandgasspridning ges i arbetsrapporten TVIT—09/7039 och dess avsnitt 8. Dessa olika funktionskrav återges här kortfattat med en omarbetning som innebär att siktsträcka ersätts med extinktionskoefficient $k \text{ m}^{-1}$, vilken enkelt kan räknas om till en siktsträcka för en given synuppgift.

Hjälpsvariabler och parametrar

Två grundläggande parametrar för brandgasspridning är det brandutsatta rummets volym V och det spridningsutsatta rummets volym V_s . Det finns vidare fyra hjälpvariabler för att beräkna funktionskrav mot brandgasspridning, vilka anger inverkan av exponeringstid s_e , spridning via tilluft s_t , volymspridning beroende på brandtemperatur när spridning börjar och slutar s_V samt en korrektion för spridningstiden s_r . Om spridningstiden försummas överskattas högsta nivån och dosen under utvärdringsförloppet efter spridningsfasen. Korrektion för spridningstiden blir lika med ett och betecknas för s_r mot tidigare rapporters s_s . De fyra hjälpvariablerna beräknas enligt (1.1-4) enligt nedan:

$$s_e = 1 - e^{-t/S} \quad (-) \quad (1.1)$$

$$s_t = A_t / (A_t + A_f + A_i + A_y) \quad (-) \quad (1.2)$$

$$s_V = T_n / T_1 - T_n / T_2 \quad (-) \quad (1.3)$$

$$s_r = (1 - e^{-s/S}) S/s \quad (-) \quad (1.4)$$

där

s_e korrektionsfaktor för ändlig exponering, -
 s_t spridningsandel för tilluft, -
 s_V spridningsandel för volym, -
 s_r korrektionsfaktor för lång spridningsfas, -

s spridningstid, s
 t exponeringstid, s
 $S = V_s / q_s$ luftomsättningstid, s

A_t läckagearea för tilluft, m^2
 A_f läckagearea för frånluft, m^2
 A_i läckagearea inåt, m^2
 A_y läckagearea utåt, m^2

T_n temperatur för normalfallet, K
 T_1 temperatur när brandgasspridning börjar, K
 T_2 temperatur när brandgasspridning slutar, K

V volym för brandutsatt rum, m^3
 V_s spridningsutsatt volym, m^3
 q_s spridningsutsatt flöde, m^3/s

Funktionskrav - utspädning

Ett möjligt funktionskrav kan vara att kräva en minsta utspädning av brandgaser som sprids. Utspädningen definieras som en kvot mellan den till en volym spridda volymen och den mottagande volymen, som med värdet ett anger ingen utspädning och som med värdet noll anger fullständig utspädning. Utspädningskravet kan skrivas som följer:

$$u_k > u = s_r s_t s_V V / V_s \quad (-) \quad (1.5)$$

där

u_k högsta tillåtna utspädning, -
 u utspädningsfaktor, -

Högerledets täljare $s_r s_t s_V V$ i (1.5) anger den volym som spritts till nämnarens volym V_s och finns där efter spridningstiden slut. Kvoten är lika med utspädningsfaktorn u , som är helt grundläggande för alla funktionskrav mot brandgasspridning. Utspädningsfaktorn u kommer i fortsättningen att ingå i alla beräkningsuttryck för olika funktionskrav mot brandgasspridning.

Det ovan redovisade funktionskravet som berör utspädning kan samtidigt vara ett sätt att beskriva effekten av irriterande brandgaser. Ett förslag kan vara att om utspädningsfaktorn u är mindre än ett givet värde antas det att brandgaskoncentrationen inte är irriterande.

Notera att utspädningsfaktorn u kan bli större än ett. Detta innebär en överspädning genom att den spridda volymen är större än den mottagande volymen. Detta kan bara inträffa när brandrummets volym V är betydligt större än den mottagande volymen V_s , men inte om brandrummets volym V är lika stor som den mottagande volymen V_s .

En utspädningsfaktor större än ett leder till orimliga resultat genom att en föroreningsnivå blir högre i den spridningsutsatta volymen jämfört med den ursprungliga i brandrummet. Orimligheten eller felet beror på ett antagande om att den spridda volymen är mycket mindre än den mottagande volymen. Effekten av den volym som undanträngs i den spridningsutsatta volymen försummas. Detta fel gör att utspädningsfaktorn överskattas något.

Hur den nominella utspädningsfaktorn u enligt (1.5) kan rättas till för fallet med överspädning behandlas i ett underavsnitt på sidan 11.

Sammanställning olika funktionskrav

Samtliga funktionskrav sammanställs nedan för att visa likheterna och för att ge en bra överblick. De sex uttrycken och sju raderna anger kraven för utspädning, nivå, extinktionskoefficient (sikt), temperaturökning, dos och särskilt dos för kolmonoxid.

$$u_k > u = s_r s_t s_V V / V_s \quad (-) \quad (1.5)$$

$$c_k > c_s = u c \quad (\text{ppm}) \quad (1.6)$$

$$k_k < k_s = u k \quad (\text{m}^{-1}) \quad (1.7)$$

$$\Delta T_k > \Delta T_s = u \Delta T \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.8)$$

$$C_k > C_s = s_e u c S \quad (\text{ppms}) \quad (1.9)$$

$$HbCO_k > HbCO_s = s_e u c S / CO_{0.5} T \quad (-) \quad (1.10)$$

$$HbCO_k > HbCO_s = C_s / CO_{0.5} T \quad (-) \quad (1.10)$$

Ingående variabler och parametrar anges nedan och utökas med index k för kritiskt krav och med index s för värdet i den spridningsutsatta volymen. Variabel utan index avser själva brandrummet.

c	föroreningsnivå, ppm
C	föroreningsdos, ppms
k	extinktionskoefficient, m^{-1}
ΔT	temperaturökning, K
$CO_{0.5}$	kolmonoxidnivå som motsvarar HbCO-halt 0.5, -
T	tidskonstant för kolmonoxidupptagning, s

Beräkning av kolmonoxidförgiftning enligt (1.10) är en förenkling som ger ett försumbart fel (överskattning) för HbCO-halter mindre än 0.2, vilket är gränsen mellan lindrig och måttlig kolmonoxidförgiftning.

Tidskonstanterna för kolmonoxidupptagning T och luftomsättning S kommer i fortsättningen att ha sorten min.

Verklig och nominell utspädningsfaktor

Antag att den nominella utspädningen och den överförda föroreningsnivån är som tidigare u respektive c samt att fullständig omblandning råder, vilket ger sambandet för den slutliga föroreningsnivån efter spridningsfasen enligt nedan.

$$c_s = (1 - e^{-u}) c \quad (\text{ppm}) \quad (1.11)$$

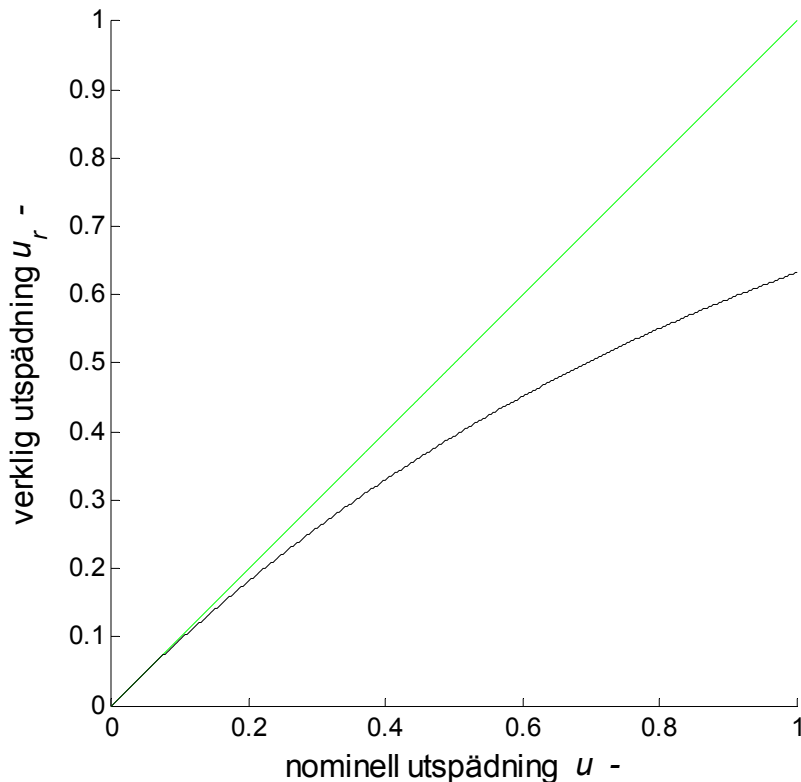
Den verkliga utspädningen u_r kan skrivas som kvoten c_s/c och därmed som följer:

$$u_r = c_s/c = 1 - e^{-u} \quad (-) \quad (1.12)$$

Sambandet (1.12) visar att den verkliga utspädningsfaktorn u_r alltid är mindre än ett även om den nominella utspädningsfaktorn u enligt (1.5) är större än ett. Gassläcksystem är exempel på där den nominella utspädningsfaktor u kan vara större än ett för att nå den önskade släckgashalten. Uttrycket (1.12) kan användas för att med verkliga utspädningsfaktorn u_r (den önskade släckgashalten) beräkna den nominella utspädningsfaktorn u . Nödvändig släckgasvolym blir u multiplicerad med lokalvolymen som skall skyddas. Uttrycket (1.12) kan för en liten utspädningsfaktor u (stor utspädning) förenklas till följande:

$$u_r = u \quad (-) \quad (1.13)$$

Den verkliga utspädningen u_r och den nominella utspädningen u redovisas i Figur 1.1.



Figur 1.1 Verklig utspädningsfaktor u_r som funktion av nominell utspädningsfaktor u .

2 Föroreningsnivå och dos vid yttre förorening

Föroreningsspridning behöver inte bara ske inom en byggnad utan kan även ske utifrån. Detta kan inträffa vid olika oönskade utsläpp från industrier, bränder eller olyckor. Under förutsättning att föroreningsnivån är konstant går det att för en byggnad med en given ventilation och exponeringstid att beräkna både föroreningens nivåvärde och dosvärde.

Den relativa föroreningsnivån $c(t) / c_b$ ges av följande uttryck:

$$c(t) / c_b = 1 - e^{-t/S} \quad (-) \quad (2.1)$$

där

$c(t)$	föroreningsnivå vid tiden t , ppm
t	exponeringstid, min
c_b	yttre föroreningsnivå, ppm
S	luftomsättningstid, min

Den relativa föroreningsnivån redovisas som isodiagram med exponeringstiden t min som x-axel i Figur 2.1 med luftomsättningstiden S min som y-axel och i Figur 2.2 med antalet luftomsättningar n /h som y-axel. Antalet luftomsättningar är bara ett annat sätt att beskriva ventilationen. Sambandet mellan antalet luftomsättningar och luftomsättning är $n = 60 / S$.

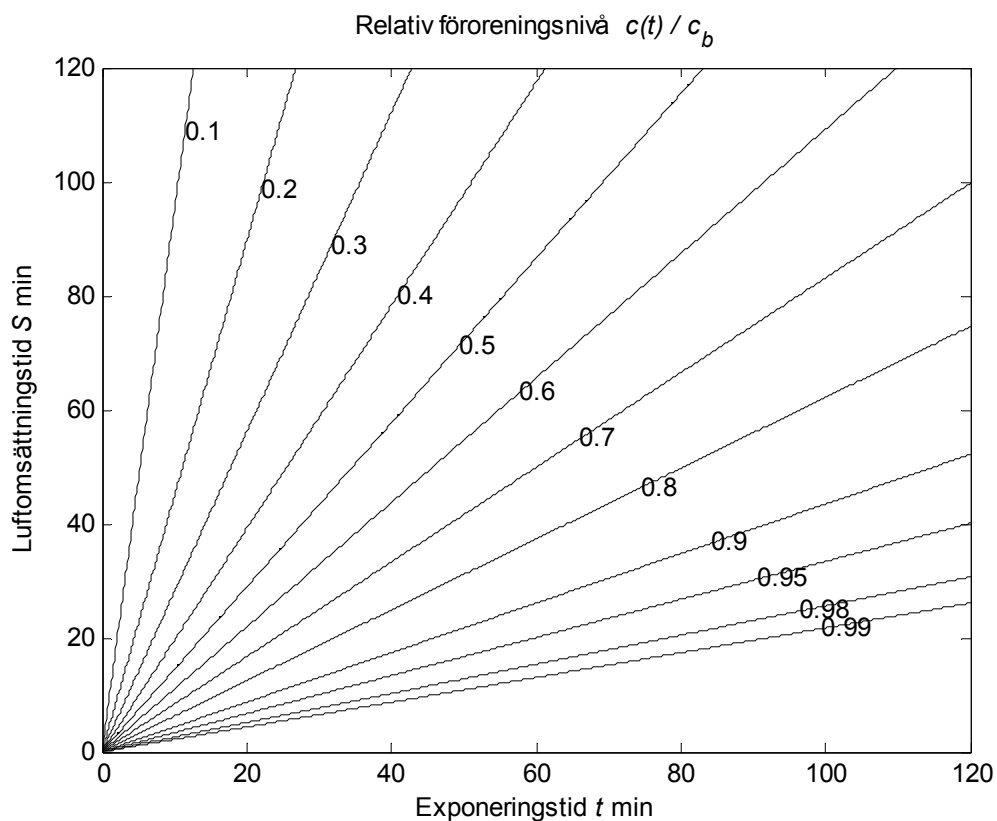
Sambandet (2.1) visar att för den relativa föroreningsnivån är konstant för en viss kvot t/S mellan exponeringstid t och luftomsättningstid S , vilket medför att den relativa föroreningsnivån är konstant för alla linjer på formen $S = at$ där a är en konstant. Om exponeringstiden är lika med luftomsättningstid blir den relativa föroreningsnivån $1 - e^{-1} \approx 0.63$, vilket lätt kan kontrolleras i Figur 2.1. Om luftomsättningstiden är stor i förhållande till exponeringstiden, minskar den relativa föroreningsnivån betydligt, med den absoluta föroreningsnivån måste givetvis beräknas och jämföras med gällande gränsvärden.

Den relativa föroreningsdosen $C(t) / c_b t$ kan med samma beteckningar skrivas som:

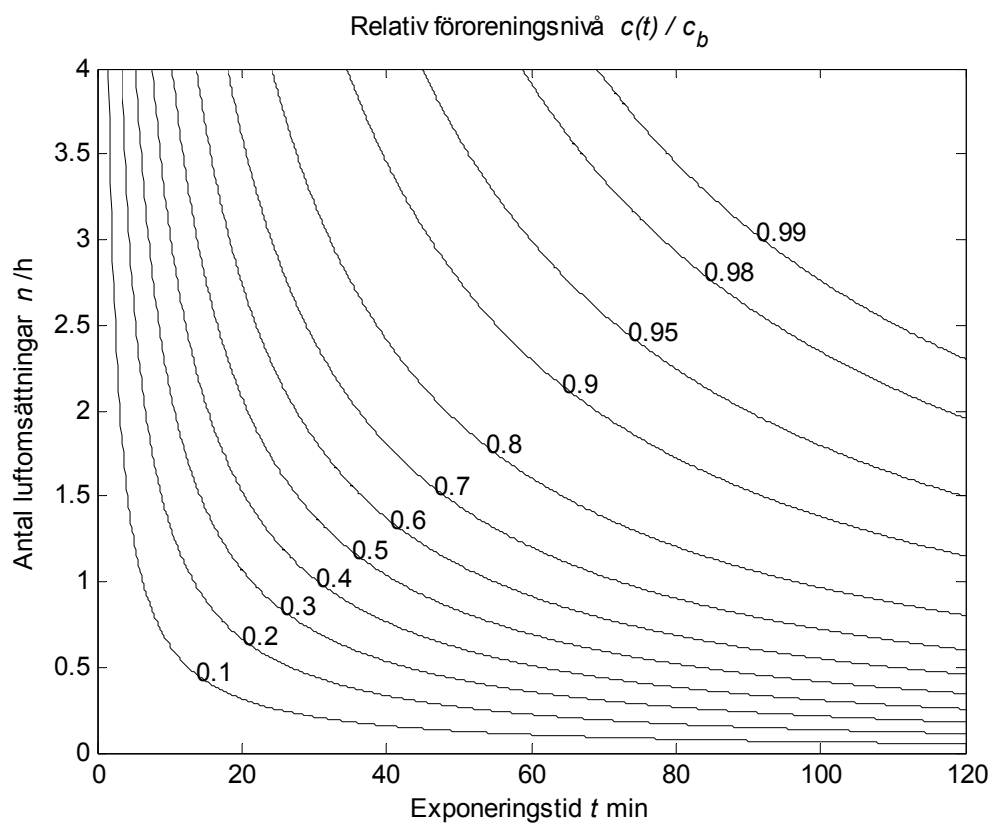
$$C(t) / c_b t = 1 - (1 - e^{-t/S})S/t \quad (-) \quad (2.2)$$

Den relativa föroreningsdosen redovisas med samma isodiagram som för föroreningsnivån i Figur 2.3 och 2.4.

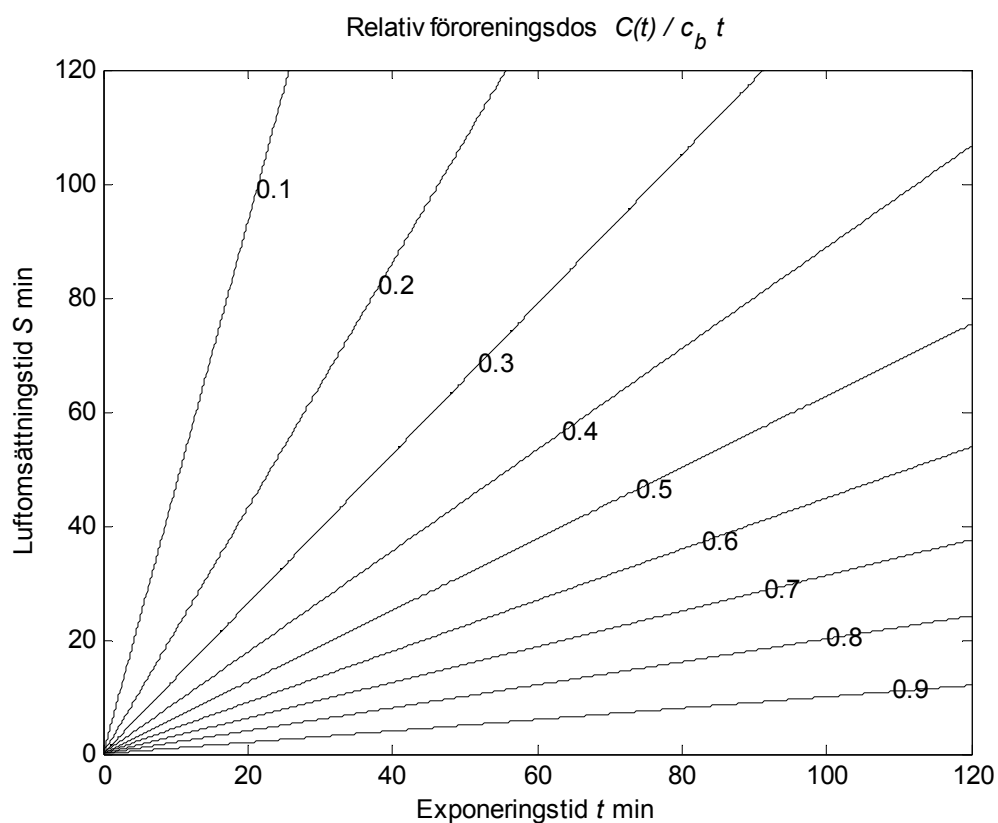
Sambandet (2.2) visar att för den relativa föroreningsdosen är konstant för en viss kvot t/S mellan exponeringstid t och luftomsättningstid S , vilket medför att den relativa föroreningsdosen är konstant för alla linjer på formen $S = at$ där a är en konstant. Om exponeringstiden är lika med luftomsättningstiden blir den relativa föroreningsnivån $1 - (1 - e^{-1}) \approx 0.37$, vilket lätt kan kontrolleras i Figur 2.3. Om luftomsättningstiden är stor i förhållande till exponeringstiden, minskar den relativa föroreningsnivån betydligt, men den absoluta föroreningsdosen måste givetvis beräknas och jämföras med gällande gränsvärden.



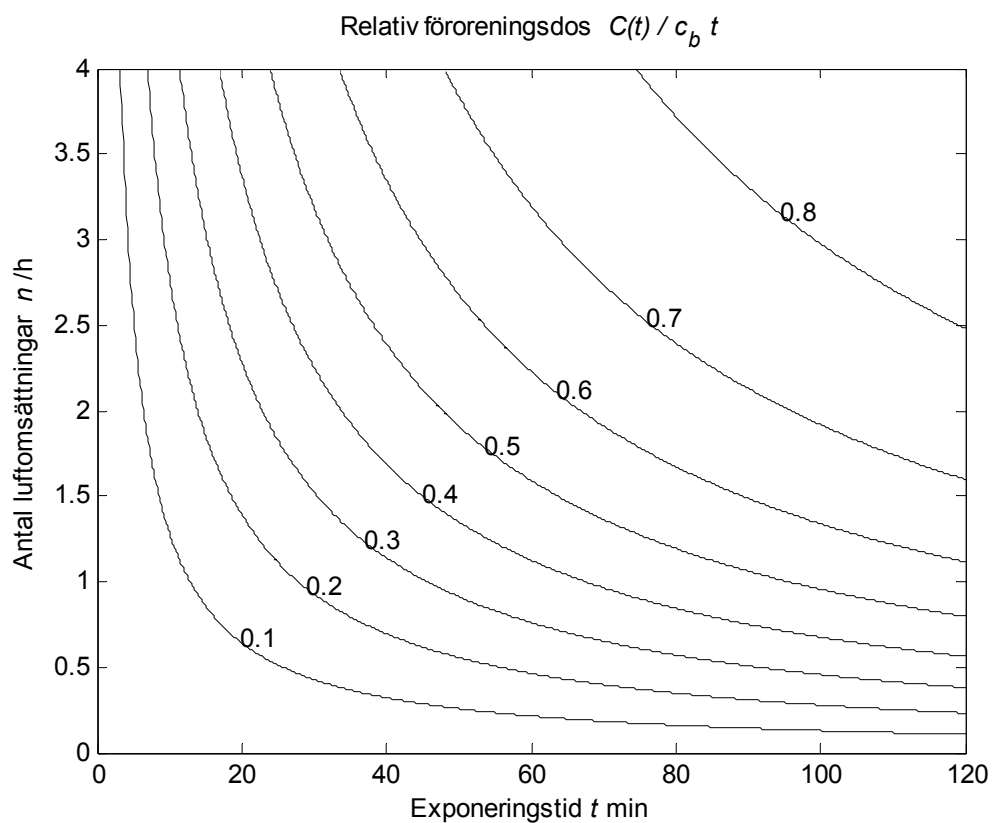
Figur 2.1 Relativ föroreningsnivå som funktion av exponeringstid och luftomsättningstid.



Figur 2.2 Relativ föroreningsnivå som funktion av exponeringstid och antal luftomsättningar.



Figur 2.3 Relativ föroreningsdos som funktion av exponeringstid och luftomsättningstid.



Figur 2.4 Relativ föroreningsdos som funktion av exponeringstid och antal luftomsättningar.

3 Kolmonoxidförgiftning vid yttre förorening

Kolmonoxidförgiftning har beräknats för konstant, avklingande och linjärt ökande i några tidigare TVIT-rapporter 07/7010, 07/0714, 08/7025 och 09/7039. Fallet med linjärt ökande kolmonoxidhalt har endast gällt den korta spridningsfasen från ett rum till ett annat rum inom en byggnad.

Avsikten med detta avsnitt är beräkna kolmonoxidförgiftning exakt för samma fall som har redovisats i avsnitt 2 med konstant yttre kolmonoxidnivå. Utgångsläget är att den inre CO-halten och HbCO-halten båda är noll när exponeringen börjar.

Kolmonoxidförgiftning redovisas som HbCO-halten i blodet för tre olika ventilationsfall med luftomsättningstid 120, 60 och 30 min kombinerat med två olika aktivitetsfall med andningsflödena 6 och 12 l/min i Figur 3.1-6. Isokurvor redovisas för HbCO-halt från 0.1 till 0.9 i steg om 0.1. Exponeringstiden är begränsad till 120 min, vilket är mindre än tidskonstanten för HbCO-balansen på 378 och 230 min för andningsflöden 6 respektive 12 l/min.

Tre horisontella jämviktslinjer för HbCO-halterna 0.2, 0.4 och 0.6 vid oändlig exponering för CO-halterna 150, 400 respektive 900 ppm redovisas också i Figur 3.1-6.

Två kurvor för CO-doserna 15000 och 30000 ppmmin redovisas också. Det framgår i samtliga diagram i Figur 3.1-6 att doskurvorna är likformiga med HbCO-isokurvor och sammanfaller nästan för fallet med andningsflödet 12 l/min för HbCO-halt 0.1 och 0.2. Denna likhet innebär att HbCO-halten kan beräknas med en förenkling, vilket tidigare redovisats i avsnitt 7 i TVIT-rapport 7039. Den förenklade beräkningen har testats och dess isokurvor för HbCO-halten sammanfaller för HbCO-halt mindre än 0.3.

Den förenklade beräkningen är tidigare genomförd för konstant CO-halt och avklingande CO-halt. Den här uppklingande CO-halten beräknas som en subtraktion mellan konstant och avklingande CO-halt. Uttrycken för CO-halt och HbCO-halt redovisas nedan för ett godtyckligt fall.

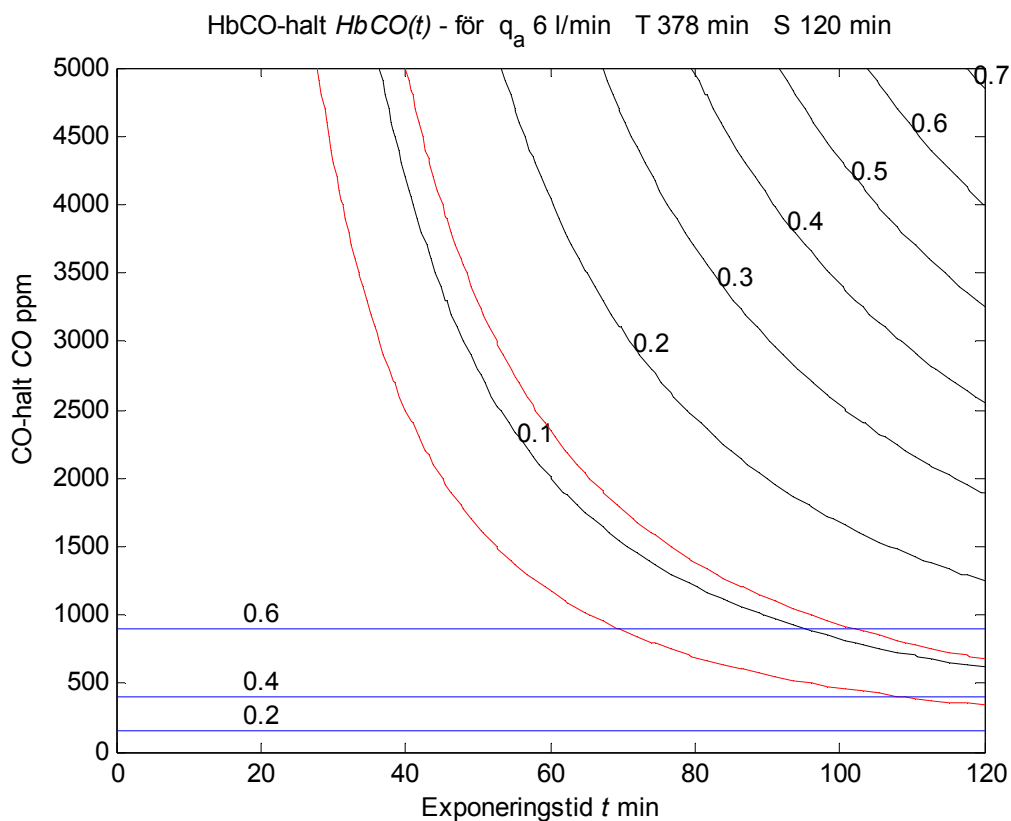
$$CO(t) = (1 - e^{-t/S}) CO \quad (-) \quad (3.1)$$

$$HbCO(t) = CO [1 - e^{-t/T} - (e^{-t/S} - e^{-t/T})/(1-T/S)] / CO_{0.5} \quad (-) \quad (3.2)$$

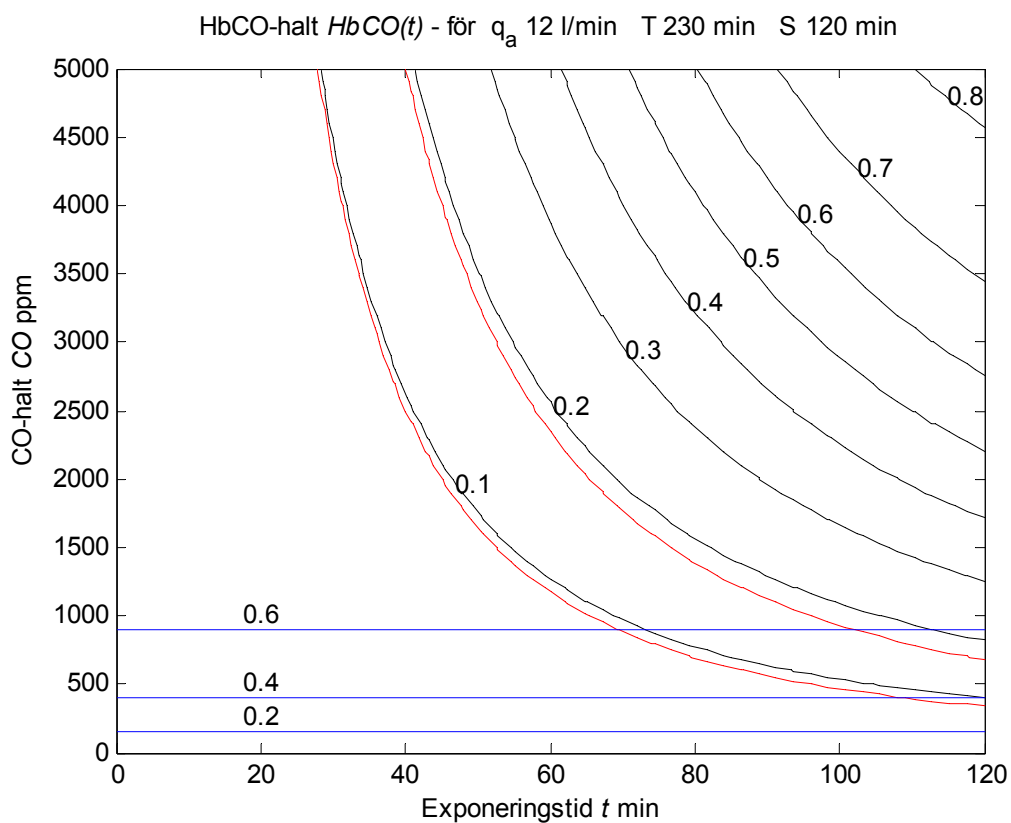
Om de två tidskonstanterna T och S är lika, förenklas (3.2) efter limesövergång till följande:

$$HbCO(t) = CO [1 - e^{-t/T} (1 + t/T)] / CO_{0.5} \quad (-) \quad (3.3)$$

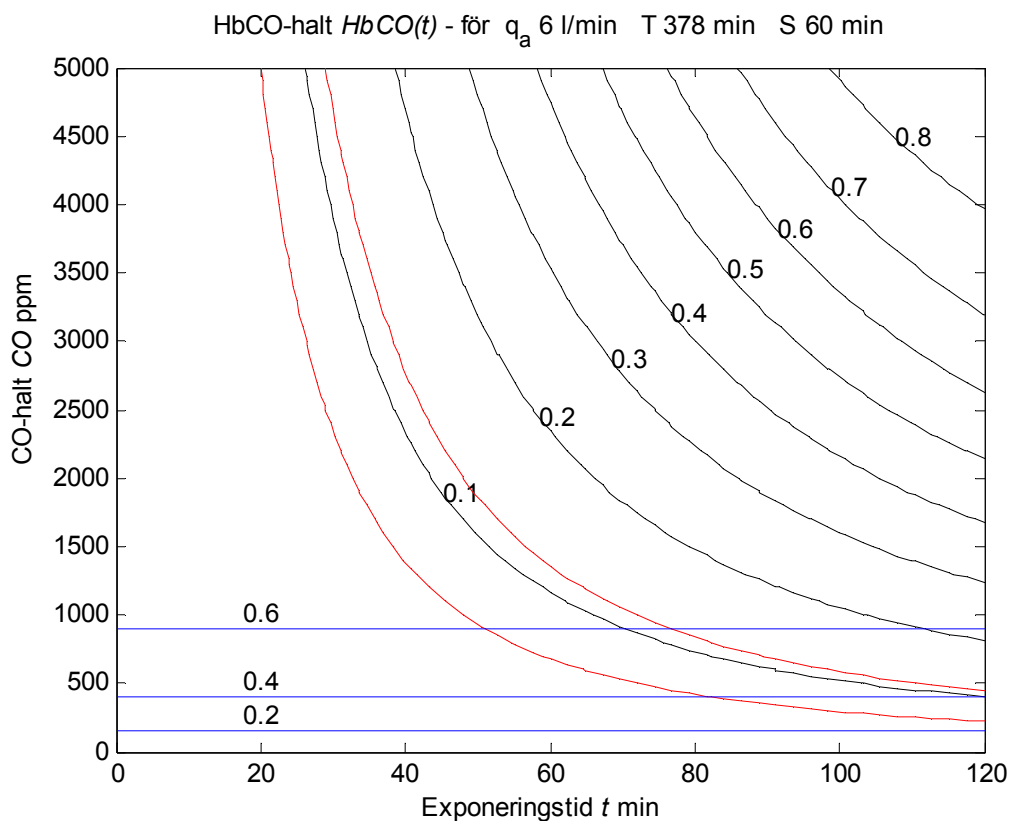
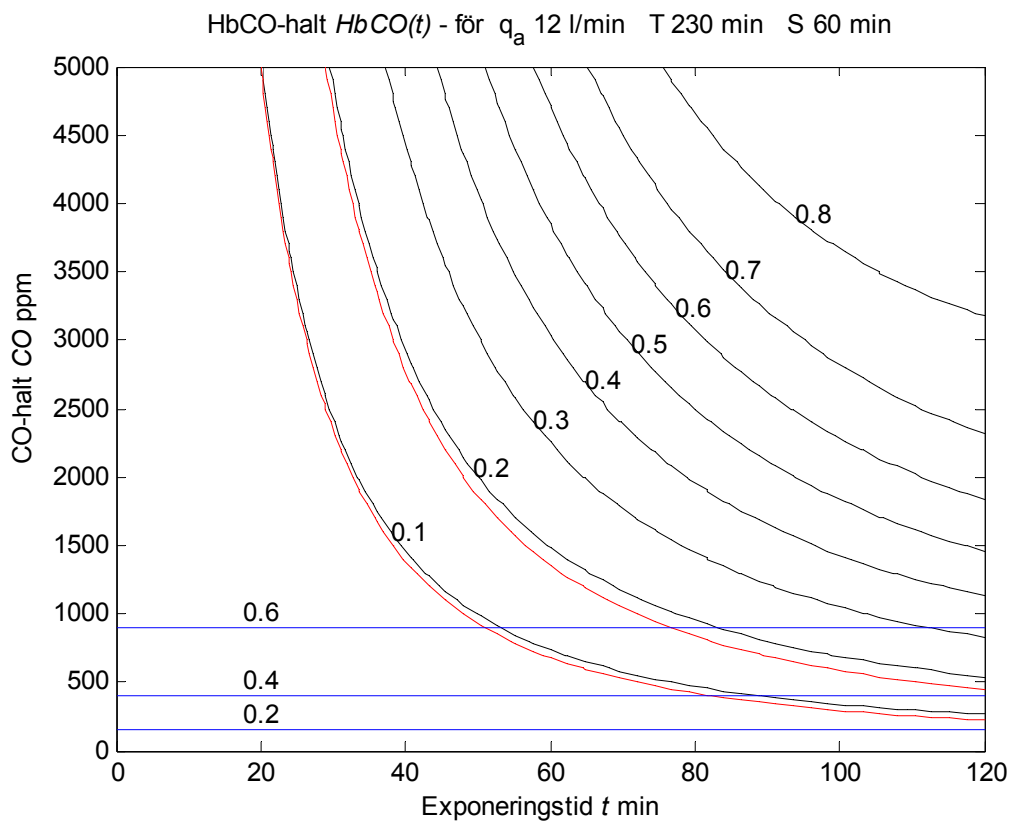
Beräkningsuttrycken (3.2) och (3.3) kan användas för att beräkna HbCO-halt för godtyckliga och längre exponeringstider än de som redovisats i Figur 3.1-6. En viktig anmärkning är att de förenklade beräkningsuttrycken ger en liten överskattning och felet ökar med ökande HbCO-halt. Felet är försumbart för HbCO-halter mindre än eller lika med 0.2, vilket är gränsen mellan lindrig och måttlig kolmonoxidförgiftning.

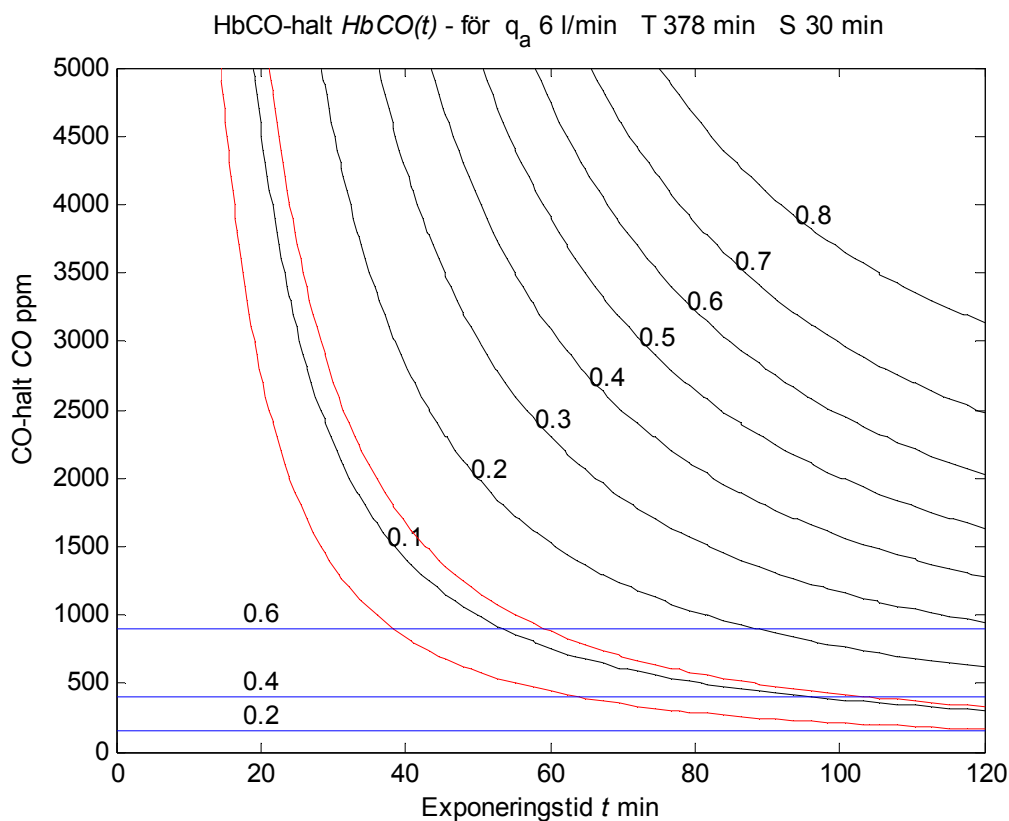


Figur 3.1 HbCO-halt som funktion av exponeringstid t min och yttre CO-halt CO ppm.

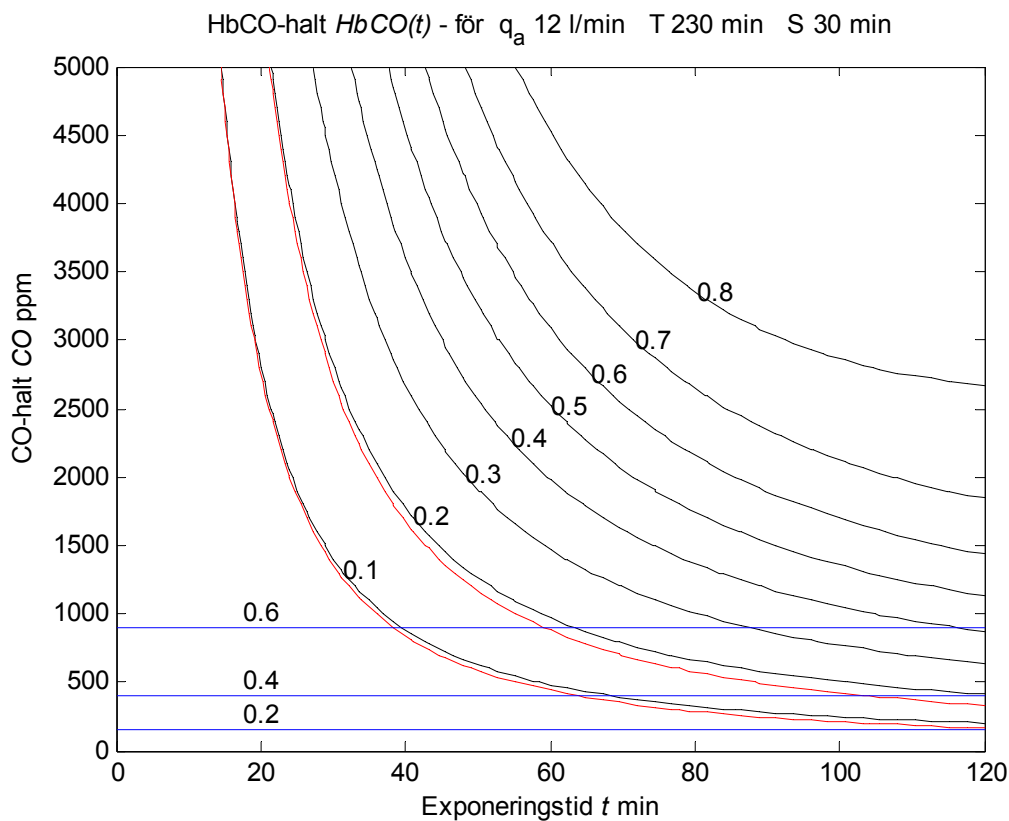


Figur 3.2 HbCO-halt som funktion av exponeringstid t min och yttre CO-halt CO ppm.

Figur 3.3 HbCO-halt som funktion av exponeringstid t min och yttre CO-halt CO ppm.Figur 3.4 HbCO-halt som funktion av exponeringstid t min och yttre CO-halt CO ppm.



Figur 3.5 HbCO-halt som funktion av exponeringstid t min och yttre CO-halt CO ppm.



Figur 3.6 HbCO-halt som funktion av exponeringstid t min och yttre CO-halt CO ppm.

4 Kolmonoxidnivå vid slutna mindre bränder

Det finns inte mycket data att tillgå när det gäller bränder i slutna rum, vilka blir ventilationskontrollerade efter en kort tid och något senare kvävs branden av syrebrist. Ett slutet rum definieras här som ett rum utan några stora öppningar till omgivningen som kan möjliggöra dubbelriktad strömning. Ett slutet rum har därför inga öppna dörrar eller fönster. Det är brandgasspridning från denna typ av bränder via ventilationssystem eller läckage till andra rum än brandrummet som kan skapa farliga tillstånd även i andra rum än brandrummet självt.

I detta avsnitt redovisas resultat hämtade från tre olika forskningsrapporter skrivna av:

Bengt Hägglund, Kjell Nireus och Per-Olof Werling (1998)

Per-Olof Werling, Per Walmerdahl och Kjell Nireus (1999)

Jörgen Carlsson och Per Walmerdahl (2004)

I dessa tre rapporter redovisas försök med elva, fyra och sju olika bränder i slutna mindre rum utan eller med normal ventilation, men utan stora öppningar. Viss tryckavlastning har skett med en mindre öppning, vilken skall motsvara ett normalt rumsläckage. Alla försöken har skett med Räddningskolans försökshus vid Rosersberg.

Brandrummet har varit det samma för alla tre försöksserier med en golvytan om 20 m² och en rumshöjd om 2.6 m. Rumsvolymen är 52 m³. Alla väggar är i betong med en tjocklek på 0.15 m och det finns därför inga naturliga läckage.

Det primära syftet med dessa tre försöksserier var att undersöka brandgasspridning via ventilationssystem för olika ventilationssystem, att undersöka brandgasspridning från golvnivå till omgivningen och att undersöka funktionen hos brandgasspjäll och backspjäll i ett FT-ventilationssystem. De tre försöksseriernas resultat kommenteras inte utan det är endast mätningar av främst CO-nivån som är av intresse.

Tryck, temperaturer på olika nivåer, syrenivå och kolmonoxidnivå i brandgaslagret 0.5 m under taket uppmättes. Okulära avläsningar från diagram har gjorts av högsta CO-nivå vid övertryck under spridningsfasen CO_{smax} samt för hela brandförloppet högsta CO-nivå CO_{imax} och lägsta O₂-nivå 0.5 m över golvet O_{2min} . Tiden till när övertrycket upphör anges och högsta temperatur i brandgaslagret 0.1 m under tak redovisades också.

Ett viktigt påpekande är att CO-nivån ökar med tiden och till mycket höga nivåer efter det att brandgasspridning mer eller mindre har upphört. Branden går in i ett flämtande tillstånd efter spridningsfasen beroende på att luft tillförs via läckage på grund av upprepad avkyllning och uppvärmning samt att ventilationssystem är i drift.

Undersökning av brandgasspridning i olika ventilationssystem

Syftet med försöksserien var att undersöka brandgasspridning från en fristående oventilerad lokal i ett fall, försöksserie 11-15, och från en lokal till andra tre lokaler anslutna till samma F- eller FT-ventilationssystem i två fall med försöksserierna 21-23 respektive 31-33.

Ventilationsflödet var lika för alla fyra rum om 25 l/s. Brandrummet var försett med en avluftning med olika diameter enligt Tabell 4.1 placerad 0.6 m över golv för att motsvara normalt läckage.

Branden var en poolbrand, vars yta ökades med tiden för att efterlikna en t^2 -brand eller vars yta var konstant 0.5 m^2 som i försök 15. Bränslet var heptan med en värmeeffekt på 1.6 MW/m^2 . Brandträgen var kylda.

Tillväxthastigheten för de två t^2 -brandfallen bestämdes till 35 och 85 W/s^2 , vilket kan jämföras med 2.9, 11.7, 46.9 och 187.6 W/s^2 för standardfallen slow, medium, fast respektive ultra fast. Det två t^2 -bränderna begränsades till 0.9 och 1.1 MW, vilket motsvaras av största poolyta om 0.55 m^2 respektive 0.73 m^2 . Effektbegränsningen för de två bränderna inträffar efter 160 respektive 113 s.

Tabell 4.1 Försöksdata för olika brandtest med olika ventilationssystem

försök	ventilation	avluftning mm	α W/s^2	CO_{smax} ppm	CO_{tmax} ppm	O_{2min} -	t_{smax} min	T_{max} $^{\circ}\text{C}$
11	-	200	35	1800	2000	0.08	3.0	330
12	-	150	35	1600	1800	0.07	3.0	350
13	-	200	85	2000	4700	0.06	2.3	440
14	-	150	85	2300	5000	0.06	2.3	450
15	-	200	- ₁	500	1800	0.07	1.2	380
21	F-system	200	85	1500	3900	0.06	2.3	380
22	F-system	150	85	2000	3500	0.06	2.4	400
23	F-system	150	85	1700	3500	0.06	2.3	380
31	FT-system	100	35	900	1300	0.08	3.1	320
32	FT-system	150	85	2100	4400	0.06	2.4	360
33	FT-system	200	85	2200	3800	0.07	2.4	350

₁ 0.5 m^2 0.8 MW

Siffrorna i Tabell 4.1 visar att CO -nivåns högsta värde under spridningsfasen med övertryck CO_{smax} inte överskrider 2500 ppm, medan CO -nivån under hela brandförloppet CO_{tmax} som mest uppnår 5000 ppm för de elva försöken. Fallen med den högre tillväxthastigheten 85 W/s^2 resulterar i högre CO -nivåer.

Undersökning av brandgasspridning via golvnivå

Syftet med försöksserien var att undersöka brandgasspridning via golvnivå i den brandutsatta lokalen till omgivningen. Om en lokal är försedd med ett golvplacerat tilluftsdon kan detta vara ett bra sätt att begränsa farlig brandgasspridning, eftersom ren luft sprids ända till dess att brandgaslagret når ner golvdonet och då börjar den egentliga brandgasspridningen och samtidigt börjar branden kvävas av sitt eget brandgaslager.

Brandrummet var oventilerat. En uppochnervänd U-formad luftkanal med diameter 200 mm, som började 50 mm över golv i brandrummet och slutade 80 mm över golv utanför brandrummet, var den enda förbindelsen mellan brandrummet och omgivningen.

Notera att både brandgaser och resterande luft under brandgaslagret sprids via golvdonet beroende på hur stor del av golvdonets öppning som är exponerad för brandgaslagret och det resterande luftlagret. I detta aktuella fallet är U-rörets öppning med diametern 200 mm på nivån 50 mm över golv, vilket strömningstekniskt innebär att donets öppning omfattar höjden 0-50 mm över golv. Ytan för denna fria cylinderiska inströmningsyta mellan luftkanal och golv är lika stor som luftkanalens tvärsnittsytan ($\pi \cdot 200 \cdot 50 = \pi \cdot 200^2 / 4$).

Bränderna var träribbstaplar om 4 kg eller 5 kg varav de större var försedda med träull mellan ribborna för att öka förbränningshastigheten. En mindre mängd metanol 1.5 och 1.7 dl användes för att starta branden för försök U1 respektive U2. Bränslemängden 4 kg kan räknas om till 0.08 kg/m^3 rumsvolym, vilket kan jämföras med bränslemängden 0.05 kg/m^3 som halverar syrenivån. Branden kommer därför att kvävas av syrebrist och inte av bränslebrist.

Tabell 4.2 Försöksdata för fyra test med träribbstaplar

försök	brand	CO_{smax} ppm	CO_{tmax} ppm	O_{2min} -	t_{smax} min	T_{max} °C
U1	4 kg	300	1600	0.14	7.5	140
U2	5 kg + träull	250	3100	0.13	3.0	250
U3	4 kg	120	1500	0.14	6.0	170
U4	5 kg + träull	280	2400	0.14	4.5	150

Siffrorna i Tabell 4.2 visar att CO-nivåns högsta värde under spridningsfasen med övertryck CO_{smax} inte överskrider 400 ppm, medan CO-nivån under hela brandförloppet CO_{tmax} som mest uppnår 3100 ppm för de fyra försöken. Fallen med den högre tillväxthastigheten med träull och mer bränsle i högre CO-nivåer totalt sett.

Notera att de i Tabell 4.2 redovisade värden avser CO-nivån under tak, medan CO-nivån i själva U-röret är uppmätt till mindre än 250, 100 och 100 ppm för de tre första försöken U1-3.

Test av olika brandgasspjäll i FT-system

Syftet med försöken var att undersöka funktionen hos standard brandgasspjäll och backspjäll som skydd mot brandgasspridning från en lokal till andra tre lokaler anslutna till samma FT-ventilationssystem. De fyra rummens till- och frånluftsflöden var 20 l/s. Tryckavlastning och läckage av brandrummet har skett med en luftkanal med diameter 125 mm.

Branden var en golvplacerad poolbrand, vars yta ökades med tiden för att efterlikna en t^2 -brand för fallen slow och fast. Bränslet var heptan.

Tre försök genomfördes med standard brandgasspjäll i både tilluft och frånluft med rökdetektor i rummet eller frånluftskanalen. Fyra försök genomfördes med självverkande backspjäll placerade i enbart tilluft.

Tabell 4.3 Försöksdata för sju test med brandgasspjäll

försök	brandgasspjäll	t^2 -brand	CO_{smax} ppm	CO_{imax} ppm	O_{2min} -	t_{smax} min	T_{max} °C
S1	standard	slow	75	225	0.15	3.0	270
S2	standard	fast	100	2750	0.10	2.0	390
S3	standard	fast	150	2500	0.10	2.5	420
S4	backspjäll	fast	110	1200	0.12	2.5	380
S5	backspjäll	fast	40	1300	0.12	2.5	400
S6	backspjäll	slow	80	290	0.15	3.0	260
S7	backspjäll	slow	50	260	0.15	3.0	260

Siffrorna i Tabell 4.3 visar att CO -nivåns högsta värde under spridningsfasen med övertryck CO_{smax} är ytterst låga, medan CO -nivån för hela brandförloppet CO_{imax} är betydligt högre.

Brandfall fast ger betydligt högre CO -nivå sett över hela brandförloppet jämfört med brandfallet slow.

Brandfall fast med brandgasspjäll ger högre CO -nivå sett över hela brandförloppet än med backspjäll, vilket kan förklaras med att med stängda brandgasspjäll i både till- och frånluftskanalsystem blockeras lufttillförsel via tilluftsystemet. Lösningen med backspjäll innebär att tilluftsventilationen kan tillföra mer luft när brandtrycket inte är högre än trycket i tilluftkanalsystemet.

Försök med soffbrand

Ett flertal brandförsök med ett försöksrum beskrivs i NIST Technical Note 1453 (2003). Två av dessa genomfördes med en soffbrand i ett försöksrum med en stängd dörr. Försöksrummet hade bredden 2.44 m, höjden 2.44 m och längden 3.66 m. Rumsvolymen blev avrundat 22 m^3 .

Soffan bestod av åtta textilöverdragna skumgummidyner och dess brännbara vikt var 9 kg med ett bränslevärme om 225 MJ, vilket ger en brandbelasning på 25 MJ/m². Beräknade massfraktioner blev för CO₂, CO, HCN och HCl 2.00, 1.27, 0.193 respektive 0.007 kg/kg bränsle. Textilmaterialiet var bomullpolyesterblandning utan någon brandhämmande tillsats. Skumgummimaterialet beskrevs som flexibel polyuretan innehållande melamin och klorofosfater som brandhämmande tillsatser.

Ett överslag med förbränning av 50 g/m³ luft blir det maximala utbytet för CO, HCN och HCl omräknat till volymandel 55000, 8600 ppm respektive 230 ppm. Jämförelse med skattade medelvärden för CO, HCN och HCl visar att motsvarande verkliga utbyte är 25, 50 och 2 mindre det teoretiska utbytet enligt siffror ovan.

Mätning av olika gaser och temperaturer skedde i och utanför det stängda rummet. Massförlust för det brinnande föremålet mättes med en lastcell. Gasmätning skedde genomgående med FTIR, men både CO₂ och CO mättes även med NDIR.

Mätningar av kvävedioxid, formaldehyd och acrolein låg under mätinstrumentens detektionsgräns (100, 10 respektive 50 ppm) för samtliga brandförsök som även omfattade bokhyllor, PVC-skivor och elektriska kablar för hushållsbruk.

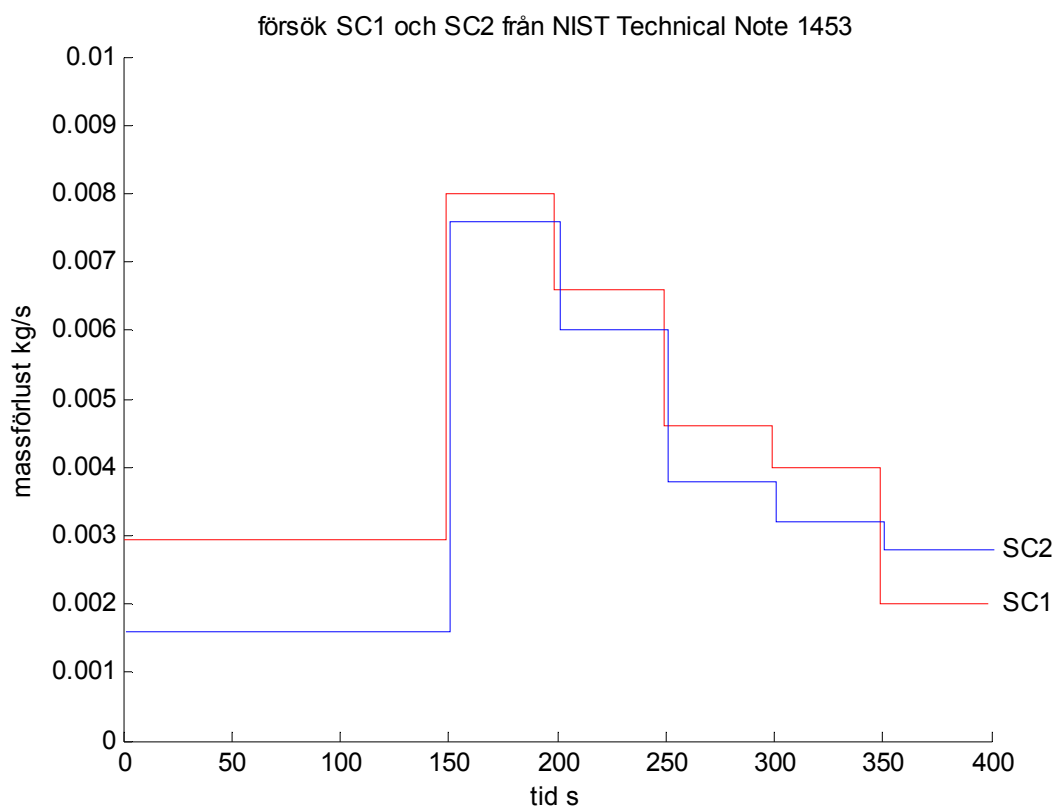
Mätningarna av massförlust, O₂, CO₂, CO, HCN och HCl för de slutna rummen redovisas i tabeller i TN 1453 för tidpunkterna 150(50)400 s. Mätvärdena redovisas här med diagram i Figur 4.1-6 uppdelat som massförlust kg/s, O₂ och CO₂ för båda försök, CO för försök SC1, CO för försök SC2, HCN och HCl för försök SC1 respektive HCN och HCl för försök SC2.

Kurvorna för massförlust kg/s i Figur 4.1 visar att bränderna är avtagande efter 200 s. Detta stämmer också med avtagande O₂-nivå och ökande CO₂-nivå i Figur 4.2. En bedömning med tidskurvorna i Figur 4.1 och 4.2 är att brandgasspridning knappast sker efter 300 s när både O₂-nivå och CO₂-nivå planar ut till konstanta nivåer. Massförlusten efter 300 s är 1.4 och 1.1 kg för de två försöken, vilket kan räknas om till ett luftbehov som blir 28 respektive 22 m³ under förutsättning att 50 g material förbränns med 1 m³. Detta stämmer ganska bra med rummets volym om 22 m³, vars luftvolym endast räcker till att förbränna en mindre del av en soffa med 9 kg brännbart material.

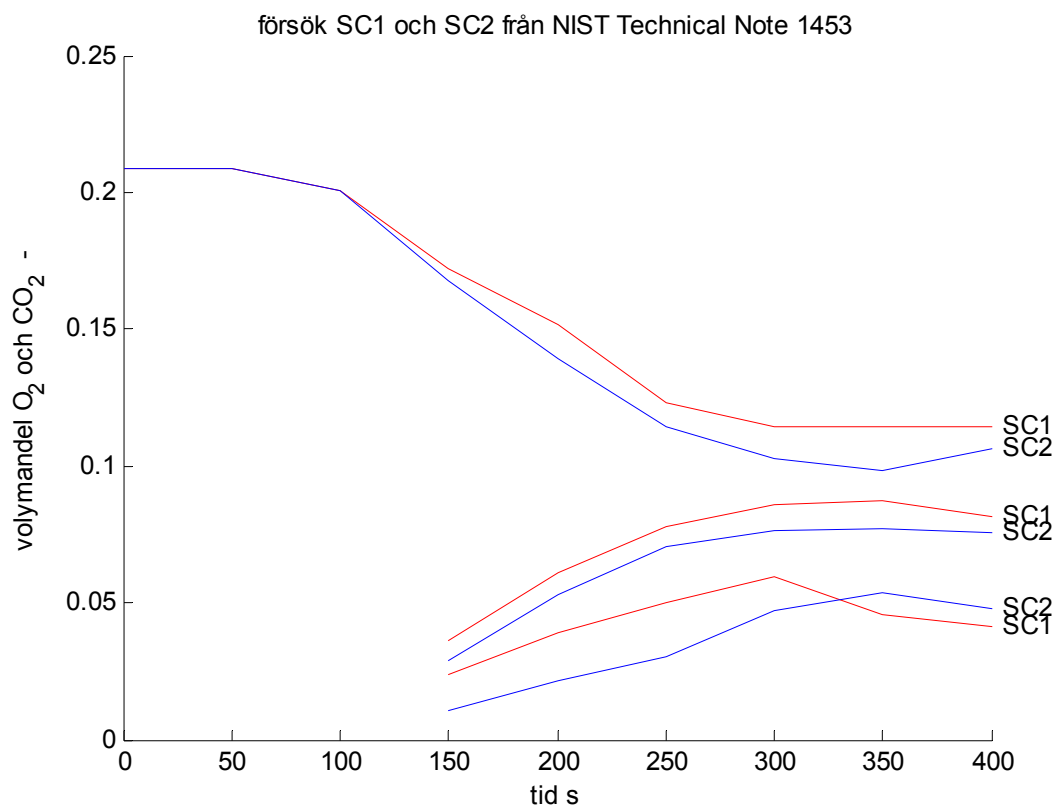
Kurvorna för CO-nivå i Figur 4.3 och 4.4 för de två försöken visar att det finns en skillnad mellan de två mätmetoderna NDIR och FTIR. De vågräta linjerna anger medelvärden för ett tidsintervall 0-600 s. En grov skattning av ett medelvärde för spridningsförloppet fram till 300 s är att CO-nivån är högst 2000 ppm. En viktning av mätvärdena upptill 300 s för CO-nivån med massförlust kg/s som ett mått på brandeffekten och därmed också brandflödet ger 1781_{NDIR} och 531_{FTIR} ppm för försök SC1 och 1621_{NDIR} och 241_{FTIR} ppm för försök SC2.

Mätvärdena för HCN och HCl redovisas i Figur 4.5 och 4.6 för de två försöken och de vågräta linjerna anger medelvärden för ett tidsintervall 0-600 s. Ett medelvärde för spridningsförloppet fram till 300 s kan uppskattas till högst 150 ppm för HCN och högst 100 ppm för HCl. HCl-nivån för försök SC2 i Figur 4.6 uppvisar ett märkligt utbrott. Samma viktning som för CO ger för de två försöken för HCN 4 och 93 ppm och för HCl 114 och 42 ppm.

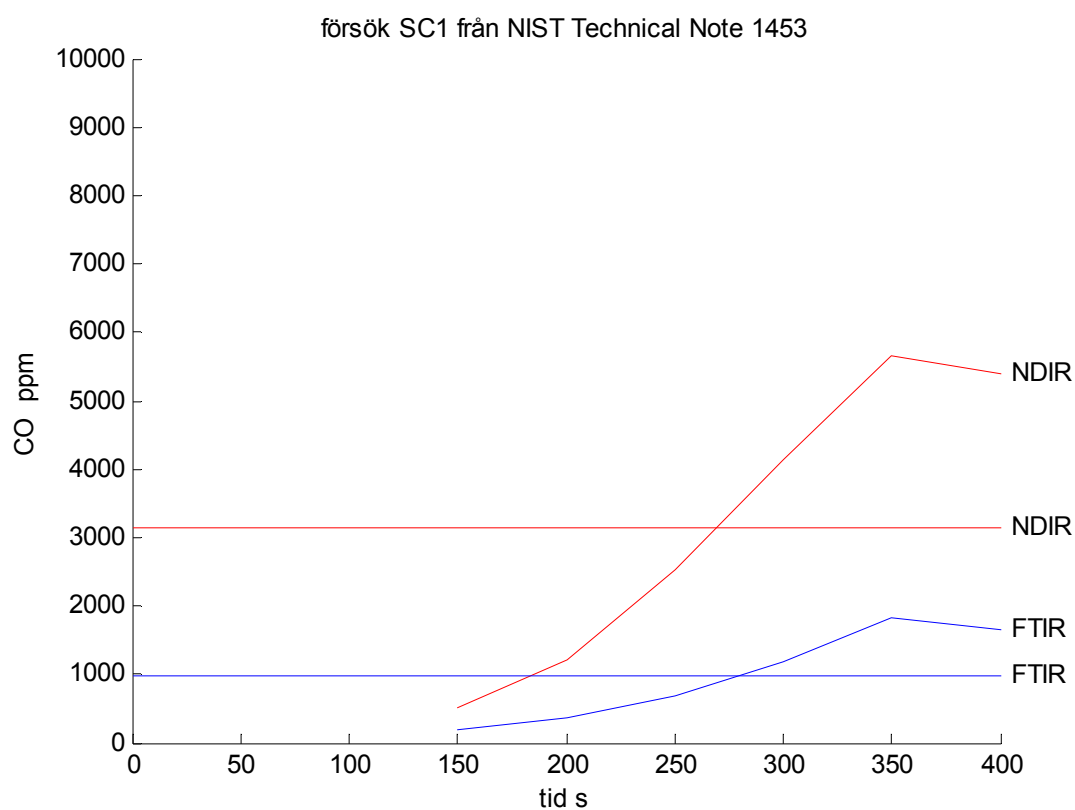
Den viktade medelnivån under spridningsfasen för CO, HCN och HCl är för en soffbrand mindre än 2000, 125 respektive 100 ppm.



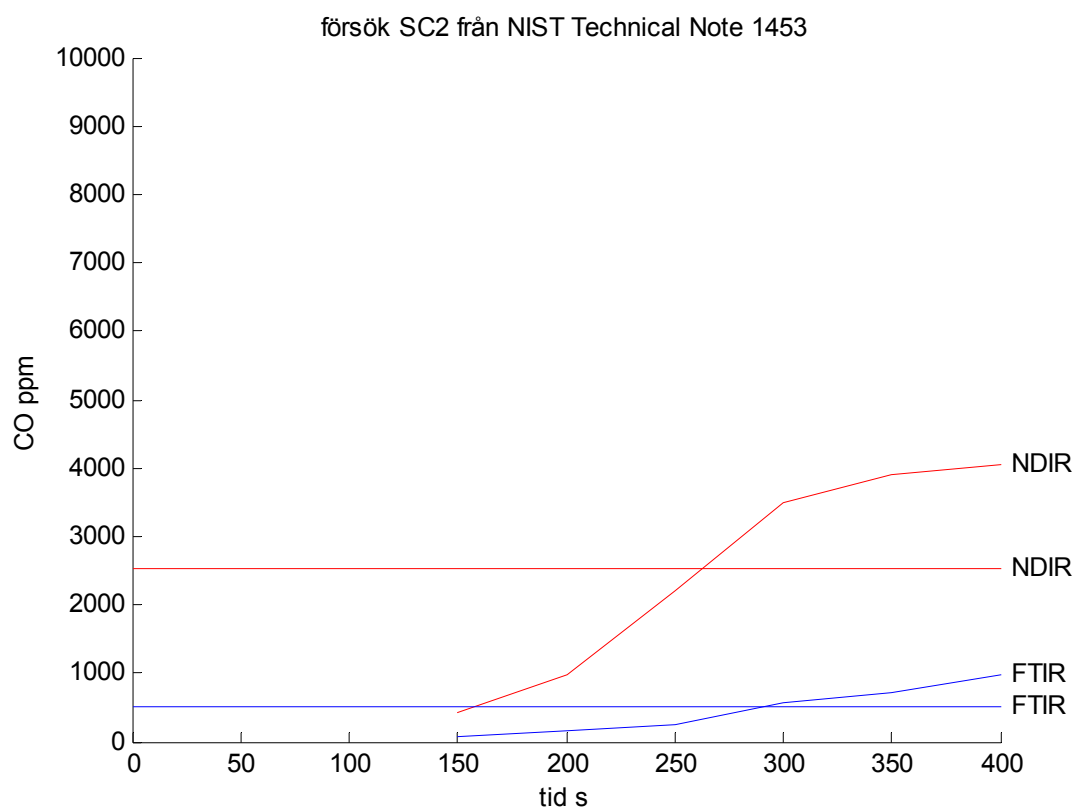
Figur 4.1 Massförlust kg/s för försök SC1 och SC2.



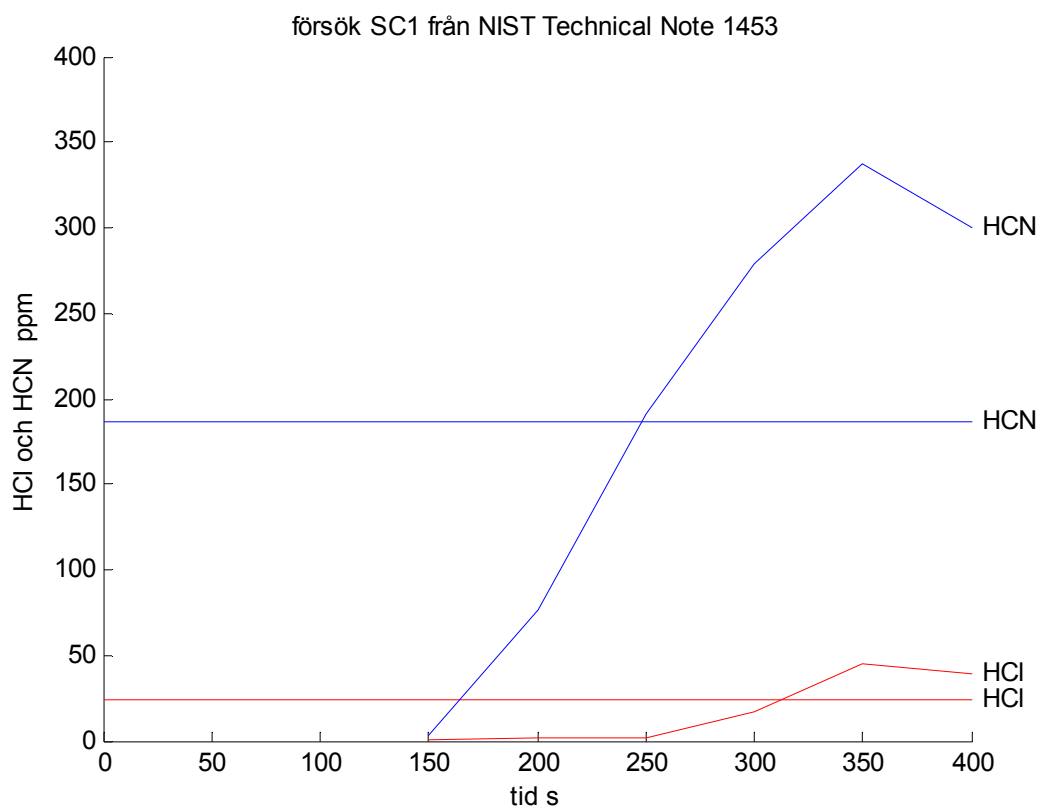
Figur 4.2 Volymandel för O₂ och CO₂ för försök SC1 och SC2.



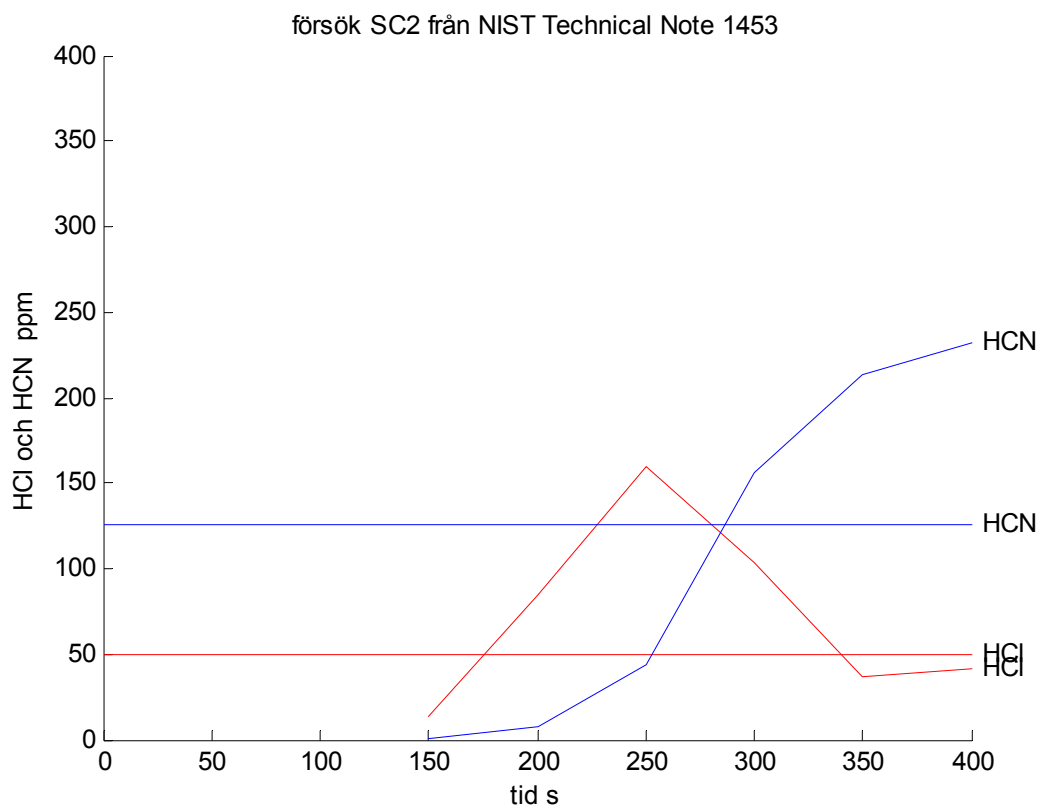
Figur 4.3 CO-nivå i ppm för försök SC1.



Figur 4.4 CO-nivå i ppm för försök SC2.



Figur 4.5 HCN- och HCl-nivå i ppm för försök SC1.



Figur 4.6 HCN- och HCl-nivå i ppm för försök SC2.

Medelvärde för CO-nivå under spridningsfasen

De högsta CO-nivåerna under spridningsfasen CO_{smax} är för de tre försöksserierna 2300, 300 och 150 ppm. Medelvärdet är för spridningsfasen är givetvis lägre, eftersom CO-nivån ökar under hela spridningsfasen. Om CO-nivån ökar linjärt under spridningsfasen skulle medelnivån kunna uppskattas med hälften av slutnivån för spridningsfasen, nämligen CO_{smax} under förutsättning att spridningsflödet är konstant.

Det går också att göra en enkel uppskattning för hur medelnivån skall överskattas för ett mera allmänt fall. Antag att CO-utbytet ökar med tiden t som en faktor t^m , där parametern $m \geq 0$. Antag vidare att brandeffekt P , brandenergi E , CO-nivå CO , brutto brandflöde q_b och avkylnings-flöde q_a kan skrivas som följer för en godtycklig t^n -brand med $n \geq 0$:

$$P \sim t^n \quad (\text{W}) \quad (4.1)$$

$$E \sim t^{n+1} \quad (\text{J}) \quad (4.2)$$

$$CO \sim t^m \quad E \sim t^{m+n+1} \quad (-) \quad (4.3)$$

$$q_b \sim P \sim t^n \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.4)$$

$$q_a \sim T \sim E \sim t^{n+1} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.5)$$

Produktionen av kolmonoxid antas vara direkt proportionell mot effekten och därmed blir mängden kolmonoxid direkt proportionell mot brandenergin.

Avkylningsflödet q_a orsakas av brandrummets avkylande ytor och antas vara proportionellt mot temperaturen T som i sin tur antas vara proportionellt mot energin E . Nettobrandflödet q_n som lämnar brandrummet är noll vid tiden t_{smax} när bruttflödet q_b är lika med avkylningsflödet q_a kan skrivas som:

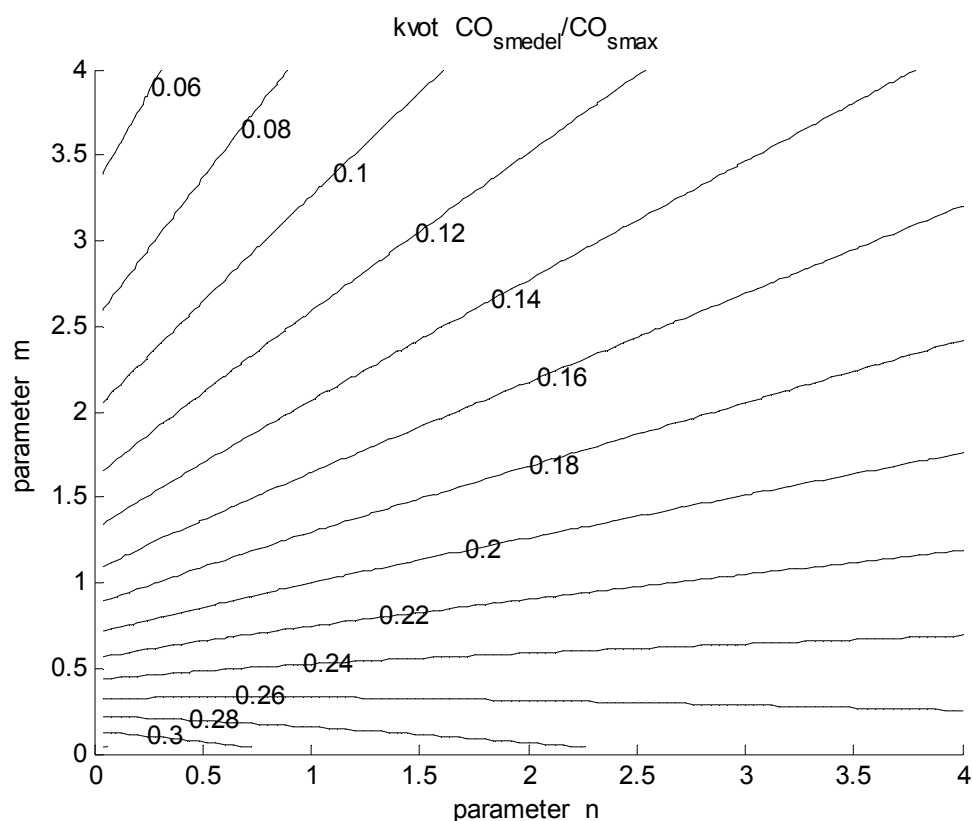
$$q_n = q_b - q_a \sim t^n - t^{n+1}/t_{smax} = t^n (1 - t/t_{smax}) \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.6)$$

Medelvärdet för CO-nivån under spridningsfasen CO_{smedel} kan beräknas genom integration av produkten $q_n CO$ dividerat med medelflödet, vilket med ovanstående samband och ett givet slutvärde för CO-nivån under spridningsfasen CO_{smax} ger följande:

$$CO_{smedel} / CO_{smax} = (n+1)(n+2)/((m+2n+2)(m+2n+3)(-)) \quad (4.7)$$

Uttrycket (4.6) redovisas i Figur 4.7 som funktion av parametrarna n som x-axel och parametern m som y-axel. Störst kvot $CO_{smedel} / CO_{smax} = 1/3$ fås för $m = 0$ och $n = 0$. Fallet med $m = 0$ och $n = 0$ motsvarar ett konstant CO-utbyte och en poolbrand med konstant effekt och area. Slutsatsen är att medelvärdet CO_{smedel} kan överskattas med en tredjedel av slutvärdet CO_{smax} för de gjorda antaganden enligt (4.1-6).

En avslutande slutsats är därför att medelvärdet för CO-nivån under spridningsfasen CO_{smedel} kan begränsas till 800 ppm baserat på den första försöksserien med test av olika ventilations-system och en förhållandevis snabb brand mellan fast och ultra fast.



Figur 4.7 Kvoten CO_{smedel} / CO_{smax} enligt (4.6) som funktion av parametrarna n och m .

Nödvändig utspädning

Den nödvändiga utspädningen för att undvika CO-förgiftning för ett fall med en given ventilation med luftomsättningstiden S eller luftomsättningen n och en given aktivitet med tidskonstanten T kan beräknas med (1.10). Kravet (1.10) kan skrivas om som följer:

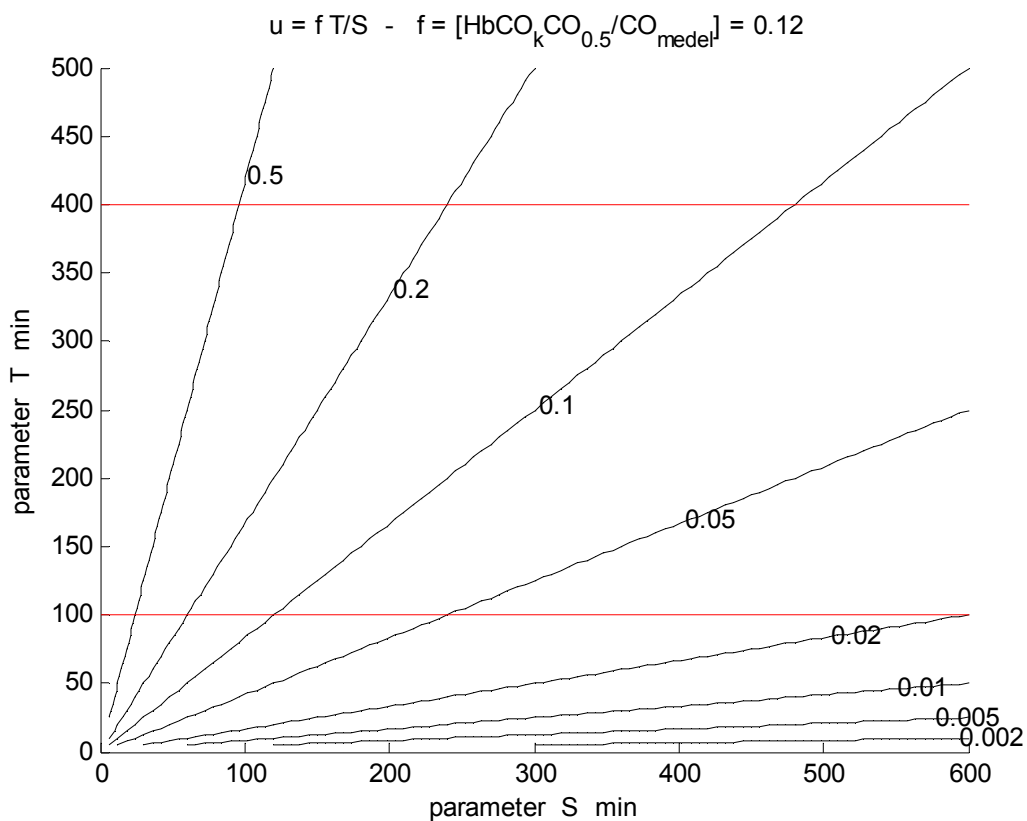
$$u > fT/S \quad (-) \quad (4.1)$$

$$u > 60fTn \quad (-) \quad (4.2)$$

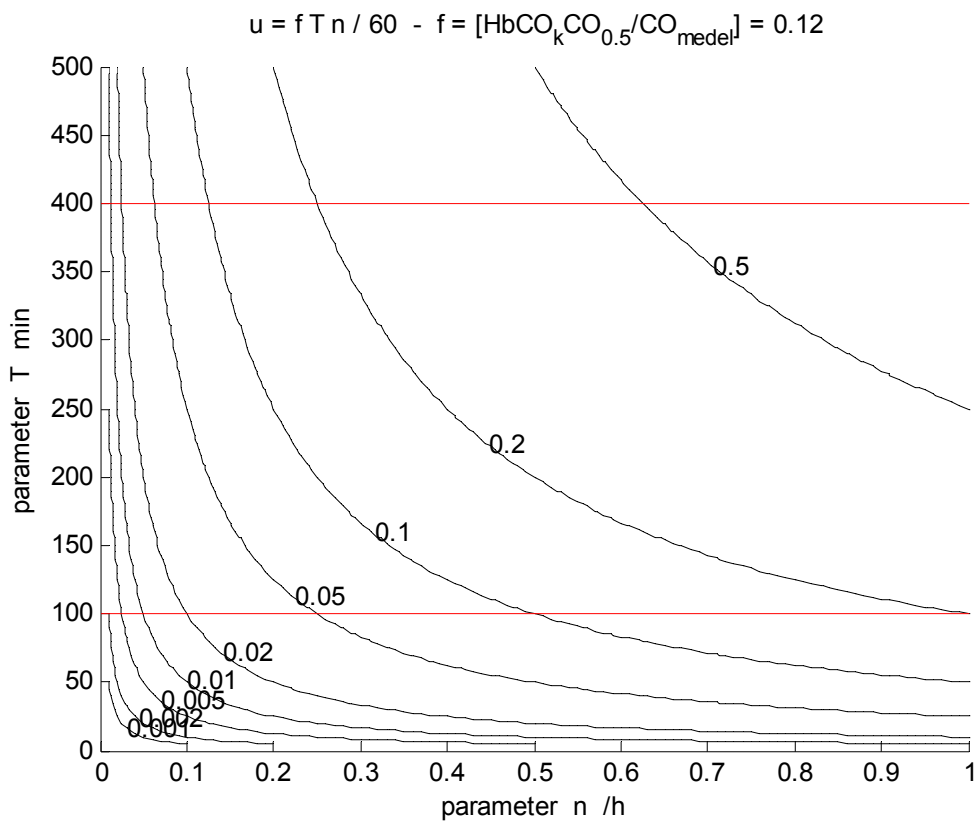
$$f = HbCO_k CO_{0.5} / CO_{smedel} \quad (-) \quad (4.3)$$

De två beräkningsuttrycken redovisas i Figur 4.8 och 4.9 med konstanten $f = 0.12$, vilket fås med indata $HbCO_k = 0.2$, $CO_{0.5} = 600$ ppm och $CO_{smedel} = 1000$ ppm. Exponeringen antas vara oändlig. En rimlig nedre och övre gräns för aktivitetens tidskonstant 100 respektive 400 min har också ritats in.

Kurvorna i Figur 4.8 visar att en obefintlig ventilation med en luftomsättningstid om 600 min eller en luftomsättning om 0.1 /h kräver en utspädningsfaktor om 0.02. Kurvorna i Figur 4.9 visar att en normal bostadsventilation i drift med luftomsättningen 0.5 /h kräver en utspädningsfaktor om 0.1. Ett hotellfall med en luftomsättning 1.0 /h kräver endast utspädningsfaktorn 0.2.



Figur 4.8 Utspädningsfaktorn u som funktion av parametrarna S och T .



Figur 4.9 Utspädningsfaktorn u som funktion av parametrarna n och T .

För ett fall med lika stora rum är en utspädningsfaktor på högst 0.2 lätt att uppfylla om ekvivalenta läckageareor för tilluft, frånluft och läckage förhåller sig som 1:1:3. Spridningsandelen för tilluft blir just 0.2. Själva läckaget kan i bostadsfallet till en del vara en tryckavlastande separat köksspisfläkt ansluten till ett eget ventilationssystemet.

En utspädningsfaktor på högst 0.1 kan i princip klaras av för rummet med ovanstående läckageareor med utspädningsfaktorn 0.2 om en fördelningslåda används för minst tre rum. Någon fördelningslåda behövs egentligen inte, eftersom spridningens temperaturberoende volymandel s_V är högst 0.5. Ett rimligt värde med antagande om att temperaturen i brandrummet fördubblas mätt i K.

För ett fall med spridning från ett större brandrum till ett mindre rum kan det vara svårare att uppfylla en utspädningsfaktor mindre än 0.2. Om brandrummets volym är en faktor r större än det spridningsutsatta rummet, måste utspädningen vara $5r$ eller utspädningsfaktorn vara $0.2/r$. En lösning är att det större rummet förses med brandgasspjäll eller backspjäll.

Uppsummering

De tre första försöksserierna med slutna bränder visar att CO-nivån i brandrummet inte överstiger 2400 ppm under spridningsfasen och att medelvärdet under spridningsfasen kan överskattas till en tredjedel av det högsta värdet under spridningsfasen, vilket ger 800 ppm.

Utspädningsfaktorn har beräknats för en CO-förgiftning om 0.2, och en medel-CO-nivå underspridningsfasen avrundat till 1000 ppm och redovisats i Figur 4.8 och 4.9 som funktion av luftomsättning och aktivitet.

En utspädningsfaktor om 0.2 kan vara tillräckligt för lika stora rum med en normal luftomsättning om 1 /h enligt Figur 4.9. En utspädningsfaktor om 0.2 lika med spridningsandelen för tilluft fås om tilluftens läckagearea är 0.2 av rummets totala läckagearea.

Normal bostadsventilation med luftomsättningen 0.5 /h kräver en utspädningsfaktor om 0.1 enligt Figur 4.9. Detta krav går att uppfylla om spridningens volymandel antas vara högst 0.5 och spridningsandelen för tilluft är 0.2.

Försöken med en soffbrand i ett slutet rum gav en högre medelnivå avrundat uppåt till 2000 ppm. Den nödvändiga utspädningen måste förbubblas och utspädningsfaktorn måste halveras till 0.1 och 0.05 för fall med 1 respektive 0.5 luftomsättning,

Den avslutande slutsatsen är att CO-förgiftning orsakad av brandgasspridning via ventilationssystemet från en sluten brand med ventilation bibehållen drift kan högst resultera i lindriga symptom under förutsättning att spridningsandelen till tilluft är högst 0.1, att medel-CO-nivån under spridningsfasen är högst 2000 ppm och att luftomsättningen är minst 0.5 /h.

5 Kolmonoxidförgiftning vid brand och icke brand

Ett stort forskningsprojekt om kolmonoxidförgiftning med stöd från den amerikanska plastindustri SPI finns dokumenterat i referens Hirschler (1993) i form av en bok på 425 sidor varav 175 sidor redovisar alla data. I detta avsnitt görs en kort uppsummering av bakgrund, arbetsuppgifter och slutsatser. De två senare återges översatt i hela sin text. Data från några figurer med åldersfördelning och COHb-fördelning från det uppsummerande kapitlet redovisas sist i detta avsnitt för två stora databaser med CO-dödsfall från både bränder och icke bränder.

Forskningsprojektets bakgrund

Bakgrunden till detta forskningsarbete var att kolmonoxidförgiftning i samband med bränder var välkänd och att en HbCO-halt om 0.5 hade ansetts vara dödlig. Under 1970- och 1980-talet fanns det ett stort allmänt intresse för brandgasförgiftning vid bränder och HbCO-halten började mätas mera allmänt i samband med dödsfall. Mätningar av HbCO-halten visade att den kunde vara lägre än 0.5 för många dödsfall. Detta skapade en uppfattning att det måste finnas andra farligare ämnen i brandgaserna än enbart kolmonoxid.

Forskningsprojektets arbetsuppgifter

Den amerikanska plastindustrin, SPI, bedömde att frågan om kolmonoxidens giftighet i brandgaser behövdes undersökas ingående. En forskningsgrupp under ledning av professor Gordon L. Nelson bildades för att genomföra arbetsuppgifter enligt nedan:

1. Analysis of the literature on carbon monoxide and toxicity, to include
 - (a) Effects of CO on man at low exposure levels.
 - (b) Studies of human fatality and exposure to CO.
 - (c) Means of analyzing human blood COHb.
 - (d) Physiological effects of CO to humans.
2. A case study, involving over 2000 victims, of human fatalities associated with fires or with other exposures to CO

De fyra arbetsuppgifter under punkt 1 resulterade var sitt kapitel efter en omfattande genomgång av tillgänglig litteratur.

Punkt 2 mer eller mindre dubblerades. En stor studie genomfördes med 2241 CO-dödsfall vid bränder och icke bränder under 1970- och 1980-talet i USA. Den andra studien omfattade 2637 CO-dödsfall under åren 1938-1979 från Cuyahoga County som omger Cleveland, Ohio.

Dessa två stora material möjliggjorde att dra fler och säkrare slutsatser än med andra tidigare genomförda studier. Resultatet redovisades i tre kapitel uppdelat en huvudstudie, en delstudie om trender och en delstudie med epidemilogisk inriktning.

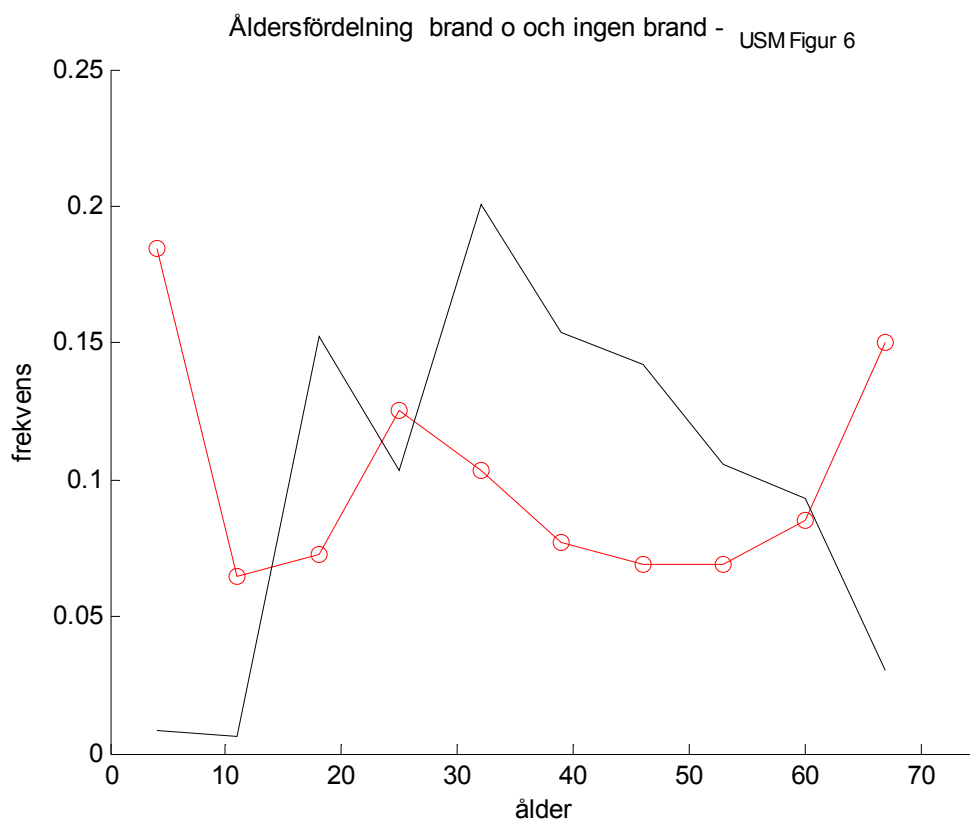
Databasstudie USM

En stor studie genomfördes av University of Southern Mississippi med 2241 CO-dödsfall vid bränder och icke bränder omfattande slutet av 1970-talet och början 1980-talet i USA. Fördelningen mellan dödsfall från bränder och icke bränder var omkring 2 mot 1. I detta underavsnitt redovisas tre figurer som Figur 5.1-3, vilka återfinns som i Hirschler (1993) i kapitel 9 som figurer 6-8 och i form av histogram.

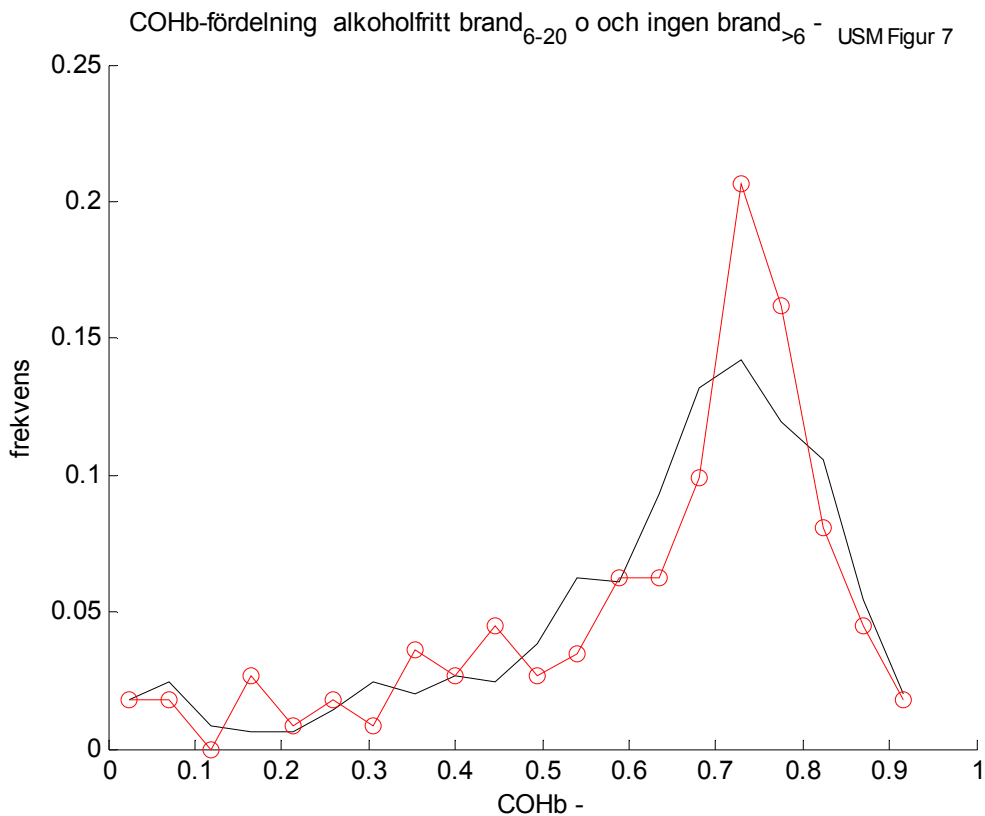
Åldersfördelningen redovisas i Figur 5.1 för brand och ingen brand. Kurvorna för brandfallet visar att frekvensen är högre för yngre och äldre och omvänt för fallet ingen brand.

COHb-fördelningen redovisas i Figur 5.2 för alkoholfria offer uppdelat på brand ålder > 6 år och ingen brand ålder 6-20 år. Bredden för COHb-intervallen är 0.047. De två kurvorna är snarlika bortsett från att brandfallet har en högre högsta frekvens, men båda fallens högsta frekvens gäller för samma COHb-intervall. Frekvensen för COHb-värden mindre än 0.5 är för brand 0.23 och för ingen brand 0.21. Dessa siffror visar att det inte finns någon ökad dödlighet vid brand än vid ingen brand och samma COHb-förgiftning.

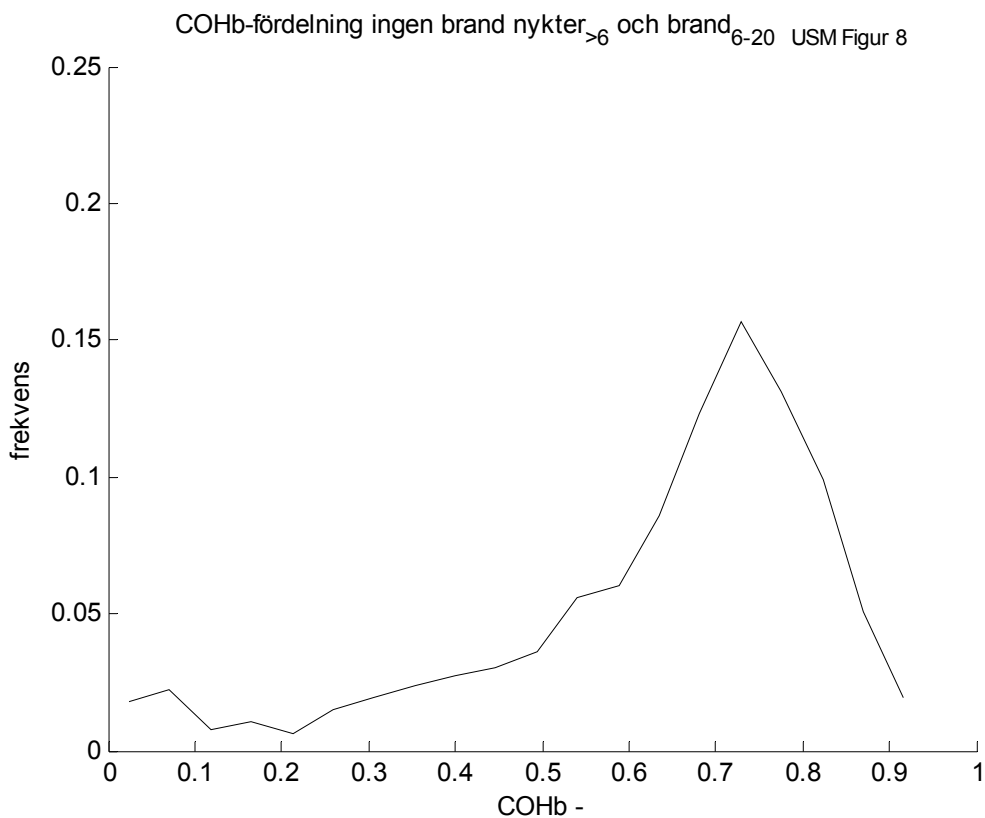
COHb-fördelningen redovisas i Figur 5.3 för alkoholfria offer som ett medelvärde för brand ålder > 6 år och ingen brand ålder 6-20 år. Bredden för COHb-intervallen är 0.047. Frekvensen för COHb-värden mindre än 0.5 är 0.22. Siffran visar att var femte dödsfall inträffar för COHb-värden lägre än den tidigare ansedda gränsen 0.5 för dödsfall.



Figur 5.1 Åldersfördelning för dödsfall vid brand och icke brand för USM-data.



Figur 5.2 COHb-fördelning för alkoholfria offer för brand 6-20 år och ingen brand >6 år.



Figur 5.3 COHb-medelfördelning för alkoholfria offer för brand 6-20 år och ingen brand >6 år.

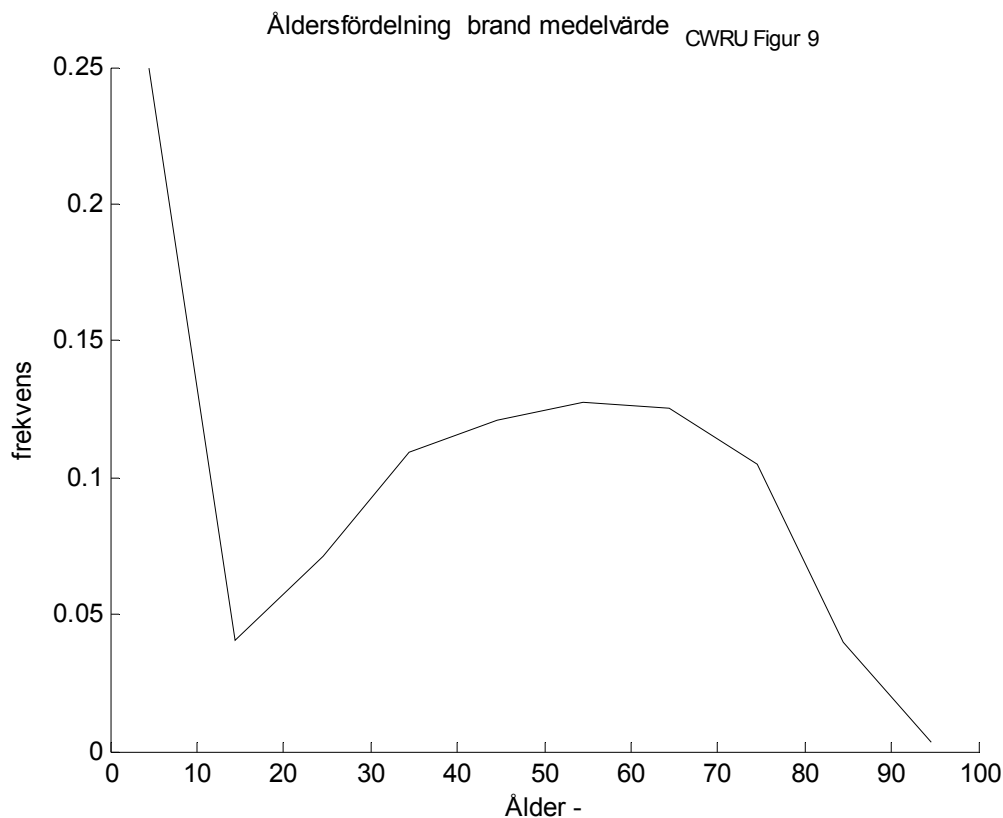
Databasstudie CWRU

Den andra studien genomfördes av Case Western Reserve University och omfattade 2637 CO-dödsfall under 1938-1979 från Cuyahoga County som omger Cleveland, Ohio. Fördelningen mellan dödsfall vid bränder och icke bränder var omkring 1 mot 2. I detta underavsnitt redovisas tre figurer som Figur 5.4-6, vilka återfinns som i Hirschler (1993) i kapitel 9 som figurer 9-11 och i form av histogram.

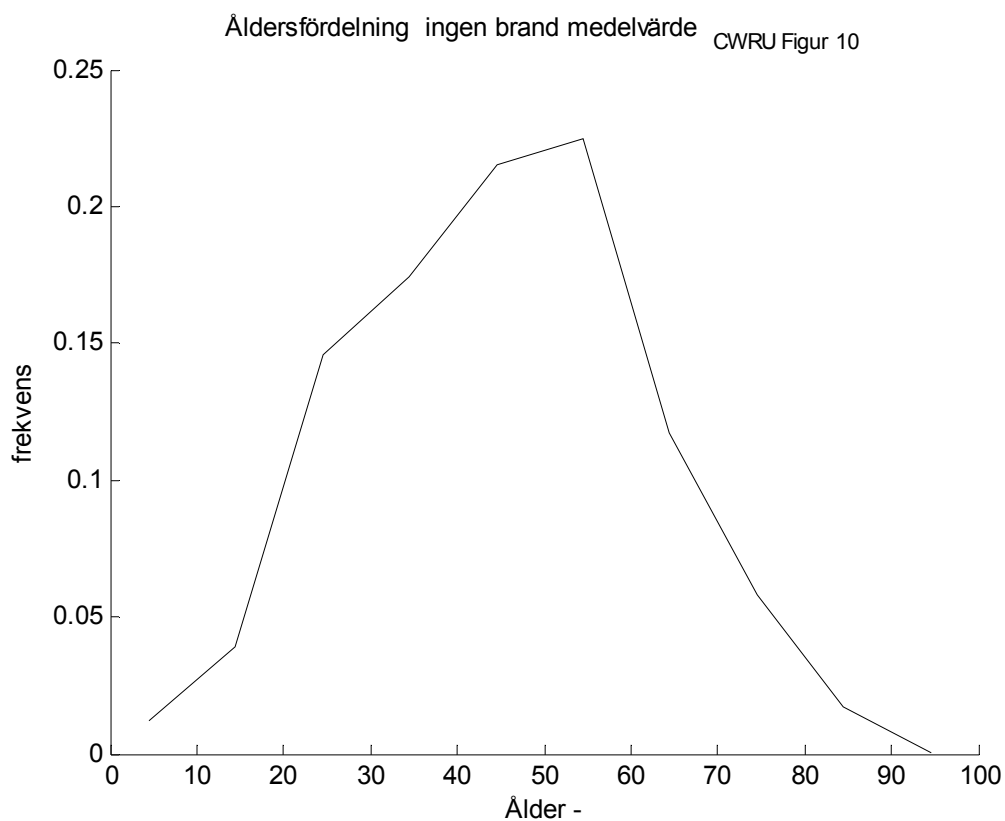
Åldersfördelning för brand redovisas som ett medelvärde för fyra tidspeioder för 1938-1979 i Figur 5.4. Frekvensen för dödsfall i gruppen 0-9 år är 0.25. Det finns inte någon ökande frekvens med ökande ålder över 60 år. En förklaring är att denna åldersgrupp minskar i storlek.

Åldersfördelning för ingen brand redovisas som ett medelvärde för fyra tidspeioder för 1938-1979 i Figur 5.5 med höga frekvenser för åldersintervallet 20-60 år, vilket stämmer överens med motsvarande kurva i Figur 5.1. Frekvensen för ingen brand i Figur 5.5 är lägre än den för brand i Figur 5.4 för åldrar över 70 år.

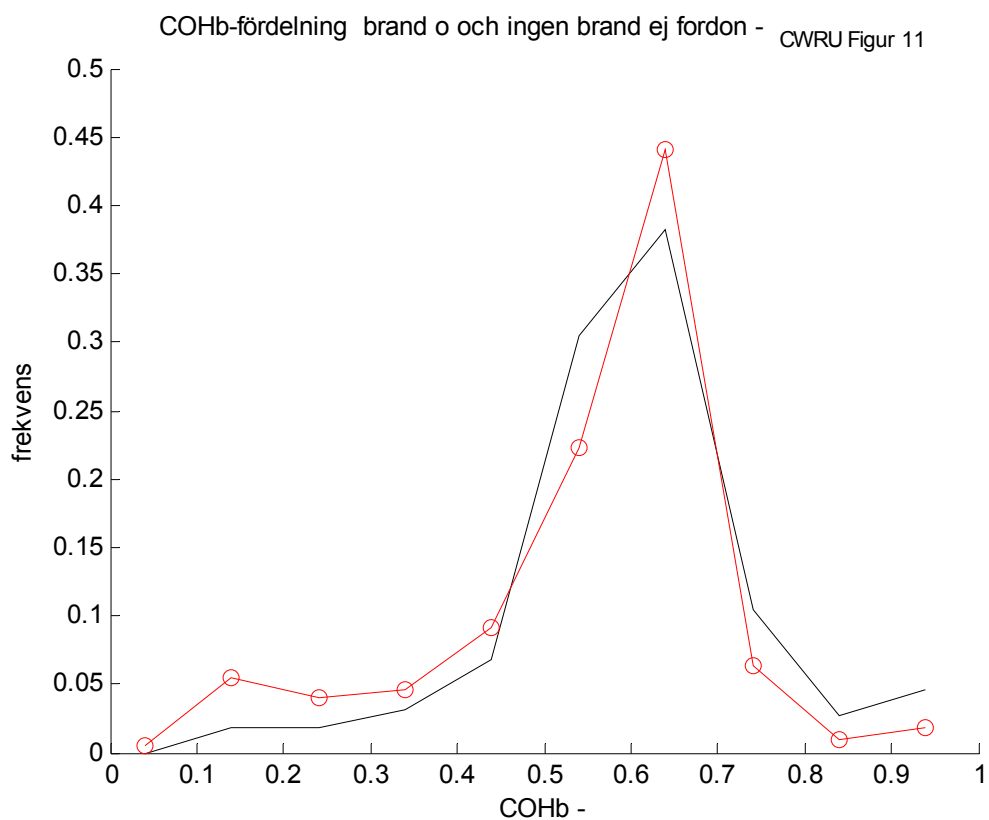
COHb-fördelningarna för brand och ingen brand dock ej fordon redovisas i Figur 5.6. Fordonsfall har uteslutits, eftersom de ofta är självmord. Kurvorna är snarlika med samma maxima, men brandfallet uppvisar något högre frekvenser för låga COHb-värden. Frekvenserna för COHb-värden mindre än 0.5 är för brand 0.24 och för ingen brand dock ej fordon 0.14. Dessa siffror visar att det finns en ökad dödlighet vid brand än vid ingen brand och samma COHb-förgiftning.



Figur 5.4 Åldersfördelning för dödsfall vid brand för CWRU-data.



Figur 5.5 Åldersfördelning för dödsfall vid ingen brand för CWRU-data.



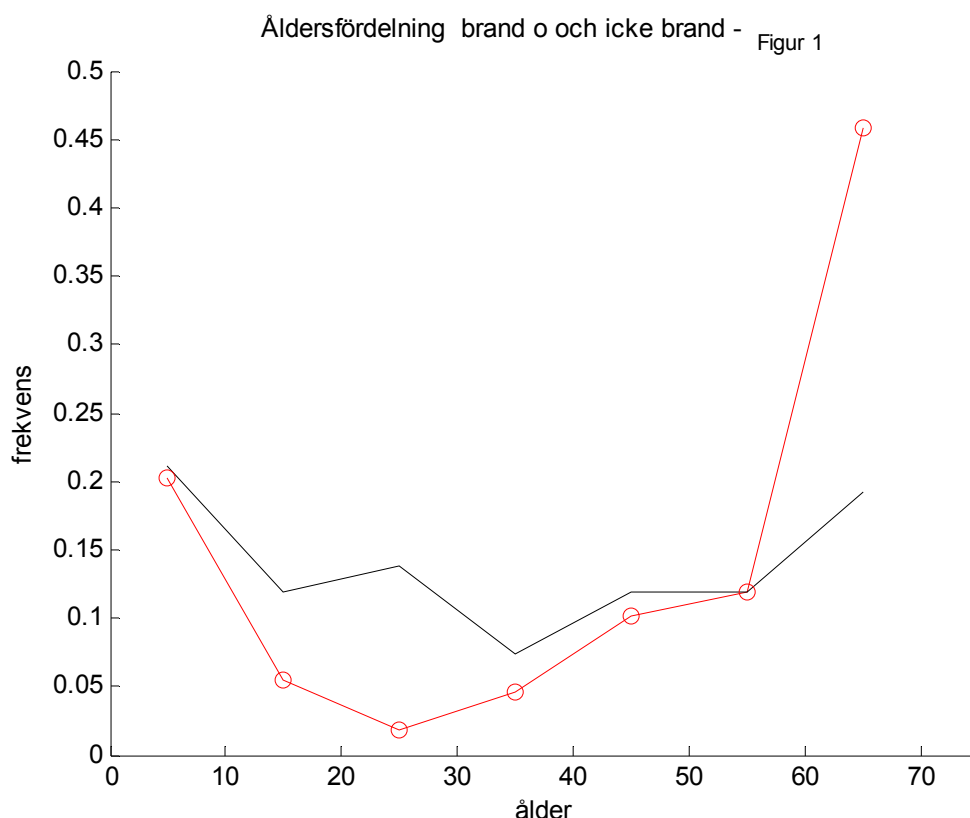
Figur 5.6 COHb-fördelning för brand och ingen brand ej fordon för CWRU-data.

Andra databasstudier

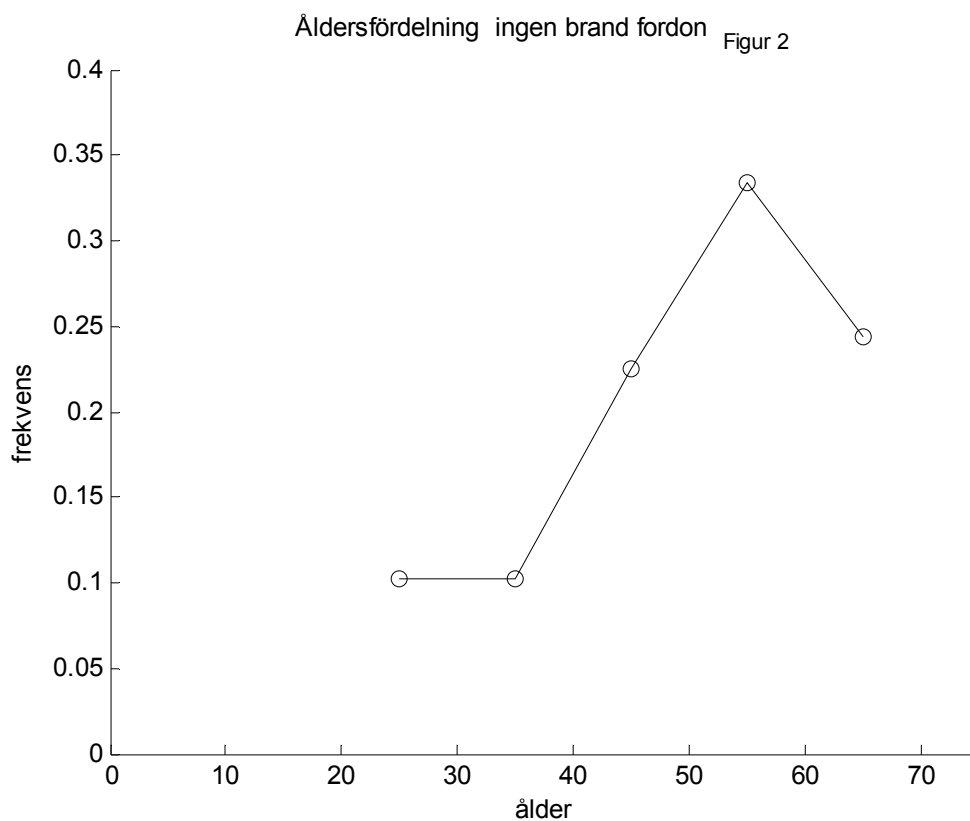
I forskningsrapportens sista och uppsummerande kapitel redovisas fem figurer 1-5, vilka återges här något förändrade och förenklade som enkla kurvor i stället för histogram. Exempel på åldersfördelning för dödsfall vid brand och troligt självmord i fordon redovisas i Figur 5.7 respektive 5.8. Kurvorna visar att det är yngre och äldre som omkommer i bränder och inga yngre och färre äldre som omkommer i fordon. De två kurvorna skall också jämföras med befolkningens åldersfördelning som är konstant fram till 50 år och därefter avtar mer eller mindre linjärt.

Två exempel på COHb-fördelning för dödsfall utan brand och med brand redovisas i Figur 5.9 respektive 5.10. Fallen utan brand i Figur 5.9 är uppdelade på olyckor med bristande installationer och olyckor med fordon (troliga självmord). Det finns en betydande skillnad mellan de två brandfria grupperna. Mer än hälften av de rena olycksfallen har lägre COHb-halt än 0.5, medan självmordsgruppen ligger över COHb-halten 0.7.

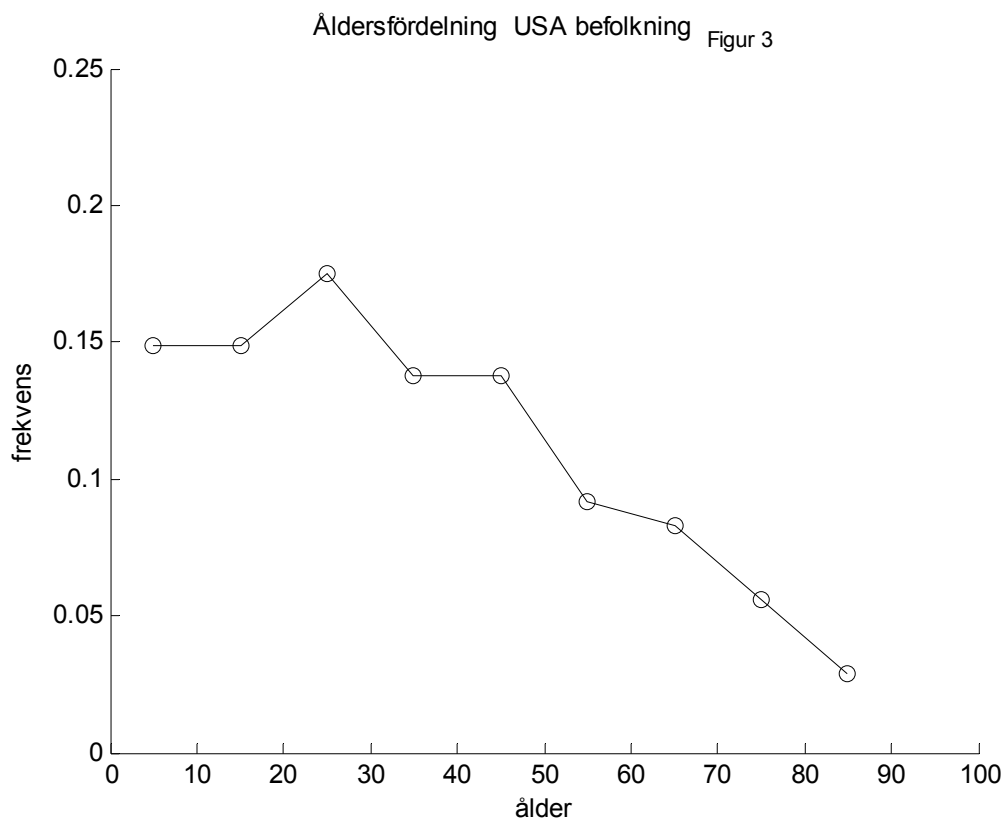
Fall med brand redovisas för fyra olika studier som har summerats till en enda kurva som redovisas i Figur 5.10 som visar att mindre än hälften av dödsfallen har COHb-halter under 0.5 och att mer än vart tionde fall uppvisar låga COHb-halter mindre än 0.2.



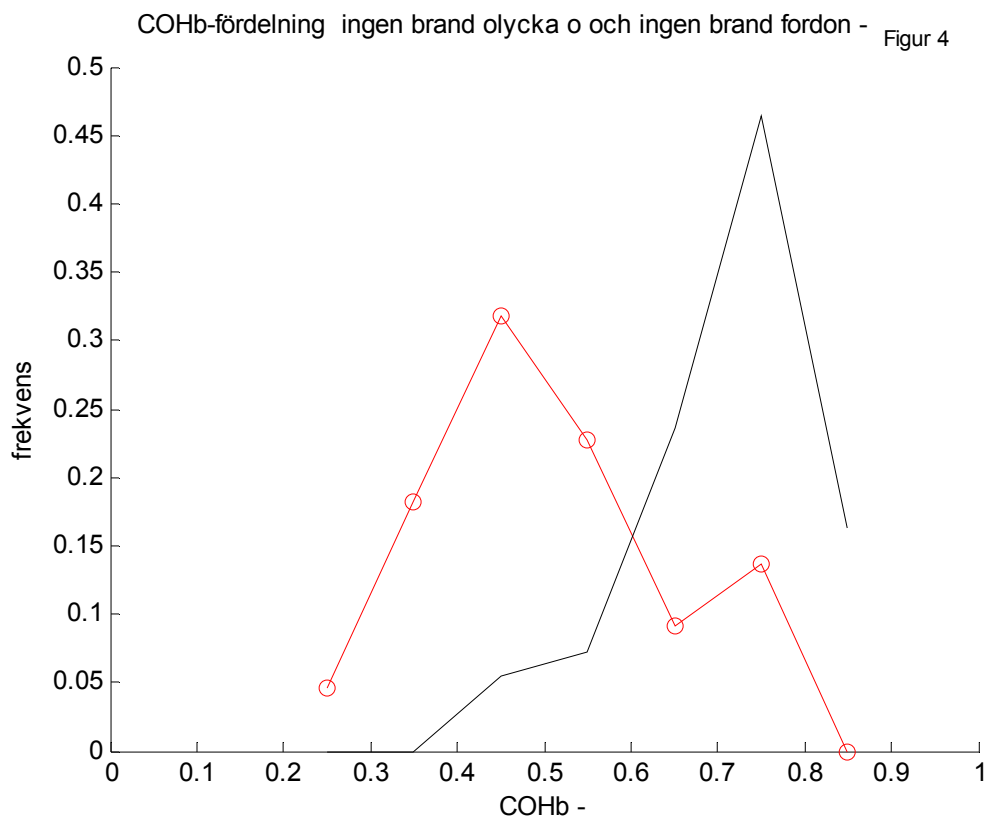
Figur 5.7 Åldersfördelning för dödsfall vid brand (slutkapitlets Figur 1).



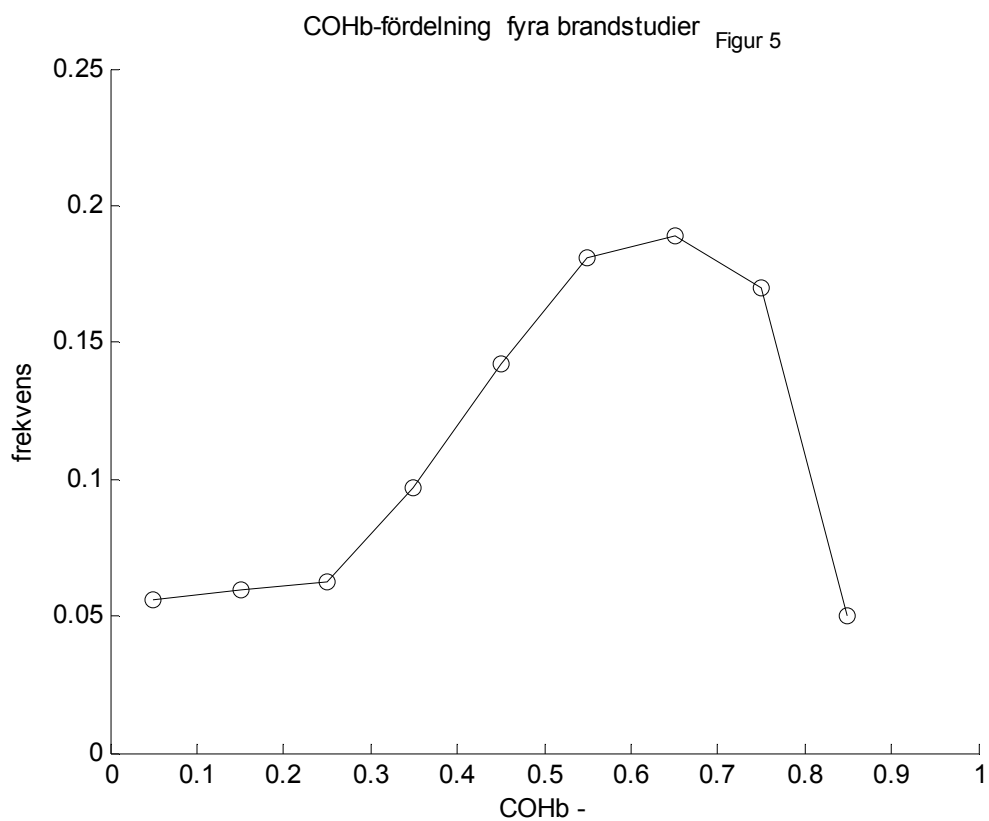
Figur 5.8 Åldersfördelning för dödsfall i fordon vid ingen brand (slutkapitlets Figur 2).



Figur 5.9 Åldersfördelning för USA befolkning 1984-1988 (slutkapitlets Figur 3).



Figur 5.10 COHb-fördelning för dödsfall utan brand (slutkapitlets Figur 4).



Figur 5.11 COHb-fördelning för branddödsfall för fyra studier (slutkapitlets Figur 5).

Forskningsprojektets slutsatser

I det nionde och sista kapitlet görs följande slutsatser av bokens huvudförfattare:

1. The literature shows that the lethal level of carbon monoxide depends on the characteristics of the victim, and the 50% COHb threshold normally mentioned is not realistic. Both fire atmospheres and non fire atmospheres can cause lethality due exclusively to CO at COHb levels of 20%.
2. The toxicity of CO is very complex and has several facets, and there is now a single reference source summarising it.
3. The methods of determining COHb in blood suffer from many deficiencies and that may be the cause of some errors and inconsistencies found in the data reported.
4. The population of fire victims has a bimodal distribution, with an excess of very young and very old and infirm people. Victims of automobile exhaust CO exposures usually have a unimodal distribution. Thus, fire victims are more sensitive to CO poisoning than non fire victims and are prone to die at lower COHb levels, irrespective of any other insult.
5. Replacement of large proportions of natural materials by man-made materials has made no difference to the toxicity of fire atmospheres.
6. Once the different variables affecting COHb levels in the blood of fatal victims are analyzed separately, the COHb distributions of fire and non fire CO victims are virtually the same.
7. CO yields and CO concentrations in flashover fire atmospheres are determined by oxygen availability, ventilation, massloading and other such variables, but are virtually unaffected by the chemical composition of fuels.
8. Small scale tests give excessively low CO yields and adequate yields of other combustion products. Thus, such tests cannot be used to predict toxic fire hazard for the fire scenarios causing most fatalities: ventilation controlled flashover fires. Such test can be used as part of fire hazard assessment studies if CO yields have been corrected and other fire test response characteristics are taken into account.

Sammanfattningsvis var en slutsats att dödsfall i bränder med högre COHb-halt än för icke bränder kan förklaras med skillnader mellan de två populationerna. Skillnader eller faktorer är ålder, sjukdomar, fysiskt och psykiskt tillstånd samt alkohol och droger. En annan slutsats var att dödsfall kan inträffa för en COHb-halt lägre än 0.5 och ännu lägre om flera faktorer gäller.

Några kommentarer

En kommentar till det refererade forskningsprojektet är följande. Alla fall med COHb-värden mindre än 0.2 togs inte med i studie, bortfallet blev 0.08 och fördelningen mellan brand och icke brand vara den samma som för hela materialet. Motivering var att dödsfall knappast hade inträffat enbart på grund av CO-förgiftning, allvarliga mätfel kunde vara orsaken och att en rökare kunde ha högt COHb-värde redan före en brand enligt en referens upptill 0.14.

En annan kommentar är att hela studien betalades av SPI, den amerikanska plastindustrin, och att forskningsprojektets slutsats om att risken för CO-förgiftning med brandgaser eller icke brandgaser var densamma. Detta var ett resultat till fördel för plastindustrin och dess produkter. Motsatsen hade kunnat resultera i olika förbud eller restriktioner för olika material.

Det finns ett flertal andra frågor att ställa som:

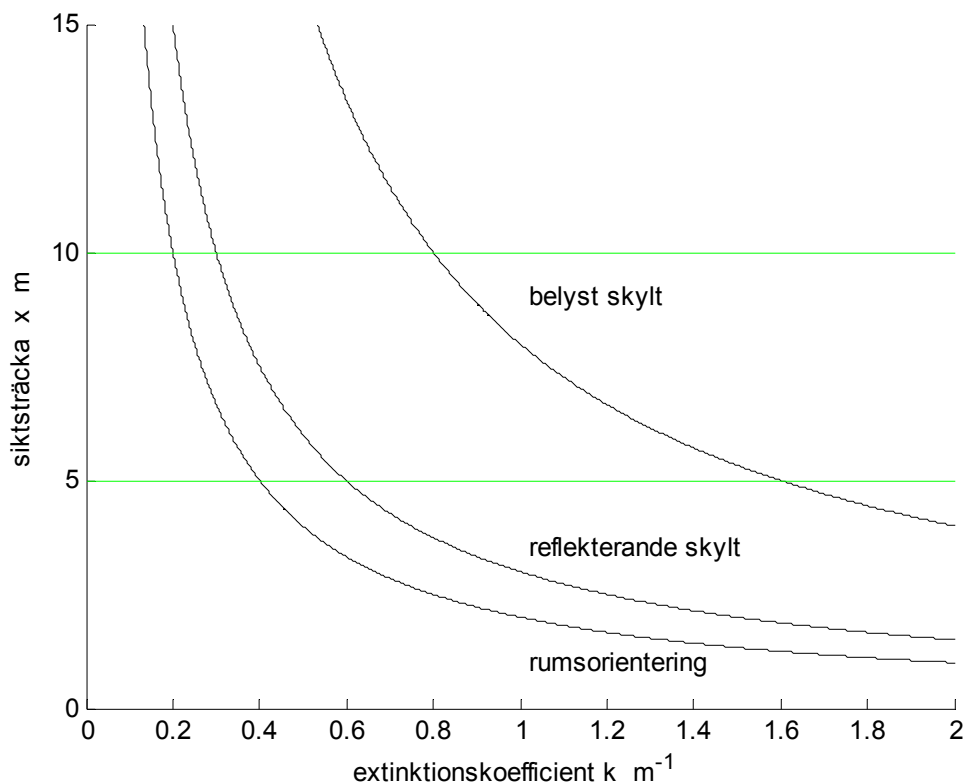
- Är risken större att omkomma i bränder med många nya material nu än förr i tiden?
- Brinner det mer nu än förr i tiden?
- Brinner det snabbare nu än förr i tiden?
- Är bränder farligare nu än förr i tiden?
- Upptäcks bränder tidigare nu än förr i tiden?
- Släcks bränder lättare nu än förr i tiden?

6 Funktionskrav på minsta siktsträcka

Kravet på siktsträcken x är 5 m i bekanta miljöer och 10 m i obekanta miljöer. Siktsträcken i rum x bestäms av partikelhalten och partiklarnas ljusutsläckningsförmåga eller extinktionskoefficient $k \text{ m}^{-1}$ eller optiska densitet (skymmande yta m^2 per m^3). Ljusutsläckningen för en given sträcka x genom en volym men extinktionskoefficienten k kan beräknas till e^{-kx} .

Siktsträcka i brandgasförorenad luft

Olika försök har visat att produkten kx måste vara högst 8, 3 och 2 för att kunna se en belyst skylt, en ljusreflekterande skylt och övriga föremål i ett rum. Sambandet mellan siktsträcka och extinktionskoefficient för de tre fallen redovisas i Figur 6.1 och i Tabell 6.1 nedan.



Figur 6.1 Siktsträcka x m som funktion av extinktionskoefficient $k \text{ m}^{-1}$ för olika synobjekt.

Tabell 6.1 Högsta extinktionskoefficient $k \text{ m}^{-1}$ för säker utrymning

föremål	samband	bekant miljö $x = 5 \text{ m}$	obekant miljö $x = 10 \text{ m}$
belyst skylt	$kx = 8$	1.6	0.8
reflekterande skylt	$kx = 3$	0.6	0.3
övriga föremål	$kx = 2$	0.4	0.2

Kraven på extinktionskoefficient enligt Tabell 6.1 kan jämföras med direkt krav 0.5 m^{-1} i känd miljö och 0.15 m^{-1} i okänd miljö, vilket stämmer väl överens med siffrorna ovan för ett skyltfritt fall. En övre uppskattning av extinktionskoefficienten k kan beräknas som följer.

Högsta extinktionskoefficient för brandgaser

Partikelhalten kan uppskattas för 1 m^3 luft. En fullständig förbränning av luft med något bränsle frigör 3000 kJ/m^3 luft. Ett rimligt värde för förbränning i ett slutet rum där syrehalten halveras är därför 1500 kJ/m^3 luft. Hur mycket material som förbränns kan uppskattas genom att ansätta ett förbränningsvärde 30000 kJ/kg material. Mängden bränsle som kan förbrännas blir därför 0.050 kg per m^3 luft.

Hur stor del av bränslet som blir sotpartiklar bestäms av omvandlingsfaktorn mellan bränsle och sot varierar betydligt och är som högst 0.17 polystyren för en flambrand. Pyrolys kan ge ett något högre sotutbyte med 0.19 för polyuretan. Välj 0.1 som ett rimligt övre medelvärde.

Hur många m^2 som en mängd sot täcker eller sotets optiska densitet kan beräknas med uppgift på hur många m^2 som 1 m^3 med sotig luft täcker. Detta är definitionen av extinktionskoefficienten som betecknas k med dimensionen m^2/m^3 eller m^{-1} . Ett värde som används övergripande på både trä och plast är $7.6 \text{ m}^2/\text{g}$ sot för en flambrand och $4.4 \text{ m}^2/\text{g}$ sot för pyrolys.

Det går nu att göra en övre uppskattning av extinktionskoefficienten k som något avrundat blir 40 m^{-1} ($50 \text{ g bränsle/m}^3 \cdot 0.10 \text{ g sot/g bränsle} \cdot 8 \text{ m}^2/\text{g sot}$). En kommentar till den höga extinktionskoefficienten om 40 m^{-1} är att rumsytor kan ses på högst avståndet 0.05 m .

Nödändig utspädningsfaktor

Om den övre uppskattningen för extinktionskoefficienten k på 40 m^{-1} används går det att beräkna den nödvändiga utspädningsfaktorn u och resultatet redovisas i Tabell 6.2 nedan. Siffrorna visar att för belyst skyltar är den nödvändiga utspädningen stor, medan reflekterande skyltar kräver ännu större utspädning. Enbart rumsorientering utan skyltar kräver för bekant och obekant miljö en betydande utspädning om 100 respektive 200 gånger.

Tabell 6.2 Krav på utspädningsfaktor $u = k / 40$ för säker utrymning

föremål	samband	bekant miljö	
		$x = 5 \text{ m}$	$x = 10 \text{ m}$
belyst skylt	$kx = 8$	0.0400	0.0200
reflekterande skylt	$kx = 3$	0.0150	0.0075
övriga föremål	$kx = 2$	0.0100	0.0050

Slutsatsen för funktionskrav på tillräcklig siktsträcka är att utspädningen skall vara mycket stor, vilket kan vara det dimensionerande kravet för skydd mot brandgasspridning.

7 Utspädningskrav för brandgaskomponenter

Avsikten med detta avsnitt är att göra en översiktlig genomgång av vilken utspädning av brandgaser som kan krävas för att få ett bra skydd mot brandgasspridning och dess olika och mer eller mindre skadliga komponenter. Brandgasspridning kan ske inom en byggnad mellan olika rum via ventilationssystemet och via olika läckage samt utifrån en byggnad till dess rum via ventilationssystemet eller via olika läckage.

Brandgasspridning sker under högst några minuter för en flambrand i ett nästan slutet mindre rum. Flambranden kvävs därefter av syrebrist om inte fönster sprängs av värmen. Brandgasspridning sker inte för en pyrande brand, eftersom effektutvecklingen är ytterst begränsad och därmed är brandflödet mindre än det normala ventilationsflödet. En tumregel är 1 MW brandeffekt ger 1 m³/s brandflöde eller passande för en pyrande brand 1 kW brandeffekt ger 1 l/s brandflöde, vilket kan jämföras med ventilationskravet 0.35 l/sm² golvyta.

Särfallet för skydd mot brandens inverkan i själva brandrummet behandlas inte, eftersom dödliga förhållanden uppnås redan efter några minuter för en flambrand och inom en timme för en pyrande brand. Genomgången i detta avsnitt avser därför endast brandgasspridning till andra rum på något sätt.

Ett annat särfall, som inte täcks av den här föreslagna beräkningsmetodiken som bygger på utspädning, är när en stor öppen långvarig brands brandgaser på något sätt till en liten del genomströmmar ett rum. Brandvolymen kan bli nästan oändlig. Spridningsfasen omfattar hela den yttre brandens tidsförlopp. Spridningsandelen är svårbedömd.

Ett exempel är ett flerbostadshus med en lägenhetsbrand med öppna fönster och en öppen dörr till trapphuset. Övriga lägenheter i samma trapphus utsätts för brandgasspridning via främst läckande trapphusdörrar på grund av det termiska övertrycket i trapphuset och det undertryck som råder i lägenheterna, om ventilationssystemet är ett frånluftssystem i drift. En effektiv brandgasventilation av trapphuset kan dock förhindra denna form av brandgasspridning.

En alternativ beräkningsmetodik för beräkning av både nivå och dos för en öppen yttre brand finns redovisad för ett godtyckligt fall i avsnitt 2 och särskilt för kolmonoxidförgiftning i avsnitt 3.

Val av funktionskrav

Vilka funktionskrav är rimliga som skydd mot godtycklig brandgasspridning? Ett enkelt och rimligt krav är att kunna överleva utan att utrymma överhuvudtaget. Detta krav är tillämpligt för sovande personer och personer som inte kan utrymma själva. Detta krav passar också den föreslagna beräkningsmetodiken med utspädning. Det går också att sätta en tidsgräns för hur länge man kan uppehålla sig i samma brandgasspridningsutsatta rum.

Ett svagare och sämre krav är att överleva med hjälp av räddningstjänsten. Några skäl till att inte välja detta funktionskrav är följande:

- Det tar tid innan räddningstjänsten kan finns på plats
- Insatsstyrkan är begränsad
- Antalet rum som skall genomsökas kan vara mycket stort
- Antalet personer som skall räddas kan vara mycket stort
- Varje person som skall räddas kräver en stor arbetsinsats

Ett annat krav är att klara av att utrymma själv efter det att brandgasspridning har skett. Några skäl till att inte välja detta funktionskrav är följande:

- Det är oklart när utrymning påbörjas.
- Det är oklart hur lång tid som utrymningen får ta.
- Förhållanden som råder i utgångsläget före utrymningen måste bestämmas.
- Förhållanden som råder under själva utrymningen måste bestämmas.
- Alla personer kan inte utrymma själva.
- Att kunna utrymma, kan ställa högre krav än att avstå från att utrymma.

Slutsatsen är att ett robust och bra funktionskrav är att kunna överleva brandgaspridning utan att utrymma överhuvudtaget. Det skall kunna ske utan några större obehag. Krav som uppfyller den engelska termen *tenable* kommer att tillämpas. Funktionskrav i form av nödvändig utspädning kommer i fortsättning att bestämmas för olika brandgaskomponenter. Funktionskravet på minsta siktsträcka har redan behandlats i föregående avsnitt 6.

Det finns två funktionskrav, som måste uppfyllas med hänsyn till nivå och dos. De kan formuleras som följer med användande av utspädningsfaktorn u för nivå och dos:

$$u < u_k = c_k / c \quad (-) \quad (7.1)$$

$$u < u_k = C_k / S c \quad (-) \quad (7.2)$$

där

u	u_k	rådande och kritisk utspädningsfaktor, -
c	c_k	rådande och kritisk föroreningsnivå, ppm
	C_k	kritisk föroreningsdos, ppmmin
	S	luftomsättningstid, min

En förutsättning för ovanstående två uttryck är att spridningsfasen är kortvarig och att utvädring sker med den angivna luftomsättningstiden S under oändlig exponeringstid.

Uttrycket (7.2) kan för kolmonoxidförgiftning skrivas om med hjälp av (1.10). Den kritiska dosen, som är andningsberoende genom upptagningstidskonstanten T , kan skrivas som $C_k = HbCO_s CO_{0.5} T$. Insättning av $HbCO_s = 0.2$ (gränsen mellan lindrig och måttlig kolmonoxidförgiftning) och $CO_{0.5} = 600$ ppm ger $C_k = 120 T$ och (7.2) blir följande:

$$u < u_k = 120 T / c S \quad (-) \quad (7.3)$$

Gränsvärden ERPG

Dessa riktlinjer har tagits fram av AIHA (American Industrial Hygiene Association) för att användas inom industrin. Förkortningen ERPG står för Emergency Response Planning Guidelines. Det finns tre nivåer under vilken det är troligt att nästan alla individer kan exponeras upptill 1 h. Detta tidsintervall passar dock inte sovande personer, men för brandgasspridning i ventilationssystem i drift är spridningsfasen kort och därefter sker en avklingning, vilket minskar dosen betydligt. De tre nivåernas definitionstexter återges här nedan med samma gemensamma inledande text först:

- *The maximum airborne concentration below which it is believed nearly all individuals could be exposed for up to one hour . . .*

ERPG-3

- *without experiencing or developing life-threatening health effects.*

ERPG-2

- *without experiencing or developing irreversible or other serious health effects or symptoms that could impair an individual's ability to take protective action.*

ERPG-1

- *without experiencing other than transient adverse health effects or perceiving a clearly defined objectionable odor.*

Ett lämpligt funktionskrav för skydd mot brandgasspridning kan vara nivån ERPG-1. Exempel på siffervärden återfinns i Tabell 7.1.

Tabell 7.1 Gränsvärden c_k i ppm enligt ERPG för exponering under 1 h

	tidsintervall h	ERPG-3	ERPG-2	ERPG-1
CO	1	500	350	200
HCN	1	25	10	- (3)
HCL	1	100	20	3
HF	1	50	20	5
CH ₂ CHO (1)	1	1.5	0.15	0.05
HCHO (2)	1	25	10	1

Acrolein (1) Formaldehyd (2) not appropriate (3)

Gränsvärden AEGL

Dessa funktionskrav har tagits fram under början på 1990-talet i USA för att vara ett stöd för både den offentliga och privata sektorn för planering av räddningsinsatser, förebyggande och åtgärder mot luftburna kemikalieutsläpp. Förkortningen AEGL står för Acute Exposure Guidelines Levels. Det finns tre nivåer över vilka olika effekter anges. Det finns också fem olika exponeringstider, nämligen 10, 30 min, 1, 4 och 8 h. De tre nivåerna återges nedan med den gemensamma texten först.

- *AEGL-? is the airborne concentration, expressed in parts per million or milligrams per cubic meter (ppm or mg/m³) of a substance above which it is predicted that the general population, including susceptible individuals could experience . . .*
- *AEGL-1 . . . notable discomfort, irritation, or certain asymptomatic nonsensory effects. However, the effects are not disabling and are transient and reversible upon cessation of exposure.*
- *AEGL-2 . . . irreversible or other serious, long-lasting adverse health effects or an impaired ability to escape.*
- *AEGL-3 . . . life-threatening health effects or death.*

Notera att nivåerna är en undre gräns över vilket olika angivna effekter inträffar. Nivån AEGL-1 kan vara lämplig för funktionskrav mot brandgasspridning. Några siffervärden redovisas i Tabell 7.2 för några förekommande brandgaser.

Tabell 7.2 Gränsvärden c_k i ppm enligt AEGL för exponering under 1 och 8 h

	tidsintervall h	AEGL-3	AEGL-2	AEGL-1
CO	1	330	83	- (3)
	8	130	27	- (3)
HCN	1	15.0	7.1	2.0
	8	6.6	2.5	1.0
HCL	1	100	22	1.8
	8	26	11	1.8
HF	1	44	24	1
	8	22	12	1
CH ₂ CHO (1)	1	1.4	0.10	0.03
	8	0.27	0.10	0.03
HCHO (2)	1	56	14	0.9
	8	35	14	0.9

Acrolein (1) Formaldehyd (2) Not recommended due to insufficient data (3)

Gränsvärden Arbetsmiljöverket

Det finns hygieniska gränsvärden för luftföroreningar i form av damm, rök, dimma, gas eller ånga, vilka anges i en bilaga till AFS 2005:17. Mikrobiologiska luftföroreningar undantas. Luftföroreningar definieras som något som kan medföra besvär eller ohälsa. Något klart syfte med gränsvärden anges inte som för de två tidigare redovisade exemplen ERPG och AEGL.

Ett hygieniskt gränsvärde definieras som högsta godtagbara genomsnittshalt (tidsvägt medelvärde) av en luftförorening i andningsluften. Ett hygieniskt gränsvärde kan vara ett nivågränsvärde för exponering under en hel arbetsdag eller ett takgränsvärde för exponering under 15 min eller någon annan angiven tidsperiod. Några siffervärden för några ämnen som förekommer i brandgaser redovisas i Tabell 7.3. De angivna gränsvärdena skall inte jämföras med de tidigare redovisade, eftersom för här gäller det exponering under ett helt arbetsliv och inte någon enstaka händelse.

Tabell 7.3 Gränsvärden c_k i ppm enligt AFS 2005:17 för exponering under 8 h och 15 min

ämne	8 h	15 min
CO	35	100
CO (avgaser)	20	-
HCN	-	5
HCl	-	5
HF	-	2
CH ₂ CHO Acrolein	0.1	0.3
HCHO Formaldehyd	0.5	1.0
Damm oorganiskt mg/m ³	10	-
Damm organiskt mg/m ³	5	-

Omräkning av gränsvärden till startvärden

De här angivna gränsvärden i Tabell 7.1-3 kan användas för att räkna fram tillåtna startvärden för utvärdringsförloppet eller avklingningsförloppet efter den korta spridningsfasen under förutsättning att ämnets verkan bestäms av dosen. Det finns ämnen vars verkan är starkt nivåberoende. Den tillåtna dosen för något ämne kan skrivas som $C_k = c_k t_k$ där t_k är tidsintervallet för exponeringen. Dosen för avklingningsförloppet med startvärdet c_s och med luftomsättningen S och en given exponeringstid t kan skrivas som $c_s S(1 - e^{-t/S})$. Ett tillåtet startvärde c_s kan därför beräknas enligt:

$$c_s = c_k t_k / S(1 - e^{-t/S}) \quad (\text{ppm}) \quad (7.4)$$

Uttrycket visar att om luftomsättningstiden S är kortare än tidsintervallet för gränsvärdet t_k blir det tillåtna startvärdet c_s alltid större än det tillåtna gränsvärdet c_k . Motsatsen gäller också för fallet med oändlig exponering att det tillåtna startvärdet c_s blir mindre än det tillåtna gränsvärdet c_k när luftomsättningstiden S är större än tidsintervallet för gränsvärdet t_k .

Tillräcklig utspädning

En utspädningsfaktor 0.01 eller en utspädning 1:100 nämns ofta i äldre litteratur som ett tillräckligt krav för skydd mot brandgaser. Ett antal andra forskare har refererat till denna siffra. En vanlig referens är skriven av McGuire, Tamura och Wilson (1970) som behandlar åtgärder mot brandgasspridning i höga byggnader. Brandgaser späds ut på sin väg ut ur en byggnad. Olika åtgärder påverkar utspädningen. För att kunna beräkna den nödvändiga utspädning krävs uppgifter på brandgasföreningen i det brandutsatta rummet jämfört med vilken brandgasförening som en person tolerera.

Författarna McGuire, Tamura och Wilson konstaterar inledningsvis att det går att skapa brandgaser med hög transparens och hög giftighet, men detta är snarare ett undantag än en regel samt att vanligtvis är giftiga brandgaser mycket täta (sotrika). Den optiska densiteten kan därför användas som ett mått på brandgasers giftighet.

Författarna McGuire, Tamura och Wilson refererar till Wakamatsu (1968) som anger utspädningsfaktorn 0.01 för att kunna utsättas för obegränsad exponering utan risk för panik eller outhärdlig ögonirritation. Den uthärdliga föroreningsnivån angavs med en optisk densitet om 0.1 m^{-1} och en siktsträcka om 25 m. Motsvarande optiska densitet för brandrummet blir därför 10 m^{-1} . Det finns inte någon beräkning eller mätning i Wakamatsu (1968) som styrker valet av värdet 10 m^{-1} för den optiska densiteten för brandrummet, siffervärdet anges endast på ett enda ställe som indata till en beräkning. Kravet för den optiska densiteten 0.1 m^{-1} kan räknas om till 0.5 m^{-1} och 0.25 m^{-1} för siktsträcka 5 respektive 10 m.

Författarna McGuire, Tamura och Wilson finner med hjälp av några andra referenser att den optiska densiteten för det utspädda fallet bör vara 0.04 till 0.08 m^{-1} ($^{10}\log$) eller omräknat och avrundat till 0.09 respektive 0.18 m^{-1} (ln). Den optiska densiteten för brandrummet anges på samma sätt från 4 till 8 ($^{10}\log$), vilket kan räknas om till 9 respektive 18 m^{-1} (ln). En utspädning med en faktor 100 anses vara rimligt säkert med avseende på brandgaser. Denna siffra används som en av flera förutsättningar (1-6) för att utveckla åtgärder mot brandgasspridning och texten för förutsättning (2) återges nedan:

That an area may be considered tenable if its atmosphere is only contaminated by that from the fire area to an extent of less than 1%.

Kravet för orientering enligt avsnitt 6 är att den optiska densitet för bekanta och obekanta lokaler är 0.4 respektive 0.2 m^{-1} (ln).

McGuire, Tamura och Wilson (1970) föreslår att ett krav på en hållbar atmosfär kan vara att den optiska densiteten inte skall överskrida ett värde mellan 0.115 och 0.23 m^{-1} (uppräknat från 0.05 och 0.1 med faktorn $\ln(10)$).

Wilson och Shorter (1970) nämner att brandgaser i huvudsak har gällt siktförsämring i samband med utrymning. De gör också kopplingen att brandgaser med giftiga ämnen också är mycket sotrika.

Tamura och McGuire (1971) skriver att för svåra bränder kan en utspädning 1:100 vara en kritisk nivå för folks säkerhet.

McGuire och Tamura (1971) skriver att hänsynstagande till sikt och kolmonoxidförgiftning antyder att en sämre utspädning än 1:100 är troligen inte acceptabel utom för mycket korta tidsperioder.

Lie och McGuire (1973) skriver att med en utspädning 1:100 kan det antas att folk kan klara oändlig exponering för de flesta brandgaser utan risk för panik eller outhärdlig ögon irritation. Siktsträckan bedöms vara omkring 10 till 20 m.

Harmathy (1984) skriver att det är troligt enligt huvudreferensen Wakamatsu (1968) att utspädning 1:100 ger säkra förhållanden vad avser sikt och förgiftning.

Klote (1993) och Klote (1997) konstaterar att den huvudreferensen Wakamatsu (1968) endast behandlar siktför-sämring och det inte finns ett motsvarande påstående om vilken utspädning som krävs för att skapa en säker atmosfär med hänsyn till giftiga brandgaser.

Högsta brandmassförlust

Gränsvärden för vad som är en dödlig dos har bestämts med ett stort antal djurförsök med förbränning av olika material i olika försöksanordningar. Exponeringstiden är oftast 30 min. Förbränningsytorna har varit ytterst begränsade. En del forskare hävdar att giftigheten hos många material överskatts i dessa mikrobränder jämfört med bränder i full skala.

En föreslagen kritisk gräns är en materialoberoende dos 500 gmin/m^3 . Denna siffra minskas med en säkerhetsfaktor 0.3 för att gå från djur till människa och med ytterligare en säkerhetsfaktor 0.3 för att ta hänsyn till spridningen inom en population. Gränsvärdet blir därför 45 gmin/m^3 och för att klara en exponering under 1 h eller 60 min blir massförlusten 0.75 g/m^3 .

Den möjliga massförlusten vid en sluten brand kan uppskattas med högst 50 g/m^3 rumsluft och den nödvändiga utspädningsfaktorn blir 0.015 ($0.75/50$).

Utspädningen kan även beräknas för ett fall med avklingande föroreningsnivå, oändlig exponering och en given luftomsättningstid S min. Sambandet för dosen mellan utspädningsfaktorn u , oändlig exponering och luftomsättningstid S kan skrivas som $45 \geq 50 u S$ enligt (1.9) och omskrivet fås $u \leq 0.9/S$. En luftomsättningstid på 30, 60 eller 120 min innebär att utspädningsfaktorn u skall vara 0.03, 0.015 respektive 0.0075. Om exponeringstiden begränsas till 60 min krävs något mindre utspädning och utspädningsfaktorn blir 0.035, 0.025 respektive 0.019.

Högsta sothalt och optiska densitet

Höga sothalter kan försvåra andning och leda till döden. En sothalt på 15 g/m^3 anses vara dödlig. Sotet ger också en sikt försämring. Det finns en studie av Mulholland och Croarkin (2000) som undersökt den relativa täckningsytan m^2/g sot för ett stort antal vanligt förekommande ämnen.

Spridningen mellan olika ämnen var begränsad. Medelvärde och standardavvikelse blev 8.7 m²/g sot respektive 0.6 m²/g sot. Sannolikheten för värden högre än 10 m²/g sot kan med antagande om normalfördelning beräknas till 0.01. Den optiska densiteten kan uppskattas för denna övre gräns. Branden kan högst förbränna 50 g/m³ luft och om sotutbytet sätts till 0.08 blir den optiska densiteten 40 m⁻¹ (50·10·0.08). Detta är ett högt värde.

Den optiska densiteten redovisas ibland vid brandförsök och värde över 20 m⁻¹ har inte setts i litteraturen. Värdet kan nog vara ännu lägre för själva spridningsfasen fram till dess att branden kvävs eller tryckavlastning sker. En uppskattning av medelvärdet för spridningsfasen kan sättas till endast 20 m⁻¹ och motsvarande sothalt till 2 g/m³.

Siktkraven i avsnitt 6 är att den optiska densiteten skall vara lägre än 0.4 m⁻¹ för bekanta lokaler och 0.2 m⁻¹ för obekanta lokaler, vilket motsvarar en sothalt på 0.04 g/m³ respektive 0.02 g/m³. Dessa två krav kan med brandens antagna optiska densitet om 20 m⁻¹ räknas om till en utspädningsfaktor om 0.02 respektive 0.01 eller som utspädning 50 respektive 100 gånger.

Högsta temperatur

Brandgasspridning leder inte till höga temperaturer i den utsatta eller de utsatta lokalerna. En uppskattning på en nödvändig utspädning är följande. Slutna bränder uppnår sällan temperaturer över 320 °C som ett medelvärde för hela den brandutsatta volymen. En temperaturnivå upptill 80 °C tillåts för utrymning, vilket ger en ökning på 60 °C. Detta ger ett krav på en måttlig utspädningsfaktor om 0.2 (60/300) eller en utspädning en faktor fem.

Högsta CO₂-nivå

Högsta möjliga CO₂-nivå i ett brandutsatt rum är omkring 0.10 eller 100 000 ppm, vilket samtidig innebär att O₂-nivån har minskat minst lika mycket från 0.20 till 0.10 eller 200 000 till 100 000 ppm. En brands tillväxt påverkas något med minskade O₂-nivå och avstannar helt för en O₂-nivå under 0.10 eller 100 000 ppm. Högsta tillåtna CO₂-nivå för personsäkerhet anges ofta som 0.05 eller 50 000 ppm.

Krav på utspädningen när det gäller CO₂-nivå kan därför beräknas enligt sambandet (1.6) med $c = 0.10$ och $c_s = c_k = 0.05$, vilket ger utspädningsfaktorn 0.5 (0.05/0.10). Detta är en överskattning, eftersom CO₂-nivån under spridningsfasen antagits vara lika med slutvärdet. Slutatsen är att spridning av CO₂ som en brandgaskomponent kan inte skapa farliga förhållanden, eftersom utspädningsfaktorn är mycket mindre än den kritiska utspädningsfaktorn 0.5.

En viktig kommentar är att en hög CO₂-nivå ökar andningsflöde och ökar därmed lungornas exponering. Andningsflödet fördubblas och tredubblas för CO₂-nivåerna 0.03 respektive 0.05 mot den normala absoluta CO-nivån mindre än 0.0004 eller 400 ppm.

Lägsta O₂-nivå

Lägsta möjliga O₂-nivå i ett brandutsatt rum är omkring 0.10 eller 100 000 ppm, vilket innebär att O₂-nivån har minskat från 0.20 till 0.10 eller 200 000 till 100 000 ppm. Ändringen i O₂-nivå i brandrummet kan skrivas som $c = -0.1$.

Lägsta tillåtna O₂-nivå för personsäkerhet anges ofta som 0.15 eller 150 000 ppm, vilket också kan anges som ett krav på högsta minskning i O₂-nivå är 0.05 eller 50 000 ppm. Den tillåtna ändringen i O₂-nivå i det spridningsutsatta rummet kan skrivas som $c_s = -0.05$.

Den kritiska utspädningsfaktorn beräknas enligt $u_k = c_s / c = -0.05 / -0.1 = 0.5$. Detta innebär att kravet på utspädning för tillåten O₂-nivå blir det samma som för kravet på tillåten CO₂-nivå. Slutsatsen är att spridning av låg O₂-nivå som en brandgaskomponent kan inte skapa farliga förhållanden, eftersom utspädningsfaktorn normalt är mycket mindre än den kritiska faktorn 0.5.

Högsta CO-nivå

Ett tillräckligt och ett ytterst förenklade krav på högsta CO-nivå i det spridningsutsatta rummet efter den korta spridningsfasen c_s kan anges som 67 eller 150 ppm, vilket kan medföra en HbCO-halt om högst 0.1 respektive 0.2 för ett fall helt utan ventilation och oändlig exponering. Värdet 0.2 motsvarar gränsen mellan lindriga och måttliga förgiftningssymptom.

Antag att medelnivån för den spridda CO-nivån är 1500 ppm. Krav för den kritiska minsta utspädning för HbCO-halten 0.2 kan beräknas som $u_k = 150 / 1500 = 0.1$. Detta innebär att brandgaserna endast skall spädas ut en faktor tio. Om kolmonoxidhalten blir högre än 150 ppm för en given utspädning måste kolmonoxidförgiftningen beräknas i nästa underavsnitt.

Högsta HbCO-halt

Ett problem med CO-förgiftning är att det finns ingen klar gräns för när dödsfall kan inträffa. Dödsfall kan inträffa för en HbCO-halt nertill 0.2 oberoende om förgiftningen skett i en brand eller inte. Dödsfall kan även ske med HbCO-halt långt över 0.5 (antagen gränsen för dödsfall). En lämplig HbCO-halt kan vara 0.1, vilket rökare överskrider.

En koreansk undersökning av Min (1986) visade att överlevande från en akut CO-förgiftning efter några veckor av återhämtning uppvisade många olika symptom som apati, sorgsna ansiktsuttryck, glömska med mera och fyra av fem tillfrisknade helt till slut.

Kolmonoxidförgiftning kan beräknas enligt (7.3) för fallet med förgiftningsgraden 0.1. Sämsta fallet är för bostäder med en luftomsättningstid S på omkring 120 min. Kolmonoxidupp-tagningskonstanten T är 230 min för andningsflödet 12 l/min. Insättning något avrundat av $T = 2S$ i (7.3) ger kravet på utspädningsfaktorn som $u < 120/c$. Den tidigare nämnda CO-medelnivån 150 ppm kräver en utspädning med $u < 0.8$. Ett annat värde är CO-nivån 1200 ppm, vilket kräver en utspädningsfaktor $u < 0.1$ eller utspädning med minst en faktor tio.

Hotellrum har bättre ventilation än en bostad. Luftomsättningstiden S kan sättas till 60 min. Insättning av avrundade $T = 4S$ i (7.3) ger $u < 240/c$. En spridd CO-medelnivå $c = 2400$ ppm kräver en utspädningsfaktor $u < 0.1$ och en utspädning med en faktor tio.

Notera att för en lokal vars ventilation stängs av, blir luftomsättningstiden S mycket stor. Det finns alltid infiltration och exfiltration som kan skapa en minsta ventilation. Ventilationen bestäms av lokalens otätheter, vindpåverkan och temperaturskillnader mellan inne och ute. Antag att luftomsättningstiden S kan sättas till 600 min. En utspädningsfaktor 0.1 krävs för en CO-medelnivå om 240 ppm eller 0.01 för 2400 ppm.

Högsta HCN-nivå (cyanväte)

Förbränning av nylon skapar cyanväte och utbytet är högst 0.03 (g/g). En förbränning av högst 50 g/m^3 luft ger en HCN-halt på 1.5 g/m^3 luft eller omräknat till 1339 ppm. Detta är ett extremt värde. Medelnivån för en soffbrand låg under 100 ppm.

Verkan av cyanväte är mycket olinjär. Medvettslöshet för apor inträffar för följande exponeringspar i ppm:min 100:30, 150:8, 200:2 och 300:1. Motsvarande doser blir 3000, 1200, 400 respektive 300 ppmmin. Gränsvärden enligt AEGL-1 i Tabell är 2 ppm under 60 min och 1 ppm under 8 h. Om den spridda HCN-nivån är 100 ppm blir utspädningsfaktorn 0.01 om nivån 1 ppm skall nås.

Högsta HCl-nivå (saltsyra)

Saltsyra skapas vid förbränning av polyvinylklorid eller PVC. Utbytet är högt omkring 0.5 (g/g). Detta ger vid förbränning av 50 g/m^3 luft en högsta halt om 25 g/m^3 luft eller 16500 ppm.

Gränsvärden för HCl enligt EPRG-1 Tabell 7.3 anger 3 ppm för 60 min och enligt AEGL-1 Tabell 7.4 anger 1.8 ppm för både 60 min och 8 h. Om utspädning skall ske till HCl-nivån 2 ppm för ett fall med enbart förbränning av PVC-material blir utspädningsfaktorn nästan 0.0002 om medelnivån för spridningen ligger på 10000 ppm.

En granskning av alla redovisade HCl-kurvor i NIST TN 1453 (2003) visar att HCl-nivån först stiger i samband med övertändning.

Högsta CH_2CHO -nivå (acrolein)

Mätvärden från alla brandförsök i NIST TN 1453 (2003) ligger under detektionsgränsen som angetts till 50 ppm.

Gränsvärdena i Tabell 7.1-3 är 0.05, 0.03 och 0.1 och för exponeringstiderna 1, 8 respektive 8 h. Slutsatsen för acrolein är att en utspädningsfaktor om 0.01 borde vara tillräcklig om gränsen sätts till 0.05 ppm och att medelnivån som sprids sätts till 5 ppm.

Högsta HCHO-nivå (formaldehyd)

Formaldehyd skapas vid förbränning av trä med god lufttillförsel och det högsta utbytet är angivet till 0.001 (g/g). Detta ger en högsta halt om 0.05 g/m³ luft eller 28 ppm vid förbränning av 50 g/m³ luft. Mätvärden från alla brandförsök i NIST TN 1453 (2003) ligger under detektionsgränsen som angetts till 10 ppm. Gränsvärdena i Tabell 7.1-3 är 1.0, 0.9 och 0.5 och för exponeringstiderna 1, 8 respektive 8 h. Slutsatsen för formaldehyd är att en utspädningsfaktor om 0.1 borde vara tillräcklig om gränsen sätts till 1 ppm och att medelnivån som sprids sätts till 10 ppm.

Uppsummering av olika krav

En enkel uppsummering görs i Tabell 7.4 nedan av skattade högsta medelnivåer under spridningsfasen och nödvändig utspädningsfaktor för att klara gränsvärden enligt EPRG och AEGL i Tabell 7.1-2. Denna tabellerade uppsummering får ses som ett första försök att bestämma en dimensionerande utspädning av brandgaser under spridningsfasen. Det är därför också upptill alla aktörer inom brandområdet att rätta värdena, vilket leder till en säkrare och bättre bestämning av den dimensionerande utspädningen för en viss brandgaskomponent.

Tabell 7.4 Högsta medelnivå under spridningsfasen c_i och tillräcklig utspädningsfaktor u_i -.

ämne	branddata c_i	kravdata c_{ki}	sidreferens	$u_i = c_{ki}/c_i$
CO ₂	100 000 ppm	50 000 ppm	52	0.50
O ₂	-100 000 ppm	-50 000 ppm	52	0.50
CO (HbCO = 0.2)	1500 ppm	150 ppm	53 konstant	0.10
CO (HbCO = 0.1)	1500 ppm	67 ppm	53 konstant	0.04
CO (HbCO = 0.1)	1500 ppm	14400 ppmmin	53 120 min ₁	0.08
CO (HbCO = 0.1)	1500 ppm	14400 ppmmin	53 60 min ₁	0.16
CO (HbCO = 0.1)	1500 ppm	14400 ppmmin	53 30 min ₁	0.32
HCN	100 ppm	1 ppm	54	0.01
HCl	100 ppm	2 ppm	54	0.02
CH ₂ CHO	5 ppm	0.05 ppm	54	0.01
HCHO	10 ppm	1 ppm	55	0.10
brandmassförlust	50 g/m ³	0.75 g/m ³	51	0.015
extinktionskoefficient	20 m ⁻¹	0.4 m ⁻¹	52 sikt 5 m	0.02
extinktionskoefficient	20 m ⁻¹	0.2 m ⁻¹	52 sikt 10 m	0.01
sothalt	2 g/m ³	0.04 g/m ³	52 sikt 5 m	0.02
sothalt	2 g/m ³	0.02 g/m ³	52 sikt 10 m	0.01

₁ Luftomsättningstid

Notera att brandmassförlust är en summering av all inverkan från olika brandgaskomponenter.

Ett viktigt påpekande är att det inte är ett tillräckligt skydd att varje enskild brandgaskomponent uppfyller kravet på utspädning enligt Tabell 7.4 utan en samlad bedömning måste beaktas såsom görs med begreppen FED (fractional effective doses for incapacitation) och FEC (fractional effective concentrations for incapacitation) med avseende på kvävning och irritation. Siktkravet är dock fristående även om brandgaser irriterar och stör ögats funktion.

De angivna gränsvärdena i Tabell 7.1-3 kan tolkas som både dos- eller nivåvärden. Det finns alltid en exponeringstid angiven. Det går i princip att göra en motsvarande uppdelning i dos- och nivåberoende förgiftning, men försiktighetsprincipen kan vara att väga samman både dos och nivåberoende förgiftning.

Detta kan formuleras som ett krav enligt nedan där u är den aktuella totala utspädningsfaktorn och att u_i är den utspädningsfaktor som krävs för ämne med index i . Branddata c_i och kravdata c_{ki} kan också användas direkt enligt (7.5).

$$1/u > \sum_i 1/u_i = \sum_i c_i / c_{ki} \quad (-) \quad (7.5)$$

Varje term i högerledet av (7.5) för en given brandgaskomponent kan tolkas som den volym luft som 1 m^3 brandgaser skall spädas ut till för att just den brandgaskomponenten skall uppfylla de uppställda kraven. Vänsterledet kan tolkas som den luftvolym som 1 m^3 brandgaser skall spädas ut till för att uppfylla uppställda kraven för alla brandgaskomponenter.

Några sifferexempel

Beräkningsprincipen kan visas med uppställningen nedan där medelnivån i brandgaserna under spridningsfasen för CO, HCN, HCl, CH₂CHO och HCHO anges. Den utsatta lokalen har ingen ventilation. Kravdata hämtas från Tabell 7.4 och kravet CO-förgiftning sätts till högst HbCO-halt lika med 0.1, vilket ger CO-kravnivån 67 ppm. Siktkrav behandlas inte.

Exempel givna brandgaskomponenter

ämne	branddata c_i	kravdata c_{ki}	$u_i = c_{ki}/c_i -$	$1/u_i = c_i/c_{ki} -$
CO (HbCO = 0.1)	1000 ppm	67 ppm	0.067	15.0
HCN	30 ppm	1 ppm	0.033	30.0
HCl	50 ppm	2 ppm	0.040	25.0
CH ₂ CHO	1 ppm	0.05 ppm	0.050	20.0
HCHO	10 ppm	1 ppm	0.100	10.0

En summation av den inverterade utspädningsfaktorn u_i ger värdet 100, vilket i sin tur efter invertering ger 0.01 för utspädningsfaktorn u med hänsyn tagen till att alla brandgaskomponenter samverkar. Ovanstående sifferexemplet visar att många brandgaskomponenter tillsammans ger högt krav på utspädning än räknat var för sig. Lägsta enskilda utspädningsfaktor kan inte användas utan en sammanlagring måste ske.

Samma problem kan formuleras med en antagen brandmassförlust om 30 g/m^3 som spridd medelnivå. Detta ger följande uppställning enligt nedan och utspädningsfaktorn blir 0.025 eller en faktor 40.

Exempel given brandmassförlust

ämne	branddata c_i	kravdata c_{ki}	$u_i = c_{ki}/c_i -$	$1/u_i = c_i/c_{ki} -$
brandmassförlust	30 g/m^3	0.75 g/m^3	0.025	40

Samma problem med siktkrav 10 m för okända lokaler och en brand med ett medelvärde för den optiska densiteten om 10 m^{-1} eller en sothalt om 1 g/m^3 kräver en utspädningsfaktor 0.02.

Exempel given optisk branddensitet eller sothalt

ämne	branddata c_i	kravdata c_{ki}	$u_i = c_{ki}/c_i -$	$1/u_i = c_i/c_{ki} -$
extinktionskoefficient	10 m^{-1}	0.2 m^{-1}	0.02	50
sothalt	1 g/m^3	0.02 g/m^3	0.02	50

Avslutningsvis visar också sifferexemplen att det krävs säkra branddata för att kunna beräkna en säker utspädningsfaktor. Kravdata utgår från lägsta kravklass med lindriga symptom.

Ett exempel från verkligheten

En brand inträffade i en lägenhet på bottenplanet i ett flerbostadshus en sen kväll i mitten av oktober 2009 i Västerort i Stockholm. Branden uppstod i köket på köksspisen. Lägenhetsinnehavare hann utrymma själv. Lägenhetsbranden orsakade stora egendomsskador inom lägenheten. Branden tryckavlastades med fönstersprängning. Branden kan ha varit tryckavlastad med ett fönster i vädringsläge.

Byggnaden var ett flerbostadshus som ingår i ett större bostadsområde uppfört från sent 60-tal till tidigt 70-tal med tjugofyra lägenheter i tre plan försett med tillochfrån-luftsventilation. Tilluftsdonen fanns i sov- och vardagsrum och var golvplacerade elefantfötter benämnda efter sin utformning.

Många boende i huset uppmärksammade inte branden förrän brandförsvaret kom till platsen. Det hade troligen inte skett någon brandgasspridning alls via ventilationssystemet på grund av att tilluftsdonen vara golvplacerade samt att fläktarna var i drift. Brandens placering på bottenplanet var den sämsta möjliga, eftersom brandgasspridning först hade drabbat lägenheten våningen över när ventilationsaggregat är placerade högst upp i en byggnad.

Ventilationssystemet märkte inte heller av branden. En förklaring är att utspädningen är stor när det brinner i en av tjugofyra lägenheter. En rökdetektor ställs in för att inte aktiveras av matlagning, vilket kan pågå i flera lägenheter samtidigt. Vidare påverkade ej branden strömförsörjningen till fläktarna, blandningstemperaturen och filter för frånluftsfläkten.

En slutsats av verkligheten är att brandgasspridning inte sker i FT-ventilationssystem med golvplacerade tilluftsdon innan branden kvävs eller tryckavlastas.

Fortsatt forskning

Det återstår som alltid mer att reda ut. Några punkter kan vara följande:

- Bättre data för olika brandgaskomponenter för spridningsfasen under en sluten brand.
- Skall kravdata för olika brandgaskomponenter vara högre eller lägre?
- Går det att bestämma brandgaskomponenter för en rimlig rumsbrand och inte utgå från ett värsta fall för varje förekommande brandgaskomponent.
- Går det att föreskriva vilken brandbelastning och dess sammansättning för bostadsrum, en lägenhet, ett hotellrum, ett vådrum, ett kontorsrum och så vidare?
- Hur mycket minskar brandgasspridningen av farliga komponenter via ett tilluftssystem med golvplacerade tilluftdon?
- Vilken exponeringstid skall gälla?
- Vad händer ventilationssystemet under och efter en brand?
- När sprängs fönster vid en rumsbrand och tryckavlastar densamma?

Avslutningsvis: Denna rapport får ses som ett första försök att beräkna vad som är en dimensionerande utspädning av brandgaser. Det kan också påpekas att något direkt forskningsanslag inte har funnits för att skriva denna arbetsrapport.

Referenser

- Jörgen Carlsson och Per Walmerdahl, Skydd mot rökspridning i ventilationssystem – En utvärdering av BASIC, FOI Memo 1190 (2004)
- Harmathy, T. Z. (1984) Fundamentals of designing buildings for fire safety. Proceedings of conference on building fire safety. Chung-Li, Taiwan, September 22 1984 DBR paper No. 1243
- Marcelo M. Hirschler (editor), Sara M. Debanne, James B. Larsen, Gordon L. Nelson, Carbon monoxide and human lethality – Fire and non-fire studies (1993)
- Bengt Hägglund, Kjell Nireus och Per-Olof Werling, An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts, FOA-R-98-00870-311—SE (1998)
- Lars Jensen, Funktionskrav mot brandgasspridning mellan brandceller via ventilationssystem – en förstudie med principexempel, Rapport TVIT—07/7010 (2007)
- Lars Jensen, Kolmonoxidförgiftning – principexempel, Rapport TVIT—07/7014 (2007)
- Lars Jensen, Förgiftning vid avklingande kolmonoxidhalt, Rapport TVIT—08/7025 (2008)
- Lars Jensen, Kolmonoxidförgiftning – Rättelse och förenklad beräkningsmetod, Rapport TVIT—09/7039 (2009)
- Lie, T. T.; McGuire, J. H. (1973) Control of smoke in high-rise buildings. Fire Tehnology.
- Klote, John H. (1993) Air moving systems and fire protection. NISTIR 5227, NIST
- Klote, John H.; Nelson, Harold E. (1997) Smoke movement in buildings. Section 7/Chapter 6/Pages 93-104. NFPA Fire Protection Handbook 18th edition
- McGuire, J. H.; Tamura, G. T.; Wilson, A. G. (1970) Factors in controlling smoke in high-rise buildings. Fire hazards in buildings. Symposium, San Fransisco pp 8-13
- McGuire, J. H.; Tamura, G. T. (1971) CBD-134. Smoke control in high-rise buildings.
- Min, S. K. (1986) A brain syndrome associated with delayed neuropsychiatric sequale following acute carbon monoxide intoxication. Acta psychatr. scand. 1986:73:80-86
- NIST Technical Note 1453 (2003) Smoke component yields from room-scale fire tests.
- SPFE Handbook of Fire Protection Engineering, (2002)

Tamura, G. T.; McGuire, J. (1971) CBD-133. Smoke movement in high-rise buildings.

Wakamatsu, T. (1968) Calculation of smoke movement in buildings,
BRI Research Paper No. 34, Japan.

Per-Olof Werling, Per Walmerdahl och Kjell Nireus, Försök med tryckavlastande anordning
på Räddningsskolan i Rosersberg, FOA 99-2728/S (1999)

Wilson, A. G. ; Shorter, G. W. (1970) Fire and high buildings. Fire Technology.