



# LUND UNIVERSITY

## Kolmonoxidförgiftning - principexempel

Jensen, Lars

2007

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, L. (2007). *Kolmonoxidförgiftning - principexempel*. (TVIT; Vol. TVIT-7014). 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

# Kolmonoxidförgiftning - principexempel

*Lars Jensen*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2007  
Rapport TVIT--07/7014



## 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 rök-spridning 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.

# Kolmonoxidförgiftning - principexempel

*Lars Jensen*

© Lars Jensen, 2007

ISRN LUTVDG/TVIT--07/7014--SE(28)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

## Innehållsförteckning

1	Inledning och problemställning	5
2	HbCO-nivåmodell	7
3	HbCO-nivå vid konstant CO-halt	11
4	HbCO-nivå vid avklingande CO-halt	15
5	HbCO-nivå vid linjärt ökande CO-halt	19
6	HbCO-nivå vid dödlig brandgasförgiftning	25
7	Sammanfattning och slutsatser	27



# 1 Inledning och problemställning

Brandgaser innehåller i varierande grad kolmonoxid CO, som är en färglös, luktlös och giftig gas. Kolmonoxiden binder sig 250 gånger lättare vid blodets hemoglobin än syre. Blodets syreupptagningsförmåga blockeras av kolmonoxiden. Effekten av kolmonoxidförgiftning är följande enligt följande referenser och sammanställningen nedan.

1. Ondrus, J., Brandförlopp, LTH, Brandteknik 1990.
2. SPFE Handbook of Fire Protection Engineering, Second Edition, 1994.
3. Fire engineering guidelines, 1995.
4. Quintiere, J.G., Principles of Fire Behaviour, 1997.
5. WHO Regional Office for Europe (2000) Air quality guidelines for Europe

Tabell 1.1 Sammanställning mellan CO-dos och verkan enligt referenser 1-4

exempel	CO-halt ppm	exponeringstid	CO-dos ppmmin	verkan	referens
1	100	8 h	48000	-	1
2	400-500	60 min	24000-30000	ingen märkbar effekt	1
3	600-700	60 min	36000-42000	just märkbar effekt	1
4	1000-1200	60 min	60000-72000	obehag	1
5	1500-2000	60 min	90000-120000	farlig	1
6	3000	30 min	90000	farlig	1
7	10000	1 min	10000	dödlig	1
8	6000-8000	5 min	30000-40000	hjätplös, oförmögen	2-4
9	12000-16000	5 min	60000-80000	dödlig	2-4
10	1400-1700	30 min	42000-51000	hjätplös, oförmögen	2-4
11	2500-4000	30 min	75000-120000	dödlig	2-4
12	8.6 <sub>1</sub>	480 min	4143	WHO krav	5
13	25.9 <sub>2</sub>	60 min	1554	WHO krav	5
14	51.8 <sub>3</sub>	30 min	1554	WHO krav	5
15	86.3 <sub>4</sub>	15 min	1295	WHO krav	5

<sub>1</sub> 10 mg/m<sup>3</sup>   <sub>2</sub> 30 mg/m<sup>3</sup>   <sub>3</sub> 60 mg/m<sup>3</sup>   <sub>4</sub> 100 mg/m<sup>3</sup>

Ovanstående sifferuppgifter i Tabell 1.1 är långt ifrån samstämmiga. Exempel 7 ligger långt under exempel 9 både vad gäller nivå och dos. Exempel 7 avser kanske räddningsarbete, vilket ökar CO-upptagningen med en faktor 3, vilket i sin tur räknar upp dosen till 30 000 ppmmin. Detta gäller även exempel 6 jämfört med exempel 11.



Något som inte framgår av sammanställningen är att aktiviteten har mycket stor betydelse. Andningen bestämmer bland annat hur mycket CO som kan tas upp av blodet. Aktiviteterna sittande, gående och arbetande förhåller sig som 1:2:3 ur förgiftningssynpunkt.

Det skall påpekas att det inte finns ett direkt proportionellt samband mellan CO-dos och CO-förgiftning. Graden av CO-förgiftning kan mätas som halten CO i blodets syreupptagande hemoglobin och symptomen är lindriga upptill nivån 0.2, måttliga upptill 0.4, allvarliga upptill 0.6 och dödligt över 0.6.

Syftet med denna arbetsrapport är att undersöka vilka förgiftningsnivåer som kan uppkomma för en del givna fall och att jämföra med CO-dosen, vilken är lätt att beräkna för ett givet tidsförlopp för CO-halten.

Tre huvudfall kommer att undersökas och redovisas i avsnitt 3, 4 och 5. De tre fallen är konstant CO-halt, exponentiellt avtagande CO-halt som råder under utvärdringsfasen och linjärt ökande CO-halt som råder under spridningsfasen.

Sambandet mellan exponeringstid, CO-halt och resulterande HbCO-halt redovisas för alla de tre huvudfallen på exakt samma sätt med isolinjer för HbCO-halt med exponeringstid som x-axel och CO-halt som y-axel. Isolinjer redovisas också för CO-dosen 15 000 och 30 000 ppmmin. Linjer för CO-halter 160, 427 och 960 ppm motsvarande HbCO-jämviktshalt 0.2, 0.4 och 0.6 återfinns också i alla diagram i avsnitt 3, 4 och 5.

Först beskrivs i avsnitt 2 en enkel modell för blodets HbCO-halt för CO-förgiftning som med enkla fysikaliska samband beskriver andelen förgiftad hemoglobin Hb med ett jämviktssamband mellan CO-halt och HbCO-halt och en balansekvation för blodets HbCO-halt beroende av blodvolym och blodflöde eller egentligen blodets omsättningstid. Lokalens CO-halt beskrivs på samma sätt som blodets HbCO-halt med lokalens volym och ventilationsflöde och genom brandgasspridning tillförd CO-volym.

Det skall här inledningsvis påpekas att rapporten skrivits under kort tid och att den bygger på tre samband/antagande och de är följande:

Jämviktssamband mellan blodets HbCO-halt och luftens CO-halt enligt (2.1).

Fullständig gasupptagning för blodet motsvarar 0.04 av luftens gashalt.

Fullständig omblandning råder i den volym som brandgasspridning sker till.

## 2 HbCO-nivåmodell

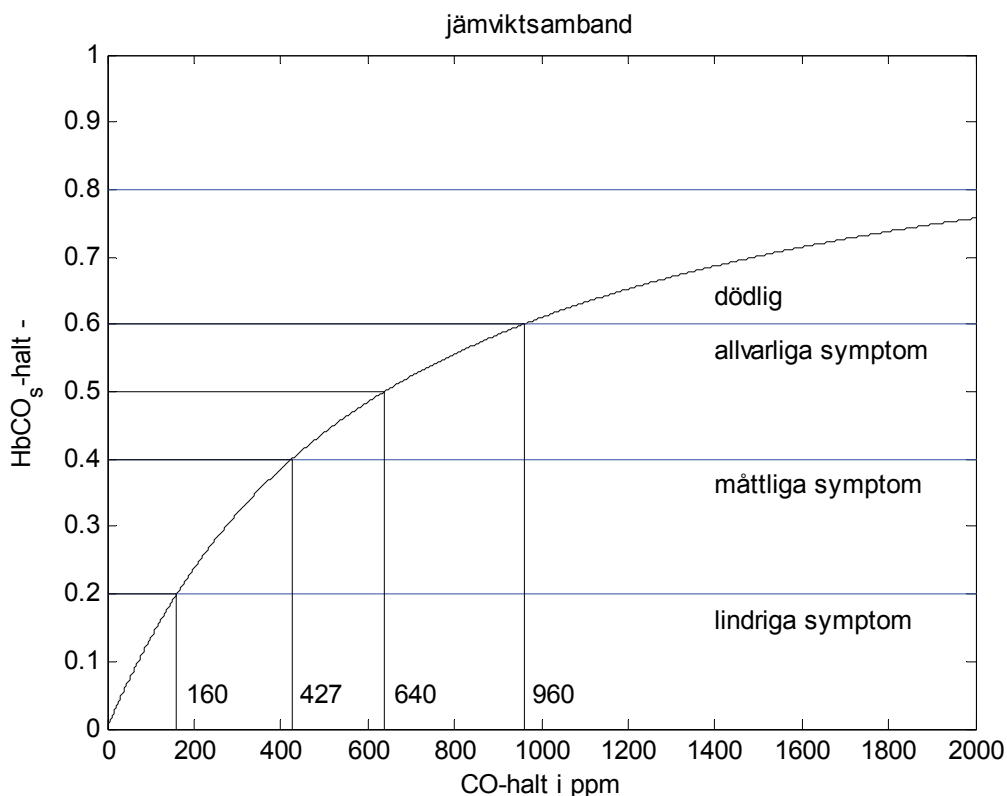
Modellen utgår från att beräkna jämviktshalten för CO-förgiftad hemoglobin  $HbCO_s$  enligt samband (2.1) nedan med uppgifter på den rådande CO-halten i luft. Notera att CO-halten har sorten ppm och HbCO-halten är absolut i intervallet (0,1).

$$HbCO_s = CO / (CO_s + CO) \quad (-) \quad (2.1)$$

där

$CO$             rådande CO-halt i luft, -  
 $CO_s$             640 ppm CO-halt i luft som ger  $HbCO_s = 0.5$

Detta jämviktssamband innebär att en konstant CO-nivå under obegränsad tid leder visserligen till en obegränsad CO-dos, men blodets upptagning av CO avtar med ökande HbCO-nivå och den är begränsad till 1.0. Sambandet (2.1) redovisas i Figur 2.1 nedan. Notera att gränserna för lindriga, måttliga och allvarliga symptom är 0.2, 0.4 och 0.6 och motsvarande CO-halter är 160, 427 respektive 960 ppm.



Figur 2.1 Jämviktssamband för HbCO-halt som funktion av CO-halt.

Uttrycket (2.1) är en omskrivning av ett kemiskt/fysikaliskt jämviktssamband på formen:

$$k = [CO] \cdot [1 - HbCO] / [HbCO] \quad (-) \quad (2.2)$$

Införandet av  $CO_s$  för parametern  $k$  och omskrivning av (2.2) ger (2.1).

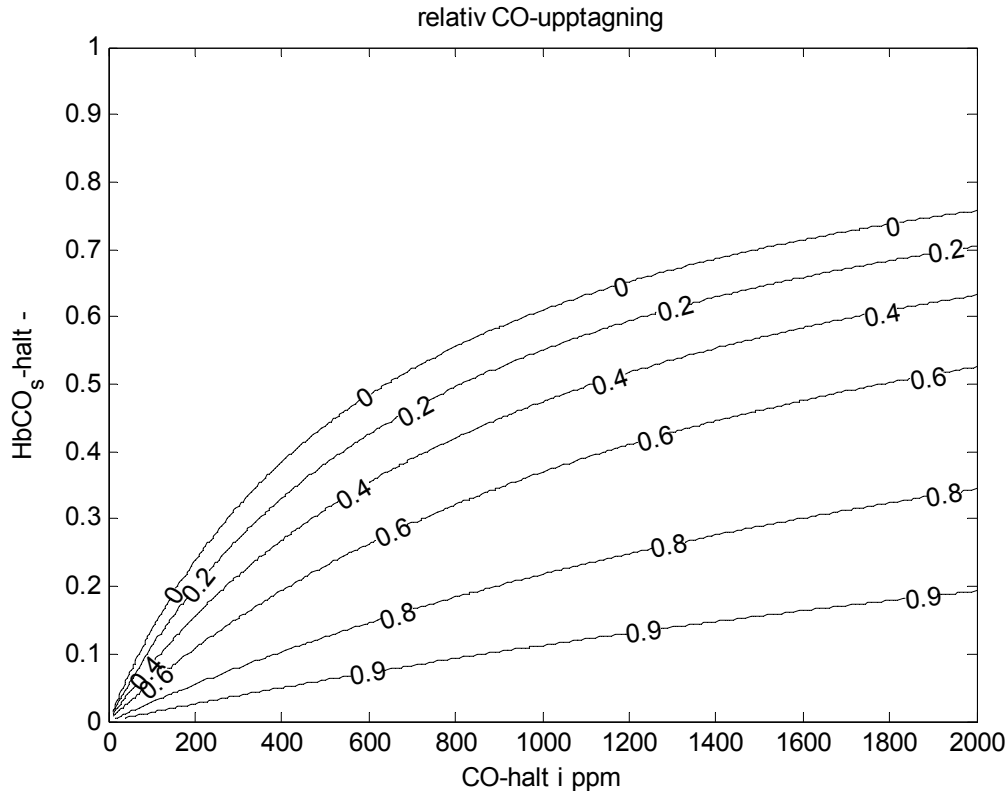
Blodvolymen  $V_b$  genomströmmar lungorna med flödet  $q_b$  och upptagning av CO sker till en nivå som ges av (2.1). En enkel balansekvation för blodets HbCO-halt blir följande:

$$V_b dHbCO/dt = - q_b HbCO + q_b HbCO_s \quad (m^3/s) \quad (2.3)$$

Uttrycket (2.3) bygger en förenkling att HbCO-halten går mot den rådande jämviktsnivån  $HbCO_s$  enligt (2.1), trots att den påverkande CO-halten i lungorna förändras under upptagningen av CO. Antag att upptagning av CO kan anges med  $dCO$  ppm och att det maximala upptaget antas vara lika med den maximala syreupptagningsförmågan på 40 000 ppm. En ändring av CO-halten med en ppm ändrar HbCO-halten med faktorn  $f = 0.000025$ . Jämviktssambandet (2.1) kan nu skrivas om som följer efter det att CO-halten minskas med värdet  $dCO$  och HbCO-halten ökas med  $f dCO$ :

$$HbCO + f dCO = (CO - dCO) / (CO_s + CO - dCO) (-) \quad (2.4)$$

Uttrycket (2.5) är en andragsgradsekvation för  $dCO$ . Den relativa CO-upptagningen  $dCO/CO$  för den rimliga lösningen redovisas i Figur 2.2 med samma axlar som i Figur 2.1.



Figur 2.2 Kvoten  $dCO/CO$  som funktion av CO-halt och HbCO-halt.

Kurvorna i Figur 2.2 visar att CO-upptagningen påverkas starkt jämviktsnivån för HbCO-halten. Detta innebär att CO-upptagningen sker mot en rättad jämviktsnivå på formen där  $dCO$  är den rimliga lösningen till (2.4):

$$HbCO_r = HbCO + f dCO \quad (-) \quad (2.5)$$

Införandet av blodomloppets omsättningstid  $T_b = V_b/q_b$  gör att (2.3) kan förenklas till följande balansekvation:

$$T_b dHbCO/dt = - HbCO + HbCO_r = f dCO \quad (-) \quad (2.6)$$

Blodomloppets omsättningstid är beroende av aktiviteten. Varje hjärtslag har en slagvolym på 70 till 100 cm<sup>3</sup> och slagfrekvensen är omkring 70 slag i vila och kan fördubblas vid hårt arbete. Blodflödet kan därför anges som 4900 cm<sup>3</sup>/min eller 4.9 dm<sup>3</sup>/min. Blodvolymen är för en människa omkring 5 dm<sup>3</sup>. Detta innebär att blodets omsättningstid  $T_b$  i vila är omkring 1 min.

Luftens CO-halt i den spridningsutsatta lokalen modelleras under förutsättning om fullständig omblandning med eller utan ventilation med en balansekvation på formen:

$$V_s dCO/dt = - q_s CO + V_s CO_{bgs} / T_{bgs} \quad (\text{ppmm}^3/\text{s}) \quad (2.7)$$

där

$V_s$	lokalens luftvolym, m <sup>3</sup>
$q_s$	ventilationsflöde, m <sup>3</sup> /s
$CO_{bgs}$	slutvärde för CO-halt vid brandgasspridning, ppm
$T_{bgs}$	tid för brandgasspridning, s

Termen  $V_s CO_{bgs} / T_{bgs}$  i (2.7) kan tolkas som ett CO-flöde som på tiden  $T_{bgs}$  når CO-halten  $CO_{bgs}$  i en oventilerad volym  $V_s$ .

Tidsförloppet för de tre fallen som skall undersökas i avsnitt 3, 4 och 5 med konstant, avklingande respektive konstant tillförsel kan skrivas som följer där  $T_s = V_s/q_s$  är ventilationens omsättningstid:

$$CO(t) = CO_s \quad (\text{ppm}) \quad \text{avsnitt 3}$$

$$CO(t) = CO_s \exp(-t/T_s) \quad (\text{ppm}) \quad \text{avsnitt 4}$$

$$CO(t) = (V_s CO_{bgs} / T_{bgs}) [ t - T_s + T_s \exp(-t/T_s) ] \quad (\text{ppm}) \quad \text{avsnitt 5}$$

HbCO-halten har beräknats för fall 1-11 i Tabell 1.1 för att jämföra med de tre gränserna 0.2, 0.4, 0.6 som skiljer de fyra symptomgrupperna lindriga, måttliga, allvarliga och dödliga. Resultatet redovisas i Tabell 2.1. De finns stora skillnader mellan angiven verkan i Tabell 1.1 fall och beräknad dito och i Tabell 2.1 redovisad.

Fall 2 anger ingen märkbar effekt, men HbCO-halten klassas som måttliga symptom.

Fall 3 anger just märkbar effekt, men HbCO-halten anger allvarliga symptom.

Fall 4 anger obehag, men HbCO-halten är dödlig.

Fall 5 och 6 anger farlig, men HbCO-halten är dödlig.

Fall 7 med CO-halt 10000 ppm och exponeringstid 1 min anges som dödlig, medan HbCO-halten anger endast måttliga symptom. CO-dosen är 10000 ppmmin.

Fall 8 till 10 anger hjälplös, medan HbCO-halten är dödlig.

Fall 9 och 11 är de enda som stämmer överens.

De flesta av de elva fallen ligger nära fullständig mättnad eller sina jämviktshalter. Kvoten mellan beräknad HbCO-halt och jämviktshalt är för åtta fall större än 0.9, medan fall 2, 7 och 8 uppvisar medelkvoterna 0.87, 0.26 respektive 0.79. Fall 7 är korttidsexponering 1 min i CO-halten 10000 ppm.

Slutsatsen av denna jämförelse är att de stora skillnaderna i angiven verkan måste utredas bättre. En förklaring kan vara att beräkningen av HbCO-halt med uttryck (2.1-6) och antagandet att fullständig gasupptagning i blodet motsvarar 0.04 av luftens gashalt är felaktig. En annan förklaring kan vara att det finns vissa säkerhetsmarginaler och verkan beskrivs inte med samma ord för de olika referenserna.

Tabell 2.1 Beräknad HbCO-halt och relativ CO-dos för Tabell 1.1 fall 1-11

fall	verkan Tabell 1.1	verkan HbCO	HbCO <sub>min</sub>	HbCO <sub>max</sub>	CO <sub>Smin</sub> /30000	CO <sub>Smax</sub> /30000
1	-	lindriga	0.13	0.13	1.60	1.60
2	ingen märkbar	måttliga	0.32	0.39	0.80	1.00
3	just märkbar	allvarliga	0.44	0.49	1.20	1.40
4	obehag	dödliga	0.60	0.64	2.00	2.39
5	farlig	dödliga	0.70	0.75	2.99	4.00
6	farlig	dödliga	0.82	0.82	2.99	2.99
7	dödlig	måttliga	0.24	0.24	0.33	0.33
8	hjätplös	dödliga	0.65	0.79	1.00	1.33
9	dödlig	dödliga	0.91	0.94	2.00	2.66
10	hjätplös	dödliga	0.63	0.70	1.40	1.69
11	dödlig	dödliga	0.79	0.86	2.50	4.00

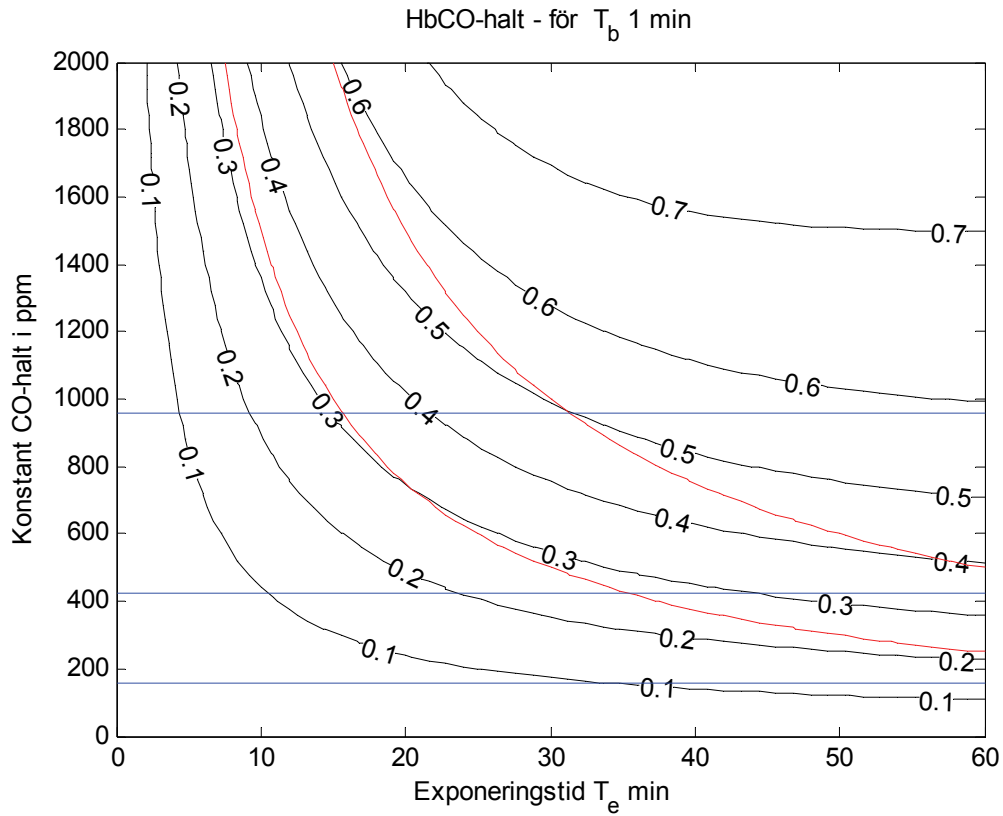
### 3 HbCO-nivå vid konstant CO-halt

Hur HbCO-halten beror på exponeringstid vid konstant CO-halt redovisas i Figur 3.1-6 för sex kombinationer mellan blodets omloppstid 1.0 och 0.5 min och HbCO-startvärden 0.0, 0.2 och 0.4. HbCO-startvärden skilda från noll kan tolkas som hur HbCO-halten avtar under exponering i renare luft efter utrymning. Sambandet mellan exponeringstid, CO-halt och resulterande HbCO-halt redovisas med isolinjer för HbCO-halt med exponeringstid som x-axel och CO-halt som y-axel. Isolinjer redovisas också för CO-dosen 15 000 och 30 000 ppmmin. Linjer för CO-halter 160, 427 och 960 ppm motsvarande HbCO-jämviktshalt 0.2, 0.4 och 0.6 återfinns också i Figur 3.1-6.

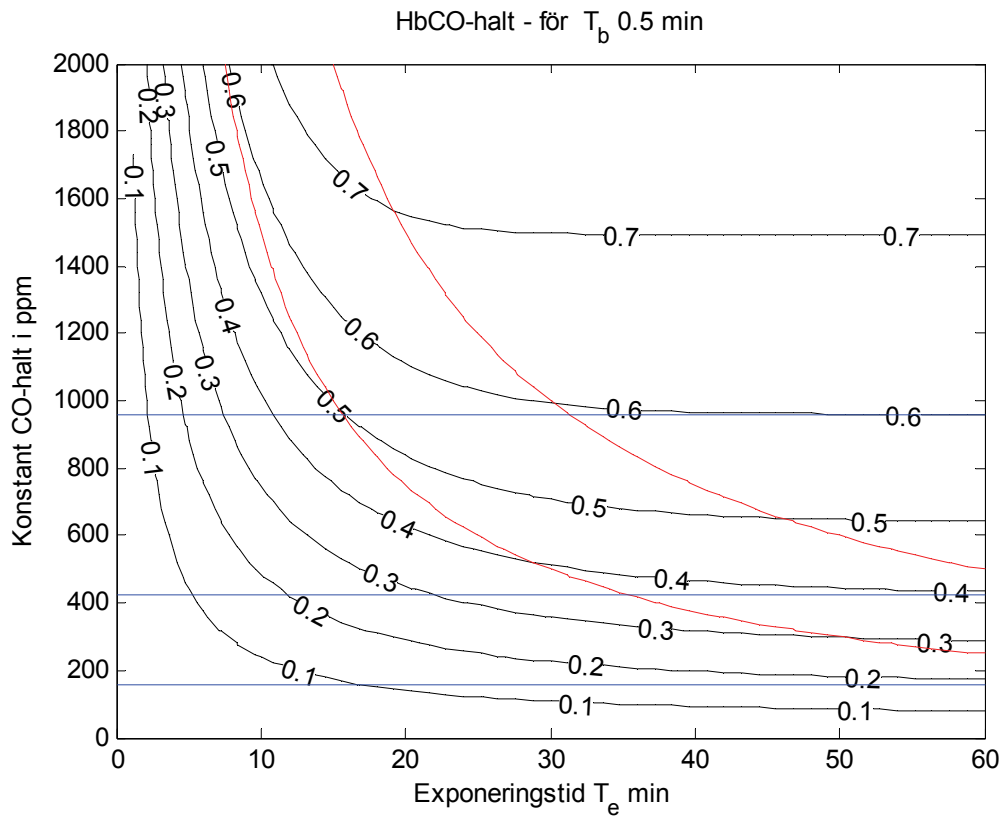
Fyra enskilda värden redovisas för kombination i Tabell 3.1 med avläsningar för exponeringstiderna 30 och 60 min och CO-halterna 500 och 1000 ppm. CO-dosen redovisas normaliserad mot 30 000 ppmmin. En enkel jämförelse mellan halten HbCO och dosen COs görs med  $(\text{HbCO}/0.5)/(\text{COs}/30\,000)$  för att visa hur dosen COs kan underskatta ett farligt HbCO-värde 0.5. Siffrorna i Tabell 3.1 visar att samma CO-dos kan ge olika HbCO-värde.

Tabell 3.1 Indata och resultat för simuleringsfall med konstant CO-halt.

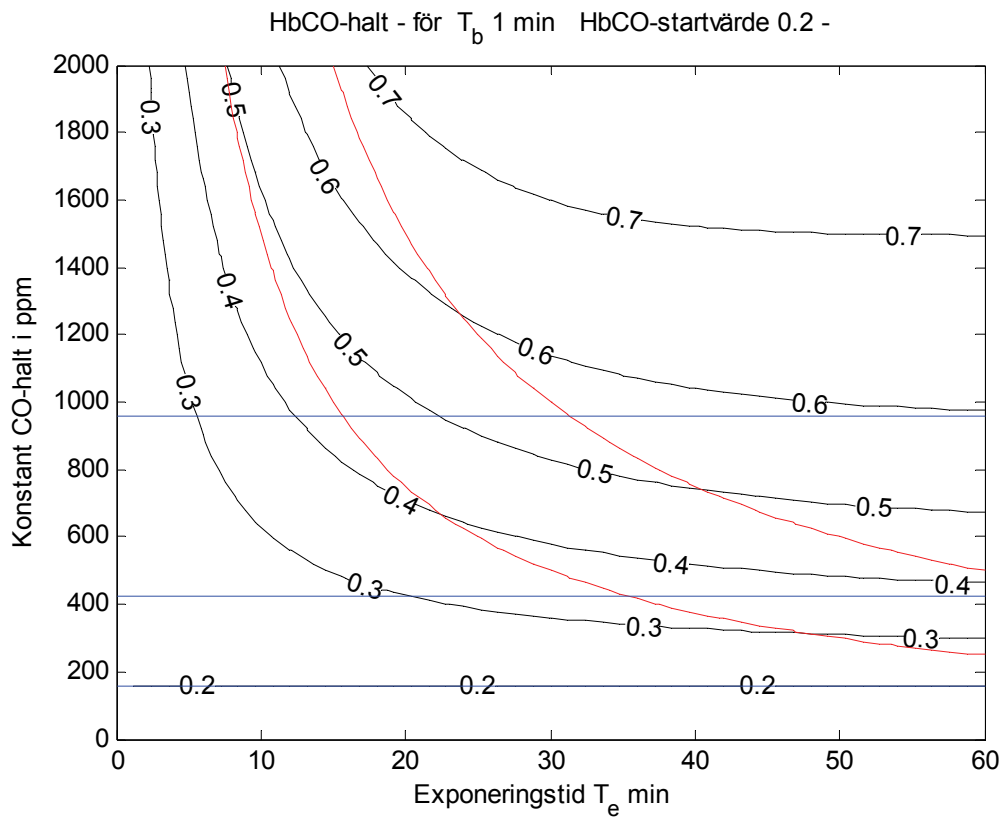
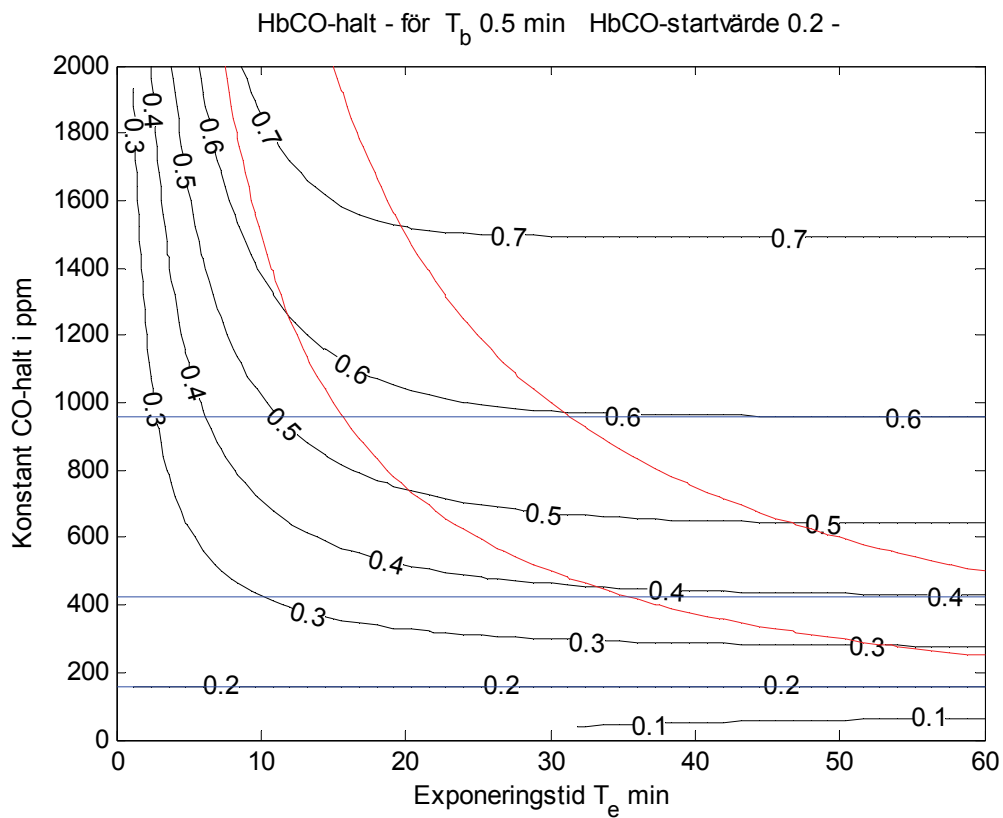
T <sub>b</sub> min	T <sub>e</sub> min	CO ppm	HbCO <sub>0</sub>	HbCO	COs/3e4	2·(5)/(6)	Figur
1.0	30	500	0.0	0.277	0.5	1.106	3.1
1.0	60	500	0.0	0.393	1.0	0.785	3.1
1.0	30	1000	0.0	0.504	1.0	1.007	3.1
1.0	60	1000	0.0	0.602	2.0	0.602	3.1
0.5	30	500	0.0	0.393	0.5	1.571	3.2
0.5	60	500	0.0	0.436	1.0	0.872	3.2
0.5	30	1000	0.0	0.602	1.0	1.204	3.2
0.5	60	1000	0.0	0.610	2.0	0.610	3.2
1.0	30	500	0.2	0.365	0.5	1.461	3.3
1.0	60	500	0.2	0.420	1.0	0.840	3.3
1.0	30	1000	0.2	0.558	1.0	1.117	3.3
1.0	60	1000	0.2	0.606	2.0	0.606	3.3
0.5	30	500	0.2	0.420	0.5	1.679	3.4
0.5	60	500	0.2	0.438	1.0	0.875	3.4
0.5	30	1000	0.2	0.606	1.0	1.213	3.4
0.5	60	1000	0.2	0.610	2.0	0.610	3.4
1.0	30	500	0.4	0.429	0.5	1.716	3.5
1.0	60	500	0.4	0.436	1.0	0.873	3.5
1.0	30	1000	0.4	0.592	1.0	1.183	3.5
1.0	60	1000	0.4	0.609	2.0	0.609	3.5
0.5	30	500	0.4	0.436	0.5	1.745	3.6
0.5	60	500	0.4	0.438	1.0	0.877	3.6
0.5	30	1000	0.4	0.609	1.0	1.217	3.6
0.5	60	1000	0.4	0.610	2.0	0.610	3.6



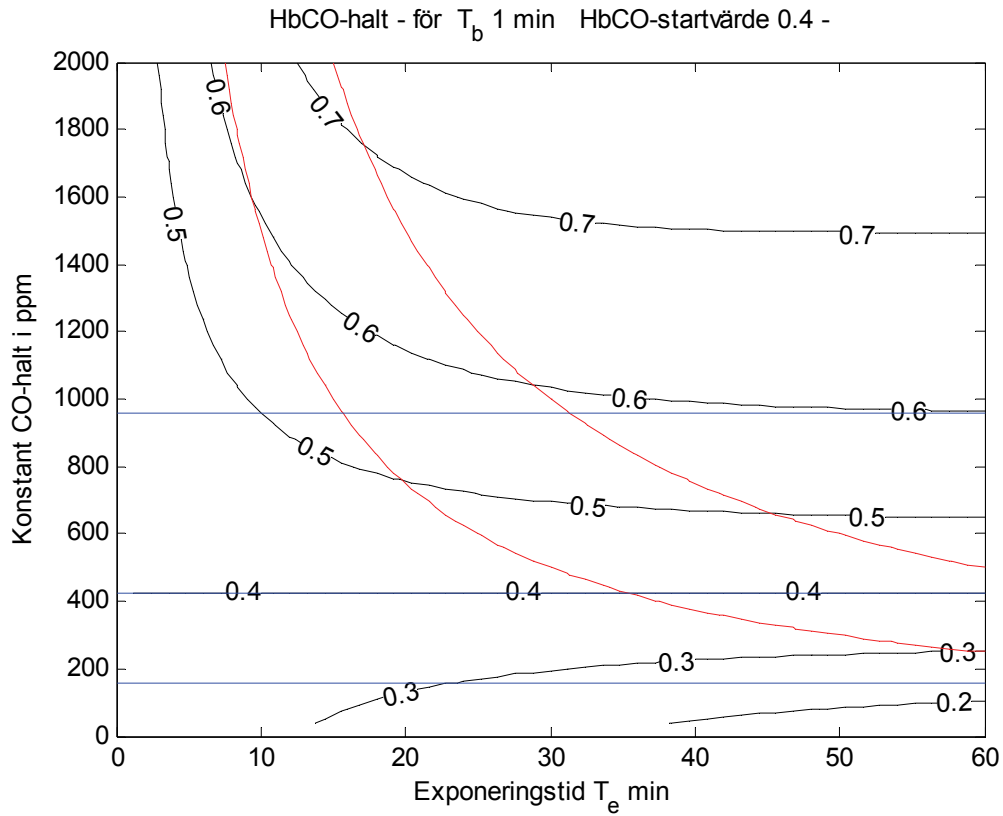
Figur 3.1 HbCO-halt för startvärde 0 och konstant CO-halt och  $T_b = 1$  min.



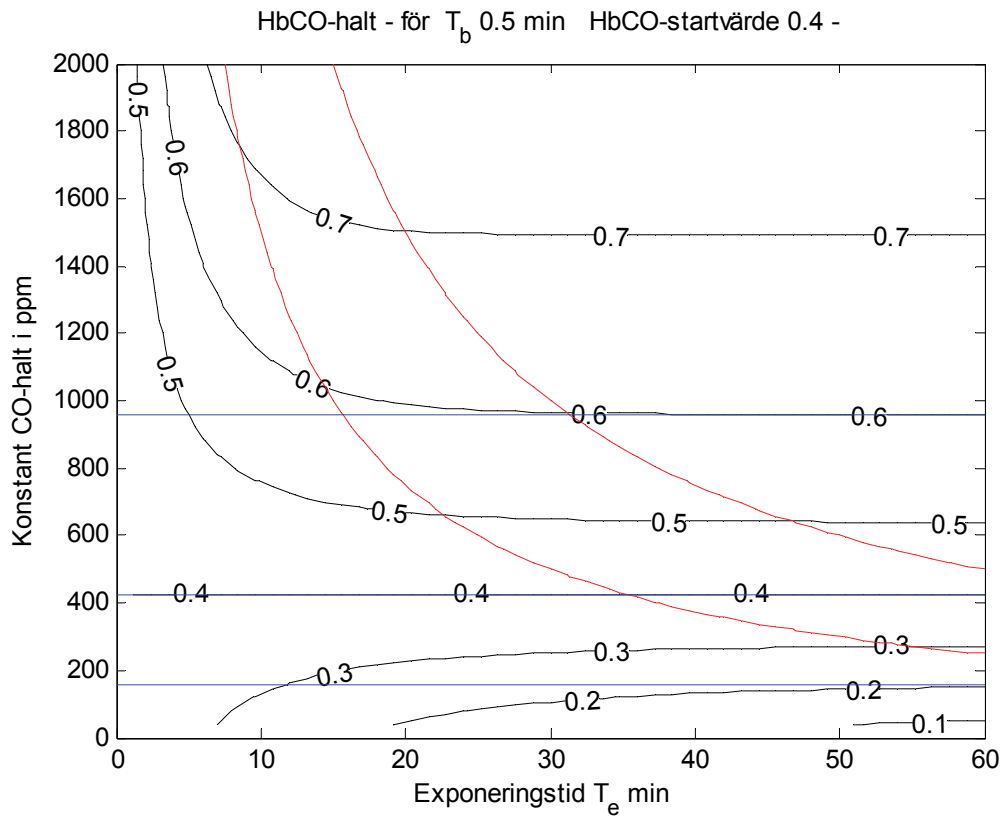
Figur 3.2 HbCO-halt för startvärde 0 och konstant CO-halt och  $T_b = 0.5$  min.

Figur 3.3 HbCO-halt för startvärde 0.2 och konstant CO-halt och  $T_b = 1$  min.Figur 3.4 HbCO-halt för startvärde 0.2 och konstant CO-halt och  $T_b = 0.5$  min.





Figur 3.5 HbCO-halt för startvärde 0.4 och konstant CO-halt och  $T_b = 1$  min.



Figur 3.6 HbCO-halt för startvärde 0.4 och konstant CO-halt och  $T_b = 0.5$  min.

## 4 HbCO-nivå vid avklingande CO-halt

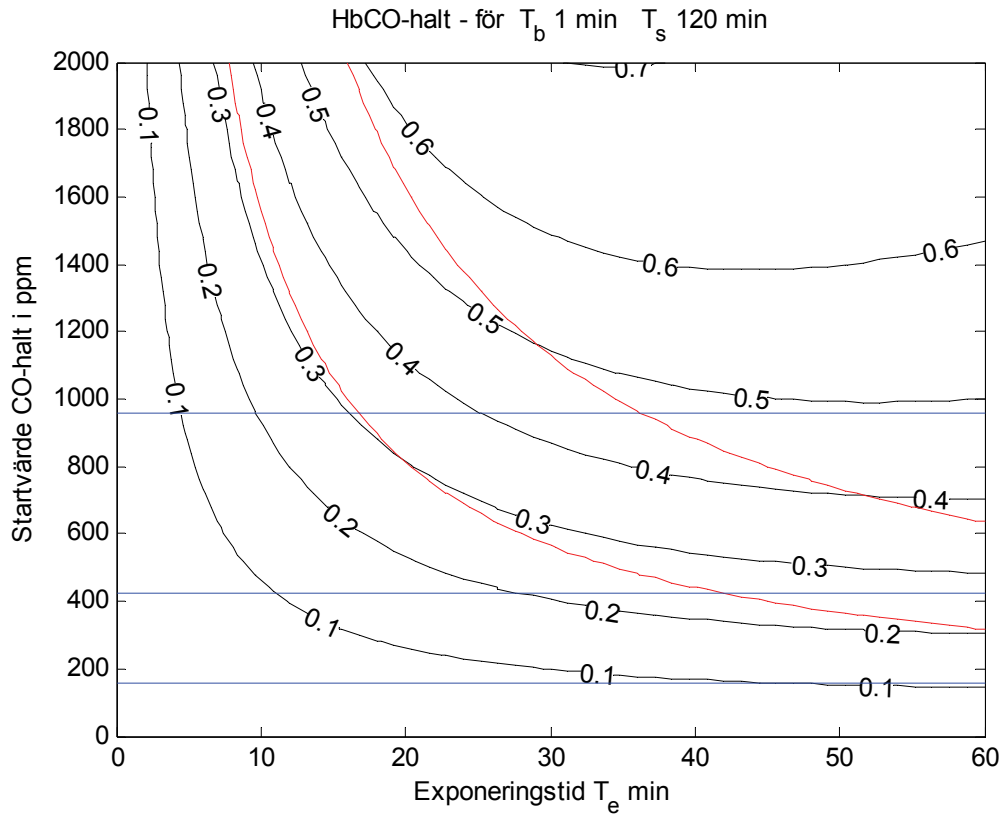
Hur HbCO-halten beror på exponeringstid vid exponentiellt avtagande CO-halt under utvärdringsfasen efter spridningsfasen redovisas i Figur 4.1-6 för sex kombinationer mellan blodets omloppstid 1.0 och 0.5 min och ventilationens omsättningstid 120, 60 och 30 min.

Sambandet mellan exponeringstid, CO-halt (startvärde) och resulterande HbCO-halt redovisas med isolinjer samma sätt som i avsnitt 3 i Figur 4.1-6 med samma övriga hjälplinjer.

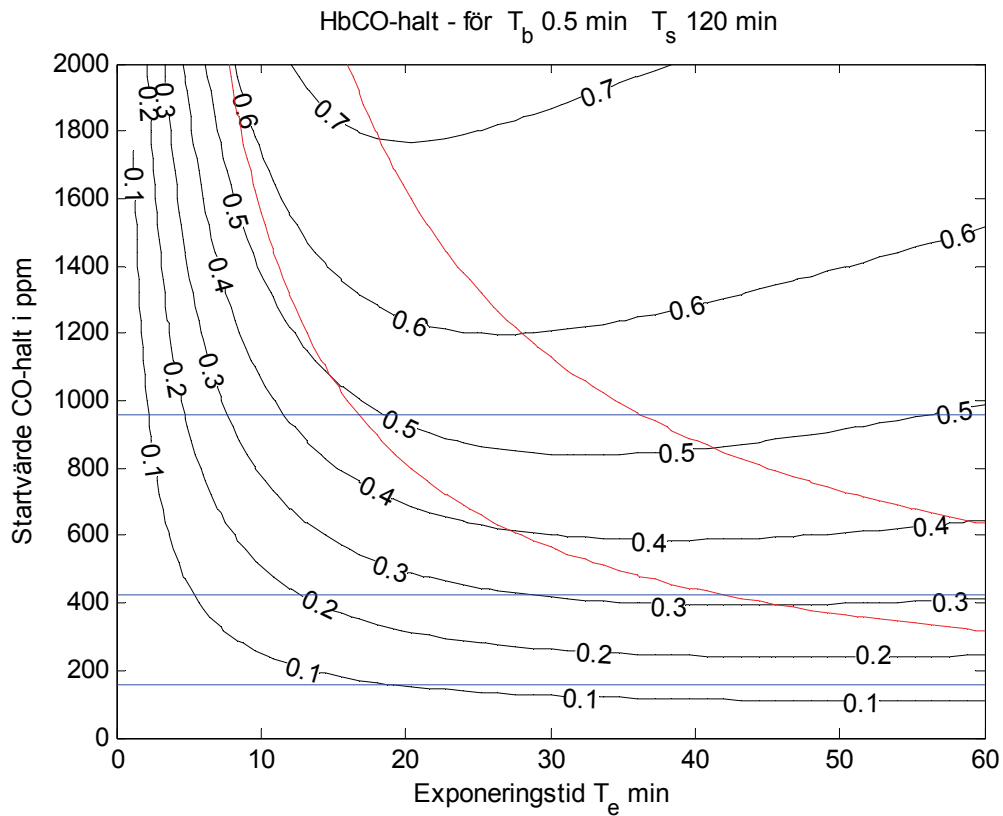
Fyra enskilda värden redovisas för varje kombination i Tabell 4.1 med avläsningar för exponeringstiderna 30 och 60 min och CO-halterna 500 och 1000 ppm. CO-dosen redovisas normaliserad mot 30 000 ppmmin. En enkel jämförelse mellan halten HbCO och dosen COs görs med  $(\text{HbCO}/0.5)/(\text{COs}/30\ 000)$  för att visa hur dosen COs kan underskatta ett farligt HbCO-värde omkring 0.5. Siffrorna i Tabell 4.1 visar att förhållandet mellan HbCO-värde och CO-dos enligt kolumn (7) varierar en faktor 2.

Tabell 4.1 Indata och resultat för simuleringsfall med avklingande CO-halt.

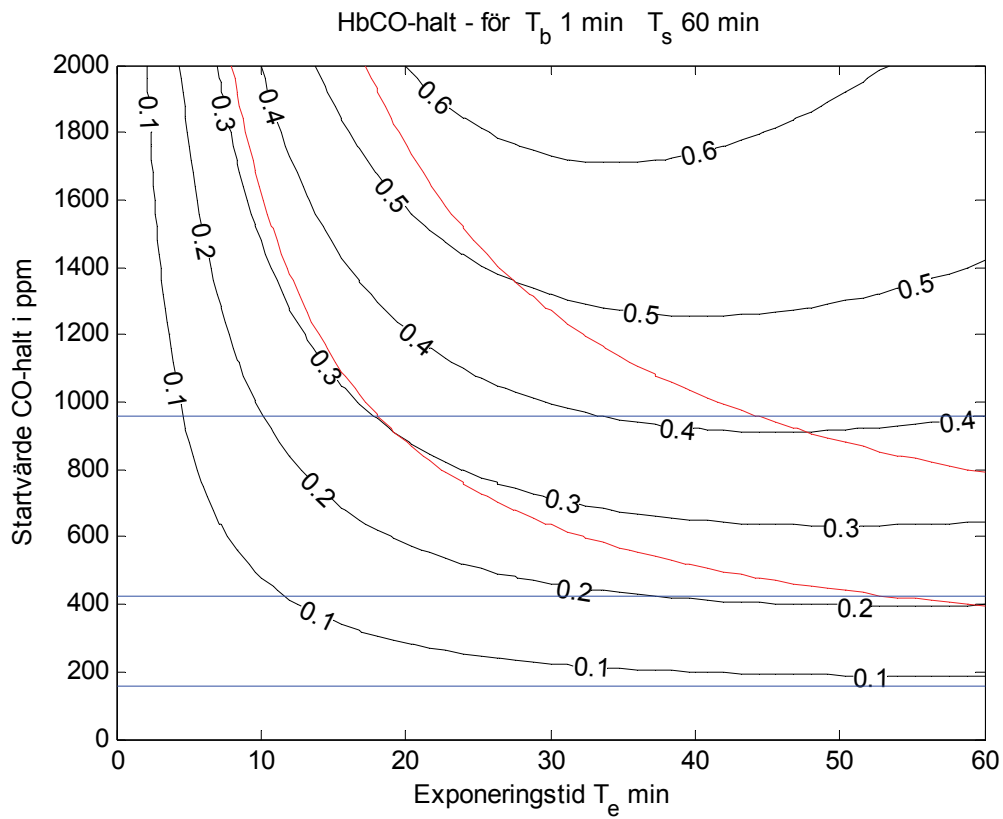
$T_b$ min	$T_s$ min	$T_e$ min	CO ppm	HbCO	COs/3e4	2·(5)/(6)	Figur
1.0	120	30	500	0.244	0.442	1.102	4.1
1.0	120	60	500	0.308	0.787	0.782	4.1
1.0	120	30	1000	0.450	0.885	1.016	4.1
1.0	120	60	1000	0.500	1.574	0.635	4.1
0.5	120	30	500	0.347	0.442	1.570	4.2
0.5	120	60	500	0.341	0.787	0.867	4.2
0.5	120	30	1000	0.550	0.885	1.243	4.2
0.5	120	60	1000	0.503	1.574	0.639	4.2
1.0	60	30	500	0.216	0.393	1.096	4.3
1.0	60	60	500	0.243	0.632	0.770	4.3
1.0	60	30	1000	0.402	0.787	1.021	4.3
1.0	60	60	1000	0.411	1.264	0.650	4.3
0.5	60	30	500	0.308	0.393	1.564	4.4
0.5	60	60	500	0.266	0.632	0.842	4.4
0.5	60	30	1000	0.500	0.787	1.270	4.4
0.5	60	60	1000	0.407	1.264	0.644	4.4
1.0	30	30	500	0.171	0.316	1.083	4.5
1.0	30	60	500	0.159	0.432	0.737	4.5
1.0	30	30	1000	0.323	0.632	1.023	4.5
1.0	30	60	1000	0.281	0.865	0.650	4.5
0.5	30	30	500	0.243	0.316	1.541	4.6
0.5	30	60	500	0.166	0.432	0.767	4.6
0.5	30	30	1000	0.411	0.632	1.299	4.6
0.5	30	60	1000	0.265	0.865	0.614	4.6



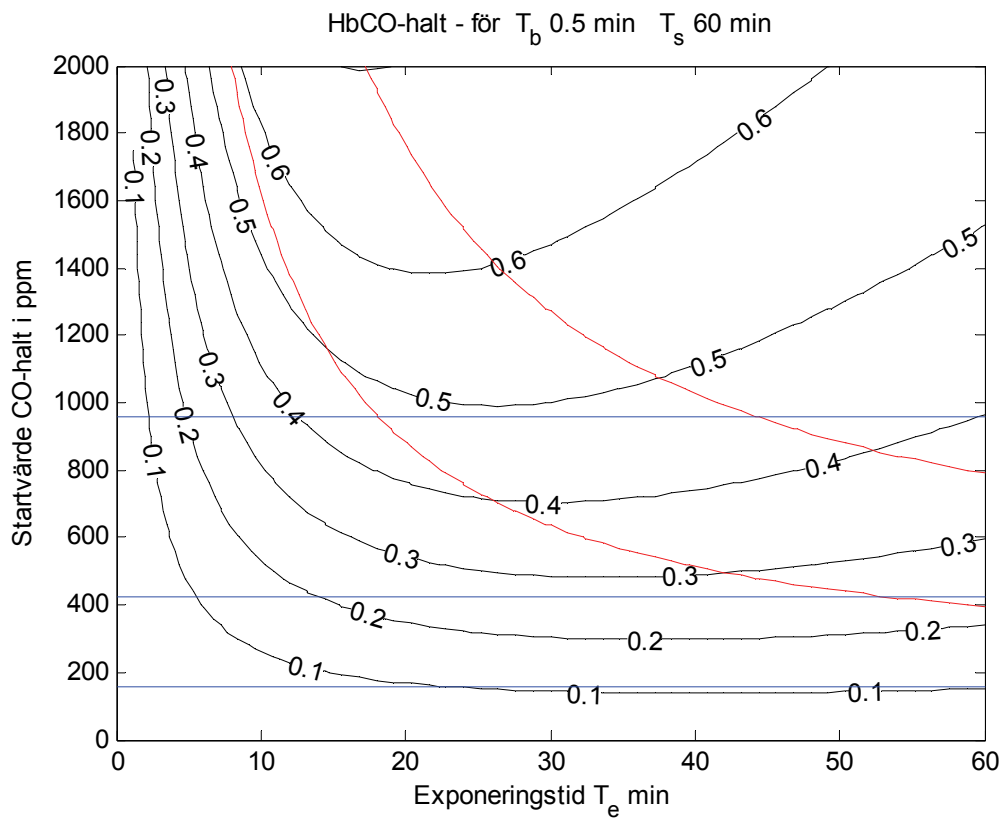
Figur 4.1 HbCO-halt för avklingande CO-halt,  $T_s = 120$  min och  $T_b = 1$  min.



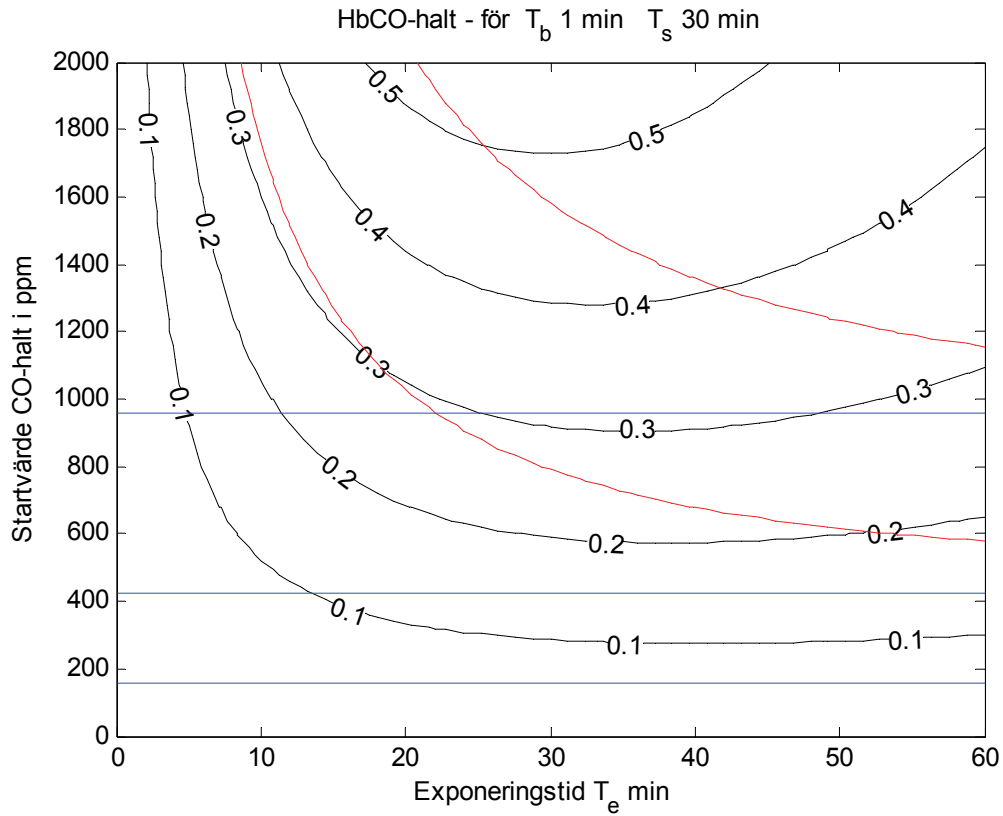
Figur 4.2 HbCO-halt för avklingande CO-halt,  $T_s = 120$  min och  $T_b = 0.5$  min.



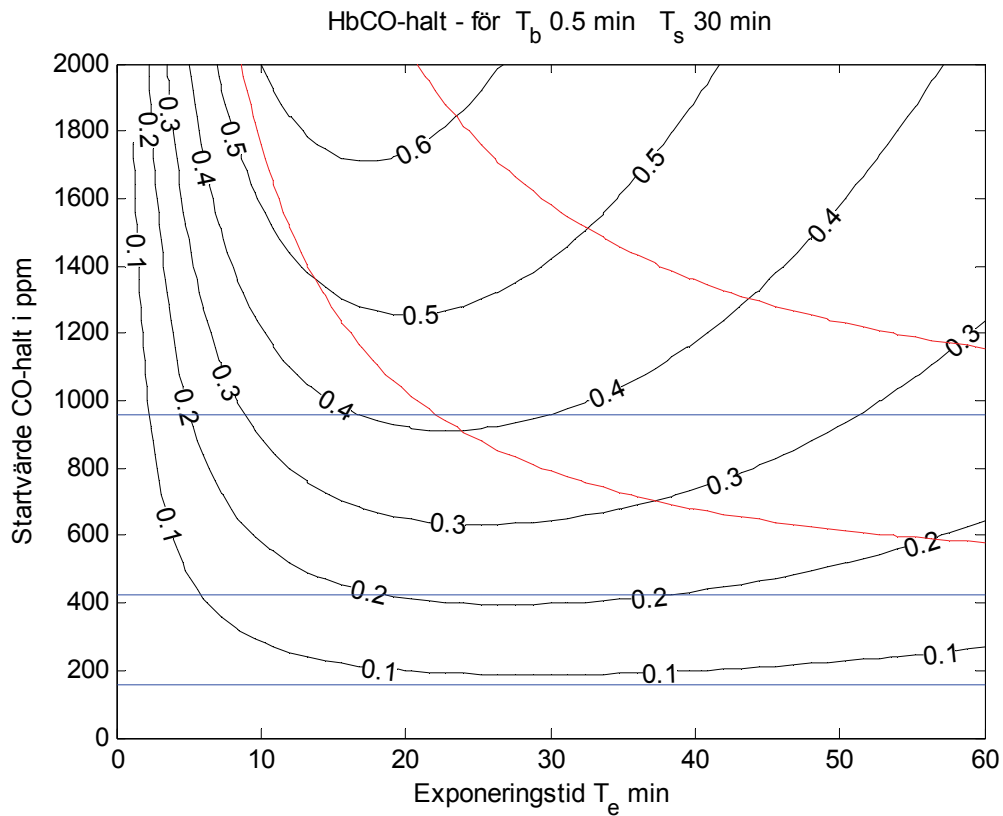
Figur 4.3 HbCO-halt för avklingande CO-halt,  $T_s = 60$  min och  $T_b = 1$  min.



Figur 4.4 HbCO-halt för avklingande CO-halt,  $T_s = 60$  min och  $T_b = 0.5$  min.



Figur 4.5 HbCO-halt för avklingande CO-halt,  $T_s = 30$  min och  $T_b = 1$  min.



Figur 4.6 HbCO-halt för avklingande CO-halt,  $T_s = 30$  min och  $T_b = 0.5$  min.

## 5 HbCO-nivå vid linjärt ökande CO-halt

Hur HbCO-halten beror på exponeringstid vid konstant tillförsel av CO redovisas i Figur 5.1-8 för åtta kombinationer mellan blodets omloppstid 1.0 och 0.5 min och utan ventilation och med ventilationen med omsättningstiderna 120, 60 och 30 min.

Konstant tillförsel av CO är en förenkling av vad som sker under själva spridningen av brandgaser, vilket sker under förhållandevis kort tid i förhållande till ventilationens tidskala eller omsättningstid.

De angivna CO-halterna i detta avsnitt avser slutvärdet för ett fall utan ventilation efter den givna exponerings- och ramptiden.

Sambandet mellan exponeringstid, CO-halt (slutvärde om ingen ventilation) och resulterande HbCO-halt redovisas med isolinjer för HbCO-halt med exponeringstid som x-axel och CO-halt som y-axel. Isolinjer redovisas också för CO-dosen 15 000 och 30 000 ppmmin. Linjer för CO-halter 160, 427 och 960 ppm motsvarande HbCO-jämviktshalt 0.2, 0.4 och 0.6 återfinns också i Figur 5.1-6.

Notera att tidsaxel omfattar endast 0-6 min och inte som tidigare i avsnitt 3 och 0-60 min. Skälet är att spridningsfasen är kort.

Fyra enskilda värden redovisas för varje kombination i Tabell 5.1 med avläsningar för exponeringstiderna 3 och 6 min och CO-halterna 500 och 1000 ppm. CO-dosen redovisas normaliserad mot 30 000 ppmmin. En enkel jämförelse mellan halten HbCO och dosen COs görs med  $(\text{HbCO}/0.5)/(\text{COs}/30\,000)$  för att visa hur dosen COs kan underskatta ett farligt HbCO-värde omkring 0.5.

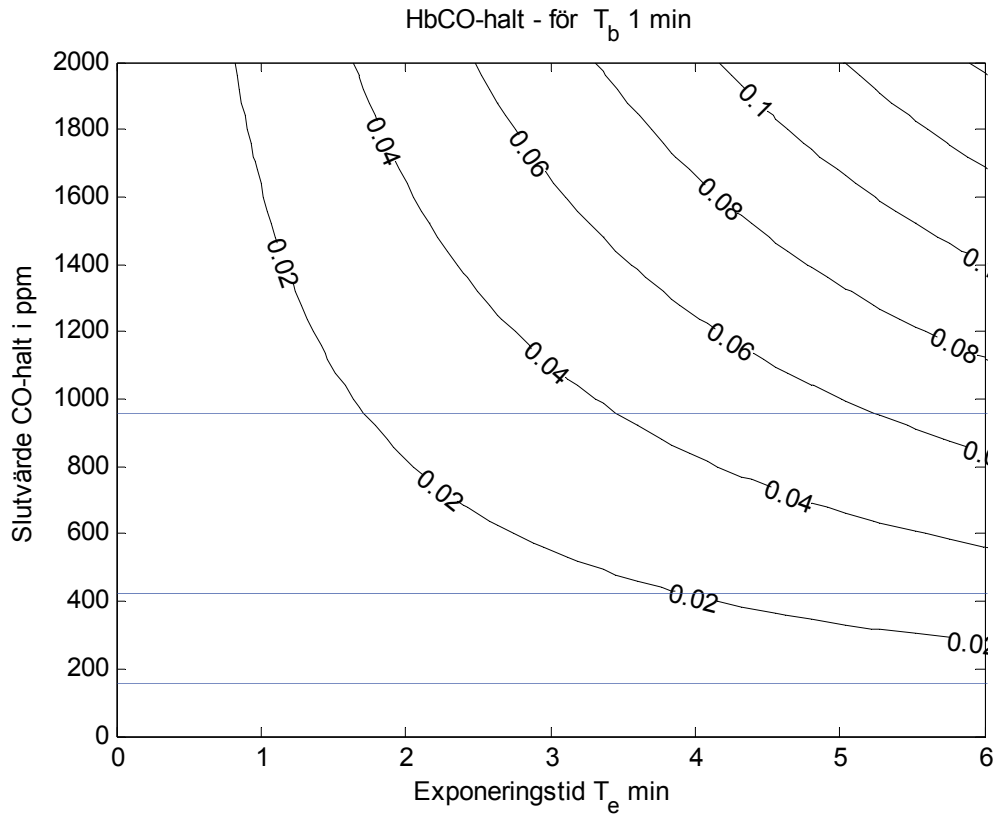
CO-dosen är högst för fallet utan ventilation och kan för detta fallet beräknas som halva produkten mellan slutvärde och spridningstid. Siffrorna i Tabell 5.1 visar att CO-dosen endast påverkas marginellt. Förhållande mellan HbCO-värde och CO-dos är något avrundat 1.4 och 2.8 beroende på aktivitet bestämd av blodets omsättningstid  $T_b$  1 respektive 0.5 min.

Siffrorna i Tabell 5.1 visar också att ventilationen påverkar både HbCO-värde och CO-dos marginellt. Spridningstiden är högst en 1/5-del av ventilationens omsättningstid och som lägst en 1/40-del.

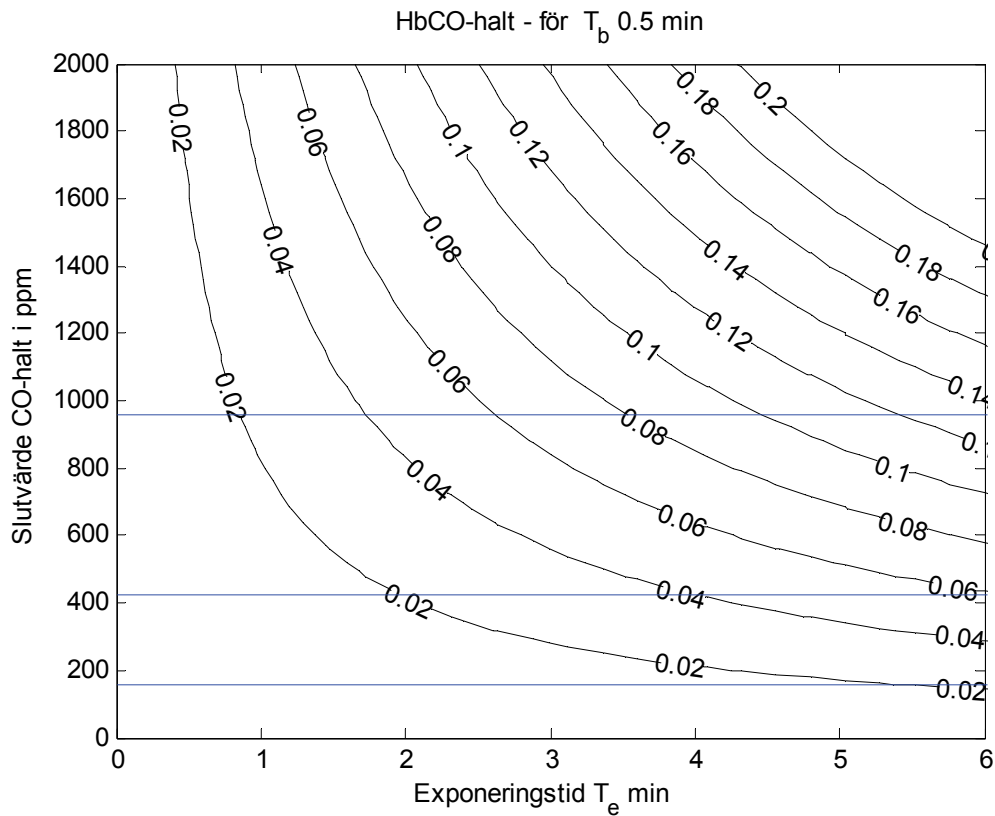
HbCO-värden är inte försumbara. De är proportionella mot CO-dosen  $C_{bgs}T_{bgs} / 2$  och omvänt proportionella mot blodets omsättningstid  $T_b$ .

Tabell 5.1 Indata och resultat för simuleringsfall med linjärt ökande CO-halt.

T <sub>b</sub> min	T <sub>s</sub> min	T <sub>e</sub> min	CO ppm	HbCO	COs/3e4	2·(5)/(6)	Figur
1.0	-	3	500	0.018	0.025	1.453	5.1
1.0	-	6	500	0.036	0.050	1.429	5.1
1.0	-	3	1000	0.036	0.050	1.452	5.1
1.0	-	6	1000	0.071	0.100	1.427	5.1
0.5	-	3	500	0.036	0.025	2.858	5.2
0.5	-	6	500	0.069	0.050	2.764	5.2
0.5	-	3	1000	0.071	0.050	2.854	5.2
0.5	-	6	1000	0.138	0.100	2.752	5.2
1.0	120	3	500	0.018	0.025	1.452	5.3
1.0	120	6	500	0.035	0.049	1.429	5.3
1.0	120	3	1000	0.036	0.050	1.452	5.3
1.0	120	6	1000	0.070	0.098	1.427	5.3
0.5	120	3	500	0.035	0.025	2.858	5.4
0.5	120	6	500	0.068	0.049	2.764	5.4
0.5	120	3	1000	0.071	0.050	2.854	5.4
0.5	120	6	1000	0.135	0.098	2.752	5.4
1.0	60	3	500	0.018	0.025	1.452	5.5
1.0	60	6	500	0.035	0.048	1.429	5.5
1.0	60	3	1000	0.036	0.049	1.452	5.5
1.0	60	6	1000	0.069	0.097	1.427	5.5
0.5	60	3	500	0.035	0.025	2.858	5.6
0.5	60	6	500	0.067	0.048	2.763	5.6
0.5	60	3	1000	0.070	0.049	2.853	5.6
0.5	60	6	1000	0.133	0.097	2.751	5.6
1.0	30	3	500	0.018	0.024	1.452	5.7
1.0	30	6	500	0.033	0.047	1.428	5.7
1.0	30	3	1000	0.035	0.048	1.452	5.7
1.0	30	6	1000	0.067	0.094	1.426	5.7
0.5	30	3	500	0.035	0.024	2.857	5.8
0.5	30	6	500	0.065	0.047	2.762	5.8
0.5	30	3	1000	0.069	0.048	2.853	5.8
0.5	30	6	1000	0.129	0.094	2.750	5.8

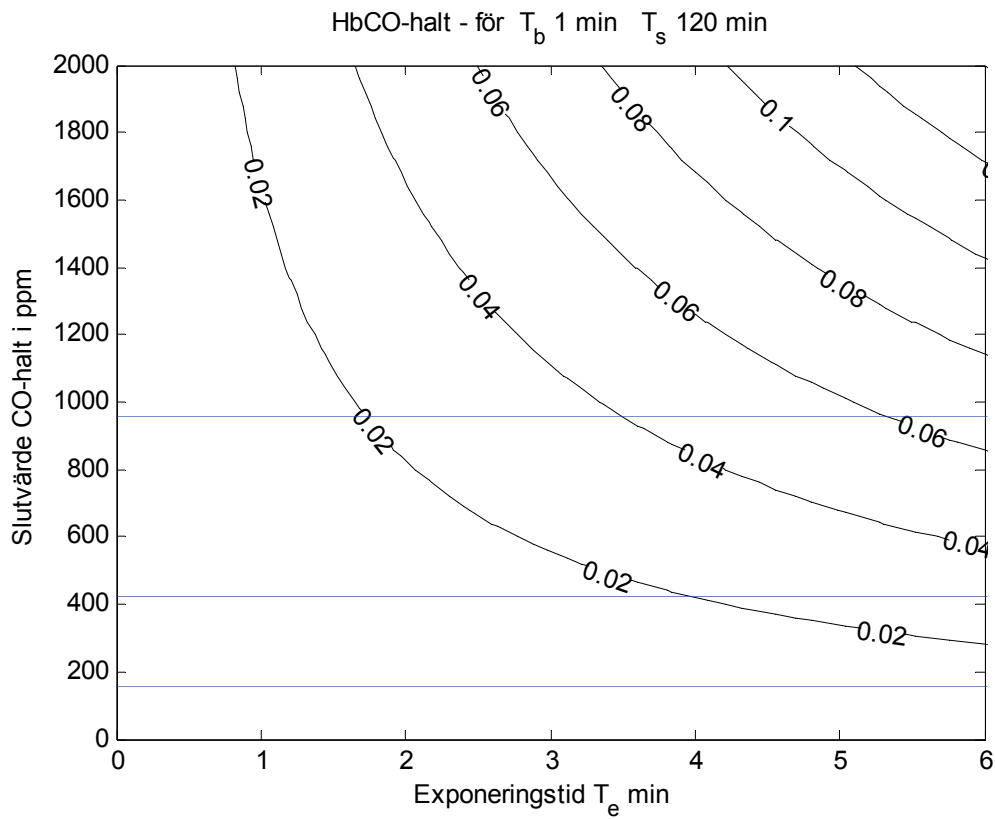


Figur 5.1 HbCO-halt för ökande CO-halt, utan ventilation och  $T_b = 1$  min.

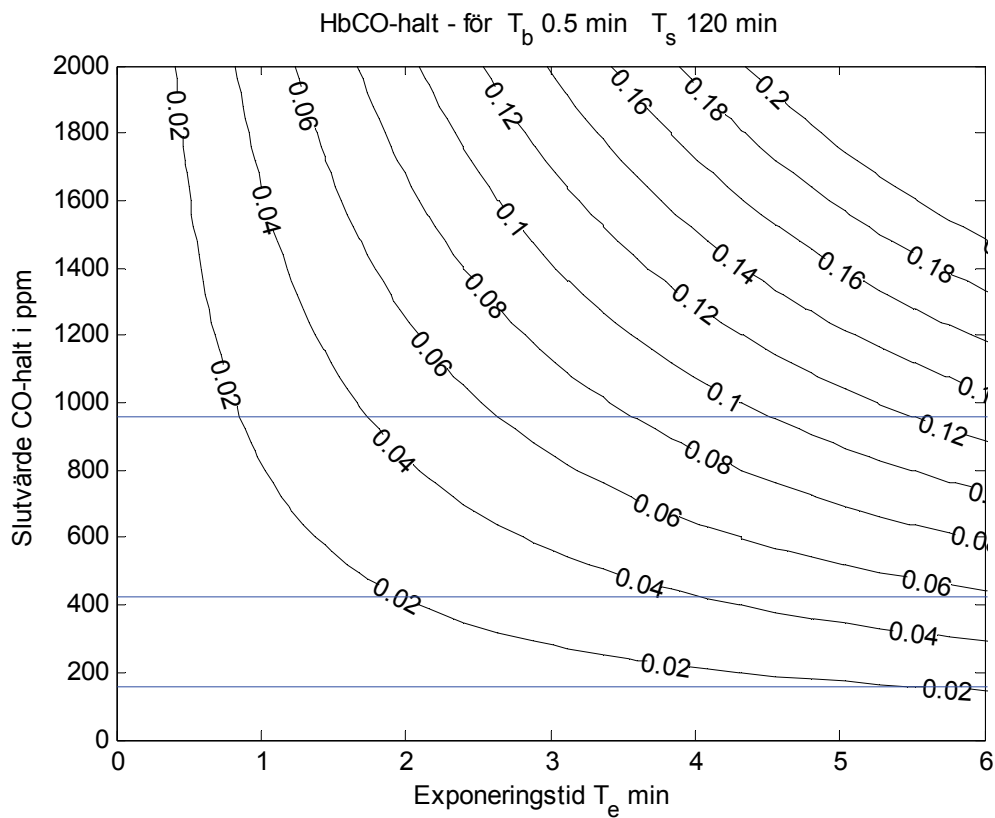


Figur 5.2 HbCO-halt för ökande CO-halt, utan ventilation och  $T_b = 0.5$  min.

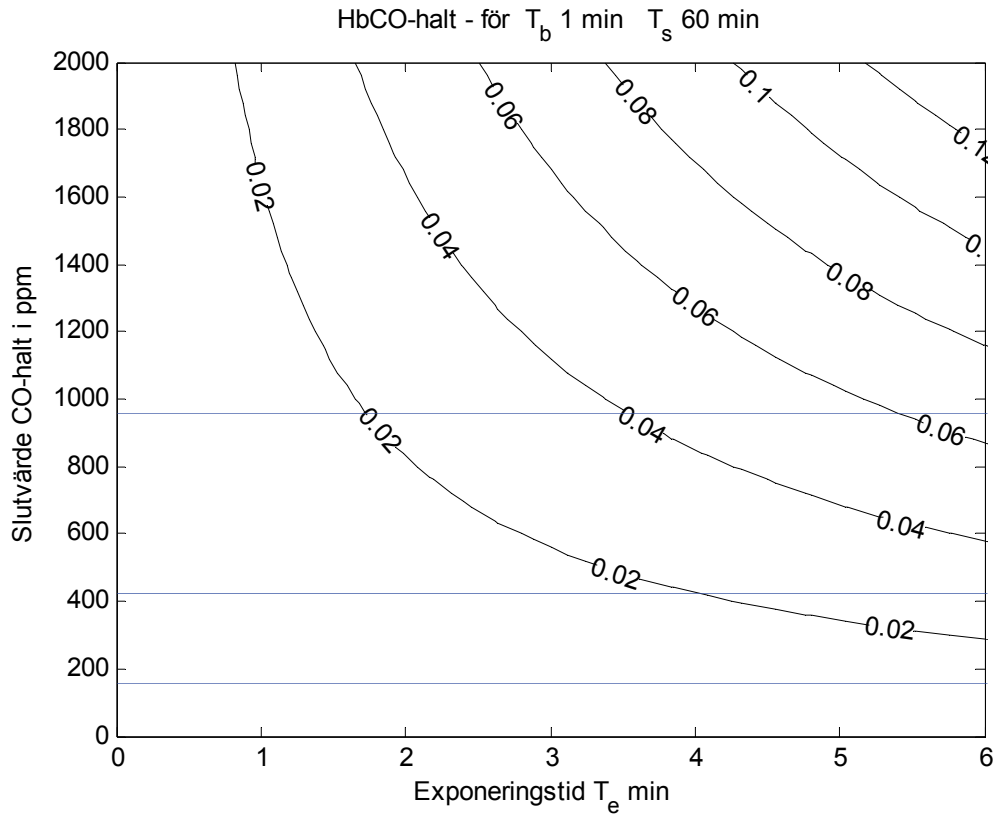




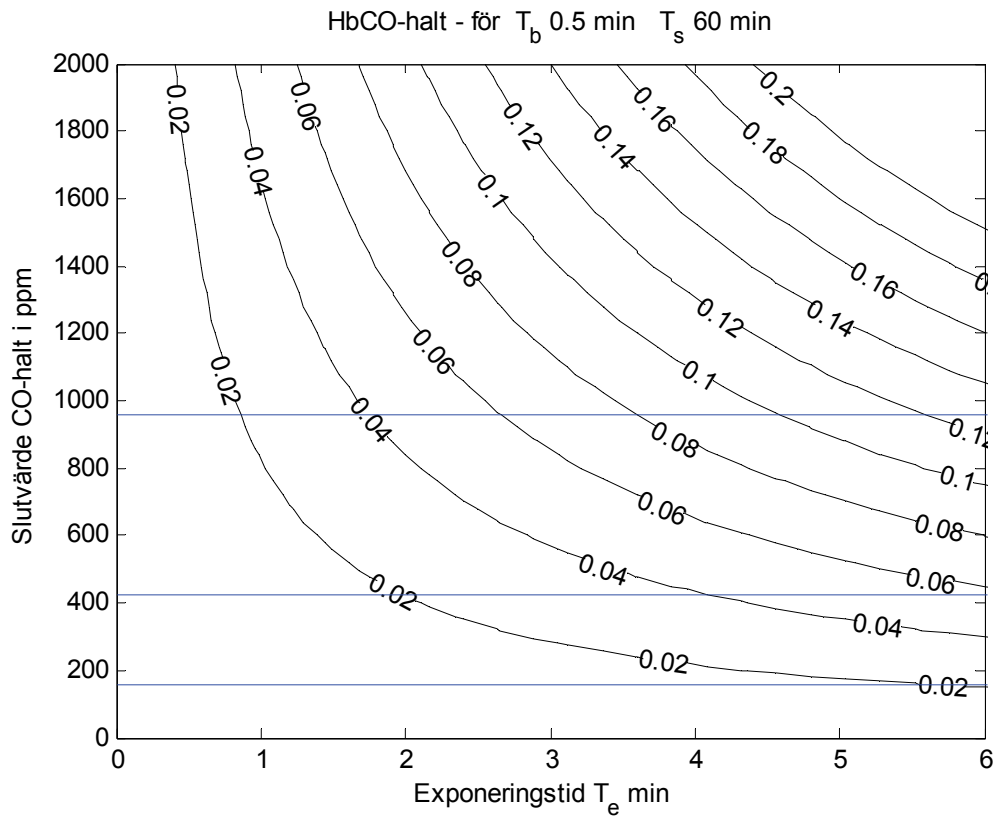
Figur 5.3 HbCO-halt för ökande CO-halt,  $T_s = 120$  min och  $T_b = 1$  min.



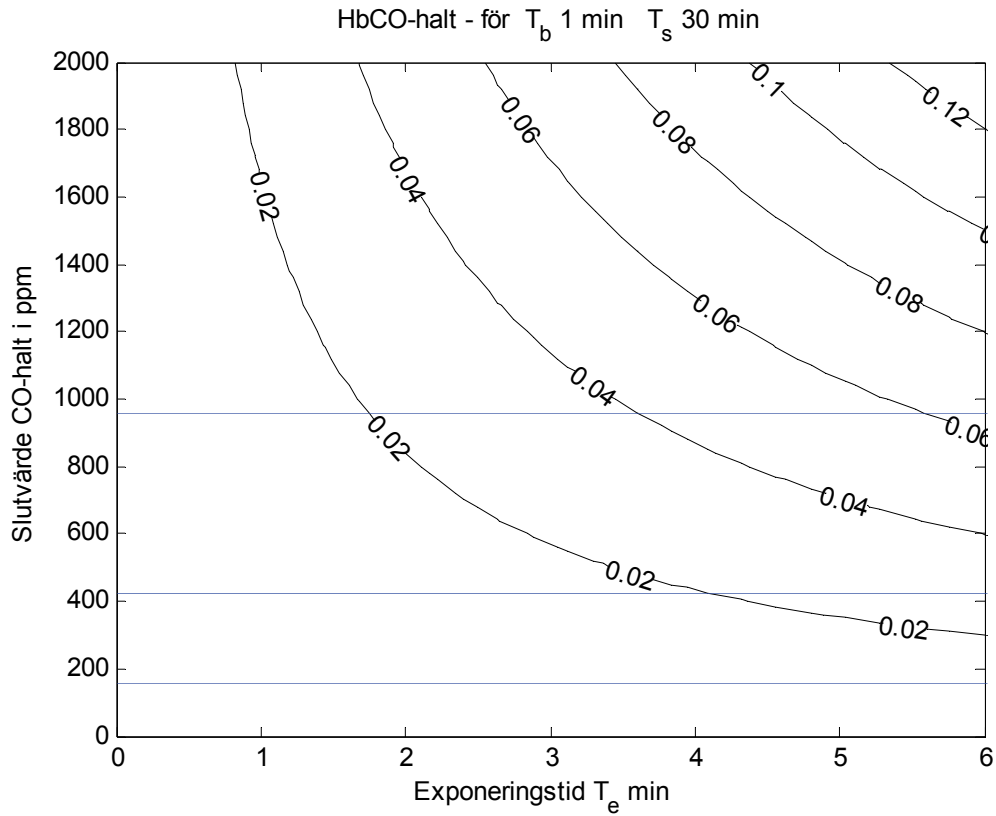
Figur 5.4 HbCO-halt för ökande CO-halt,  $T_s = 120$  min och  $T_b = 0.5$  min.



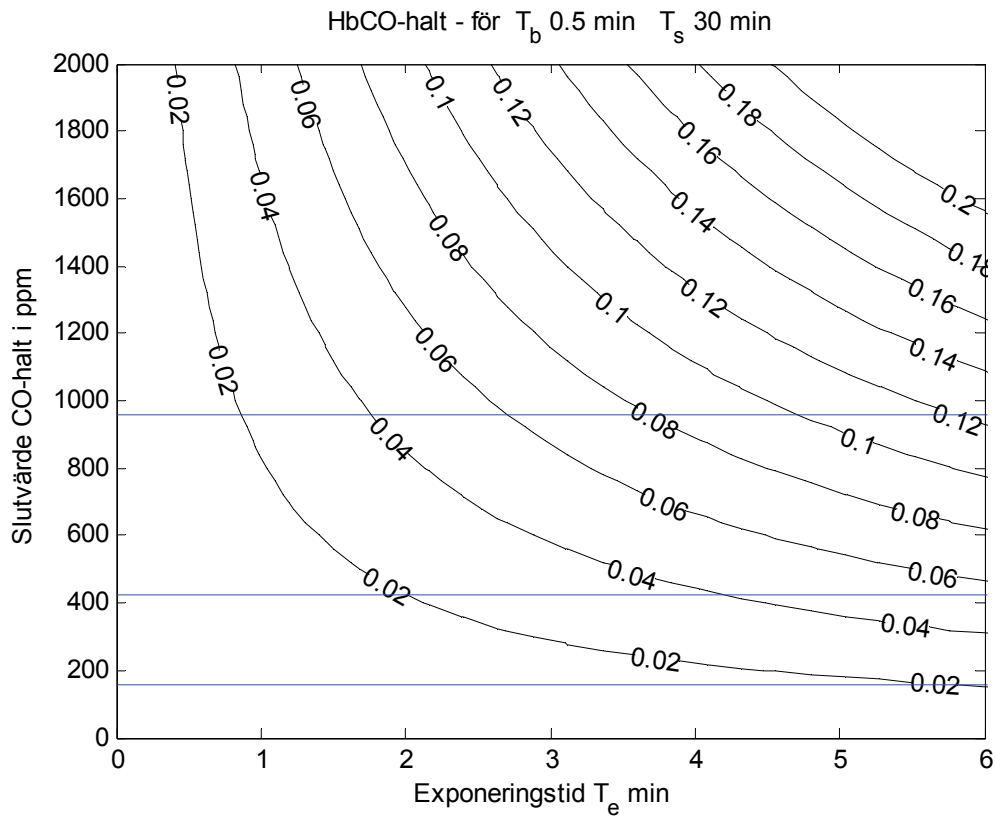
Figur 5.5 HbCO-halt för ökande CO-halt,  $T_s = 60$  min och  $T_b = 1$  min.



Figur 5.6 HbCO-halt för ökande CO-halt,  $T_s = 60$  min och  $T_b = 0.5$  min.



Figur 5.7 HbCO-halt för ökande CO-halt,  $T_s = 30$  min och  $T_b = 1$  min.



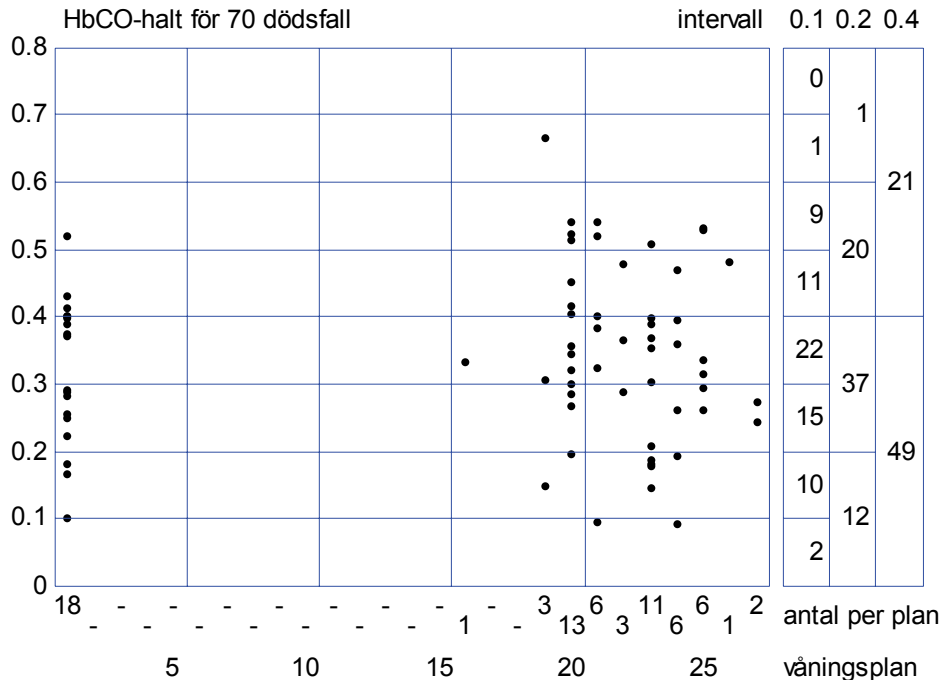
Figur 5.8 HbCO-halt för ökande CO-halt,  $T_s = 30$  min och  $T_b = 0.5$  min.

## 6 HbCO-nivå vid dödlig brandgasförgiftning

Detta avsnitt bygger på en genomgång av den officiella brandrapporten från Clark County Fire Department för en brand i MGM Grand Hotel/Casino i Las Vegas som inträffade den 21 november 1980. Branden var då den näst största dödsolyckan för en hotellbrand i USA. Totalt omkom 85 personer och omkring 5000 personer fanns i byggnadskomplexet med 2076 gästrum, när branden startade kl 07. Dödsorsaken var för 75 av dessa angiven som inandning av brandgaser och kolmonoxid. Enbart inandning av brandgaser angavs som dödsorsak i fyra fall, enbart brand i ett fall, brand och inandning av brandgaser i tre fall, ett dödshopp och ett fall med hjärtproblem. Sjukhusen behandlade totalt 650 personer. Omkring 300 brandbekämpare upplevde symptom av brandgaser och kolmonoxid.

Tillgängliga HbCO-värden för 70 omkomna redovisas i Figur 6.1 som funktion av våningsplan och med olika intervallsummeringar. Plan 27 anger takplan. Antalet omkomna fördelade sig på 18 på bottenplanet i casinodelen och 52 på våningsplan 16 eller högre. Notera att för de fyra 0.2-intervallen är symptomen lindriga, måttliga, allvarliga och dödliga och att 49 omkomna hade ett HbCO-värde under 0.4, vilket skall ge måttliga symptom.

Slutsatsen blir att CO-förgiftningen kan inte ensam ha orsakat dödsfallen utan brandgaserna har haft stor betydelse.



Figur 6.1 HbCO-värden för sjuttio omkomna som funktion av våningsplan med olika intervallsummeringar för en brand i MGM Grand Hotel/Casino i Las Vegas.

Ett problem med att bedöma CO-förgiftningens farlighet är att det går inte att genomföra experiment. Det tas inte heller HbCO-prov på överlevande omedelbart efter det att de utrymt en brandutsatt byggnad. Det finns viktigare saker att ta hand om. Symptom kan givetvis observeras och dokumenteras. Det tar dock en viss tid för en CO-förgiftning att vädras ut ur kroppen och det finns en möjlighet att från senare HbCO-provtagning uppskatta HbCO-värdet för tidpunkten när den brandutsatta byggnaden lämnades. Aktivitet och CO-halt efter utrymningen har stor betydelse för baklängesräkningen, vilket gör den mycket osäker.

Brandgasspridning skedde från hotellets lågdel med casino, konferenslokaler, affärslokaler och olika restauranger via hisshackt och två dåligt avskilda och otäta jordbävningsspalter mellan högdelens tre byggnadskroppar. Några trapphus var också dåligt avskilda. Hisschakten förvärrade brandgasspridningen genom att hissautomatik parkerade hissar på bottenplanet med öppna dörrar. Detta fick till följd att två hisskorgar störtade ner och öppnade hisschakten helt för brandgasspridning från bottenplanet.

Brandgaspridning via ventilationssystemet nämns på sidan X-9 i den preliminära expert-rapporten och de sju sista rapportraderna återges här nedan.

*As far as can be determined, the air handling equipment was not equipped with smoke detectors arranged to shut down the systems upon sensing products of combustion. In addition some fire dampers were disabled so that they could not close when the fusible links melted and others did not close completely.*

*The fan coil units in the guest rooms most likely contributed to the movement of products of combustion from the corridors to the guest rooms. These fan units were not directly connected to any vertical air shaft and provided a method for smoke spread that may also have contributed to several fatalities.*

Ventilationssystemet hade inte rökdetektorer för att stänga ner ventilationen vid brand. Brandgasspjäll med smältbleck fanns, men var satta ur funktion eller stängde inte helt. Gästrummens luftkonditioneringsystem tog luft från korridoren till rummen, vilket utsatte rummen för brandgasspridning.

Brandexperten John Klote undersökte hotellet och drog följande slutsatser om brandgasspridningen och nedan återges två meningar från ett svar på en fråga om passivt brandskydd.

*We could see smoke tracks around the elevator doors on the upper floor where so many people died, and there were no other obvious smoke tracks indicating another significant path. So it appeared that the major path of smoke flow to the upper floors was through the elevator shafts.*

Byggnadskomplexets ventilationssystem beskrivs inte alls med principalscheman eller några ritningar i den officiella brandrapporten. Det går därför inte att göra en egen fristående bedömning om brandgasspridning. Slutsatsen blir med ovanstående experttexter att brandgasspridning skedde huvudsakligen via hisschakten och inte långväga via ventilationssystemet utan bara den sista biten mellan korridor till gästrum. Alla omkomna i hotelldelen återfanns i gästrum, i korridorer, trapphus eller hissar mycket nära hissarna i hjärtat av den T-formade hotelldelen med tre långa flyglar. Endast sex personer utav 67 återfanns längre än sex rum ut från hissarna i flygelkorridorerna varav en med femton rum och två med arton rum.

## 7 Sammanfattning och slutsatser

Det skall här avslutningsvis påpekas att rapporten skrivits under kort tid och att den bygger på tre samband/antagande och de är följande:

Jämviktssamband mellan blodets HbCO-halt och luftens CO-halt enligt (2.1).

Fullständig gasupptagning för blodet motsvarar 0.04 av luftens gashalt.

Fullständig omblandning råder i den volym som brandgasspridning sker till.

Rapportens resultat och slutsatser för de fem avsnitten 2-6 kan sammanfattas som följer.

Jämviktssambandet mellan blodets HbCO-halt och luftens CO-halt, som redovisas i Figur 2.1, innebär att för en given CO-halt kan HbCO-halten inte överskrida jämviktsvärdet oberoende av exponeringstid. Det går därför att ange gränser för högsta CO-halt som motsvarar en given CO-halt. Symptomen lindriga, måttliga och allvarliga har en övre HbCO-gräns lika med 0.2, 0.4 respektive 0.6, vilket motsvaras av CO-halterna 160, 427 och 960 ppm.

Exponering med konstant CO-halt, som redovisas i avsnitt 3, visar att det kan skilja mellan HbCO-halt och CO-dos. Siffror och kurvor visar att CO-dosen underskattar risken vid höga CO-halter och tvärtom. Notera att CO-dosen ökar linjärt med exponeringstiden, medan HbCO-kurvorna svänger in om respektive jämviktsnivå för CO-halt.

Isokurvorna för HbCO-halt med avklingande CO-halt i avsnitt 4 avtar först och ökar därefter som funktion av exponeringstiden. Detta framgår dock inte för alla kurvor eftersom tidsintervallet är begränsat. Detta innebär att det för en given avklingande CO-halt alltid finns en exponeringstid som ger den högsta HbCO-halten. HbCO-halten ökar fram till denna tidpunkt eller exponeringstid och därefter avtar HbCO-halten. Den avklingande CO-halten är i denna växlingspunkt lika med jämviktsvärdet för motsvarande HbCO-halt.

Både redovisade siffror och kurvor i avsnitt 5 visar att ventilationen under spridningsfasen påverkar HbCO-halten och CO-dosen marginellt, eftersom denna fas antas vara förhållandevis kort jämfört med ventilationens omsättningstid. En mindre överskattning av HbCO-halt och CO-dos kan ske genom att beräkna för fallet utan ventilation. CO-dosen beräknas enkelt som halva produkten mellan CO-slutvärde och spridningstid.

HbCO-halten för spridningsfasen är liten, men inte alltid försumbar.

Ett helt brandgasspridningsscenario består av en spridningsfas följt av en utvärdringsfas. Det totala HbCO-värdet och CO-dosen kan uppskattas genom att summera de två fasernas värden från avsnitt 4 respektive 5. Denna summering innebär en mindre överskattning, eftersom CO-startvärdet för avklingningsfasen är lägre på grund av ventilation än det slutvärde som gäller för spridningsfasens beräkning. Något som ökar överskattningen är att avklingningsfasen i avsnitt 5 startar med HbCO-halt noll, men med ett HbCO-värde större än noll efter spridningsfasen minskar detta CO-upptagningen.

Fallet för den redovisade hotellbranden i avsnitt 6 visar att CO-förgiftning inte ensam kan vara orsaken till dödsfallen. Antalet omkomna summerade i symptomgrupperna för CO-förgiftning lindrig, måttlig, allvarlig och dödlig är 12, 37, 20 respektive 1. Gruppen med lindriga och måttliga symptom är 49 utav 70 omkomna.

Den huvudsakliga brandgasspridningen skedde genom hisschakt till de övre planen i hotelldelen och från korridorer till gästrummen via dess luftkonditioneringsenheter. Av de 67 omkomna i hotelldelen återfanns 61 omkomna i gästrum, korridorer, hissar och trapphus på ett avstånd högst en tredjedels korridorlängd från hissarna.

Den officiella brandrapporten behandlar brandorsaken på bottenplanet mycket ingående (vem är den skyldige). Ventilationssystemet beskrivs inte alls med ritningar eller principalscheman bortsett från några anmärkningar, vilket i sin tur är anmärkningsvärt.