

KOLMONOXIDEXPONERING VID GASSVETSNING

Svensk Fjärrvärme



KOLMONOXIDEXPONERING VID GASSVETSNING

Rapport

Jan Eriksson, Svensk Fjärrvärme

Rapporten bygger på en studie finansierad av
Svensk Fjärrvärme, genomförd av IVL,
Svenska Miljöinstitutet

Innehållsförteckning

1.	Förord	5
2.	Sammanfattning	6
2.1.	Kolmonoxidrisken föga känd	6
2.2.	Tillgången på syre är avgörande – men många faktorer spelar in	6
2.3.	Förutsätt alltid risk för kolmonoxidexponering	7
2.4.	Riskbedömning och förebyggande åtgärder.....	7
3.	Den undersökning som gjordes	8
3.1.	Beräkning av kolmonoxid.....	8
3.2.	Mätresultat.....	9
3.3.	Svetsarnas erfarenheter och teoretiska beräkningar	10
4.	Arbetsgivarens ansvar	10
4.1.	Riskbedömning	10
5.	Förebyggande åtgärder	11
5.1.	Personlig skyddsutrustning	11
5.2.	Undvik ensamarbete.....	11
5.3.	Svetsning i öppet schakt	11
5.4.	Svetsning i trånga utrymmen	11
5.5.	Avluftning av ledning.....	11
6.	Kolmonoxid	12
6.1.	Hälsorisker.....	12
6.2.	Symptom	12
7.	Gassvetsning	13
7.1.	Enkel, billig och gammal metod	13
7.2.	Frågan om kolmonoxidutveckling.....	13
7.3.	Svetslågan.....	14
7.4.	Utan syre bildas kolmonoxid	14

Bilaga 1

Exempel på en vägledning för riskhantering vid gassvetsning och avluftning

Referenser

Bilaga 2

Rapport U2828 – Exponering för koloxid vid gassvetsning av rör för fjärrvärme
Bengt Christensson, yrkeshygieniker, IVL Svenska Miljöinstitutet, 2010-06-22

1. Förord

Denna rapport innehåller fakta om gassvetsning och kolmonoxid. Med den vill vi ge en bild av hur kolmonoxid utvecklas vid gassvetsning och hur man med ganska enkla medel kan förebygga och undanröja riskerna.

Fjärrvärmebranschen har installerat distributionsledningar för fjärrvärme och fjärrkyla i drygt 60 år utan allvarliga problem vid avluftning . Därför blev vi tagna på sängen av den oerhört tragiska olyckan då en svetsare avled av kolmonoxidförgiftning i ett pannrum, när han övervakade avluftningen av fjärrvärmeledningen.

Branschorganisationen Svensk Fjärrvärme, som har till uppgift att stödja och hjälpa sina medlemmar med råd och anvisningar, såg mycket allvarligt på olyckorna och tillsatte en utredning. En grupp bestående av representanter från Arbetsmiljöverket, Svetskommissionen, Svenska Miljöinstitutet, Föreningen Fjärrvärmeentreprenörerna, Källby Rör, Jönköping Energi och Svensk Fjärrvärme träffades för att diskutera orsaker och försöka finna lösningar på problemet.

Jag vill rikta ett stort tack till alla kolleger i branschen som på olika sätt har bidragit till innehållet i denna rapport. Ett speciellt tack till Anders Ericsson på Rörbolaget i Bromma, som ställde upp med utrustning och bemanning under svetstesterna, och till Bengt Christensson på Svenska Miljöinstitutet, för väl utförda mätningar och kritisk granskning av mätresultaten.

Jan Eriksson

Stockholm, den 3 november 2010

2. Sammanfattning

Avluftning av rörsystem för fjärrvärme är ett rutinuppdrag som görs mer eller mindre dagligen i Sverige. Mellan februari 2008 och oktober 2009 inträffade dock tre arbetsplatsolyckor vid fjärrvärmeinstallationer där personer blev allvarligt skadade, en så allvarligt att han dog.

De första nyhetsrapporteringarna meddelade att personalen utsatts för skällning i samband med avluftning av fjärrvärmeledningar. Utredningen från dödsolyckan visade dock att svetsaren, en ung man, hade 46 procent kolmonoxid i blodet. Enligt medicinsk expertis är 40 procent en dödlig halt. Dödsorsaken kunde senare fastställas till kolmonoxidförgiftning.

Gemensamt för olyckorna var att fjärrvärmerören sammanfogats med gassvetsning, att avluftningen skedde i trånga utrymmen inomhus och att de skadade utsattes för skällning av fjärrvärmevattnet. Dessutom visade utredningarna av olyckorna att kolmonoxidförgiftning inte hade tagits med vid riskbedömningen.

Med anledning av de tragiska olyckorna tog fjärrvärmebranschen initiativ till att utreda orsaken. På uppdrag av Svensk Fjärrvärme genomförde IVL Svenska Miljöinstitutet mätningar av kolmonoxidutveckling och -exponering vid svetsning av fjärrvärmerör i april 2010.

2.1. Kolmonoxidrisken föga känd

Det finns inte mycket skrivet om kolmonoxid vid gassvetsning och den gängse uppfattningen är att det kan bildas kolmonoxid, men att risken för att personal ska utsättas för höga halter är låg. Däremot omnämns andra farliga rökgaser och föroreningar som nitroösa gaser, icocyanater, partiklar, metalloxyder med flera. Det kan därför konstateras att kunskapen om riskerna med kolmonoxidutveckling vid gassvetsning av stålrör är liten, både inom och utanför fjärrvärmebranschen.

2.2. Tillgången på syre är avgörande – men många faktorer spelar in

Undersökningen visade att kolmonoxid bildas när man använder acetylen och syrgas vid gassvetsning och gasskärning av stålrör samt hårdlödning av kopparrör. Den visade också att frånvaro av syre i omgivningen orsakar höga halter kolmonoxid på grund av ofullständig förbränning av acetylenet. Tillgången på syre i omgivningen och i röret är direkt avgörande för vilken mängd kolmonoxid som bildas. Fullständig förbränning av svetsgaserna förhindras när rörändarna är tillslutna med lock eller rörlängderna är långa eftersom svetsgaserna då trycks in i röret och stannar kvar tills de ventileras ut.

För att allvarliga olyckor ska inträffa krävs troligen att flera faktorer spelar in, som tillsammans leder till mycket höga halter kolmonoxid. Stålrörets dimension, antalet svetsar utmed en ledningssträcka, utrymmets volym och ventilation, avluftningsanordning, svetsmunstycke och svetsstider är faktorer som påverkar halten. Rördimensionens inverkan på kolmonoxidbildningen har dock inte analyserats i denna undersökning.

2.3. Förutsätt alltid risk för kolmonoxidexponering

Parametrar som utrymmets storlek, rördimension, antal svetsar, bränntid och ventilation kan alltså påverka kolmonoxidhalten, men risk för förgiftning finns *alltid* oavsett rörets dimension och utrymmets storlek.

Eftersom kolmonoxid är dödlig är det bättre att förutsätta att den alltid finns både i rören och i dess omgivning vid gassvetsning och vidta säkerhetsåtgärder utifrån det. Förutsätt alltså att **sannolikheten för kolmonoxidexponering är 100 procent**. Den i särklass enklaste metoden att minska risken för exponering av skadliga rökgaser är att öka ventilationen runt svets- och avluftningsstället.

2.4. Riskbedömning och förebyggande åtgärder

Arbetsgivaren har ansvaret för arbetsmiljön och för att planera, leda och följa upp arbetet. Det innefattar bland annat att kartlägga risker, utreda tillbud och olyckshändelser.

Gassvetsning, gasskärning och hårdlödning med acetylen och syrgas i trånga oventilerade utrymmen och vid avluftning av rörledningar är de i särklass viktigaste momenten att ha uppsikt över för att kunna bedöma riskerna och vidta förebyggande åtgärder.

Åtgärder före, under och efter svetsarbete måste säkerställa att varken svetsare, annan personal eller allmänhet kan komma i kontakt med rökgaser och utströmmande gaser vid svetsning och avluftning av ledningar. Det gäller att ta med allt som kan tänkas inträffa, när man gör riskbedömning, och utforma arbetsplatsen så att ett säkert svetsarbete kan utföras.

Exempel på förebyggande åtgärder:

- Informera berörda och allmänheten om riskerna
- Personlig skyddsutrustning ska vara godkänd
- Undvik ensamarbete
- Säkerställ att obehöriga inte vistas i närheten av svetsrök och utströmmande gaser vid avluftning
- Ventilera före, under och efter svetsning
- Ha beredskap att evakuera

3. Den undersökning som gjordes

Mätningarna gjordes efter ett uppgjort program, med gassvetsning på ett oisolerat stålrör med dimension DN100 av samma stålqualität som ett normalt förisolerat fjärrvärmerör. Stålröret placerades med en lutning på ca 7 grader och den totala rörlängden var 4 meter med en svetskarv 1,5 meter från nedre änden. Dessutom gjordes mätningar vid gasskärning och hårdlödning av kopparrör.

Mätningarna utfördes i en container med en luftvolym om ca 36 m³ som var försluten för att förhindra påverkan från omgivande väder och vind.



Bild 1. Försöksupställning

Kolmonoxidhalten registrerades i tre mätpunkter: i eller intill svetsarens andningszon (exponering); i övre rörändan; och i containerns frånluft, enligt Bild 2.



Bild 2. Mätning i andningszon, i rörände och i frånluft.

3.1. Beräkning av kolmonoxid

Den totala mängden kolmonoxid som fanns kvar från acetylen kunde beräknas när containerns luftomsättning reglerats och kolmonoxidhalten i frånluften, svetsmunstyckets flöde och blandningsförhållande, samt svetstiden registrerats.

Svetsning gjordes på rör med öppna respektive förslutna rörändar för att få jämförande värden. Jämförelse gjordes också mellan svetsning med ren syrgas och syrgas med luktämne samt mellan svetsning av rena och infettade stålrörsändar. Acetylgasen var

densamma under hela testet, likaså tillsatsmaterialet vid stålsvetsning. Vid hårdlödningen användes silverfosforkopparlod.

Försökens genomförande och resultat finns beskrivna i sin helhet i bilaga 2, rapporten ”Exponering för koloxid vid gassvetsning av rör för fjärrvärme”, framtagen av IVL på uppdrag av Svensk Fjärrvärme. Fakta om kolmonoxid, gassvetsning och svetslågor finns längre fram i rapporten.

3.2. Mätresultat

Halterna av kolmonoxid vid gassvetsning var desamma oavsett användning av syrgas med eller utan luktämne, detsamma gällde för rena eller infettade stäländar. Med förslutna ändar var halten kolmonoxid 10 gånger högre än vid öppna rörändar. Ett försök gjordes också, som inte redovisas i tabellen men finns beskrivet i bilaga 1, där svetsmunstycket hölls i den ena röränden med lågan riktad in i röret (ingen vidrörning av stålmaterial) och mätning gjordes i den andra. Resultatet visar på lika hög halt kolmonoxid som vid svetsning.

Med öppna ändar sprids större delen av den bildade kolmonoxiden till omgivande luft under svetsningen. Med förslutna rörändar blir förbränningen av acetylen mer ofullständig på grund av syrebrist i röret och 7–8 procent av acetylen blir då inte fullständigt oxiderad.

Vid svetsning under längre tid eller om avluftning sker i ett mindre och oventilerat utrymme kan kolmonoxidhalten överskrida 1 000 ppm vilket innebär risk för akuta skador och död.

Tabell 1. visar en sammanställning av mätresultaten vid svetsning av en (1) stålskarv och är hämtad från undersökningen. Kolumnen längst till höger visar en fiktiv halt efter cirka 15 minuters svets-, skär-, lödningsarbete i ett oventilerat utrymme med volymen 10m³.

Arbetsmoment	Exponering, ppm		Rörändar, ppm		Frånluft, ppm		Beräknad halt, ppm
	medel	max	medel	max	medel	max	
Svetsning öppna rörändar, stålrör	6	29	65	140	7	15	60
Svetsning öppna rörändar, stålrör, ren syrgas	–	–	77	140	11	18	70
Svetsning, öppna rörändar, stålrör, infettad skarv, ren syrgas	9	15	51	110	9	15	70
Svetsning lockade rörändar, stålrör	16	23	48	920	37	90	440
Skärbränning, stålrör, ren syrgas	–	–	32	160	8	16	150
Lödning, kopparrör, ren syrgas	14	22	9	180	6	19	150

Tabell 1. Sammanställning av mätresultat

Även om exponeringshalten i svetsarens andningszon var låg i försöken, kan långa brinntider göra att det hygieniska gränsvärdet överskrids, speciellt i trånga och dåligt ventilerade utrymmen. Gasskärning och hårdlödning med acetylen ger också höga halter kolmonoxid.

3.3. Svetsarnas erfarenheter och teoretiska beräkningar

Diskussioner med svetsare har visat att det ofta förekommer knallar och puffar i rören när svetsningen återupptas efter ett uppehåll, något som tyder på brännbara gaser i rören. Flera svetsare har också varit med om eller känner till andra som känt dåsigthet, yrsel eller till och med svimmat vid svetsning i trånga utrymmen. Några har också fått uppsöka sjukvård men varken arbetslagaren, arbetsgivaren eller sjukvården har kopplat ohälsan till eventuell kolmonoxidförgiftning.

Utifrån kända fakta gjordes också en teoretisk beräkning av hur stor halten kolmonoxid skulle kunna ha varit under dödsfallet i oktober 2009, som skedde vid avluftning i ett ca 20m³ stort pannrum. Med information om stålörnsdimensioner, antal svetsar, rörlängder, etappindelning, med mera, samt erhållna resultat från svetsförsöken beräknades medelhalten kolmonoxid i pannrummets luft vara 2 000 – 4 000 ppm.

4. Arbetsgivarens ansvar

Arbetsgivaren har ansvaret för arbetsmiljön och för att planera, leda och följa upp arbetet. Det innefattar bland annat att kartlägga risker, utreda tillbud och olyckshändelser. Ett väl utfört, systematiskt arbetsmiljöarbete är en god grund för identifiering av olika händelser och tänkbara händelseförlopp.

Gassvetsning, gasskärning och hårdlödning med acetylen och syrgas i trånga oventilerade utrymmen och vid avluftning av rörledningar är de i särklass viktigaste momenten att ha uppsikt över för att kunna bedöma riskerna och vidta förebyggande åtgärder. Kolmonoxid är giftig, syns inte, luktar inte och den går inte att förnimma med mänskliga sinnen. Kolmonoxid blandas lätt med luft eftersom den har samma densitet.

4.1. Riskbedömning

Åtgärder före, under och efter svetsarbete måste säkerställa att varken svetsare, annan personal eller allmänhet kan komma i kontakt med rökgaser och utströmmande gaser vid svetsning och avluftning av ledningar. Det gäller att ta med allt som kan tänkas inträffa, när man gör en riskbedömning, och utforma arbetsplatsen så att ett säkert svetsarbete kan utföras. Enligt lag ska det finnas skriftliga skyddsinstruktioner för arbete i trånga utrymmen. Dessa och eventuellt kompletterande checklistor ska gås igenom med berörd personal innan arbetet startar för att undvika missar i riskinventering och åtgärdsprogram.

Bilaga 1 visar ett exempel på en vägledning för riskhantering vid gassvetsning och avluftning.

5. Förebyggande åtgärder

5.1. Personlig skyddsutrustning

Personlig skyddsutrustning är oerhört viktigt som förebyggande åtgärd för att säkerställa en god arbetsmiljö och personlig säkerhet. Skyddsutrustningen, t ex fläktmatat andningsskydd, ska vara CE-märkt och anpassad för den enskilda situationen.

Kolmonoxidmätare kan vara bra, men undantar inte behovet av ventilation och ska bara ses som ett komplement till den personliga skyddsutrustningen. Man kan kontrollera kolmonoxidförekomst i en kammare med hjälp av kolmonoxidmätare innan arbetet påbörjas för att säkerställa att ventileringen har haft avsedd effekt.

5.2. Undvik ensamarbete

Ensamarbete ska absolut undvikas. Upprätta också en god kommunikation mellan olika utförare på arbetsplatsen. Generellt gäller att alltid ha beredskap för att kunna avbryta och evakuera. Arbete i kammare under marknivå ska utföras av lag om minst två personer för att säkerställa beredskap på markplanet för en eventuell evakuering. Är läget särskilt besvärligt kan arbetslaget behöva utökas.

5.3. Svetsning i öppet schakt

Gassvetsning i öppet schakt innebär troligtvis mindre risk för exponering av kolmonoxid jämfört med svetsning i fjärrvärmekammare eller inomhus, eftersom det är större luftomväxling i det fria, men kan ändå behöva hanteras med förebyggande åtgärder. Säkerställ alltid att obehöriga inte vistas i närheten av svetsrök. För att förebygga att det samlas stora mängder farliga gaser i röret vid svetsning ska det, i det längsta, hållas öppet i rörändarna. Luftgenomdrag genom stålröret kan dock försämra svetskvaliteten, varför varje situation ska bedömas utifrån sina förutsättningar.

5.4. Svetsning i trånga utrymmen

Säkerställ att ventilationen är god vid svetsning i kammare och trånga utrymmen, till exempel genom att dörrar, fönster, betäckningar i kammarlock och liknande öppnas. Syftet är att tillföra ren luft och transportera bort svetsrök. Kolmonoxid har samma densitet som luft och man kan inte räkna med någon skiktbildning. Gå därför aldrig ned i en kammare utan att först ha ventilerat väl. Låt inte svetslågan brinna fritt i onödan. Överväg elsvetsning som alternativ. Vid behov kan mekanisk ventilation med portabla fläktar vara nödvändig både före, under och efter svetsarbete. Tänk på att rökgaser kan sippra in i intilliggande utrymmen. Om ventilation inte finns eller kan ordnas ska fläktmatat andningsskydd användas.

5.5. Avluftning av ledning

Ha uppsikt över utloppet och spärra eventuellt av området för att säkerställa att inga obehöriga kommer i kontakt med utströmmande svetsgaser vid avluftning. Avluftning inomhus, i kammare eller andra slutna utrymmen ska alltid ske till en plats i det fria, till exempel genom att koppla en temperaturtålig slang direkt på avluftningsventil eller rörände. Slangen ska aldrig dras till golvbrunn. Slangen ska låsas så att den inte kan glida tillbaka ned i öppningen eller vålla annan skada. Om detta är omöjligt ska avluftning ske till ett väl ventilerat utrymme. Mekanisk ventilation kan behövas vid avluftning i trånga utrymmen, precis som vid svetsning i trånga utrymmen.

För säker hantering av avstängningsventiler vid provtryckning, avluftning och idrifttagning ska ventilerna hanteras av personal speciellt utsedd till detta.

6. Kolmonoxid

Kolmonoxid är en färglös, luktfri, brännbar och mycket giftig gas som bildas vid ofullständig förbränning och förgasning av kol och kolföreningar. För att kolmonoxid ska bli brännbar i luft krävs koncentrationer på över 12,5 procent eller 125 000 ppm. Kolmonoxid kallas också koloxid och har den kemiska formeln CO. Molekylen består alltså av en kolatom och en syreatom. Densiteten är i stort sett densamma som för luft, vilket gör blandning med luft lätt och samtidigt lömsk.

Kolmonoxid bildas bland annat vid svetsning, gasskärning, eldning i spisar och pannor eller vid grillning och finns i tobaksrök och bilavgaser. Kolmonoxidförgiftning är den vanligaste dödsorsaken vid husbränder.

6.1. Hälsorisker

Kolmonoxid är mycket skadlig att inandas eftersom den binds starkare till de röda blodkropparna än syre. Hemoglobinet, som står för syretransporten i blodet, har över 200 gånger högre dragningskraft (affinitet) för kolmonoxid än syre, vilket gör att inandning av höga doser kolmonoxid snabbt leder till syrebrist i hjärna, hjärta och kroppsvävnader (hypoxi eller inre kvävning). Syrebrist i hjärnan leder till medvetlöshet, hjärnskador och efter hand, döden.

Kliniska fynd och erfarenhet från olycksfall har givit en ganska klar uppfattning om kolmonoxidexponeringens risker och effekter på människor, även om individuell känslighet och mottaglighet kan variera. Det hygieniska gränsvärdet (NGV) är satt till 35 ppm vilket motsvarar 0,0035 procent kolmonoxid i luft. Det anger den maximala gräns för vad som anses lämpligt att utsättas för åtta timmar per dag under ett helt yrkesverksamt liv. Korttidsvärdet (KTV) är satt till 100 ppm, motsvarande 0,01 procent kolmonoxid i luft, och anger gränsen för exponering i max 15 minuter.

6.2. Symptom

Symptomen vid kolmonoxidförgiftning är huvudvärk, illamående, yrsel, koma, kramper, andningsstillestånd och i värsta fall död. Konsekvenserna beror på koncentrationen av kolmonoxid och exponeringstid, enligt värdena i följande tabell från en artikel i Läkartidningen nr 9, 2005:

CO i inandningsluft (%)	Duration av exponering (h)	Koncentration av karboxihemoglobin	Symptom/kliniska fynd
0,01 - 0,02	?	10 - 20	Lätt huvudvärk, hudkärlsdilatation
0,02 - 0,03	5 - 6	20 - 30	Kraftig huvudvärk
0,04 - 0,06	4 - 5	30 - 40	Tilltagande huvudvärk, svaghet, illamående, dimsyn, yrsel, körsbärsfärgning av läppar och hud
0,07 - 0,10	3 - 4	40 - 50	Accentuering av ovanstående symtom, takykardi, takypné, svimning, medvetlöshet
0,11 - 0,15	1,5 - 3	50 - 60	Accentuering av ovanstående symtom, kramper, död
0,16 - 0,30	1 - 1,5	60 - 70	Koma, kramper, minskad hjärtverksamhet och andning, död
0,50 - 1,00	0,02 - 0,03	70 - 80	Svag puls, andningsstillestånd, död

Tabell 2. Symptom vid CO-förgiftning.

Hjärna och hjärta är speciellt känsliga organ. En person som utsatts för kolmonoxidförgiftning måste så snabbt som möjligt komma under medicinsk behandling med syrgas för att häva förgiftningen och minska risken för följdskador.

Vid extremt höga halter, 5 000 till 10 000 ppm (0,5 - 1,0 procent), inträffar döden efter någon minut. **En procent kolmonoxid (10 000 ppm) sänker syrehalten i luften från 21,0 procent till 20,8 procent varför mätning av syrehalten i luft inte ger en säker indikering av risken för kolmonoxid.**

7. Gassvetsning

Med svetsning menas sammanfogning av material genom att fogenarna värms upp så mycket att de kan smältas eller pressas samman till en enhet. De svetsmetoder som företrädesvis används vid fogning av fjärrvärmerör med medierör av stål är manuell metallbågsvetsning och gassvetsning.

7.1. Enkel, billig och gammal metod

Gassvetsning är en av de äldsta svetsmetoderna, den har funnits i över hundra år. Den används vid svetsning av rör, tunnplåt och stålkonstruktioner, som oftast har en godstjocklek mellan 0,5 och 6 mm. Metoden är enkel, flexibel och relativt billig och har därför använts under lång tid i fjärrvärmebranschen vid förläggning och installation av distributionsledningar. I ett internationellt perspektiv har gassvetsning börjat trängas undan av mer utvecklade bågsvetsningsmetoder. Stora mängder acetylen används dock fortfarande till gasskärning (skärbränning) runt om i världen eftersom det är en billig och effektiv metod vid till exempel skrotning av metallkonstruktioner.



Bild 3. Gassvetsning av stålrör.

Vid gassvetsning blandas en brännbar gas, vanligen acetylen (C_2H_2), och syrgas (O_2) i ett munstycke och förbränns varvid en hög temperatur alstras. Temperaturen kan nå över $3\ 000^\circ C$ vilket ger en exceptionellt mångsidig värmekälla som gör det möjligt att rikta exakt rätt mängd energi mot arbetspunkten. Vid fullständig förbränning av acetylen bildas koldioxid och vatten enligt formeln: $2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$.

7.2. Frågan om kolmonoxidutveckling

Redan i gassvetsningens barndom spekulerades det om kolmonoxid utvecklas vid gassvetsning. Som kuriositet kan nämnas ett citat från boken ”The twentieth Century Handbook for Steam engineers and Electricians” utgiven 1915:

”The carbon monoxide formed in the first part of the combustion is therefore entirely burnt in the second part, and it could not be otherwise unless one deprived the flame of air. A paper from M. Mauriceau-Beaupre to the Academic des Sciences in January 1906 describe a series of tests which point to the complete absence of carbon

monoxide in the atmosphere surrounding the oxy-acetylene flame. Poisoning of welders has therefore never existed other than in the imagination of manufacturers of blowpipes for gases other than acetylene.”

7.3. Svetslågan

Svetslågan består av en primärlåga, en reducerande zon och en sekundärlåga (ytterflamma). Smältbadet skyddas från luftens inverkan av den reducerande zonen och ytterflammen. Olika svetslågor erhålls



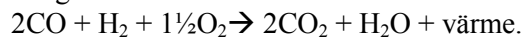
Bild 4. Svetslåga

med olika blandningsförhållanden i munstycket. Det normala vid gassvetsning av stål är en så kallad neutral låga där blandningsförhållandet är nära ett-till-ett, det vill säga 50 procent acetylen och 50 procent syrgas. Överskott av acetylen ger en så kallad kolande låga som har något högre flamtemperatur men samtidigt innebär risk för stora mängder oförbränd acetylen. Ett överskott på syrgas, oxiderande låga, ger ännu högre flamtemperatur och används bland annat vid skärbränning.

Förbränningen i svetslågan sker i två steg. I primärlågan förbränns acetylen och syrgas i en första reaktion och bildar kolmonoxid och vätgas. Vid lika mängd acetylen och syrgas (neutral låga) kan den kemiska reaktionen beskrivas som:

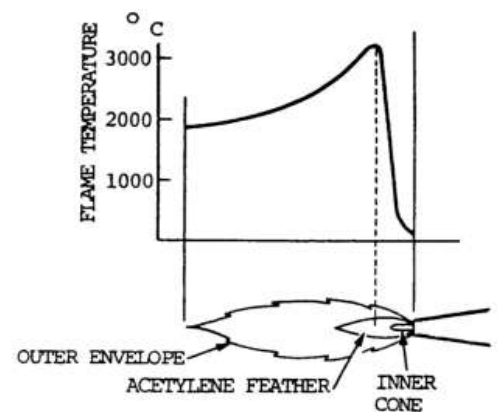


Temperaturen är som högst strax efter primärlågan. Medan gasernas temperatur sjunker i den reducerande zonen förbränns kolmonoxid till koldioxid och vätgas till vatten med hjälp av den omgivande luftens syre enligt formeln:



7.4. Utan syre bildas kolmonoxid

60 procent av den totala mängden syre som går åt vid fullständig förbränning av acetylen tas alltså från den omgivande luften. Vid avsaknad av syre i omgivande luft kan därmed stora mängder kolmonoxid bildas. Normalt finns det alltid tillräckligt med luft runt svetsstället medan syret inuti ett stålrör kan förbrukas efter en tids svetsning, speciellt utan luftväxling i röret. För att få bra kvalitet på svetsfogen försöker man dock undvika luftgenomdrag i stålröret eftersom det påverkar svetskvaliteten negativt.



Figur 1. Svetslågens temperatur

Bilaga 1. Exempel på en vägledning för riskhantering vid gassvetsning och avluftning.

Arbetsmoment	Risker	Förebyggande åtgärder	Åtgärd under arbete
Gassvetsning i öppet schakt	CO i andningszon	Håll om möjligt rörändar öppna (utan plastlock) Informera och varna omgivning	Undvik ensamarbete Undvik inandning av svetsrök
Gassvetsning i kammare och trånga utrymmen	Hög CO-halt/syrebrist i luften CO kan sippra ut i intilliggande utrymmen	Kontrollera konditionen på rör och ventilation före arbete och ventiler utrymme innan arbetet startar - öppna betäckningar i kammarlock, öppna fönster och dörrar, vid behov mekanisk ventilation Håll om möjligt rörändar öppna Överväg el-svetsning Informera och varna omgivning	Ensamarbete ska undvikas – kommunikation med minst en person utanför utrymmet Mekanisk ventilation (ersättningsluft) vid behov Undvik inandning av svetsrök Låt inte lågan brinna fritt i onödan – stäng av lågan även under kortare avbrott När ventilation inte finns eller kan ordnas skall tryckluftsmatat andningsskydd användas Beredskap ska finnas för att kunna avbryta och evakuera
Avluftning i det fria	Utströmmande CO i avluften	Se till att personal/allmänhet inte kan komma i närheten av avluftsstället Koppla temperaturlång slang till ventil eller rörände och led till säker utmynning Informera och varna omgivning	Undvik ensamarbete Stå inte i närheten av utströmmande gas Manövrering av ventilerska göras med försiktighet av speciellt utsedd personal
Avluftning i kammare och trånga utrymmen	Hög CO-halt och syrebrist i luften CO kan sippra ut i intilliggande utrymmen	Ventilera utrymmet innan arbetet startar - öppna betäckningar i kammarlock, öppna fönster och dörrar, vid behov mekanisk ventilation Koppla temperaturlång slang till ventil eller rörände och led den till säker utmynning utanför kammaren t.ex genom fönster eller ytterdörr –ej till golvbrunn i kammaren! Informera och varna omgivning	Ensamarbete ska undvikas – kommunikation med minst en person utanför utrymmet Stå inte i närheten av utströmmande gas Manövrering av ventiler ska göras med försiktighet av speciellt utsedd personal När ventilation inte finns eller kan ordnas skall tryckluftsmatat andningsskydd användas Beredskap ska finnas för att kunna avbryta och evakuera

Referenser

- | | |
|-----------------------|--|
| Arbetsmiljöverket | AFS 1992:9 Smältsvetsning och termisk skärning |
| | AFS 1993:3 Arbete i slutet utrymme |
| Svetskommissionen | www.svetskommissionen.se |
| The Welding Institute | www.twi.co.uk |
| Svensk Fjärrvärme | Fjärrvärmens arbetsmiljö, 1991 |

Exponering för koloxid vid gassvetsning av rör för fjärrvärme

För Svensk Fjärrvärme AB

Bengt Christensson
Yrkeshygieniker

2010-06-22

Arkivnummer: U2828

Rapporten godkänd
2010-06-24

Ann-Beth Antonsson
Gruppchef



Box 21060, SE-100 31 Stockholm
Valhallavägen 81, Stockholm
Tel: +46 (0)8 598 563 00
Fax: +46(0)8 598 563 90

www.ivl.se

Box 5302, SE-400 14 Göteborg
Aschebergsgatan 44, Göteborg
Tel: +46 (0)31 725 62 00
Fax: + 46 (0)31 725 62 90

Sammanfattning

Flera allvarliga olyckor har inträffat vid avluftning av fjärrvärmerör. Tidigare utredningar har visat höga halter av koloxid vid avluftning.

Vid svetsning, skärning och lödning av rör med acetylengas förbränns inte all gas till slutprodukterna koldioxid och vatten. En del omvandlas till koloxid som är en mellanprodukt i förbränningen som har koldioxid och vatten som slutprodukter. Om svetsningen sker med öppna rörändar omvandlas i storleksordningen 0,5 - 1 % av acetylenens kol innehåll till koloxid vilket motsvarar cirka 0,5-1 liter koloxid efter 15 minuters svetsning. Hur mycket koloxid som bildas beror på acetylenförbrukningen, d v s flödet genom munstycket samt tillgången till syre.

Om rörändarna är öppna sprids större delen av den bildade koloxiden till omgivande luft under svetsningen. Om rörändarna är lockade (det vill säga förslutna med ett lock i båda ändar) blir förbränningen av acetylen i större omfattning ofullständig på grund av syrebrist i röret. Efter 15 minuters svetsning och med syrebrist (lockade rör) finns 6,6 liter koloxid, det vill säga cirka tio gånger mer än om rörändarna är öppna. Om all acetylen ombildas till koloxid blir volymen koloxid efter 15 minuters svetsning 89 liter. I storleksordningen 7 – 8 % av acetylengasen är inte fullständigt oxiderad.

Under svetsningen av rör med lockade ändar läckte 60 % av den bildade koloxiden ut till omgivande luft och 40 % fanns kvar i röret. Två liter kvarvarande koloxid betyder 200 ppm vid avluftning i ett 10 m³ stort utrymme utan ventilation. När gasen släpps ut är halten vid röröppningen lika hög som i röret för att sedan spädas ut när den sprids i lokalen. Svetsas det under längre tid eller om avluftningen sker i ett mindre och dåligt ventilerat utrymme kan koloxidhalten överskrida 1000 ppm, vilket innebär risk för akuta skador och död. För allvarliga olyckor krävs en kombination av flera faktorer som tillsammans leder till mycket höga halter koloxid. En kombination som leder till höga och livsfarliga koloxidhalter är lockade rör, svetsning av flera skarvar och avluftning i ett begränsat utrymme med dålig ventilation.

Gassvetsning med ren syrgas istället för odorex påverkade inte koloxidbildningen. Detsamma gällde om rören var infettade eller ej. Var rören infettade i rörändarna bildades dock mycket rök.

Med tanke på de i försöken uppmätta koloxidhalterna är sannolikheten hög för att även svetsaren exponeras för halter av koloxid som överskrider de hygieniska gränsvärdena (nivågränsvärde och korttidvärde). Om svetsning sker under längre tid (mer än cirka 20 minuter) krävs god ventilation för att gränsvärdena inte ska överskridas. Detsamma gäller även lödning och skärbränning med acetylengas. Saknas ventilation måste tillfälliga fläktar användas. Vid svetsning, lödning och skärbränning bör rörändar om möjligt hållas öppna. Är utrymmet mycket begränsat, till exempel någon kubikmeter krävs mycket effektiva åtgärder t ex tryckluftmatat andningsskydd.

Andra åtgärder är att använda elsvets istället för gassvets och vid avluftning leda ut avluften utomhus via slang som ansluts tätt, direkt till ventil på röret.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
1. Bakgrund.....	3
2. Uppdraget.....	4
3. Bildning av koloxid	4
4. Mätningarnas genomförande.....	5
5. Metoder för mätning, utvärdering och bedömning.....	12
6. Mätresultat.....	13
6.1. Jämförelse mellan svetsning med odorox och ren syrgas.....	14
6.2. Jämförelse mellan svetsning av rör med infettade rörändar och rör utan infettning.....	16
6.3. Jämförelse mellan svetsning av rör med öppna och lockade rörändar.....	18
6.4. Håltagning för rörskarv	19
6.5. Fogning av kopparrör genom lödning.....	21
6.6. Övriga mätningar	23
7. Diskussion	24
8. Exponeringen för koloxid vid ett olycksfall.....	26

1. Bakgrund

I samband installation av fjärrvärme har det inträffat några allvarliga olyckor under perioden februari 2008 – oktober 2009. En person dog och två brännskadades svårt i samband med avluftning av fjärrvärmerör efter gassvetsning. Olyckorna inträffade när fjärrvärmerör skulle avluftas efter svetsning, d v s efter att skarvar i rören svetsats samman. Avluftningen behöver inte ha skett i direkt anslutning till avslutat svetsarbete. I samtliga fall utfördes fogning av rören med gassvets.

- En person som befann sig i pannrum för att avlufta omkom. Personen hittades medvetslös och brännskadad av varmvatten som runnit ut genom avluftningsventilen. Personen avled och sannolik dödsorsak är koloxidförgiftning.
- En person svimmade i samband med avluftning efter installation av fjärrvärme i en ishall och fick allvarliga brännskador av det varma vattnet. En arbetskamrat påträffade honom medvetslös och drog ut honom. Läkareundersökningen visade att han drabbades av koloxidförgiftning.
- Ytterligare en olycka har inträffat, men där beskrivningen är mycket kortfattad. Händelse och skador som de övriga fallen, men som i det sistnämnda fallet så överlevde personen.

När man pratar med svetsare som installerar fjärrvärme så förekommer berättelser om fall där personer svimmat i samband med rörsvetsning. Alla fall av inträffad medvetslöshet i samband med rörsvetsning behöver dock inte vara kopplade till koloxidförgiftning. Vid ett nyligen inträffat fall i Malmö kan medvetslösheten ha orsakats av andra faktorer.

Några har också berättat att det ibland kan förekomma små puffar eller en liten knall när de börjar svetsa efter ett uppehåll. Puffen eller knallen tyder på att röret kan innehålla brännbara gaser (knallgas).

Med anledning av olyckorna fick IVL i uppdrag av VVS-Företagen och Byggnads att ta fram underlag till en broschyr om riskerna vid svetsning för VVS-branschen.

YIT (Roger Reynberg) utförde flera försök där man mätte koloxidhalten under rörsvetsning. Mätning utfördes i åtta punkter runt rörsvetsen på 0,5 – 1 m:s avstånd och en punkt vid vardera rörända. Mätningar utfördes vid svetsning med MMA, TIG och gas (acetylen). Vid svetsning med öppna rörändar uppmättes på 0,5 – 1 m:s avstånd för MMA 0 – 14 ppm, TIG 0 ppm och gas 0 – 20 ppm. Vid de öppna rörändarna var halten för MMA 0 – 50 ppm, TIG 0 ppm och gas 0 – 150 ppm. Med pluggade rörändar uppmättes vid gassvetsning på 0,5 – 1 m:s avstånd 0 – 190 ppm och >2000 ppm vid en av rörändarna när pluggarna togs bort. Arbetsmiljöverket har också utfört koloxidmätningar (Jouni Surakka, Tommy Eriksson Wikén). I samband med avluftning uppmättes halter på flera tusen ppm.

Vid en mindre litteratursökning hittades inga noteringar om höga koloxidexponeringar vid svetsning, även om koloxid nämndes som en gas som kunde bildas. Det fanns däremot artiklar som pekade på risk för exponering för nitrösa gaser (kväveoxid och kvävedioxid) Med tanke på inträffade olyckor, uppmätta koloxidhalter och att gassvetsning inte är någon ny svetsmetod är det förvånande att risken för koloxidförgiftning inte uppmärksammats tidigare.

2. Uppdraget

Med anledning av olyckorna har Svensk Fjärrvärme AB beslutat utreda riskerna för koloxidexponering i samband med gassvetsning och avluftning av fjärrvärmerör. IVL Svenska Miljöinstitutet fick i uppdrag att utreda koloxidbildningen vid gassvetsning. Några följdfrågor som ingått är eventuellt bidrag till bildningen av koloxid från andra källor än acetylen t ex fett, olja, grafit från rörtillverkningen och eventuella tillsatser i syrgasen. En kolkälla som diskuterats är stålets kolhalt. I studien har eventuellt bidrag från stålröret inte utvärderats.

Mätningarna har utförts enligt ett mätschema som utarbetats av Jan Eriksson, Svensk Fjärrvärme AB. Jan Eriksson assisterade även vid mätningarna. Enligt mätschemat har mätningar utföras vid

- svetsning vid skarvning av stålrör (DN100) med öppna rörändar med odorox (resultat i avsnitt 6.1),
- svetsning vid skarvning av stålrör (DN100) med öppna rörändar, men odorox ersatt med ren syrgas (resultat i avsnitt 6.1),
- svetsning vid skarvning av infettat stålrör (DN100) med öppna rörändar (resultat i avsnitt 6.2),
- svetsning vid skarvning av stålrör (DN100) med lock för rörändarna (resultat i avsnitt 6.3),
- håltagning (delmoment vid påsvetsning av en förgrening) genom skärbränning i stålrör (DN100) med öppna rörändar (resultat i avsnitt 6.4),
- lödning vid skarvning av kopparrör (Dy42) med öppna rörändar (se avsnitt 6.5),
- mätning av CO-halten i de använda svetsgaserna (acetylen, odorox och syrgas) (resultat i avsnitt 6.6) och
- mätning av CO-halten i övre rörändan av stålröret när svetslågan brann i rörets nedre ända utan kontakt med stålröret (resultat i avsnitt 6.6).

Mätningarna utfördes hos Rörbolaget i Bromma där företagets representant Göran Ericsson tillhandahöll allt praktiskt för försökens genomförande som rör, lokaler och svetspersonal.

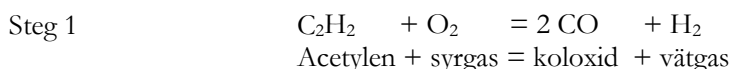
Bengt Christenson, IVL svarade för mätutrustning, mätplanering, utvärdering och rapportering.

Mätningarna utfördes den 12 april 2010. En kontrollmätning med ett referensinstrument utfördes 28 april och kontroll av koloxidinstrumenten mot kalibreringsgas den 29 april.

Bilderna i rapporten är tagna av Bengt Christenson och Jan Eriksson.

3. Bildning av koloxid

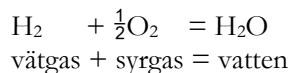
Vid svetsningen antänds en blandning av en del acetylen (C_2H_2) och en del syre (O_2) från tub. När acetylen reagerar med syre bildas koldioxid (CO_2) och vatten (H_2O). Reaktionen sker i flera steg:



Efter första steget är allt syre från syrgastuben förbrukat. I reaktionerna från koloxid till koldioxid och vätgas till vatten tas syre från omgivande luft.



Steg 3



I förbränningen av acetylen förbrukas fem syreatomer av vilka två kommer från syrgastuben. Resterande syre d v s 60 % av allt syre som förbrukas i reaktionerna kommer från omgivande luft.

I ett rör är luftvolymen begränsad. Den acetylen som under svetsningen kommer in i röret kan förbruka allt syre vid svetsfogen, särskilt om rörändarna är tillslutna eller om röret är långt (med dålig luftcirkulation i eller genom röret). Om allt syre i röret förbrukas, kan återstående koloxid inte oxideras till koldioxid utan till stor del finnas kvar i röret tills det trycks ut av vattnet när systemet fylls i samband med avluftning. Halten koloxid utanför röret, den halt som svetsaren exponeras för, är i stort sett alltid betydligt lägre än koloxidhalten i röret. Koloxid som bildas i lågan utanför röret oxideras i stor utsträckning till koldioxid av luftens syre. Koloxiden i svetsgaserna inuti röret har begränsad tillgång till syre och oxideras därför i betydligt mindre utsträckning. Denna gas läcker så småningom ut eller kommer ut i samband med avluftning.

Nedan ses två bilder där bild 1 visar den färdiga svetsskarven och bild 2 visar svetslågan i röret under pågående svetsning.

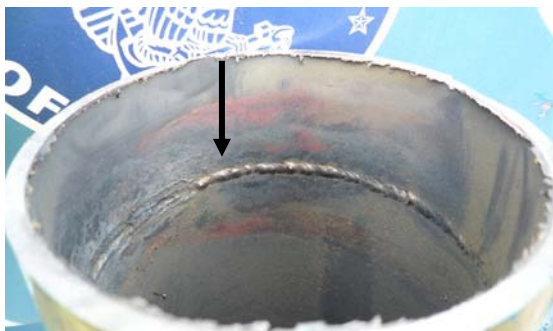


Bild 1. Svetsfogen. Röret kapat efter svetsningen. Vid pilen ses en del av svetsfogen. I slutet av svetsningen är svetsfogen mindre oxiderad (vid pilen) än den är tidigare under svetsningen. En orsak till skillnaden kan vara att syre förbrukats och skarven blir då mindre oxiderad. Stålrör DN100.



Bild 2. Svetslåga i samband med skarvsvetsning. Under svetsningen sker förbränning av acetylen även i röret. Samma typ av rör som bild 1.

4. Mätningarnas genomförande

Mätningarna av koloxid utfördes med direktvisande instrument i tre mätpunkter,

- i eller intill svetsarens andningszon (bild 3),
- vid övre rörändan (bild 4) och
- i lokalens frånluftsdon (bild 5).

Mätningarna utfördes den 12 april 2010 i en container med innermått 6,0 x 2,4 x 2,4 m, d v s ca 34,6 m³. Container ses på bild 6 och innerutrymmet framgår av bild 7 och 8. Halva öppningen hölls stängd av en av containerns dörrar. Andra halvan plastades för (bild 9). Nedtill fanns ett rör för tilluft (bild 11). Luft skulle tillföras containern genom röret med en varvtalsreglerad fläkt (bild 10). Tyvärr fungerade inte varvtalsregleringen. Fläkten placerades då utomhus så att den blåste luft mot

tilluftskanalen på 0,5 – 1 m:s avstånd (bild 10). För att ytterligare minska tilluftsflödet minskades tilluftskanalen öppning som var riktad mot fläkten (bild 10).

Luften från containern passerade ut genom en kanal placerad upptill genom containerns inplastning (bild 5, 12). I frånluftsdonet mättes luftflödet en gång i samband med varje försök med en varmrådsanemometer från TSI (modell VelociCalc 8385, se bild 14). Under första försöket var frånluftshastigheten ca 3,9 m/s och i sista försöket 5,2 m/s, d v s luftväxlingen ökade under dagen. Sannolikt berodde den ökade luftväxlingen på ökande temperatur inne i containern. Eftersom luftväxlingen var känd och halten CO som ventilerades ut mättes kunde mängden bildad koloxid beräknas. Eftersom avklingningstiden var relativt lång avbröts respektive mätning 5 – 10 minuter efter avslutad svetsning. Mängden CO som inte ventilerats ut beräknades. Mellan försöken öppnades en spalt i plasten för att påskynda ventileringen av containern (bild 12 öppen och bild 9 under igenplastning). Om CO trots detta fanns kvar vid nästa försök drogs mängden kvarvarande CO ifrån den mängd som bildades i försöket. Efter den inledande mätningen konstaterades att det fanns några mindre hål i containerns väggar som missats. Hålen tejpades igen (bild 13). Genom flödesmätning kunde konstateras att hålen inverkan på luftomsättningen var försumbar.

Stålröret som svetsades (DN 100) hade samma materialkvalitet som ett normalt fjärrvärmerör (stålkvalitet P235 enligt SS-EN10217). Rörets totala längd var 4 m med skarven 1,5 m från rörets lägre placerad ända. Rörets yttre diameter var 114,3 mm, inre diametern var 107,1 mm, godstjockleken 3,6 mm och volymen 0,036 m³. Innerarean var 9004 mm², d v s 0,0090 m² och volymen 0,009 m³/m rör. Röret var relativt centralt placerat i containern med ena rörändan lägre än den andra (se främst bild 7 och 8). Lutningen på röret var cirka 7 %. Tillsatsmaterialet som användes var samma som i olyckan som slutade med dödsfall.

Tre mätningar utfördes under svetsning av en skarv (bild 15) med öppna rörändar och en med lockade ändar (bild 16). En av mätningarna med öppna rörändar utfördes med rörändarna infettade (bild 17) och en mätning utfördes vid håltagning för montering av anslutning (bild 18). Svetstiden varierade mellan 13 och 17 minuter. Skära hål för anslutning tog cirka 3 minuter. Mätning i frånluften utfördes även vid lödning (bild 19) av fyra skarvar på en cirka 4 m lång sträcka av kopparrör (Dy 42) (bild 21). Mätning i rörändan utfördes under svetsning av de tre första skarvarna och exponeringsmätning under svetsning av den sista skarven. Avslutningsvis utfördes en mätning i övre rörändan när svetsmunstycket riktades in i röret i nedre röröppningen (bild 20).

För att kontrollera att koloxid inte fanns i de gaser som användes (acetylen och odorox) mättes koloxidhalten i dessa.

Vid mätningarna konstaterades höga koloxidhalter och ibland t o m mycket höga halter, varför beslut togs att utföra en kontrollmätning. En efterkontroll utfördes den 28 april med en provpunkt i den övre rörändan (bild 22) där ett instrument med annan mätprincip (FTIR) användes parallellt med ett av instrumenten som användes vid de tidigare beskrivna mätningarna. Även kontrollmätningen utfördes i en av Rörbolagets lokaler i Bromma. Vid kontrollmätningen användes samma typ av stålrör, uppställning och svetsutrustning som under försöken (bild 23). Gassvetsningen utfördes dessutom av samma svetsare som vid de tidigare försöken. Som ytterligare kontroll för att säkerställa att båda instrumenten fungerade korrekt kontrollerades utslaget för koloxid den 29 april med en kalibreringsgas med känd halt koloxid. Båda instrumenten visade samma värden.



Bild 3, se övre vänstra bilden. Mätning i andningszonen utfördes med ett instrument från Dräger, modell Multiwarn II. Instrument mätte förutom koloxid även koldioxid, kväveoxid och kvävedioxid och vissa kolväten. Mätcellen för kvävedioxid var defekt under mätningarna. De kolväten som instrumentet också kunde mäta var inte relevanta för den nu genomförda mätningen. Instrumentet avlästes manuellt så ofta som möjligt under mätningen.

Bild 4, övre bilden till höger. Mätning i den övre rörändan med ett instrument från Dräger, modell PacIII. När röret var lockat eller när mätningen utfördes på det smalare kopparröret hölls instrumentet vid övre rörändan. Instrumentet registrerade ett värde varje sekund. Mellan varje försök enligt mätschemat tömdes mätresultatet i en dator.



Bild 5, bilden till höger. Mätning i frånluften med ett instrument från Dräger, modell PacIII. Instrumentet registrerade ett värde varje sekund. Mätningen utfördes även en stund efter varje mätning för att få med värden medan halten minskade i försökslokalen. Mellan varje försök enligt mätschemat tömdes mätdata i en dator.



Bild 6. Containern där försöken utfördes. På bilden är en dörr öppen med dörrhålet plastat.



Bild 7. Försökslokalen med försökupställningen sedd från containerns öppning.

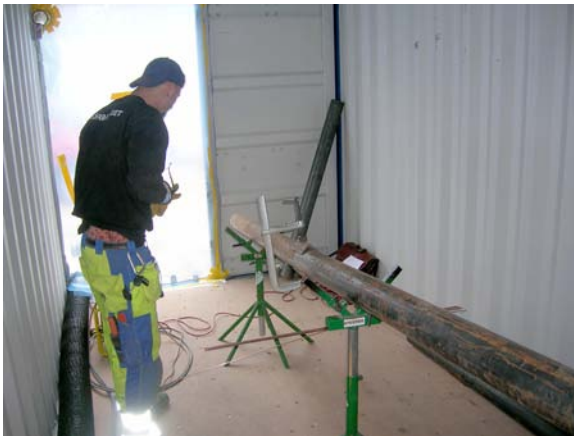


Bild 8, ovan. Försökslokalen med försökupställningen sedd från containerns inre kortsida.

Bild 9, till höger. Igenplastning av hål för in- och utpassage inför ett försök.





Bild 10, ovan till höger. Tilluftsfläkten placerad 0,5 - 1 m från tilluftskanalen för att minska tilluftsflödet eftersom fläkten inte kunde regleras. Fläkten blåste mot tilluftsfröret. Kanalöppningen delvis också igentejpad för att minska tilluftsflödet.

Bild 11, ovan till vänster. Tilluftskanalens öppning i containern.

Bild 12, till vänster. Till och frånluftsdonens placering i plasten ses det hål som användes mellan försöken för passage in och ut samt för utvädring av koloxid efter avslutad mätning. Under mätningar var hålet i plasten igentejpad.





Bild 13, ovan. Igentejpade hål. Dessa hål fanns på fler ställen o i containerns väggar.



Bild 14, till höger. Instrumentet för lufthastighetsmätning i frånluftsdonet (TSI modell VelociCalc 8385).



Bild 15, ovan. Gassvetsning.



Bild 16, till höger. Lockad rörända. Bilden tagen före försöket.



Bild 17, ovan. Infettade rörändar. Bilden tagen före försöket.



Bild 18, till höger. Skärbränning



Bild 21, ovan. Försöksuppställningen före lödningen vid skarvning av kopparrör.



Bild 19, ovan. Lödning med silverkopparrlod.

Bild 20, Nedan. Svetsläga hållen riktad in i röret. Mätning av koloxid utfördes i andra högre belägna rörändan (syns ej på bilden).





Bild 22. Parallellmätningen i den övre rörändan under svetsning. På bilden ses MultiwarnII och en slangända som är kopplad till IR-instrumentet.



Bild 23. I förgrunden FTIR-instrumentet från Ecotech, modell Serenius 30 CO. Bakom personen som håller i mätinstrumenten ses röret och därbakom svetsaren som på bilden ännu inte påbörjat svetsfogen.

5. Metoder för mätning, utvärdering och bedömning

Mätningarna utfördes med två typer av instrument från Dräger, PACIII och MultiwarnII. Båda instrumenten mäter koloxidhalten med en elektrokemisk cell. Båda instrumenten har samma typ av cell. MultiwarnII hade dessutom elektrokemiska celler för kväveoxid, kvävedioxid, koldioxid och dekan (ett alifatiskt kolväte). Cellerna för dekan och kvävedioxid var ur funktion under mätningarna. PACIII lagrade koloxidhalten varje sekund. MultiwarnII lästes av manuellt cirka en gång per tjugo sekunder.

Enligt Dräger informationsblad om mätcellen för koloxid påverkas mätvärdet av både acetylen och vätgas. Eftersom höga och ibland mycket höga halter av både acetylen och vätgas uppmättes, utfördes en kontrollmätning vid samma typ av svetsning som i försöken där ett av instrumenten med mätcell användes parallellt (MultiwarnII) med ett FTIR-instrument (bild 23). Vid denna jämförande mätning var Multiwarninstrumentet kopplat till en datalogger som registrerade koloxidhalten varje sekund medan FTIR-instrumentet avlästes manuellt. FTIR-instrumentet tillverkat av Ecotech, modell Serenius30 CO. Vid kontrollmätningen visade FTIR-instrumentet 30 % av värdet från mätcellen. Vid en efterföljande kontroll mot kalibreringsgas med en känd halt av 45 ppm visade FTIR-instrumentet 46 ppm och MultiwarnII 45 ppm. I fortsättningen redovisas i regel både koloxidhalten korrigerad för missvisningen enligt FTIR-instrumentet och de ej korrigerade värdena.

Beräkning av förbrukad mängd acetylen baseras på uppgift om använda munstyckens flöde. Svetsmunstyckets flöde i försöken var 315 l/h varav hälften av flödet antogs vara acetylen. Ofta förekommer munstycken med något högre flöden, cirka 450 l/h. Vid skärbränning var flödet 455 l/h och vid lödning cirka 500 l/h. Tiden som lågan brann var längre än tiden för svetsning, skärbränning eller lödning eftersom det förekom avbrott t ex för att byta arbetsställning. Under dessa korta avbrott brann lågan. Blandningsförhållandet är satt till en del acetylen och en del syrgas.

Bildad mängd koloxid baseras på den halt och flöde som passerade ut genom frånluftsdonet. Halten registrerades varje sekund. Lufthastigheten mättes en gång per försök. Eftersom frånluftsdonets

tvärsnittareal är känd kan flödet beräknas. Av tidsskäl kunde man inte vänta på att all koloxid ventilerats ut innan nästa försök startades. Kvarvarande koloxidhalt beräknades när försöket avbröts. Mellan försöken vädrades huvuddelen av koloxiden ut. Mellan flera av försöken var dock en låg halt koloxid kvar från föregående försök. Vid beräkning av bildad koloxid i efterföljande försök beaktades kvarvarande koloxid i beräkningen av bildad mängd koloxid.

De hygieniska gränsvärdena enligt Arbetsmiljöverkets föreskrift ”Hygieniska gränsvärden” (AFS 2005:17) om för koloxid är 35 ppm som medelvärde under ett helt arbetsskift och 100 ppm som medelvärde under 15 minuter.

Enligt en handbok ”Arbetsmiljö från A till Ö” av SO Hansson finns inga tröskelvärden för hälsoeffekter av koloxid utan hälsopåverkan ökar med ökad halt. Personer med vissa cirkulationsbesvär kan få ökade besvär redan efter några timmars exponering för 40 – 60 ppm. I djurförsök har förändringar i både hjärta och hjärna konstaterats efter sex veckors exponering för 50 ppm. Risk för dödlig utgång föreligger redan vid halter kring 1000 ppm. Enligt en artikel i läkartidningen (nr 9, 2005) beskrivs följande besvär av koloxidexponering:

100 ppm CO	exponeringstid anges ej	lätt huvudvärk, hudkärlsdilatation
200-300 ppm	5-6 timmar	kraftig huvudvärk
400-600 ppm	4-5 timmar	tilltagande huvudvärk, svaghet, illamående, dimsyn, yrsel, körsbärsfärgning av läppar och hud
700-1000 ppm	3-4 timmar	accentuering av ovanstående symtom, takykardi, takyné, svimning, medvetslöshet
1100-1500 ppm	1,5 – 3 timmar	accentuering av ovanstående symtom, kramper, död
1600-3000 ppm	1-1,5 timmar	koma, kramper, minskad hjärtverksamhet och andning, död
5000-10000 ppm	någon eller några minuter	svag puls, andningsstillestånd, död

Instrumentet MultiwarnII visade också värden för koldioxid och kväveoxid. Dessa värden redovisas även i rapporten. De hygieniska gränsvärdena för koldioxid är för ett helt skift 5000 ppm och för 15 minuter 10000 ppm. Motsvarande gränsvärden för kväveoxid är 25 och 50 ppm.

6. Mätresultat

I varje mätning är koloxidhalten 0 eller mycket nära 0 ppm vid start och ökade därefter och var som högst när svetsningen avslutas. I försöken har man inte nått jämvikt mellan bildad koloxid och borttransporterad koloxid, vilket innebär att om det heta arbetet fortsatt hade halten fortsatt att öka. Det är därför inte relevant att beräkna standardavvikelser.

Vid lockade rör är halten tillfälligt mycket hög när locken tas bort, det vill säga efter avslutad svetsning. Resultat redovisas för de flesta försöken som

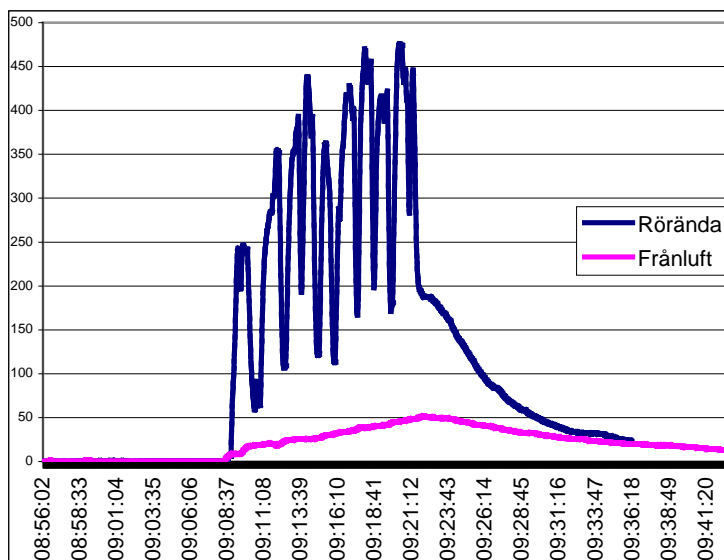
- medlexponering under svetsarbetet,
- högsta uppmätta exponering under svetsarbetet
- halt i rörända.

För frånluften redovisas medelvärdet under svetsningen vilket ungefär motsvarar halten i lokalen under svetsning. Halten är högst vid eller strax efter avslutad svetsning. Två maxvärden redovisas därför, dels det högsta under svetsningen och det högsta totalt. Med få undantag redovisas uppmätta koloxidhalterna respektive korrigerade för skillnaden mellan FTIR och värdena från mätcellerna (vilket är ett sätt att kompensera för störningar från acetylen och vätgas). Dessutom redovisas mätkurvorna från instrumentet i rörändan och i frånluften.

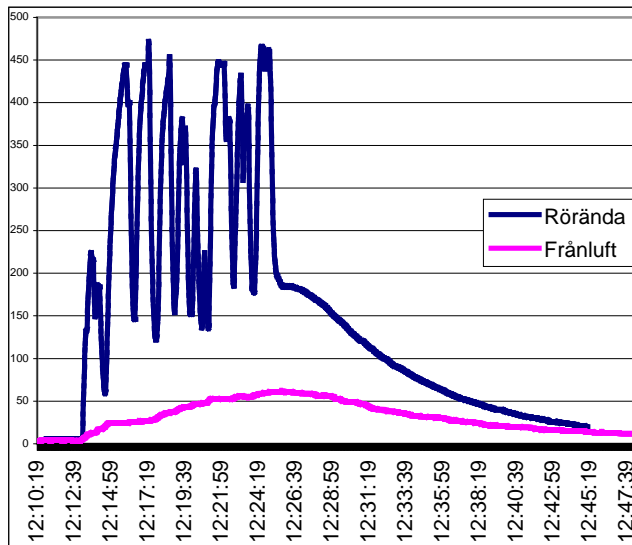
I redovisningen har i samtliga avsnitt resultaten från andra försöket (svets, öppna ändar, stålrör, ren syrgas) medtagits för att förenkla jämförelsen mellan de olika försöken.

6.1. Jämförelse mellan svetsning med odorox och ren syrgas

Mätningarna utfördes med öppna rörändar under och efter svetsning av en skarv. Stålröret som skarvades var 114,3 mm i yttre diameter. Mätresultaten från koloxidmätningarna i rörända och frånluft redovisas i figur ett och två samt för samtliga mätresultat från koloxidmätningarna i tabell 1 och 2. I tabell 3 ses mätvärdena från mätningarna av koldioxid och kväveoxid.



Figur 1. Första mätningen. Acetylen och odorox (syrgas med tillsats). Gassvetsning av en skarv. Stålrör 114,3 mm yttre diameter. På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Redovisade värden ej korrigerade med värdet från kontrollmätningen. Eftersom värdena från FTIR-instrumentet var 30 % av värdena från mätcellerna skall värdena reduceras med en faktor cirka 3. De högsta värdena kring 450 ppm i figuren är cirka 150 ppm.



Figur 2. Samma som första försöket med den skillnaden att odoroxen ersatts med ren syrgas. På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Eftersom felet är i storleksordning en faktor tre skall de högsta värdena kring 450 ppm vara cirka 150 ppm.

I tabell 1 redovisas uppmätta koloxidhalter vid svetsning med öppna rörändar enligt figur 1 och 2. Ett försök med odorox och ett försök med odorox ersatt med ren syrgas. Rördiameter yttre 114,3 mm. Exponeringsmätningen baseras på 39 mätvärden. Vid mätningen av svetsning med ren syrgas var instrumentet som användes för exponeringsmätning tillfälligt ur funktion, varför dessa värden ej redovisas.

Tabell 1. Koloxidhalter vid svetsning med öppna rörändar. Med Ej menas att värdet är det som instrumentet visat, det vill säga ej korrigerat för störning från acetylen och vätgas. Korr innebär att mätvärdet korrigerats för denna störning.

Försök	Fogning, stålrör med acetylen och odorox						Fogning, stålrör med acetylen och ren syrgas			
	Exponering		Rörända		Frånluft		Rörända		Frånluft	
	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr
Svetsning, medelvärde, ppm	21	6	220	65	24	7	260	77	38	11
Svetsning, maxhalt, ppm	97	29	480	140	52	15	470	140	62	18

I tabell 2 redovisas övriga mätresultat från svetsning med öppna rörändar. Dessutom redovisas en beräkning av den maximala volymen koloxid som teoretiskt kan bildas om all acetylen blir koloxid och ingen vidare oxidation till koldioxid sker. Vid beräkning av bildad mängd koloxid medtas den koloxid som finns kvar i rummet och ej hunnit vädrats ut när försöket avbryts. Koloxid som inte hunnit vädrats ut när nästa försök startas har räknats från den volym koloxid som bildats. Volymerna ej korrigerade för rådande temperatur.

Tabell 2. Övriga resultat från mätningarna i frånluften och beräkningar av bildad koloxid.

Försök, svetsning av stålrör med öppna ändar med och utan tillsats i syrgasen	Odorox	Ren syrgas
Maximal koloxid i frånluften efter avslutad svetsning, ej korrigerat	52 ppm	62 ppm
Maximal koloxid i frånluften efter avslutad svetsning, korrigerat	15 ppm	18 ppm
Teoretisk maximal volym koloxid som kan bildas	89 liter	74 liter
Beräknad bildad volym koloxid, ej korrigerat	2,1 liter	2,3 liter
Beräknad bildad volym koloxid, korrigerat	0,6 liter	0,7 liter
Förväntad genomsnittlig halt i en 10 m ³ stor lokal (2x2x2,5m) utan luftväxling och efter ca 15 minuters gassvetsning, korrigerat	60 ppm	70 ppm

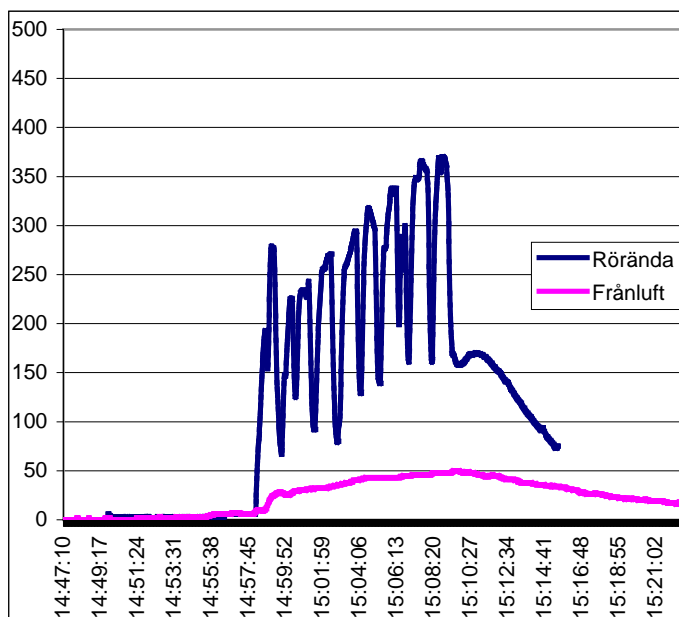
Tabell 3. Exponering för koldioxid och kväveoxid mätt i andningszon under svetsning med odorox. Instrumentet var tillfälligt ur funktion under mätningen när odoroxen ersatts med ren syrgas.

Mätningen avser	Koldioxid		Kväveoxid	
	Medelvärde	Max-halt	Medelvärde	Maxhalt
Uppmätt halt, ppm	3200	5800	9	18

6.2. Jämförelse mellan svetsning av rör med infettade rörändar och rör utan infettning

Mätningarna utfördes med öppna rörändar under och efter svetsning av en skarv. Stålröret som skarvades var 114,3 mm i yttre diameter. Rörändarna som skarvades var infettade. Svetsningen utfördes med ren syrgas, d v s bortsett från infettningen var alla försöksparametrar samma som för det andra av de två tidigare försöken. Eftersom odoroxen inte hade någon påvisbar effekt på koloxidhalten så kan resultatet från detta försök egentligen jämföras med båda försöken som redovisas i avsnitt 6.1. Av praktiska skäl har i tabell 4 och 5 värdena från andra försöket tagits med för att underlätta utvärderingen av infettningens eventuella effekt på koloxidhalten. I tabellerna redovisas även mätvärden från mätning av koloxid i rörändan och i frånluft i figur 3 och exponeringen för koldioxid och kväveoxid i tabell 6.

Fettet från rörskarven medförde att det blev relativt rökigt i lokalen. Röken upplevdes som besvärande av samtliga närvarande.



Figur 3. Mätning av koloxid vid svetsning i infettade rörändar på två stålrör (yttre diameter 114,3 mm). På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Redovisade värden ej korrigerade med värdet från kontrollmätningen. Efter korrigering är det högsta värdet 350 ppm cirka 110 ppm.

Tabell 4. Uppmätta koloxidhalter vid svetsning av infettade rörändar. Båda rörändar var öppna. Som jämförelse redovisas värden från det andra försöket i tabell 1. Rördiameter yttre 114,3 mm. Exponeringsmätningen baseras på 35 mätvärden tagna med cirka 20 sekunders mellan mätvärdena. Ej i tabellen anger att värdet ej korrigerats för störning av acetylen och vätgas. Korr innebär att sådan korrigering gjorts.

Försök	Fogning av stålrör med infettade skarvändar med acetylen och ren syrgas						Fogning av ej infettade stålrör med acetylen och ren syrgas			
	Exponering		Rörända		Frånluft		Rörända		Frånluft	
	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr
Svetsning, medelvärde, ppm	29	9	170	51	29	9	260	77	38	11
Svetsning, maxhalt, ppm	50	15	370	110	50	15	470	140	62	18

Tabell 5. Övriga resultat från mätningarna i frånluften och beräkningar av bildad koloxid. I tabellen anges också beräkning av den maximala volymen koloxid som teoretiskt kan bildas om all acetylen blir koloxid och vidare oxidering till koldioxid ej sker. Vid beräkning av bildad mängd koloxid medtas den koloxid som finns kvar i rummet och ej hunnit vädrats ut när försöket avbryts. Koloxid som inte hunnit vädrats ut när nästa försök startas har räknats från den volym koloxid som bildats. Volymerna har ej korrigerats för rådande temperatur.

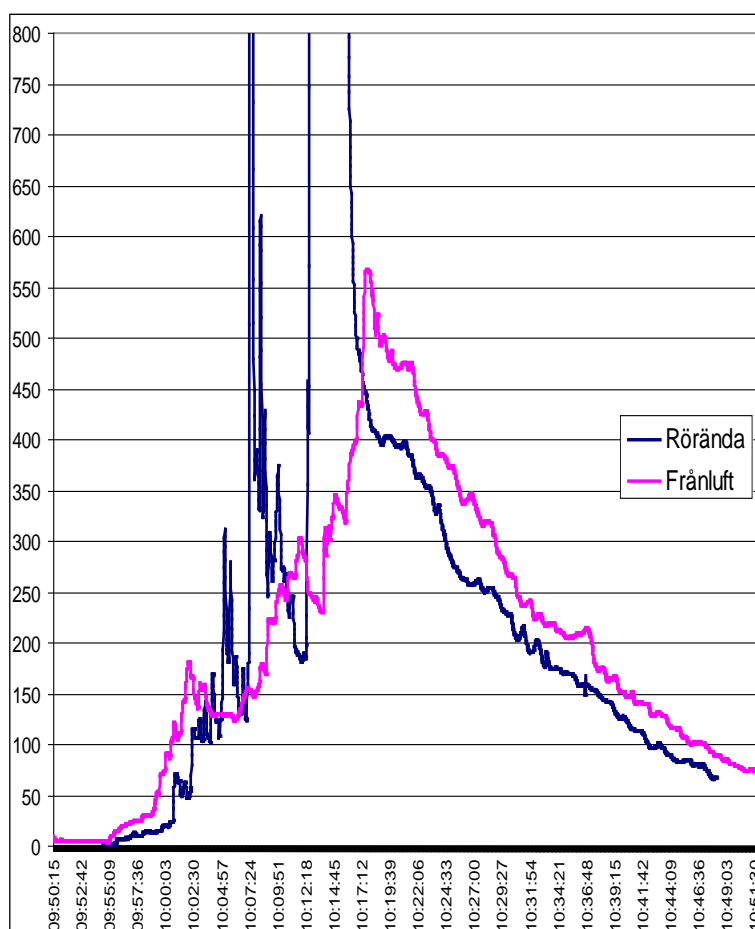
Försök, svetsning av stålrör med öppna ändar med och utan tillsats i syrgasen	Infettade rörändar	Kolumn från tabell 2. Ej ytbelagda
Maximal koloxid i frånluften efter avslutad svetsning	50 ppm	62 ppm
Maximal koloxid i frånluften efter avslutad svetsning, korrigerat för kontrollmätningen	15 ppm	18 ppm
Teoretisk maximal volym koloxid som kan bildas	79 liter	74 liter
Beräknad bildad volym koloxid, ej korrigerat	2,3 liter	2,3 liter
Beräknad bildad volym koloxid, korrigerat	0,7 liter	0,7 liter
Förväntad halt i en 10 m ³ stor lokal (2x2x2,5m) utan luftväxling och efter ca 15 minuters gassvetsning, korrigerat värde för referensmätningen	70 ppm	70 ppm

Tabell 6. Exponering för koldioxid och kväveoxid mätt i andningszon vid svetsning av rör med infettade ändar.

Mätningen avser	Koldioxid		Kväveoxid	
	Medelvärde	Max-halt	Medelvärde	Maxhalt
Uppmätt halt, ppm	2500	3400	4	10

6.3. Jämförelse mellan svetsning av rör med öppna och lockade rörändar.

Mätning utfördes med ändarna lockade under hela svetsningen. Efter avslutad mätning togs locken bort och mätningen fortsatte tills halterna hade minskat betydligt från de höga värden som uppmättes strax efter att locken tagits av. Stålröret som skarvades var 114,3 mm i yttre diameter. Svetsningen utfördes med odorox., d v s bortsett från att rören var lockade så kan samtliga tidigare mätningar användas som jämförelse eftersom tidigare testade parametrar inte mätbart påverkat koloxidbildningen. Av praktiska skäl har i tabell 7 och 8 värdena från andra försöket i avsnitt 7.1 tagits med för att underlätta utvärderingen av lockningens eventuella effekt på koloxidhalten. I övrigt ses mätvärdena mätning av koloxid i rörändan och frånluft i figur 4 och exponeringen för koldioxid och kväveoxid i tabell 9.



Figur 4. Mätning av koloxid vid svetsning i med rörändarna lockade. Svetsning av stålrör med yttre diametern 114,3 mm. Svetsningen utan infettning och med odorox. På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Observera att i tidigare figurer är maxhalten 500 ppm, men här 800 ppm för att få med höga frånluftshalter. Redovisade värden ej korrigerade för störning från acetylen och vätgas. För att korrigera för störningen skall värdena reduceras med cirka två tredjedelar. Den första toppen som når över 800 ppm är över 3000 ppm (ej korrigerat) och den andra bredare toppen är över instrumentets mätområde, d v s över 4600 ppm (ej korrigerat). Svetsningen avslutades mellan de två högsta topparna. Den första höga toppen och topparna innan dess orsakas av läckage i rörändarna på grund av övertryck i röret.

Tabell 7. Uppmätta koloxidhalter vid svetsning med lockade rörändar. För jämförelse i tabellen redovisas värden från det andra försöket i tabell 1. Rördiameter yttre 114,3 mm. Exponeringsmätningen baseras på 45 mätvärden tagna med cirka 20 sekunders mellanrum. Ej i tabellen anger att värdet ej korrigerats för störning av acetylen och vätgas. Korr innebär att sådan korrigerings gjorts.

Försök	Fogning av stålrör med lockade rörändar med acetylen och odorox						Fogning av stålrör med öppna rörändar, acetylen och ren syrgas			
	Exponering		Rörända		Frånluft		Rörända		Frånluft	
	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr
Svetsning, medelvärde, ppm	55	16	160	48	130	37	260	77	38	11
Svetsning, maxhalt, ppm	77	23	3100	920	300	90	470	140	62	18

Tabell 8. Övriga resultat från mätningarna i frånluften och rörända samt beräkningar av bildad volym koloxid. I tabellen anges den maximala volymen koloxid som teoretiskt kan bildas om all acetylen blir koloxid och vidare oxidation till koldioxid ej sker. Vid beräkning av bildad mängd koloxid medtas den koloxid som finns kvar i rummet och ej hunnit vädras ut när försöket avbryts. Koloxid som inte hunnit vädrats ut när nästa försök startas har räknats från den volym koloxid som bildats. Volymerna har ej korrigerats för rådande temperatur.

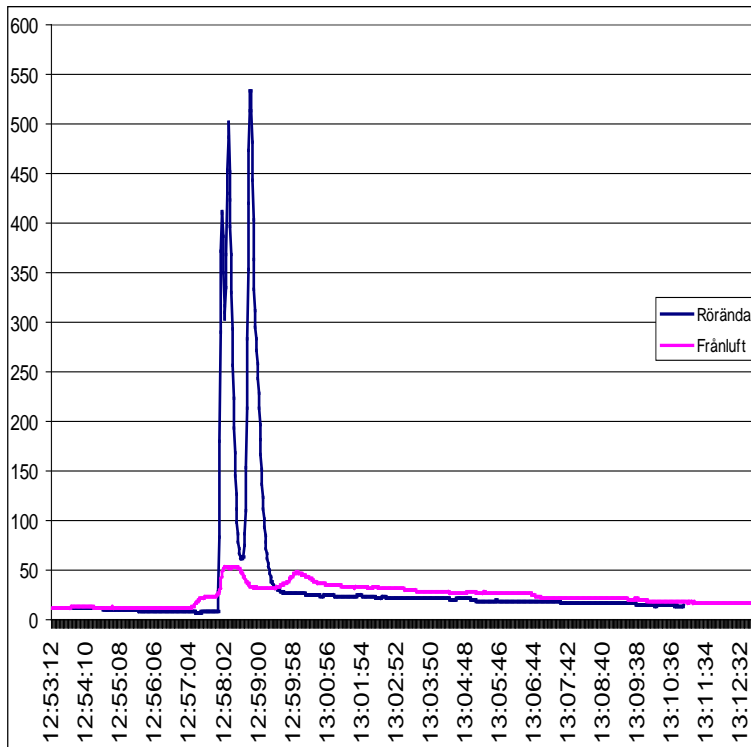
Försök, svetsning av stålrör med lockade och öppna rörändar	Lockade rörändar	Kolumn från tabell 2. Öppna rörändar
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i rörändan	>4600 ppm	-
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i rörändan, korrigerat för kontrollmätningen	>1400 ppm	-
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i frånluften	570 ppm	62 ppm
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i frånluften, korrigerat för kontrollmätningen	170 ppm	18 ppm
Teoretisk maximal volym koloxid som kan bildas	89 liter	74 liter
Beräknad bildad volym koloxid, ej korrigerat	22 liter	2,3 liter
Beräknad bildad volym koloxid, korrigerat	6,6 liter	0,7 liter
Förväntad halt i en 10 m ³ stor lokal (2x2x2,5m) utan luftväxling och efter ca 15 minuters gassvetsning och locken borttagna efter avslutad svetsning, korrigerat värde för referensmätningen	440 ppm i rummet och 2,2 liter kvar i röret	70

Tabell 9. Exponering för koldioxid och kväveoxid mätt i andningszon vid svetsning av rör med lockade ändar.

Mätningen avser	Koldioxid		Kväveoxid	
	Medelvärde	Max-halt	Medelvärde	Maxhalt
Uppmätt halt, ppm	2600	4900	5	14

6.4. Håltagning för rörskarv

Mätning fördes på ett tidigare skarvsvetsat stålrör d v s rörets längd var 4 m. ett hål skars upp nära mitten på röret. Hållets omkrets d v s den sträcka som skars ut var cirka 360 mm. Under skärbränningen var röret öppet i ändarna. Skärbränningen utfördes med acetylen och ren syrgas. Instrumentet som användes för mätning i andningszon var ur funktion. I tabellerna 10 – 11 och i figur 5 redovisas mätresultaten. För jämförelse med tidigare resultat används samma mätning som tidigare för jämförelse.



Figur 5. Koloxidhalter i övre rörända och frånluft vid håltagning genom skärbränning. Svetsning med ren syrgas. Rörändar öppna. Skärning i stålrör med yttre diametern 114,3 mm. På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Observera att maxhalten i diagrammet är 600 ppm för att få med höga halter i rörändan. Redovisade värden ej korrigerade med värdet från kontrollmätningen. Korrigerade värden är ca en tredjedel av de redovisade.

Tabell 10. Uppmätta koloxidhalter vid skärbränning. Rör med öppna rörändar. För jämförelse i tabellen redovisas värden från det andra försöket i tabell 1 som gällde fogsvetsning av rör. Skärbrännarmustyckets flöde är 455 l/h och svetsmunstycket 315 l/h. Stålrörets yttre diameter 114,3 mm. Ej i tabellen anger att värdet ej korrigerats för störning av acetylen och vätgas. Korr innebär att sådan korrigerings gjorts.

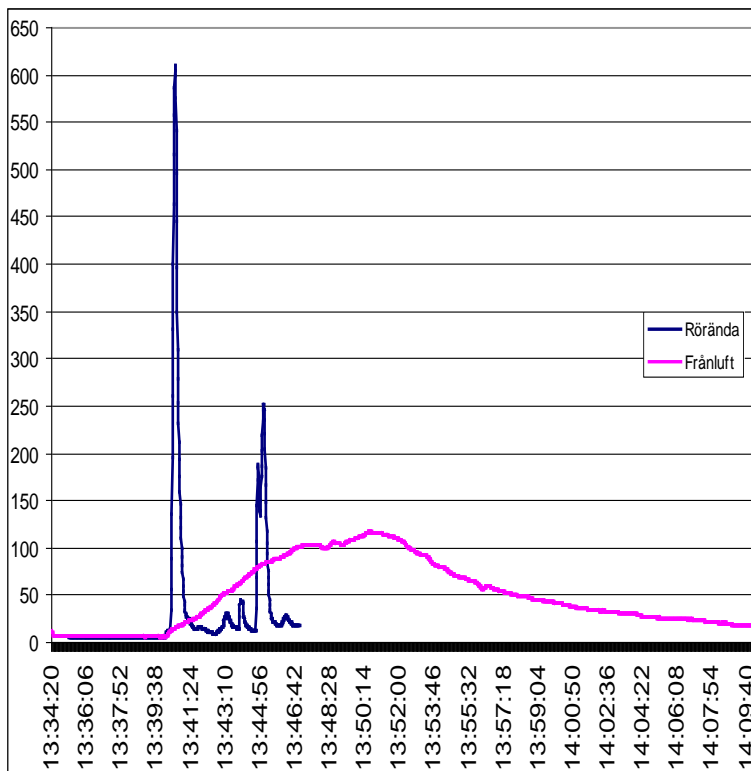
Försök	Skärbränning vid håltagning. Stålrör med öppna rörändar.						Fogning av stålrör med öppna rörändar.			
	Exponering		Rörända		Frånluft		Rörända		Frånluft	
	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr
Svetsning, medelvärde, ppm	-	-	110	32	26	8	260	77	38	11
Svetsning, maxhalt, ppm	-	-	530	160	54	16	470	140	62	18

Tabell 11. Övriga resultat från mätningarna i frånluften och beräkningar av bildad volym koloxid. I tabellen beskrivs också den maximala volymen koloxid som teoretiskt kan bildas om all acetylen blir koloxid och inget oxideras vidare till koldioxid. Vid beräkning av bildad mängd koloxid medtas den koloxid som finns kvar i rummet och ej hunnit vädrats ut när försöket avbryts. Koloxid som inte hunnit vädrats ut när nästa försök startas har räknats från den volym koloxid som bildats. Volymerna har ej korrigerats för rådande temperatur.

Försök, håltagning genom skärbränning av stålrör med öppna rörändar. Som jämförelse fogsvetsning från avsnitt 6.1, andra försöket.	Skärbränning	Kolumn från tabell 2. Svetsning
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i frånluften	54 ppm	62 ppm
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i frånluften, korrigerat för kontrollmätningen	16 ppm	18 ppm
Teoretisk maximal volym koloxid som kan bildas	23 liter	74 liter
Beräknad bildad volym koloxid, ej korrigerat	1,0 liter	2,3 liter
Beräknad bildad volym koloxid, korrigerat	0,3 liter	0,7 liter
Förväntad halt i en 10 m ³ stor lokal (2x2x2,5m) utan luftväxling och efter ca 15 minuters gasskäring respektive svetsning, korrigerat värde för referensmätningen	150 ppm	70 ppm

6.5. Fogning av kopparrör genom lödning

Mätning fördes vid lödning av fyra fogar på kopparrör. Vid lödning av de första tre fogarna mättes i övre rörändan. Vid den sista lödningen mättes i andningszon. Lödningen utfördes på hylsor som trädde över skarvarna. Hylsorna löddes sedan i båda ändar mot det underliggande kopparröret. Antalet lödfogar är således sex. Kopparröret var öppet i båda ändar. Hylsorna var trädde över skarvarna innan försöket startades. Lödmunstyckets flöde var cirka 500 l/h. Instrumentet som användes för mätning i andningszon var ur funktion. I tabellerna 12 – 13 och i figur 6 redovisas mätresultaten. För jämförelse med tidigare resultat används samma mätning som i tidigare tabeller. Övriga uppgifter: brinntid cirka 12 minuter och frånluftsflöde 5,0 m/s.



Figur 6. Koloxidhalter i övre rörända och frånluft vid lödning av kopparrör. Rörändar öppna. Kopparrör med yttre diametern 42 mm. Mätning i rörända under tre av fyra skarvar. Den skarv som inte är med i diagrammet var den sista. På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Observera att maxhalten i diagrammet är 650 ppm för att få med höga halter i rörändan. Redovisade värden ej korrigerade med värdet från kontrollmätningen. De korrigerade värdena är cirka en tredjedel av redovisade.

Tabell 12. Uppmätta koloxidhalter vid lödning av kopparrör med öppna rörändar. För jämförelse i tabellen redovisas värden från det andra försöket i tabell 1 som gällde fogsvetsning av rör. Lödmunstyckets flöde är cirka 500 l/h och svetsmunstycket 315 l/h. Kopparrörets yttre diameter 42 mm. Exponeringsmätning med ett mätvärde per sekund men utförd enbart under sista av fyra fogar. Mätning i rörändan under de tre första skarvarna. Ej i tabellen anger att värdet ej korrigerats för störning av acetylen och vätgas. Korr innebär att sådan korrigerings gjorts.

Försök	Lödning av kopparrör med öppna rörändar.						Svetsning av stålrör med öppna rörändar			
	Exponering		Rörända		Frånluft		Rörända		Frånluft	
	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr	Ej	Korr
Lödning alternativt svetsning, medelvärde, ppm	46	14	31	9	19	6	260	77	38	11
Lödning alternativt svetsning, maxhalt, ppm	74	22	610	180	65	19	470	140	62	18

Tabell 13. Övriga resultat från mätningarna i frånluften och beräkningar av bildad volym koloxid. I tabellen beskrivs också den maximala volymen koloxid som teoretiskt kan bildas om all acetylen blir koloxid och inget oxideras vidare till koldioxid. Vid beräkning av bildad mängd koloxid medtas den koloxid som finns kvar i rummet och ej hunnit vädrats ut när försöket avbryts. Koloxid som inte hunnit vädrats ut när nästa försök startas har räknats från den volym koloxid som bildats. Volymerna har ej korrigerats för rådande temperatur.

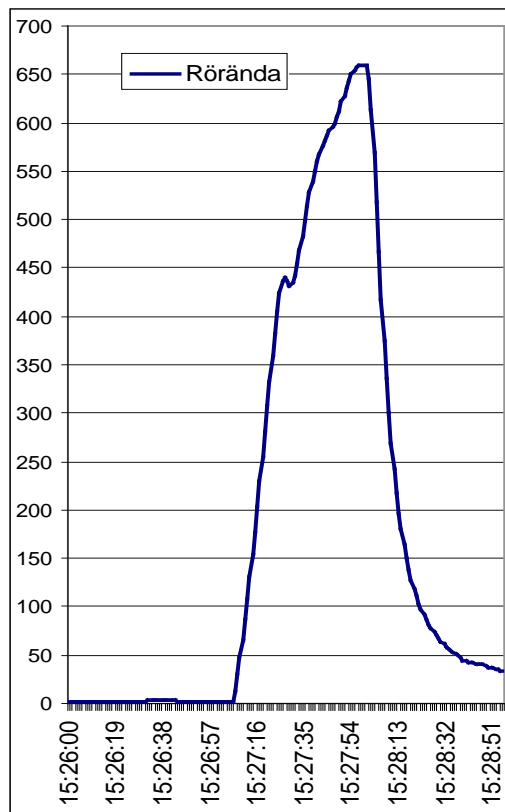
Försök, lödning av kopparrör med öppna rörändar. Som jämförelse fogsvetsning av stålrör, från avsnitt 7.1, andra försöket.	Lödning Kopparrör	Kolumn från tabell 2. Svetsning Stålrör
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i frånluften	120 ppm	62 ppm
Maximal koloxid efter avslutad svetsning i frånluften, korrigerat	35 ppm	18 ppm
Teoretisk maximal volym koloxid som kan bildas	74 liter	74 liter
Beräknad bildad volym koloxid, ej korrigerat	4,1 liter	2,3 liter
Beräknad bildad volym koloxid, korrigerat	1,2 liter	0,7 liter
Förväntad halt i en 10 m ³ stor lokal (2x2x2,5m) utan luftväxling och efter ca 15 minuters lödning respektive svetsning, korrigerat värde	150 ppm	70 ppm

6.6 Övriga mätningar

I figur 7 ses mätresultatet från en mätning av koloxidhalten i övre rörända när lågan med svetsmunstycket hölls mitt i andra lägre placerade rörändan. Svetslågan riktades längs med rörets längdriktning. Röret är stålröret med 114,3 mm och längden 4 m. Ingen mätning utfördes i frånluften.

Halten koloxid i odorox-gasen mättes. Enligt det använda PACIII-instrumentet är halten max 2 ppm. Halten eventuell koloxid i acetylgasen kunde inte mätas eftersom acetylen stör mätinstrumentet för koloxid.

I övrigt utfördes mätningar för kontroll av de använda koloxidmätande instrumenten. Dessa mätningar har redovisats tidigare i rapporten som ett led i underlaget för att korrigera de uppmätta koloxidhalterna med de använda mätcellerna.



Figur 7. Mätning med svetslågan riktad in i den lägre belägna rörändan och koloxidmätaren placerad i den övre rörändan. Röret var ett stålrör med yttre diametern 114,3 mm och längden 4 m.

På y-axeln koloxidhalt i ppm och x-axeln tid. Observera att maxhalten i diagrammet är 700 ppm för att få med höga halter i rörändan. Redovisade värden ej korrigerade med värdet från kontrollmätningen. De korrigerade värdena är cirka en tredjedel av redovisade.

7. Diskussion

Mätningarna visar att vid svetsning, skärbränning och lödning av rör kan höga halter av koloxid bildas. Att koloxid bildas framgår av samtliga försök.

Om fler skarvar av samma storlek som i försöken svetsats med lockat rör och om avluftning skett i ett litet oventilerat utrymme kan den genomsnittliga koloxidhalten i utrymmet överstiga 1000 ppm, vilket risk för akuta skador och t o m död.

Om syretillförseln till svetsgaserna reducerades t ex med lock för rörändarna ökar koloxidbildningen med i storleksordningen 10 gånger enligt försöken, se sista kolumnen i tabell 14. Med lock blir koloxidhalten även högre i lokalen, eftersom luften i röret expanderar och förorenad luft trycks ut vid locken och i skarven. Om locken i rörändarna är tätare och sitter fast hårdare kommer mer luft att läcka ut vid svetsskarven men även kvarvarande mängd koloxid i röret ökar. Vid effektiv tätning kan röret innehålla flera liter koloxid efter 15 minuter svetsning. Att koloxidhalten ökar beror på underskott på syre inuti röret, vilket också leder till att svetsskarven på insidan av röret oxideras i allt mindre utsträckning i takt med att svetstiden ökar.

Mängden bildad koloxid beror på tillgången av inneslutet syre i röret och mängden tillförd acetylen. Med ökat acetylenflöde förbrukas den inneslutna syrgasen snabbare och därmed bildas koloxid tidigare. Den beräknade koloxidhalten efter 15 minuters svetsning, skärning eller lödning är högre med högre

flöde genom munstycket. Flödet var lägst genom svetsmunstycket och högst vid lödningen. Ofta används ett något större munstycke än det som användes under svetsförsöken.

Tabell 14. Sammanställning av uppmätta koloxidhalter under pågående arbete (medelvärde och maxhalter) och fiktiv halt efter cirka 15 minuters arbete i ett fiktivt oventilerat utrymme (10 m³). Observera att de höga värden som förekom efter avslutad svetsning när locken togs av de lockade rörändarna inte är med i tabellen.

Arbete	Exponering, ppm		Rörända, ppm		Frånluft, ppm		Beräknad halt, ppm
	medel	max	medel	max	medel	max	
Svetsning öppna rörändar, stålrör, odorox	6	29	65	140	7	15	60
Svetsning öppna rörändar, stålrör, ren syrgas	-	-	77	140	11	18	70
Svetsning, öppna rörändar, stålrör, infettad skarv, ren syrgas	9	15	51	110	9	15	70
Svetsning lockade rörändar, stålrör, odorox	16	23	48	920	37	90	440
Skärbränning, stålrör, ren syrgas	-	-	32	160	8	16	150
Lödning, kopparrör, ren syrgas	14	22	9	180	6	19	150

En beräkning ger vid handen att i lokaler som är i storleksordningen 20 m³ och har normal luftväxling (cirka två nominella omsättningar per timme) kan koloxidhalten efter cirka 20 minuters brinntid vara i nivå med gränsvärdet för åtta timmars exponering (35 ppm). Om brinntiden är över cirka 30 minuter/timme i genomsnitt under en hel arbetsdag kan gränsvärdet vara överskridet. Däremot är det svårt att överskrida takgränsvärdet på 100 ppm. Risken för höga exponeringar som ger akuthälsopåverkan är liten om arbetet sker i ventilerade lokaler. Utförs däremot arbetet i små lokaler utan luftväxling kan halterna snabbt bli höga. Halter över nivåvärdet uppnås redan inom 5-10 minuter och takgränsvärdet inom 30 minuter. Gassvetsning, skärning och lödning av rör i trånga oventilerade utrymmen bör därför endast ske tillfälligt och inte under längre tid än cirka 15 minuter enligt de utförda mätningarna. Vid en timmes brinntid i ett litet oventilerat utrymme kan hälsan påverkas. Om det oventilerade utrymmet bara är några kubikmeter finns risk för hälsopåverkan även vid betydligt kortare brinntid.

Vid svetsning, skärbränning och lödning kan gränsvärdet för koloxid överskridas om lokalen är relativt liten och ventilationen dålig.

Det är ingen skillnad i bildning av koloxid om man svetsar med ren syrgas eller odorox. Samma sak gäller om rörändarna är infettade eller ej, det påverkar inte koloxidbildningen. Däremot blev det besvärande rök i containern när svetsningen gjordes i infettade rörändar.

Även koldioxidhalten kan bli hög vid gassvetsning. Det krävs dock mer än 15 minuters gassvetsning/per timme under en hel arbetsdag för att nivågränsvärdet skall överskridas. Takgränsvärdet kan överskridas om svetsningen, skärbränningen eller lödningen sker i ett begränsat utrymme. För kväveoxid är riskerna för överskridande mindre men inte försumbara. I litteraturen nämns ofta kvävedioxid som den största risken vid gassvetsning i stål. Därför var det beklagligt att just mätcellen för kvävedioxid inte fungerade. I planeringen av mätningarna var det

koloxid som skulle mätas. De andra gaserna mättes enbart för att ett av instrumenten samtidigt mätte de andra gaserna.

Vid svetsning, skärning eller lödning av rör med acetylengas är det viktigt att luftväxlingen är god, i synnerhet om utrymmet är trångt. Om det är en stor rörvolym och många skarvar ska svetsas kan höga halter förekomma tillfälligt även om luftväxlingen är god och utrymmet är stort. Använd portabla fläktar om ventilationen är otillräcklig. Om möjligt håll ventiler mm öppna för att minska koloxidbildningen under svetsningen, lödningen etc.

Bästa lösningarna är att undvika gassvetsning och om möjligt leda avluften utomhus.

8. Exponeringen för koloxid vid ett olycksfall

Ett av olycksfallen inträffade i Småland. Med hjälp av tekniska uppgifter, de erhållna resultaten, och vissa antaganden kan koloxidhalten vid avluftningen beräknas.

Rörledningen var 604 m lång och bestod av DN80, DN565 och Cu22. Total innesluten volym: 2780 liter. Totalt svetsade man 52 skarvar med skattad tid till 6 minuter per skarv. Munstyckets flöde 400 l/h. Slutligen var pannrummets volym 20 m³. Om blandförhållandet är 1:1 kan volymen koloxid uppgå till 2080 liter (2,08 m³) om all acetylen blir koloxid. Vid svetsning med öppna rör spreds all koloxid till lokalluften. Med de långa ledningarna är det nog mer realistiskt att anta att koloxidbildningen är mer lik fallet med slutna ändar, det vill säga syreunderskott och endast begränsad oxidering av koloxid vidare till koldioxid. Vid svetsning var enligt mätningen den kvarvarande koloxiden 6,6 liter, varav 2,2 liter i röret. Det innebär att 4,4 liter av koloxiden bildades utanför eller läckte ut ur röret. Den förbrukade acetylenen i försöket kan maximalt bilda cirka 89 liter koloxid. Andelen koloxid som ej oxiderades till koldioxid var således 7,4 % varav 2,5 % kvar i röret.

Om man antar att likartade förhållande rådde vid olyckan i Småland, bildades totalt 2080 liter koloxid varav 154 liter inte oxiderades och 52 liter fanns kvar i rören. Hur mycket som läckte ut till omgivande luft vet vi inte och vi vet inte hur stor syrebristen var i rören.

För att koloxid ska oxideras, krävs tillgång till syre. Vid jämförelse mellan försöket och olyckan, var tillgången på syre sämre relativt sett i försöket, vilket innebär att möjligen oxiderades koloxiden vid olyckan till koldioxid i större utsträckning än i försöket. I olycksfallet var det dock långa rörsträckor och smalare rör som kan ha försvårat luftväxlingen i rören och därmed syretillförseln vilket i så fall kan ha ökat andelen kvarvarande koloxid.

Enligt beräkningarna var det vid olyckan 52 liter koloxid kvar i röret vilket jämt fördelat i rummet blir 2600 ppm. När koloxidhaltig luften kommer ut i rummet i samband med avluftning, kan dock halten intill röret bli betydligt högre än 2 600 ppm, eftersom avluften innehåller en mycket högre halt koloxid (många %). Sannolikt fanns även en viss luftomsättning i lokalen så i praktiken är nog medelhalten i rummet något lägre än 2600 ppm. Med tanke på denna och andra osäkerheter bedöms rummets medelhalt vid olyckstillfället vara i intervallet 2000 – 4000 ppm.

Under 2010 gick Arbetsmiljöverket ut och varnade för risker i samband med svetsning av fjärrvärmerör. Upprinnelsen var en tragisk olycka med dödlig utgång, men man hittade också samband med två tidigare olyckor. Gemensamt för olyckorna var att fjärrvärmerören sammanfogats med gassvetsning, att avluftningen skedde i trånga utrymmen inomhus och att de skadade utsattes för skällning av fjärrvärmevattnet. Dessutom visade utredning av olyckorna att risken för kolmonoxidförgiftning inte hade tagits med vid riskbedömningen.

Svensk Fjärrvärme tog initiativ till att utreda orsakerna till uppkomsten av kolmonoxid närmare. IVL Svenska Miljöinstitutet fick i uppdrag att genomföra mätningar av hur kolmonoxid utvecklas vid svetsning av fjärrvärmerör, och hur svetsaren med omgivning kan exponeras för gasen.

Denna rapport innehåller resultaten av mätningarna men också fakta om gassvetsning och kolmonoxid. Med den vill vi ge en bild av hur kolmonoxid utvecklas vid gassvetsning och bidra med råd om hur man med ganska enkla medel kan förebygga och undanröja riskerna. Vid riskbedömning i samband med gassvetsning bör arbetsgivaren vara uppmärksam på risken för kolmonoxidförgiftning och alltid utgå från att den finns.

