



RAPPORT

2007-02-28

# Vad har landstinget gjort för att minska utsläppen av lustgas?

PÅ UPPDRAG AV STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING  
IVL

## Bakgrund

Stockholms läns landsting antog 2002 som ett av sina miljömål att mellan 2001 och 2006 halvera utsläppet av lustgas från sin sjukvårdsverksamhet. Till slutet av 2004 skulle man ha installerat en demonstrationsanläggning för destruktion av lustgas. Anledningen är att lustgas är en mycket starkare växthusgas än koldioxid. Ett kg lustgas som når atmosfären har en effekt som motsvarar 310 kg koldioxid, så lustgasen har betydelse trots att koldioxidutsläppen från t.ex. trafiken är mycket större. Det har uppskattats att lustgasen 2001 stod för 10-15 % av landstingets bidrag till växthuseffekten.

## De stora källorna

Lustgas är en kväveoxid med kemisk formel  $N_2O$ . De största källorna totalt sett i Sverige är avgång från jordbruks- och skogsmark, kemisk industri och olika förbränningsprocesser. Avgången från jordbruket, som står för ca hälften av det totala utsläppet, beror på att markens kväve kan oxideras eller reduceras i olika steg, och ibland blir resultatet lustgas. På samma sätt kan den bildas vid kvävereningen i kommunal avloppsvattenrening. Sveriges totala utsläpp av lustgas uppskattas till ca 25 000 ton/år.

Inom landstingets ansvarsområde får man ett visst utsläpp med avgaserna från bilar och bussar (storleksordningen 1 ton/år), men den helt övervägande källan är användningen för smärtlindring i sjukvården. Man räknar med att man använde ca 40 ton lustgas år 2001, och allt det hamnade sedan i atmosfären. Små mängder används vid undersökningar av barn, vid tandläkarmottagningar, i ambulanser och vid vissa operationer, men troligen upp mot 90 % används vid förlossningar. Den stora fördelen med lustgas där är att de blivande mödrarna själva kan använda gasen vid behov, utan risk för överdosering. Det betyder att om man ska komma åt stora mängder av lustgasen så är det förlossningssalarna man ska koncentrera sig på.

## Minskad användning?

Det mest uppenbara sättet att minska utsläppen är förstås att minska användningen. Samtidigt är lustgas vid förlossning mycket uppskattat av både mödrar, barnmorskor och läkare. Landstinget har därför startat en utredning om hur man ska använda lustgas inom landstinget. Man vill gärna behålla lustgasen som en alternativ metod för smärtlindring, men måste samtidigt klara arbetsmiljön. Mätningar vid Södersjukhuset har visat att halterna i förlossningsrummen överstiger de korta eller långa exponeringsgränserna under mer än 95 % av tiden då lustgas används (Drobin 2007). I huvudsak föreslår man en bättre insamling av gasen.

## Hur kan man bli av med lustgasen?

Först måste den på något sätt samlas upp i en så begränsad luftmängd som möjligt. För att sedan oskadliggöra lustgasen som växthusgas kan den antingen oxideras till  $NO_x$  (andra kväveoxider), reduceras till kvävgas ( $N_2$ ) eller spjälkas till kvävgas och syrgas ( $N_2$  och  $O_2$ ). Det enklaste och billigaste sättet är oxidation genom vanlig förbränning. Förr när man hade oljepannor i anslutning till de flesta sjukhusen hade det varit enkelt att använda luften med lite lustgas i som den nödvändiga luften vid förbränning av oljan, eller i dagsläget kanske snarare träflis. Det hade bara kostat ventila-

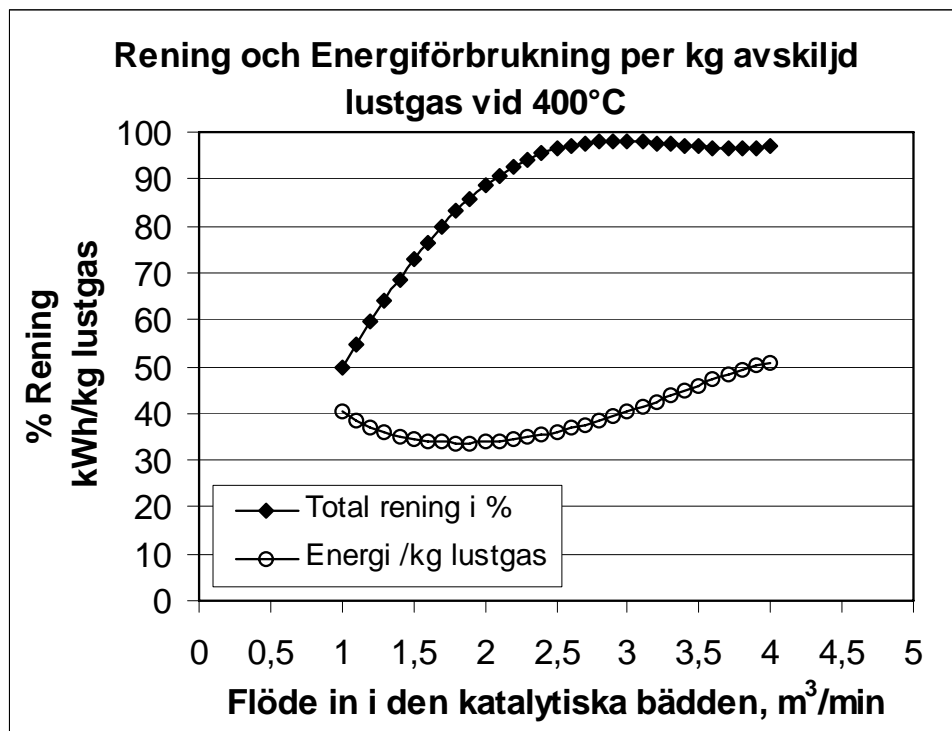
tionssystemet och dessutom medfört ett visst utsläpp av NO<sub>x</sub>. Med fjärrvärmen finns inte längre den möjligheten. En särskild värmepanna bara för att ta hand om lustgasen är tänkbar om man har avsättning för det producerade varmvattnet. För 2,5 m<sup>3</sup> luft/min skulle det krävas en panna på ca 110 kW som förbrukade 33 kg flis/h (Sundqvist 2005). Luftflödet är valt med tanke på förhållandena vid Huddinge sjukhus, se nedan. Det skulle kosta mellan 200 000 och 400 000 kr/år, beroende på vad man skulle få för varmvattnet. Samtidigt skulle alltså en del NO<sub>x</sub> bildas.

Oxidation kan också ske vid lägre temperatur med hjälp av katalysatorer, men tekniken är ännu inte utvecklad för oxidation av lustgas i större skala, och ger också oönskade utsläpp av NO<sub>x</sub>. På samma sätt finns inte heller färdiga system för katalytisk reduktion av lustgas. IVL Svenska Miljöinstitutet hittade däremot en artikel om en apparat i Japan som bland annat destruerade lustgas från operationer med katalytisk spjälkning. Vid katalytisk spjälkning behövs inga tillsatser, och resultatet blir bara ofarlig kvävgas och syrgas. Vid temperaturer kring 400°C spjälkas lustgasen snabbt när den passerar en fast katalysatorbädd med i det här fallet metallen rodium på ett bärrmaterial.

## Destruktion vid Huddinge sjukhus

Vid en offentlig upphandling gick uppdraget till det japanska företaget Showa Denko KK att leverera en utrustning anpassad till Huddinge sjukhus. Jämfört med den befintliga utrustningen i Japan måste den här klara betydligt större luftflöden, och samtidigt mycket lägre halter. Flödet bestämdes av det system med dubbelmasker och utsug som finns på Huddinge (Medicvents system Anevac). Varje mask har både tillförsel av en blandning av lustgas och syrgas, och ett utsug av utandningsluften. Maskerna i alla förlossningsrummen är anslutna till ett gemensamt fläktsystem, där man håller ett konstant undertryck. Ju fler masker som används samtidigt, desto högre blir luftflödet. Det ger en variation från basflödet på ca 1 m<sup>3</sup>/min utan någon lustgas, till över 3 m<sup>3</sup>/min med ca 6 000 ppm när 5-6 masker används samtidigt.

I november 2004 installerades anläggningen, kallad Anesclean-SW. Efter godkänd funktionstest under en månad började IVL tillsammans med Dalkias personal på plats att optimera driften. Det gällde att anpassa temperatur i katalysatorn och flödet genom Anesclean-SW till det som Anevac samlat upp, så att destruktionsen blev så hög som möjligt och samtidigt energibehovet så lågt som möjligt. Resultatet blev att temperaturen i katalysatorn bör hållas vid ca 400°C, och luftflödet inte överstiga ca 2,5 m<sup>3</sup>/min (Ek m.fl. 2005). Det betyder visserligen att man under korta perioder inte kan behandla hela flödet från Anevac, men det är marginella förluster enligt figur 1.



Figur 1. Reningseffektivitet och energibehov som funktion av luftflödet.

Baserat på de här resultaten har anläggningen nu körts i 1½ år vid 400°C och 2,3 m³/min. Den har fungerat mycket bra med rening över 95 %, och nästan 100 %-ig tillgänglighet (Tjus 2006).

För att få ner energibehovet skulle man helst vilja anpassa flödet i Anesclean-SW efter det aktuella flödet i Anevac. Det är mest uppvärmning av ett stort luftflöde som kostar energi, trots att man har en effektiv värmeväxlare. Även fläkten drar en del energi. Någon sådan styrning av luftflödet finns emellertid inte, utan man måste ställa flödet manuellt. På grund av de snabba variationerna i flöde och halt från Anevac hålls därför flödet konstant idag. Det innebär att vid låga flöden från Medicvent tas ren luft in utifrån och måste värmas upp till ingen nytta.

I ett energioptimerat system kan man tänka sig en automatisk styrning av luftflödet antingen baserat på flödet från Anevac, eller på lustgashalten in till Anesclean-SW, eftersom de två samvarierar. Man måste bara styra så att man inte får en överhettning av katalysatorn när man drar mer flödet. En sådan styrning borde kunna halvera det specifika effektbehovet för lustgasdestruktionen.

## Fler åtgärder krävs

Destruktionen i Anesclean-SW fungerar alltså mycket bra, även om den inte är energioptimerad. Men samtidigt har mätningarna vid Huddinge visat att bara 30-40 % av den använda lustgasen samlas upp av maskerna i Anevacsystemet. Det beror till en del på att hakmasken som ingår i systemet oftast inte används. Den ska fånga upp mycket av den lustgas som man andas ut efter att man tagit masken från munnen. Hakmasken uppfattas som störande och obehaglig av barnmorskor och blivande mödrar. Det betyder att 60-70 % av den använda lustgasen går ut i den allmänna ventilationen, och är mycket svårare att destruera på grund av de mycket högre flödena och lägre

halterna. Medelflödet i Anevac är under 2 m<sup>3</sup>/min med ca 600 ppm lustgas, medan motsvarande siffror för rumsventilationen från alla förlossningssalarna är ca 140 m<sup>3</sup>/min och ca 40 ppm.

För att nå målet med minst 50 % minskning av utsläppen av lustgas ens vid Huddinge med den installerade reningen måste man alltså antingen a. minska användningen, b. förbättra insamlingen, eller c. behandla rumsluften också. Även för personalens arbetsmiljö bör något göras. I första hand vill man behålla lustgasen, men förbättra insamlingen.

Flera försök har gjorts för att få insamlingssystemen att fånga upp mer än idag. Att bara använda den hakmask som redan hör till systemet skulle troligen öka insamlingen till 70-80 % (Lindkvist 2007), men det möter alltså ett stort praktiskt motstånd. Medicvent har nyligen startat försök med att ha dubbelmasken fäst i ett nackband. Bandet är så långt att det inte ska kännas instängt för modern, men kort nog att hålla masken kvar på bröstet efter avslutad lustgasandning. Idealet är naturligtvis att modern andas ut ytterligare 5-10 andetag i masken efter värken. Så fungerar det dock oftast inte i verkligheten. Då är det ändå en fördel att masken ligger på bröstet och kan fånga upp en stor del av utandningsluften. Modellförsök tyder på att man kan nå en total infångning mellan 60 och 75 % (Lindkvist 2007), men det ska nu verifieras i kontrollerade mätningar vid verkliga förlossningar. Om dessa mätningar visar en bra effekt återstår ett utvecklingsarbete i nära samråd med förlossningspersonalen för att optimera utformningen. Det gäller slanglängder, slanghållare, material, snabbkoppling och annat som kan variera mellan förlossningsenheter.

En ny gasventil för koppling till dubbelmasken utvecklades vid Huddinge i ett examensarbete vid Avdelningen för medicinsk teknik på KTH i samarbete med Avdelningen för medicinsk teknik vid Karolinska Institutet (Jägers 2005). Ventilen styrs av en knapp som monteras på dubbelmasken. När värken kommer och modern tar masken trycker hon in knappen, och ventilen ger den vanliga blandningen av lustgas och syrgas. När värken är över släpper hon knappen, men fortsätter att andas i masken några andetag. Ventilen slår om till en blandning av luft och syrgas. På det sättet samlas mycket mer av den fördröjda utandningen av lustgas upp, det som en använd hakmask skulle göra. Det skulle förbättra möjligheterna att fånga upp en större del av lustgasen, och därmed också förbättra arbetsmiljön för barnmorskorna. Genom att upplysa mödrarna om det positiva med den extra syrgasen både för dem (minska eventuellt illamående) och för barnet (bättre syretillförsel) borde det vara lätt att få mödrarna att använda systemet på rätt sätt.

En prototyp av gasventilen testades kliniskt, och mödrarna tyckte att det var relativt lätt att använda systemet. Barnmorskorna ansåg att det var mycket bättre än hakmasken, och det mesta av arbetsstörande faktorer kan säkert tas bort vid en vidareutveckling av systemet. Ventilen tycks vara en framkomlig väg att förbättra för alla parter, men fler kliniska test behövs. Dels bör underlaget av testade mödrar ökas, dels vore det bra med även mätning av den uppsamlade lustgasen under syrgasfasen.

De här tankarna och erfarenheterna stämmer väl med vad man fann vid Södersjukhuset (Drobin 2007). Man provade olika sätt att få ner halten av lustgas i förlossningsrummen. Att öppna dörrar eller fönster hjälpte inte, men däremot att låta mamman andas ren syrgas under en minut efter värken. Som alternativ till den manuella gasventilen ovan kan man tänka sig ett automatiskt system. Signaler från livmodern skulle koppla över till ren syrgas i masken när värken börjar avta. På så sätt skulle man samtidigt förbättra arbetsmiljön och samla in lustgasen i en koncentrerad form för destruktion.

Danderyds Sjukhus har dubbelmasker för utsug av en del av utandningsluften, men ännu inget särskilt system för att ta hand om den koncentrerade gasen. Den går direkt in i samma frånluftskanal som resten av ventilationsluften. Här genomför man två projekt kring lustgasen (Danderyds Sjukhus 2006-09-05). Dels vill man minska användningen av lustgas genom förändrat beteende hos

de blivande mödrarna, dels försöker man tillsammans med förlossningspersonalen att ta fram ett effektivare punktutslag. Beteendet ändras främst genom upplysning till mödrarna om lustgasens negativa miljöeffekter, för klimatet och barnmorskorna, och hur man bäst använder masken.

För att ta fram ett bakgrundsmaterial att jämföra kommande insatsers effekt med gjordes under juni-juli 2006 mätningar i ett representativt förlossningsrum. Tre olika mätare placerades på olika höjder i närheten av förlossningssängen och registrerade kontinuerligt koncentrationen av lustgas under 8-timmarsperioder. Totalt varierade dagsmedelvärdena (8 tim) mellan 0,31 och 790 mg/m<sup>3</sup>, med ett aritmetiskt medelvärde på 32 mg/m<sup>3</sup>. Nivågränsvärdet för 8 tim i Sverige är 180 mg/m<sup>3</sup>. 6 % av alla registrerade mätvärden (20 sekunders medelvärde) var över det hygieniska gränsvärdet 900 mg/m<sup>3</sup> (korttidsvärde 15 min). Ett fåtal av mätvärdena var t.o.m. över mätarnas maxvärde 1 800 mg/m<sup>3</sup>. Vid en liknande undersökning av Yrkes- och miljömedicinska kliniken på Universitetssjukhuset i Örebro (Ohlson m.fl. 2006) var de högsta dagsmedelvärdena 260 mg/m<sup>3</sup>, och det förekom 15-min värden upp till 4 200 mg/m<sup>3</sup>.

De högsta topparna och största variationerna i halt uppmättes i Danderyd vid golvet, och generellt fanns det en tendens till att halterna var högre längre ner i rummet. Det är naturligt då lustgas är betydligt tyngre än luft. Den här tendensen undersöktes noggrannare i ett slutet rum utan förlossning, med och utan rumsventilation (Danderyds Sjukhus 2006-09-05). Här var det tydligt att ett utsläpp av lustgas vid huvudändan av sängen ger en snabb topp just där och ner mot sängens fällpunkt. Sedan rör sig gasen ner mot golvet och åt sidorna, men inte särskilt mycket upp mot droppställningens nivå. Inom 15-20 min hade koncentrationen jämnats ut i rummet, till en restnivå utan ventilation, och till nära noll med ventilation. Ett extra punktutslag skulle alltså vara effektivast i närheten av utsläppspunkten (munnen) och strax under den. Allmänventilationen borde suga ut luften från en nivå nära golvet.

Baserat på de här mätningarna har man vid Danderyds sjukhus utvecklat tre olika prototyper av utsug för att komplettera dubbelmasken (Danderyds Sjukhus 2006-10-25). Alla tre bygger på utsug genom en perforerad slang längs sängens huvudända och ner längs sidorna på det fällbara ryggstödet. Skillnaderna ligger i om man placerar slangen ovanpå metallramen, nersänkt i madrassen eller i en särskild krage som läggs på sängen, men under lakanet. Särskilt de två senare lösningarna med utsuget under lakanet gav i tester mycket små störningar för personal och mödrar, och effekten var ungefär densamma som för den ovanpå liggande slangen. Den enda eventuella störningen är ett svagt extra susande och en extra anslutning som måste lossas om sängen snabbt behöver köras iväg.

I testerna arbetade man med ett flöde på ca 500 L/min, och i tester i slutna miljö såg man höga koncentrationer av lustgas i utsuget. Jämviktsskoncentrationen blev också lägre än i motsvarande försök utan utsug, och man uppskattade att man kunde uppfylla det mål på 10 % extra uppsamling av lustgas som Lsf Miljö satt upp. Medicvent har också med samma tankar arbetat med en särskild nackkrage med utsug i framkant, men bedömde att nackdelen med ytterligare något fäst på modern inte uppvägs av kanske 10-15 % mer infångad lustgas (Lindkvist 2007).

När det nu är så svårt att samla in en större del av den använda lustgasen i koncentrerad form, kan man då inte behandla hela ventilationsflödet från förlossningen? Det är ca 140 m<sup>3</sup>/min i Huddinge och medelhalten av lustgas torde ligga kring 40 ppm. Om man skulle använda hela flödet som förbränningsluft i en panna skulle pannan få effekten 6 MW, vilket är ganska orimligt i samband med alla större sjukhus. Om man i stället tänker sig en behandling i Anesclean-SW skulle det krävas 50 enheter och den specifika kostnaden och energibehovet skulle vara oerhört höga. Man måste alltså först åstadkomma en koncentrerad av lustgasen, innan den kan destrueras.

Ett sätt att koncentrera gasen är i en zeolitbädd, och det har studerats vid IVL. Zeolit är ett naturligt mineral som (ofta efter modifiering) kan binda, adsorbära, en viss mängd av olika gaser. Det stora luftflödet får snabbt passera zeolitbädden, och nästan all lustgas binds i bädden. När zeoliten är mättad kopplas luftflödet in till en andra bädd, medan den första genom uppvärmning fås att lämna ifrån sig, desorbära, lustgasen vid en mycket högre koncentration. På det viset mättar man bäddarna växelvis, och det skulle räcka med bara en Anesclean-SW för att destruera den fångade och frigjorda lustgasen.

Frågor som inte är helt utredda ännu är hur mycket zeolit som krävs, och hur lång tid den kan användas innan adsorptionskapaciteten har minskat för mycket. För Huddinge sjukhus skulle det röra sig om några ton, vilket i sig inte är avskräckande om man bara inte behöver byta för ofta. Även med zeolit eller andra adsorbenter är den låga halten ett problem. Vid lägre halter har sorbenten också lägre kapacitet.

## Vilken miljönytta har installationen i Huddinge gjort?

När man inför en åtgärd för att minska en typ av miljöpåverkan bör man samtidigt försäkra sig om att man inte genom den åtgärden skapar andra typer av negativ miljöpåverkan som är värre. Verktöget för en sådan kontroll kallas LCA (Livs Cykel Analys), och försöker ta hänsyn till alla typer av miljöpåverkan vid tillverkning, transport, drift och slutligt omhändertagande av den uttjänta utrustningen. En något förenklad LCA har gjorts för Huddingefallet (Almemark 2005).

Om den insamlade lustgasen i Anevacsystemet inte destrueras kommer den att ge ett stort bidrag till växthuseffekten. Om den destrueras med Anesclean-SW blir det bidraget mycket mindre. I stället ökar förbrukningen av olika typer av energi, däribland en del från icke förnybara källor, och uttag av malm för att tillverka utrustningen. Man får en något ökad försurningspotential, övergödning och utsläpp av andra toxiska ämnen. Som alltid hamnar man i problemet att väga helt olika effekter mot varandra. Slutsatsen är ändå att den totala effekten är positiv, under förutsättning att man inte använder fossilbaserad el för driften, och att man återvinner det mesta av rodium i katalysatorn. Den positiva effekten skulle bli ännu större om man kunde spara in på en del av allt det rostfria stål som idag ingår i Anesclean-SW.

## Är kostnaderna rimliga?

På liknande sätt som för miljöpåverkan kan man se på den totala kostnaden för en produkt eller process med LCC (Livs Cykel Kostnad). Där ingår alltså kapitalkostnader för inköp, installation, drift och restvärde/kostnader för kvittblivning efter bruksfasen. För anläggningen i Huddinge visade det sig att kostnaderna för inköp och införsel stod för över 80 % av totalkostnaden (Kock 2005). Eftersom det här var den första utrustningen i sitt slag får den betraktas som en prototyp, och därför antagligen extra dyr. Inköp, frakt, tull och installation kostade 4,6 Mkr. Med allt inräknat ligger kostnaden nu kring 650 000 kr/år, eller ca 260 kr/kg destruerad lustgas. En jämförelse är den beräknade kostnaden för en separat förbränningspanna på högst 400 000 kr/år (Sundqvist 2005). Man kan också räkna om kostnaden till koldioxidekvivalenter, där det finns mer att jämföra med. 260 kr/kg lustgas motsvarar ungefär  $260/310 = 0,84$  kr/kg koldioxid. Det är betydligt mer än man idag behöver betala för utsläppsrätter för koldioxid, men mindre än en del andra åtgärder för att minska koldioxidutsläppen.

## Hur går man vidare?

Av målen som sattes upp 2002 nådde man det första med en fungerande installation senast 2004, medan man ännu är långt från 50 % minskning totalt sett. I landstingets miljöpolitiska program för perioden 2007-2011 har man målet att till 2011 minska utsläppen med 75 % jämfört med år 2002. Förhandlingar pågår angående inköp av Anesclean-SW eller liknande till de andra sjukhusen också. För att nå målet krävs dock antingen en starkt minskad användning, och/eller att man installerar destruktionsanläggningar och effektivare uppsamling vid alla länets förlossningsavdelningar.

För att nå en bättre uppsamling bör man fortsätta att arbeta enligt flera linjer. Ventilen med ökad syrgastillförsel bör kunna förenklas med t.ex. bara en kolv som öppnar och stänger för båda gasflödena samtidigt. För det systemet, för Danderyds system med utsug i sängens överkant, och för Medicvents system med nackband på dubbelmasken bör betydligt fler mätningar utföras. De måste utformas så att själva mätningen inte på något sätt stör personalen eller modern. Det måste alltså ske genom att man kontinuerligt mäter gasflödet via dubbelmasken till modern (här är lustgashalten känd), och också mäter både flöde och lustgashalt i den/de infångade flödet/flödena. Först efter att ha testat varje system under flera veckor i en normal förlossningssal kan man få en säker uppfattning om systemens effekt och förutsättningarna för destruktionsavdelning av lustgasen. Samtidigt följs barnmorskornas och mödrarnas upplevelse av systemen upp.

Om man inte klarar att drastiskt förbättra maskernas upptag måste man ta till metoder att destruera lustgasen i de mycket större ventilationsflödena. Här är zeoliter eller andra adsorbentsystem mest lovande och under utredning. I slutändan måste man också väga miljömålets betydelse mot kostnader och medicinska aspekter.

## Referenser

- Almemark, M.: "LCA för lustgasdestruktion" IVL rapport U1769 (2005).
- Danderyds Sjukhus: "Framtagning av munstycke för evakuering av lustgas i förlossningsmiljö", Rapport 2006-10-25.
- Danderyds Sjukhus: "Mätning av lustgas vid förlossningsavdelningen på Danderyds Sjukhus", Rapport 2006-09-05.
- Drobin, D. Karolinska sjukhuset Huddinge, personlig information (2007).
- Ek, M., Tjus, K., Rahmberg, M. och Brundin, S.: "Utvärdering av lustgasdestruktionen vid Huddinge sjukhus – erfarenheter t.o.m. hösten 2005" IVL rapport U1794 (2005).
- Jägers, T.: "Utveckling och konstruktion av en patientkontrollerad, elektriskt styrd gasventil för lustgas/syrgas och syrgas/luft", Examensarbete vid Institutionen för Fysik, KTH (2005).
- Kock, E.: "LCC för lustgasdestruktion" IVL rapport U1770 (2005).
- Lindkvist, R., Medicvent, personlig information (2007).
- Ohlson, C-H. m.fl.: "Exponering för lustgas vid sex förlossningsavdelningar i Mellansverige" (2006).
- Sundqvist, J-O.: "Förbränning av lustgas" IVL rapport U2047 (2005).
- Tjus, K.: "Utvärdering av Anesclean, april t.o.m. juni 2006" IVL rapport U1933 (2006).