
Rapport SGC 109

**FÖRBRÄNNING AV BIOGAS OCH
NATURGASBLANDNINGAR**

En experimentell undersökning av emissionsbildning
och flamstabilitet

Henrik Landersjö
Lunds Tekniska Högskola

Januari 2000



Rapport SGC 109
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R-109-SE

Rapport SGC 109

FÖRBRÄNNING AV BIOGAS OCH
NATURGASBLANDNINGAR

En experimentell undersökning av emissionsbildning
och flamstabilitet

Henrik Landersjö
Lunds Tekniska Högskola

Januari 2000

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

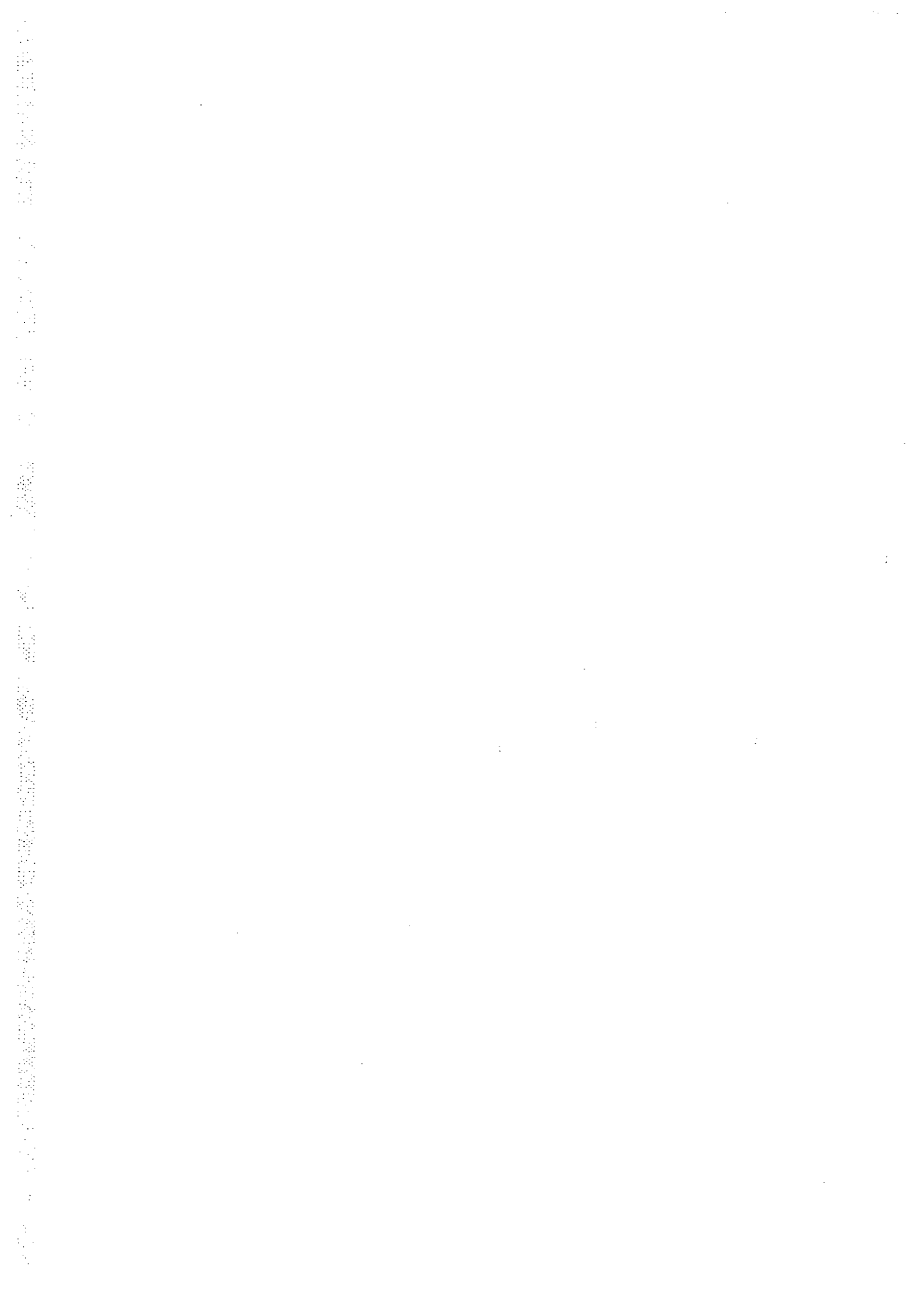
Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Sydgas AB
Helsingborg Energi AB
Lunds Energi AB
Vattenfall Naturgas AB
Göteborg Energi AB
SE Gas AB

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Johan Rietz



Sammanfattning

Biogas bildas när organiskt material bryts ner under anaeroba förhållanden. Processen kallas rötning och sker spontant i naturen t.ex. i myrmarker. På konstgjord väg framställs biogas i en rötkammare (rötgas) eller vid sopstationer (deponigas). Biogasen består av ca 65% metan och ca 32% koldioxid samt mindre mängder syre, kväve, svavelväten, ammoniak och vattenånga. För att öka energiinnehållet i biogasen anrikas metanet. Denna uppgradering kan ske med flera olika metoder. Då biogasförbränning inte bidrar till växthuseffekten är det önskvärt att pumpa in uppgraderad biogas på det svenska naturgasnätet.

I denna rapport redovisas resultaten från försök där metan (99,7%) blandats med dansk naturgas. Syftet är att se vad som händer med flamstabilitet och emissioner när gassammansättningen ändras som en följd av biogastillsats. Provet har genomförts i två pannor, en atmosfärspanna och en fläktgaspanna. Flamstabiliteten studerades visuellt för två atmosfärbrännare.

De visuella observationerna visade att flamman är stabil både för naturgasen och den rena metanen. När ren metan förbrändes uppstod dock fler gula toppar som indikerar ofullständig förbränning med ökade CO-utsläpp som följd.

Mätningarna av fläktgaspannan visade att området inom vilket emissionerna av CO ligger på en låg nivå minskade när metan tillsattes naturgasen. Men inom det godtagbara området var inte emissionerna av CO och NO_x högre för metanförbränning än när naturgasen förbrändes. En ökad inblandning av metan gav vidare att rökgastemperaturen ökade.

Även för atmosfärspannan steg rökgastemperaturen något när metaninblandningen ökade. Luftöverskottet sjönk med ökad metaninblandning i förbränningsgasen. Höga brännareffekter i atmosfärspannan gav detta för lågt luftöverskott med ökande CO-emissioner som följd.

Skulle metan eller uppgraderad biogas ledas in på det svenska naturgasnätet kan detta skapa problem i anläggningar som är inställda med ett lågt luftöverskott då ofullständig förbränning kan uppstå. Vid ca 50% metaninblandning är dock dessa effekter små. Dessutom uppnåddes den högsta verkningsgraden för båda pannorna vid 50% metaninblandning.

Innehållsförteckning

1. Inledning	3
2. Biogasproduktion och biogaskvalitet.....	4
2.1 Biogas	4
2.2 Uppgradering av biogas	5
3. Naturgasproduktion och naturgaskvalitet	8
4. Mätningar och resultat	10
4.1 Brännarna och deras konstruktion	10
4.1.1 Fläktgasbrännaren	10
4.1.2 Atmosfärbrännaren	11
4.2 Labuppställning.....	16
4.2.1 Fläktgaspannan	16
4.2.2 Atmosfärspannan	16
4.2.3 Atmosfärspannaare för flamstabilitetstudie.....	17
4.2.4 Kylning	18
4.2.5 Mätinstrument	18
4.3 Försökets genomförande.....	19
4.3.1 Fläktgaspannan	19
4.3.2 Atmosfärspannan	20
4.3.3 Flamstabilitetsstudie	21
4.3.4 Energibalans över pannan	21
4.3.5 Avgasanalys- enheter	22
4.3.6 Metanflödesmätaren.....	23
4.3.7 Gassammansättning vid blandning	24
4.4 Resultat	25
4.4.1 Fläktgaspannan	25
4.4.2 Atmosfärspannan	27
5. Slutsatser	30
Referenser	31
Bilagor.....	A-C

1. Inledning

Detta examensarbete är utfört för Svenskt Gastekniskt Center ABs räkning. Examensarbetets syfte är att undersöka vad som händer när uppgraderad biogas tillförs dansk naturgas och sedan förbränns. Examensarbetet bygger vidare på ett examensarbete som är utfört av Kaj Våg-dahl, Chalmers Tekniska Högskola [ref. 1]. Det beskriver möjligheterna att avsätta biogas till det svenska naturgasnätet. Syftet är att i framtiden ha underlag för en eventuell biogasinblandning på det svenska naturgasnätet. Biogasinblandningen på naturgasnätet är ett led i att minska koldioxidutsläppen i atmosfären och en effektivare användning av biogas. Biogas framställs genom rötning av organiskt nedbrytbara material.

I detta examensarbete undersöks dels hur flamstabiliteten påverkas av biogasinblandningen, dels emissionerna i rökgaserna som bildas då blandningen förbränns i en sluten panna. Den uppgraderade biogasen bör ha en metanhalt på ca 97% och resterande del koldioxid. I försöken har ren metan används, 99,7% metan och 0,3% koldioxid. Skillnaden i Wobbeindex är ca 5%. Detta måste tas i beaktning i utvärderingen av examensarbetet.

Undersökningen genomförs på experimentell väg. Två olika typer av brännare har används i laborationsuppställningen, atmosfärsbrännare och fläktgasbrännare. Brännarna är placerade i varsin panna. I dessa pannor mättes emissionerna i rökgaserna vid olika brännareffekter samt vid olika luftöverskott. Alla mätningar genomförs vid två temperaturer på vattnet som leder bort värmen från pannan. Pannorna är representativa för pannor avsedda för uppvärmning av byggnader.

I atmosfärspannan sitter normalt tre atmosfärsbrännare. Dessa har tagits ut ur pannan och flambilden har studerats visuellt. Även två lösa atmosfärsbrännare har använts för att undersöka flamstabiliteten rent visuellt samt genom fotografering.

2. Biogasproduktion och biogaskvalitet

2.1 Biogas

Biogas bildas när organiskt material, t.ex. avloppsslam, sopor, industri- och slakteriavfall, bryts ner under anaeroba, syrefria, förhållanden. Processen kallas rötning och sker spontant i naturen t.ex. i myrmarker. På konstgjord väg bildas biogas i en rötkammare (rötgas) eller i soptippar (deponigas). Idag är ett hundratal anläggningar i drift runt om i Sverige. Rötning av avfallsslam och avfallsdeponier står för huvuddelen av dessa. 1997 producerades biogas motsvarande 1,4 TWh i Sverige [ref. 2].

Den producerade biogasen består i huvudsak av metan (CH_4) samt koldioxid (CO_2). Vidare innehåller biogasen ibland kvävgas (N_2) och syrgas (O_2) samt mindre mängder ammoniak (NH_3) och svavelväten (H_2S). Vid deponigasutvinning bildas initialt även vätgas (H_2). En vanlig sammansättning framgår av tabell 2.1

Tabell 2.1 Typisk biogassammansättning.

CH_4	65%
CO_2	32%
N_2	2%
O_2	1%
H_2S	1000 ppm
NH_3	100 ppm

Utöver de i tabell 2.1 redovisade komponenterna innehåller biogasen även vattenånga. Biogas produceras i fuktig miljö med en förhöjd temperatur (30-35 °C). På de flesta anläggningar torkas därför gasen. Vatteninnehållet i biogasen beror av rötningstemperaturen som tabell 2.2 visar.

Tabell 2.2 Vatteninnehåll i biogas.

Temp. °C	-10	0	10	20	30	40	50	55
Vattenånga g/Nm ³ torr gas	2	4	8	15	27	49	86	114

Biogas innehåller stora mängder obrännbara gaser samt saknar högre kolväten än metan. Detta medför att Wobbeindex och värmevärde är lägre för biogas än för naturgas. Det är därför en fördel att öka metaninnehållet i biogasen, genom att ta bort de obrännbara komponenterna, då den ska blandas med naturgas och på så sätt tillåta en högre inblandningsprocent i naturgasnätet [ref. 3].

2.2 Uppgradering av biogas

Idag används ett flertal olika metoder att uppgradera biogas. Med uppgradering menas avskiljning av koldioxid CO₂, kvävgas N₂, svavelväten H₂S, vatten H₂O och ammoniak NH₃.

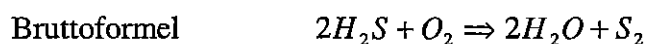
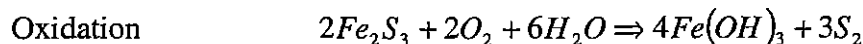
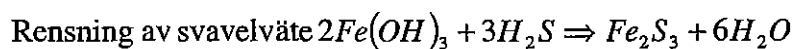
Bland metoderna att uppgradera biogas finns [ref. 3].

- Åkermalmfilter
- Aktivt kol
- Sulfit-processen
- Tryckvattentvättning
- MEA-processen
- Membran-separation
- PSA-metoden
- Vattenavdunstning
- Kondenseringsmetoden

Åkermalmfilter

Åkermalmfilter används för att avskilja svavelväte. Åkermalm är jord rik på järnhydroxid. Järnhydroxiden reagerar med svavelväte och bildar järnsulfit. Järnsulfiten oxideras sedan och fast svavel faller ut. Järnhydroxiden som återbildas kan sedan användas igen.

Reaktionsformel:



Aktivt kol

Vid användning av aktivt kol kan både svavelväte, ammoniak som halogenerande kolväten avskiljas. Vid svavelväteavskiljning används en katalytisk metod. Normalt sker reaktionen mellan svavelväte och syre först vid 200°C. Men med aktivt kol och en katalysator kan oxidationen ske redan vid rumstemperatur under utveckling av värme. När det aktiva kolet är mättat höjs temperaturen till 400-500°C varvid svavlet förgasas. Kväve används här som inert gas då metan skulle kunna självantända. Gasen kyls sedan till 300°C och svavlet tas ut i vätskefas.

Ammoniakavskiljning sker genom absorption på det aktiva kolet. Eventuellt kan det aktiva kolet här vara impregnerat med svavelsyre. Halogenerade kolväten avskiljs genom absorption på poröst aktivt kol eller vid en katalytisk process.

Sulfitprocessen

Sulfitprocessen består av en kemisk tvättning där svavelväte oxideras till elementärt svavel. Processen är flexibel och kan anpassas till önskad reningsgrad och gasmängd.

Tryckvattentvättning

Processen går ut på att en gasformig föroreningskomponent absorberas i vatten. Absorptionen sker fysiskt, d.v.s. gaskomponenten överförs till vattnet utan att någon kemisk reaktion sker. Svavelväte, ammoniak och koldioxid kan avskiljas genom tryckvattentvättning. Svavelväte är tre gånger mer lösligt än koldioxid som i sin tur löser sig 25 gånger lättare än metan i vatten.

Vattnet trycksätts till minst 10 bar och sönderdelas till mindre droppar när det får passera lammellager. Gasen som ska absorberas komprimeras också till 10 bar och sänds i motsatt riktning som vattnet. Vid det högre trycket ökar koldioxidens löslighet i vattnet, vilket är nödvändigt för att uppnå en hög reningsgrad, 85-90% metan eller högre.

MEA-procesen

Om högre reningsgrad än 92% ska kunna uppnås med tryckvattentvättning kan monoethanolamin, MEA, tillsättas vattnet. MEA binder svavelväte och koldioxid kemiskt. För att kunna upprätthålla en hög reningsgrad måste MEA kontinuerligt tillföras.

MEA-luten är aggressiv och anläggningen måste därför byggas i rostfritt stål. Processen sker vid 110°C. Med MEA-tillsats i tryckvattentvättning kan en renhet på upptill 99,6% metan erhållas.

Membranseparation

Membranen används till att avskilja svavelväte och koldioxid från metanet. Koldioxid och svavelväte diffunderar 20-60 ggr snabbare genom membranen än metan. Membranen i processen kan framställas av flera olika polymerer t.ex. polysulfon, polyamid, polyvinylidenfluorid och cellulosaacetat. Det är ofta en fördel att först rena gasen från svavelväte och vatten då membranerna annars kan påverkas.

Med en ingångstemperatur och tryck på 50°C och 35 bar kan en renhet på 95% metan erhållas till ett utbyte av 98,5% av det ursprungliga metanet.

PSA-metoden

Tryckskiftning och absorption med molekylsikt är en koldioxidavskiljningsmetod som används i stora anläggningar. PSA-metoden (Pressure Swing Adsorption) bygger på att koldioxid kan upptas i porösa material med rätt porstorlek. Koldioxid upptas under ca 10 bars tryck och frigges vid 50 mbars tryck.

Metoden kräver ofta flera steg (3-4 st) som växelvis trycksätts och evakueras. Vidare erfordras en tryckbehållare till den uppgraderade biogasen.

Med PSA-metoden kan en renhet på ca 97% metan erhållas. Även kväve och syre kan avskiljas från biogasen med hjälp av PSA-metoden.

Vattenavdunstning

Vid avskiljning av vatten kan man använda många olika absorptionsmedier som silikater, aktiverad aluminium och molekylsiktter. Vattnet absorberas av materialen genom uppvärmning eller tryckhöjning.

Vid reningsprocesser som kräver en tryckhöjning på 4-30 bar komprimeras gasen med en temperatursänkning som följd. När temperaturen sjunker sänks gasens vattendaggpunkt och vatten kondenseras ut från gasen.

Kondenseringsmetoden

Grundprincipen för kondenseringsmetoden är att då biogas kyls vid högt tryck erhålls ett koldioxidrikt kondensat samtidigt som metanhalten anrikas i gasfasen. Temperaturer nedåt -100 °C krävs för att uppnå den önskade reningsgraden, d.v.s. över 97% metan [ref. 4].

3. Naturgasproduktion och naturgaskvalitet

Naturgasen i den svenska naturgasledningen kommer från Danmark. Den danska naturgasen har sedan introduktionen 1985 haft en mycket konstant kemisk sammansättning (gaskvalitet). Utvinningen av naturgasen sker från ett antal gasfält i Nordsjön. Gasen förs iland via ledningar till en gasbehandlingsanläggning i Nybro. Här kontrolleras gassammansättningen och eventuella oönskade svavelväten kan renas bort. Hittills har svavelväteinnehållet varit så lågt att ingen rensning har varit nödvändig.

Gasen leds till Sverige via en huvudledning. Denna huvudledning leds sedan upp längs den svenska västkusten till Göteborg. I tabell 3.1 redovisas den genomsnittliga gassammansättningen på naturgasen.

Tabell 3.1 Gassammansättning för den danska naturgasen.

CH ₄	91,00%
C ₂ H ₆	5,10%
C ₃ H ₈	1,80%
C ₄ H ₁₈	0,90%
C ₅ +	0,30%
CO ₂	0,61%
N ₂	0,32%
O ₂	0%

Högre kolväten, C₅+, tas bort från gasen då de riskerar att kondensera i gasledningen vid högre tryck. En tillsats av luktämnen tillförs naturgasen för att läckor på ledningar och i gasanläggningar ska kunna upptäckas. Vid 20% av den undre explosionsgränsen kan naturgasen detekteras i luften [ref. 3].

Med inblandning av biogas i naturgasen förändras gasens kemiska sammansättning. Detta påverkar de gasrelaterade storheterna relativ densitet [d], Wobbeindex [W] och värmevärde [H].

Relativ densitet [d]

Relativ densitet definieras som bränslets densitet relativt luftens densitet, se ekvation 3.1. Detta är en väsentlig storhet vid bestämmande av Wobbeindex, men upplyser också om gasen är tyngre eller lättare än luft som har en säkerhetsmässig betydelse.

$$d = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{luft}} \quad 3.1$$

Wobbeindex [W_u]

Wobbeindex beräknas som det undre värmevärdet dividerat med kvadratroten av den relativa densiteten. W_u anges normalt som MJ/nm³.

Wobbeindex är en ofta använd storhet vid förbränningstekniska sammanställningar mellan olika gassammansättningar. Wobbeindex är i princip bestämmande storhet för vilken energimängd som strömmar genom en dysa vid givet tryck och dysarea. Vid samma wobbeindex kan två gassammansättningar utbytas mot varandra utan komplikationer. En avvikelse på 5% brukar anges som övre gräns för utbytbarheten.

$$W_u = \frac{H_u}{\sqrt{d}} \text{ MJ/nm}^3 \quad 3.2$$

Stökiometriskt förbränning

Förbränning där minsta möjliga luftmängd tillförs gasen (teoretiskt) vid fullständig förbränning.

Luftöverskott

Decimaltal som anger den aktuella förbränningsluftmängden i förhållande till det stökiometriska. Kallas ibland även lufttal.

4. Mätningar och resultat

Kapitlet innehåller en beskrivning av laboratorieuppställningen med de använda pannorna och brännarna. Vidare beskrivs försöksuppställningen och slutligen mätningar och resultat.

4.1 Brännarna och deras konstruktion

Två olika typer av brännare har använts i försöksuppställningen, en fläktgasbrännare och en atmosfärsbrännare.

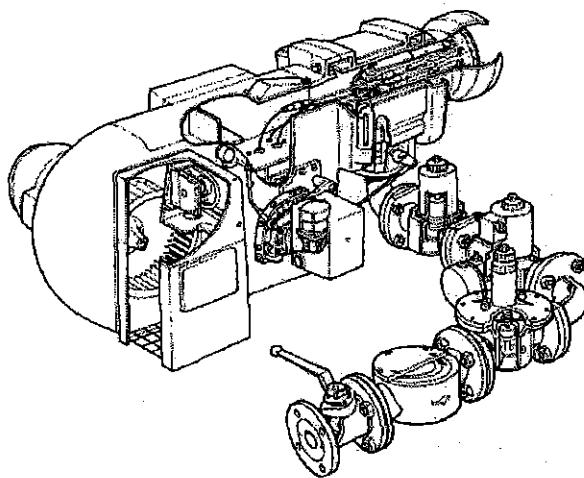
4.1.1 Fläktgasbrännaren

I en fläktgasbrännare tillförs hela den nödvändiga mängden förbränningsluft med hjälp av en fläkt. Blandningen av gas och luft sker i brännarhuvudet. Ett luftöverskott på 10-20% är nödvändigt för att inte oförbränd gas ska lämna eldstaden. Gastrycket behöver inte vara högre än att strömningsmotståndet i brännarhuvudet och mottrycket i brännkammaren kan övervinnas. Då ingen sekundär lufttillsättning behövs finns god möjlighet till reglering av luftmängden för fläktgasbrännaren. Då reglerutrustningen ökar priset på pannan används fläktgasbrännaren till största delen i större pannor från 50 kW. Det finns dock fläktgasbrännare i belastningsområdet från 5 kW. Brännaren som sitter i försökspannan är avsedd för en belastning på 7-45 kW [ref. 6 och 7].

En fläktgasbrännare består i huvud sak av tre delar:

- Förbränningsluftfläkt med tillhörande motor.
- Brännarhuvud med blandkammare, brännarrör, gasdysa, flamvinklingskiva och flamhållare.
- Reglerings-, tändnings- och säkerhetsutrustning. I många fall även system för reglering av gas och förbränningsluft.

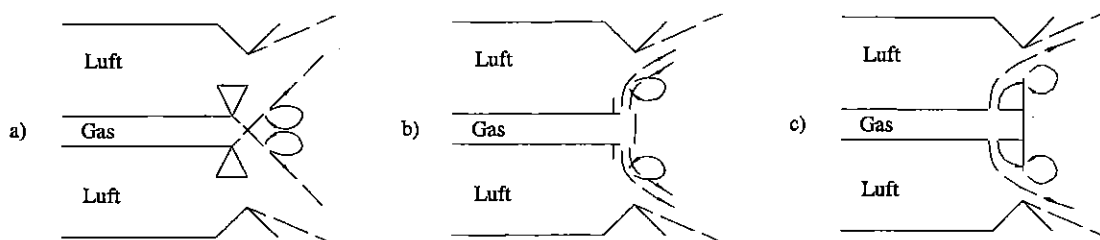
Brännare där alla delar inklusive luftfläkten är sammanbyggda till en enhet kallas monoblockbrännare, se figur 4.1.



Figur 4.1 Monoblockbrännare.

Fläkten i en monoblockbrännare (sammanbyggd brännare och fläkt) är vanligen en radialfläkt. Energiförbrukningen för fläkten uppgår till mindre än 0,2% av gasförbrukningen och försummas vanligen i energibalansberäkningen. Blandkammaren och flamhållaren är den del av brännarhuvudet som har störst inverkan på flammen. Strömningen i blandkammaren bestämmer uppblandningen av gas och luft, som i sin tur påverkar förbränningsdensiteten, flamformen, flamlängden och flamstabiliteten. Därmed påverkas även emissionsbildningen.

Tre olika principer tillämpas för blandning av gas och luft, se figur 4.2.



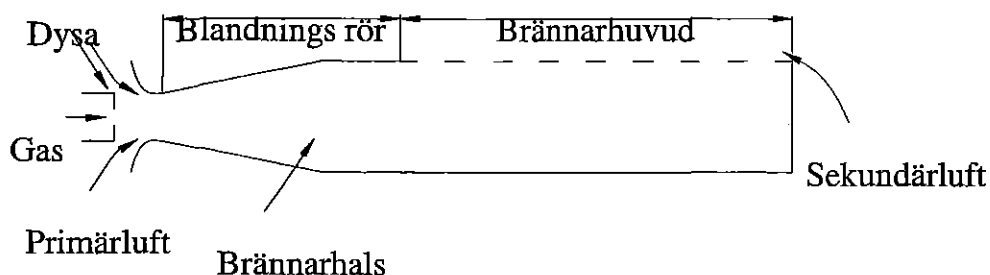
Figur 4.2 Principer för att blanda förbränningsgasen och luften.

- a: Vinkelström, gasuppblandning efter flamhållaren.
- b: Tvärström, gasuppblandning efter flamhållaren.
- c: Virvelström, gasuppblandning före flamhållaren.

4.1.2 Atmosfärsbrännaren

Atmosfärsbrännare används till hushålls- och kommersiella applikationer. Atmosfärsbrännaren fungerar oftast komplikationsfritt och har en enkel uppbyggnad. En atmosfärsbrännare är i enkelhet uppbyggd av följande delar, se figur 4.3.

- Gasdysa med luftintag.
- Brännarhals med blandningsrör
- Brännarhuvud med utströmningshål.



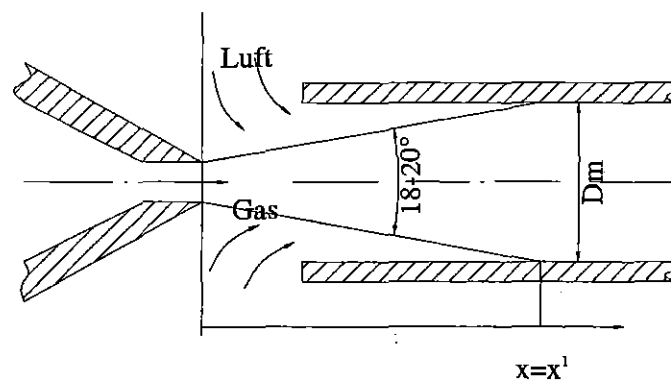
Figur 4.3 Atmosfärsbrännarens uppbyggnad.

Förbränningsluften tillförs gasen dels genom ejektorverkan i en dysa. Gasen suger med primärluften in i blandningsröret, dels genom sekundärluft (genom diffusion) vid flammen. Primärluften ligger vanligen på ungefär 50% av det stökiometriska luftbehovet. Totalt har atmosfärsbrännaren ett luftöverskott på 35-40%. Flammen är kort och har en tydlig kärnform. Belastningen regleras enkelt genom förändring av gaspådraget [ref. 6 och 7].

Dysan är vanligtvis konstruerad med fast tvärsnitt. Tvärsnittsarean anpassas till förbränningsgasens Wobbeindex och önskad brännarbelastning så att utströmningshastigheten inte ska bli för liten. Gastrycket före dysan är olika för olika gaskvaliteter.

- Biogas 2-5 mbar.
- Naturgas 9-15 mbar.
- Gasol 25-35 mbar.

Gasstrålen strömmar ut från dysan med en utvidgningsvinkel på 18-20° och drar med sig luft tills gasen träffar rörväggen se figur 4.4. Blandningsröret är i det enklaste fallet ett cylindriskt rör med cirkulär öppning. Även med en så enkel konstruktion fås en relativt god uppblandning av gas och luft. Om ett blandningsrör med konisk profil används omvandlas en del av rörelseenergi till tryckenergi vilket medför en minskning av friktionen.



Figur 4.4 Gasdysa med gasstråle.

I brännarhuvudet fördelas gas-luft blandningen över öppningshålen. I många fall används en flödesriktare. Utströmningshålen utformas som runda hål eller som slitsar. De cirkulära hålen kan ha en diameter på 0,5-0,8 mm och slitsarna kan vara 5*0,5 mm stora.

Det erforderliga gastrycket för att säkerställa tillräcklig primärluftmängd stiger således med ökande Wobbeindex. Den utströmmande gasen kan i detta område beräknas med god noggrannhet som:

$$q_{v, gas} = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2p_D}{\rho}} \quad 4.1$$

där:

- $q_{v, gas}$ = utströmmande gasmängd [m^3/s].
- α = dyskoefficienten, α är normalt 0,8-0,85. [-]
- A = dysarean [m^2].
- p_D = dystrycket [N/m^2].
- ρ = gasens densitet [kg/m^3].

Atmosfärsbrännarens primärluftmängd

Ett uttryck för primärluftmängden går att härleda ur kraftbalanser över olika tvärsnitt i en atmosfärsbrännare. Ur härledningen, som är redovisad i bilaga B, fås ekvationen för primärluftmängden som:

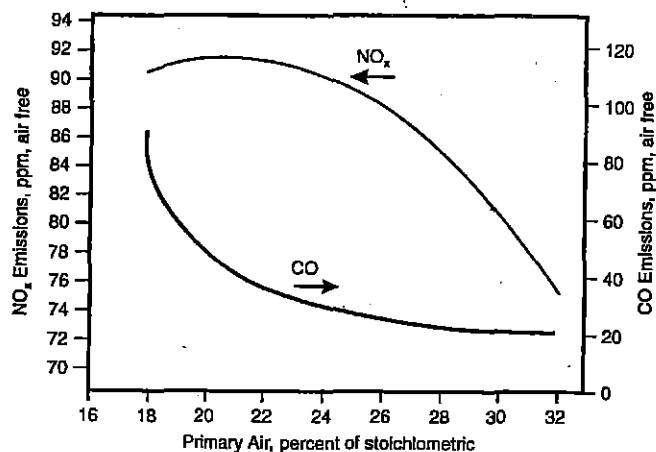
$$r = -\frac{d-1}{2} + \sqrt{\left(\frac{d-1}{2}\right)^2 + d \cdot \lambda} \quad 4.2$$

där :

$$\lambda = \frac{2}{C_{D,j} \cdot \left[\frac{A_j}{A_2} \cdot (1 + S_{1,2} + S_{2,3}) + \left(\frac{A_2}{Ap}\right) \cdot \left(\frac{A_j}{Ap}\right) \cdot \frac{1}{C_{D,p}^2} \right]} \quad 4.3$$

Där λ endast är en brännarberoende konstant. Det framgår ur formeln att primärluftmängden minskar då den relativa densiteten sjunker.

Primärluften till atmosfärsbrännaren är av stor betydelse för NO_x emissionerna. Vid runt 20% av det stökiometriska luftöverskottet är emissionerna av NO_x på maximala. Vid högre primärlufthalt sjunker NO_x emissionerna se figur 4.5. Vid högre primärluft än 80% börjar dock flamstabiliteten bli ett problem [ref. 8].



Figur 4.5 NO_x- och CO-emissioner som funktion av primärluftmängden.

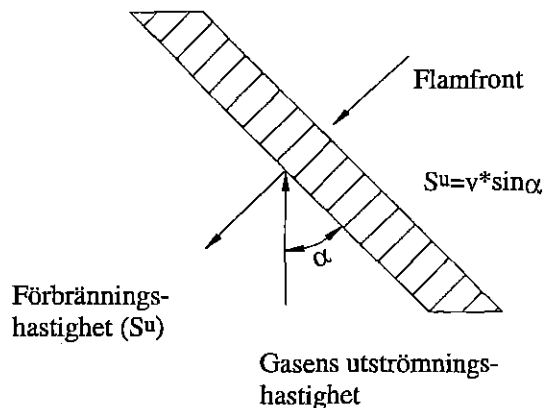
För hushållsbruk används generellt tre olika grundtyper av atmosfärsbrännare.

- Stavbrännare, används framförallt till rumsuppvärmning med en värmebelastning på upp till 40 kW per brännare.
- Brännare för varmvattenberedare. Belastning per brännare finns upp till 2 kW
- Brännare avsedda till kokning. Dessa har en belastning på upp till 15 kW.

Flamstabilitet för atmosfärsbrännaren

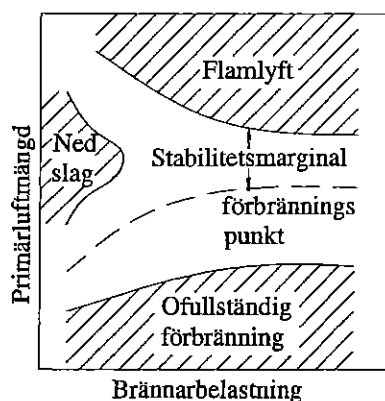
I en stabil flamma råder jämvikt mellan den oförbrända gasens hastighet och förbränningshastigheten, se figur 4.6. Om antingen gasens utströmingshastighet eller förbränningshastigheten förändras kommer utseendet på flaman att förändras, som följd av att jämvikten måste upprätthållas. Detta leder fram till begreppet flamstabilitet. Tre olika fenomen kan uppträda då jämvikten är i obalans [ref. 5].

- Flamlyft.
- Nedslag.
- Ofullständig förbränning.



Figur 4.6 Flamjämvikt i en atmosfärsbrännare med laminär flamma..

För brännare med luftinblandning före flammans kan följande schematiska bild (figur 4.7) illustrera flamkarakteristiken.



Figur 4.7 Schematisk bild av flamkarakteristiken.

Flamlyft

Om gasens utströmningshastighet är för hög eller förbränningshastigheten är för låg kommer flammans att lyfta från brännaröppningen och till slut blåsas ut. Flammans kommer vara stabil så länge ett visst avstånd från gasflödets gränsskikt kan upprätthållas av förbränningshastigheten. Rektangulära öppningar tenderar till att minska risken för flamlyftet.

Nedslag

Nedslag uppstår då förbränningshastigheten är högre än utströmningshastigheten. För en brännare med förblandad gas och förbränningsluft kan nedslag uppkomma med sloknad låga som följd. Eventuellt kan även skador på brännaren uppstå till följd av överhettning.

Om utloppshålens diameter minskas ökar utströmningshastigheten och nedslag kan undvikas. Risken för flamlyft ökar dock. I praktiken kan inte för små hål användas då flamlyft är ett större problem än nedslag. Även geometriförändringar har inverkan på flamstabiliteten.

Ofullständig förbränning

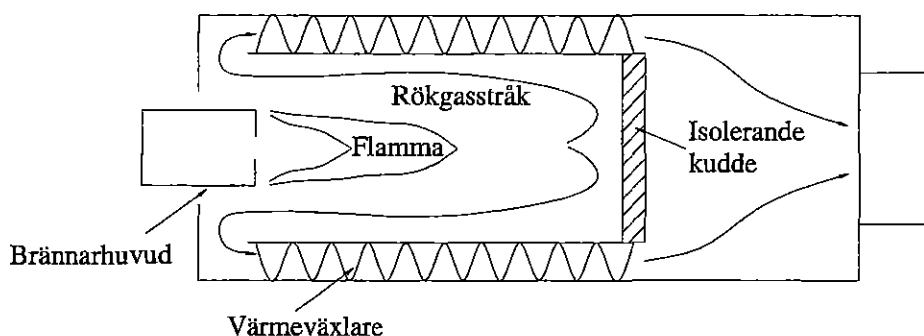
Vid ofullständig förbränning bildas gula toppar i flammans med ökad CO-emission som följd. Detta beror på otillräcklig tillgång på primär- eller sekundärluftmängd. Om flammans kyls av vid anslag av en kall yta eller vid stora luft rörelser kan förbränningen inte upprätthållas och oförbränd gas går ut via avgassystemet.

4.2 Labuppställning

Försöken delades upp i två moment. I det första användes två lösa atmosfärsbrännare för att studera flamstabiliteten. I den andra uppställningen användes slutna pannor. I dessa studerades emissionerna av O_2 , CO , CO_2 , NO och NO_2 efter pannans värmeväxlare. Vattentemperaturen in och ut ur pannans värmeväxlare samt rök-gastemperaturen ut från pannan uppmättes, och en enklare energibalans upprättades över pannan. De båda momenten genomfördes med ren naturgas, en blandning av 50% naturgas och 50% metan samt för ren metan.

4.2.1 Fläktgaspannan

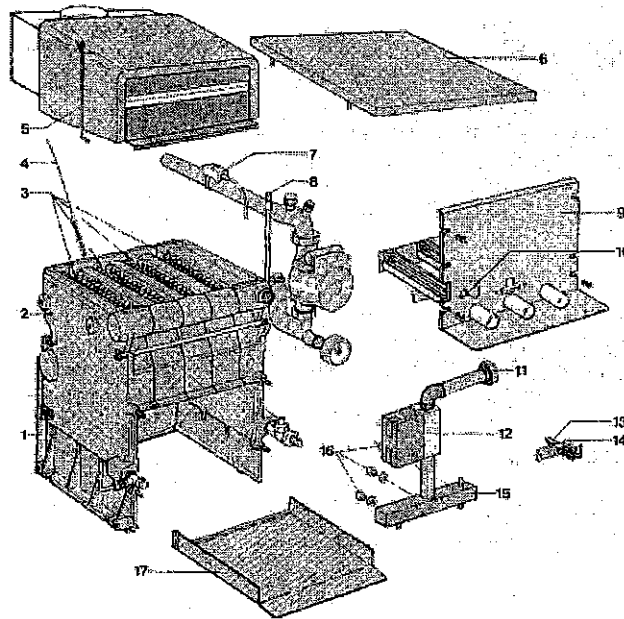
Försökspannan i vilken fläktgasbrännaren sitter har en uppbyggnad som figur 4.8 visar. Pannan är en Remeha OG9. Belastningsområdet för pannan är 11-17 kW. Det gick dock att reglera tillförsluften upp till ca 30 kW. Vid högre effekter är luftöverskottet för lågt och stora mängder oförbränd gas lämnar pannan.



Figur 4.8 Fläktgaspannan med värmeväxlare och rökstråk.

4.2.2 Atmosfärspannan

Pannan är av märket Vaillant (VKS 23/1 E) med en avsedd belastning på 17-25 kW, se figur 4.9. I brännaren sitter tre parallella atmosfärsbrännare försedda med vardera tre NO_x -reducerande stavar. När dessa stavar rödglödgas tas värme från flammen, vars temperatur sänks. Den termiska NO_x -emissionsbildning minskar när flamtemperaturen sänks vid rödglödningen. De rödglödgade stavarna utsänder IR-strålning motsvarande den energi som tas från flammen. IR strålningen och den höga rök-gastemperaturen värmer upp pannans värmeväxlarpaket som sitter ovanför eldstaden. Efter värmeväxlaren leds rök-gaserna bort genom skorstenen. Före skorstenen finns en öppning, dragavbrott, som ska förhindra att ett bakslag i skorstenen ska kunna nå ner till brännaren.



Figur 9 Uppbyggnad av atmosfärspannan Vaillant VKS 23/1 E.

4.2.3 Atmosfärbrännare för flamstabilitetsstudie

Två lösa atmosfärbrännare har använts när flamstabiliteten studerades. De benämns A och B. De båda brännarna har följande karakteristiska data.

Tabell. 4.1 Brännarnas karakteristiska data.

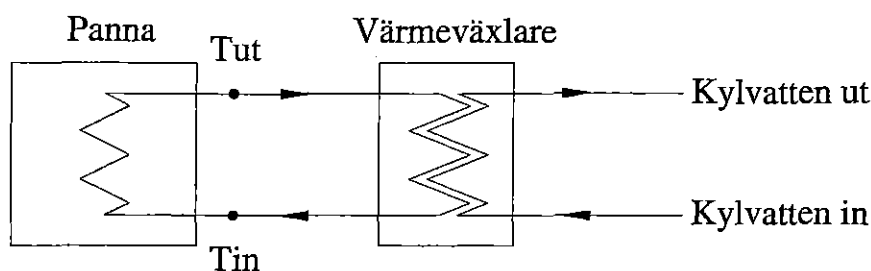
	A_1 [mm ²]	A_2 [mm ²]	A_p [mm ²]
A	30	2733,97	2361,46
B	30	483,05	1075,02

Där:

- A_1 = Gasdysans öppning.
- A_2 = Öppningsarea till blandningsröret.
- A_p = Öppningsarea i brännarhuvudet.

4.2.4 Kylning

För att simulera en uppvärmningsprocess av t.ex. ett hus används en värmeväxlare som kyler det heta vattnet från pannan till en lägre temperatur innan det återsänds till pannan. Kylvattnet tappas direkt från en vattenkran och leds i uppvärmt tillstånd bort i ett avlopp (se figur 4.10). Vattentemperaturen i pannans värmeväxlare regleras genom att öka respektive minska flödet från tappvattenkranen.



Figur 4.10 Värmeväxlaren.

4.2.5 Mätinstrument

Mätningarna sker efter värmeväxlarpaketet i respektive panna. Där mäts temperaturen, syre-innehållet, kolmonoxid och koldioxid mängden samt kväveoxid- och kvävedioxidinnehållet av rökgaserna.

Mätinstrumenten som används är av följande märke:

- NO och NO₂: ECO Physics CLD 700 EL ht.
- O₂: Rosemount OXYNOS 100.
- CO och CO₂: Rosemount BINOS 100.
- Temperatur: Termoelement typ K.
- Gasflödesmätare naturgas: Meterfabriek Schlumberger Nr. 9394982, bälggasmätare G4
- Gasflödesmätare biogas: Bronkhorst High-Tech SN 905180,E FUSE 400 mA S1. model 5514-FA, termisk massflödesmätare

Dessutom används Pt100-givare för mätning av vattentemperaturen in respektive ut ur pannans värmeväxlare.

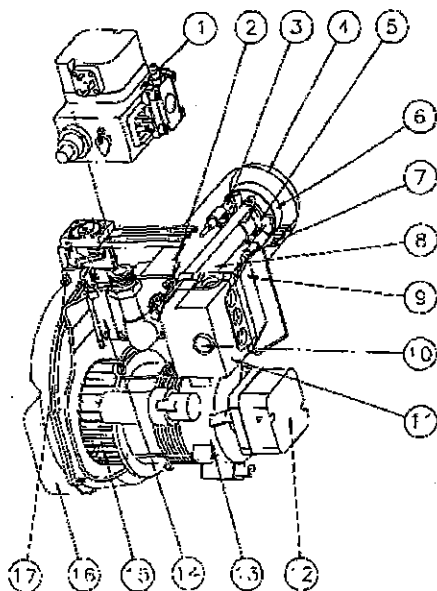
4.3 Försökets genomförande

I detta kapitel redovisas hur den experimentella delen av undersökningen är utförd. Dels inställningarna på pannorna och fläktstabilitetsstudien, dels mätningarna och mätdatautvärdering.

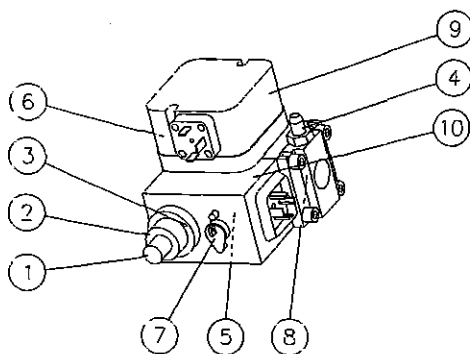
4.3.1 Fläktgaspannan

Mätningarna har utförts från 10 till 20,2 kW brännareffekt. Inom detta område har luftöverskottet reglerats maximalt. För varje effekt har även vattentemperaturen i värmeväxlaren varierats med 10-20°C. Tabeller och diagram redovisas i bilaga B.

Figur 4.11 visar pannans reglerutrustning med luftfläkt och motor. Nr. 17 visar förbränningsluftreglaget. Med en sexkantsnyckel kan luftöverskottet ökas respektive minskas. Modul 1 ses bättre i figur 4.12. Genom att lossa skruv 3 kan ratt nr. 2 vridas. Ratt nr. 2 reglerar gaspådraget. Ökas gaspådraget till pannan minskas det relativa luftöverskottet. Detta korrigeras genom att öka luftöverskottet med reglage 17 i figur 4.11.



Figur 4.11 Fläktgasbrännare.

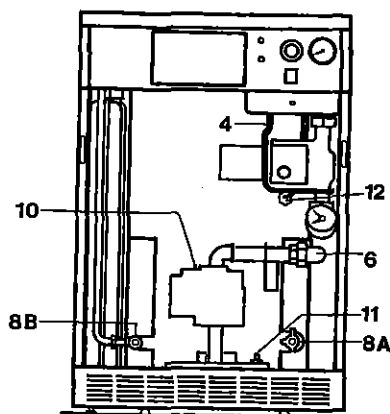


Figur 4.12

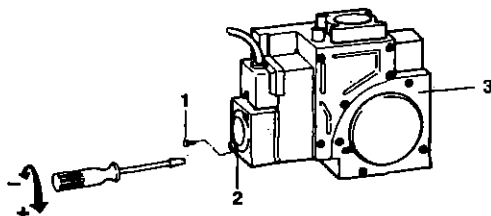
4.3.2 Atmosfärspannan

För atmosfärspannor av äldre typ kan inte luftöverskottet regleras. Detta gjorde att endast vattentemperaturen i pannan varierades för varje effekt. Brännaren justerades från 10,4 till 31,2 kW. Mätningar gjordes alltså även utanför pannans avsedda belastningsområde, som är 17-25 kW.

Figur 4.13 visar atmosfärspannans framsida. Figur 4.14 är en förstoring av nr.10 i figur 4.13. Belastningen i pannan regleras genom att med en skruvmejsel vrida skruven höger för ökad belastning respektive vänster för minskad. Härigenom påverkas gstrycket före dysan.



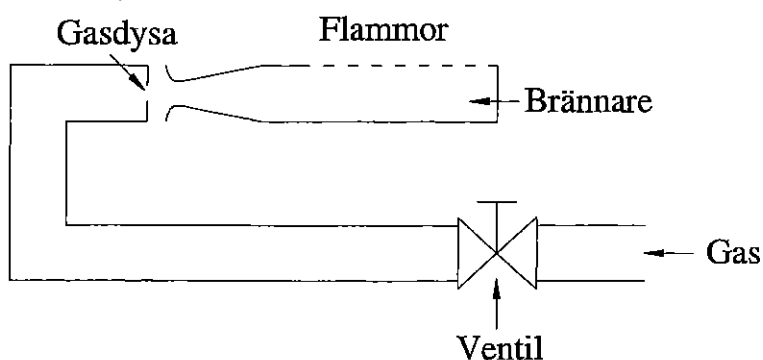
Figur 4.13 Atmosfärspannans framsida.



Figur 4.14 Atmosfärbrännarens kombiblock där brännareffekten kan justeras.

4.3.3 Flamstabilitetsstudie

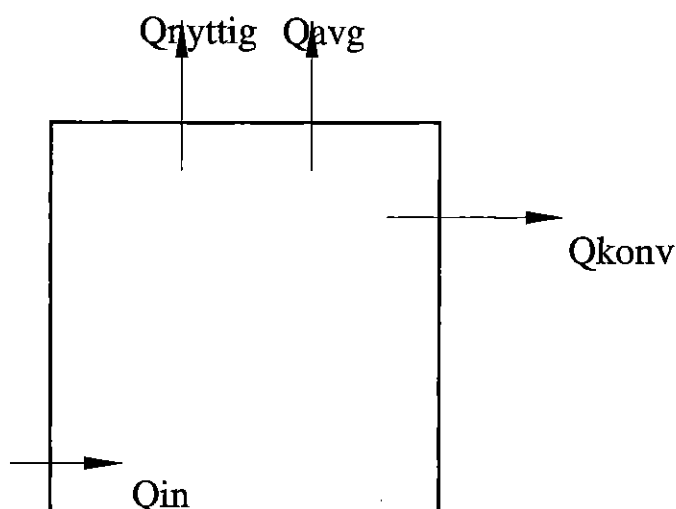
De lösa atmosfärsbrännarna studerades i en särskild uppställning med gasförsörjning. Gaspådraget till brännaren regleras enkelt med en ventil som sitter på gasledningen fram till brännaren, se figur 4.15. Under studiens utförande användes en rad olika effekter på brännaren. För fotograferingen valdes 10 kW. Vid denna effekt var värmestrålningen inte högre än att kameran kunde placeras tillräckligt nära flammen. Vid de övriga effekterna gjordes enbart visuella observationer.



Figur 4.15 Uppställning för flamstabilitetsstudien.

4.3.4 Energibalans över pannan

En enkel energibalans kommer att användas för att få en översikt över hur olika temperaturer och effekter i pannan påverkar förluster m.m. Detta behövs för att avgöra om gaskvalitetsändringen påverkar pannans verkningsgrad. Till pannan förs bränslet, i detta fall naturgas med eller utan metaninblandning. Ut från pannan avgår energi i form av rökgaser, varmt vatten i värmeväxlaren samt förluster i pannan se figur 4.16. Eftersom mätningarna görs vid konstant brännardrift finns inga stilleståndsförluster.



Figur 4.16 energijämvikt i pannan.

Där:

- Q_{in} = tillförd effekt till panna i form av bränsle.
- Q_{nyttig} = bortförd energi i värmeväxlaren = $(T_{vut}-T_{vin}) \cdot m \cdot c_p$.
- Q_{avg} = den energi som utgår i skorstenen i form av varma rökgaser = $T_{avg} \cdot V \cdot c_p$.
- Q_{konv} = värme som avges från den varma pannan till omkring liggande luft = 1-4% av Q_{in} .

$$Q_{in} = Q_{nyttig} + Q_{avg} + Q_{konv} \quad 4.4$$

Om man antar att konvektions- och strålningsförlusten (Q_{konv}) är konstant, eftersom panntemperaturen är konstant, kommer vid konstant effekt $Q_{nyttig} + Q_{avg} =$ konstant i pannan. Massflödet i och C_p är konstanta i värmeväxlaren. Detta reducerar verkningsgradsskillnaden för pannan till förluster av rökgastemperatur och luftöverskottet som i sin tur enbart beror på skillnaden mellan ut- och intemperaturen på vattnet i värmeväxlaren. En minskad temperaturskillnad vid given effekt resulterar således i en minskad verkningsgrad.

4.3.5 Avgasanalys- enheter

Mätinstrumenten mäter CO, NO och NO₂ i ppm. En omräkning från ppm till mg/MJ har utförts. Vid omräkning till NO_x slås NO och NO₂ ihop och NO₂'s densitet används i formeln.

$$y = \frac{\rho_{xi} \cdot V_{avgteo}}{H_u} \cdot \lambda_i \cdot x_i \text{ [mg/MJ]} \quad 4.5$$

där :

- $V_{avgteo} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot V_{L,teo i}$ [mn³/mn³ br].
- $\rho_{CO} = 1,2505$ [kg/m³].
- $\rho_{NO2} = 2,1095$ [kg/m³].
- λ = emissionen i ppm.
- H_u = Undre värmevärdet för den aktuella gasen [kJ/m³].
- V_{avgteo} för de olika gassammansättningarna framgår av tabell 4.4.

Tabell 4.4 V_{avgteo} för respektive gassammansättning.

% Metan	0	50	75	100
V_{avgteo}	9,32	9,93	8,73	8,54

4.3.6 Metanflödesmätaren

Metanflödet mäts med en termisk massflödesmätare. Mätprincipen är att en andel av genomströmmad gas leds i en kanal där gasen värms. Temperaturskillnaden mäts och blir ett mått på flödet. Mätningen är oberoende av tryck och temperatur men gasens sammansättning måste vara känd för att erhålla ett korrekt flöde. Grundekvationen mellan utsignal och insignal beskrivs av:

$$V_{\text{signal}} = K \cdot C_p \cdot \Phi_m = K \cdot C_p \cdot \rho \cdot \Phi_v \quad 4.6$$

där:

- $V_{\text{signal}} = \text{utsignal [\%]}$.
- $K = \text{konstant}$.
- $\Phi_m = \text{massflöde [kg/s]}$.
- $\rho = \text{densitet [kg/m}^3\text{]}$.
- $\Phi_v = \text{volymflöde [m}^3\text{/s]}$.

Flödesmätaren är kalibrerad för vätgas. Utsignalen måste därför korrigeras för metan.

$$C = \frac{C_{p1} \cdot \rho_1}{C_{p2} \cdot \rho_2} \quad 4.7$$

där:

- $C = \text{omvandlingskonstant}$.
- $C_p = \text{specifik värmekapacitet [kJ/kgK]}$.
- $\rho = \text{densitet [kg/m}^3\text{]}$.

För metan är $C_p \cdot \rho = 0,723$ och för väte är $C_p \cdot \rho = 1,016$, enligt flödesmätarens manual. Detta ger $C = 0,712$.

Det verkliga flödet fås nu som:

$$V = \frac{V_{\text{signal}}}{100} \cdot C \cdot x \quad 4.8$$

där $x = 60 \text{ l}_n/\text{min}$ som är det maximala vätgasflödet mätaren är kalibrerad för.

Detta ger $V = 0,4272 \text{ l}_n/\text{min}$

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3 \Rightarrow V = 4,272 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{min} = 7,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Undre värmeverdet för metan är $35,882 \text{ MJ/m}^3$. Vilket resulterar i att energiflödet vid 100% pådrag är:

$$\dot{Q}_u = 35,882 \cdot 10^6 \cdot 7,12 \cdot 10^{-6} \cdot 100\% = 25,547 \text{ kW} \quad 4.9$$

4.3.7 Gassammansättning vid blandning

Gaseffekten till brännaren beräknas som

$$P = V \cdot H_u$$

4.10

där:

- P = effekt [W].
- V = volymflödet [m^3/s].
- H_u = Undre värmevärdet [J/m^3].

Nedanstående tabell visar gassammansättningen samt värmevärde och Wobbeindex för metan/naturgas-blandningar. Metangasen i försöksflaskan innehåller 99,7% metan och 0,3% koldioxid. Skulle uppgraderad biogas med ett metaninnehåll på 97% användas skulle undre Wobbeindex sjunka från $47,9 \text{ MJ}/\text{m}^3$ för den 99,7%iga metanen till $45,5 \text{ MJ}/\text{m}^3$. Detta ger en avvikelse på 5%. Denna avvikelse minskar när blandningar av metan och naturgas används.

Tabell 4.5 Sammansättning för naturgas med olika inblandningar av metan, relativa densitet, värmevärd samt Wobbeindex.

% Metan	CH4	C2H6	C3H8	C4H10	CO2	N2	D	Hö	Hu	Wö	Wu
0	91,10	4,70	1,70	1,40	0,50	0,60	0,62	43,2	39,0	54,7	49,4
10	91,96	4,23	1,53	1,26	0,48	0,54	0,62	42,8	38,7	54,5	49,3
20	92,82	3,76	1,36	1,12	0,46	0,48	0,61	42,5	38,4	54,4	49,1
30	93,68	3,29	1,19	0,98	0,44	0,42	0,60	42,1	38,0	54,2	49,0
40	94,54	2,82	1,02	0,84	0,42	0,36	0,60	41,8	37,7	54,1	48,8
50	95,40	2,35	0,85	0,70	0,40	0,30	0,59	41,4	37,4	53,9	48,7
60	96,26	1,88	0,68	0,56	0,38	0,24	0,58	41,1	37,1	53,8	48,5
70	97,12	1,41	0,51	0,42	0,36	0,18	0,58	40,7	36,7	53,6	48,4
80	97,98	0,94	0,34	0,28	0,34	0,12	0,57	40,4	36,4	53,5	48,2
90	98,84	0,47	0,17	0,14	0,32	0,06	0,56	40,0	36,1	53,3	48,1
100	99,70	-	-	-	0,30	-	0,56	39,7	35,8	53,2	47,9

När blandningar av naturgas och metan ska användas är det bra att först räkna ut den mängd metangas som behövs för att sedan fylla på med naturgas. Naturgasflödet påverkas av det pålagda trycket som uppstår när metan tillsätts till naturgasen genom ett grenrör. Naturgasflödet in i pannan regleras så att rätt effekt över brännaren uppnås.

Den totala effekten beräknas snabbt genom att addera de båda effekterna. Vid försöken har gassammansättningen 100% naturgas, 50% naturgas och 50% metan samt 100% metan används.

4.4 Resultat

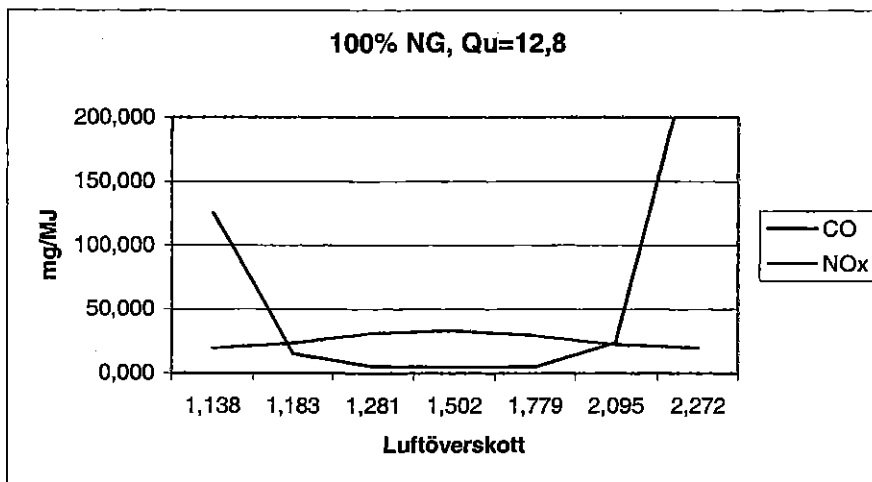
I de inledande försöken användes enbart naturgas. Detta gjordes för att dels utforska brännarnas arbetsområde, dels för att ha referensvärden då metaninblandningen skulle ske.

Från metangasflaskan kunde en effekt högre än 19,7 kW inte erhållas på grund av den befintliga armaturens dimensioner. Detta gjorde att ren metan inte kunde användas för de högre effekterna vid mätningarna på atmosfärspannan. Jag valde därför att göra alla mätningar vid 75% metan och 25% naturgas. Vid denna blandning är det undre värmevärdet $H_u = 36,6 \text{ MJ/m}^3$ och Wobbeindex $W_u = 48,3 \text{ MJ/m}^3$. Alternativt kunde maximalt metangas flöde med inblandning av naturgas till rätt effekt kunnat användas. Detta förfarande hade dock lett fram till en skiftande gassammansättning. En jämförande studie över effekten hade då blivit svårare att tolka.

Resultaten finns i bilagorna B och C. Här redovisas data från mätningarna och diagram över avgastemperatur, CO- och NO_x -emissionerna som funktion av luftöverskottet. För fläktgasbrännaren är diagrammen redovisade för varje enskild brännareffekt medan för atmosfärbrännaren som inte har reglerbart luftöverskott redovisas för alla effekter samtidigt. För atmosfärspannan finns även ett diagram där luftöverskottet presenteras mot effekten.

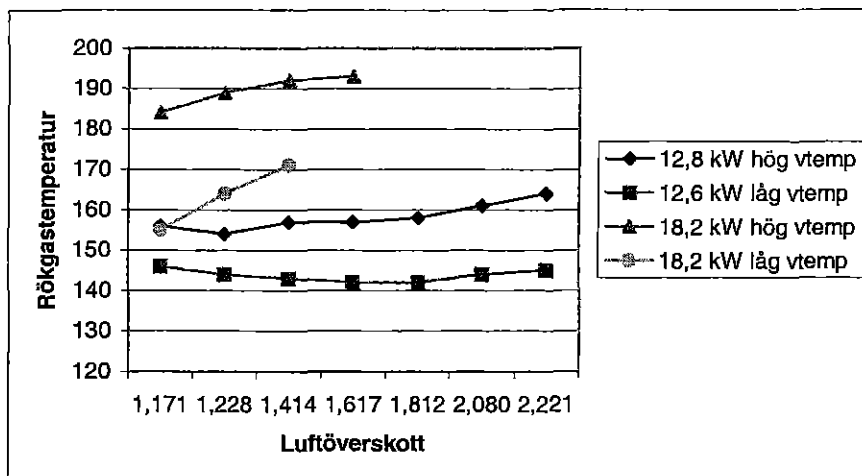
4.4.1 Fläktgaspannan

Av mätresultaten i bilaga B framgår att ofullständig förbränning sker om luftöverskottet underskrider $\lambda \approx 1,14$ eller ca 2% syreinhåll i rökgaserna. Om λ överskrider ca 2,23 eller ca 11,5% syreinhåll i rökgaserna fås också ofullständig förbränning med kraftigt ökad CO-emission som följd. Mellan dessa ändvärden ligger CO-emissionen relativt konstant vilket tydligt ses i figur 4.17. NO_x -emissionen ökar till ett max värde vid $\lambda = 1,5-1,7$. Detta motsvarar en syrehalt på ca 8% i rökgaserna. Därefter avtar NO_x -emissionen igen.

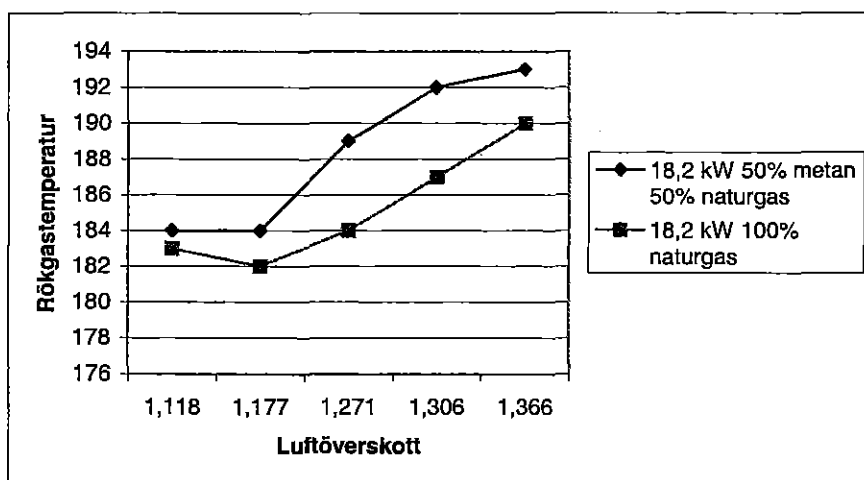


Figur 4.17 Figuren visar emissionerna av CO och NO_x vid gasblandningen 100% naturgas vid effekten 12.8kW.

Rökgastemperaturen ökar med brännareffekten samt ökad värmeväxlartemperatur, se figur 4.18. Rökgastemperaturen ökar även med ökad metaninblandning i förbränningsgasen, se figur 4.19. CO- och NO_x-emissionen är oförändrade för de två olika vattentemperaturerna i värmeväxlaren. Detta förklaras med att emissionerna bildas i flamman som är opåverkad av temperaturförhållandena senare i rökgasstråket. CO₂-emissionerna ligger på en konstant nivå för de olika gassammansättningarna.



Figur 4.18 Rökgastemperaturen som funktion av vattentemperaturen och brännareffekt i fläktgaspannan.



Figur 4.19 Rökgastemperaturen som funktiona av metaninblandningen i fläktgaspannan.

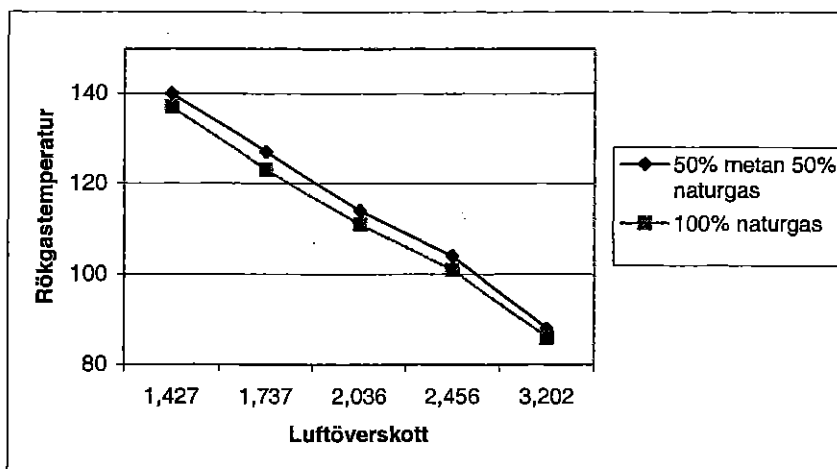
Med ökad inblandning av metan till naturgasen sjunker luftöverskottet som korrigeras med ratt 2 i figur 4.12. Av mätdata framgår också att ett högre luftöverskott behövs för att inte få ofullständig förbränning vid hög metaninblandning. Ofullständig förbränning uppstår också när för högt luftöverskott används. Detta sker vid lägre luftöverskott för gasblandningar med hög metanhalt. Sammantaget minskas därför förbränningsområdet, inom vilket fullgod förbränning sker, när naturgas ersätts av metan.

Eftersom rökgastemperaturen sjunker när vattentemperaturen i pannans värmeväxlare sänks fås en högre verkningsgrad vid låga vattentemperaturer i värmeväxlaren. Av mätdata framgår också att temperaturskillnaden på fram- och frånledningvattnet i värmeväxlaren tenderar till att sänkas med någon procent när luftöverskottet går mot sin maximala nivå (högre luftöverskott ger ofullständig förbränning). Högst verkningsgrad fås för luftöverskottet $\lambda = 1.3$ till 1.7. Vidare ökar temperaturskillnaden på fram- och frånledningvattnet i värmeväxlaren om 50% metan och 50% naturgas förbränns jämfört med 100% naturgas. Med 100% metan i förbränningsgasen sänks temperaturskillnaden till samma nivå som för 100% naturgas. Detta ger att den högsta verkningsgraden fås för 50% metan och 50% naturgas i förbränningsgasen. Det rör sig dock om små skillnader.

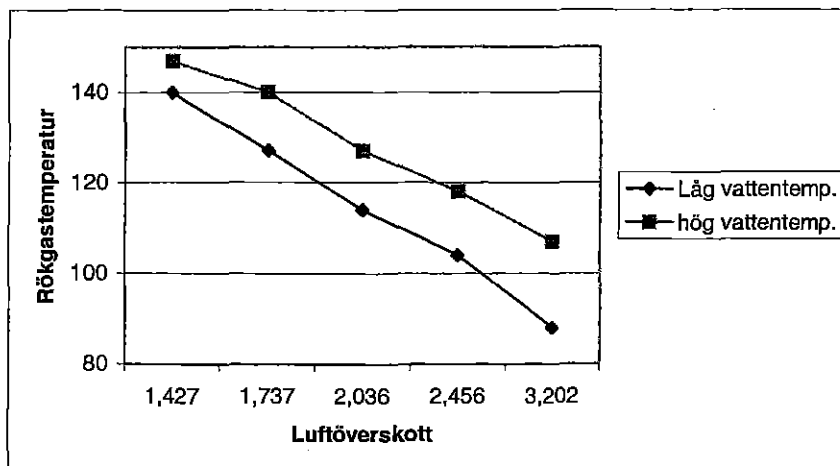
4.4.2 Atmosfärspannan

Sekundärluften till brännaren sugas in under eldstaden av det undertryck som skapas då de varma rökgaserna leds bort genom skorstenen. Detta ger en mindre stabil förbränningsprocess än för brännare där all förbränningsluft tillsätts på mekanisk väg som hos t.ex. fläktgaspannan. Mätinstrumenten gav också större variationer i utdata. I tabellerna är ett medelvärde redovisat. Detta ger en mindre noggrannhet i mätningarna.

Mätresultaten redovisas i bilaga C. Av dessa framgår att rökgastemperaturen ökar med ökad metaninblandning vid de båda värmeväxlartemperaturena, se figur 4.20. Rökgastemperaturen ökar också när vattentemperaturen i pannans värmeväxlare höjs samt vid ökad brännareffekt, se figur 4.21. CO- och NO_x-emissionerna påverkas inte av förhöjd värmeväxlartemperatur.



Figur 4.20 Rökgastemperaturen som funktion av metaninblandning i atmosfärspannan.



Figur 4.21 Rökgastemperaturen som funktion av luftöverskott och vattentemperaturen i atmosfärspannan.

Luftöverskottet minskar inte med ökad metaninblandning som för fläktgaspannan. Detta förklaras med att sekundärluftmängden ökar då primärluftmängden minskar. Däremot ökar NO_x -emissionerna. Detta beror på att primärluften sjunker. Ekvation 4.1 visar att sänkt relativ densitet ger lägre primärluftmängd. Den relativa densiteten sjunker från 0.62 för naturgas till 0.57 för 75% metan och 25% naturgas. Denna minskning ger ej de stora NO_x -minskningar som ses i figur 4.4. CO-emissionerna är högre vid låga luftöverskott (dvs. höga effekter), vilket är en effekt av att primärluftmängden är lägre vid hög metaninblandning. Sekundärluften räcker inte till för fullständig förbränning. Detta medför att brännarens över belastningsgräns flyttas mot lägre effekter om metan inblandas i naturgasen. Vid låga effekter skiljer CO-emissionen inte mycket mellan olika metaninblandningsprocenter. I figur 4.4 framgår att efter 25% primärluftmängd är inte CO-emissionerna beroende av primärluften. CO_2 -emissionerna ligger på en konstant nivå för de olika gassammansättningarna.

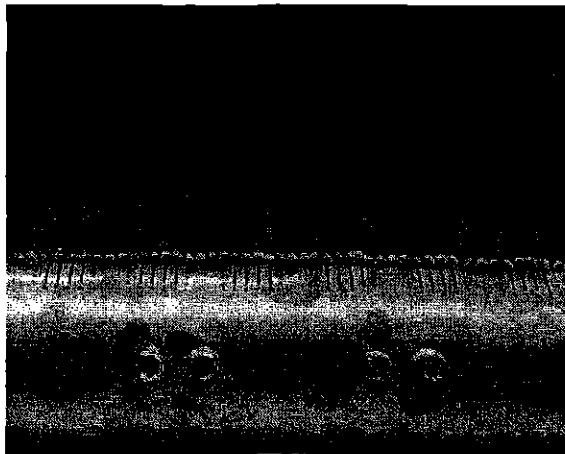
För effekten 31,2 kW klarar inte undertrycket i eldstaden att suga in tillräckligt med sekundärluft vilket resulterar i ofullständig förbränning med ökad CO-emission som följd. Detta kan förklaras med den korta skorstenshöjden i laborationsutrustningen, ca 1m.

Rökgastemperaturen stiger om temperaturen på vattnet i värmeväxlaren ökar. Detta ger en försämrad verkningsgrad. Temperaturskillnaden på fram- och returledningsvattnet är högre med en metaninblandningsprocent på 50% jämfört med ren naturgas. Vid 75% metaninblandning har temperaturskillnaden sjunkit igen. Den högsta verkningsgraden för pannan uppnåddes således vid gassammansättningen 50% metan och 50% naturgas samt vid låga temperaturer på vattnet i pannans värmeväxlare.

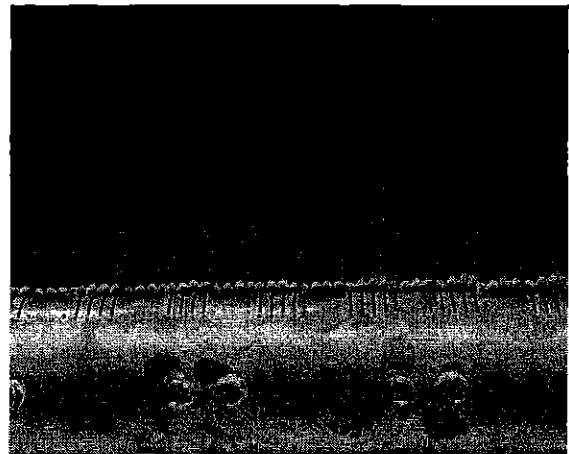
Flamstabilitet

Här studerades de två separata atmosfärsbrännarna. De båda bilderna, se figur 4.22 och 4.23, är tagna vid belastningen 10,1 kW för den större av de två atmosfärsbrännarna. Brännaren, som skiljer sig från de tre som är placerade i eldstaden hos atmosfärspannan, saknar all form av NO_x reducerande system. Stavarna som är placerade över brännarna i atmosfärspannan påverkar inte flamstabiliteten. Däremot får flammen ett något annorlunda utseende. Flammen sluter sig om stavarna. Detta kan medföra en något förhöjd CO-emission.

Gasen som förbränns i figur 4.23 är den danska naturgasen och i figur 4.24 ren metan (99,7%). Som framgår av bilderna och av visuella observationer har flamstrukturen inte förändrats nämnvärt. Det uppstod dock fler gula toppar vid metanförförbränningen. Detta indikerar ofullständig förbränning. Flammen är fluktuerar också något över tiden. Detta beror på att tillförseln av sekundär förbränningsluft varierar med tiden. Även luft rörelser p.g.a. drag från fläktar mm. påverkar flammen. Dessa fluktuationer kan ses som ojämnheter i flammans undre och övre struktur.



Figur 4.22 Flamutseende vid förbränning av naturgas i atmosfärsbrännare.



Figur 4.23 Flamutseende vid förbränning av metan i atmosfärsbrännare.

5. Slutsatser

Av mätdata för de båda gaspannorna framgår att ett utbyte från den danska naturgasen till ren metan är fullt möjligt. Men för att få stabil förbränning med små emissioner av CO och NO_x måste installationerna på pannan ses över så de motsvarar den nya gassammansättningen. Vidare har fläktgaspannan ett mindre arbetsområde inom vilket fullständig förbränning sker. Atmosfärspannas övre belastningsgräns sänks då ofullständig förbränning med stora CO-utsläpp uppstår vid brännarens övre effektgräns. Detta kan dock vara en effekt av att skorstenen som är ca 1 m i försöksanläggningen är för kort. Om en högre skorsten används fås en större luftgenomströmning i pannan och mer sekundärluft kan upptas av flammen.

Om dessa justeringar av pannorna görs fås en fullgod förbränning med inga eller små emissionsökningar. Av de visuella observationerna framgick att flammen är stabil för både naturgas och metan för atmosfärbrännaren. Verkningsgraden påverkades marginellt.

Skulle metan eller uppgraderad biogas (ca 97% metan och 3% CO₂) tillsättas naturgasnätet kan problem uppstå i pannanläggningar där luftöverskottet ligger lågt. Rent förbränningstekniskt kommer flammen fortfarande att vara stabil men en ökning av CO-emissionerna kommer att uppstå. Dessa effekter ökar med andelen inblandad metan eller biogas. Vid ca 50% metaninblandning är dock emissionsökningen liten. Detta skulle motsvara en inblandningsprocent på 20% för uppgraderad biogas. Noterbart är också att den högsta verkningsgraden för de undersökta gassammansättningarna var den med 50% metan och 50% naturgas, detta gällde för båda pannorna.

Referenser

- [1] Kaj Vågdaahl
Distribution av biogas i naturgasnätet.
Svenskt Gastekniskt Center juni 1999
ISSN 1102 7371
ISRN SGC R 101 SE

- [2] Energiläget 1998, Energimyndigheten.

- [3] J. Jensen, J. de Wit och N. Mickaelsen
Kombineret användelse af biogas og naturgas.
Dansk Gasteknisk Center a/s, juni 1993
ISBN 87 7795 005 4

- [4] O. Lloyd och J. Nilsson
Uppgradering av biogas. Praktiska försök med kondenseringsmetoden.
Rapport SGC juni 1997
ISSN 1102 7371
ISRN SGC R 86 SE

- [5] H.R.N. Jones
The application of combustion principles to domestic gas burner design.
British Gas Plc.
British library cataloguing in publications data, 1989
ISBN 0 419 14800 0

- [6] Mikael Näslund
Energigasteknik.
Svenska Gasföreningen, Stockholm 1995
ISBN 91 8646 409 4

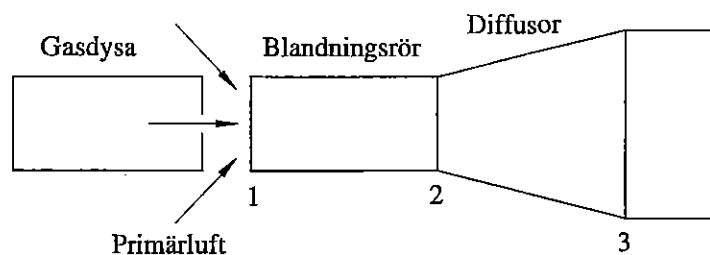
- [7] Thomas Rump
Gas ståbi.
Teknisk förlag a/s, 1993
ISBN 87 571 11081

- [8] K.S. Creamer, M.J. Grassi och P.E. George II
Primary aeration as a NO_x control strategy.
Battelle 28 april 1995
GRI 9510147

Bilaga A

Härledning av primärluften för atmosfärsbrännaren

I denna bilaga kommer den ekvation som beskriver insuget av primärluft genom injektorverkan till atmosfärsbrännaren att härledas. Figur B.1 visar schematiskt en atmosfärsbrännare, med blandningsrör och diffusor. Gasjeten riktas längs brännarens axel, den innehåller en mix av primärluft och förbränningsgasen. I diffusorn stiger gasblandningens tryck och dess hastighet sjunker. Gasblandningen leds slutligen ut genom öppningar i brännarens huvud [ref. 7].



Figur B.1 (atmosfärsbrännare med blandningsrör och diffusor).

Momentekvationen över plan 1 och 2 beskrivs av:

$$\left[(P_2 - P_1) + \left(f \cdot \frac{L}{d} \right) \cdot \frac{\rho_m \cdot v_m^2}{2} \right] \cdot A_m = m_g \cdot v_g - m_m \cdot v_m \quad 1.1$$

Vid plan 1 antas momentet vara noll (lufthastigheten är försumbar) vilket resultera i att termen $m_a v_a$ försummas. Förlustkoefficienten mellan 1 och 2 (som representeras av väggfriktionsförluster i blandningsröret) införs som:

$$S_{1,2} = f \cdot \frac{L}{d} \quad 1.2$$

Med antagandet att gasjeten har likformig hastighetsprofil leder till att:

$$v_g = \frac{\dot{V}_g}{A_j \cdot C_{D,j}} \quad 1.3$$

Blandningshastigheten, som också antas ha likformig hastighetsprofil, kan beskrivas som:

$$v_m = \frac{\dot{V}_m}{A_2} \quad 1.4$$

En omskrivning av massflödet och A_m görs:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}, A_m = A_2 \quad 1.5$$

Ekvationerna 1.2, 1.3, 1.4 och 1.5 införs nu i 1.1 och en omskrivning ger:

$$P_1 - P_2 = -\frac{\rho_g \cdot \dot{V}_g^2}{A_2 \cdot A_j \cdot C_{D,j}} + \left(1 + \frac{S_{1,2}}{2}\right) \cdot \frac{\rho_m \cdot \dot{V}_m^2}{A_2^2} \quad 1.6$$

Antag vidare att en expansion i diffusorn sker tills v_3 är försumbar och att diffusorförlusterna är proportionerliga mot v_2^2 , då kan tryckökningsprocessen i diffusorn beskrivas av:

$$P_2 - P_3 = -(1 - S_{2,3}) \cdot \frac{\rho_m \cdot v_{m,2}^2}{2} \quad 1.7$$

Återigen används omskrivning enligt ekvation 1.4:

$$P_2 - P_3 = -(1 - S_{2,3}) \cdot \frac{\rho_m \cdot \dot{V}_m^2}{2 \cdot A_2^2} \quad 1.8$$

Om det antas att trycket nedanför plan 3 är lika med trycket i plan 1, då kan tryckförändringen mellan plan 1 och 3 beskrivas av:

$$P_3 - P_1 = \frac{\rho_m \cdot \dot{V}_m^2}{2 \cdot C_{D,p}^2 \cdot A_p^2} \quad 1.9$$

En kombination av ekvationerna 1.6, 1.8 och 1.9 ger:

$$0 = -\frac{\rho_g \cdot \dot{V}_g^2}{A_2 \cdot A_j \cdot C_{D,j}} + (1 + S_{1,2} + S_{2,3}) \cdot \frac{\rho_m \cdot \dot{V}_m^2}{2 \cdot A_2^2} + \frac{\rho_m \cdot \dot{V}_m^2}{2 \cdot C_{D,p}^2 \cdot A_p^2} \quad 1.10$$

Denna ekvation kan skrivas om som:

$$\frac{\rho_m \cdot \dot{V}_m}{\rho_g \cdot A_g} = \frac{2}{C_{D,j} \cdot \left[\frac{A_j}{A_2} \cdot (1 + S_{1,2} + S_{2,3}) + \left(\frac{A_2}{Ap} \right) \cdot \left(\frac{A_j}{Ap} \right) \cdot \frac{1}{C_{D,p}^2} \right]} \quad 1.11$$

Med antagandet att konstant tryck och temperatur råder vid inloppet kan följande ekvationer framtagas:

$$\frac{\dot{V}_m}{\dot{V}_g} = \frac{\dot{V}_m + \dot{V}_a}{\dot{V}_g} = \lambda \quad 1.12$$

$$\frac{\rho_m}{\rho_g} = \frac{\frac{\rho_g \cdot \dot{V}_g}{\rho_g} + \frac{\rho_a \cdot \dot{V}_a}{\rho_g}}{\dot{V}_g + \dot{V}_a} = \frac{\dot{V}_g + \frac{\rho_a}{\rho_g} \cdot \dot{V}_a}{\dot{V}_g + \dot{V}_a} = \frac{1 + \frac{(r-1)}{d}}{r} \quad 1.13$$

Ekvationerna 1.12 och 1.13 sätts in i ekvation 1.11:

$$r \cdot \left(1 + \frac{(r-1)}{d} \right) = \frac{2}{C_{D,j} \cdot \left[\frac{A_j}{A_2} \cdot (1 + S_{1,2} + S_{2,3}) + \left(\frac{A_2}{Ap} \right) \cdot \left(\frac{A_j}{Ap} \right) \cdot \frac{1}{C_{D,p}^2} \right]} \quad 1.14$$

Ur 1.14 löses till sist r ut:

$$r = -\frac{d-1}{2} + \sqrt{\left(\frac{d-1}{2} \right)^2 + d \cdot \lambda} \quad 1.15$$

där:

$$\lambda = \frac{2}{C_{D,j} \cdot \left[\frac{A_j}{A_2} \cdot (1 + S_{1,2} + S_{2,3}) + \left(\frac{A_2}{Ap} \right) \cdot \left(\frac{A_j}{Ap} \right) \cdot \frac{1}{C_{D,p}^2} \right]} \quad 1.16$$

I denna ekvation är:

- r = luftöverskottet [-].
- d = den relativa densiteten [-].
- A_j = Gasdysans öppning [mm²].
- A₂ = Öppningsarea till blandningsröret [mm²].
- Ap = Öppningsarea i brännarhuvudet [mm²].
- C_{D,j}, S_{1,2}, S_{2,3}, och C_{D,p} är konstanter för brännaren [-].



Bilaga B

Fläktgaspannan 100% naturgas

Tavg	154	154	154	154	156	153	153
O2	1,89	2,8	4,22	7,26	9,33	10,77	11,78
CO	1436	98	18	10	9	38	420
CO2	9,6	10,8	10,4	9,3	8,4	7,6	6,7
NO	14	33,7	41,8	36	27,7	18,3	6,3
NO2	9,5	7,5	5	5	4,3	6	12,1
NOX	23,5	41,2	46,8	41	32	24,3	18,4
Vut	56	55,4	55,7	55,5	55,5	55,5	55,5
Vin	49,5	49	49,2	49,2	49,2	49,2	49,3
Qu	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
λ	1,099	1,154	1,252	1,530	1,802	2,056	2,282
CO mg/MJ	471,639	33,799	6,734	4,571	4,845	23,346	286,396
NO mg/MJ	4,925	12,450	16,752	17,626	15,974	12,043	4,602
NO2 mg/MJ	5,263	4,364	3,156	3,855	3,905	6,218	13,919
NOX mg/MJ	13,020	23,970	29,537	31,614	29,062	25,185	21,166
Tavg	134	133	134	134	135	133	131
O2	1,95	2,25	4,1	6,72	9,4	10,72	11,7
CO	876	132	15	9	11	49	470
CO2	10,3	10,9	10,4	9,5	8,4	7,6	6,9
NO	23,3	31,2	41,5	37,6	26,5	17,5	6,3
NO2	9,7	7,8	5,9	5,1	5,3	6,5	13,2
NOX	33	39	47,4	42,7	31,8	24	19,5
Vut	41,2	41,1	41,4	41,4	41,2	41	40,8
Vin	34,9	34,8	35	35	35	35	34,7
Qu	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
λ	1,103	1,120	1,243	1,472	1,812	2,046	2,262
CO mg/MJ	288,620	44,188	5,572	3,958	5,958	29,958	317,725
NO mg/MJ	8,223	11,188	16,513	17,712	15,375	11,461	4,562
NO2 mg/MJ	5,391	4,405	3,697	3,783	4,843	6,704	15,053
NOX mg/MJ	18,341	22,024	29,702	31,677	29,055	24,752	22,237

Tavg	161	161	162	165	165	166	165
O2	2,54	3,25	4,6	7,01	9,18	10,96	11,74
CO	370	43	13	10	9	38	413
CO2	10,6	10,6	10,2	9,3	8,5	7,5	6,8
NO	25,3	33,2	42,8	37,8	28,2	16	6
NO2	8,4	5,8	5,2	6,1	4,4	5	11,1
NOX	33,7	39	48	43,9	32,6	21	17,1
Vut	60,4	60,6	61,1	61,3	61,5	61,1	60,4
Vin	52,6	52,9	53,2	53,6	53,9	53,7	53,1
Qu	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
λ	1,138	1,183	1,281	1,502	1,779	2,095	2,272
CO mg/MJ	125,808	15,207	4,977	4,489	4,784	23,789	280,402
NO mg/MJ	9,215	12,577	17,550	18,176	16,056	10,729	4,364
NO2 mg/MJ	4,818	3,460	3,358	4,619	3,945	5,280	12,713
NOX mg/MJ	19,330	23,266	30,997	33,244	29,230	22,178	19,585

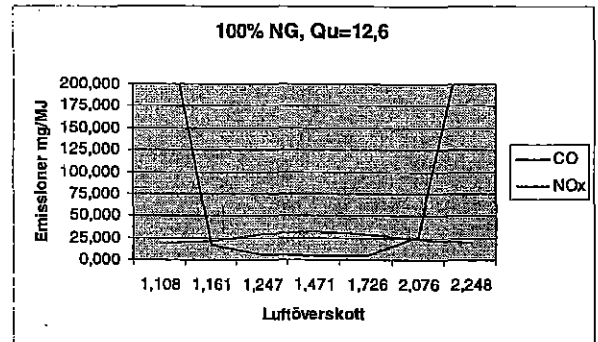
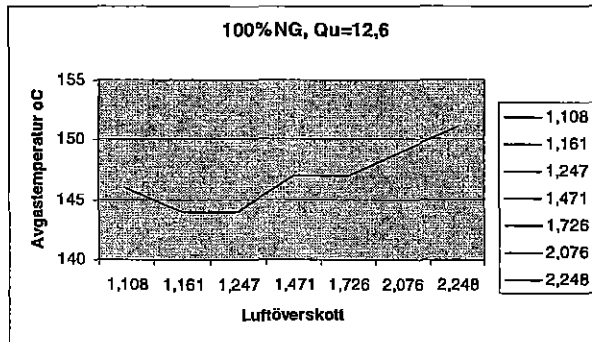
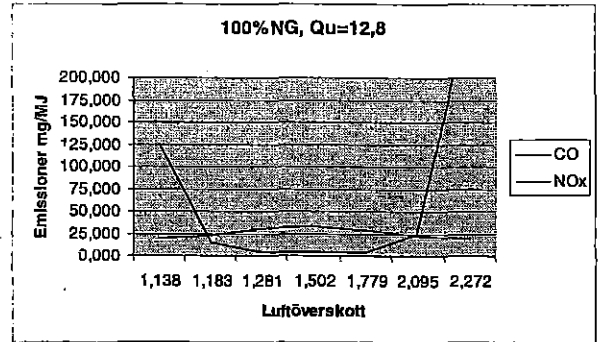
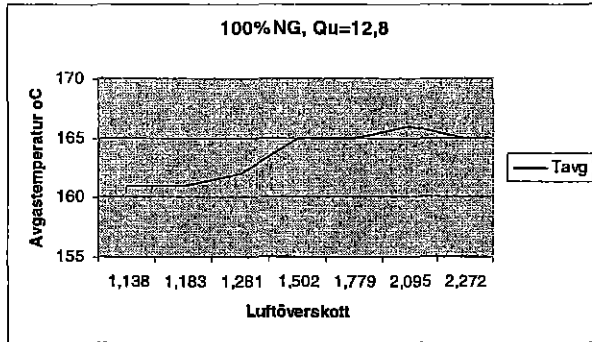
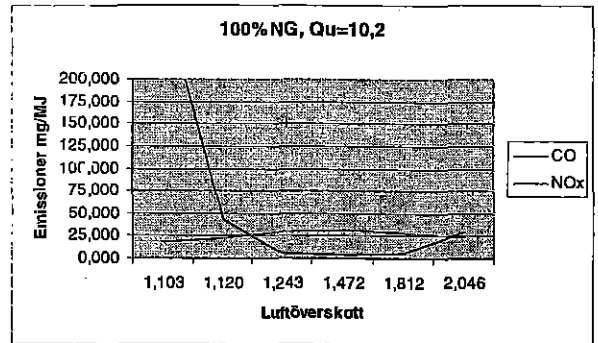
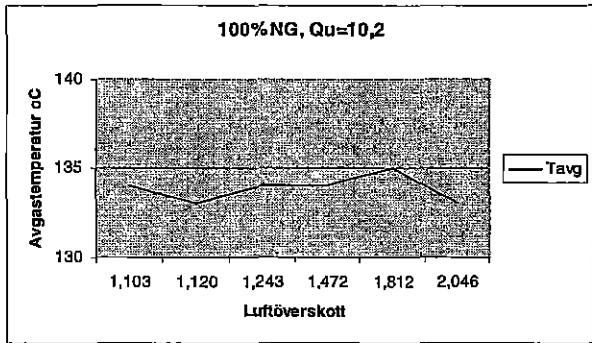
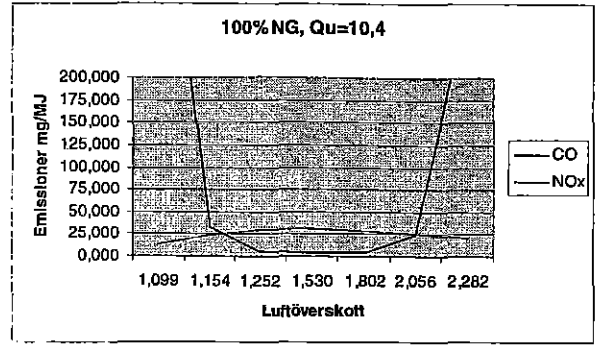
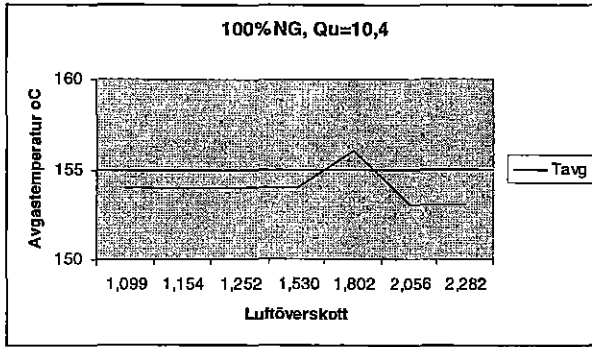
Tavg	146	144	144	147	147	149	151
O2	2,04	2,91	4,15	6,71	8,82	10,87	11,64
CO	940	50	16	11	10	41	430
CO2	10,2	10,7	10,4	9,5	8,6	7,6	6,9
NO	22,7	30,7	39,9	37,6	28,6	16	6,4
NO2	10,5	6,5	7,1	5,6	4,6	5,9	10,7
NOX	33,2	37,2	47	43,2	33,2	21,9	17,1
Vut	41,4	40,7	41,6	42,3	42,6	41,6	41,2
Vin	33,6	33,4	34	34,3	34,7	34,3	33,9
Qu	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
λ	1,108	1,161	1,247	1,471	1,726	2,076	2,248
CO mg/MJ	311,179	17,349	5,961	4,834	5,158	25,439	288,815
NO mg/MJ	8,049	11,411	15,924	17,699	15,801	10,634	4,605
NO2 mg/MJ	5,864	3,805	4,462	4,151	4,002	6,175	12,124
NOX mg/MJ	18,540	21,775	29,539	32,025	28,886	22,922	19,375

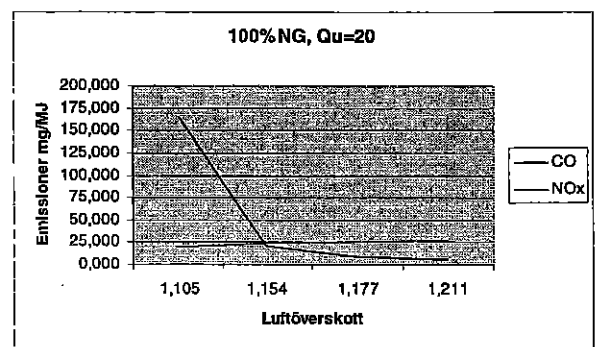
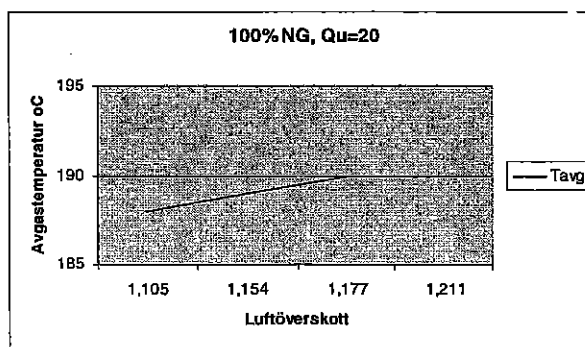
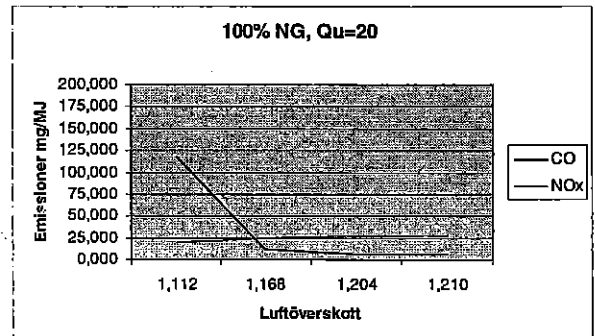
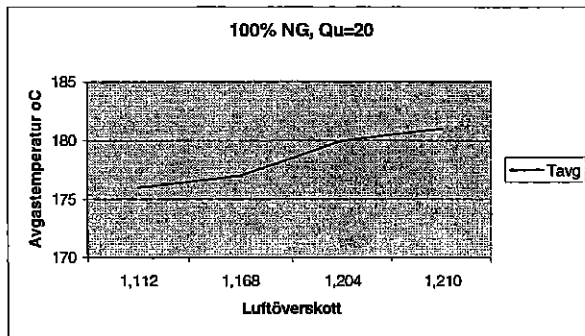
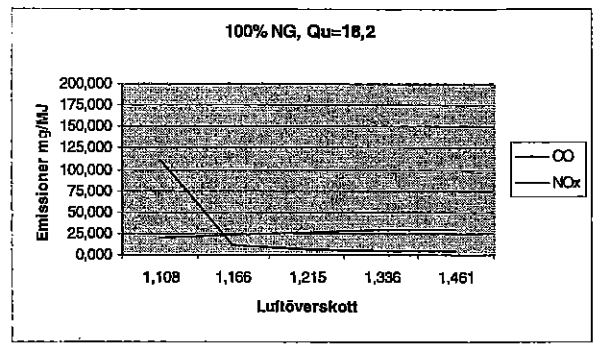
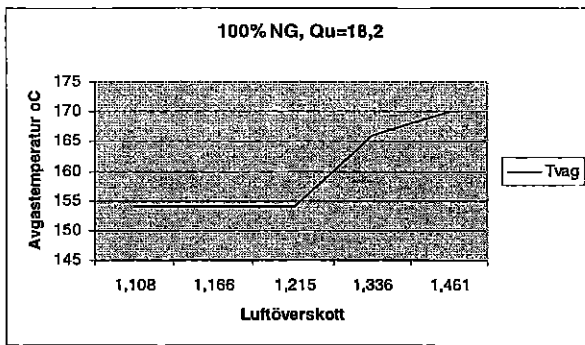
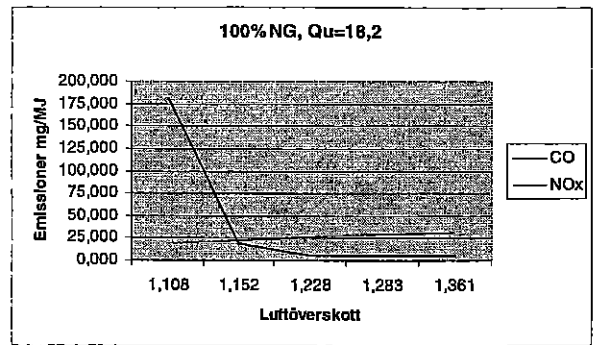
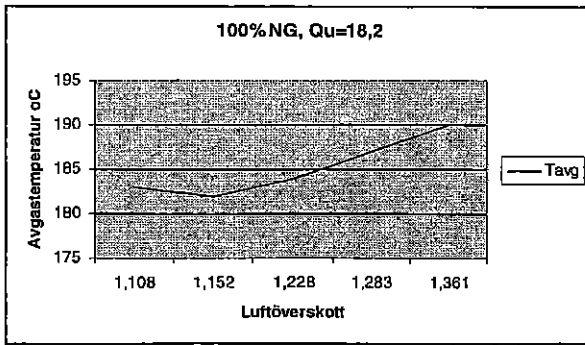
Tavg	183	182	184	187	190		
O2	2,05	2,76	3,9	4,63	5,56		
CO	550	55	16	15	14		
CO2	10,6	10,7	10,4	10,2	9,9		
NO	25,1	31,8	37,2	39,3	38,4		
NO2	9,6	7,8	6,3	6,8	6,8		
NOX	34,7	39,6	43,5	46,1	45,2		
Vut	61,1	61,1	61	61,3	61,1		
Vin	50,1	50	50,3	50,2	50,1		
Qu	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2		
λ	1,108	1,152	1,228	1,283	1,361		
CO mg/MJ	182,169	18,927	5,874	5,753	5,693		
NO mg/MJ	8,905	11,722	14,629	16,145	16,727		
NO2 mg/MJ	5,364	4,528	3,902	4,399	4,665		
NOX mg/MJ	19,388	22,989	26,939	29,825	31,007		

Tavg	154	154	154	166	170
O2	2,05	2,98	3,71	5,27	6,62
CO	335	32	17	14	13
CO2	10,7	10,7	10,5	10	9,5
NO	27	33,3	35,1	37,7	34,4
NO2	8,4	6,7	6,9	6,8	5,7
NOX	35,4	40	42	44,5	40,1
Vut	42,2	42,3	42,3	41,9	41,7
Vin	31,6	31,5	31,5	31,4	31,5
Qu	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
λ	1,108	1,166	1,215	1,336	1,461
CO mg/MJ	110,958	11,147	6,172	5,588	5,677
NO mg/MJ	9,579	12,425	13,651	16,119	16,092
NO2 mg/MJ	4,693	3,937	4,226	4,579	4,199
NOX mg/MJ	19,779	23,505	25,724	29,963	29,541

Tavg	188	189	190	190
O2	2	2,8	3,16	3,66
CO	500	60	27	17
CO2	10,6	10,7	10,6	10,5
NO	26,4	33,6	35,6	38,2
NO2	9,4	7,8	7,8	7
NOX	35,8	41,4	43,4	45,2
Vut	62,1	61,1	61,3	61,2
Vin	50,5	49,9	49,7	49,7
Qu	20	20	20	20
λ	1,105	1,154	1,177	1,211
CO mg/MJ	165,172	20,693	9,500	6,154
NO mg/MJ	4,529	4,729	4,824	4,964
NO2 mg/MJ	5,238	4,538	4,630	4,275
NOX mg/MJ	19,950	24,087	25,761	27,604

Tavg	176	177	180	181
O2	2,12	3,02	3,55	3,64
CO	353	35	19	17
CO2	10,7	10,7	10,6	10,6
NO	27,6	34,1	37,9	38,3
NO2	9,1	7,9	6,9	6,7
NOX	36,7	42	44,8	45
Vut	44	43,6	44,1	44,3
Vin	32	31,7	32,2	32,2
Qu	20	20	20	20
λ	1,112	1,168	1,204	1,210
CO mg/MJ	117,354	12,219	6,835	6,147
NO mg/MJ	9,829	12,752	14,604	14,835
NO2 mg/MJ	5,103	4,653	4,187	4,087
NOX mg/MJ	20,582	24,735	27,187	27,450





Fläktgaspennan 50% naturgas och 50% metan

Tavg	155	155	153	152	148	148	148
O2	3,1	3,6	5,41	8,16	9,7	10,94	11,61
CO	290	70	18	13	14	64	401
CO2	11,9	12,1	11,4	10,4	9,7	9,1	8,5
NO	24,3	27,5	34,1	26,3	26,6	13,3	6
NO2	7,9	6,9	5,5	4,9	4,3	5,7	9,6
NOX	32,2	34,4	39,6	31,2	30,9	19	15,6
Vut	59,6	59,9	59,5	59,4	59,1	58,7	58,6
Vin	52,5	52,8	52,3	52,2	52,2	52	51,6
Qu	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
λ	1,173	1,207	1,348	1,637	1,861	2,091	2,240
CO mg/MJ	101,610	25,232	7,243	6,354	7,778	39,952	268,244
NO mg/MJ	9,120	10,618	14,698	13,770	15,830	8,893	4,299
NO2 mg/MJ	4,669	4,196	3,733	4,040	4,030	6,002	10,833
NOX mg/MJ	19,032	20,918	26,881	25,725	28,960	20,008	17,604

Tavg	140	142	141	138	138	133	130
O2	2,66	3,72	6,12	8,02	9,7	11,04	11,82
CO	796	30	18	15	14	86	530
CO2	11,9	12,1	11,2	10,5	9,7	9,1	8,3
NO	20,9	32,5	32,9	27,4	20,9	13	4,6
NO2	8,6	5,5	5,3	4,2	4,3	5,3	10,6
NOX	29,5	38	38,2	31,6	25,2	18,3	15,2
Vut	38,9	39,3	39,3	39,5	39,6	39,5	39,4
Vin	32,2	32,2	32,5	32,6	32,7	32,7	32,6
Qu	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
λ	1,145	1,216	1,412	1,619	1,861	2,112	2,292
CO mg/MJ	272,199	10,889	7,589	7,252	7,778	54,226	362,674
NO mg/MJ	7,656	12,636	14,859	14,191	12,438	8,780	3,372
NO2 mg/MJ	4,961	3,368	3,770	3,426	4,030	5,637	12,236
NOX mg/MJ	17,017	23,268	27,170	25,774	23,618	19,465	17,546

Tavg	156	154	157	157	158	161	164
O2	3,06	3,9	6,14	8	9,4	10,89	11,53
CO	573	32	16	14	13	30	308
CO2	11,6	12	11,2	10,5	9,8	9,1	8,5
NO	20,7	27,7	22,9	26,5	21	13,3	6,8
NO2	8,6	6,1	5,4	4,6	4	4	7,8
NOX	29,3	33,8	28,3	31,1	25	17,3	14,6
Vut	61,3	62,2	63,2	63,7	64,1	63,6	6,3
Vin	53,3	54,4	55,1	55,7	56,1	55,8	55,4
Qu	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
λ	1,171	1,228	1,414	1,617	1,812	2,080	2,221
CO mg/MJ	200,318	11,738	6,755	6,758	7,035	18,635	204,287
NO mg/MJ	7,752	10,883	10,357	13,703	12,173	8,849	4,831
NO2 mg/MJ	5,072	3,774	3,846	3,746	3,652	4,191	8,727
NOX mg/MJ	17,279	20,914	20,156	25,327	22,823	18,128	16,336

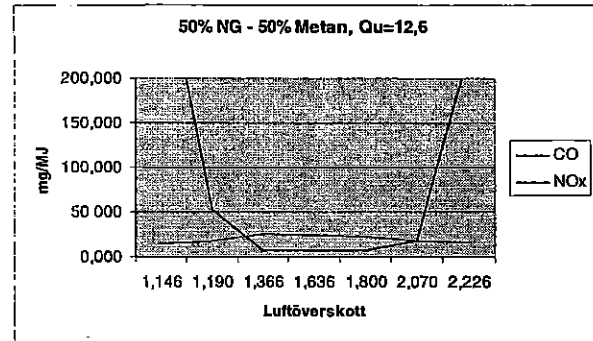
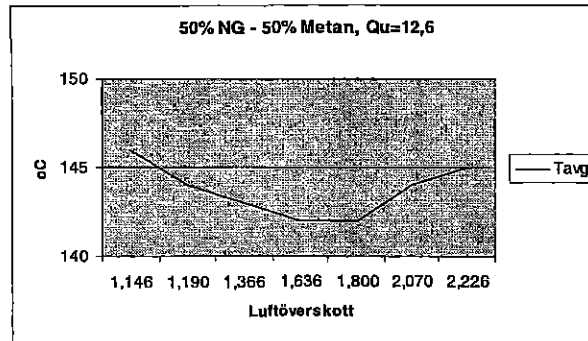
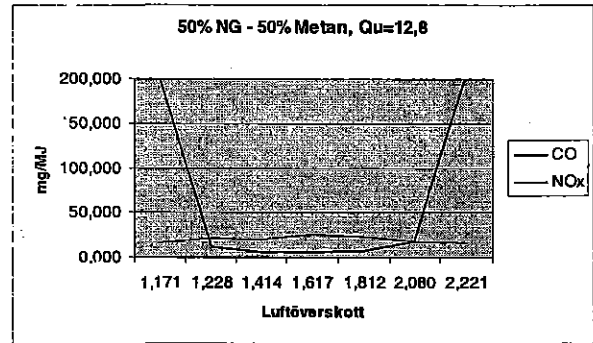
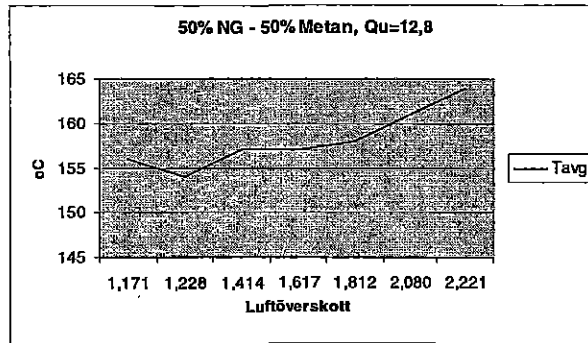
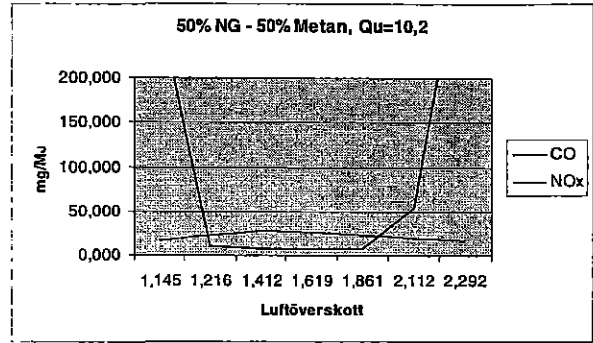
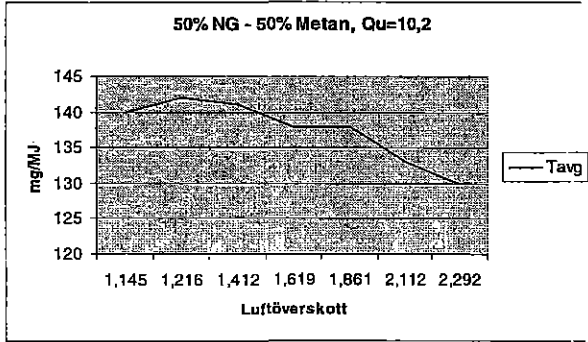
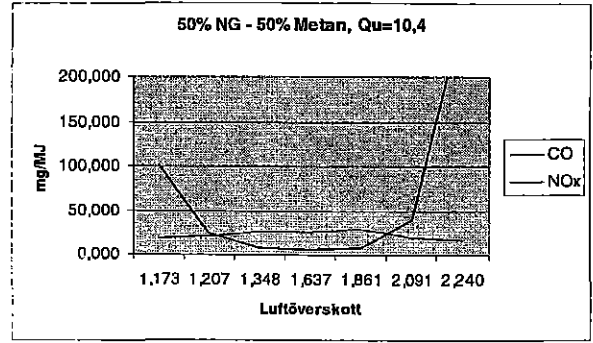
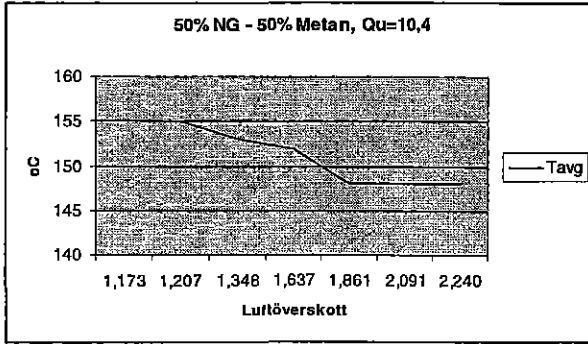
Tavg	146	144	143	142	142	144	145
O2	2,67	3,35	5,62	8,15	9,32	10,84	11,55
CO	1020	150	19	14	14	30	340
CO2	11,3	12	11,4	10,4	9,9	9,1	8,5
NO	19,1	23,4	32,5	25,2	20,8	13,6	6,5
NO2	8,4	6,7	5,3	4,5	4,4	4,3	8,2
NOX	27,5	30,1	37,8	29,7	25,2	17,9	14,7
Vut	40,4	40,6	40,6	40,9	40,9	40,4	40
Vin	32,1	32,4	32,5	32,6	32,6	32,4	32,1
Qu	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
λ	1,146	1,190	1,366	1,636	1,800	2,070	2,226
CO mg/MJ	348,988	53,302	7,750	6,838	7,524	18,543	225,990
NO mg/MJ	7,000	8,907	14,200	13,184	11,975	9,004	4,628
NO2 mg/MJ	4,848	4,016	3,647	3,708	3,989	4,483	9,194
NOX mg/MJ	15,872	18,043	26,010	24,470	22,847	18,664	16,483

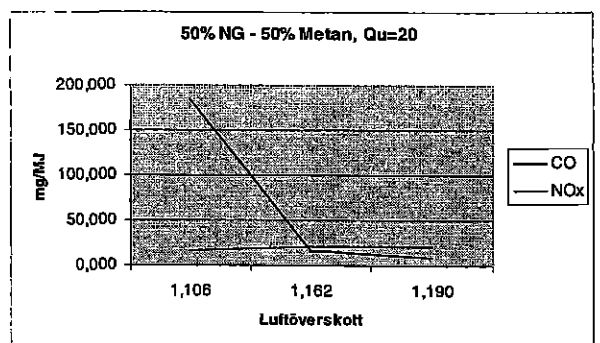
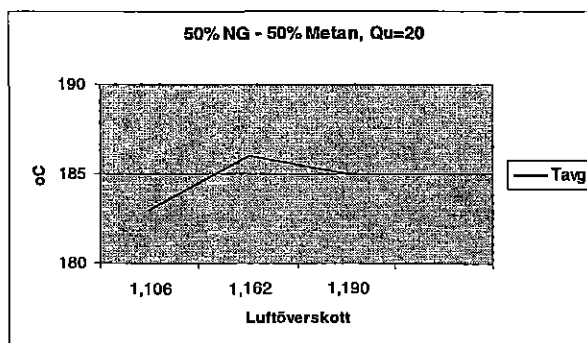
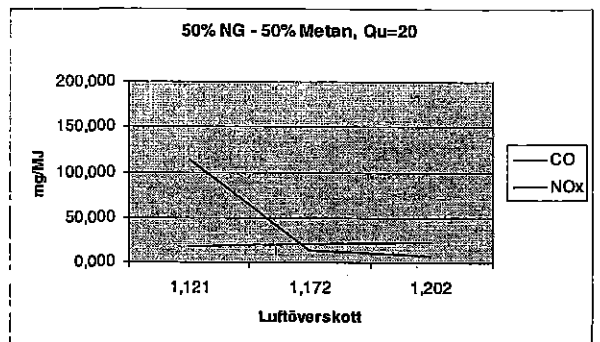
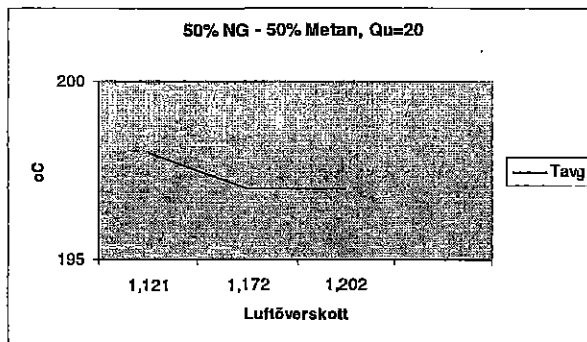
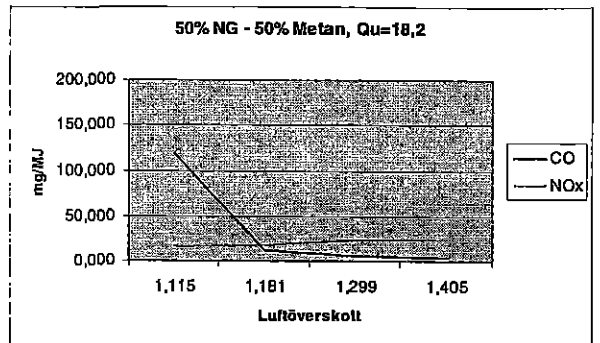
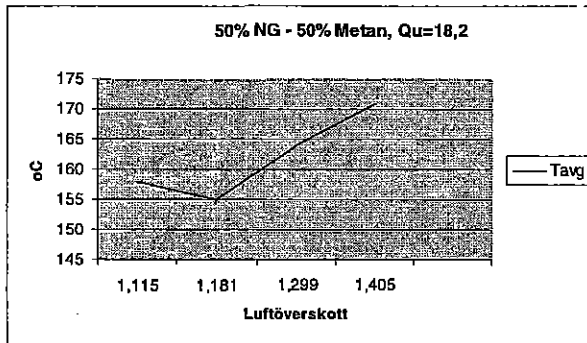
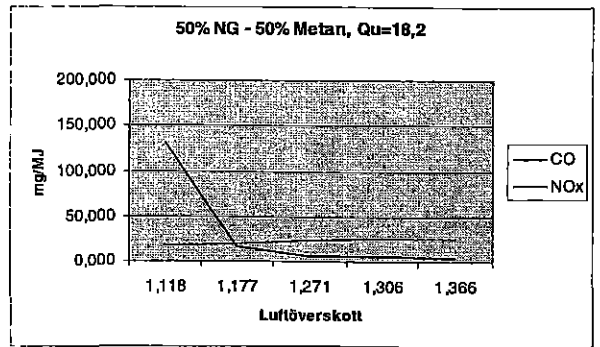
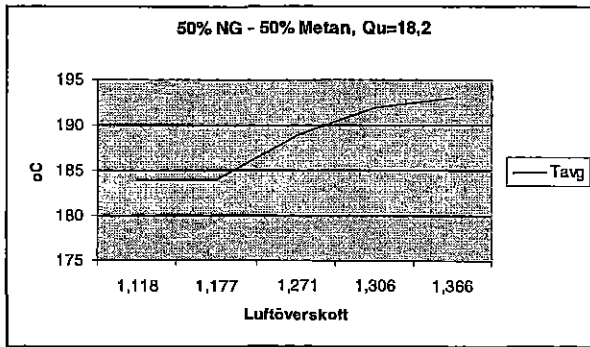
Tavg	184	184	189	192	193		
O2	2,22	3,16	4,47	4,91	5,62		
CO	391	46	14	14	12		
CO2	11,4	11,4	11	10,9	10,6		
NO	22,8	26,7	31,1	31,5	30,2		
NO2	8,1	7,1	6,5	6,4	6,3		
NOX	30,9	33,8	37,6	37,9	36,5		
Vut	58,3	57,9	58,6	58,8	59,4		
Vin	47	46,6	47,3	47,3	47,4		
Qu	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2		
λ	1,118	1,177	1,271	1,306	1,366		
CO mg/MJ	130,568	16,172	5,313	5,458	4,895		
NO mg/MJ	8,156	10,055	12,641	13,155	13,195		
NO2 mg/MJ	4,563	4,211	4,161	4,209	4,335		
NOX mg/MJ	17,407	20,045	24,069	24,926	25,116		

Tavg	158	155	164	171			
O2	2,17	3,21	4,83	6,05			
CO	355	35	15	12			
CO2	11,4	11,4	10,9	10,4			
NO	21,8	26	29,5	28,9			
NO2	7,8	5,2	6,5	5,7			
NOX	29,6	31,2	36	34,6			
Vut	52,6	42,6	42,8	43			
Vin	31,2	31,1	31,4	31,5			
Qu	18,2	18,2	18,2	18,2			
λ	1,115	1,181	1,299	1,405			
CO mg/MJ	118,231	12,339	5,819	5,036			
NO mg/MJ	7,777	9,819	12,259	12,991			
NO2 mg/MJ	4,382	3,093	4,254	4,035			
NOX mg/MJ	16,630	18,555	23,559	24,494			

Tavg	198	197	197
O2	2,26	3,07	3,53
CO	340	37	22
CO2	11,4	11,5	11,3
NO	24,9	29	29,5
NO2	8	7,1	7,8
NOX	32,9	36,1	37,3
Vut	59,7	59,5	59,8
Vin	47,4	47,2	47,3
Qu	20	20	20
λ	1,121	1,172	1,202
CO mg/MJ	113,780	12,942	7,898
NO mg/MJ	8,926	10,866	11,345
NO2 mg/MJ	4,516	4,190	4,724
NOX mg/MJ	18,573	21,302	22,590

Tavg	183	186	185
O2	2,01	2,93	3,35
CO	560	49	25
CO2	11,2	11,4	11,3
NO	22,5	27,9	27,7
NO2	7,6	7,9	7,2
NOX	30,1	35,8	34,9
Vut	46	45,6	45,4
Vin	33	33	33
Qu	20	20	20
λ	1,106	1,162	1,190
CO mg/MJ	184,932	17,007	8,884
NO mg/MJ	7,959	10,373	10,544
NO2 mg/MJ	4,234	4,625	4,316
NOX mg/MJ	16,768	20,961	20,921





Fläktgaspannan 100% metan

Tavg	156	154	155	155	156	162	167
O2	3,23	4,04	5,8	8,1	9,66	10,78	11,87
CO	1470	64	18	13	14	35	538
CO2	10,6	12,1	11,6	10,6	9,9	9,3	8,4
NO	8,7	25,5	31,7	26	20,2	14	4,2
NO2	7,7	5,8	4,7	4	3,3	4,5	9,6
NOX	16,4	31,3	36,4	30	23,5	18,5	13,8
Vut	61,4	61,5	61,6	61,7	61,6	61,4	60,7
Vin	55,4	54,4	54,6	54,7	54,8	54,6	54,1
Qu	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
λ	1,182	1,239	1,382	1,629	1,854	2,058	2,304
CO mg/MJ	518,347	23,647	7,422	6,319	7,743	21,486	369,826
NO mg/MJ	3,286	10,093	14,002	13,537	11,968	9,206	3,093
NO2 mg/MJ	4,580	3,615	3,269	3,280	3,079	4,660	11,132
NOX mg/MJ	9,755	19,509	25,320	24,598	21,926	19,158	16,003

Tavg	142	139	141	141	142	143	146
O2	3,28	4,12	6,37	8,8	10,2	10,96	11,96
CO	1237	35	15	13	16	58	616
CO2	11,2	12,1	11,3	10,2	9,6	9,2	8,2
NO	15,8	28	31	23,5	18	12,7	3,9
NO2	7,2	5,8	4,2	3,5	3,6	5	9,6
NOX	23	33,8	35,2	27	21,6	17,7	13,5
Vut	34,7	34,1	33,8	33,9	34	34,1	34,1
Vin	27,2	26,8	26,5	26,5	26,6	26,6	26,7
Qu	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
λ	1,185	1,245	1,436	1,723	1,947	2,095	2,327
CO mg/MJ	437,420	12,993	6,427	6,682	9,293	36,245	427,674
NO mg/MJ	5,985	11,135	14,227	12,939	11,199	8,501	2,900
NO2 mg/MJ	4,295	3,632	3,036	3,035	3,527	5,271	11,243
NOX mg/MJ	13,720	21,168	25,441	23,411	21,164	18,659	15,811

Tavg	161	158	163	167	176	184	187
O2	3,17	3,92	6,2	8,08	9,38	10,83	11,3
CO	1328	112	16	15	12	21	80
CO2	10,9	12,1	11,3	10,6	9,9	9,3	9,1
NO	13,3	21,6	30,9	25,2	19,2	13,3	10,4
NO2	8	6,4	5,2	4,6	3,8	3,7	4,8
NOX	21,3	28	36,1	29,8	23	17	15,2
Vut	61,4	61,5	61,4	61,3	61,3	61,2	61
Vin	53,8	54	53,9	53,9	53,9	53,8	53,7
Qu	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
λ	1,178	1,230	1,420	1,627	1,809	2,068	2,169
CO mg/MJ	466,697	41,091	6,776	7,279	6,477	12,955	51,751
NO mg/MJ	5,007	8,489	14,018	13,100	11,100	8,789	7,206
NO2 mg/MJ	4,743	3,961	3,715	3,766	3,460	3,850	5,238
NOX mg/MJ	12,627	17,330	25,792	24,396	20,941	17,691	16,587

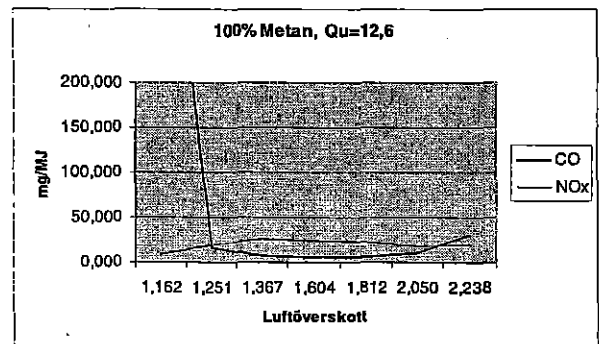
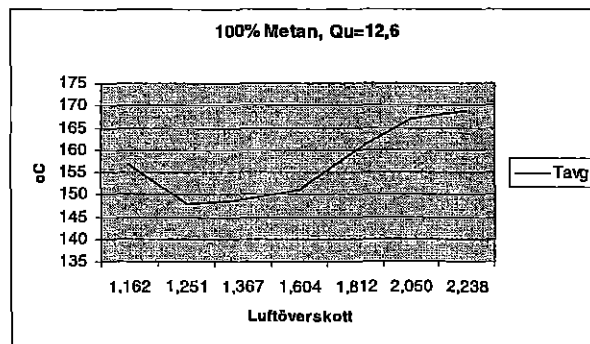
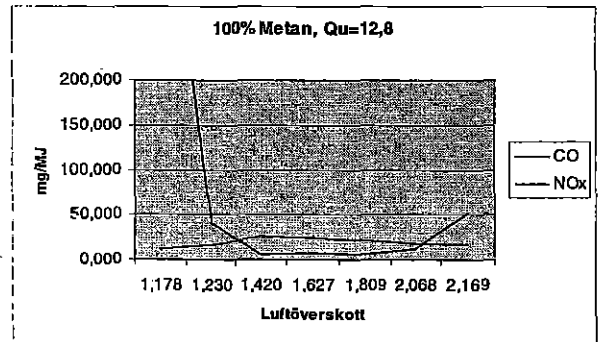
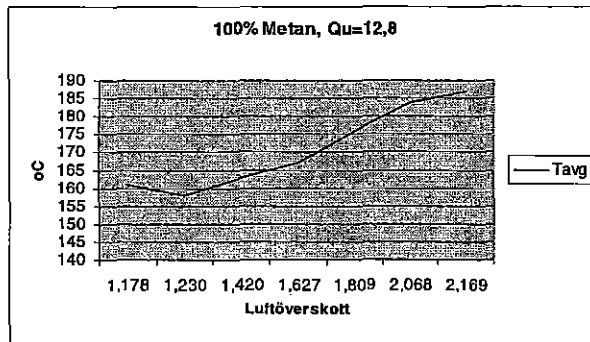
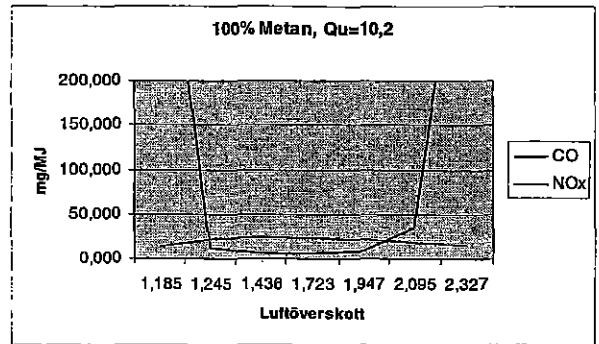
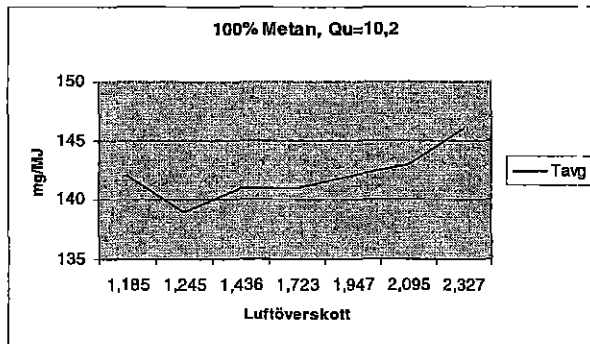
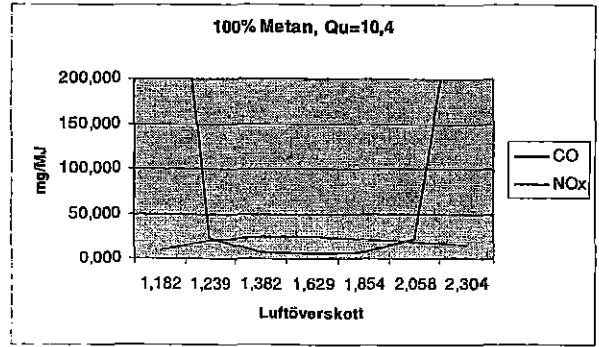
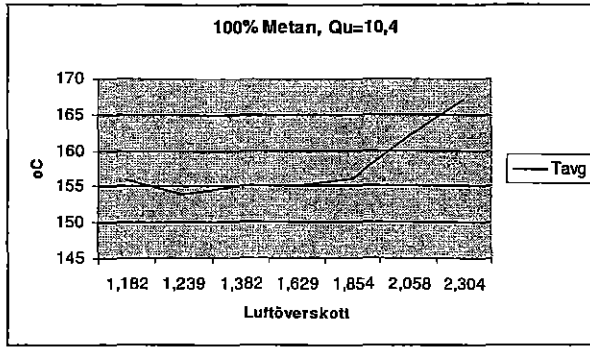
Tavg	157	148	149	151	160	167	169
O2	2,92	4,21	5,63	7,9	9,4	10,74	11,6
CO	1450	44	18	14	12	18	45
CO2	10,8	12,1	11,7	10,7	10	9,4	9,2
NO	9,7	26,8	32	26	20,5	14	12,6
NO2	7,1	5,3	4,5	4,9	3,6	3,5	4,4
NOX	16,8	32,1	36,5	30,9	24,1	17,5	17
Vut	37,8	37,7	38,3	38,4	38,4	38,3	38
Vin	29,2	29,1	29,2	29,4	29,6	29,6	29,4
Qu	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
λ	1,162	1,251	1,367	1,604	1,812	2,050	2,238
CO mg/MJ	502,514	16,422	7,340	6,701	6,488	11,007	30,042
NO mg/MJ	3,601	10,715	13,978	13,329	11,872	9,170	9,010
NO2 mg/MJ	4,151	3,337	3,096	3,956	3,283	3,610	4,955
NOX mg/MJ	9,822	20,211	25,108	24,948	21,980	18,052	19,145

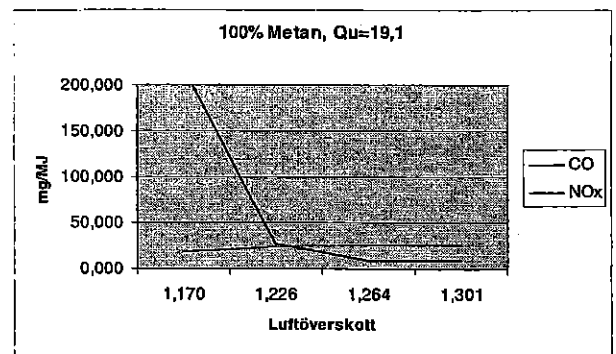
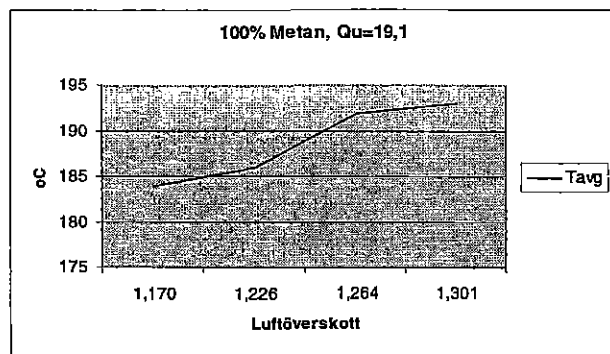
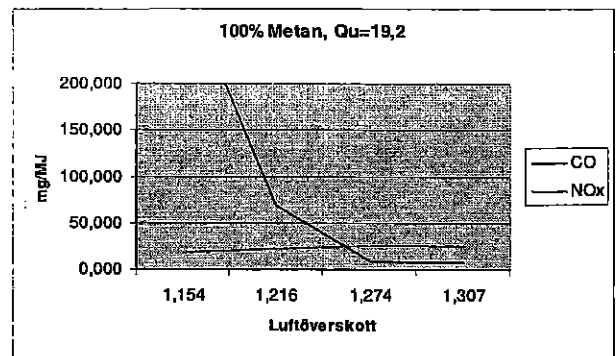
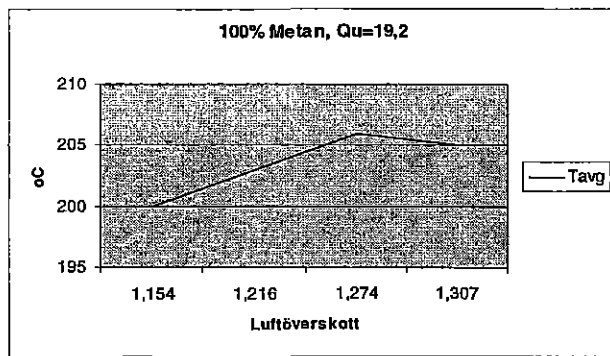
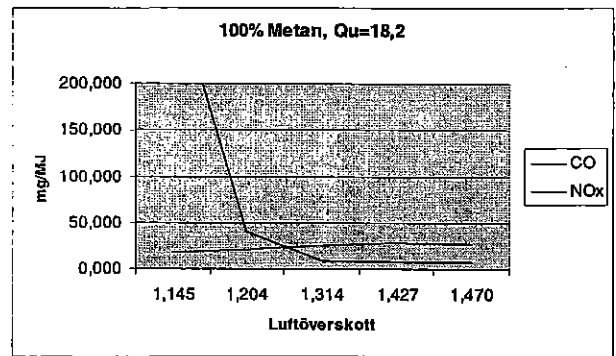
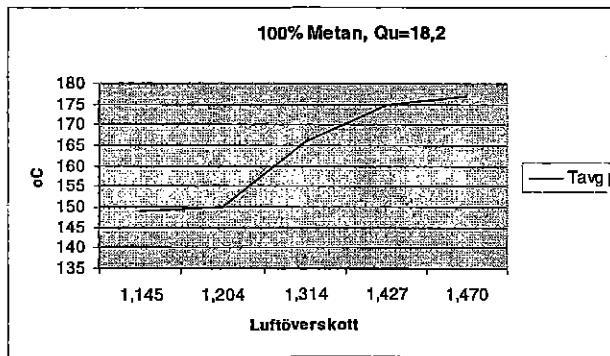
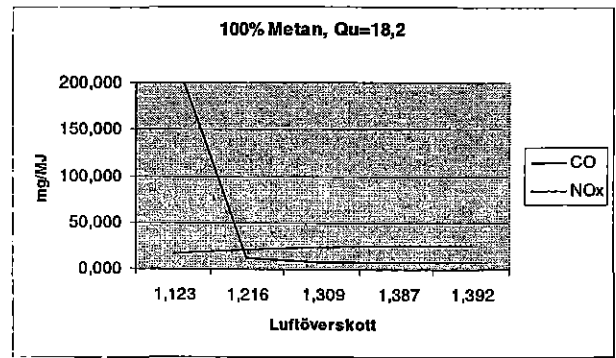
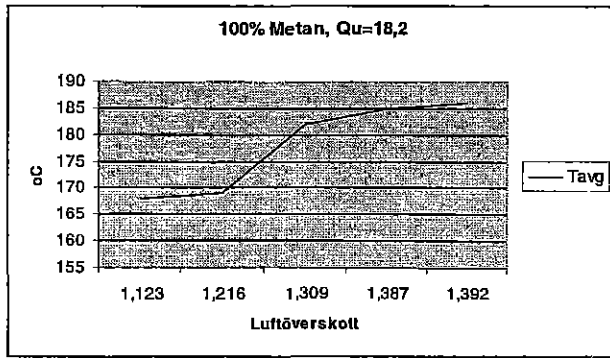
Tavg	168	169	182	185	186
O2	2,3	3,73	4,95	5,85	5,9
CO	690	34	20	18	17
CO2	11,7	12	11,6	11,2	11,2
NO	22,2	27,5	30,8	30,5	30,4
NO2	7,5	6,8	6,3	6,2	6,4
NOX	29,7	34,3	37,1	36,7	36,8
Vut	60,3	60,5	61,3	61,6	61,5
Vin	49,4	49,4	37,1	36,7	36,8
Qu	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
λ	1,123	1,216	1,309	1,387	1,392
CO mg/MJ	231,186	12,337	7,810	7,447	7,057
NO mg/MJ	7,968	10,688	12,883	13,516	13,517
NO2 mg/MJ	4,239	4,162	4,150	4,327	4,481
NOX mg/MJ	16,787	20,995	24,438	25,613	25,768

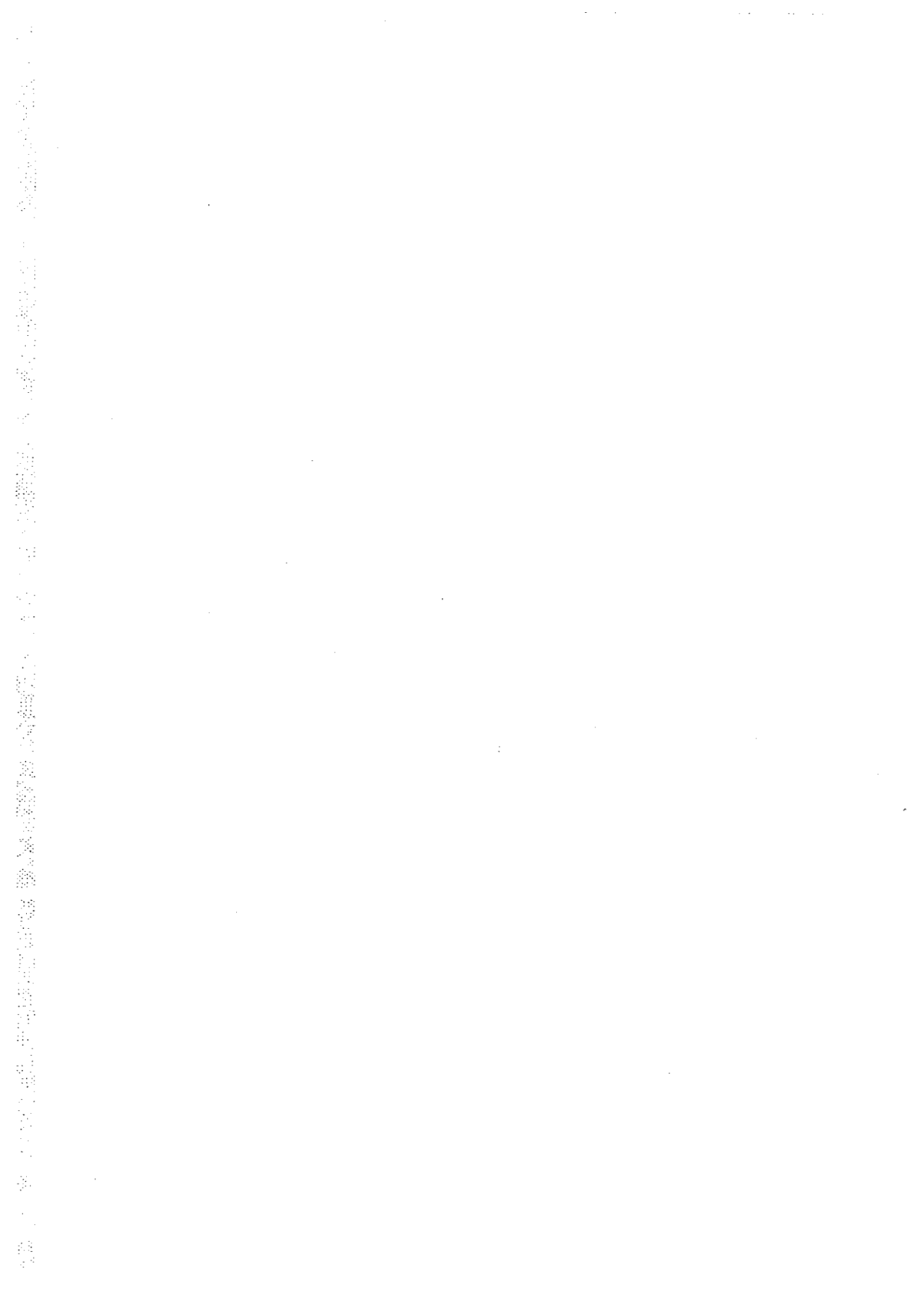
Tavg	149	150	166	175	177
O2	2,65	3,55	5,01	6,27	6,7
CO	888	111	24	19	17
CO2	11,6	12,2	11,8	11,4	11,2
NO	21,4	27,1	32,9	33,1	30,8
NO2	9,5	7,6	6,7	6,2	5,8
NOX	30,9	34,7	39,6	39,3	36,6
Vut	43,7	43,6	44	44,5	44,4
Vin	32,8	32,6	32,9	33,1	33,1
Qu	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
λ	1,145	1,204	1,314	1,427	1,470
CO mg/MJ	303,211	39,859	9,407	8,085	7,452
NO mg/MJ	7,827	10,424	13,813	15,088	14,462
NO2 mg/MJ	5,472	4,604	4,430	4,451	4,289
NOX mg/MJ	17,799	21,020	26,183	28,212	27,065

Tavg	200	203	206	205
O2	2,8	3,72	4,51	4,92
CO	893	190	23	21
CO2	11,6	12,2	12	11,8
NO	20,9	29,2	32,3	32,8
NO2	9,8	8,3	8	6,6
NOX	30,7	37,5	40,3	39,4
Vut	63	62,6	62,8	63
Vin	51,3	50,8	50,9	51,1
Qu	19,2	19,2	19,2	19,2
λ	1,154	1,216	1,274	1,307
CO mg/MJ	307,435	68,900	8,741	8,185
NO mg/MJ	7,707	11,343	13,149	13,694
NO2 mg/MJ	5,691	5,077	5,129	4,339
NOX mg/MJ	17,829	22,940	25,836	25,904

Tavg	184	186	192	193
O2	3,05	3,87	4,38	4,85
CO	630	74	26	22
CO2	11,8	12,2	12	11,9
NO	23,2	29,5	33,1	33,5
NO2	8,6	8,6	6,7	6,8
NOX	31,8	38,1	39,8	40,3
Vut	46	45,7	46	46,2
Vin	33,6	33,4	33,7	33,7
Qu	19,1	19,1	19,1	19,1
λ	1,170	1,226	1,264	1,301
CO mg/MJ	219,917	27,070	9,804	8,537
NO mg/MJ	8,675	11,560	13,369	13,925
NO2 mg/MJ	5,064	5,307	4,262	4,451
NOX mg/MJ	18,726	23,512	25,316	26,381



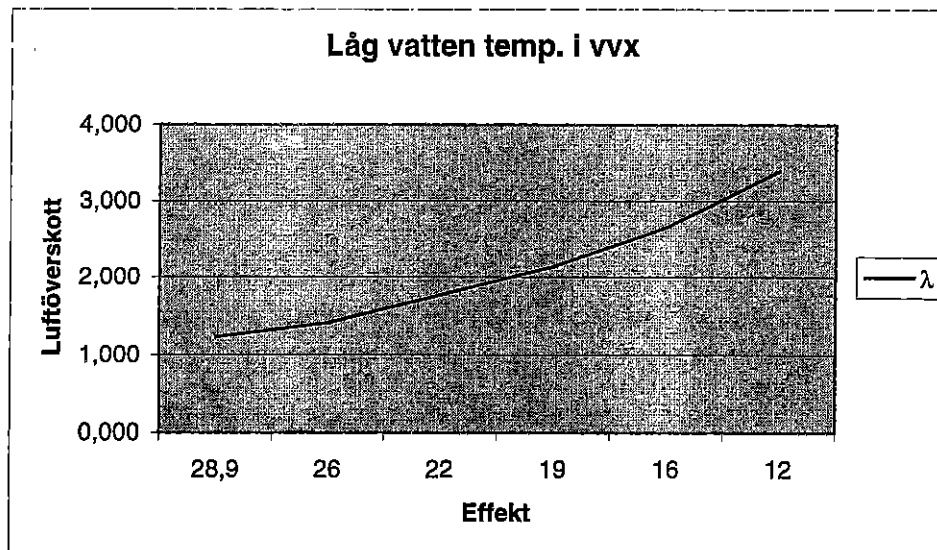
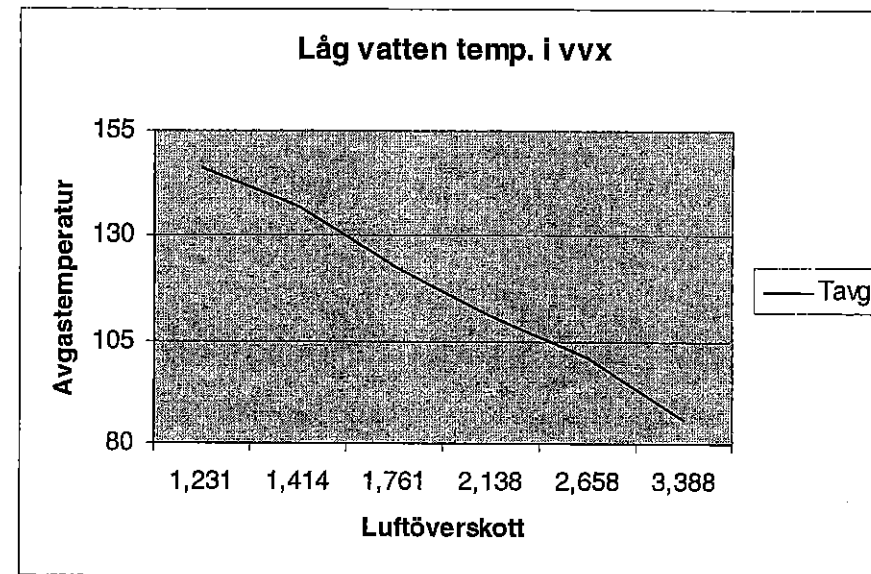
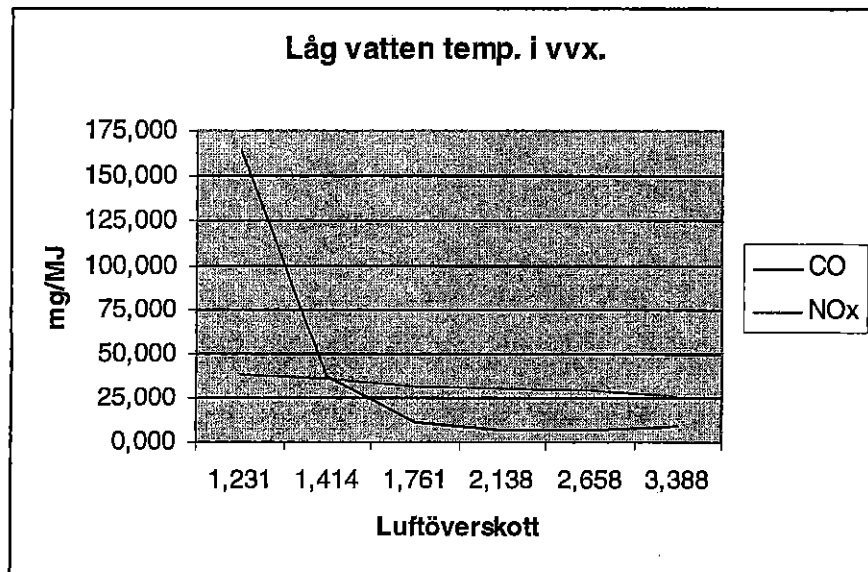


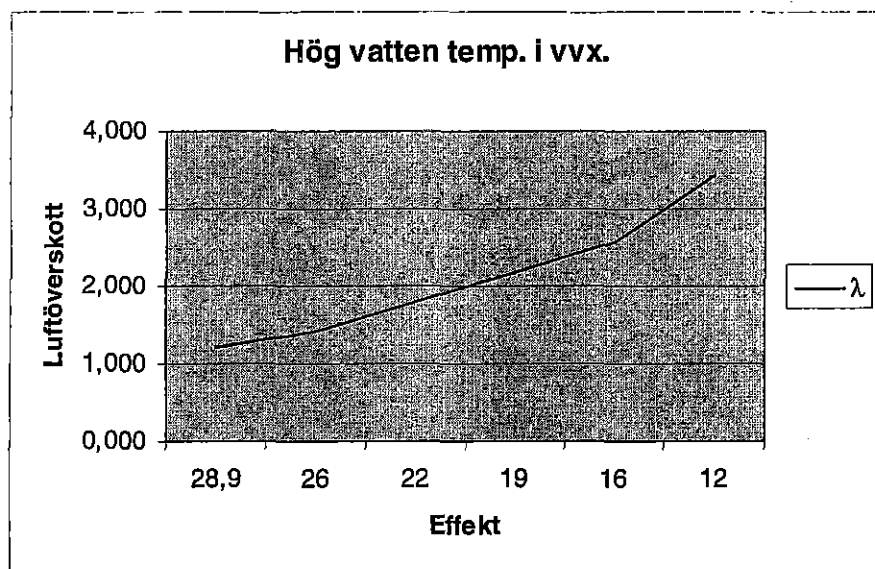
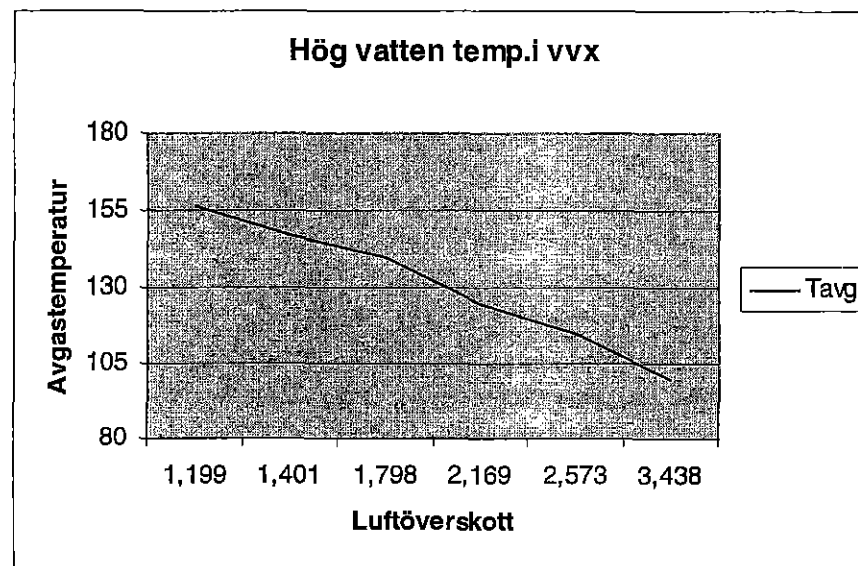
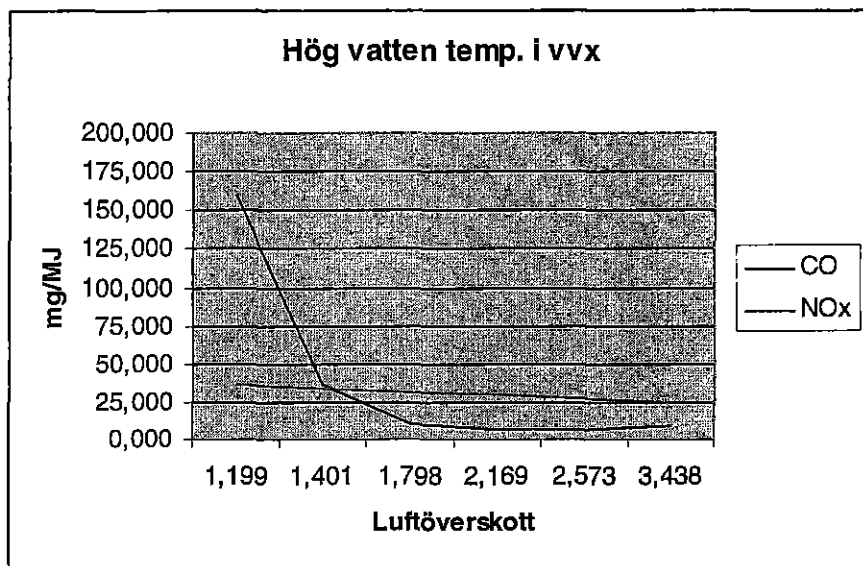


Bilaga C

Atmosfärspannan 100% naturgas

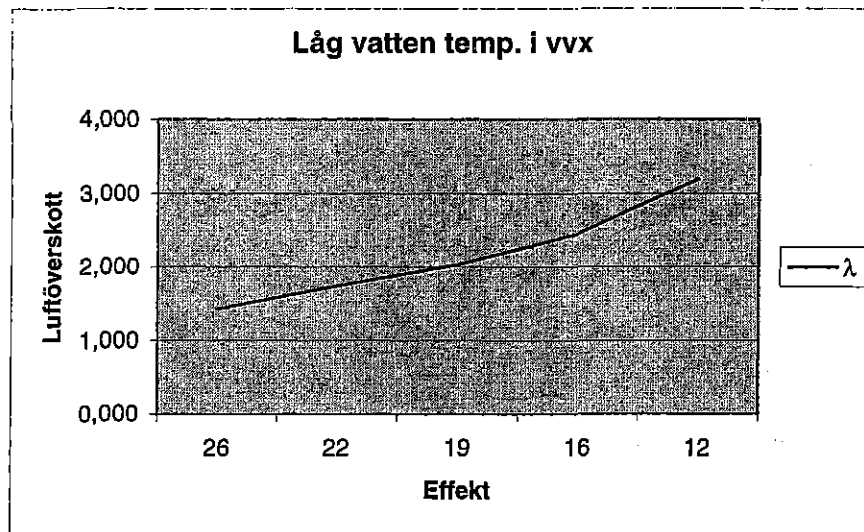
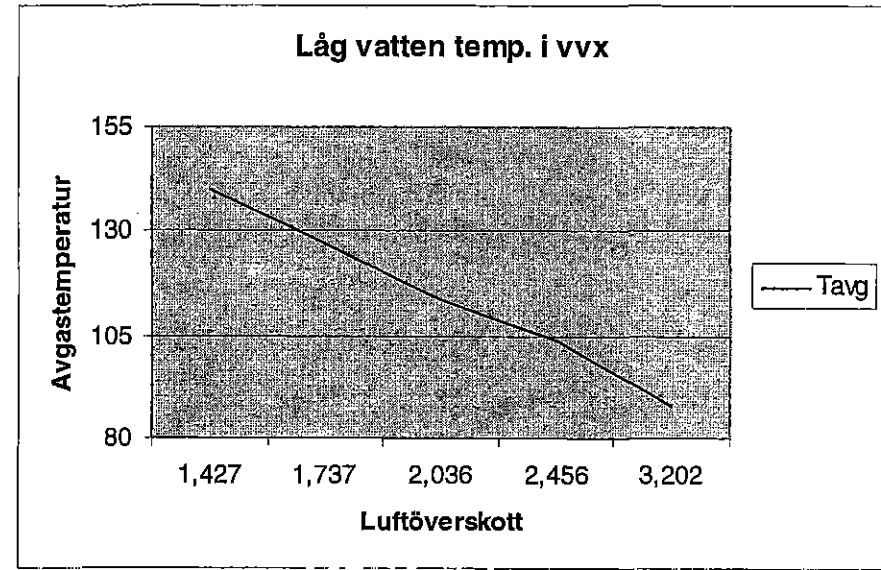
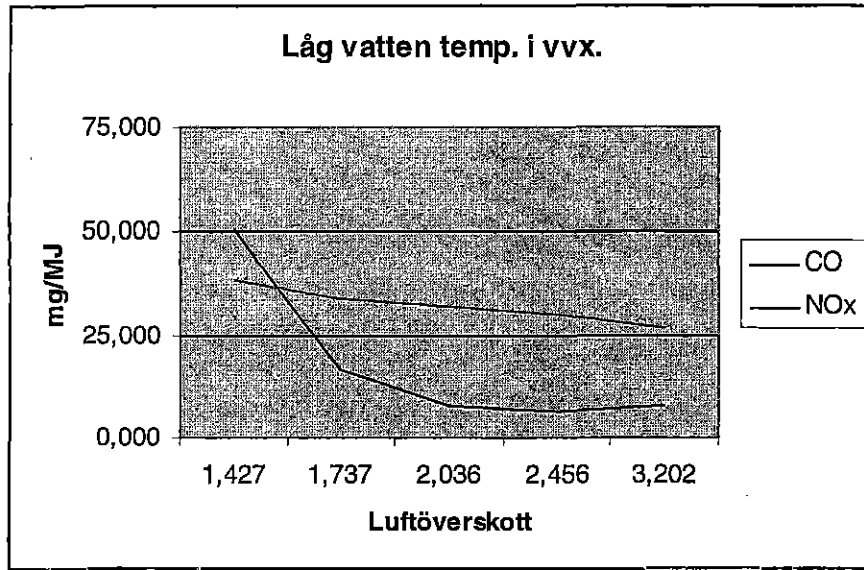
Tavg	146	137	123	111	101	86	156	147	140	125	115	100
O2	3,93	6,14	9,06	11,16	13,08	14,78	3,48	6	9,31	11,3	12,82	14,87
CO	445	90	22	11	9	9	446	87	20	11	9	9
CO2	9,5	9	7,8	6,9	5,8	4,6	9,6	9,1	7,7	6,8	5,9	4,7
NO	51,6	40,7	29	23	17,9	11,6	48,7	38	28,4	21,8	16,8	11
NO2	12	10,2	7	5,9	4,3	3,6	12,7	10,3	6,6	5,3	4,8	3,6
NOX	63,6	50,9	36	28,9	22,2	15,2	61,4	48,3	35	27,1	21,6	14,6
Vut	53	48,4	43,4	41	40,8	40,8	66,7	66,3	64,5	56,6	55,9	55,9
Vin	33,7	32	29,9	29,5	31	33,6	52,9	52,5	52,1	46,5	49,5	47,2
Qu	28,9	26	22	19	16	12	28,9	26	22	19	16	12
λ	1,231	1,414	1,761	2,138	2,658	3,388	1,199	1,401	1,798	2,169	2,573	3,438
CO mg/MJ	163,653	38,031	11,576	7,027	7,148	9,111	159,801	36,419	10,749	7,129	6,920	9,246
NO mg/MJ	20,327	18,422	16,345	15,738	15,229	12,579	18,691	17,039	16,350	15,133	13,837	12,105
NO2 mg/MJ	7,445	7,271	6,213	6,358	5,761	6,148	7,676	7,274	5,984	5,794	6,226	6,239
NOX mg/MJ	39,456	36,283	31,954	31,143	29,744	25,959	37,111	34,108	31,732	29,626	28,017	25,302

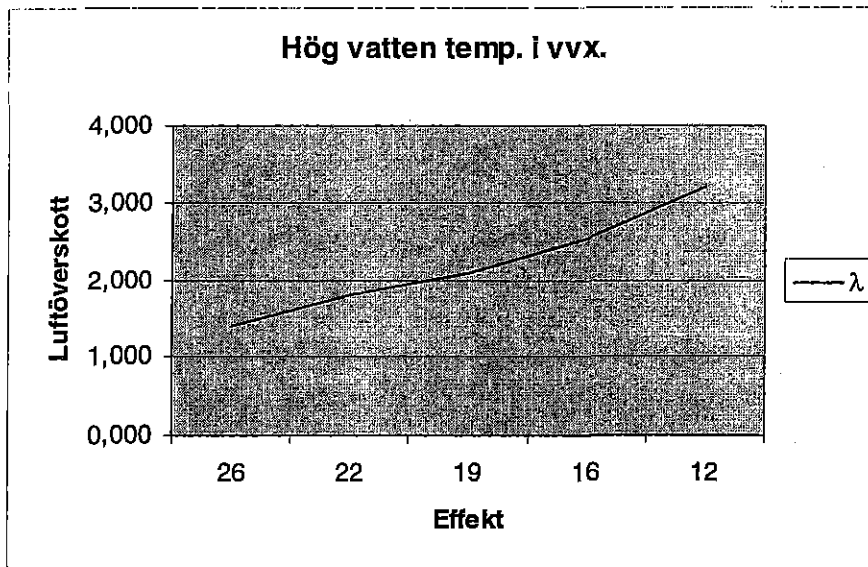
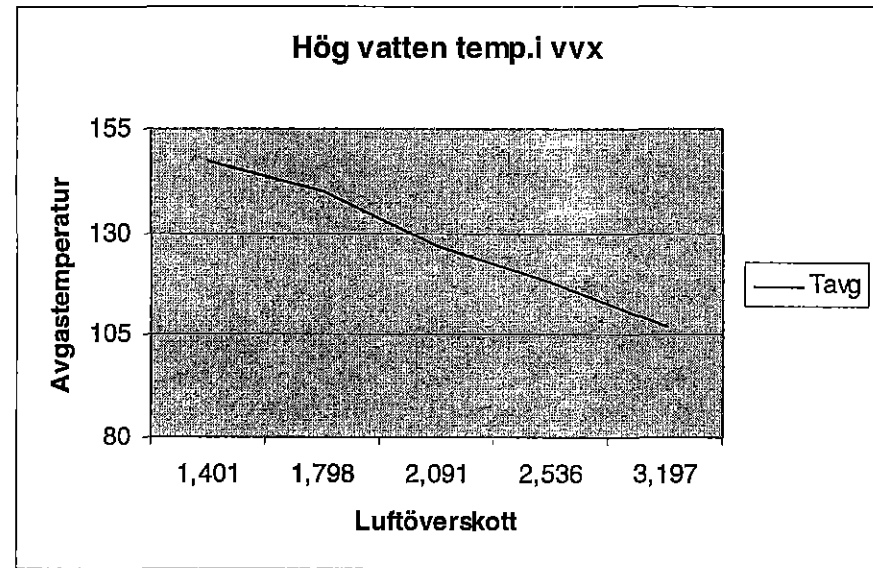
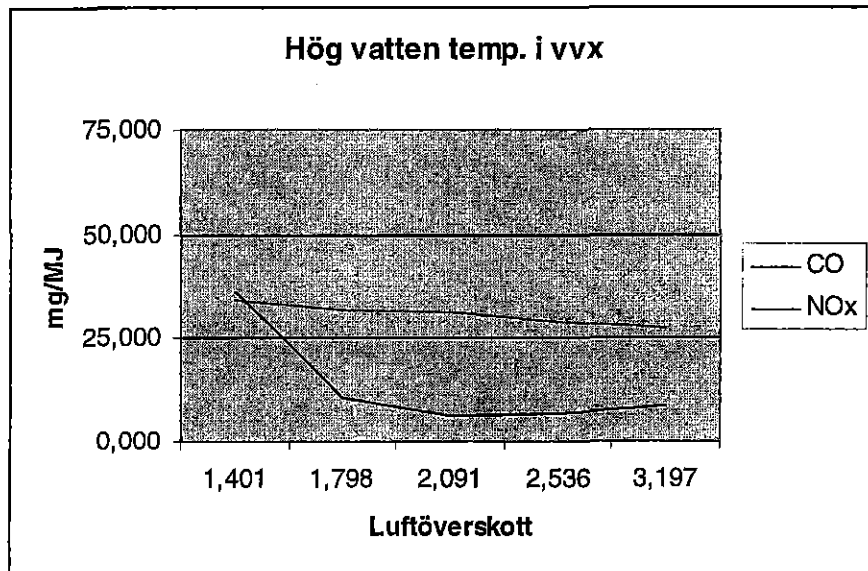




Atmosfärspannan 50% naturgas och 50% metan

Tavg	140	127	114	104	88	147	140	127	118	107
O2	6,27	8,9	10,67	12,43	14,42	6	9,31	10,94	12,7	14,41
CO	119	32	13	9	8	87	20	10	9	9
CO2	8,9	7,8	6,8	5,9	4,7	9,1	7,7	6,8	5,8	4,9
NO	41,9	31,3	25,4	19,5	12,8	38	28,4	23,6	17,9	12,8
NO2	11,7	8	6,3	5	3,9	10,3	6,6	6,2	4,7	4,1
NOX	53,6	39,3	31,7	24,5	16,7	48,3	35	29,8	22,6	16,9
Vut	50,3	44,9	41,6	40,8	40,7	66,3	64,5	56,8	56,4	57,3
Vin	36,5	33,7	31,8	32,2	34,3	52,5	52,1	46,2	47,3	50,4
Qu	26	22	19	16	12	26	22	19	16	12
λ	1,427	1,737	2,036	2,456	3,202	1,401	1,798	2,091	2,536	3,197
CO mg/MJ	50,686	16,600	7,903	6,599	7,647	36,388	10,740	6,243	6,814	8,590
NO mg/MJ	19,117	17,392	16,539	15,314	13,107	17,025	16,336	15,781	14,517	13,087
NO2 mg/MJ	8,407	7,001	6,460	6,184	6,289	7,267	5,979	6,529	6,003	6,601
NOX mg/MJ	38,513	34,391	32,507	30,302	26,930	34,079	31,705	31,381	28,864	27,211

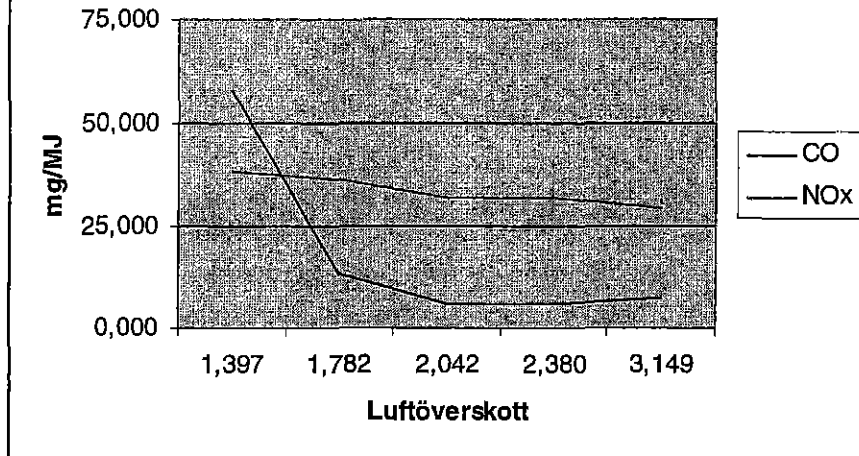




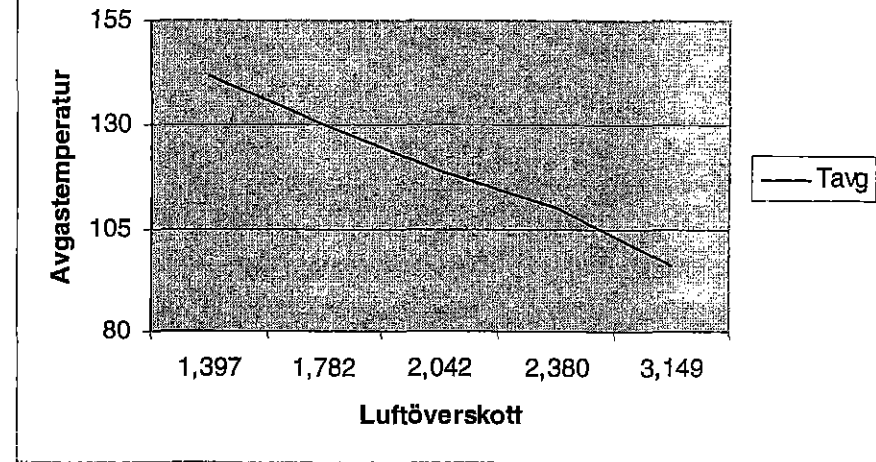
Atmosfärspannan 25% naturgas och 75% metan

Tavg	142	130	119	110	96	152	140	128	119	105
O2	5,96	9,2	10,7	12,16	14,31	5,75	8,5	10,88	12,34	14,5
CO	139	25	10	8	8	138	35	11	10	9
CO2	8,9	7,6	6,9	6,1	4,8	9	78	6,8	6	4,7
NO	43	32,2	25,3	21,3	14,4	47	32,3	26,6	21,3	13,5
NO2	11,7	8,2	5,9	5,5	4,3	12	9,1	7	5,7	4,4
NOX	54,7	40,4	31,2	26,8	18,7	59	41,4	33,6	27	17,9
Vut	51,8	47,3	43,3	43,7	43,4	68,7	63,3	57,5	56,7	56,6
Vin	37,4	35,3	32,7	34,2	36,7	55,5	51,5	47,6	47,8	50,2
Qu	26	22	19	16	12	26	22	19	16	12
λ	1,397	1,782	2,042	2,380	3,149	1,378	1,682	2,078	2,430	3,241
CO mg/MJ	57,923	13,286	6,090	5,680	7,513	56,713	17,556	6,819	7,248	8,701
NO mg/MJ	19,198	18,334	16,509	16,202	14,490	20,695	17,358	17,667	16,540	13,983
NO2 mg/MJ	8,225	7,351	6,062	6,587	6,812	8,319	7,700	7,320	6,969	7,176
NOX mg/MJ	38,452	36,217	32,055	32,097	29,626	40,902	35,030	35,137	33,011	29,192

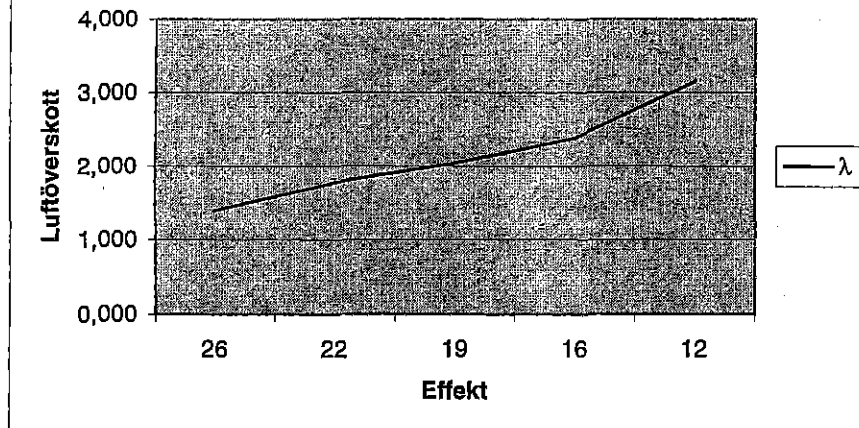
Låg vatten temp. i vvx.

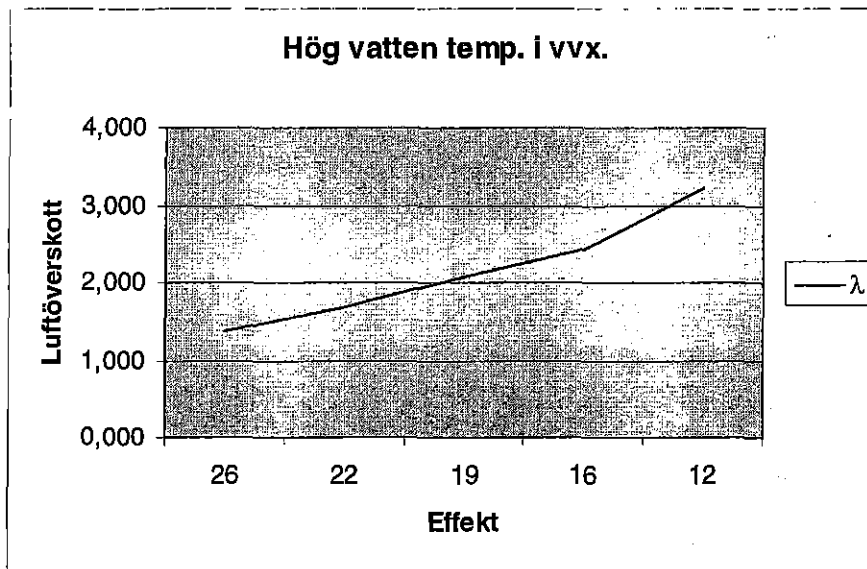
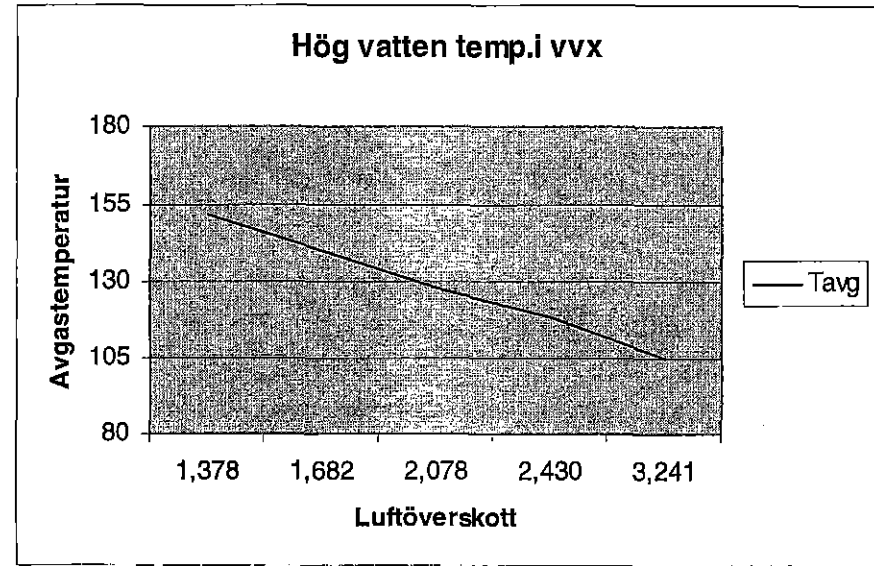
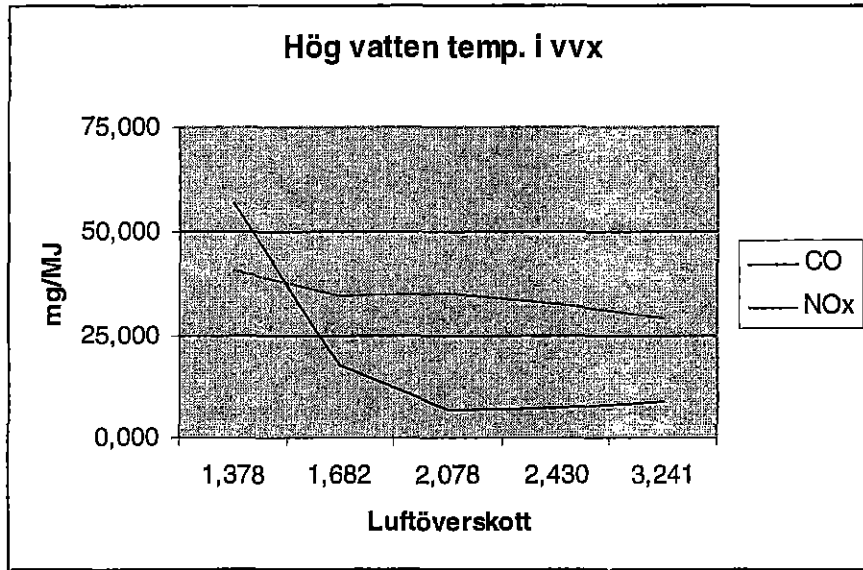


Låg vatten temp. i vvx



Låg vatten temp. i vvx





2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Driftekniska Inst. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projekt. AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen AF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumph Triumph Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reurning med naturgas. Fullskaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonserterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknik utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell SGC	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med läggningsbox.	Nov 93	Göran Lustig Elektro Sandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör.	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastindustrin, handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material ledningar för gasdistribution.	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri.	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör (Finns även i engelsk upplaga)	Dec 93	Ulf Nilsson m fl LTH	150

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärmö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karll, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålar	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150
057	Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer	Dec 94	Fredrik A Silversand Katator AB	150
058	Demonstration av låg-NOx-brännare i växthus	Feb 95	B Karll, B T Nielsen Dansk Gasteknisk Center	150
059	Marknadspotential naturgaseldade industriella IR-strålar	Apr 95	Rolf Christensen Enerkon RC	150
060	Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt i villaskorstenar	Maj 95	L Hedeén, G Björklund Sydgas AB	50
061	Polyamidrör för distribution av gasol i gasfas. Kunskapssammanställning	Jul 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
062	PE-rörs tålighet mot yttre påverkan. Sammanställning av utförda praktiska försök	Aug 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
063	Naturgas på hjul. Förutsättningar för en storskalig satsning på NGV i Sverige	Aug 95	Naturgasbolagens NGV- grupp	150
064	Energieffektivisering av större gaseldade pannanläggningar. Handbok	Aug 95	Lars Frederiksen Dansk Gasteknisk Center	200
065	Förbättra miljön med gasdrivna fordon	Aug 95	Göteborg Energi AB	150
066	Konvertering av oljeeldade panncentraler till naturgas. Handbok.	Nov 95	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	150

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
067	Naturgasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO ₂ -gödsling med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
070	Utvärdering av naturgasförbränning i porösa bäddar	Mar 96	Henric Larsson Lunds Tekniska Högskola	150
071	Utvärdering av naturgasdrivna IR-boostar i ugn för pulverlackering	Nov 95	Ole H Madsen Asger N Myken	150
072	Sammanställning av emissionsdata från naturgas-, biogas- o motorgasdrivna fordon	Jun 96	Hans-Åke Maltesson Svenskt Gastekniskt Center AB	150
073	Livslängdsbestämning för PE-rör för gasdistribution (EVOPE-projektet)	Jul 96	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	100
074	Gasblandningar för fordonsdrift. Idéstudie.	Aug 96	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
075	Gasbranschens miljöhandbok	Sep 96	Jörgen Thunell Svenskt Gastekniskt Center	500
076	Låg-NO _x -teknik för gasdrivna processer - dagsläge	Okt 96	Mikael Näslund, LTH Inst.Värme- och Kraftteknik, LTH	150
077	Karakterisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB 50 -projektet	Dec 96	K-E Egebäck Roger Westerholm	150
078	Uppvärmning med gas i svenska småhus - erfarenheter och framtida teknikval	Nov 96	Mikael Näslund, LTH	150
079	Handledn. för inst av gaseldade IR -värmare. Rådgivning, analys och genomförande	Apr 97	Pär Dalin DITAB	150
080	Mikrokraftvärmeverk med Stirlingmotor	Jan 97	Tomas Nilsson Lunds Tekniska Högskola	150
081	Naturgasbaserad småskalig kraftvärme inom uppvärmningssektorn	Feb 97	Mats Nilsson LTH/MALMÖ	150
082	Kylning och klimatisering av byggnader och lokaler med hjälp av naturgas	Apr 97	Anders Lindkvist Vattenfall Energisystem	150

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
083	Naturgassystemet i Sverige - en teknisk beskrivning	Jun 97	Ronny Nilsson, KM	150
084	Livscykelanalyser - Är det något för gasbranschen	Sep 97	Jörgen Thunell	150
085	Konvertering av direktelvärmda småhus till naturgasuppvärmning	Dec 97	Mikael Näslund Inst Värme- och Kraftteknik, LTH	150
086	Uppgradering av biogas . Fas 2, Praktiska försök med kondenseringsmetoder.	Jun 97	Ola Lloyd / BioMil AB Johan Nilsson / LTH	150
087	Utveckling av katalytisk rening av avgaser från befintlig panna	Dec 97	F Silversand, T Hargitai m fl Katator AB	150
088	Technical Description of the Swedish Natural Gas Distr System (På Engelska)	Jun 97	Ronny Nilsson, KM	150
089	Rening av avgaser från en naturgasdriven lean burn motor i en förbr.växlare	Okt 97	Björn Heed Inst för Energiteknik, CTH	150
090	Utsläpp av oreglerade ämnen vid förbränning av olika bränslen	Jun 98	Jörgen Thunell	150
091	Nya metoder för att säkerställa mätnoggrannheten i naturgasnät	Nov 97	Ulf R C Nilsson Luleå TH, Inst Systemteknik	150
092	LB30-projektet - Introduktion av naturgasdrivna tyngre lastbilar	Jan 99	Owe Jönsson Svenskt Gastekniskt Center	150
093	Karaktärisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB50-projektet	Sep 98	Karl Erik Egebäck	150
094	Gasdistribution och avgasininstallation i byggnader	Jan 99	Hans Christian Thiis Per Palm	150
095	Karaktärisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB50-projektet	Okt 98	Karl Erik Egebäck	150
096	Lifetime of PE-pipes subjected to squeeze off	Nov 98	Tomas Tränkner	150
097	Svensk högskoleförlagd energigasforskning Nutid och framtid	Jan 99	Mikael Näslund, LTH Owe Jönsson, SGC	150
098	Metoder för snabb kvalitetskontroll av PE-rör för gasdistribution	Apr 99	Tomas Tränkner	150

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
099	Gas co-firing for NOx-reduction in coal fired boilers	Apr 99	Fredrik Brogaard	200
100	Optimerad samrötning av restprodukter från stad och land	Apr 99	A Dahl, M Linné, L Andersson	150
101	Distribution av biogas i naturgasnät	Jul 99	Kaj Vågdahl	100
102	Evaluation of the efficiency face to the NOx-emissions from European plants	990901	M J Fourniguet, A Quinqueneau, B Karl, P Breithaupt, O Jonsson	150
103	Uppföljning av kvalitetspecifikation för uppgraderad biogas som fordonsbränsle	Okt 99	Anders Dahl	150
104	Evaluation of three-way-catalysis for NOx-abatement in large gas-fired appliance	Jan 00	Fredrik Silversand	150
105	Undersökning och förstärkning av korrosionsskyddet på gasrör förlagd i skyddsror	feb 00	Göran Camitz, Åsa Marbe Charlotte Johansson	150
106	Demonstration och utvärdering av SenerTec mikrokraftvärmeverk	feb 00	Sören Dahlin	150
107	Jämförelse mellan el-IR och gas IR vid tillämpningar i industriella processer	feb 00	Magnus Palm	150
108	Minskning av emissioner från biobränsleeldning genom katalytisk reburning	feb 00	Fredrik A Silversand	150
109	Förbränning av biogas- och naturgasblandningar	jan 00	Henrik Landersjö	150
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi AB	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbuller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enercon RC	50

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
A06	Isbildning i naturgashussar och CNG-system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult AB	50
A08	Reduktion av dioxin, furan- och klorfenoler vid avfallsförbränning	Maj 96	H Palmén, M Lampinen et al Helsingfors Tekniska Högskola	50
A09	Naturgas/mikrovågsteknik för sintring av keramer	Maj 96	Anders Röstin KTH	50
A10	NOx-reduktion genom naturgasinjektion o reburning. Demoprojekt på Knudmoseverket	Apr 96	Jan Flensted Poulsen Völund R & D Center	50
A11	Direktorkning av socker med naturgas (Endast för internt bruk)	Jul 96	Rolf Christensen Enerkon RC	0
A12	Uppföljning, installation av gaspanna med avgaskondensator, kv Hornblåsaren 6, Råå	Sep 96	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	50
A13	Klassningsplaner för gasinstallationer	Jun 97	Carl-Axel Stenberg Greger Arnesson	50
A14	Uppf av drift med naturgaseldad kondenserande gaspanna i Rinnebacksskolan	Okt 97	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	50
A15	Undersökn o förstärkn av korr.skyddet på gasrör förl i skyddsror - Delrapport 1	Nov 97	Åsa Marbe, C Johansson Sydkraft Konsult AB	100
A16	Ind - CO2-härdning av betong med naturgas	Feb 98	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	50
A17	Reservförsörjning med fordonstransporterad LNG	Dec 97	Stig Johansen	50
A18	Emissions- och immissionsmätning vid en naturgaseldad villapanna	Mar 97	David Cooper IVL	50
A19	Katalytisk rening av gaseldade lean-burnmotorer etapp 1 - teoretisk förstudie	Aug98	Fredrik Silversand Katator	100
A20	Europeisk livscykelinventering för naturgas (endast för internt bruk)	Sep 98	Jörgen Thunell	0
A21	Naturgasdrivna järnvägsfordon - Förstudie	Dec 98	Rolf Öberg	100

2000-03-06

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
A22	Catalytic abatement of CO- and UHC-emissions from Gas Fuelled Engines	Feb99	Fredrik Silversand	100
A23	Förläggning av gasrör av polyeten i befintliga massor	Mar 99	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	100



Svenskt Gastekniskt Center AB

SE-205 09 MALMÖ
Telefon: 040-24 43 10
Telefax: 040-24 43 14
www.sgc.se