

---

---

Rapport SGC 091

**NYA METODER FÖR ATT SÄKERSTÄLLA  
MÄTNOGGRANNHETEN I NATURGASNÄT**

Ulf RC Nilsson  
Luleå tekniska universitet

November 1997



---

---

Rapport SGC 091  
ISSN 1102-7371  
ISRN SGC-R--91--SE



*Besöksadress/Visiting address:* Universitetsområdet, Porsön, Luleå

*Postadress/Postal address:* SE-971 87 Luleå, Sweden

*Telefon/Telephone:* +46 920-970 00. *Telefax/Fax:* +46 920-913 99

*Hemsida/Homepage:* <http://www.luth.se>

# Nya metoder för att säkerställa mätnoggrannheten i naturgasnät

Ulf RC Nilsson

Luleå tekniska universitet  
Inst. Systemteknik  
Avd. Industriell elektronik och robotik



## **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 eller 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  
SE Gas AB  
NUTEK  
Göteborg Energi AB  
Helsingborg Energi AB  
Lunds Energi AB

**SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB**

  
Johan Rietz



## Introduktion

Denna rapport är den svenska avrapportering av projekt "Utveckling av nya övervakningstekniker för kvalitetssäkring av naturgasmätning". Projektet redovisas även i licentiat uppsatsen "New Methods for Metering Quality Assurance in Natural Gas Grids" som läggs fram onsdagen den tredje december 1997 vid Luleå tekniska universitet. Projektet har redovisats löpande för SGC's distributionsgrupp och vid internationella konferenser samt som artiklar i fackpress. Projektet har utförts vid Institutionen för Systemteknik, LTU och vid Institutionen för Värme och Kraftteknik, LTH.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Nils Widing, Sydgas AB, Gert Inge Glans och Kurt Jönsson båda vid Lunds Energi AB. Jag tackar alla för de givande diskussionerna och synpunkterna som kommit under arbetets gång. Lunds Energi AB har även bidragit med ett antal mätare till utprovning av de presenterade metoderna. Jag tackar även Jerker Delsing som under hela arbetet fungerat som handledare och kommit med värdefull kritik samt delat med sig av sin kunskap. Jag ber slutligen att få tacka samtliga medarbetare vid båda institutionerna för ett gott samarbete.

Ulf Nilsson  
Lund 971130

## Sammanfattning

I denna rapport beskrivs metodiken kring gasmätning. Gasmätning är inte bara den direkta mätningen utan även hantering av mätare och mätdata samt kalibrering av mätare. Hela systemet diskuteras och två nya metoder föreslås, dels en metod för att välja ut mätare för noggrannare kontroll och dels en metod för att utföra denna kontroll. Efter en kort introduktion i ämnet presenteras olika använda gasmätare och de system som används för att hantera dessa.

Nuvarande metod för att kontrollera ett system med många mätare är att göra stickprovsundersökningar och utifrån detta resultat bedöma samtliga mätare. Metoden går ut på att välja några mätare, kontrollera dessa i en kalibreringsanläggning och sedan antas att resten av mätarna är jämförbara. Denna metod är både dyr och begränsad då det antas att alla mätare är jämförbara med urvalet. En ny metod som gör ett urval inriktat på att hitta felaktiga installationer föreslås.

I en tvåstegs metod görs först en screening av mätarna baserat på avläsningsdata. I denna kan mätare och installationer med avvikande beteende identifieras. Dessa identifierade installationer kontrolleras och testas med en in situ-metod. Testresultaten avgör om mätaren skall bytas eller behållas. För att göra detta föreslås en screeningmetod kallad LoadIndex baserad på mätaravläsningar tillsammans med en in situtestmetod kallad Fingerprint där det dynamiska mekaniska beteendet i mätaren analyseras.

Den föreslagna LoadIndex metoden använder mätaravläsningarna för att beräkna ett relativt index som speglar energianvändningen för varje installation. Genom att använda LoadIndex kan en jämförelse göras mellan olika installationer varvid installationer med en avvikande energikonsumtion kan hittas. De funna installationerna kontrolleras genom installationsprotokoll studeras för att hitta förklaringar. De som ej kan förklaras genom detta kan misstänkas för att ha felaktiga mätare. Metoden har testats i naturgasnätet i Lund med gott resultat.

Kalibrering av mätare är normalt både tidsödande och dyrbart. När hushållsmätare testas kan kostnaden för test överstiga kostnaden för en ny mätare. En fingerprintmetod för att testa mätare in situ föreslås därför. Fingerprintmetoden mäter den primära flödessignalen med en upplösning som tillåter att enskilda delar i arbetscykeln kan analyseras, dvs det dynamiska beteendet. Fel som påverkar mätarens beteende kan på detta sätt detekteras genom felens påverkan på fingerprintet. I arbetet som utförts vid LTU har metoden applicerats på bälggasmätare där den primära signalen är rotationen av den utgående axeln. Det kan antas att metoden går att applicera på de flesta mätare baserade på mekaniska mätprinciper. Metoden har testats på både nya mätare, mätare med simulerade fel och mätare med fel uppkomna under drift. De fel som orsakat oacceptabla mätfel och korrekt har kunnat diagnosticerats med denna metod är: läckage, vätska i mätaren och ökad friktion.

## Innehållsförteckning

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Introduktion                          | i   |
| Sammanfattning                        | ii  |
| Innehållsförteckning                  | iii |
| 1 Bakgrund                            | 1   |
| 1.1 En kort historik om gas industrin | 1   |
| 1.2 Gasdistribution                   | 1   |
| 1.3 Naturgas i Sverige                | 2   |
| 2 Använda gasmätare.                  | 3   |
| 2.1 Trummätare                        | 3   |
| 2.2 Bälgmätare                        | 4   |
| 2.3 Vridkolvsmätare                   | 4   |
| 2.4 Turbinmätare                      | 5   |
| 2.5 Strypflänsmätare                  | 5   |
| 2.6 Ultraljudsmätare                  | 6   |
| 2.7 Vortexmätare                      | 7   |
| 2.8 Coriolismätare                    | 7   |
| 2.9 Kompenseringsverk                 | 8   |
| 2.10 Sammanfattning                   | 8   |
| 3 Mätarkontroll                       | 9   |
| 3.1 Lagstiftning                      | 9   |
| 3.2 Flödesbalanser                    | 10  |
| 3.2 Screeningmetoder                  | 10  |
| 3.3 Kalibrering                       | 11  |
| 3.4.1 Kalibreringslaboratorier        | 11  |
| 3.4.2 In situ kalibrering             | 13  |
| 3.5 Systematiska fel                  | 14  |
| 3.6 Problemet med mätarkontroll       | 14  |
| 4 LoadIndex                           | 15  |
| 5 Fingerprint                         | 19  |
| 6 Vidareutveckling                    | 23  |
| 7 Slutsatser                          | 25  |
| 8 Referenser                          | 27  |





# 1 Bakgrund

## 1.1 En kort historik om gas industrin

Redan i antikens Grekland fanns naturgas, enligt vissa källor var det berömda oraklet i Delfi omtöcknad av naturgas när profetierna gavs. Naturgasen kom från naturliga sprickor i berget där den sipprade fram. Rapporterna om eviga flammor i olika delar av världen kan också förklaras av förekomst av naturgas. Den första avsiktliga användningen av naturgas är omnämnandet av ett gas nät i Kina för ca 3000 år sedan. Gasen kom från naturliga källor och leddes i ledningar av bambu. Gasen användes i primitiva lampor och senare för avsaltning. Gas som bränsle undersöktes inte vetenskapligt förrän mycket senare. Ordet "gas" myntades av en Flamländsk kemist, Johann Baptist van Helmont (1577-1644), för att beskriva "något okänt som avgick från trä och kol". Ordet kan troligen härledas till det grekiska ordet kaos. Under 18- och 19-hundratalet gjordes vidare experiment och det upptäcktes att en brännbar gas utvanns när trä, kol eller torv upphettades.

Någon praktisk användning fick inte gas förrän 1792 när William Murdock använde gasljus i sitt hem, därav titeln "Gasindustrins fader" [1]. Philippe Lebon kan också göra anspråk på denna titel då han demonstrerade gasljus i Paris 1801. William Murdock var anställd av firman "Boulton & Watt" vilken är mer känd för sina ångmaskiner. Den första sålda installationen var 1805 när firman "Boulton & Watt" sålde gasljus till "Philips and Lee Cotton Factory". Det var 900 gasljus som ersatte 2500 talgljus och andra ljuskällor. Tidigare installationer var mer av kuriositeter. Redan tjugo år senare, 1825, fanns det ett gasnät uppbyggt med järnrör i London som hade en sträckning på 500 km. Gasen användes huvudsakligen för belysning men även för matlagning. Den distribuerade gasen var så kallad stadsgas som tillverkades genom torrdestillation av trä eller kol, senare även genom crackning av bensin. Denna gas var giftig då den innehåller koloxid (CO).

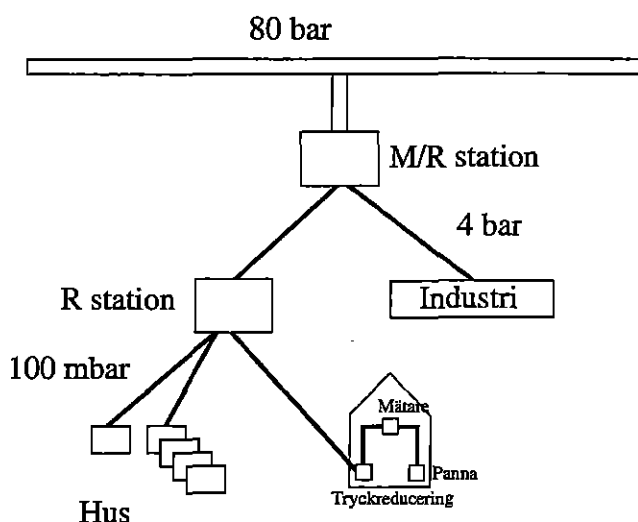
När elektriciteten introducerades minskade användningen av stadsgas för belysning. Efter 1945 har nästan alla gasljus ersatts. Under 50-talet upptäcktes naturgas i Groningenfälten i Holland och Frankrike, detta ledde till att en ny era av gas användning i Europa. Naturgas används nu både för bostadsuppvärmning och industriellt bruk. I USA har naturgas använts under en längre tid.

1846 startades det första gasnätet i Sverige i Göteborg [2]. Redan år 1848 fanns 250 gasljus i bruk för gatubelysning. Dessa lampor användes ca 2000 timmar/år och betydde att gatubelysningen ökade sexfaldigt. Som i andra europeiska städer minskade användningen av stadsgas under början av nittonhundratalet. Bara några få städer fortsatte med driften in på 70-talet. Idag har de flesta konverterat till naturgas/luft blandning eller biogas. Stockholm är den enda staden i Sverige som fortsatt använda stadsgas tillverkad genom crackning av bensin.

## 1.2 Gasdistribution

Ett typiskt gasnät visas i figur 1, det består av ett högtrycksnät som fungerar som ett transmissionsnät med ett max tryck mellan 80 och 16 bar. Bara de största kunderna är anslutna till transmissionsnätet. I mät/reducerings (M/R) stationer anslutna till transmissionsnätet reduceras trycket till 4 bar innan gasen släpps ut i distributionsnätet. Distributionsnätet

levererar gas till de större kunderna. Gas som används för husuppvärmning tryckreduceras ytterligare en gång till 100 mbar i reducerstationer (R station) innan den distribueras till enskilda hus.



Figur 1. Översiktsbild över delarna till ett naturgasnät

Gasen mäts i M/R stationerna med turbin- eller strypfläns-mätare som är tryck- och temperatur-kompenserade. Större kunder anslutna till 4 bars nätet är ofta utrustade med turbinmätare eller vridkolvsmätare, även dessa har tryck- och temperatur-kompensering. De mindre kunderna har oftast en volymetrisk flödesmätare, i 99% av installationerna en bälgmätare. Det finns också kunder som enbart använder gasen i en gasspis, dessa betalar enbart en fast avgift per år. I detta fall skulle kostnaden för själva mätningen bli större än värdet av gasen som mäts. Gasen mäts minst två gånger: när den kommer till distributionsnätet och när den levereras till kunden. När alla avläsningar summeras kan det uppstå en skillnad mellan den mängd gas som kommit in i distributionsnätet och hur mycket som levererats. Denna differens brukar kallas UAF efter det engelska "UnAccounted For" (Icke Redovisad) gas.

### 1.3 Naturgas i Sverige

Naturgasen är för Sverige ett relativt nytt bränsle. Naturgasen kom till Sverige med ledningen under Öresund från de danska gasfälten i Nordsjön 1985. Idag sträcker sig naturgasnätet från Trelleborg i söder längs västkusten till Göteborg i norr. Marknadsandelen är ca 2% av Sveriges energiförsörjning. De gasmätare som används i Sverige är turbinmätare i M/R stationer och hos större kunder, vridkolvsmätare hos medelstora kunder samt bälgmätare hos små kunder. Totalt finns det ca 50 000 mätare i det Svenska gasnätet varav ca 43 000 är bälgmätare.

1993 började några distributionsnät visa en ökande differens mellan inköpt och såld gas. Då frågan uppstod huruvida det förelåg ett systematiskt mätfel initierades ett projekt "Kvalitetssäkring i gasnät" av Svenskt Gastekniskt Center (SGC). Projektet började vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) och fortsatte senare vid Luleå Tekniska Universitet (LTU).

## 2 Använda gasmätare.

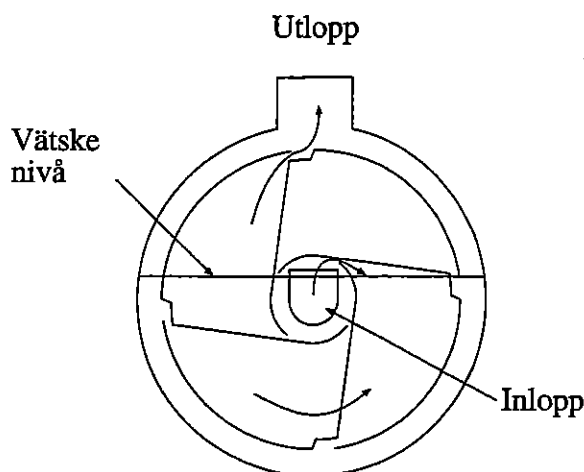
I detta kapitel kommer olika gasmätare som använts för att mäta gas att beskrivas tillsammans med de vanligaste användningsområdena.

Det är inte enkelt att mäta gas. Gas är både tryck- och temperatur-beroende, väger nästan inget och om det inte hanteras i ett slutet system så försvinner den upp i det blå. Förhållandet mellan volym, massa, tryck och temperatur beskrivs av den allmänna gaslagen under förutsättning att gasen kan antas vara ideal. I de flesta fall måste man kompensera för avvikelser mellan ideal gas och den använda gasen.

I de första gasnäten mättes inte gasen hos kunderna. Den första beskrivningen av gasmätare är i London 1808, det var gasklockor som både fungerade som lager och mätare i produktionsanläggningarna. Då gasen i första hand användes för belysning användes ett tariffsystem som utgick ifrån antalet lågor och deras höjd. Även idag används tariffmetoden för kunder som enbart har en gasspis, detta då kostnaden för mätning överstiger kostnaden för den mätta gasen. Tariffsystemet upplevdes snart som föråldrat och orättvist och utvecklingen av gasmätare startades.

### 2.1 Trummätare

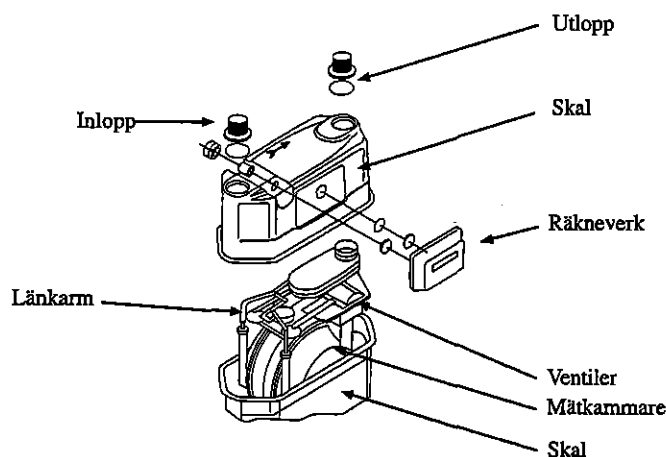
De första gasmätarna var den så kallade våta trummätaren, se figur 2. Trummätaren uppfanns av Samuel Clegg 1815 och blev förbättrad av Malam, 1817 och Crosley, 1820. Den första användning av en gasmätare för att debitera en kund var i New York 1825 [3]. Mätområdet är 1:100 och de fanns i storlekar upp till 50 m<sup>3</sup>/h. De var dock stora och krävande, både kontrollerad miljö såväl som regelbunden tillsyn av vätskan som fungerar som tätning behövdes. Beroende på storlek och kraven kom de snart att ersättas av bälgmätare. De finns fortfarande tillgängliga, främst för laboratoriebruk eftersom de kan fås med hög precision och storleken har ofta underordnad betydelse.



Figur 2. Princip skiss över den våta trummätaren

## 2.2 Bälgmätare

Bälgmätaren är en relativt enkel mätare som uppfanns 1844 av William Richards i samarbete med mr Croll. Flera år senare presenterade Thomas Glover en förbättrad design. Även om han inte var först kom mätaren att kallas Glovers tvåbälgs-mätare [3]. Bälgmätaren är en volymetrisk mätare som mäter antalet fyllningar och tömningar av en känd volym. I figur 3 visas en sprängskiss på en vanlig bälgmätare. Drivkraften kommer ifrån gastrycket på den inströmmande gasen och orsakar ett tryckfall över mätaren. Mätområden är vanligen 1:160 och mätare finns i storlekar från 1,6 m<sup>3</sup>/h till 650 m<sup>3</sup>/h. Storleken brukar anges som ett Gsiffra där siffran betecknar det nominella flödet i m<sup>3</sup>/h. I äldre mätare är bälgmaterialet skinn från getter från Himalaya men i nyare mätare har syntetiska material ersatt skinnet. Mätarna kan också utrustas med pulsutgång som kan användas för kompenseringsverk och fjärravläsning. Temperaturkompensering kan även ske genom att använda delar av bimetall i länkmekanismen. Länkmekanismen överför bälgarnas rörelse till räkneverket och kommer att variera utväxlingen beroende på temperaturen. Utformningen av gasmätaren är en kompromiss mellan yttre storlek och precision, ju större bälg desto högre precision men större yttre storlek. De amerikanska mätarna monteras ofta utomhus och därför är kravet på yttre storlek inte dominerande, i Europa där mätarna vanligen monteras inomhus är däremot kravet på mätarens yttre storlek högre [4]. Grundkonstruktionen har inte ändrats utan anpassats till nya tillverkningsmetoder och material. Bälgmätaren är vanlig i mindre installationer såsom husuppvärmning och mindre industrier.

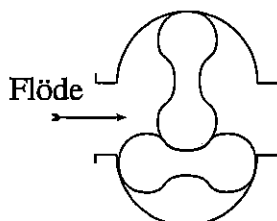


Figur 3. Sprängskiss på bälgmätare

## 2.3 Vridkolvsmätare

Vridkolvsmätaren (ibland kallad ovalhjulsmätare) är också en volymetrisk mätare där mätningen sker genom att en volym fylls och genom rotation avsnörs från inloppet och transporteras till utloppet. Rotationshastigheten kommer att vara direkt proportionell till gasflödet. Den utgående axeln är kopplad till ett räkneverk som visar den mätta volymen, vanligtvis är dessa mätare utrustade med pulsutgång för anslutning till kompensationsverk. På samma sätt som bälgmätaren kommer den drivande kraften från gastrycket och mätaren

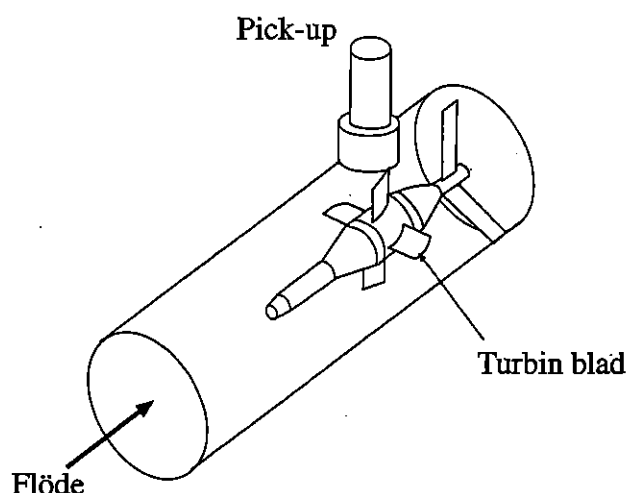
orsakar ett tryckfall. Utformningen på de roterande delarna kan variera mellan olika tillverkare. En vanlig modell som i de anglikanska länderna kallas Roots- eller Connersville-mätare visas i figur 4. Dessa mätarna finns i storlekar från 40 - 40 000 m<sup>3</sup>/h och installeras vanligen i industrier och i distributionsnätverk [5].



Figur 4. Principskiss på vridkolvsmätare

## 2.4 Turbinmätare

Turbinmätaren är en hastighetskännande mätare som mäter flödeshastigheten av gasen som strömmar förbi en turbin, se figur 5. Flödessignalen kommer från en pickup som ger en puls varje gång ett turbinblad passerar förbi. Turbinmätaren finns tillgänglig i storlekar från 100 - 25 000 m<sup>3</sup>/h [5]. Då turbinmätaren är känslig för variationer i flödesprofilen finns det krav på hur installationen skall utföras. Vanliga installationer för turbinmätare är större industrier, distributions och transmissionsnätverk.

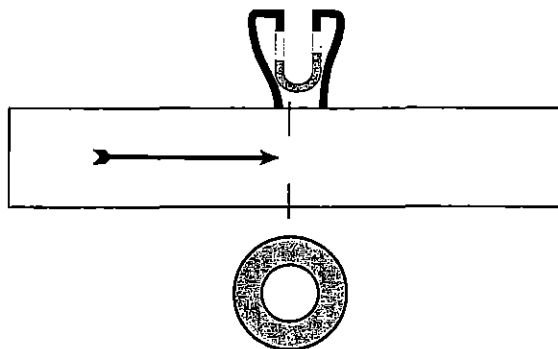


Figur 5. Principskiss av turbinmätare

## 2.5 Strypflänsmätare

De tidigare beskrivna mätarna är alla mekaniska mätare där en mekanisk del påverkas av gasflödet. Följande mätare använder alla andra mätprinciper. Mätprincipen som differenstrycksmätaren använder är att hinder i gasflödet orsakar ett tryckfall. Tryckfallet mäts och kan relateras till flödet i röret. Det finns flera varianter på mätare som använder denna princip men den vanligaste är strypflänsmätaren. Denna variant använder en skiva som sätts i flödet, se figur 6. Hur dessa skivor skall tillverkas och användas finns reglerat i standarder,

främst ANSI/API 2530. I denna standard finns kraven på tillverkningsnoggrannhet, hur de skall kontrolleras och användas i mätningen. Själva mätelelementet (strypskivan) har en enkel konstruktion och inga rörliga delar, differenstrycksmätaren kan fås i olika utförande med olika underhållskrav. Dessa egenskaper förklarar dess popularitet, trots begränsat mätområde, främst i USA. Genom att byta ut strypskivan kan man anpassa mätaren till det förväntade flödet, på vissa modeller kan detta göras under drift. Dessa mätare är dominerande i transmissionsnät, produktionsanläggningar, och i USA, i större installationer och kraftverk.

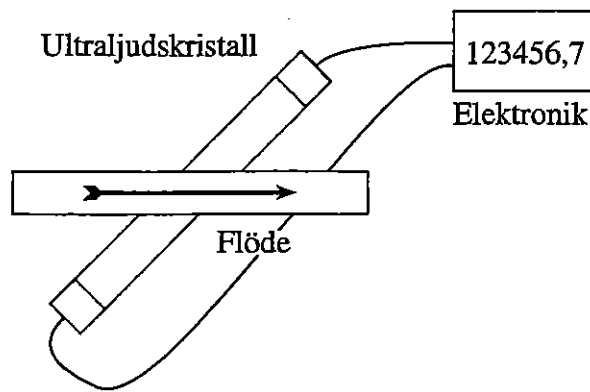


Figur 6. Principskiss över strypflämsmätare

## 2.6 Ultraljudsmätare

En mätare som nyligen börjat användas för mätning avgasflöden i mindre installationer är ultraljudsflödesmätaren. När det gäller mätning av gasflöden används löptidsmätning för att mäta flödet, det finns två olika sätt att bearbeta signalen som ultraljudsmätaren kan använda. Löptidsmätningen bygger på att tidsskillnaden tas för en ultraljudspuls som korsar flödet medströms och motströms. Skillnaden mellan de olika bearbetningen ligger i hur signalen hanteras i elektroniken. Man kan antingen använda tidsdomänen, där man bestämmer flödes hastigheten utifrån löptiden för signalerna. Alternativet är att arbeta i frekvensdomänen där man utgår från samma utrustning men istället arbetar med frekvenser. Mätsignalen omvandlas till en frekvenssignal och återsänds och bildar en repeterad puls proportionell mot löptiden för ultraljudspulsen. När två sådana frekvenser har genererats kan man bestämma flödes hastigheten [6].

Mätaren består av två ultraljudskristaller som fungerar som både sändare och mottagare och en elektronikenhet, se figur 7. Ultraljudskristallerna är vanligtvis monterade i väggarna på röret och orsakar inget tryckfall. Mätaren är oftast ett komplett system med rör och kopplingar. Nyligen har dock system som är avsedda att monteras via hot-tap på befintliga rör publicerats.

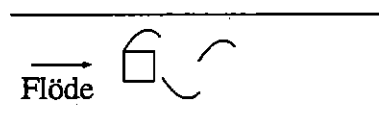


Figur 7. Grunddelarna i ultraljudsmätaren

Utvecklingen inom elektronik området har gynnat denna typ av mätare då signalbehandlingen kräver datorkraft i mätaren för att ge en flödessignal. Mätaren är därför elberoende, i mindre mätare räcker det med batteridrift. Beroende på detta krävs ett regelbundet utbyte av batterier (ca 10 årsintervall). Ultraljudsmätaren kan fås i olika storlekar ifrån villamätare till pipelinemätare. Beroende på teknikutvecklingen ökar marknadsandelen, både för stora och små mätare.

## 2.7 Vortexmätare

En annan mätare som kan användas för gasflödesmätning är vortexmätare. Mätare utgår från principen att ett flöde som strömmar förbi en icke strömlinjeformad kropp, störkropp, orsakar virvlar nedströms, se figur 8. Redan Leonardo da Vinci observerade detta fenomen då vatten strömmade förbi en klippa men det betraktades då som utan värde [7]. Dessa virvlar brukar kallas von Karman virvlar eller von Karman virvelgator efter Theodor von Karman som studerade dessa 1912. Ett exempel på principen är en flaggstång, där fungerar stången som störkropp och flaggan fladdrar beroende på de bildade virvlarna. Frekvensen på de bildade virvlarna är ett mått på flödets hastighet och virvlarna kan detekteras antingen mekaniskt eller indirekt exempelvis via ultraljud. Genom att välja storlek och form på störkroppen kan en pålitlig mätare erhållas [6].



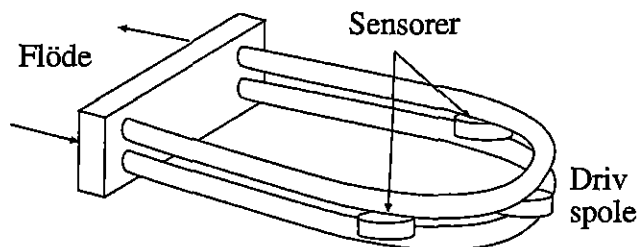
Figur 8. Principskiss på en vortexmätare

## 2.8 Coriolismätare

En princip som vanligen inte används bland gasflödesmätare är corioliseffekten. Corioliseffekten kan beskrivas som att rör i rörelse påverkas av massflödet i röret. Mätaren består av ett rör, ofta U format, som sätts i rörelse och detektorer som mäter rörets vridning, se figur 9. Eftersom massflödet är litet i de flesta applikationer där gasflödesmätare används har användningen av coriolismätare varit begränsad. En förbättrad mätare som nyligen



presenterats av Kolahi et al [8] skall kunna mäta gasflöden vid normala tryck och temperaturer. Genom att mätaren tvingas vibrera vid resonansfrekvensen har känsligheten ökat med en faktor 100. Fördelen med coriolismätare är att de mäter massflödet istället för volymflödet och behöver därför inte kompenseras för tryck och temperatur.



Figur 9. Principskiss på en coriolismätare

## 2.9 Kompenseringsverk

När gasflödesmätare används i installationer där man kan förvänta sig variationer i tryck och/eller temperatur ansluts kompenseringssystem till mätaren, volymkompensering. Kompenseringsverk eller flödesdatorer kan antingen vara mekaniska eller elektroniska. Den mekaniska utrustningen justerar oftast utväxlingen mellan mätare och mätverk kontinuerligt beroende på tryck och/eller temperatur. Den elektroniska utrustningen består oftast av en liten dator, en tryckmätare och en temperatursensor. Funktionen är att datorn får en puls från flödesmätaren när en bestämd volym mätts, tryck och temperatur mäts och normalvolymen räknas ut.

## 2.10 Sammanfattning

Som synes finns det ett stort antal olika mätare som kan användas för flödesmätning i gas. Vilken man skall välja beror på olika krav på noggrannhet, kostnad, utrymme mm. I tabell 1 sammanfattas de viktigaste data för olika flödesmätare. Då underlaget kommer ifrån standard litteratur inom området kan den senaste utvecklingen inom mätarna inte vara med. Generellt kan sägas att utvecklingen går mot ökat mätområde och ökad noggrannhet.

| Mätare     | Mätsignal      | Mätområde | Noggrannhet | Tillgängliga storlekar m <sup>3</sup> /h |
|------------|----------------|-----------|-------------|------------------------------------------|
| våt trumma | volymetrisk    | 100:1     | ± 1%        | 1 - 50                                   |
| bälg       | volymetrisk    | 160:1     | ± 2%        | 1,6 - 650                                |
| vridkolv   | volymetrisk    | 10:1      | ± 1%        | 40 - 40 000                              |
| turbin     | hastighet      | 50:1      | ± 1%        | 100 - 25 000                             |
| strykfläns | differenstryck | 4:1       | ± 0,6%      |                                          |
| ultraljud  | hastighet      | 40:1      | ± 2%        |                                          |
| vortex     | hastighet      | 15:1      | ± 2%        |                                          |
| coriolis   | massflöde      | 10:1      | ±0,5%       |                                          |

Tabell 1. Sammanfattning av mätare använda som gasflödesmätare, data från [5] [6]

### 3 Mätarkontroll

När något av värde, som naturgas, distribueras finns det många faktorer att ta hänsyn till när frågan om mätning diskuteras. Producenten vill veta hur mycket som producerats och sålts. Distributören vill veta hur mycket som köpts in och hur mycket som sålts vidare och till vem. Slutligen vill konsumenten veta hur mycket som använts och vad det kostat. I de flesta fall vill även myndigheterna kunna kontrollera omsättningen av taxeringsskäl.

Alla vill alltså mäta.

Men mätningar kostar pengar och beroende på vem som skall betala gäller olika prioriteringar. Generellt kan man säga att ökad precision ökar kostnaden för mätning. Med vilken noggrannhet som mätningen skall ske är en fråga som avgörs mellan kunden och säljaren. När det gäller leveranser till allmänheten finns det oftast lagstiftning som bestämmer noggrannhet och andra krav på mätningen.

För att kunna verifiera att mätare fungerar enligt bestämmelser används flera metoder såsom flödesbalanser, screeningmetoder och kalibrering av mätare, både in situ och i laboratorier. Dessa olika aspekter skall nu diskuteras.

#### 3.1 Lagstiftning

Lagstiftningen för flödesmätare sätter gränser för noggrannheten hos mätare och hur länge de kan användas innan ny kalibrering behövs, utesittningsperiod. Noggrannheten för mätare ges ofta i två flödesområden, det första området är mellan min-flödet  $Q_{\min}$  till ett gränslöde, det andra området upp till max-flödet  $Q_{\max}$ . I Sverige saknas lagstiftning för gasflödesmätare, detta beroende på att när senaste mätarlagen stiftades var bara stadsgas aktuell och den var under avveckling. En nyligen genomförd undersökning som gjorts av Boverket [9] på uppdrag av inrikesdepartementet rekommenderas att ingen särskild lagstiftning görs utan att de riktlinjer som lagts av branschorganet, Svenska Gas Föreningen, är tillräckliga.

Enligt gällande tysk lagstiftning skall noggrannheten för en ny bälgmätare, storlek G10 eller mindre, vara  $\pm 3\%$  inom området  $Q_{\min}$  till  $2Q_{\min}$  och  $\pm 2\%$  i området upp till  $Q_{\max}$ . Utesittningsperioden för dessa mätare är 12 år men en nyligen genomförd undersökning [10] rekommenderar att den minskas till åtta år. För större bälgmätare gäller samma noggrannhetskrav men utesittningsperioden är 16 år. För vridkolvsmätare är noggrannheten  $\pm 2\%$  respektive  $\pm 1\%$ . Utesittningsperioden varierar med storleken på mätaren men börjar vid 12 år för permanentsmorda mätare till oändligt för de största mätarna [5]. För turbinmätare gäller enligt DIN 33800  $\pm 1\%$  respektive  $\pm 0,5\%$  [4] vid testning i anläggning där kalibreringen sker vid högtryck antingen med luft eller naturgas.

I de flesta europeiska länder följer man de tyska normerna med variationer i tillåten utesittningsperiod. Inom "Organisation Internationale de Métrologie Légale" eller OIML arbetar två tekniska utskott med gasmätning TC8/SC7 och själva mätarna i TC8/SC8. Det pågår även arbete inom EU för att få fram gemensamma standarder för gasflödesmätning. I USA är det ANSI standarder B109.1-3-1992 som gäller för bälgmätare med storleken 500 cfh (kubikfot per timme) eller mindre, över 500 cfh samt vridkolvsmätare.

### 3.2 Flödesbalanser

När alla avläsningar från mätare i ett distributionssystem summeras kan man upprätta en flödesbalans. Skillnaden mellan in- och ut-gående gas kallas ofta för UnAccounted For eller UAF i den engelska litteraturen, på svenska borde det vara Icke Redovisat. I de flesta system varierar skillnaden över året beroende på att: alla avläsningar inte görs samtidigt, mätarfel och läckage. Allt detta kommer att ingå i UAF. I de flesta fall har man antagit att läckage stod för huvuddelen av UAF men en GRI undersökning som utförts vid Southern California Gas Company USA har visat att UAF ligger till största delen i mätfel. Även diskussioner kring växthuseffekten har ökat intresset att veta vart gasen tar vägen.

Undersökningen inkluderar hela Southern California Gas Companys system. I det nätet varierade UAF mellan 0,8 och 1,8% av den totalt distribuerade energin. Innan undersökningen gjordes antogs att ungefär 70% av UAF var läckage. Istället visade det sig att den dominerande delen av UAF låg på mätfel. I undersökningen delas UAF upp i mätfel (81,5%), läckage (9%), stöld (6,5%) och fel i redovisningsrutiner (3%) [11]. När mätfelen studeras i detalj delas resultaten upp i små mätare, stora mätare och strypflämsmätare. De olika felens andel av UAF presenteras i tabell 2 nedan.

| Mätargrupp                                 | Mätar Bias | UAF Volym (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> n) | Procent av total UAF |
|--------------------------------------------|------------|----------------------------------------------|----------------------|
| Små mätare                                 |            |                                              |                      |
| Meter precision                            | 0,40 %     | 293                                          | 13,10                |
| Noll registrering vid lågt flöde           | 0,90 %     | 641                                          | 28,70                |
|                                            |            | 934                                          | 41,80                |
| Stora mätare                               |            |                                              |                      |
| Meter precision                            | -0,21 %    | -975                                         | -4,40                |
| Turbin precision                           | -0,34 %    | -258                                         | -11,60               |
|                                            |            | -355                                         | -15,90               |
| Strypflämsmätare precision                 |            |                                              |                      |
| Mottagning (gasfält & tömning av gaslager) | 0,72 %     | 2351                                         | 105,00               |
| Leverans (kunder & fyllning av gaslager)   | -0,53 %    | -695                                         | -31,10               |
|                                            |            | 1656                                         | 74,10                |
| Totalt                                     |            | 2234                                         | 100,00               |

Tabell 2. Mätarfel uppdelat i olika mätargrupper [11]

### 3.2 Screeningmetoder

Med undantag för att testa alla mätare regelbundet, vilket både kostar mycket pengar och tid, kan olika screeningmetoder användas för att kontrollera hela bestånd av mätare. Den metod som används idag är att göra ett slumpmässigt urval. Denna metod går ut på att göra ett urval bland befintliga mätare testa dessa och därefter bedöms samtliga likvärdiga mätare utifrån detta resultat. Resultatet av ett sådant test är de testade mätarnas medelvärde och variansen av detta, resultatet kan överföras på samtliga mätare med en sannolikhet beroende på hur många mätare som testats och hur många mätare som är jämförbara. För att få pålitliga resultat måste fördelningen av mätarnas fel vara känd. I de flesta fall gör man antagandet att det är en

normalfördelning. Den statistiska teorin som ligger till grund för metoden kan hittas i allmän litteratur inom området som [12, 13] och mer speciellt om kvalitetskontroll [14, 15].

Två paper som beskriver olika genomförda screening tester är: "De Controle van gebruike Gasmeters", Joosten M. [16] och "Stichprobenprüfung von Balgengaszählern" av Albers W. [10]. Joosten beskriver det arbete som utförts vid VEG-Gasinstituut i Holland på använda mätare. Resultaten visar att mätare som är 10 år gamla ligger inom  $\pm 4\%$  vid  $Q_{\max}$  (max flöde) men vid  $0,2Q_{\max}$  är det generellt större fel. Mätarna tenderar att driva mot ett ökande fel när membranen torkar. Åldern verkar inte påverka mätarna direkt när man jämför mätare som är 10, 15 och 20 år gamla. Slutsatsen som dras är att mätarna kan förväntas ha en livslängd upp till 25 år.

Albers [10] beskriver den forskning som gjorts i samarbete mellan DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) och PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt). Mer än 20 olika distributörer har bidragit med 50 mätare var, tillverkade under 1980 och 1982 av två olika tillverkare. Mätarna testades vid  $Q_{\max}$  och  $0,2 Q_{\max}$  och resultaten presenteras som antal mätare över  $\pm 3,5\%$  respektive  $\pm 4\%$ . Denna rapport rekommenderade att utesittningsperioden för G6 mätare och mindre reduceras till åtta år. Efter åtta år skall ett slumpprov göras och vid godkänt prov förlängs utesittningsperioden med fyra år innan slumpprovet skall upprepas. För de större mätarna, G10, rekommenderas inga ändringar.

### 3.3 Kalibrering

Kalibrering av gasflödesmätare är betydligt mer komplicerat än motsvarande för vätskor. Detta då gaser har en låg densitet, påverkas av både tryck och temperatur och inte minst av svårigheten att hålla ett tätt system. En metod som kan användas för att få en primär standard är volymskalibrering där en sluten volym fylls eller töms samtidigt som tiden tas. En annan metod är masskalibrering där massan av en gasmängd bestäms. En tredje metod som används är soniska eller kritiska munstycken, där ett väl definierat flöde fås genom munstycket. Arbetsområdet för vart munstycke är begränsat så för att testa hela arbetsområdet för en mätare krävs flera munstycken.

#### 3.4.1 Kalibreringslaboratorier

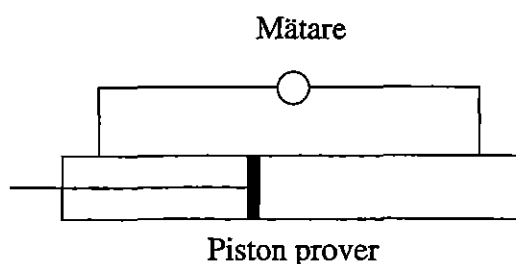
Flertalet kalibreringslaboratorier arbetar med någon av följande principer: soniskt munstycke, master mätare, kolv eller gasklocka.

När tryckskillnaden ökar över ett munstycke kommer hastigheten att öka tills hastigheten in ökar ytterligare trots ökande tryckskillnad. Flödet är kritiskt eller strypt dvs hastigheten i munstycket är lika med ljudhastigheten. För att få massflödet behöver enbart tryck och temperatur alternativt densiteten hos gasen uppströms munstycket kännas, eftersom ljudhastigheten är känd. När kritiskt flöde uppnåtts kommer det att vara ett stabilt och repeterbart tillstånd, vilket förklarar metodens popularitet vid utbyte mellan laboratorier. En anläggning som använder kritiska munstycken beskrivs i [17]. Måtten och tillverkningen av dessa munstycken är väl bestämt och kan hittas i ISO 9300:1990.

Master mätar kalibrering använder två mätare kopplade i serie som mätare samma flöde för att få fram felvisningen. Den mätare som används som Master är sedan tidigare kalibrerad ger det

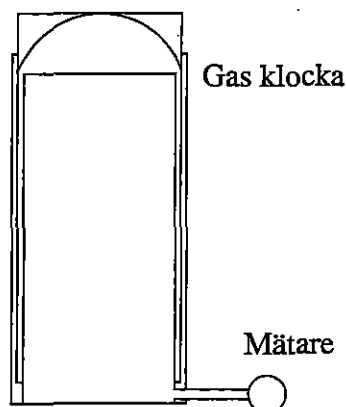
korrekta värdet. Skillnaden mellan avläsningen från Master mätaren och den testade mätaren är felvisning och antas ligga i den testade mätaren. En omständighet som måste beaktas är att om installationen orsakar ett ogynnsamt flöde kan även Master mätaren påverkas av detta och visa ett visst fel.

Kalibrering medelst kolv metoden består av en kolv som rör sig i en cylinder, se figur 10. Gasvolymen kan bestämmas utifrån slaglängden, kolvens area och tiden för rörelsen. Konstruktionen av en sådana anläggningar har beskrivits av Kronenberger och Erbeck i en artikel i Gasvärme International [18] och av Etheridge och Nolan i [19]. De övriga gasvariablerna kan mätas och gasflödet kan beräknas.



Figur 10. Piston prover

En gasklocka består av två cylindrar, den första öppen uppåt och nästan fylld med en vätska med lågt ångtryck, se figur 11. Den andra cylindern kallad klockan är öppen i botten och har en välvd topp och passar in i den undre cylindern. När klockan förflyttas kan ändringen i gasvolymen bestämmas. Hur en sådan gasklocka konstrueras och används är beskrivit i AGAs manual [20].



Figur 11. Gasklocka

Kalibreringsriggen vid LTH som använts i detta arbete är en Aktivt Kontrollerad Gravimetrisk Gasklocka [21] och består av en gasklocka som kan lyftas och sänkas av en styrd elmotor och en kulskruv. Utrustningen kopplas till den testade mätaren via en flytande koppling som låter gasklockan röra sig oberoende av anslutningarna. Hela gasklockan står på en våg som väger gasklocka och gasen i klockan med en noggrannhet på 1,0 g. Gasklockan kan användas på två sätt, dels volymflödeskontroll och dels massflödeskontroll. Vid volymflödeskontroll kan man

använda både övertrycksprovning då gasen trycks ur klockan och undertrycksprovning då gasen sugas in i klockan.

### 3.4.2 In situ kalibrering

I vissa fall är det inte lämpligt att skicka mätare till kalibreringslaboratorier utan mätare måste testas där den sitter, in situ. De metoder som används är antingen portabla versioner av de fasta anläggningarna eller att mäta flödet med andra mätare eller mätprincip. De vanligaste portabla provanläggningarna är master mätare och piston prover. Båda systemen kräver extra anslutningar i den testade anläggningen så de kan kopplas i serie med den testade mätaren. De andra metoderna som kan användas vid gasflöden är spårämne, utspädning och clamp-on metoder.

Spårämnestekniken består av detektorer och ett spårämne, oftast en fluid, som tillsätts till flödet och följer detta. Spårämnet kan antingen vara radioaktivt, ett färgämne, en snabb temperaturhöjning, särskild kemikalie m fl. Huvudsaken är att det kan spåras och att det följer flödet. Två detektorer som kan detektera spårämnet placeras på röret med känt avstånd. Spårämnet tillsätts flödet och signalen från detektorerna mäts. Från skillnaden i tid när detektorerna detekterar spårämnet och rörets dimensioner kan flödet beräknas [22, 23].

Vid utspädningsteknik tillsätts en känd koncentration av en fluid (spårämne) till flödet med en konstant hastighet samtidigt som koncentrationen mäts kontinuerligt nedströms tillsättningspunkten. Kraven på spårämnet är samma som i den nyss beskrivna metoden. Hur långt nedströms som koncentrationen skall mätas bestäms av var man kan förvänta sig en god blandning mellan spårämne och det mätta flödet. Förhållandet mellan koncentrationen nedströms och koncentrationen vid tillsättnings punkten i kombination med tillsättningshastigheten ger flödet [6].

Clamp-on metoder är ett vanligt benämning för metoder där man sätter fast en mät kropp på utsidan av röret men i detta sammanhang brukar man avse ultraljudsmätare. Idag är användningen begränsad för gasflödesmätare men är vanlig för vätskeflöden och inkluderas därför här. Denna test går ut på att en ultraljudsmätare fästs på utsidan av det aktuella röret och flödessignalen från denna mätare jämförs med den testade mätarens. Detta kräver att man väl känner rörets dimensioner och som för alla ultraljudsmätare finns det krav på hur flödet i röret är beskaffat. En undersökning som använder clamp-on ultraljudsmätare för kalibrering av fjärrvärmemätare in situ har presenterats av Svensson [24].

Metoder som används för att kontrollera mätare in situ kan delas in i jämförande och analyserande metoder. De jämförande metoderna vilka beskrivits tidigare går alla ut på att göra en jämförande mätning av flödet. De analyserande metoderna går ut på att direkt analysera mätsignalen för att få information om mätaren eller flödet. En metodik som används för att analysera mätsignalen från en turbinmätare har presenterats av Viljeer [25]. Här används spektrumanalys på signalen från turbinbladspickupen för att hitta frekvenser som troligen inte kommer från den normala rotationen på turbinen utan som kommer från pulsationer i flödet.

### 3.5 Systematiska fel

Förutom att enskilda mätare kan mäta fel kan också systematiska fel uppstå. Dessa kan vara i hanteringen av mätdata från mätaren till debiteringen eller fel i omräkningen av gasvolymen. Ett holländskt paper presenterat av Mober beskriver den undersökning som gjorts vid "Gasbedrijf Centraal Neederland" (GCN) inriktat på fel som uppstår i småmätare beroende på saknad temperaturkompensering [26]. Ett antal installationer utrustades med två gasmätare varav den ena var temperaturkompenserad, denna fungerade som master meter. När en direkt jämförelse gjordes mellan de olika mätarna blev resultatet att medelfelet varierade mellan 3,5% och 9,5% för de sex olika mätarna som testades. När enbart temperaturfelet betraktades varierade medelfelet mellan 3,5% och 5,0%.

### 3.6 Problemet med mätarkontroll

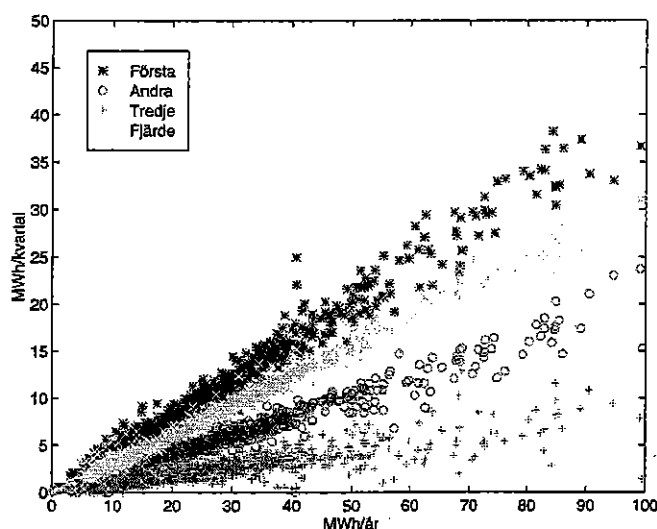
Uppgiften att underhålla ett stort antal mätare och kontrollera deras funktion är både stor och svår. De verktyg som till del används industriellt är de beskrivna kalibrering/testning av mätare kombinerat med screening metoder och system studier. De använda metoderna kan hitta systematiska fel, dvs hela serier med felaktiga mätare men när det gäller att hitta enstaka fel finns det ingen idag använd metod.

För att kunna göra detta föreslår författaren två nya metoder som kan användas för att övervaka mätarsystem och mätare. Det arbete som presenteras i de följande kapitlen är inriktade på både screening metoder och in situ testning av mätare. I nästa kapitel beskrivs en metod som kallas LoadIndex (Last Index) som kan användas som en screeningmetod för att hitta felaktiga mätare eller installationer med en energiförbrukning som avviker från det normala. LoadIndex använder de avläsningsdata som också används för debitering av kostnader, dvs ingen ytterligare hantering behövs enbart en bearbetning av befintliga data. I det därpå följande kapitlet presenteras en Fingerprint metod som kan användas för att testa om mätaren fungerar normalt in situ. Testet går ut på att under konstant flöde undersöka mätarens funktion, en mätare med fel kommer att visa upp ett annat beteende än en korrekt mätare. Fingerprint testet kan utföras på några minuter i samband med annan översyn och är därför kostnadseffektivt.

## 4 LoadIndex

Baserat på resultaten från GRI att huvuddelen av UnAccounted For beror på mätfel är frågan hur man hittar dessa mätfel. Mätfelet kan antingen bero på ett systematiskt fel i mätningen eller slumpmässiga mätarfel. Två olika metoder brukar användas för att testa mätare. Antingen byta ut/testa alla mätare efter X års användning eller göra ett slumpmässigt urval som avgör resten av mätarnas öde. Den föreslagna LoadIndex metoden är en ytterligare metod. Den kan användas årligen och har fördelen att kunna hitta felaktiga mätare baserat enbart på debiteringsdata.

Metoden grundas på antagandena att gasen används huvudsakligen för uppvärmning, energiförbrukningen är beroende av klimatet och energiförbrukningsmönstret inte har stora variationer. Om man studerar de enskilda energiförbrukningar ser man att variationerna går igen från år till år men det är också stora individuella variationer mellan de enskilda installationerna. Om förbrukningarna istället plottas som kvartalsförbrukning mot årsförbrukningen ser man istället en god korrelation mellan dessa, figur 12. Dock är det en del installationer som avviker från det gängse mönstret, dessa installationer bör undersökas närmare.



Figur 12. Energikonsumtionen plottat som kvartalskonsumtion i förhållande till årskonsumtion

Korrelationen mellan kvartals- och års-konsumtionen i figur 12 leder till att dimensionslöst relationstal kan definieras. Baserat på den totala konsumtionen för en installation och en komplett klimatcykel definieras LoadIndex som:

$$LI_i = \frac{C_i}{\sum_{t=1}^n C_t}$$

Där  $C_i$  är konsumtionen under period  $i$ ,  $n$  är antalet perioder i en klimatcykel. Vilka mätare eller installationer är nu lämplig att undersöka med denna metod? Metoden kommer att fungera bäst för system med många mätare installerade för uppvärmningsändamål. Mätare som används i industriella processer kan troligen inte analyseras med denna metod då



förbrukning varierar med produktionen och andra faktorer mer än klimatet. Inte heller byggnader som används säsongvis, som skolor, kan analyseras med gott resultat. Därför utesluts mätare installerade hos dessa kunder ur undersökningen.

För att kunna göra jämförelser mellan olika år behövs ett normaliserat LoadIndex som för medelförbrukaren ligger på 1,0. Medel LoadIndex för en grupp mätare kan beräknas som:

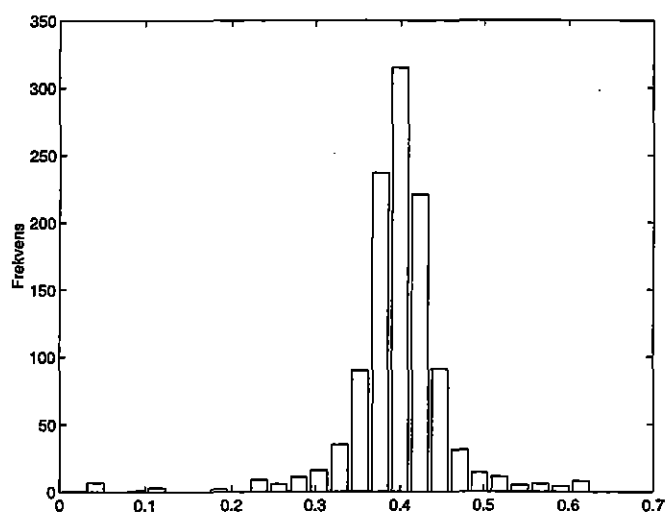
$$\overline{LI}_i = \frac{\sum_1^M C_i}{\sum_1^M \sum_1^n C_i} = \frac{1}{M} \sum_1^M LI_i$$

där M är antalet installationer i gruppen. När medel LoadIndex är beräknat kan man definiera ett normaliserat LoadIndex såsom:

$$LI_n = \frac{LI_i}{\overline{LI}_i}$$

Med användandet av det normaliserade LoadIndex kan man göra jämförelser från år till år för samma installation och se om förbrukningen ändrats utan att klimatinverkan behöver beaktas.

I figur 13 nedan visas LoadIndex från ca 1250 installationer beräknat på det första kvartalet 1994. Huvuddelen av installationerna ligger som väntat centrerat kring medelvärdet på 0,40 men det finns ett antal installationer som avviker kraftigt från medelvärdet, dessa installationer är de intressanta att undersöka. För att utesluta installationer med en gasförbrukning som ej är klimatberoende studeras installationsprotokoll mm för att hitta installationer som ej är lämpliga att undersöka med dessa metoder. Av de aktuella installationerna som undersökts gjordes ett urval av de mätare som varit installerade mer än fyra år. Dessa mätare demonterades och undersöktes i kalibreringsriggen vid LTH. Resultaten visar att 50% av de utpekade mätarna har ett fel större än  $\pm 2\%$ . Felen visade sig bestå av läckande membran, spruckna kanaler och felplacerade packningar.



Figur 13. Histogram över LoadIndex för ca 1250 mätare (1:a kvartal 1994, Lund)

För att kunna få en uppfattning om den allmänna onoggranheten hos mätare i bruk gjordes ett slumpmässigt urval av mätare för test. Resultatet av detta test visar att mätarna ligger inom

felmarginalen med en sannolikhet på 95%. Detta indikerar att metoden kan peka ut felaktiga mätare.

Vid ett senare urval befanns ett antal installationer utvalda med den gemensam nämnaren att de var placerade på samma gata. Vid yttre besiktning befanns de ligga i en bostadsrättsförening med radhuslägenheter. Enligt kontakter med föreningen fanns det bekymmer med de installerade gaspannorna, en vägghängd gaspanna per lägenhet på två rum. En sådan installation borde ha varit utrustad med antingen gemensam panna eller delade pannor per husenhet.

Resultaten visar att metoden kan användas för att hitta felaktiga mätare, men även installationer med ett avvikande energianvändning kan hittas. Dessa installationer kan vara intressanta att hitta av energihushållningsskäl. Orsaken kan vara felaktigt justerade pannor eller felaktiga pannor. Metoden har utvecklats och testats på gasmätare men borde även gå att använda för övriga system som distribuerar energi avsedd för bostadsuppvärmning. För detaljerad beskrivning av metodiken och uppnådda resultat hänvisas till artikel 2 i den framlagda licentiatavhandlingen [27].



## 5 Fingerprint

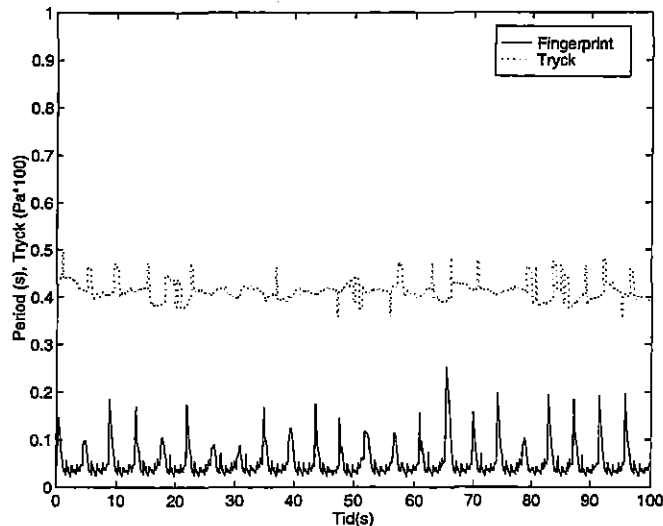
När mätare har valts ut med den tidigare beskrivna LoadIndex metodiken kommer behovet att testa mätare. Mätarna kan testas antingen i laboratorier eller på plats, in situ, med någon av de metoder som beskrivits i kapitel 3. De flesta av dessa tester är antingen dyra i förhållande till mätaren eller kräver extra anslutningar och används därför mestadels till större mätare. För att testa mindre mätare har en enkel metod att testa dessa in situ utvecklats. Den föreslagna Fingerprint tekniken beskrivs mer detaljerat i den framlagda licentiatavhandlingen [27]. Undersökningar av möjliga felkällor och deras inverkan på mätarens funktion ledde fram till denna metod. Fingerprintmetoden grundar sig på följande antagande: På mätare som fungerar normalt visar den primära flödessignalen en regelbundet beteende som kan registreras, ett "Fingerprint". Uppstår ett fel kommer detta att orsaka en förändring i denna signal som kommer att påverka "Fingerprintet".

De fel som kan uppstå i mekaniska mätare kan delas upp i två grupper: 1) Fel beroende på felaktigheter i mätaren och 2) Fel beroende på ändrade fysikaliska förhållanden. I den första gruppen inkluderas fel såsom läckage, ändringar av mätarens geometri och mekaniska fel. I den andra gruppen dominerar ändrad temperatur och tryck. För att undersöka de olika felens inverkan på den totala mätfunktionen genomfördes en känslighetsanalys. Resultaten visar att de fel som kan uppstå i en bälgmätare och menligt inverkar på mätfunktionen är: vätska i mätaren, läckage och ökad friktion. Det är dessa fel som det experimentella arbete är inriktat på.

För att kunna simulera dessa fel konstruerades en labuppställning bestående av bälgmätare, en friktionsbroms och en sektion som kan simulera läckage. Friktionsbromsen kan kopplas till mätaren för att simulera ökad friktion. För att kunna mäta mätarens funktion kopplades en rotationsgivare med hög upplösning till mätarens direkta utgång samt en tryckmätare som mätte differenstrycket över mätaren med hög upplösning. Båda signalerna kopplades till mätdatainsamling som lagrade data för senare bearbetning. Ett konstant gasflöde gavs från gaskalibreringsriggen vid LTH. Alla prov kördes vid ett konstant gasflöde av 1,0 m<sup>3</sup>/h.

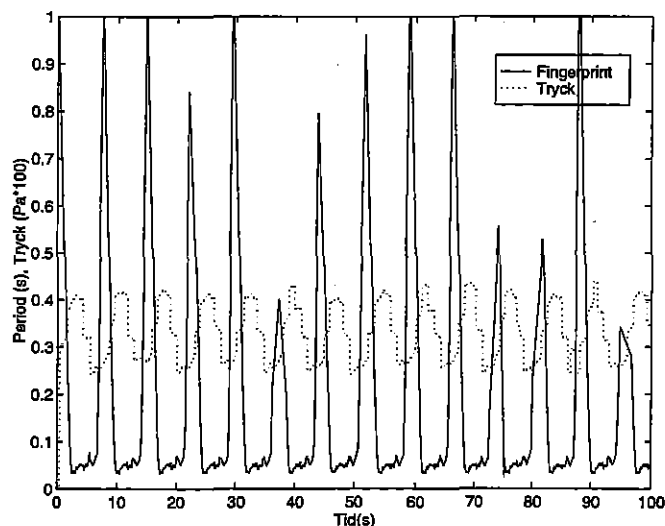
För att verifiera att teorin stämmer med de faktiska förhållandena har ett antal försök gjorts där både nya och använda mätare provats. Både fel som uppkommit vid normalt användande (hittad via LoadIndex metoden) och simulerade fel undersökts.

I följande figurer visas resultaten från dessa undersökningar. Gemensamt för samtliga figurer är att Fingerprint visas som periodtiden mellan två inkommande pulser som funktion av tiden och trycket visas som differenstryck över mätaren också som funktion av tiden. För tydlighetens skull visas enbart de första hundra sekunderna. Som jämförelsebas togs en ny mätare och testades, resultatet visas i figur 14. Ur figuren kan man avläsa att rotationen är jämn och tryckfallet över mätaren är relativt konstant.



Figur 14. Fingerprint och tryck från en ny mätare

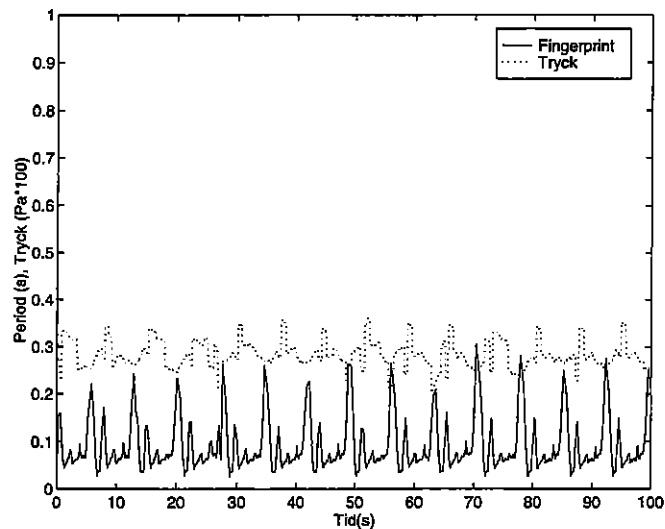
Om man jämför denna med ett Fingerprint från en använd mätare ( $10\,500\text{ m}^3$ ) i figur 15 så framgår skillnaden tydligt. Fingerprintet har ändrats till en topp uppemot 1 sekund eller mer per varv och trycket har fått en sinusformad karaktär. Översatt till mätarfunktion innebär detta att mätare stannar upp en gång per varv beroende på friktion i packboxen. Efter denna topp (kallad friktionstopp) kommer ett dopp i kurvan som motsvarar en ökad rotation när trycket blivit tillräckligt högt för att övervinna friktionen. Om mätaren är monterad efter tryckregulatorn, i Sverige vanligaste metoden, kommer mätaren inte att visa fel men beteendet kan leda till mätarhaveri. Var gränsen går innan mätaren stannar är ännu ej fastlagt.



Figur 15. Fingerprint och tryckkurva från en använd mätare ( $10\,500\text{ m}^3$ )

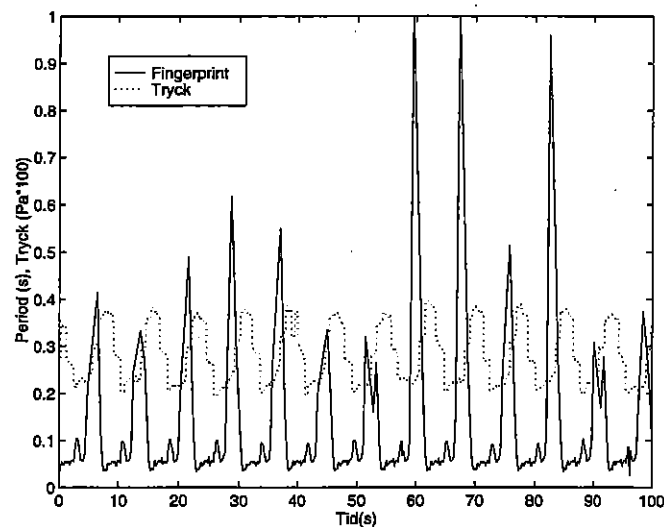
För att undersöka hur vätska i mätaren påverkar Fingerprintet öppnades den i figur 15 använda mätaren och 50 ml vatten höllades i den ena mätkammaren. Efter detta återställdes mätaren och ett nytt Fingerprint prov gjordes, detta visas i figur 16. Fingerprintet har ändrats till två större toppar per varv och två mindre. Detta förklaras av att den bälg med vätska i en kammare måste övervinna vätskans tryck förutom det vanliga mekaniska trögheten för att fungera.

Dessutom kommer vätskan att hjälpa till att öppna den kammare vari den finns varför kammarens öppningsfas minskar i tid. Mätarens felvisning är proportionell mot den volymsändring i mätvolymen vätskevolymen orsakar.



Figur 16. Fingerprint och tryck från en mätare med 50 ml vätska i en mätkammare

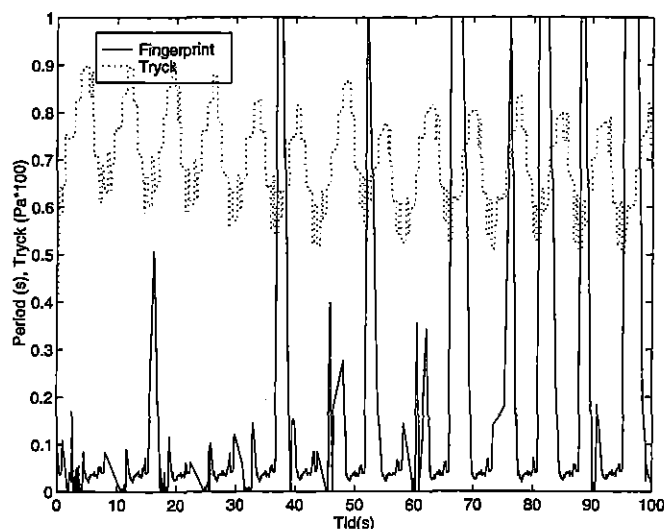
Nästa försök gjordes med läckage i mätare, resultat visas i figur 17. I detta Fingerprint kan man tydligt se en extra topp vid tryckminimum, denna topp beror på läckage. Förklaringen är att tryckfallet över ett läckage i mätaren är lägre än tryckfallet över själva mätaren, när detta uppstår kommer mätaren att tillfälligt stanna tills tryckfallet över läckaget ökat beroende på ökad genomströmning.



Figur 17. Fingerprint och tryck från en använd mätare med läckage, ca 94% flöde av normalt

För att se hur ökad friktion inverkar på mätarens funktion kopplades en friktionsbroms till mätarens utgång varefter bromsmomentet ökades stegvis, ett exempel visas i figur 18. Det ses tydligt att variationerna från varv till varv är stora samtidigt som topparna ökat i höjd, även tryckfallet över mätaren har ökat. Denna mätare visar inte fel men kommer snart att haverera

och orsaka driftstopp eller så kommer ansluten utrustning att stanna beroende på lågt gastryck då tryckfallet över mätaren ökar.



Figur 18. Fingerprint och tryck från en mätare med ökad friktion

Fler prov har gjorts på både mätare med simulerade fel och mätare med fel uppkomna under drift. Ändringarna i Fingerprint har varit konsekventa och det finns därför anledning att anta att felaktiga mätare kan hittas med denna metod. Fel orsakande 5% felvisning eller mer har kunnat korrekt diagnosticerats med denna metod.

Bälgmätare är kända för att fungera väl i många år. Men ett antal fel kan uppstå beroende på hanteringen av mätare såsom: 1) läckage orsakat av onödigt våld vid montering eller läckande membran, 2) ökad friktion i packboxen och 3) vätska i mätaren. Med användandet av Fingerprint metoden kan dessa fel detekteras på mätare in situ och kostnaden för mätarhantering och förluster minskar.

## 6 Vidareutveckling

LoadIndex metoden att utgående från kvartalsdata kunna välja ut mätare för kontroll kan användas idag. För att säkerställa metoden kan de genomförda försöken upprepas i en större skala, helst i flera nät. Då inget gemensamt system för behandling av mätdata används är det svårt att implementera urvalsalgoritmerna då olika lösningar behövs för varje system. Alternativt kan de aktuella data sändas in till gemensam resurs, där databehandlingen genomförs och i retur skickas id på de installationerna som valts ut baserat på urvalskriterierna.

Då inte alla nät har data från samtliga kvartal tillgängliga kan urvalsalgoritmer utarbetas även för dessa system. Genom att bygga på de data som framkommer genom användning av LoadIndex metoden kan en kunskapsbas byggas upp som leder till ytterligare förbättringar av metoderna. Genom att analysera olika urvalskriterier kan det för analysen nödvändiga antalet data reduceras. Detta kan leda till antalet nödvändiga avläsningar kan reduceras då den intressanta perioden kan definieras.

I laboratoriet när Fingerprint metoden utvecklades användes en höghastighetsräknare för att samla in rotationsdata samtidigt som en trycksmätare mätte differanstrycket över mätaren med hög upplösning, båda kopplade till en PC för att samla in data till analysen, analysen genomfördes separat. De resultat som framkommit visar att felaktigheter i mätare kan identifieras utgående ifrån enbart rotationsdata. Detta gör att mätningen kan förenklas till en utrustning som består av enbart rotationssensor och datainsamling. Detta förenklar test av mätare då enbart räkneverket behöver demonteras för att utföra kontrollen. Eventuellt kan vissa mätare testas direkt om optiska access till utgående axel finns med tillräcklig upplösning. Utrustning för att samla in och bearbeta rotationsdata behöver anpassas för fältbruk samtidigt som ny programvara utvecklas.

Rotationssensorn har fästs direkt på den utgående axeln men en indirekt koppling kan vara önskvärd då detta underlättar monteringen. Den indirekta kopplingen kan antingen utnyttja optiska eller induktiva metoder, försök med olika sensorer behöver genomföras för att hitta en robust och pålitlig metod med tillräcklig upplösning. Rotationssensorn monteras i en jigg, anpassad till aktuell mätartyp, som efter att räkneverket lossats passar dess monteringspunkter och fästs med snabbfäste.

Slutprodukten blir en utrustning bestående av dataenhet med ansluten rotationssensor. När en flödesmätare skall testas demonteras räkneverket och rotationssensorn fästs med snabbfäste på mätaren, programmet startas och efter att uppgifter om mätaren matats in startar analysen. Ansluten utrustning, vanligtvis en panna, går med konstant effekt under testet. Efter ca 1 minut presenteras en kurva som kan tolkas av operatören (efter utbildning). Därefter kan man ta beslut om mätaren skall sitta kvar eller bytas ut och kontrolleras närmare. Genom denna metod undviks att väl fungerande mätare tas in för dyra kontroller samtidigt som fler mätare kan kontrolleras. Efterhand byggs en databas av Fingerprint från olika mätare upp. Denna kan användas dels för att undersöka hur enskilda mätare förändras med tiden och dels kan metoden förbättras genom att fel kan diagnosticeras tidigare.



I ett senare skede är det aktuellt att utveckla metoden att omfatta såväl turbin- som vridkolvs-mätare och även andra mätare som innehåller roterande element som påverkas av en strömmande fluid. Metodiken är tillämpbar på dessa typer av mätare men hur ett korrekt Fingerprint ser ut kommer att variera beroende på mätartyp. Troligtvis kan samma utrustning användas till flera olika mätare genom utbyte av rotationssensor.

Kan det visas att metoden uppfyller kraven på att hitta och korrekt diagnosticera mätare i större skala kan detta leda till att denna metod godkänns som kontrollsystem för gasflödesmätare. Då den svenska lagstiftning inte för närvarande omfattar denna typ av mätare finns möjligheten att komma med nya kontrollsystem [9].

## 7 Slutsatser

I denna rapport redovisas en tvåstegs metodik för att kunna underhålla ett stort system med många små mätare. I det första steget används en alternativ screening metod för att hitta felaktiga mätare. I det andra steget finns en metod att testa mekaniskt baserade gasmätarens funktion in situ. Båda metoderna har testats med gott resultat.

När LoadIndex användes på ett lokalt gasnät valdes ett antal mätare ut. När dessa testades i en kalibreringsrigg befanns 40% ligga utanför giltighetsområdet statuerat för dessa mätare. Fel som upptäcktes var läckande membran, sprickor i kanaler och felaktiga packningar. I samband med testet gjordes ett slumpmässigt urval av mätare för att kunna jämföra resultaten. Totalt hittades åtta gånger fler felaktiga mätare med LoadIndex metoden i jämförelse med slumpurvalet.

Tester i laboratorier med konstant flöde från en kalibreringsrigg visar att Fingerprint från en mätare påverkas av fel i mätare. Felen som undersökts är läckage, vätska i mätaren och ökad friktion. Ytterligare prov behövs för att fastställa gränserna för vilken storlek på fel metoden klarar.

Dessa metoder är redo för fältprov i större skala för vidare utvärdering. Det experimentella arbetet visar att metoderna fungerar men utrymme finns för förbättringar. Ungefär 50% av de utpekade mätarna har mätfel men träffsäkerheten borde kunna förbättras ytterligare. Det första provet med LoadIndex i Lund hittade 7 mätare som hade fel större än  $\pm 2\%$  medan ett stickprov endast hittade en mätare med fel större än  $\pm 2\%$ . Detta indikerar att träffsäkerheten kan förväntas ligga kring 40-50%. Då metoden enbart använder befintliga data är extra kostnaden liten för utförandet.

Emedan Fingerprint fungerar under kontrollerade förhållanden behövs fältprov för att befästa resultaten. Det finns även utrymme för att förbättra metoden. I laboratoriet var den vinkelkännande sensorn direkt kopplad till mätaren men en indirekt koppling är önskvärd vilket skulle förenkla monteringen. Genom att infoga ytterligare signalanalys kan metoden vidare automatiseras och kunna ge direkta svar istället för den visuella tolkningen av resultaten som används idag. För att vidareutveckla metoden behövs att mätare testas med metoden både i fält och i laboratoriet. Slutmålet är att ha en utrustning som automatiskt kan detektera felen och förslå åtgärd.



## 8 Referenser

1. Everard S., The history of The Gas Light and Coke Company 1812-1949 (på engelska), Ernest Benn Limited, London 1949.
2. Kaijser A., Stadens Ljus , Liber Förlag 1986, ISBN 91-40-05159-5.
3. Gas Measurement Manual, General (på engelska) , American Gas Association, Catalogue no. XQ1081.
4. Wernekinnck, U. Gasmessung und Gasabrechnung (på tyska), Vulkan Verlag, Essen 1996, ISBN 3-8027-5605-3.
5. Cerbe Günter. Grundlage der Gastechnik, (på tyska) Carl Hanser Verlag, Wien 1988. ISBN 3-446-15068-4.
6. Spitzer D.W., Flow Measurement (på engelska),ISA, ISBN 1-55617-334-2 .
7. Blevins Robert D. Flow-induced vibration, (på engelska), Van Nostrand Reinhold Compoany, New York 1977, ISBN 0-442-20828-6.
8. Kolahi K., Gast Th., Röck H., Coriolis mass flow measurement of gas under normal conditions. (på Engelska) Flow Meas. Instrum., 1994 Vol 4 No 4. pp 275-283. ISSN 0955-5986.
9. Boverket. Rapport om eventuell reglering av mätare för hushållsförbrukning av ledningsburen energigas. Boverket 1997-09-01, Dnr: B639-5061/94.
10. Albers W. Stichprobenprüfung von Balgengaszählern (på tyska), Gas Erdgas no 9 1993 pp. 481-492, ISSN 0016-4909.
11. Meshkati S., Groot J., A study of the 1991 Unaccounted-For Gas Volume at the Southern California Gas Company (på engelska), Vol. I-VI, GRI-93/0115.s.
12. Coleman Hugh W, Steele Jr W. Glenn. Experimentation and uncertainty analysis for engineers (på engelska), ISBN 0-471-63517-0, John Wiley & Sons, 1989.
13. Hahn G., Shapiro S. Statistical Models in Engineering (på engelska). John Wiley & Sons, INC. 1994, ISBN 0-471-04065-7.
14. Duncan A J. Quality Control and Industrial Statistics, (på engelska) 5th edition, Irwin 1986, ISBN 0256035350.
15. Hald A. Statistical Theory of Sampling Inspection by Attributes (på engelska), Academic Press London 1981, ISBN 0123183502.
16. Joosten M. De Controle van gebruikte Gasmeters (på holländska), GAS no 2 1990 pp 66-73. ISSN 0016-4828.
17. Shin-ichi Nakao et al. Development of a calibration facility for small mass flow rates of gas and the uncertainty of a sonic venturi transfer standard (på engelska). Flow Meas. Instrum. vol. 7 no 2 pp 77-83 1996, ISSN 0955-5986.
18. Kronenberger M., Erbeck R. The use of the fundamental measuring apparatus tube test section on Ruhrgas AG's high-pressure gas-meter testing stand at Dorsten, (på tyska) Gaswärme International 43(1994)-10. pp 496-504, ISSN 0016-4906.
19. Etheridge D., Nolan M. The use of a forced piston prover for domestic gas meter calibration (på engelska). Preprints of IGRC 92 , Orlando GRI.
20. Gas Measurement Manual, Meter proving (på engelska), American Gas Association, Catalogue no. XQ0278.
21. Delsing J. Low cost absolute calibration rig for gas flowmeters (på engelska), 19th World Gas Conference, Milan 1994, IGU/PD3-94.
22. Kuoppamäki R., On site calibration of district heating flow meters (på engelska), 23th Unichal Congress, Berlin 17-19 June, 1987.

23. Sevel T., Anvendelsen af sporstofteknik til in situ kontrol og kalibrering af flowmålere i spildevandssystemer, fjernvarmesystemer og gasflare systemer (på danska), Den 16th nordiske konferanse Måleteknikk og Kalibrering. 21-23 nov 1994, Helsingør Denmark.
24. Svensson B. In-Situ Test Methods in District Heating Systems (på engelska), Licentiate Thesis, ISSN 0280-8242, Luleå 1996.
25. Viljeer J. Ter Horst G., Monitoring Pulsation Errors in Turbine Meters (på engelska), 19th World Gas Conference - Milan 20/23 June 1994, IGU/P - 94.
26. Möbers, Lodewijk Peter Hubert. Über die Meßgenauigkeit von Haushaltsgaszählern in Holland, (på tyska), gwf Gas-Erdgas 129(1988):2 pp. 63-66.
27. Nilsson Ulf R.C. New Methods for Metering Quality Assurance in Natural Gas Grids (på engelska), Licentiate Thesis, ISSN 1402-1757, Luleå 1997.

98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

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

98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

| <b>SGC<br/>Nr</b> | <b>Rapportnamn</b>                                                               | <b>Rapport<br/>datum</b> | <b>Författare</b>                                     | <b>Pris<br/>kr</b> |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|
| 019               | Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt   | Maj 92                   | Fallsvik J, Haglund H m fl<br>SGI och Malmö Energi AB | 100                |
| 020               | Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram                   | Jun 92                   | Thomas Ehrstedt<br>Sydkraft Konsult AB                | 150                |
| 021               | Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie                                   | Jun 92                   | Ove Ribberström<br>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<br>Göteborg Energi AB            | 150                |
| 024               | Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.        | Aug 92                   | Stefan Grudén<br>TUMAB                                | 150                |
| 025               | Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt              | Sep 92                   | Per-Arne Persson<br>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<br>ÄF-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<br>Sydkraft Konsult AB        | 150                |
| 031               | Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri                | Nov 92                   | Carl-Axel Triumf<br>Triumf Geophysics AB              | 100                |
| 032               | Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus   | Jan 93                   | Jonas Forsman<br>Vattenfall Energisystem AB           | 150                |
| 033               | Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg       | Jan 93                   | Theodor Blom<br>Sydkraft AB                           | 150                |
| 034               | Utvärdering av propanexponerade PEM-rör                                          | Maj 93                   | Hans Leijström<br>Studsvik AB                         | 150                |

98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

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



98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

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

98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

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

98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

| <b>SGC<br/>Nr</b> | <b>Rapportnamn</b>                                                          | <b>Rapport<br/>datum</b> | <b>Författare</b>                                  | <b>Pris<br/>kr</b> |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| 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<br>Inst Värme- och Kraftteknik, LTH | 150                |
| 086               | Uppgradering av biogas . Fas 2, Praktiska försök med kondenseringsmetoder.  | Jun 97                   | Ola Lloyd / BioMil AB<br>Johan Nilsson / LTH       | 150                |
| 087               | Utveckling av kataltalytisk rening av avgaser från befintlig panna          | Dec 97                   | F Silversand, T Hargitai m fl<br>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<br>Inst för Energiteknik, CTH           | 150                |
| 090               | Miljö-Jämförelse av oreglerade emissioner - förstudie                       | Först                    | Jörgen Thunell                                     | 0                  |
| 091               | Nya metoder för att säkerställa mätnoggrannheten i naturgasnät              | Nov 97                   | Ulf R C Nilsson<br>Luleå TH, Inst Systemteknik     | 150                |
| 092               |                                                                             |                          |                                                    | 0                  |
| A01               | Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers          | Feb 95                   | Per Carlsson<br>Göteborg Energi AB                 | 50                 |
| A02               | Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi           | Jul 95                   | Rolf Christensen<br>Enercon RC                     | 50                 |
| A03               | Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)           | Jul 95                   | Gunnar Sandström<br>Sydkraft Konsult               | 0                  |
| A04               | Bussbuller. Förslag till mätprogram                                         | Jun 95                   | Ingemar Carlsson<br>Ecotrans Teknik AB             | 50                 |
| A05               | Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad                  | Okt 95                   | Rolf Christensen<br>Enerkon RC                     | 50                 |
| A06               | Isbildning i naturgasbussar och CNG -system (Endast för internt bruk)       | Nov 95                   | Volvo Aero Turbines<br>Sydgas, SGC                 | 0                  |

98-05-12

**RAPPORTFÖRTECKNING**

| <b>SGC<br/>Nr</b> | <b>Rapportnamn</b>                                                               | <b>Rapport<br/>datum</b> | <b>Författare</b>                                           | <b>Pris<br/>kr</b> |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------|
| A07               | Större keramisk fiberbrännare. Förstudie                                         | Jan 96                   | Per Carlsson<br>Sydkraft Konsult AB                         | 50                 |
| A08               | Reduktion av dioxin, furan- och klorfenoler vid avfallsförbränning               | Maj 96                   | H Palmén, M Lampinen et al<br>Helsingfors Tekniska Högskola | 50                 |
| A09               | Naturgas/mikrovågsteknik för sintring av keramer                                 | Maj 96                   | Anders Röstin<br>KTH                                        | 50                 |
| A10               | NOx-reduktion genom naturgasinjektion o reburning. Demoprojekt på Knudmoseverket | Apr 96                   | Jan Flensted Poulsen<br>Völund R & D Center                 | 50                 |
| A11               | Direktorkning av socker med naturgas (Endast för internt bruk)                   | Jul 96                   | Rolf Christensen<br>Enerkon RC                              | 0                  |
| A12               | Uppföljning, installation av gaspanna med avgaskondensor, kv Hornblåsaren 6, Råå | Sep 96                   | Bo Cederholm<br>Sydkraft Konsult AB                         | 50                 |
| A13               | Klassningsplaner för gasinstallationer                                           | Jun 97                   | Carl-Axel Stenberg<br>Greger Arnesson                       | 50                 |
| A14               | Uppf av drift med natugaseldad kondenserande gaspanna i Rinnebäcksskolan         | Okt 97                   | Bo Cederholm<br>Sydkraft Konsult AB                         | 50                 |
| A15               | Undersökn o förstärkn av korr.skyddet på gasrör förl i skyddsrör - Delrapport 1  | Nov 97                   | Åsa Marbe, C Johansson<br>Sydkraft Konsult AB               | 100                |
| A16               | Ind - CO2-härdning av betong med naturgas                                        | Feb 98                   | Åsa Marbe<br>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<br>IVL                                         | 50                 |





**Svenskt Gastekniskt Center AB**

---

S-205 09 MALMÖ  
Telefon: 040-24 43 10  
Telefax: 040-24 43 14

KFS AB, LUND