

Svensk högskoleförlagd energigasforskning  
Nutid och framtid

Mikael Näslund  
Energigasinstitutet vid LTH  
Owe Jönsson  
Svenskt Gastekniskt Center

december 1998



# Sammanfattning

Universitet och högskolor har ända sedan naturgasintroduktionen i Sverige samarbetat med gasbranschen. Vid en internationell jämförelse har Sverige en omfattande högskoleforskning kring energigas sett mot energigasernas andel av Sveriges energiförsörjning. Resultat från en undersökning av pågående energigasforskning samt högskoleresurser för såväl dagens forskningsbehov som för det behov som kan uppstå i samband med ett utvidgat naturgasnät redovisas. Forsknings- och utvecklingsarbetet utanför högskolorna har ej berörts.

Gasdistribution och termiska frågor vid gasanvändning är inriktningen på forsknings- och utvecklingsarbetet för gasföretagens gemensamma forsknings- och utvecklingsorganisation, SGC. Genomgången av forskningen vid de svenska högskolorna visar att kompetens finns för de flesta områden där gasbranschen anser sig ha ett behov.

Högskoleforskning behövs dels för att skapa spetskompetens och förutsättningar för utbildning, dels för att möta konkurrens från andra energikällor. Särskilt vid ett utbyggt naturgasnät i Sverige kan utbildningsbehovet bli stort. Det blir då gasbranschens viktigaste uppgift gentemot högskolorna att initiera nya forskningsprojekt och att säkra kontinuiteten. Detta kan göras genom antingen skapandet av en kompe-

tenscentrumliknande struktur eller en ny institution eller avdelning. Genom en uttalad målsättning om högskoleforskningens användning kan problem med forskarnas tillgänglighet (konkurrens från andra finansierare) undvikas.

Dagens fördelning av FUD-arbetet mellan högskolorna och gasföretagen kan fortsätta. Denna innebär att forsknings- och utvecklingsarbete utförs vid högskolorna och demonstrationsprojekt av gasföretagen. En minskad högskoleforskning innebär troligen att mer grundläggande forskningskompetens måste utvecklas vid eller knytas till gasföretagen.

De nya reglerna för antagning av forskarstudier kan medföra en förändring av projektbeställningarna. Korta avgränsade projekt behöver troligen utföras av disputerade forskare. Detta pekar åter på frågor kring tillgängligheten till forskare när behov av studier uppstår.

Laboratorieresurserna är goda, men det saknas ett komplett gaslaboratorium för både forskning och provning. För närvarande finns ledningsbunden naturgas endast vid högskolorna i Malmö och Lund.

# Summary

The Swedish universities have since the introduction of natural gas been cooperating with the gas distribution companies. A comparison with other countries shows an extensive research relative to the natural gas share of the Swedish energy supply. Results are shown from a survey of ongoing gas related research and resources available in case of an expanded gas grid.

The focus of the SGC (Swedish Gas Technology Center) work is gas distribution and gas utilization. Research at the Swedish universities are covering most of the the areas considered by the Swedish gas companies.

Academic research is needed to develop high level competence and resources for education as well as meeting competition from other energy sources. The need for education can be high in case of an expanded gas grid in Sweden. The most important task for the gas industry towards the universities will then be to initiate new research projects and ensure the continuity. Two possible ways are either a competence center (similar to those recently created in other research areas) or a new department or division. A clearly declared aim from the gas companies regarding the use of the scientific competence will

The distribution of research and development work between the universities and the gas companies can continue. Today,

research and development are carried out at the universities and demonstration and field tests done by the gas companies. In case of reduced university research the gas companies probably have to expand its research and development staff.

New rules for admission of graduate students may cause a change in the projects. Short and limited projects will probably have to be performed by scientists with a PhD degree. Again, this points at the question of scientist availability at the time of research needs.

Laboratory resources are in total covering all needs but a fully equipped laboratory for both research and development does not exist. Natural gas is presently only available from the grid at the universities and colleges in Lund and Malmö.

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	<b>ii</b>
<b>Summary</b>	<b>iii</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Metod . . . . .	1
1.1.1 Enkät svar . . . . .	2
<b>2 Högskoleforskning och finansiering</b>	<b>3</b>
2.1 Historik – svensk naturgasforskning . . . . .	3
2.1.1 Gasforskning i Sverige och utomlands . . . . .	4
2.2 Högskoleforskningen och dess struktur . . . . .	5
2.3 Finansiering från forskningsråd m m . . . . .	6
2.3.1 NUTEKs kompetenscentra . . . . .	6
2.3.2 Löntagarfondsmedel . . . . .	8
<b>3 Högskolornas forskning med anknytning till gasteknik</b>	<b>11</b>
3.1 Förbränningsteknik . . . . .	11
3.1.1 Katalytisk förbränning . . . . .	12
3.1.2 Pulserande förbränning . . . . .	12
3.1.3 Låg-NO <sub>x</sub> -teknik . . . . .	13
3.1.4 Övrig förbränning . . . . .	14
3.1.5 Föreslagna projekt: Förbränningsteknik . . . . .	15
3.2 Industriell gasteknik . . . . .	15
3.2.1 IR-teknik . . . . .	15
3.2.2 Vätskevärmning . . . . .	16
3.2.3 Torkning och luftvärmning . . . . .	16
3.2.4 Materialvärmning/ smältning . . . . .	17
3.2.5 Kylning/Frysning . . . . .	17
3.2.6 Gas som råvara, drivmedel/kemikalier . . . . .	18
3.2.7 Föreslagna projekt: Industriell gasteknik . . . . .	18

3.3	Uppvärmning och klimatisering . . . . .	18
3.3.1	Småhus . . . . .	18
3.3.2	Pannor . . . . .	20
3.3.3	IR-värme/Övrig uppvärmning . . . . .	21
3.3.4	Kylning/klimatisering . . . . .	21
3.3.5	Hushållsapparater . . . . .	22
3.3.6	Intern gasdistribution . . . . .	22
3.3.7	Föreslagna projekt: Uppvärmning och klimatisering . . . . .	23
3.4	Kraftvärme . . . . .	23
3.4.1	Systemlösningar . . . . .	23
3.4.2	Apparatutveckling . . . . .	24
3.4.3	Emissionsbegränsningar . . . . .	26
3.4.4	Demonstration av kraftvärme . . . . .	27
3.4.5	Föreslagna projekt: Kraftvärme . . . . .	28
3.5	Fordon . . . . .	28
3.5.1	Miljö, buller/emissioner /arbetsmiljö . . . . .	28
3.6	Distributions- och lagringsteknik . . . . .	28
3.6.1	Materialteknik . . . . .	28
3.6.2	Mätteknik . . . . .	29
3.6.3	Läggningsteknik . . . . .	30
3.6.4	Systemteknik . . . . .	30
3.6.5	Infrastruktur CNG . . . . .	31
3.6.6	Bränslen för fordonsdrift . . . . .	31
3.6.7	Säkerhet . . . . .	31
3.6.8	Lagringsteknik . . . . .	32
3.6.9	Föreslagna projekt: Distributions- och lagringsteknik . . . . .	32
3.7	Övrigt inklusive miljö . . . . .	32
3.7.1	Teknikbevakning och information om energigasas . . . . .	32
3.7.2	Kompetensuppbyggnad . . . . .	33
3.7.3	Andra energigasas . . . . .	34
3.7.4	Miljö, allmänt . . . . .	35
3.7.5	Livscykelanalyser, LCA . . . . .	36
3.7.6	Emissioner, allmänt . . . . .	36
3.7.7	Föreslagna projekt: Övrigt inklusive miljö . . . . .	37
3.8	Områden utanför SGCs FUD-plan . . . . .	37
3.8.1	Gasproduktion . . . . .	37
3.8.2	Styrning och reglering . . . . .	37
3.8.3	Debitering, informationsteknologi och processanalys . . . . .	38
3.8.4	Produktutveckling . . . . .	38

<b>4</b>	<b>Laboratorieresurser</b>	<b>39</b>
4.1	Laboratorier för gas . . . . .	39
4.1.1	Tillgång till energigas . . . . .	39
4.1.2	Förbränningstekniska laboratorier . . . . .	41
4.1.3	Processtekniska laboratorier . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Överväganden och rekommendationer</b>	<b>42</b>
5.1	Nuläget . . . . .	43
5.2	Forskning vid ökad naturgasanvändning . . . . .	45
5.2.1	Kompetenscentrum . . . . .	45
5.2.2	En ny institution . . . . .	46
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>47</b>
	<b>Bilagor</b>	
<b>A</b>	<b>Enkät</b>	<b>53</b>
<b>B</b>	<b>Organisationsförkortningar</b>	<b>59</b>
<b>C</b>	<b>SGCs FUD-plan i sammandrag</b>	<b>61</b>
	<b>Sakregister</b>	<b>63</b>

# Kapitel 1

## Inledning

Universitet och högskolor har ända sedan naturgasintroduktionen i Sverige anlitats av gasbranschen. För framtiden, bla inför en eventuell utbyggnad av naturgasnätet, är det värdefullt att kartlägga de resurser och den kompetens som finns idag och som kan utnyttjas i framtiden. Gasdistributionsföretagen och SGC har idag en relativt god bild av vilka som arbetar med direkt gasanknuten forskning. Dock saknas en samlad bild.

Kartläggningen skall visa pågående gasrelaterad forskning och utbildning, kompetens och personresurser samt laboratorieresurser. Det är viktigt för gasbranschen att känna till detta så att forskningsuppdrag läggs på rätt institution och att identifiera de områden där förstärkning kan behövas i händelse av ett utbyggt naturgasnät.

Rapporten omfattar inte den forsknings- och utvecklingsverksamhet inom energigasområdet som förekommer utanför universitet och högskolor.

Inte bara naturgas utan också biogas, gasol och stadsgas omfattas av kartläggningen. Rapporten vänder sig dels till gasbranschen och personer involverade i dess forsknings- och utvecklingsarbete, dels till en bredare krets som information över svensk

universitets- och högskoleforskning med energigasanknytning. Rapporten ger också en sammanställning över den svenska naturgasanknutna högskoleforskningen sedan mitten av 1980-talet. Även några examensarbeten omnämns. Dessa kan visa på intresse från institutionen även om ingen forskning utförs för närvarande.

Två svenska utredningar rörande gasteknisk kompetens har tidigare gjorts. En utredning av högskoleanknuten [1] energigasforskning i Nordamerika och Europa gjordes 1988. I denna identifierades högskolor engagerade i energigasforskning. Ingen värdering gjordes, inte heller någon sökning efter möjliga utförare. En allmän kartläggning av svensk gasteknisk kompetens [2] gjordes 1991. Studien omfattade dagsläget hos finansärer, högskolor, forskningscentra, företag och konsulter.

### 1.1 Metod

Rapporten bygger i huvudsak på en enkät som sändes till ett 70-tal institutioner under augusti 1997. Enkäten finns i bilaga A på sidan 53. Därutöver har uppgifter hämtats från besök hos utvalda institutioner samt institutionernas hemsidor, forsk-



ningsbeskrivningar och aktivitetsrapporter. Värderingar, slutsatser m m är gjorda mot bakgrund av författarnas kunskap om energigasanknuten forskning.

En referensgrupp bestående av författarna, professor Lennart Thörnkvist (LTH) och Jörgen Thunell (tidigare vd SGC) har varit verksam under projektets genomförande.

I **kapitel 2** ges en kort överblick över högskoleforskningen och dess finansiering. Innehållet riktar sig främst till personer utanför högskolevärlden. **Kapitel 3** ger en sammanfattande bild av såväl utförd och pågående svensk forskning med gasanknytning som forskning som kan utnyttjas i framtiden. Här ges också en bild av tillgänglig kompetens. I **kapitel 4** sammanställs laboratorieresurser och i **kapitel 5** görs överväganden och ges rekommendationer.

### 1.1.1 Enkät svar

Enkäten sändes ut till 77 institutioner och avdelningar vid bla CTH, KTH, LTH, LiTh, LTU, Umeå Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. I enkäten ställdes frågor om forskning, utbildning och laboratorieresurser med avseende på gasteknik. Svar erhöles från 39 institutioner och avdelningar, vilket motsvarar en svarsfrekvens på 51%. Information om övriga institutioner erhöles bla från deras hemsidor. Utifrån enkät svaren valdes 10 institutioner och avdelningar ut och besöktes. Flera andra institutioner har författarna fortlöpande kontakter med varför dessa inte besöktes specifikt för detta arbete. En sammanställning av redovisade laboratorieresurser finns med början på sidan 39.

# Kapitel 2

## Högskoleforskning och finansiering

### 2.1 Historik – svensk naturgasforskning

I Sverige har gasanknuten forskning förekommit sedan tiden för naturgasens introduktion 1985. I jämförelse med andra länder har den svenska högskoleförlagda gasforskningen en stor omfattning sett till naturgasens andel av den nationella energiförsörjningen. Utveckling inom gasteknik har på så sätt tidigt fått nära kontakt med högskoleforskningen i Sverige.

Huvuddelen av svensk tillämpad gasinriktad högskoleforskning har bedrivits och bedrivs vid Lunds Tekniska Högskola LTH. Merparten av arbetet har utförts vid institutionerna för Fysik, Brandteknik, Värme- och kraftteknik, Kemisk apparat-teknik, Elektrisk mätteknik och LTH-Malmö<sup>1</sup> (Tidigare Drifttekniska institutionen). Man har gynnats av en tidig tillgång på naturgas (1988 till sektionen för Maskinteknik, 1995 till Kemicentrum och under slutet av 1980-talet till LTH-Malmö) samt Energigasinstitutet vid LTH, som bildades 1983. Energigasinstitutet är en gemensam inrättning vid LTH med uppgift

---

<sup>1</sup>LTH-Malmö ingår sedan 1 juli 1998 i Malmö Högskola

att initiera gasrelaterad forskning, fungera som kontaktlänk mellan LTH och omvärlden samt sprida forskningsresultat på gasområdet. Genom Energigasinstitutet har många av de större projekten initierats. Någon motsvarighet till Energigasinstitutet finns inte vid andra universitet och högskolor i Sverige.

Energigasinstitutet utvecklade ett gastekniskt forskningsprogram [3] 1983 med ekonomiskt stöd av Stiftelsen för Värmeteknisk forskning (Värmeforsk). Institutioner vid LTH ombads av Energigasinstitutet att utforma detaljerade projektbeskrivningar. Av 18 föreslagna projekt genomfördes 9 till en total kostnad av 1,75 miljoner kr inklusive nära inpå följande tilläggsanslag. Projekten finansierades av Värmeforsks gastekniska program. De tidiga högskolearbetena ingick ofta i kunskapsuppbyggnaden om naturgas och de hade en kartläggande karaktär.

Värmeforsks gastekniska program upphörde 1993 som en följd av att SGC bildats. NUTEK och dess föregångare STU och STEV finansierade också gasforskning under denna tid. Byggforskningsrådet BFR hade fram till början av 1990-talet ett särskilt gastekniskt program. SGC har

sedan bildandet finansierat en betydande del av gasforskningen. Tillsammans med NUTEK finns ett kollektivforskningsavtal riktat i första hand mot de svenska högskolorna. För perioden 1997–1999 omfattar programmet 19,2 miljoner kr.

Gasforskningen har även gynnat grundutbildningen genom att kompetens i gasteknik skapats. Kurser i Energigasteknik ges av Värme- och kraftteknik vid LTH med en egenutvecklade lärobok [4] och av Malmö Högskola, som i sitt utbildningsprogram inom energi- och miljöteknik kommer att ha en kurs i energigasteknik.

### 2.1.1 Gasforskning i Sverige och utomlands

Av tradition har en stor del av den tillämpade gasforskningen utomlands utförts av de stora gasföretagen eller av nationella forskningsorganisationer. Till de förra hör tex Gaz de France och British Gas (nu uppdelat i bla BG och Centrica) och till de senare Gas Research Institute (GRI) i USA och Gastec i Nederländerna. Ett övergripande mål har varit att utveckla effektiv gasteknik i syfte att gynna naturgasens konkurrenskraft.

Det finns en tydlig fördelning av forsknings- och utvecklingsarbetet mellan högskolorna och gasföretagen i Sverige. Gasföretagen är främst inriktade på demonstration av ny teknik medan grundläggande arbete sker på högskolorna. En del av FUD-verksamheten sker även vid konsult- och utvecklingsföretag.

### Jämförelse med Nederländerna

I en artikelserie i den holländska tidskriften Gas (nr 3–12, 1995) analyserades den holländska gasforskningen. Högskoleforskningen på området är av mer grundläggande karaktär än i Sverige. Exempel på forskningsområden är förbränningsteknik (laminära och turbulenta flammor), katalytisk förbränning, gaskvalitet och mätteknik, men även mer tillämpade undersökningar som  $\text{NO}_x$ -bildning i industriugnar utförs. Ingen professur finns i gasteknik och liksom i Sverige blir institutionerna allt mer beroende av externa anslag. Organisationer som bla Gasunie och Gastec anges initiera arbetet till stor del, med hänsyn till möjliga applikationer.

En del av det tillämpade FoU-arbetet som i Sverige utförs vid högskolorna utförs i Nederländerna i gasföretagens egna laboratorier. Exempelvis har Gasunie Research en omfattande förbränningsforskning inriktad mot låg- $\text{NO}_x$ -teknik och utveckling av energinåla apparater. Utvecklingsarbetet styrs av målet att öka gasens konkurrenskraft. Man kan nämna arbetet med kondensationsteknik i slutet av 1970-talet, som resulterade i kondensationspannor från många holländska tillverkare.

Den holländska tillverkande industrin på området tycks vara koncentrerad till pann-tillverkare. Dessa tycks i större utsträckning än sina svenska motsvarigheter arbeta med komponentutveckling, tex värmväxlare, brännare och reglerteknik.

Särskilt den akademiska forskningen anses som okoordinerad och utspridd. Universitetet samarbetar inte och de utnyttjar olika kanaler till omvärlden. Minskat statligt forskningsstöd medför att man efterlys-

er en ökad koordinering bland forsknings- och utvecklingsorganisationerna.

### Jämförelse med Tyskland

Den tyska gasforskningen har två stora aktörer, Ruhrgas och Gas Wärme Institut. Den högskoleförlagda gasforskningen i Tyskland beskrivs regelbundet i tidskriften Gaswärme International. Följande material är hämtat ur nr 6 1995 och nr 1 1998.

Forsknings- och utvecklingsarbete utförs vid såväl ingenjörshögskolor (Fachhochschule) som vid de traditionella universiteten. Huvuddelen av den tyska universitetsförlagda forskningen med gasanknytning finner man i Bochum, Aachen och Karlsruhe. Gas Wärme Institut i Essen är ingen högskoleinstitution men har ett nära samarbete med Ruhr Universität i Bochum. Arbetena i många doktorsavhandlingar är utförda vid Gas Wärme Institut. Inriktningen är oftast mot gasanvändning, tex högtemperaturprocesser och brannarstudier. Engler-Bunte-Institut vid Universitetet i Karlsruhe har en forskning mer inriktad mot gastransport, -lagring och -produktion. Här finns även en del av den tyska gasföreningen (DVGW) förlagd.

Artiklarna ger ingen information om finansieringsformerna och om det finns en organiserad samverkan mellan universiteten och gasbranschen. I jämförelse med den universitetsförlagda holländska gasforskningen tycks den tyska ha en tillämpningsnivå jämförbar med den svenska. Tyska tillverkare redovisar ofta sina utvecklingsarbeten i tidskrifterna Gaswärme International och gwf gas/erdgas.

## 2.2 Högskoleforskningen och dess struktur

Universitetsforskning bedrivs främst inom grundläggande och tillämpade ämnen. Till grundläggande ämnen räknas fysik, värmeöverföring, strömningslära, hållfasthetslära och reglerteknik. Tillämpade ämnen är tex kemisk apparatteknik, byggnadsteknik, förbränningsmotorer och kraftverksteknik. Gränsen mellan kategorierna är flytande och forskningsinriktningen beror mer på de aktuella forskarna än på amnesnamnet. De grundläggande ämnen kan utnyttjas i många discipliner varav gastekniken bara är en. Grundläggande tekniska ämnen som hållfasthetslära, strömningsteknik och värmeöverföring kan användas inom vitt skilda tillämpningar som brännare, värmeväxlare, gasmätare, gasturbiner och kompressorer. Många grundläggande ämnen kan vara av stor nytta för gasindustrin, även vid problem med tillämpningar.

En stor del av svensk högskoleforskning utförs av forskarstuderande (doktorander). Användande av doktorander i forskningsprojekt kräver ett långsiktigt engagemang av finansierarna. Tiden fram till licentiatexamen och doktorsexamen ar nominellt 2 respektive 4 år men 3 respektive 6 ar ar rimliga tider idag. Korta projekt bör kunna passa in i en forskarutbildning eller utföras av disputerade forskare.

En forskarstuderandes lönekostnad och handledningskostnad uppgår idag till ca 450 000 kr/år. Till detta kommer utrustningskostnader. Ett projekt som avses resultera i en eller flera forskarexamina blir således ekonomiskt omfattande. Det är därför vanligt att sådana projekt samfinan-

sieras av flera intressenter, t ex BFR, fakulteten och företag.

Tabell 2.1 visar finansieringen av de tekniska högskolornas verksamhet. Indelningen avser statliga anslag för forskning och forskarutbildning (FFU), grundutbildning (GU) och externa medel, d vs alla medel som inte kommer från Utbildningsdepartementet. Siffrorna är ungefärliga och i en del fall framräknade ur en totalsumma. I korthet visar tabellen att de tekniska högskolornas totala insatser på forskning och forskarutbildning finansieras till 55–60% av externa medel. FFU-medlen från Utbildningsdepartementet är nästan helt bundna i tjänster, t ex professurer och doktorandtjänster.

Tabell 2.1: Finansiering av de tekniska högskolornas verksamhet (ungefärliga siffror)

	FFU (Mkr/år)	GU (Mkr/år)	Externt (Mkr/år)
CTH	334	556	693
KTH	500	736	634
LTH	235	330	360
LiTh	114	–	172
LTU	170	322	141

## 2.3 Finansiering från forskningsrådet m m

Som framgår av tabell 2.1 finansieras de tekniska högskolorna till en stor del av externa medel. Här följer en genomgång av de viktigare statliga finansieringskällorna för forskningen.

Forskningsråd av intresse för energiforskning är Teknikvetenskapliga forskningsrådet (TFR), Naturvetenskapliga forskningsrådet (NFR) och Forskningsrådsnämnden (FRN). FRN kan även finansiera dyrbar utrustning över 2 miljoner kronor.

NUTEKs insatser på energisidan flyttas nu över till den nybildade Statens Energimyndighet (STEM). Här finns ett flertal program, t ex programmet Naturgas, som är NUTEKs (Energimyndighetens) bidrag till SGCs forskningsbudget. BFR (Byggnadsforskningsrådet) finansierar projekt med olika aspekter på byggnader och byggd miljö.

De senaste 2–3 åren har medel från forskningsstiftelserna och NUTEK möjliggjort stora forskningsprogram. Forskningsstiftelsernas kapital kommer från löntagarfonderna. NUTEK finansierar delar av sk kompetenscentra.

### 2.3.1 NUTEKs kompetenscentra

NUTEKs kompetenscentra avser att överbrygga klyftan mellan högskolor och industri. De senare tar aktiv del i centrets aktivitet. Under tiden 1995–1996 startades 28 kompetenscentra. Några med anknytning till energiteknik beskrivs kortfattat nedan. Verksamheten finansieras med ungefär lika delar från NUTEK, högskolan samt de deltagande industriföretagen. Näringslivet bidrar bl a med eget arbete. Verksamhetens omfattning för de två första åren är i de flesta fall 18 miljoner kronor eller mer.

### **Kompetenscentrum Förbränningsmotorteknik, CERC**

Kompetenscentret är förlagt till Chalmers Tekniska Högskola, CTH. Industriintressenter är Husqvarna, Saab Automobile, Scania, Volvo Lastvagnar och Volvo Personbilar.

Man koncentrerar sig på bränsleförbrukning och emissionsbildning i bensin- och dieselmotorer. Man studerar även sprayer, flamutbredning och alternativa bränslen, t ex etanol.

### **Kompetenscentrum Förbränningsprocesser**

Kompetenscentret är förlagt till Lunds Tekniska Högskola, LTH. Industriintressenter är ABB Stal, Scania, Wärtsilä (Finland), Sydkraft, Vattenfall och fyra företag i Volvokoncernen.

Man strävar efter en internationellt högsta nivå avseende både laserdiagnostik och modellering av förbränning i flammor, gasturbiner och förbränningsmotorer.

### **Kompetenscentrum Katalys, KCK**

Kompetenscentret är förlagt till Chalmers Tekniska Högskola, CTH. Industriintressenter är ABB Fläkt, Perstorp, Saab Automobile, Svensk Bilprovning, Svenska Emissionsteknik och Volvo.

Forskningen i den första etappen fokuseras på emissionsreduktion i industriprocesser och fordon med hjälp av katalytisk teknik. Katalytisk förbränning sägs kunna vara ett område för framtida insatser.

### **Kompetenscentrum Fluidodynamik i industriprocesser**

Kompetenscentret är förlagt till Kungliga Tekniska Högskolan, KTH. Industriintressenter är ABB, ABB Industrisystem, AGA, Alfa Laval, AssiDomän, Eka Chemicals, Korsnäs, MoDo, Norzink, Stora Corporate Research, PermaScand, SCA Research och Vattenfall Utveckling.

Målet är att göra resultat från experimentell, numerisk och teoretisk forskning lätt tillgängliga för deltagande industripartners. Forskningsområden i den första etappen är fluidodynamik i elektrokemi, materialprocesser, papperstillverkning och separationsteknik.

### **Kompetenscentrum Högtemperaturprocesser, HTC**

Kompetenscentret är förlagt till Chalmers Tekniska Högskola, CTH. Industriintressenter är ABB STAL, Avesta Sheffield, Kanthal, Kvaerner EnviroPower, Sandvik Steel, Stockholm Energi, Sydkraft, Vattenfall och Volvo Aero Corporation.

Centret syftar till att öka kunskapen om materialförsämring i högtemperaturprocesser. Ökade material- och processprestanda eftersträvas så att servicebehovet minskar och processverkningsgraden ökar.

### **Kompetenscentrum Produktrelaterad miljöanalys, CPM**

Kompetenscentret är förlagt till Chalmers Tekniska Högskola, CTH. Industriintressenter är ABB, Electrolux, Akzo Nobel Surface Chemistry, Mölnlycke, Perstorp, Stora Corporate Research, Ericsson, Vattenfall och Volvo.

Livscykelanalyser (LCA) är en central metod i arbetet. Centret verkar för att förebygga och minska miljöpåverkan med direkt koppling till produkter. Man samlar svensk kompetens på området för att nå en internationell toppnivå.

### **Kompetenscentrum Återvinning av mineral och metaller ur restprodukter, MIMER**

Kompetenscentret är förlagt till Luleå Tekniska Universitet, LTU. Industriintressenter är Askania, Avesta Sheffield, Boliden Mineral, Fundia Special Bar, Gotthard Nilsson, Heckett MultiServ Nordiska, Höganäs, LKAB, Nordkalk Oy, Ovako Steel, Sandvik Steel, Scandust, SSAB Merox, SSAB Tunnpått, Svenska Mineral, Uddeholm Tooling och Vargön Alloys.

Kompetenscentret är tänkt att väsentligt bidra till att skapa förutsättningar för dels en ökad metall- och mineralframställning ur återvinningsmaterial, dels minimerad deponering av restprodukter.

### **Gasturbincentrum**

Gasturbincentrum, GTC, är inte ett kompetenscentrum men det är organiserat på samma sätt. Flera tekniska högskolor är inblandade, CTH, KTH och LTH, tillsammans med NUTEK, ABB och Volvo Aero Corporation.

Det övergripande målet är att bygga upp en kunskapsbas vid svenska högskolor som kan stödja utvecklingen av framtida gasturbiner vid svenska företag. Man anger uttryckligen att antalet årligen examinerade doktorer skall öka. Arbetet berör både stationära och mobila gasturbiner.

Verksamheten skall under de första åren koncentreras till gasturbinens högtemperaturdelar, dvs turbin och brännkammare.

### **2.3.2 Löntagarfondsmedel**

Våren 1993 fördelades 10 miljarder kronor av löntagarfondsmedlen till tre forskningsstiftelser, Stiftelsen för strategisk forskning (SSF), Stiftelsen för miljöstrategisk forskning (MISTRA) och en stiftelse för kulturvetenskaplig forskning. Avkastningen från kapitalet finansierar forskningen. Här ingår inte näringslivet som finansiär och man talar bla om forskarskolor.

Stiftelsen för Strategisk forskning (SSF) bildades 1994 och tilldelades 6 miljarder kronor av löntagarfondsmedlen. Stiftelsens ändamål är ”... att stödja naturvetenskaplig, teknisk och medicinsk forskning. Stiftelsen skall främja utvecklingen av starka forskningsmiljöer av högsta internationella klass med betydelse för utvecklingen av Sveriges framtida konkurrenskraft.”. Program med inriktning mot energiteknik är CE-COST (Centre in Combustion Science and Technology) och Energisystem.

MISTRA bildades 1994 med ett kapital på 4 miljarder kronor. Ungefär 250 miljoner kronor kan disponeras varje år. Enligt stadgarna är MISTRAs uppgift att ”... främja utvecklingen av starka forskningsmiljöer av högsta internationella klass med betydelse för Sveriges framtida konkurrenskraft. Forskningen skall ha betydelse för lösandet av viktiga miljöproblem och för en miljöanpassad samhällsutveckling. Möjligheten att uppnå industriella tillämpningar skall tagas tillvara.”

Man ger medel till forskningsprogram och projekt. Programmen är långsiktiga

med finansiering i treårsperioder. Årsbudgeten är 5–15 miljoner kronor. Sedan starten 1994 har MISTRA tillstyrkt 18 forskningsprogram. Av dessa har sex direkt eller indirekt anknytning till energi. Dessa är "Sustainable Building – An Ecocycle System in Buildings and Construction" (CTH), "The Potential of Pulp and Paper Production as an Energy Producing and truly Ecocyclic Process" (STFI), "Batteries and Fuel Cells for a Better Environment" (KTH), "Ångström Solar Centre" (UU), "Sustainable Transport System" (LU) och "Sustainable Urban Water System" (LTU).

Med början 1998 ger MISTRA också medel till forskningsprojekt som en följd av att Naturvårdsverkets anslag för miljö- och kretslopps forskning upphört. Projektmedel beviljas inom fyra områden: Landmiljö och grundvatten, Vattenmiljö, Toxikologi och miljömedicin, samt Teknik och system för kretslopp. För 1998 har ca 80 projekt beviljats medel. Det är bara inom "Teknik och system för kretslopp" som energirelaterade projekt återfinns. Idag finns inga direkt energianknutna projekt enligt MISTRAs projektförteckning.

### Forskarskola Energisystem

Programmet finansieras av Stiftelsen för strategisk forskning. Det omfattar sex institutioner från fyra universitet och högskolor: Energisystem (LiTh), Tema Teknik och social förändring (Linköpings universitet), Värmeteknik och maskinlära (CTH), Energifprocesser (KTH), Industriella styrsystem (KTH) och Materialvetenskap (UU).

Ur presentationen av programmet kan följande citat beskriva inriktningen:

- *"Teknisk kunskap måste kombineras*

*med samhällsvetenskapliga insikter om den miljö i vilken tekniken ingår"*

- *"... energisystem bör ses som sociotekniska system som analyseras inte enbart utifrån tekniska och ekonomiska faktorer utan även med hänsyn till deras sociala funktion"*
- *"... mångsidig kunskap som gynnar skapandet av uthålliga och effektiva energisystem"*

Programmet inriktas på fem områden: Grundläggande tekniska system, Kommunala och regionala system, Industriella system, Energisystem som sociotekniska system samt systemanalyser och framtidsscenarier. Forskningsområdena innehåller energimässig och ekonomisk optimering och modellering. Det gäller utveckling av optimerings- och beräkningsmodeller snarare än användande av befintliga modeller. Det görs inga direkta studier av processers och komponenters termiska och miljömässiga prestanda, snarare styrning och reglering av industriella system samt optimering och samordning av processer.

### Forskarskola CECOST

CECOST är placerat vid LTH och innehåller även institutioner vid CTH och KTH. Deltagande institutioner är Kemisk apparatteknik, Kemisk teknologi, Förbränningsfysik, Värme- och kraftteknik, Konstruktionsmaterial och Brandteknik från LTH. Från CTH deltar institutionerna för Termo- och fluidodynamik, Energiteknik, och avdelningen för Förbränningsmotorer. Från KTH deltar avdelningarna för Kemisk teknologi och Förbränningsmotorer.



Inriktningen på CECOSTs verksamhet är: ” *The theory, processes and methods focussing on the combustion chamber. Related processes and materials are included, as well as necessary fuel-air preparations and post-combustion treatments, provided that the latter are complementary to research supported by other resources. The graduate education should cover all relevant knowledge needed for an industrially relevant Licentiate/PhD education.*”

Forskningen är koncentrerad till tre program:

1. Sotbildning
2. Förbränning av fasta bränslen
3. Turbulent förbränning

Den ekonomiska omfattningen av CECOST beräknas till 20–25 miljoner kr årligen fr o m 1998. En del doktorandkurser ges via Internet och några av dessa är öppna även för industrin, men då mot en kostnad.

Fullt utbyggt kommer CECOST att omfatta ca 20 doktorander, varav minst 6 st avlägger en forskarexamen varje år. 80% av de som avlägger forskarexamen förväntas fortsätta inom svenskt näringsliv.

# Kapitel 3

## Högskolornas forskning med anknytning till gasteknik

I kapitlet redovisas den forskning, även den icke direkt energigasanknutna, som utförs vid de olika högskolorna idag. Indelningen följer SGCs FUD-plan. Ett sammandrag av planen finns i bilaga C på sidan 61. All svensk gasanknuten forskning idag eller framöver kan inte sorteras in under planens rubriker, bla därför att SGCs arbete är koncentrerat till gasdistribution och gasanvändning. Indelningen i planen indikerar också vilka områden som prioriteras idag. Ett par områden i FUD-planen har utelämnats då de enbart berör SGCs informationsverksamhet.

Möjligheterna och behoven av högskoleforskning på både kort och lång sikt berörs. Det korta perspektivet kan sägas omfatta tiden för SGCs nuvarande FUD-plan, dvs till och med år 2000. Av denna anledning finns utdrag av syftena med FUD-planens insatsområden.

I slutet av varje avsnitt ges en uppräkningslista av projekt som föreslagits från högskolorna i enkätsvaren och vid besöken.

### 3.1 Förbränningsteknik

Området är centralt för all energigas användning. Modellering av förbränningsprocesser sker idag i såväl kommersiella sammanhang som i forskning med program som FLUENT, CFX, Phoenics m fl förutom egenutvecklade program som vid t ex avdelningen för Strömningsteknik vid LTH. I tidskrifter kan man se exempel på hur sådana program använts för brännarutveckling, se t ex [5].

I en doktorsavhandling från institutionen för Mekanik vid KTH av Bai [6] beskrivs modellutveckling för turbulent förbränning. I avhandlingen beskrivs bla en tillämpning på en gasoleldad panna. Arbetet är idag förlagt till avdelningen för Strömningsteknik vid LTH.

Förbränningsforskning med grundläggande inriktning utförs också vid institutionen för Termo- och Fluidodynamik vid CTH. Vid institutionen för Fysikalisk kemi vid CTH är förbränningsforskningen inriktad mot de kemiska reaktionerna vid förbränningen. Både modellering och experiment utförs.

Det finns också högkvalitativ forskning och kunskap om mätteknik för förbränning. De sofistikerade mätteknikerna kan användas både i laboratorier och i installationer. Framför allt kan nämnas arbeten vid avdelningen för Förbränningsfysik vid LTH under ledning av professor Marcus Aldén. Man arbetar främst med beröringsfria tekniker som Laserinducerad fluorescens (LIF) och Coherent Anti-Stokes Raman Scattering (CARS). LIF används för kartläggning av olika molekyler i flammen och CARS för temperaturmätningar. Förutom teknikutveckling används metoderna i olika tillämpningar. Några exempel på det senare är visualisering av bränslefördelningen i en gasturbinbrännkammarens inlopp, bränslefördelningen vid laddväxlingen i en tvåtaktsmotor och utveckling av temperatur- och  $\text{NO}_x$ -mätning med LIF.

### 3.1.1 Katalytisk förbränning

Forskning om katalytisk förbränning förekommer vid många svenska universitet och högskolor såsom CTH, KTH, LiTh och LTH. Forskare från LTH har bildat Katator AB i forskningsbyn Ideon. Katator utvecklar katalysatorer för olika tillämpningar och har samarbete med institutionen för Värme- och kraftteknik vid LTH, främst rörande mindre applikationer som villapanor.

#### SGCs syfte:

*... att tillsammans med tillverkande industri utveckla kommersiellt mogna produkter grundade på katalytisk teknik.*

Högskoleforskning kring katalytiska processer är av mer grundläggande karaktär.

Vid avdelningen för Tillämpad fysik vid LiTh studeras grundläggande reaktioner vid katalytisk förbränning. Vid avdelningen för Kemisk teknologi vid LTH arbetar man med både katalytisk förbränning och rening. Förbränningsdelen omfattar detaljerad kemi och turbulent strömning. Katalytisk förbränning av VOC (Volatile Organic Compounds) behandlas också. Som tidigare nämnts är kompetenscentret för katalytiska processer vid CTH främst inriktat på katalytisk rening.

Katalytisk förbränning i gasturbiner studeras vid KTH, se sidan 27.

SGCs önskemål av forskning, utveckling och demonstration tillgodoses idag av företag utanför högskolevärlden.

### 3.1.2 Pulserande förbränning

Pulserande förbränning har länge beskrivits som en billig och effektiv förbränningsteknik. Bristande kunskap om de grundläggande processerna har dock hindrat en bred spridning. Förbränningens och strömningens periodiska förlopp möjliggör både låga emissioner och hög värmeöverföring. Produkter som introducerats på marknaden har ofta visat sig framgångsrika, t ex värmepannor från Lennox (USA) och svenska Pulsonex.

#### SGCs syfte:

*... att utveckla koncept för konstruktion av pulserande brännare för mindre och medelstora pannor samt verifikation av beräkningsmodeller för uppskalning av tekniken*

Endast vid LTH av de svenska högskolorna utförs forskning inom området pulserande förbränning. Arbetet utförs vid

avdelningarna för Energihushållning, Förbränningsfysik och Mekanik. Projektet inleddes 1989 och har sedan dess bedrivits med stöd av NUTEK och dess föregångare. Inom projektet har presenterats en doktorsavhandling av Fureby [7] och två licentiatrapporter av Lindholm [8] och Möller [9]. Modellutveckling m m görs vid avdelningarna för Förbränningsfysik och Mekanik medan experimentellt arbete utförs vid avdelningen för Energihushållning. Projektet går nu in i en fas där tillämpningar prioriteras. Här ingår utveckling bla av tillsatseldning i fastbränslepannor tillsammans med Stora Billerud och SYSAV och grundläggande studier av sk Rijkerör med flytande och fast bränsle. Man samarbetar med Dansk Gasteknisk Center rörande vätskevärmare.

Modellering av pulserande förbränning görs med en kommersiell CFD-kod (Phoenics), som i praktiken utnyttjas som ekvationslösare för en egenutvecklade modell. Modellen är baserad på kontinuumsmekanik. Modelleringen görs i 3D. Tänkbara förbättringar inkluderar bla beräkning av NO-bildningen. De experimentella studierna fungerar delvis som validering av simuleringar men låg NO<sub>x</sub>-bildning fokuseras också. Experimentbrännarna har optisk tillgänglighet för tidsupplöst mätning av hastigheter, förbränningszonens placering, temperaturer m m.

SGCs syfte i den aktuella FUD-planen bör kunna uppnås med det pågående projektet vid LTH. Inom projektet bör också en del kunskap om torkningsprocesser med pulsbrännare kunna utvecklas under denna tid.

I ett längre perspektiv kan värmeöverföring i periodiska flöden längs ytor med

ytförstoring kunna undersökas. Avdelningen för Värmeöverföring vid LTH föreslår ett projekt kring värmetransport vid pulserande eller oscillerande flöden. Avdelningens forskning fokuseras på värmeöverföring i kanaler med komplexa geometrier.

Det tycks som om tillräcklig högskolekunskap finns, eller är under uppbyggnad, för de behov svenskt näringsliv har på området.

### 3.1.3 Låg-NO<sub>x</sub>-teknik

Kunskaper om bildning och begränsning av kväveoxider (NO<sub>x</sub>) i olika förbränningsapplikationer blir allt viktigare med strängare gränsvärden. Gasformiga bränslen ger goda möjligheter att sänka NO<sub>x</sub>-bildningen till mycket låga nivåer, lägre än med alla andra bränslen. Omfattande arbeten har gjorts internationellt. Ett exempel på en relativt nyutvecklade låg-NO<sub>x</sub>-teknik speciellt för gasformiga bränslen är fiberbrännare.

#### **SGCs syfte:**

*... att praktiskt prova några av de kommersiella låg-NO<sub>x</sub>-teknikerna.*

SGCs verksamhet inom området avser brännare och syftet antyder att demonstrationsanläggningar är viktigare än grundläggande studier på högskolor. I Sverige innebär NO<sub>x</sub>-avgiften också ett ekonomiskt incitament för låg-NO<sub>x</sub>-teknik. Viktiga områden är långtidsprestanda, sänkta kostnader för fiberbrännare samt bla reglerbarhet och flamutbredning i brännare med extremt låg NO<sub>x</sub>-bildning. Högtemperaturprocesser i industrin är också ett angeläget område för låg-NO<sub>x</sub>-teknik.

Det tycks saknas svensk kompetens inom området förbränning med låga emissioner i stora brännare. Institutionen för Värme- och ugnsteknik vid KTH har varit delaktig i flera projekt där  $\text{NO}_x$ -bildningen reducerats i befintliga pannor, bla genom användning av vattenmodeller av pannan. Institutionen för Energiteknik vid CTH föreslår ett samarbete kring låg- $\text{NO}_x$ -brännare med brännartillverkaren Petrokraft. Vid en utbyggnad av naturgasnätet kommer många hetvattenpannor i fjärrvärmenäten att vara aktuella för konvertering och det är angeläget att det byggs upp en kompetens för denna applikation. Både numeriska och experimentella studier krävs. Gasbranschen kan initiera ett sådant arbete i CECOSTs delprojekt turbulent förbränning.

Vid LTH, avdelningen för Atomfysik, genomfördes tidigt två projekt avseende  $\text{NO}_x$ -bildning. I det första gjordes en genomgång av bildningsmekanismerna [10] medan i det andra utfördes laboriestudier av olika mekanismer för  $\text{NO}_x$ -begränsning i förblandade flammor [11]. Fortsatt arbete gjordes avseende  $\text{NO}_x$ -spridning från villa-pannor, se sidan 19.

Avdelningen för Värmeöverföring vid LTH anger studier av termisk strålning från gaser och partiklar (sot) som forskningsprojekt om finansiering kan ordnas. Tillämpningsområden för sådana studier är värmeöverföring i ugnar och eldstäder. För låg- $\text{NO}_x$ -teknik kan strålning vid stegförbränning vara aktuellt att studera.

Det är värt att notera att ingen av de tillfrågade institutionerna angav låg- $\text{NO}_x$ -studier i brännare med andra energigas än naturgas som projektförslag. Sådana studier kan synas värdefulla med en allt

större användning av biogas, förgasningsgas och andra energigas.

### 3.1.4 Övrig förbränning

Med övrig förbränning avses här förbränningsapplikationer i olika processer och applikationer inom energiomvandling, tex reurning. Även avfallsdestruktion och likartade processer ingår i denna kategori.

#### SGCs syfte:

*... att på sikt utveckla nya användningsområden för energigas där gasens unika förbränningsegenskaper tas tillvara på ett optimalt sätt*

Några svenska rapporter om reurning publicerades i början av 1990-talet [12–14] från Värme- och ugnsteknik vid KTH och [15] från Energiteknik vid CTH. Arbetet finansierades av Nordisk Gasteknisk Center (NGC) som gjorde omfattande insatser inom reurning. I Sverige provades tekniken i två pannor i Malmö, en vid värmeverket i Limhamn och en vid avfallsvärmeverket i Spillepengen. Vid CTH studerades reduktion av lustgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) från CFB-pannor med hjälp av efterförbränning med gas.

Avfallsdestruktion, rening av förorenat material, tex mark från gamla industritomter har beskrivits i internationell litteratur. Förbränningsgruppen vid institutionen för Miljö kemi vid Umeå Universitet arbetar bla med energiutvinning från restprodukter som plastavfall, shredderavfall, och en kombination av biobränsle och restprodukter.

Förbränning av gas med rent syre, oxy-fuel, möjliggör höga verkningsgrader och

sänkt  $\text{NO}_x$ -bildning jämfört med konventionell gasteknik. En svensk tillverkare av sådana brännare finns, AGA, men inget högskolearbete pågår för närvarande.

Det är sannolikt att många olika energigaserna kommer att användas i Sverige i framtiden. Utöver naturgas används gasol i energikrävande processer och stora pannor i bla fjärrvärmesystem. Biogas och produktgas från förgasningsprocesser kommer att användas utanför rörledningsnätet eller möjligen blandat med naturgas. Skiftande gaskvalitet tycks endast ha studerats i ett fåtal arbeten. En litteraturstudie [16] från avdelningen för Energihushållning vid LTH av utbytbarhetsmetoder, varierande gaskvalitet och emissionsbildning tycks vara den enda studien. Den berör huvudsakligen små brännare, atmosfärsbrännare.

### 3.1.5 Föreslagna projekt: Förbränningsteknik

- Låg- $\text{NO}_x$ -brännare för fjärrvärmepannor
- Termisk strålning från gaser och partiklar
- Värmetransport vid oscillerande flöden

## 3.2 Industriell gasteknik

Av den svenska naturgasanvändningen går ca 40% eller ca 3,5 TWh årligen till industriella processer. Lägger man till gasol-användningen för industri och värmeverk, drygt 6 TWh/år, når man en total nivå på ca 10 TWh/år.

Många gasdrivna tekniker som används utomlands används ännu ej i Sverige. Avdelningen för Energihushållning vid LTH föreslår en studie av sådana tekniker och möjligheterna att använda dessa i Sverige.

### 3.2.1 IR-teknik

Infrarödteknik används i industriprocesser för torkning och uppvärmning. Här avses brännare med ytförbränning som glödgar brännarytan. Strålningsbrännare och strålningsrör i industrins högtemperaturprocesser omfattas av avsnittet "Materialvärmning/smältning".

#### SGCs syfte:

*... att demonstrera och utvärdera den teknik som är mogen för en marknadsintroduktion, stimulera utvecklingen av nya IR-värmare med högre specifik effekt och våglängder motsvarande elinfra, bättre emissionsdata och högre strålningsverkningsgrader*

Alla led från forskning till marknad är således av intresse för SGC även i det korta tidsperspektivet.

Industriell IR-teknik för torkning studeras av LTH-Malmö och Kemisk apparatteknik vid LTH i samarbete. Man har gjort djupgående studier av spektralfördelning av brännarens infrastrålning, mätt strålningsverkningsgrad och utvecklat teknik för mätning i industriinstallationer, se [17, 18]. Man samarbetar även med Keraminstitutet vid CTH om utveckling av nya keramer för IR-strålare.

### 3.2.2 Vätskevärmning

Vätskevärmning är en gasteknik som studerats mycket främst i bl a Frankrike och Storbritannien. De hävdade fördelarna är att centrala ång- eller hetoljesystem i en industri kan ersättas med punktvisa värmekällor med höjd systemverkningsgrad som följd.

#### SGCs syfte:

*... utveckla och demonstrera vätskevärmare med högre prestanda, lägre investerings- och driftkostnader samt bättre miljödata än på marknaden förekommande typer*

Vid LTH-Malmö har arbete utförts som resulterat i en doktorsavhandling av Christensen [19]. Pulsbrännarprojektet vid LTH samarbetar med Dansk Gasteknisk Center (DGC) om pulsbrännare som vätskevärmare, dock i liten omfattning.

Arbetet vid LTH-Malmö inleddes med studier av befintliga installationer, Scan Väst i Varberg och Falkens bryggeri i Falkenberg. Resultaten är redovisade i Christensens licentiatrapport [20]. Det fortsatta arbetet koncentrerades till utveckling av flexibla korrugerade värmeväxlarrör. I doktorsavhandlingen redovisas framtagna samband för värmeöverföringen i sådana rör. Tekniken marknadsförs av Bengt Fridh Industriteknik. Den första installationen finns hos Blackstone i Mjällby.

### 3.2.3 Torkning och luftvärmning

Området omfattar ett flertal industriprocesser, t ex torkar (både direkt och indirekt

värmda) och bageriugnar men även lokaluppvärmning. Ett fåtal svenska studier har gjorts, varav en vid avdelningen för Kemisk apparatteknik vid LTH [21]. Denna berör gasturbiner i en kraftvärmekoppling där värmen används för en direkttorkningsprocess. Studien omfattade processer för produktion av bl a gipsplattor och djurfoder.

#### SGCs syfte:

*... utveckla eller demonstrera två tekniker för gasvärmning; en applikation där gas (luft) för torkändamål värms och en där luft för lokaluppvärmning demonstreras*

Syftet visar ett brett intresse för tekniken som kan komma att beröra ett flertal institutioner. Utveckling av luftvärmare kan engagera högskoleforskare inom värmeöverföring och förbränning. Tillräcklig högskolekompetens finns på dessa områden för att utveckla kompakta och effektiva luftvärmare med låga emissioner. Inga särskilda institutioner behöver nämnas för detta. Ett hinder för en marknadsintroduktion är att inget svenskt företag tillverkar små anläggningar. Stora torkanläggningar tillverkas av Fläkt.

Hygieniska effekter av direkttorkning av livsmedel med avgaser från gasförbränning finns berörda i dokumentationen från ett seminarium om direkttorkning 1986 [70]. Utveckling av teknik för direkttorkning berör livsmedelskemi, värmeöverföring och förbränning.

För en ökad gasanvändning inom pappersindustrin kan arbetet med svartlutförgasning vid avdelningen för Energiprocesser vid KTH vara av ett visst intresse. Man har studerat användning av produktgasen i olika kraftcykler, se t ex [22].

Vid avdelningen studeras också pappers- och massaindustrins energisystem. Pappersproduktion studeras vid institutionen för Pappers- och massateknik vid KTH (i första hand kvalitetsfrågor) och avdelningen för Kemisk apparatteknik vid LTH (energianvändning).

LTH-Malmö föreslår projekt kring absorptionsvärmepumpar, dock utan närmare specificering.

### 3.2.4 Materialvärmning/ smältning

Området omfattar många, små som stora, industriapplikationer inom både metallurgiska och icke-metallurgiska processer.

#### **SGCs syfte:**

*... att demonstrera värmning och smältning med gas i system med höga processverkningsgrader och låga emissioner*

Tidiga högskolebaserade utrednings- och mätprojekt berörde värmeåtervinning och luftförvärmning t ex i en aluminiumsmältugn, se [23, 24] från LTH-Malmö.

Elersättning i elintensiv industri, exempelvis vid stålsmältning kan vara strategiskt viktigt för gasleverantörerna. I USA har teknik för detta utvecklats och man kan uppnå en elersättning på ca 20% genom stödeldning med gasbrännare med syrgas, oxy-fuel.

Förbränning utan synlig flamma har utvecklats för högttemperaturprocesser med regenerativ luftförvärmning. Jämn temperaturfördelning och mycket låga emissioner av kväveoxider är fördelarna jämfört med

tidigare teknik. Kommersiella namn är bla FLOX (WS Wärmetechnik, Tyskland) och LNI (North American, USA) men tekniken har ursprungligen utvecklats i Japan. Vid Värme- och ugnsteknik på KTH har ett doktorandarbete inletts med fokusering på tekniken. Man kallar tekniken "Excess Enthalpy Combustion" (EEC). Idag byggs en försöksuppställning för grundläggande studier av fenomenet. Man strävar också efter att bygga en 500 kW panna för fortsatta studier. Här kan förbränning, strömning och eventuell materialpåverkan studeras.

Ingen institution har under längre tid utvecklat kompetens för specifikt gasformiga bränslen. Utvecklingsarbete kan lämpligen utföras vid institutioner med grundläggande inriktning, t ex värmeöverföring och strömningsteknik, eller de som är inriktade på de aktuella industriprocesserna, t ex Värme- och ugnsteknik vid KTH.

### 3.2.5 Kylning/Frysning

Industriell kylning och frysning är vanligt förekommande i livsmedelsindustrin.

#### **SGCs syfte:**

*... att gynna utvecklingen av gasbaserad kylteknik för klimatkyla och processkyla. Speciell tonvikt skall läggas vid teknikbevakning och uppföljning av resultat*

Gasbaserad kyl- och frysteknik tycks inte studeras idag vid svenska universitet och högskolor. Avdelningen för Tillämpad termodynamik och kylteknik vid KTH utför forskning på området.



### 3.2.6 Gas som råvara, drivmedel/kemikalier

Utomlands används naturgas ofta som kemisk råvara. Exempel på slutprodukter är skyddsgaser i ugnprocesser, kemikalier och drivmedel. Sveriges första anläggning för kemikalieproduktion ur naturgas invides 1997 i Helsingborg.

Ett storskaligt forskningsprogram var det norska SPUNG (1987–1993) med en budget på totalt 342 miljoner norska kronor. Programmet innehöll tre huvuddelar varav kemisk konvertering var en. Huvuddelen av arbetet genomfördes vid norska högskolor och universitet. Inom kemisk konvertering fanns delprogram om propylenproduktion ur gasol, produktion av tex diesel, flygbränsle och syntetiska smörjolja ur naturgas samt etylenproduktion (olefiner) från metanol. Nya tillverkningsprocesser utvecklades. SPUNG-programmet är sammanfattat i [25].

#### **SGCs syfte:**

*... att kartlägga förutsättningarna för en ökad användning av gas som råvara vid tillverkning av kemikalier och andra produkter*

Området är speciellt lämpligt för högskoleforskning. I det korta tidsperspektivet är utredningar mest aktuella. I det längre tidsperspektivet är utvecklingsarbete vid högskolorna fullt möjligt.

Ingen forskning om gas som råvara utförs idag vid svenska universitet och högskolor. Forskning om kemikalieproduktion förekommer idag vid avdelningen för Teknisk mikrobiologi vid LTH, som studerar etanolproduktion ur biomassa.

Avdelningen för Kemisk teknologi vid LTH föreslår ett projekt om reformering av naturgas, dock utan närmare specificering.

### 3.2.7 Föreslagna projekt: Industriell gasteknik

- Flamlös förbränning i ugnar
- Studie av industritekniker som ännu inte används i Sverige
- Reformering av naturgas
- Absorptionsvärmepumpar

## 3.3 Uppvärmning och klimatisering

Vid en internationell jämförelse svarar småhusuppvärmning för en liten del av den svenska naturgasanvändningen. SGC prioriterar dock området, bl a inför behovet av att konvertera elvärmda hus vid en kärnkraftavveckling.

### 3.3.1 Småhus

Detta avsnitt omfattar såväl uppvärmningsmetoder som installationsteknik, materialteknik och systemteknik.

#### **SGCs syfte:**

*... att utveckla billiga, effektiva och säkra system och metoder för uppvärmning och klimatisering av småhus*

Gaspannor, -brännare och andra komponenter har utvecklats markant sedan början

av 1980-talet. Årsverkningsgraden för kondensationspannor med förblandningsbrännare kan överstiga 100% med lågtemperatursystem. Brännare med  $\text{NO}_x$ -emissioner understigande 10 mg/MJ finns i många nya pannor.

Utveckling av teknik för nybyggnation kan omfatta frågor som förhållandet mellan effektbehov för uppvärmning och tappvarmvatten, lättreglerade och snabba uppvärmningssystem så att gratisvärme kan tillvaratas effektivt och slutligen kostnadsreduktioner vid lägre uppvärmningsbehov. I en inte alltför avlägsen framtid kommer även kombinationer som gasvärme/solvärme och gasvärme/värmepumpar att bli intressanta.

Området kan delas in i teknik för befintliga småhus (ROT) och nybyggnation. Indelningen grundar sig på att nybyggda hus i allmänhet har ett mindre uppvärmningsbehov och att avgaskanaler kan utföras på ett annat sätt.

Vid institutionen för Byggnadskonstruktionslära vid LTH genomfördes ett mätprojekt på nybyggda gasvärmda småhus i Malmö [26]. Systemprestanda studerades för olika uppvärmningsalternativ. Vattenburna system jämfördes med luftvärmesystem. Studiens primära syfte var att jämföra olika uppvärmningssystem, inte att studera gasbaserad uppvärmning.

Ett antal konverteringar från elvärme till andra uppvärmningsformer har gjorts sedan mitten av 1980-talet. De flesta gjordes av energiföretag och konsulter. En del konverteringsstudier gjordes även på högskolorna, se tex [27] från avdelningen för Uppvärmning och ventilation vid KTH. Nyligen har två studier [28, 29] avslutats vid avdelningen för Energihushållning vid

LTH avseende konvertering till gasvärme. De kartlade konverteringspotentialen i det nuvarande naturgasnätet och längs tänkta utbyggnadsvägar, föreslog olika systemlösningar, uppskattade konverteringskostnader och beräknade förändringarna i uppvärmningskostnad.

För ROT-tillämpningar finns idag högpresterande pannor för befintliga uppvärmningssystem. Systemstudier i olika former har utförts men betydligt mer kan göras. Bland dessa finns arbeten kring gaspannor och avgassystem. Systemintegrationen av nya pannor och gamla uppvärmningssystem är viktigt i detta sammanhang. Basen för modellering finns och berörs i nästa avsnitt.

Vid institutionen för Brandteknik vid LTH har man studerat  $\text{NO}_x$ -koncentrationen (från villapannor) kring avgasterminallens utlopp [30, 31].

Andra högskolearbeten har berört insatsrör i skorstenar. I Näslunds licentiatrapport [32] studerades möjligheterna att konstruera kondenserande villagaspannor i syfte att undvika användandet av ett korrosions-tåligt insatsrör. Två villapannor utvecklades och prototyper laborierprovades.

I en annan rapport [33] från avdelningen för Energihushållning vid LTH studerades uppkomsten av korrosionsskador i flexibla rostfria insatsrör. Det senare arbetet initierades av upptäckta problem i installationer. Problematik med insatsrör berör främst installationer i befintlig bebyggelse och kan kräva studier i både ett kort och ett långt tidsperspektiv. Materialstudier för både metalliska och polymera material kan behövas. Vidare behöver samspillet mellan pannan och värmesystemet samt värme- och masstransport i avgasled-

ningen ytterligare belysas. Inga sådan projekt genomförs idag vid svenska högskolor. De flesta som utförde dessa arbeten är kvar på högskolorna idag och kan engageras om behov av ytterligare studier uppstår.

Studier om gasvärme i småhus tycks inte ha gjorts på andra högskolor än LTH.

Avdelningen för Installationsteknik vid CTH är enligt de senaste årens doktors- och licentiatavhandlingar inriktad mot forskning kring inomhusklimat, ventilation och solvärme. Både bostäder, småhus, och kontorshus berörs.

### 3.3.2 Pannor

Området pannor för uppvärmning omfattar även brännare, värmeväxlare, reglerteknik och integrationen av delarna. Villapannor är ofta mer integrerade apparater än de större fastighetspannorna.

#### SGCs syfte:

*... bevaka teknikutvecklingen inom området och genomföra utvärderingar av demonstrationsanläggningar. Speciellt emissioner och verkningsgrader skall utvärderas*

Det finns idag ingen svensktillverkad renodlad gaspanna för något uppvärmningsändamål. Det är svårt att avgöra om svenska tillverkare tänker utveckla speciella gaspannor även vid ett utbyggt naturgasnät. Högskolekompetensen på området är idag begränsad avseende antalet forskare. Utvidgas området till att även omfatta andra bränslen än gas är dock kompetensen betydligt större.

Forskning kring villagaspannor bedrivs vid LTH. En detaljerad dynamisk modell av en kondensationspanna, värmesystem och byggnad har utvecklats vid avdelningen för Energihushållning vid LTH, se Näslunds doktorsavhandling [34]. Arbetet behandlar systemets, främst pannans, termiska prestanda. Avdelningen samarbetar med en rad västeuropeiska forskningsorganisationer om utveckling av förenklade beräkningsmodeller för värmeinstallationers årsverkningsgrad, se text [35].

Villapannor med andra bränslen än gas studeras vid KTH och LTU. Vid avdelningen för Energiteknik vid LTU studeras vedpannor avseende förbättrad förbränning (minskade emissioner) och höjd verkningsgrad. Vid avdelningen för Kemisk teknologi vid KTH studeras katalysatorer i vedpannor för småhus.

Man kan urskilja två slags högskolekompetens som gasbranschen kan dra nytta av på detta område. Om ingen svensk pann-tillverkare vill utveckla särskilda gaspannor kan modelleringskompetens vara tillräcklig för gasbranschen. Om man vill stödja pann-tillverkare med högskolekompetens, men också om gasbranschen vill ha en teknikbevakning som omfattar laboratorieprov och utvärdering av ny teknik, behövs kompetens som även inkluderar det konstruktiva utformandet av pannans olika delar.

Föreslagna projektområden från institutionen för Byggnader och installationer (avd. för Byggnadsteknik) vid KTH är små värmekällor för väl isolerade hus, gasdrivna apparater och ljudmiljö samt experimenthus med ny gasteknik. Från avdelningen för Energihushållning vid LTH föreslås studier av enkla och miljövänliga uppvärmningsapparater.

Det finns troligen stora utvecklingsmöjligheter vad gäller reglering av villapannor. I energigasriktade tidskrifter behandlas detta ämne sällan men icke desto mindre pekar panntillverkarna ofta på avancerad reglerteknik i sina produktbeskrivningar. Adaptiv reglering verkar inte tillämpas i någon större utsträckning och här finns hög svensk kompetens, t ex vid institutionen för Reglerteknik vid LTH.

Inom området större värmepannor, för t ex fastigheter, har endast ett fåtal svenska studier utförts. Den enda högskolestudien som identifierats behandlar luft/bränslekvotreglering [36] från LTH-Malmö. SGC prioriterar inte fastigheter i sin utvecklingsplan.

Mätningar har endast utförts i begränsad omfattning på fastighetspannor, men då enbart på specialinstallationer. Man har utvärderat termiska prestanda och miljöprestanda. Någon systematisk studie av nya lågemitterande brännare och traditionella svenska pannor, som blir aktuella vid en konvertering har inte gjorts. Provningsmöjligheterna synes dock begränsade; emissionsmätutrustning finns på flera platser men provriggar med kontrollerad värmebelastning tycks vara mer svårtillgängliga.

Det finns svenska tillverkare av både pannor och brännare för området. Det tycks inte finnas något samarbete mellan högskolor och tillverkande industri avseende pannor och brännare för småhus och fastigheter.

### 3.3.3 IR-värme/Övrig uppvärmning

Uppvärmning med infrarödteknik kan ge betydande energibesparingar i lokaler med tillfällig användning eller hög luftomsättning. Infravärme kan med fördel användas för komforthöjning på t ex utomhuseringeringar och idrottsanläggningar. Både gas och el används för drift av infrastrålarare.

#### **SGCs syfte:**

*... avser dimensionering av anläggningen samt utvärdera några av de installationer som gjorts för att ta tillvara på de erfarenheter som finns från dessa anläggningar*

Högskoleanknutet arbete kan här vara beräkningar av värmefördelning i lokalen och inomhusklimatet för dem som uppehåller sig i lokalen. Arbeten av detta slag finns ej i Sverige. Utländska exempel finns däremot, se t ex [37]. Användande av kommersiella CFD-program är möjligt för att erhålla temperaturer och luftrörelser. Dock kan personers subjektiva upplevelse av inomhusklimatet inte modelleras på samma sätt.

### 3.3.4 Kylning/klimatisering

Både kompressions- och absorptionsprocesser är lämpliga för gas. Förbränningsmotorer används i kompressionsmaskiner. Ett exempel på nyutvecklad teknik är det amerikanska aggregatet Triathlon. Enheten innehåller både kylning och uppvärmning och är avsedd för småhus och mindre kommersiella installationer, t ex restauranger. Triathlon består av en 5 hk encylindrig

gasmotor och en kompressionsprocess för uppvärmning respektive kylning. För stora värmebehov finns en extra gaspanna som komplement.

Absorptionsmaskiner drivs med termisk energi där gas är mycket lämpligt. Kylmediet är freonfritt.

#### **SGCs syfte:**

*... att bevaka utvecklingen inom området och medverka till demonstration och utvärdering av tekniken*

I ett kort perspektiv verkar högskolearbete inte vara aktuellt utöver insatser som mätning och utvärdering. I det långa perspektivet kan resultat från grundläggande studier av tex värmeöverföring till systemstudier placeras vid universitet och högskolor. Ingen högskoleinstitution arbetar idag direkt med gasbaserad kylteknik. Vid avdelningen för Tillämpad termodynamik och kylteknik vid KTH finns arbete direkt inriktat mot kyltekniker och värmepumpar. Högskolekompetens kan i ett kort tidsperspektiv i första hand hämtas här.

### **3.3.5 Hushållsapparater**

Ingen högskoleforskning bedrivs i Sverige avseende gaseldade hushållsapparater som spisar, torktumlare och varmvattenberedare. Framsteg rörande brännare och värmväxlare kan dock överföras till området. I princip kan de flesta vitvaror, även kyl och frys, göras gasdrivna. Utvecklingsbehovet vid en sådan utveckling ligger troligen på installationssidan, tex ledningsdragning inomhus av gasledningar, se nästa avsnitt, och avgaskanaler.

Ett exempel på möjlig teknik har presenterats av Electrolux. Man har visat en prototyp där kyl, frys, värmepanna och varmvattenberedare är sammanbyggda till en enhet. Gas är det primära bränslet för enheten.

#### **SGCs syfte:**

*... att bevaka utvecklingen av gasdrivna hushållsapparater och gynna en utveckling och demonstration av sådana apparater.*

I stället för ledningsdragning för gas (se nästa avsnitt) skulle varmvatten för disk- och tvättmaskin kunna produceras centralt i varmvattenberedaren. Inom fjärrvärmebranschen har man studerat detta. Tyska tillverkare erbjuder lösningar baserade på tekniken och i Nederländerna har man diskuterat sådan teknik i samband med mikrokraftvärme [38]. Genom detta minskas också bostadens elanvändning.

Det är troligt att högskoleinstitutioner med inriktning mot installationsteknik kan bli aktuella för framtida arbeten. Från institutionen för Byggnader och installationer vid KTH föreslås studier av genomströmningsberedare mot bakgrund av att uppvärmningsbehovet blir allt lägre i nybyggnation. Man har nyligen påbörjat ett projekt med anknytning till den rördragning som då blir aktuell. Det är en generell studie av rörsystem ur layoutsynpunkt.

### **3.3.6 Intern gasdistribution**

I flera länder har man under flera år utvecklat tekniker för enkel distribution av gas i byggnader. Korrugerade rostfria rör med lätthanterade kopplingsdon finns kommersiellt i de flesta av dessa länder. I USA har

man prioriterat teknikutveckling för nybyggda flerbostadshus då traditionell ledningsdragning för gas ej kunnat konkurrera med el. Framför allt ger de nya ledningssystemen betydligt kortare installationstider. Effektiv och billig teknik är en förutsättning för en bredare användning av spisar och torktumlare i både enfamiljs- och flerbostadshus.

#### **SGCs syfte:**

*... kartlägga vilken teknik som finns tillgänglig, hur denna kan användas under svenska förhållanden och vilka modifieringar som måste göras för att utländsk teknik skall kunna användas i Sverige*

Området är nära knutet till föregående avsnitts hushållsapparater. Tänkbara institutioner är nämnda i samband därmed. Ingen utredning i Sverige har gjorts som bedömer ett system bestående av intern gasledningsdragning och separata gasapparater och central vattenvärmning ur termisk och ekonomisk synvinkel.

SGC är inte främmande för direkta utvecklingsprojekt för speciella applikationer. Här kan även materialteknik komma att aktualiseras. Nya ledningsmaterial med tillräckliga egenskaper avseende mekaniska belastningar och användbarhet kan initiera sådana projekt. Många institutioner inom området material- och installationsteknik kan då bli aktuella. Ingen kan idag pekas ut som särskilt lämplig.

### **3.3.7 Föreslagna projekt: Uppvärmning och klimatisering**

- Små värmekällor för väl isolerade hus
- Gasdrivna apparater och ljudnivå
- Experimenthus med ny gasteknik
- Enkla och miljövänliga uppvärmningsapparater
- Genomströmningsberedare för varmvatten

### **3.4 Kraftvärme**

Av särskilt intresse för gasbranschen är kraftvärme baserad på gasmotorer, gasturbiner, bränsleceller och stirlingmotorer. Högskoleförlagd forskning genomförs på alla dessa områden. Ett flertal svenska företag med relaterad teknik finns på området, tex ABB, Wärtsilä, Volvo och Scania. Ett utvecklat samarbete mellan industrin och universitetet finns genom det sk Gasturbincentret.

Ren kraftproduktion ligger utanför SGCs direkta intresseområde. Idag studeras bla kombicykler och andra kraftcykler med hjälp av datorprogram. Sådana studier utförs vid institutionen för Värme- och kraftteknik vid LTH och avdelningen för Energiprocesser vid KTH. Ren kraftproduktion berörs inte närmare i rapporten.

#### **3.4.1 Systemlösningar**

Det har inte under utredningens genomförande framgått om några direkt gasanknutna systemstudier av kraftvärme utförs

eller har utförts vid svenska högskolor. En stor del av den fjärrvärmerelaterade forskningen kan överföras till studier av systemlösningar men av störst nytta för gasbranschen torde vara temperaturnivåer i nätet och små system.

Fjärrvärmegruppen vid avdelningen för Energihushållning vid LTH föreslår ett projekt om termiska och miljömässiga prestanda som funktion av anläggningsstorleken. Detta avser småskalig kraftvärme såväl som mikrokraftvärme.

### 3.4.2 Apparatutveckling

#### Förbränningsmotorer

Den största delen av förbränningsmotorforskningen vid de svenska högskolorna är inriktad på förbränning, emissionsbildning och verkningsgrad. Förbränningsmotorforskningen är beskriven i avsnitt 3.4.3 "Emissionsbegränsningar". Motortillverkarna svarar i huvudsak för den övriga motorutvecklingen.

#### Gasturbiner

Flera institutioner är inblandade i arbeten kring gasturbiner. Mycket kortfattat omnämns de här. Gasturbiner används idag oftare i ren kraftproduktion än i kraftvärmeproduktion.

Vid LTU, institutionen för Energiteknik, studeras snabb träpulverförgasning omedelbart före gasturbinens brännkammare. Tekniken skall kunna användas för gasturbiner med måttliga inloppstemperaturer, 800–1000°C. En atmosfärisk förgasare med effekten 300 kW har provats [40].

Flera institutioner och avdelningar vid

KTH arbetar med olika gasturbinrelaterade uppgifter. Vid avdelningen för Kraft- och Värmeteknologi studeras strömningen genom gasturbinen, träpulvereldning och NO<sub>x</sub>-bildning vid användning av lågvärdesgaser (hög N<sub>2</sub>-halt). Avdelningen för Energiprocesser studerar externeldade gasturbiner och evaporativa gasturbincykler. Externeldningen avser olika former av biomassa och den evaporativa gasturbincykeln beskrivs närmare på sidan 27 i avsnittet om demonstrationsprojekt.

Rekuperatorer för gasturbiner, kylning av brännkammareväggar och intern kylning av gasturbinskovlar studeras vid avdelningen för Värmeöverföring vid LTH.

Flertalet av de nämnda institutionerna och avdelningarna samarbetar i Gasturbincentrum GTC, se sidan 8.

Många av de nämnda arbetena berör eldning i gasturbiner med mer komplicerade eller "sämre" bränslen än naturgas och torde därför inte vara av direkt intresse för dagens intressentkrets inom SGC.

#### Bränsleceller

Bränsleceller ger genom den kemiska elgenereringen en hög elverkningsgrad, tyst drift och framför allt mycket låga emissioner. Forskning och utveckling av bränsleceller i större eller mindre skala har förekommit i Sverige åtminstone sedan 1960-talet då ASEA arbetade med bränsleceller för ubåtsdrift. Idag studeras de för många olika applikationer, tex kraftproduktion, kraftvärme och fordon.

I Sverige har storskaliga försök med närmast kommersiell teknik gjorts de senaste åren. Naturgasdrivna bränsleceller med fosforsyraelektrolyt från Fuji (50 kW<sub>el</sub>, 2 st)

och ONSI (200 kW<sub>el</sub>, 2 st) är eller har varit i drift. NUTEK har finansierat ett program på ca 2 miljoner kronor årligen inriktat på katodmaterial, elektroder och systemanalys av karbonat-smälteceller. Elforsk administrerar ett treårsprogram om stationära bränsleceller sedan 1998. Programmet omfattar 10 miljoner kronor varav 50% är avsedda enbart för högskolor. Bränsleceller för exempelvis fordonsbruk studeras inom MISTRAs program "Batteries and Fuel Cells for a Better Environment".

Vid institutionen för Värme och kraftteknik vid LTH skall man studera högtemperaturbränsleceller (SOFC, Solid Oxide Fuel Cells) och gasturbin i ett integrerat system. I en fortsättningsetapp planeras en bränslecell kopplas till den befintliga gasturbinen vid institutionen. Avdelningen för Energiprocesser vid KTH skall utföra systemstudier av stationära bränsleceller i småskalig kraftvärmeproduktion. Man tänker sig i båda fallen naturgas som bränsle och i framtiden förgasad biomassa som alternativ.

Avdelningen för Kemisk teknologi vid KTH har både forskning kring komponenter och system. På komponentsidan fokuserar man på de kemiska processerna och på systemsidan görs simuleringsstudier av kompletta anläggningar, se tex [41]. Vid avdelningen för Elektrokemi vid KTH studeras komponenter i bränsleceller (karbonat-smälta och polymerer). Inget arbete tycks vara inriktat på bränslet.

Den svenska högskoleforskningen är inriktad mot bränslecells-konstruktioner som inte prioriteras av naturgasintressenterna inom överskådlig tid, nämligen karbonat-smälteceller. Den högre arbetstemperaturen ger möjlighet att skapa en ångcykel

och därmed en ren kraftproduktion.

Dagens, i det närmaste kommersiella, bränsleceller med fosforsyre-elektrolyt lämpar sig som kraftvärmeanläggningar. Av dagens svenska högskoleforskning torde systemstudierna vid KTH kunna ha ett visst intresse för naturgasintressenterna.

## Stirlingmotorer

Man kan märka ett ökat internationellt intresse för stirlingmotorer i små kraftvärmeanläggningar, ned till 0,8 kW<sub>el</sub> uteffekt. Vibrationsfri drift och låga emissioner tack vare den kontinuerliga förbränningen gör stirlingmotorn lämplig i byggnadsinstallationer. Elverkningsgraden är ca 25–30%, vilket gör kraftvärmeanläggningar med stirlingmotorer mer beroende av relationen mellan el och gaspris. Hög specifik vikt utgör inget problem i sådana stationära installationer.

I Sverige har stirlingmotorer studerats och utvecklats under många år, bla inom företaget United Stirling. Företaget deltog i utvecklingen av motorn V160 och de stirlingmotorer som finns i Kockums ubåtar. Professorn vid avdelningen för förbränningsmotorer vid LTH, Gunnar Lundholm, har tidigare varit verksam här.

Motorn V160 utvecklades under 1970-talet och marknadsförs idag av Solo Kleinmotoren i Tyskland. Motorn finns i en soldriven version i en spansk prototyp-anläggning och i en gasdriven kraftvärmeanläggning. Avdelningen för Förbränningsmotorer har utvecklat en gaseldad brännkammare att användas nattetid i den soldrivna versionen.

Stiftelsen TEM utvecklade en motor med 3 kW<sub>el</sub> uteffekt. Det norska företaget Sigma



tänker använda motorn i en kraftvärmeanläggning i första hand avsedd för naturgas.

### 3.4.3 Emissionsbegränsningar

#### SGCs syfte:

*... att utveckla och demonstrera kraftvärmeteknik som, med bibehållen hög verkningsgrad, kan drivas med låga emissioner och låga driftkostnader. Speciell uppmärksamhet skall ägnas åt mindre anläggningar.*

#### Förbränningsmotorer

Gas som bränsle har varit en utgångspunkt för forskningen vid avdelningen för Förbränningsmotorer vid LTH. Ingen annan svensk institution eller avdelning har gjort lika mycket arbete inriktat på gasformiga motorbränslen. Man har under flera år arbetat med förbränning och emissionsbildning i ottomotorer med magerdrift eller "lean-burn".

Mycket av arbetet är samlat i Johanssons doktorsavhandling från 1995 [42]. Verksamheten är experimentell och en från diesel-till ottoprocess ombyggd Volvomotor används. I denna finns en cylinder med optisk tillgänglighet. Förutom egna metoder för diagnostisering har teknik från avdelningen för Förbränningsfysik vid LTH använts. Låg  $\text{NO}_x$ -bildning vid höga luftöverskott prioriteras. Ett högt luftöverskott innebär att den laminära flamhastigheten sjunker. En höjd turbulensgrad innebär dock en snabbare flamutbredning.

Man har studerat den tidiga flamutbredningen kring tändstiftet. I Olssons licen-

tiatrapport [43] studerades olika kolvtoppsutformningar och hur turbulens och emissionsbild påverkades. I Egnells licentiatrapport [44] studerades skikt-laddning i ett koniskt förbränningsrum.

Ett annat projekt med direkt gasanknytning som bedrivs idag vid LTH är studier av den sk ATAC-processen. Denna är ett mellanting mellan otto- och dieselprocessen. Bränsle och luft blandas före cylindern och självantänder tack vare ett högt kompressionsförhållande, homogen kompressionsantändning. Fördelen är mycket låga  $\text{NO}_x$ -emissioner på bekostnad av höga halter oförbränt. Verkningsgraden är högre än i ottoprocessen. Tekniken skall studeras experimentellt. En ATAC-motor är med dagens kunskapsnivå svårreglerad och den lämpar sig bäst i stationära installationer, tex kraftvärmeanläggningar. Reglering av processen skall också studeras.

På CTH planeras en Wärtsilä gasmotor att placeras i kraftvärmecentralen. Tanken är att anläggningen skall leverera el och vara kopplad till Göteborgs fjärrvärmenät. Samtidigt kan den användas som en forskningsmotor. Inriktningen skulle då vara mot stora stationära gasmotorer med förkammare. Det är möjligt att gasmotorn installeras under 1999.

Kompetenscentrum Förbränningsmotorteknik (CERC) är förlagt till CTH. Gas är inte prioriterat som bränsle. Studier av bla dieselmotorer görs vid institutionen för Termo- och fluidmekanik vid CTH och avdelningen för Förbränningsmotorer vid KTH. Förbränningsmotorrelaterade delprojekt med gasinriktning ingår i kompetenscentrum Förbränningsprocesser vid LTH.

## Gasturbiner

$\text{NO}_x$ -emissionerna hos stationära gasturbiner har reducerats drastiskt de senaste åren genom användning av sk torr låg- $\text{NO}_x$ -teknik, vilken innebär utnyttjande av ett högt luftöverskott och ibland även stegförbränning. Alla större gasturbintillverkare erbjuder sådan teknik i gasturbiner med effekt över 1 MW.  $\text{NO}_x$ -nivåer under 50 mg/MJ garanteras med tekniken. En ABB GT10 med 22 MW effekt finns i Lund. Alternativa tekniker som ger ungefär likvärdiga  $\text{NO}_x$ -nivåer är katalytisk avgasrening och Cheng-cykeln (STIG), dvs vatteninsprutning i brännkammaren.

Arbete med ytterligare sänkt  $\text{NO}_x$ -bildning pågår vid både KTH och LTH. Vid KTH studeras katalytisk förbränning av lågvärdesgas i monoliter vid avdelningen för Kemisk teknologi. Användningsområdet är en integrerad förgasnings- och kombicykel (IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle). I det sk EvGT-projektet vid LTH skall också  $\text{NO}_x$ -bildningen studeras vid befuktning av förbränningsluften. Projektet beskrivs i nästa avsnitt.

## Stirlingmotorer

Forskningen vid avdelningen för Förbränningsmotorer vid LTH har koncentrerats till brännkammaren. I Nilssons licentiatrapport från 1993 [47] redovisas mätningar och beräkningar för en förblandad brännare med luftförvärmning. Parametrar som gas-effekt, lufttal, avgasrecirkulation och inloppstemperatur varierades. Idag har arbetet återupptagits och man studerar brännkammare med intern avgasrecirkulation.

## 3.4.4 Demonstration av kraftvärme

### SGCs syfte:

*... att demonstrera småskalig kraftvärmeteknik, även sådan teknik som baseras på alternativa tekniker (stirlingmotorer, bränsleceller e tc)*

Demonstration är inte direkt en högskoleangelägenhet. Högskolornas uppgift kan vara systemstudier och insatser inom problemområden som identifierats i demonstrationsprojekt. De kan även utföra oberoende utvärderingar av demonstrationsanläggningar.

Ett starkt högskoleanknutet projekt är byggandet av världens första evaporativa gasturbinanläggning vid LTH. Projektet avser att demonstrera funktionen hos en evaporativ gasturbincykel där vatten tillsätts den värmda förbränningsluften efter kompressorn. Teknikens potential är hög verkningsgrad för både små och stora gasturbiner, goda dellastegenskaper, låga emissioner av  $\text{NO}_x$  och lägre investeringskostnader än för en kombicykel. Tekniken kan användas för både kraftvärmeanläggningar och för kraftproduktion som alternativ till en kombicykel.

Anläggningen är byggd kring en Volvo VT600 gasturbin med 600 kW axeleffekt. Inblandade parter är institutionen för Värme- och kraftteknik vid LTH, avdelningen för Energiprocesser vid KTH, Volvo Aero, ABB Stal, Vattenfall, Sydkraft, Elforsk och Elkraft (Danmark). Idag har gasturbinen provats och kommer att köras med vattentillsats under 1998. Tekniken är beskriven i Roséns licentiatrapport [45] och EvGT-projektet i bla [46].

### 3.4.5 Föreslagna projekt: Kraftvärme

- Termiska och miljömässiga prestanda som funktion av anläggningsstorleken

## 3.5 Fordon

Dagens stora intresse kring alternativa drivmedel inkluderar även naturgas och biogas. SGC deltar i projekt med koppling till gasdrivna fordon. Tekniken för naturgasdrivna fordon är idag kommersiell, t ex är flertalet av Malmös stadsbussar naturgasdrivna.

### 3.5.1 Miljö, buller/emissioner /arbetsmiljö

#### SGCs syfte:

*... samordna utvärderingar av gasdrivna fordon. Utvärderingarna genomförs av oberoende och objektiva parter i rapporter*

Undersökningar kring emissioner från naturgasdrivna fordon har gjorts vid avdelningen för Miljöteknik vid LTU [48]. Avdelningen har arbetat med tunga motorer och reningsteknik sedan mitten av 1970-talet. Buller, bl a i motorer, är ett parallellt forskningsområde. Man har tidigare inte arbetat med gasformiga motorbränslen utan med diesel, etanol, metanol och blandbränslen samt tillsats av tändförbättrare. Man tycks ha den kompetens som SGC söker för att uppfylla syftet i FUD-planen.

## 3.6 Distributions- och lagringsteknik

Distributions- och lagringsteknik omfattar de icke-termiska delarna i SGCs verksamhet. Distributionstekniken gäller den del av gasnätet där gastrycket är maximalt 4 bar. Ledningarna är nästan uteslutande i plastmaterial. Här ingår även mätning av förbrukad gas hos kunder och i nätets olika delar. Lagring gäller även gasnätets högttrycksdel, stamnätet.

### 3.6.1 Materialteknik

#### SGCs syfte:

*... bevaka utvecklingen av nya material (polymera och metalliska) och kartlägga dessa nya materials mekaniska och kemiska egenskaper samt lämplighet för gasdistribution och gaslagring*

Arbete med PE-rörs livslängd har gjorts vid institutionerna för Polymerteknologi och Hållfasthetslära vid KTH. De har tillsammans med Studsvik Material varit svenska deltagare i EVOPE, ett projekt med uppgift att ta fram en livslängdsmodell för polyetenrör för gasdistribution. Man undersökte olika former av spricktillväxt i materialet. Resultaten finns samlade i Hedenqvists doktorsavhandling [49] och Tränkners licentiatrapport [50]. Här behandlas även gasdistribution. EVOPE-projektet sammanfattas i [51].

Nylon är ett alternativt ledningsmaterial som kan användas i Sverige. Hittills har inga studier gjorts avseende livslängd, hållfasthet eller sammanfogning.

Materialstudier för andra tillämpningar, tex CNG-tankar (Compressed Natural Gas), har inte förekommit vid de svenska högskolorna.

### 3.6.2 Mätteknik

Mätning av gasflöde och -energi är viktigt i gasnätets alla delar. Forskningsområden är bla mätsystemets noggrannhet och långtidsprestanda, utveckling av nya mätartyp-er, tex ultraljudsmätare för både små och stora flöden, samt fjärravläsning för debitering. För energimätning krävs oftast kunskap om gassammansättningen.

#### **SGCs syfte:**

*Mätteknikområdet skall bevakas och nya mätartyper skall testas och utvärderas.*

*Kostnader för underhåll och bibehållande av god mätnoggrannhet i befintliga mätare studeras*

Mätteknisk forskning med gasanknytning utförs av en forskningsgrupp vid institutionen för Systemteknik vid Luleå Tekniska Universitet under ledning av professor Jerker Delsing. Arbetet, som är inriktat mot energimätning, omfattar även fjärrvärmeapplikationer. Arbetet inleddes vid Institutionen för Elektrisk mätteknik vid LTH, fortsatte vid Värme- och kraftteknik vid LTH och är nu överflyttat till Institutionen för Systemteknik vid LTU.

Det första arbetet är redovisat i Delsing doktorsavhandling 1988 [52]. Här behandlas ultraljudsflödesmätare för gas med sing-around-principen.

Idag studeras metoder att avslöja felaktiga gasmätare genom mätaravläsningar, se tex [53]. Felaktiga bälloggsmätare kan

identifieras genom att mäta rotationen på den utgående axeln till integreringsverket. Metoden är redovisad i [54]. Även en metod att upptäcka felaktiga mätare genom onormala värden på gasförbrukningen har utvecklats. Resultaten är samlade i Nilssons licentiatrapport från 1997 [55]. Båda metoderna innebär att felaktiga mätare kan identifieras utan att de behöver demonteras och provas i en kalibreringsrigg. Vid LTH finns idag en kalibreringsrigg för gasmätare. Denna är beskriven i bla [56], se också sidan 39.

Forskargruppen har tidigare studerat installationseffekter som ”sned” flödesprofil och pulserande flöde i ultraljudsmätare. Flödesprofilens inflytande studerades med hjälp av CFD-beräkningar. Installationseffekter är studerade i Holms licentiatrapport [57] och pulserande flöde i Håkansson’s licentiatrapport [58].

Det finns en nära koppling mellan flödesmätare och strömningsteknik. Strömningss fysik vid KTH anger en möjlighet att studera mätteknik för strömmande medier om finansiering kan ordnas.

Forskargruppen studerade under tiden vid LTH har även nya principer för energimätning av gas. Spridningen av ultraljud mot olika gasmolekyler har också studerats [59]. Detta skulle kunna ge information om gassammansättningen och möjlighet till on-line effektstyrning eller mätning.

### 3.6.3 Läggnings teknik

#### SGCs syfte:

*... i framtida ledningsnät kunna reducera läggingskostnaden och förenkla läggingsförfarandet till en bibehållen eller reducerad kostnad. SGC skall bevaka utvecklingen inom de läggningstekniker som redan finns framme.*

SGCs syfte innebär troligen inte att något högskolearbete initieras under den innevarande FUD-planens löptid. Ingen högskoleforskning på området har heller utförts. Någon lämplig institution kan inte pekats ut för eventuellt arbete.

### 3.6.4 Systemteknik

Området innehåller tekniska, ekonomiska och organisatoriska frågor. Många gånger innehåller systemfrågor delområden som direkt berör emissioner och miljö och skulle då också kunna beskrivas under t ex avsnitt 3.7.4 "Miljö, allmänt" på sidan 35.

#### SGCs syfte:

*... att skapa en bättre förståelse för systemsamband och hur olika delsystem i gassystem samverkar*

Området tycks mycket lämpligt för högskolestudier. Här kan såväl närliggande marknadsnära aspekter, t ex nätutbyggnad och effektuttag som framtida frågor, t ex alternativa gasförsörjningsmetoder studeras.

Ett gemensamt nordiskt naturgasnät har studerats vid CEE (Centrum för Energiekonomi) vid Göteborgs universitets samhällsvetenskapliga fakultet. I redovisningen från

1992 [60] förs en diskussion om geografiska förutsättningar, prissättning och konkurrens, skalekonomi och kostnadsfördelning samt industriell gasanvändning.

Det finns modeller för energianvändningen på lokal, regional, nationell och global nivå och de kan användas för bedömningar av bl a de olika energikällornas användning och deras emissioner. Bland dessa modeller finns MARKAL, som utnyttjas av avdelningen för Energisystemteknik vid CTH.

Avdelningen föreslår ett arbete om förbättringar av gasmodellen i MARKAL. Arbetet är lämpligt som examensarbete.

Av intresse för gasbranschen är också en modell för avfallssystem, MIMES/Waste, som kan användas för biogasstudier.

En annan modell har utvecklats vid institutionen för Stadsbyggnad vid CTH. I modellen, URELOC (Urban Element Location), delas det aktuella geografiska området in i sektorer om  $500 \times 500$  m. För varje sektor kartläggs det lokala klimatet, energiförsörjning och transportsystem. Modellen har hittills använts för forskningsändamål, d v s utvecklats och verifierats.

Institutionen för Energi- och miljösystem vid LTH studerar i sin forskning områden som klimatförändringar, förnyelsebar energi, övergripande organisation samt förändringar av energisystem.

Från avdelningen för Energihushållning vid LTH föreslås studier av effektbehov (Demand Side Management DSM), en studie av nybyggnad av ett gasdistributionsystem jämfört med renovering av befintliga centrala energidistributionsystem såsom fjärrvärme eller el och en studie av naturgas och förnyelsebara energikällor i samverkan.

### 3.6.5 Infrastruktur CNG

#### SGCs syfte:

*... utreda förutsättningarna för gasdrivna fordon i Sverige. Tekniska frågeställningar som speciellt skall uppmärksammas är möjligheter till förenklad teknik och kostnadsreduktioner i samband med uppförande och drift av tankningsstationer*

CNG (Compressed Natural Gas) avser oftast lagring av naturgas under högt tryck i fordon. Teknikområdet omfattar exempelvis produktutveckling, marknadsundersökningar, normer, standardisering. Inget högskolearbete synes vara aktuellt för närvarande.

### 3.6.6 Bränslen för fordonsdrift

Naturgasdrivna fordon i Sverige finns idag huvudsakligen i Malmö/Lund-regionen och i Göteborg. Biogasdrivna fordon finns i bl.a. Trollhättan, Linköping och Stockholm. Biogas renas till fordonskvalitet och har då en metanhalt på 98 vol-%. Naturgas i Sverige innehåller ca 91 vol-% metan och har en större andel tyngre kolväten.

Om fordonen skulle kunna köras på båda dessa bränslekvaliteter skulle användningsområdet öka väsentligt. Möjligheten att i samma motor använda renad biogas och naturgas har alltså en infrastrukturell aspekt.

#### SGCs syfte:

*... fokuseras på möjligheterna att använda varierande kvaliteter av gas i samma fordon, exempelvis biogas och naturgas. Kvalitetskrav på respektive gasprodukt skall kunna följas upp mot angiven specifikation*

Avdelningen för Förbränningsmotorer vid LTH har inlett ett arbete med syftet att uppfylla målet i SGCs FUD-plan. Problemet är att dagens styrsystem justeras in efter en bestämd bränslekvalitet, vilket försvårar användning av andra gassammansättningar. Man avser att studera olika givare så att motorstyrningen kan åstadkomma en god körbarhet. Projektmålen är att naturgas med 92–99 vol-% metan och renad biogas skall kunna användas. Värmevärdet skall få variera 15%.

### 3.6.7 Säkerhet

Tidigare har några säkerhetsstudier rörande naturgas utförts vid institutionen för Brandteknik vid LTH [62–64]. Studierna finansierades av NUTEK och Räddningsverket och. De två första rapporterna beskriver risker vid gasvärme i bostäder. Apparatuppbyggnad och funktion beskrivs följt av en genomgång av olyckor som inträffat i Sverige fram till 1989. Undersökningar av värmeinstallationer redovisas. I den tredje rapporten förs ett allmänt resonemang om risker. Detta överförs till gassystemet.

**SGCs syfte:**

*... inriktas mot sådana områden där tekniskt underlag saknas för att säkerställa säkerhetsmässigt godtagbara lösningar. Exempel på detta kan vara säkerhetstekniska frågor rörande tankning av naturgasfordon, ny teknik för odorisering av naturgas och biogas*

SGCs syfte inom säkerhetsområdet är inte detsamma som de redovisade arbetena. Det tycks som om det idag inte finns några högskolebaserade arbeten med den inriktningen.

### 3.6.8 Lagringsteknik

För storskalig långtidslagring och säsongslagring i traditionella gaslager som kaverer och akviferer saknas geologiska förutsättningar i Sverige. Teknik för bergrumslagring har därför utvecklats vid CTH och KTH.

**SGCs syfte:**

*... bedöma behovet av mätningar, mätmetoder, placering av mätceller etc för att under driftfasen göra det möjligt att genomföra relevanta analyser av den valda tekniken*

Lagren består av kaverer 100–150 m under markytan. Ett betongskikt överför gastrycket till bergväggen och en stålbeklädnad fungerar som tätskikt mot den lagrade gasen. En pilotanläggning har uppförts i Grängesberg. Några publikationer är [65] (läckagedetektering) och [66] (pilotförsök i Grängesberg).

Den första fullskalanläggningen skall nu byggas i Halland.

### 3.6.9 Föreslagna projekt: Distributions- och lagringsteknik

- Demand Side Management (DSM)
- Nybyggnation av ett gasdistributions-system jämfört med renovering av befintliga centrala energidistributions-system
- Naturgas och förnyelsebara energikällor i samverkan
- Förbättrad gasmodell i MARKAL
- Mätteknik för strömmande medier

## 3.7 Övrigt inklusive miljö

I SGCs FUD-plan samlas de områden som inte direkt passar in i de tidigare under rubriken ”Övrigt”. Här ingår områden som informationsverksamhet, utbildning, emissioner, miljöfrågor och livscykelanalyser.

### 3.7.1 Teknikbevakning och information om energigas

**SGCs syfte:**

*... god inblick i den internationella gastekniska FUD-verksamheten så att dessa rön skall kunna användas inom svensk gasindustri*

Teknikbevakning med syfte att sprida andra organisationers resultat hör inte till

universitetets och högskolors uppgifter. Informationen om den egna forskningen kan många gånger förbättras.

Energigasinstitutet vid LTH har en uppgift att sprida information inom och utom högskolorna. Tillsammans med SGC utges den kostnadsfria "Gastekniskt Newsletter".

Till teknikbevakning och informations-spridning kan också räknas de symposier, som organiserades av Energigasinstitutet och Sydkrafts forskningsstiftelse på 1980-talet. Dessa utvecklades från att ha en allmän karaktär [67] till att vara inriktade på en särskild teknik, IR-teknik [68], gastillämpningar inom industrin [69] och direkttorkning av foder och livsmedel [70]. Symposierna var välbesökta.

Det finns idag tillräcklig svensk teknikkompetens för liknande symposier eller seminarier. Vid en utbyggnad av det svenska naturgasnätet kan sådana återigen vara aktuella för kunskaps- och informations-spridning.

Utvecklingen av framför allt Internet har förenklat teknikbevakningen för enskilda forskare och övriga. Branschorganisationers hemsidor med många länkar är bara ett exempel. Kvaliteten på informationen är dock högst varierande. Sverige är genom SGC medlem i International Centre for Gas Technology Information (ICGTI). Ett antal användaridentiteter har delats ut till högskoleforskare.

Vid Energigasinstitutet har ett biblioteksprogram, EGIL, utvecklats, som även används vid SGC och är värdefullt som litteraturservice åt forskare och studenter. Energigasinstitutet använder IGUs (Internationella Gasunionen) klassificeringssystem medan SGC använder en egenutvecklad klassificering. EGIL är en tillämpning

under Filemaker Pro tillgänglig för Windows och Mac. Programmet används även av fjärrvärmegruppen vid Institutionen för Värme- och kraftteknik, LTH.

### 3.7.2 Kompetensuppbyggnad

För gasbranschen handlar kompetensuppbyggnad om att åstadkomma hög kompetens i den egna organisationen, spetskompetens på de tekniska högskolorna och ett bredare kunnande om energigaser i samhället i övrigt inräknat tillverkande industri.

#### SGCs syfte:

*... verka för en utbyggnad av den grundutbildning inom gasteknik som förekommer vid de svenska högskolorna. SGC skall stödja utvecklingen av spetskompetens inom för Sverige strategiskt viktiga teknikområden*

Enkäten visar att högskoleförlagd utbildning i gasteknik finns vid Värme- och kraftteknik vid LTH och LTH-Malmö. Värme- och krafttekniks kurs i Energigasteknik är en frivillig kurs i civilingenjörsutbildningens 4:e år. Kursen omfattar hela kedjan från gasens utvinning eller produktion till slutanvändningen. Dessutom ingår gasers fysikaliska och termodynamiska egenskaper samt miljökonsekvenser av energigas-användning. Normalt läser 10–20 studenter kursen varje år. Kursen har erbjudits sedan 1985.

Energigasutbildningen vid LTH-Malmö är mer praktiskt inriktad och riktar sig mot praktiserande tekniker och ingenjörsutbildningen. Kursmomenten under höstterminen 1997 var inriktade mot normer, före-



skrifter, dimensionering av installationer, användning och konvertering.

Flera andra institutioner anger att de har energigasrelaterade moment i sina kurser. Detta gäller kurser inom termodynamik, strömningsteknik, byggnadsteknik, energi-användning m m.

Vad gäller kompetensuppbyggnad avseende forskarexamina finns ingen uttalad åsikt eller målsättning från gasbranschen. Personer med forskarexamen kan välja mellan att stanna kvar på högskolan för fortsatt forskning, övergå till tillverkande industri, övergå till gasdistributörerna eller välja arbetsmarknaden utanför dessa områden. Av de personer som hittills avlagt forskarexamina inom direkt gasanknutna områden tycks ingen idag ha anställning inom gasbranschen. Endast någon enstaka person tycks vara anställd inom tillverkande industri med arbetsuppgifter nära det tidigare forskningsarbetet. Gasbranschen bör tydligare nämna nyttan man förväntar sig av den spetskompetens som högskoleforskningen ger.

### 3.7.3 Andra energigas

Av Sveriges totala energigas användning på ca 25 TWh/år svarar svarar naturgas för ca 9 TWh, gasol för 6 TWh, stadsgas för 0,5 TWh, biogas 1 TWh, koksugns- och hyttgas 6 TWh samt vätgas 3 TWh.

#### **SGCs syfte:**

*...främst vara att studera och fastlägga modeller för samspelet mellan de "konventionella" energigaserna och de "alternativa", antingen de konkurrerar med varandra eller kompletterar varandra*

*SGC:s engagemang i biogastekniken skall främst riktas mot användning av biogas och endast i sekundär omfattning mot framställning av biogas.*

*Inom området vätgas skall främst metoder för rationell vätgasframställning och nya användningsområden för vätgas bevakas.*

### **Biogas**

Biogas från avfallsdeponier (deponigas) och rötammare i avloppsreningsverk (rötgas) tillhör inte SGCs primära insatsområden. Här omnämns i korthet några högskolearbeten på området.

"Samordnad deponigas – FUD" var ett projekt som inleddes 1989 och avsåg att demonstrera teknik för bl a ökad deponigasutvinning. Projektet var en samverkan mellan renhållningsföretag och forskare, tex Upplagsgruppen vid institutionen för Samhällsbyggnad vid LTU.

I Åkessons doktorsavhandling [71] från institutionen för Teknisk vattenresurslära vid LTH studerades deponigasproduktion från nybyggda bioceller i avfallsdeponier. Avfallet sorteras mellan de olika cellerna. Horisontella rörledningar för gasutvinning läggs redan vid byggandet till skillnad från gamla deponier där vertikala rör installeras.

I Lagerkvists doktorsavhandling [72] studerades tvåstegs anaerob nedbrytning. Det är ett alternativ till konventionell upplags-

teknik. ”Samordnad deponigas – FUD” redovisas i [73].

I en rapport om biogas, rötgas, från jordbruksgrödor 1993 [74] redovisas dagsläget. Arbetet hänförs till området bioenergi och projekten utförs ofta av lantbruksanknutna organisationer, kommunala bolag samt tillverkare. Rapporten anger följande institutioner och högskolor som aktiva: institutionen för Mikrobiologi vid SLU och Högskolan i Karlstad. Högskelearbeten berör främst grundläggande studier av de biologiska processerna. Doktorsavhandlingar från SLU med denna inriktning har skrivits av Nordberg [75] och Jarvis [76].

## Gasol

Vid institutionen för Brandteknik vid LTH har ett datorprogram för beräkning av risker i samband med haverier på gasoltankar. Programmet, GASOL, simulerar gasolutsläpp och är avsett för räddningskårer. Det beräknar spridning och koncentrationer i luften samt värmestrålning vid antändning och tryck i händelse av en explosion. Programmet kan fritt hämtas på en av institutionens hemsidor, [www.brand.lth.se/dator/downg.htm](http://www.brand.lth.se/dator/downg.htm).

## Vätgas

Vätgas används idag bla där den erhålls som biprodukt, t ex inom petroleumindustrin och många gånger har det talats om ett framtida vätgassamhälle. Högskelearbeten om vätgas tycks vara avgränsade till ett antal examensarbeten, som huvudsakligen ligger inom området systemteknik. I övrigt har studier av vätgas gjorts på Sydkraft och

under 1980-talet gjordes några studier av fordonsdrift med vätgas.

Vätgasproduktion med hjälp av solceller, lagring och användning i bränsleceller berörs i examensarbeten från institutionen för Värme- och kraftteknik och avdelningen för Kemisk apparatteknik vid LTH [77, 78]. Produktion och lagring av vätgas i större skala samt säkerhetsaspekter på vätgaslager har studerats i ett examensarbete från institutionen för Fysisk resursteori vid CTH [79].

Två examensarbeten vid avdelningen för Energihushållning vid LTH berör effekterna av vätgasinblandning i naturgas. I det första examensarbetet [80] studerades tillståndsekvationers tillämplighet då vätgas tillsätts naturgas. Resultatet kan användas för bla tryckfallsberäkningar i gasledning. Det andra examensarbetet berörde förändringar i  $\text{NO}_x$ -bildningen vid tillsats av vätgas i naturgas [81]. Brännare för villapannor studerades experimentellt och teoretiskt.

### 3.7.4 Miljö, allmänt

I miljöstudier på nationell nivå, t ex mängden av olika emissioner, kan modeller som beskrivits i avsnittet ”Systemstudier” användas. Modeller som exempelvis MARKAL är lämpliga.

#### **SGCs syfte:**

*... att klarlägga energigasernas miljöpåverkan i jämförelse med andra energilag som biobränsle, kol, olja, el e t c. Miljöpåverkan allt från global påverkan som växthuseffekt, till lokal påverkan vid användning för lokal värme- eller elproduktion skall studeras*

Området synes väl lämpat för högskolearbete. SGC anger att LCA-teknik speciellt skall uppmärksammas för studier inom området, se nästa avsnitt.

### 3.7.5 Livscykelanalyser, LCA

Livscykelanalyser (LCA) används för att kartlägga en produkts totala resursbehov och miljöpåverkan under dess livstid. För en produkt som naturgas betraktas hela kedjan från utvinning till slutanvändning.

#### SGCs syfte:

*... kartlägga och sätta sig in i de olika metoder som tagits fram och systematisera de studier som redan genomförts, dels att genomföra konkreta livscykelanalyser för energigas och andra bränslen.*

*Samarbete med andra energiorgan i Sverige (Elforsk, Fjärrvärmeföreningen, Biogasföreningen m.fl) bör eftersträvas för enhetlig behandling av LCA-data.*

Ett av NUTEKs kompetenscentra är inriktat på livscykelanalyser och placerat vid CTH. Vid Chalmers har man arbetat med LCA sedan 1990. Kompetenscentrets arbete är indelat i tre områden: metodutveckling, databas och verktyg samt tillämpningar. Baumanns doktorsavhandling [82] från institutionen för Teknisk miljöplanering innehåller bla en jämförelse av tre LCA-metoder vid en studie av emissioner från förbränning.

SGC och dess intressenter har idag störst intresse av databaser och verktyg samt tillämpningar och arbetet vid CTH bör uppfylla många av de önskemål SGC har på området.

### 3.7.6 Emissioner, allmänt

#### SGCs syfte:

*... verifiera de låga emissioner som förekommer vid användning av ny gasteknik samt att gynna utvecklingen av ny utrustning med ännu lägre emissionsnivåer.*

*... även omfatta de totala emissionerna från användningen.*

Området innehåller såväl tekniska som icke-tekniska delar, tex emissionsmätningar och miljömärkning.

Naturgas ger liksom andra fossila bränslen ett nettotillskott av CO<sub>2</sub> till naturen, dock i mindre mängd än vid kol- och oljeeldning, tack vare en högre vätehalt i bränslet. Under de senaste åren har möjligheterna att separera och deponera bildad CO<sub>2</sub> ur avgaserna diskuterats. Avdelningen för Kemisk teknologi vid KTH föreslår ett arbete kring detta.

Av tillverkaren angivna låga emissionsnivåer kan verifieras i laboriemätningar där olika stationära och icke-stationära driftbetingelser kan simuleras. Den totala emissionsbilden kan då kartläggas, även under icke önskade driftbetingelser. Området har även berörts i diskussionen om gaspannor, se sidan 20.

Fältmätningar bör främst inriktas mot långtidsprestanda och hur väl de emissionsbegränsande åtgärderna fungerar i de skiftande installationer som finns.

Det är värt att notera att det idag inte är möjligt med Vita Svanen-märkning av gaseldade villapannor pga att det saknas kriterier för märkning. Gaspannor har nästan alltid lägre emissioner än pannor och brännare avsedda för andra bränslen.

Högskolornas möjliga insatser på området gäller främst laboriemätningar. Det finns idag tillgänglig utrustning för de flesta tänkbara mätningar, se vidare kapitlet om laboriereresurser med början på sidan 39.

### 3.7.7 Föreslagna projekt: Övrigt inklusive miljö

- Separation av CO<sub>2</sub> ur avgaser

## 3.8 Områden utanför SGCs FUD-plan

Det finns universitets- och högskoleförlagd gasanknuten forskning som inte direkt kan sorteras in under de olika rubrikerna i SGCs FUD-plan. Hit hör framför allt insatser på produktionssidan, t ex förgasning. I framställningen berörs dessa från utvinning till användning.

### 3.8.1 Gasproduktion

#### Gashydrater

Gashydrater har en kristallstruktur där kolvätemolekyler är bundna i vatten. De existerar under vissa givna tryck och temperaturer. Områden där gashydrater kan förekomma är exempelvis havsbottnar och permafrostområden. Det anses att mycket stora gasvolymmer finns bundna som gashydrater. Utvinningen är dock besvärlig och inga fyndigheter finns i Sverige.

Vid Uppsala universitet, avdelningen för Oceanografi, har man gjort studier av havsbottnar där gashydrater finns.

### Förgasning

Forsknings- och utvecklingsarbeten kring förgasning tycks vara inriktade mot system som skall kopplas samman med en bestämd process. Förgasningsteknik där gasen avses användas i ett större distributionssystem utvecklas inte vid de svenska högskolorna. Så länge produktgasen inte används i ett distributionssystem är förgasningsaktiviteter av begränsat intresse för gasföretagen.

Vid avdelningen för Kemisk teknologi vid KTH har man studerat såväl ingående processerna som pyrolys och tjärbildning som olika förgasningstillämpningar. Till de senare hör förgasning av jordbruksgrödor, förgasning av biomassa i trycksatt fluidiserad bädd, samtidig förgasning av biomassa och kol, uppgradering av produktgasen, rening av produktgasen för IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) och svartlutsförgasning.

Förgasningsforskning pågår också vid avdelningen för Kemisk teknologi vid LTH. Forskningen avser trycksatt förgasning av biomassa och man har tillgång till en 100 kW trycksatt förgasningsrigg.

### 3.8.2 Styrning och reglering

SGCs FUD-plan innehåller huvudsakligen insatsområden med termisk inriktning. De icke-termiska områdena berör oftast gasdistribution. Arbeten med anknytning till styrning och reglering har redovisats i avslutning till den aktuella tillämpningen. Här ges en kortfattad bild av tillämpad styr- och reglerteknisk forskning vid svenska tekniska högskolor.

Reglertekniska institutioner och avdel-

ningar finns vid alla högskolorna. Vid institutionen för Reglerteknik vid LTH utvecklas metoder och datorverktyg för framtagning av matematiska modeller för energiprocesser. Man har utvecklat en serie moduler för termisk kraftproduktion. Modellen skall valideras mot mätningar från kombicykeln med förgasning i Värnamo. Institutionen för Reglerteknik vid CTH är i sin forskning inriktad mot industriprocesser. Avdelningen för Reglerteknik vid KTH arbetar med processkontroll i pappers- och massaindustrin samt signalbehandling.

Institutionerna för Tillämpad elektronik och motsvarande har ingen forskning som direkt synes vara applicerbar i gastekniska sammanhang. Tillämpad elektronik vid CTH forskar kring signalbehandling, bildanalys och medicinsk elektronik. Vid LTH arbetar institutionen för Tillämpad elektronik med signalanalys och kretskonstruktion. Vid institutionen för Systemteknik vid LTU finns en avdelning för Reglerteknik som bl a arbetar med processstyrning och modellering med hänsyn till givaregenskaper samt avdelningen för Industriell elektronik där man bl a arbetar med mätteknik, se avsnittet om mätteknik på sidan 29.

Alla svenska gasdrivna fordon har idag motorer, som ursprungligen konstruerats för flytande bränslen. De levereras från fabriken med anpassning för gasformigt bränsle. Jämfört med ursprungsbränslet kan en del motoregenskaper förändras, tex vridmomentet.

Vid avdelningen för Fordonsteknik vid LiTh pågår forskning med anknytning till området. Intressanta forskningsprojekt här är modellering och styrning av kraftöverföring och fordonsdynamik. Exempel på in-

nehåll i det första är hastighetsstyrning och styrning av automatiska växellådor.

### **3.8.3 Debitering, informationsteknologi och processanalys**

Behövs någon gasrelaterad forskning på dessa områden som kan sammanfattas med termen "Kundservice"? Behovet av forsknings- och utvecklingsarbete är helt beroende av om gasdistributörerna även vill ge service i form av fjärravläsning och information om anläggningen inte fungerar på bästa sätt. Kunskap om mätteknik, modellering av processen eller pannan m m kan då utnyttjas.

### **3.8.4 Produktutveckling**

Hittills har högskoleforskningen inte varit inriktad mot produktutveckling i samarbete med tillverkande industri. Det har därför inte varit aktuellt med insatser från institutioner för exempelvis maskinkonstruktion. Dessa har ofta en forskningsinriktning mot konstruktionsmetodik.

# Kapitel 4

## Laboratorieresurser

### 4.1 Laboratorier för gas

Det finns endast ett fåtal svenska laboratorier speciellt avsedda för forskning kring gasformiga bränslen. Två kan nämnas som inte skapats med ett särskilt forskningsområde i tankarna. LTH-Malmö fick i samband med flyttningen till Kockumsområdet ett laboratorium och vid institutionen för Värme- och kraftteknik vid LTH erhöles medel från STU för ett gaslaboratorium. På grund av platsbrist och bristande intresse från omvärlden att upprätthålla det sistnämnda laboratoriet har utrustningen nu flyttats till andra specialinriktade laboratorier inom institutionen, varför ett allmänt gaslaboratorium inte längre finns vid institutionen.

LTH-Malmös laboratorium för gas är fördelat över tre lokaler med en total yta på 385 m<sup>2</sup>. Här finns basutrustning i form av fyra gaspannor av olika storlek, en vattenkyld högtemperaturugn (max. 1200°C, 200 kW), provningsriggar för gastrycksregulatorer samt luft/bränslekvote reglering och forskningsriggar för arbetet med IR-strålare och vätskevärmare. Laboratorierna försörjs med 4 och 0,1 bar naturgas. Man har också möjlighet att använda blandgaser från maximalt fyra flaskor. För avgaser och

kylning har man två system med kapaciteten 500 respektive 3000 kW.

Utrustningen vid gaslaboratoriet vid institutionen för Värme- och kraftteknik har som nämnts flyttats till andra laboratorier inom institutionen. Lokalen används nu till EvGT-projektet. Det finns dock kvar ett begränsat utrymme för provning av utrustning med maximalt 300 kW effekt. I samma lokal finns en kalibreringsrigg för gasflödesmätare. Denna har använts vid mätteknikforskningen, se sidan 29. Gashastigheten kan varieras mellan 0 och 20 m/s och rördiametern 10–50 mm. Det uppskattade felet är maximalt 0,17%.

Inom en överskådlig framtid kan även kraftcentralen vid CTH att kunna användas som gaslaboratorium. Detta är avhängigt beslutet om en naturgasledning till CTH.

#### 4.1.1 Tillgång till energigaser

Tabell 4.1 visar tillgången till olika energigaser vid de svenska tekniska högskolorna.

Tabell 4.1: Tillgång till energigaser vid svenska tekniska högskolor

	Naturgas (ledning)	Naturgas (flaska)	Gasol	Biogas	Annan gas
<b>CTH</b>					
Energiteknik		•	•		
Polymera material		•			
Geoteknik, avd. Bergbyggnad	•	•	•		
Kompetenscentrum CERC		•	•		
<b>KTH</b>					
Jord och Bergmekanik		•			
Energiprocesser		•	•		• <sup>a</sup>
Kemisk teknologi			•	• <sup>b</sup>	
Värme- och ugnsteknik		•	•		• <sup>c</sup>
Kraft- och värmeteknologi			•	• <sup>b</sup>	
Förbränningsmotorer					• <sup>a</sup>
Installationsteknik			•		• <sup>a</sup>
<b>LiTh</b>					
Mekanisk värmeteori och strömningslära			•		
<b>LTH</b>					
LTH-Malmö	•				• <sup>d</sup>
Värme- och kraftteknik	•				• <sup>d</sup>
Kemisk apparatteknik	•				
Kemisk teknologi	•		•		• <sup>e</sup>
Brandteknik		•	•		
<b>Umeå universitet</b>					
Miljö kemi, förbränningsgruppen			•		
<b>Högskolan i Växjö</b>					
Bioenergicentrum			•		

<sup>a</sup> Stadsgas

<sup>b</sup> Simulerad biogas

<sup>c</sup> Förgasad träpellets

<sup>d</sup> Blandgaser

<sup>e</sup> Förgasningsprodukt

Tabellen gör inget anspråk på att vara komplett utan är endast en sammanställning av de inkomna enkätsvaren. Naturgas i ledning finns endast vid högskolorna i Malmö och Lund. Kapaciteten är maximalt 2–3 MW. En naturgasledning till CTH diskuteras idag. Naturgas på flaska används på de flesta högskolor som inte har ledningsburen naturgas. Gasol är allmänt tillgänglig. Det framgår inte av enkätsvaren vilken kapacitet gasolanläggningarna har. Biogas och ”Annan gas” är ofta en produktgas som erhålls från reaktorer i laboratorieskala. Blandgaserna vid LTH-Malmö och LTH i Lund är gas från flaskor som kan tillsättas naturgasen.

Energigasens sammansättning analyseras med en gaskromatograf, ett standardinstrument på de flesta kemiinstitutioner. Värme- och kraftteknik vid LTH har en gaskromatograf speciellt avsedd för naturgasanalys, inklusive det svavelhaltiga odöriseringsämnet.

#### 4.1.2 Förbränningstekniska laboratorier

Utredningen har endast identifierat två platser med provplatser för brännare, LTH-Malmö och KTH. Vid LTH-Malmö kan gaseldade IR-strålare provas och utvärderas.

Brännare för industriugnar kan provas i den ugn som finns vid LTH-Malmö och i den flamugn som finns vid institutionen för Värme- och ugnsteknik vid KTH. I Malmö är den högsta effekten 200 kW och i Stockholm 1,5 MW.

Flera institutioner har LDA-utrustning för mätning av strömningsfält, tex i brännare.

### 4.1.3 Processtekniska laboratorier

#### Industritillämpningar

Endast vid Malmö Högskola finns ett laboratorium där industribrännare och andra industritillämpningar kan provas utan allt för mycket extra arbete. En flamtunnel vid Värme- och ugnsteknik vid KTH kan ge en ny provplats för stora brännare men idag finns ingen gasförsörjning.

En ångpanna, 3–5 MW, finns vid avdelningen för Kraft- och värmeteknologi vid KTH. Pannan lämpar sig för tex prov med nya brännare. För närvarande finns ingen gasförsörjning till ångpannan.

#### Uppvärmningsapparater

Med mätning av uppvärmningsapparaters prestanda avses möjligheten att förutom värmeeffekt också bestämma pannans verkningsgrad och även de individuella värmeförlusternas storlek vid olika driftsituationer. Villapannor kan provas på detta sätt vid avdelningen för Energihushållning vid LTH. Värmesystem och dynamik simuleras i dator och returtemperaturen till pannan beräknas. Stillestånds- samt strålnings- och konvektionsförluster kan också bestämmas.

Större pannor kan provas vid LTH-Malmö, dock utan möjlighet till bestämning av alla individuella förlustflöden.

#### Motorlaboratorier

Provplatser för förbränningsmotorer finns vid LTH, CTH, KTH och LTU. Vid LTH och KTH har man tillgång till gas för motordrift, naturgas i Lund och stadsgas i Stockholm.



## Kapitel 5

# Överväganden och rekommendationer

Högskoleförlagd forskning är bra för undervisning och spetskompetens genom avlagda forskarexamina. Gasföretagen har hittills inte anställt någon med forskarutbildning med energigasriktning utan endast utnyttjat projektresultaten. Den svenska högskoleförlagda energigasforskningen har en internationellt sett stor omfattning i förhållande till naturgasens andel av den svenska energiförsörjningen.

Kompetens inom ett särskilt område är oftast knuten till en eller ett fåtal personer på högskoleinstitutionerna. Det finns en risk att forskningen upphör på institutionen om personen(erna) slutar. Ett sätt att säkerställa kontinuiteten är att gasbranschen skapar förutsättningar för en professur. Som jämförelse kan nämnas att i kollektivforskningsavtalet mellan Fjärrvärme-föreningen och NUTEK strävar man efter att inrätta två professurer i fjärrvärmeteknik.

De nya regler som riksdagen beslutat om under våren 1998 angående doktorandtjänster och forskarutbildning kan möjligen förändra gasbranschens projektbeställningar. Nyantagna doktorander behöver nu en säkrad finansiering vid antagningen. Detta

kan leda till att mindre projekt måste utföras av disputerade forskare.

### **Slutsats/Rekommendation:**

*Högskoleforskning behövs för att gasbranschen skall få tillgång till kompetens och kompetensutveckling med tanke på konkurrerande energislag.*

I rapportens inledningen nämndes att fördelningen mellan högskolornas och gasdistributörens FUD-verksamhet är tydlig idag. Gasföretagen arbetar mest med demonstration medan utvecklings- och forskningsarbete är förlagt till högskolorna. Har utredningen visat om dagens arbetsfördelning mellan högskolor och gasföretag skall behållas eller ej i framtiden?

Dagens arbetsfördelning kan delvis förklaras med att högskolorna redan före naturgasintroduktionen inledde naturgasrelaterad forskning. Många projekt initierades av praktiska problem och frågeställningar, inte en önskan från gasföretagen om allmän kompetenshöjning på forskarnivå. Detta gäller speciellt de projekt som initierades och finansierades av dessa. Myndigheter som STU och STEV finansierade gas-

forskning i mer långsiktiga former, tex doktorandtjänster. Högskolorna skaffade då en forsknings- och utvecklingskompetens om gastillämpningar som annars troligen hade behövt utvecklas hos gasföretagen. Utan dessa tillämpningar hade den svenska gasanknutna högskoleforskningen troligen varit inriktad på traditionella högskoleområden som förbränning, emissionsbildning och strömningsteknik.

Det är rimligt att behålla denna arbetsfördelning om gasbranschen anser sig kunna säkra att kompetensen behålls på högskolorna. Om inte, finns risk att personerna kan lämna ämnesområdet helt såvida inte motsvarande verksamhet byggs upp i gasföretagen.

Man kan från gasbranschens sida inte förlita sig på att värdefull forskning kan utföras om inte externa medel tillförs, dvs ett aktivt deltagande krävs från gasföretagen. Man kan inte heller räkna med att högskolorna har några ekonomiska resurser att behålla kompetens under kortare uppehåll i finansieringen.

## 5.1 Nuläget

Det finns små möjligheter att skapa separata forskningsmiljöer med dagens forskningsinsatser. Genomgången av forskningen vid de svenska tekniska högskolorna visar att kompetens finns för de flesta områden i SGCs nuvarande FUD-plan.

### **Slutsats/Rekommendation:**

*Svensk högskolekompetens finns idag för de flesta av SGCs nuvarande insatsområden.*

Detta är dock inte helt överraskande eftersom SGCs FUD-plan delvis utvecklats mot bakgrund av tillgänglig kompetens. Ett problem är om denna kompetens är tillgänglig när gasindustrin önskar genomföra projekt vid högskolorna.

Akademisk meritering (för högre lärar- och forskartjänster) i traditionell mening innebär ofta publicering i erkända vetenskapliga tidskrifter. För omvärlden kan en sådan publicering ibland synas ha en ”obegriplig” detaljeringsgrad, som dock anses som nödvändig inom den akademiska världen. Detta kan ge en intressekonflikt mellan forskarens önskan om publicerbart arbete och finansierarnas (i detta fall gasföretagen) önskan om tillämpningsbara resultat.

### **Förbränningsteknik**

Inom området förbränningsteknik finns totalt sett en hög kompetens på svenska högskolor. Dock tycks det saknas dokumenterade arbeten kring konventionell flamförbränning i små och medelstora pannor. Här finns också svensk tillverkande industri. Forskning kring beröringsfri förbränningsdiagnostisering håller av många bedömare högsta internationella klass.

### **Industriell gasteknik**

Området omfattar flertalet industriprocesser. Svensk forskning har fokuserat på vätskevärmning och värmning/torkning med infrastrålare (IR). Högtemperaturprocesser och deras termiska och miljömässiga prestanda är ganska litet studerat.

## Uppvärmning och klimatisering

Den hittills gjorda högskoleforskningen har endast tagits tillvara av gasdistributörerna, ej tillverkande industri såvitt utredningen kunnat visa. Även om tillverkande industri inte utnyttjat erhållna forskningsresultat så behövs kompetensen för att nya tekniska lösningar skall kunna värderas. För gasdistributörerna är då systemstudier de mest intressanta.

## Kraftvärme

Svensk högskolekompetens avseende småskalig kraftvärme är koncentrerad till energiomvandlingen. Detta gäller de områden som intresserar gasbranschen. Dokumenterade arbeten om system har inte upptäckts. Kunskaper från fjärrvärmeforskning bör kunna utnyttjas.

## Fordon

Den tekniska kompetensen på området är hög såväl på högskolor som hos tillverkare vad författarna kan bedöma. Gasbranschens önskade FoU-arbete bör kunna genomföras med tillgängliga personella resurser.

## Distributions- och lagringsteknik

Den svenska högskoleforskningen är koncentrerad till ett fåtal områden, plastmaterial, mätteknik och storskalig naturgaslagring. Inget högskolearbete förekommer idag på olika aspekter på lagringsteknik.

## Övrigt inklusive miljö

En hög kompetens på högskolorna gynnar grundutbildningen och kan ge gasbranschen och övriga sektorer civilingenjörer och högskoleingenjörer med kunskaper i gasteknik. Teknikbevakning och informationsspridning är ett led i en kompetensuppbyggnad. En höjd ambitionsnivå kan effektivisera arbetet i samband med studier och introduktion av nya tekniker. Energigasinstitutet vid LTH bör ges ökade resurser för detta för samarbete med SGC och ICGTI.

Avseende miljöaspekter finns högskolekompetens för studier av energisystem från lokal nivå och uppåt. Forskarna har hittills inte engagerats av gasbranschen.

Verifiering av angivna emissionsnivåer kräver laboratorieresurser. Branschen bör tillse att detta säkras.

## Områden utanför SGCs FUD-plan

Av dessa områden är främst biogasproduktion för sanddistribution med naturgas och icke-termiska forskningsområden de mest intressanta för dagens intressentkrets inom SGC. Högskolekompetens finns avseende produktion av deponi- och biogas. Systemutformning tycks inte vara studerat vid högskolorna.

## Laboratorier för gas

Vad är ett gaslaboratorium? Ett generellt gaslaboratorium kan definieras som ett där tillgång till gas finns och där både experimentupställningar och kommersiella produkter kan provas. För de senare bör också mät- och utvärderingsmetoder finnas för

att presentera prestandatal för marknaden och konsumenterna.

Ett heltäckande laboratorium finns inte vid de svenska högskolorna idag. Dock finns alla delkomponenter i ett sådant laboratorium fördelat på olika högskoleinstitutioner.

## Kommentarer

Högskoleforskningen håller en hög nivå och kan ge gasbranschen värdefull kunskap. Utredningen visar att forskningsprojekten berör befintlig teknik, exempelvis har inga helt nya industriprocesser eller brännarteknologier utvecklats. Är detta ett tecken på alltför kortsiktiga projekt eller är den kritiska massan för liten?

Man bör inom gasbranschen vara medveten om att kompetensuppbyggnad till doktorsnivå inom ett nytt område kan ta upp till 10 år. Denna tid inkluderar då identifiering av lämplig institution, projektsamordning och genomförande.

## 5.2 Forskning vid ökad naturgasanvändning

En utbyggnad av naturgasnätet kommer att sträcka sig mot Mälardalen. Utbyggnaden skulle troligen inte ge en alltför förändrad kundstruktur jämfört med dagens situation. En ökad andel kraftvärme kan förväntas. Längs en ny ledning blir gasanvändningen mindre i livsmedelsindustrin medan gasanvändningen i verkstadsindustrin ökar jämfört med dagens andelar. Först när naturgasen når Bergslagen blir det tal om naturgasanvändning i tung industri.

Det innebär att högskoleforskningens inriktning inte behöver ändras påtagligt.

Det finns två tänkbara vägar att realisera en *förändring* av högskoleforskningen rörande gasteknik. Det är antingen skapandet av en kompetenscentrumliknande struktur eller skapandet av en ny institution eller avdelning. Det senare alternativet innebär att gasbranschen får en större kontroll över högskoleförlagd verksamhet än vad som är vanligt.

### **Slutsats/Rekommendation:**

*Vid ett utbyggt naturgasnät är det gasbranschens viktigaste uppgift gentemot högskolorna att säkra kontinuiteten vid dessa.*

*Detta kan göras på två sätt, med en kompetenscentrumliknande struktur eller med en ny institution, avdelning.*

### 5.2.1 Kompetenscentrum

En kompetenscentrumliknande struktur föreslås bygga på ett nätverk av organisationer vid högskolorna med Energigasinstitutet vid LTH som mall.

Genom skapandet av Energigasinstitutet vid LTH initierades en rad naturgasrelaterade projekt från mitten av 1980-talet. Energigasinstitutets roll var då att initiera projekt och att sammanföra intressenter. Bildas liknande organisationer vid de andra tekniska högskolorna borde intresset öka för energigas. Energigasinstitutet vid LTH kan genom sitt utbyggda kontaktnät svara för informationsförsörjning avseende internationell gasforskning.

### 5.2.2 En ny institution

En ny institution eller avdelning är mindre än det kompetenscentrumliknande alternativet. Några, 3–5 st, disputerade forskare kan ta på sig arbeten inom främst termiska frågor. De finansieras, långsiktigt, helt eller till största delen av gasbranschen. God tillgång till laboratorie- och beräkningsverktyg ger möjligheter till goda resultat inom ett avgränsat område. Till nackdelarna hör att investeringsbehovet initialt kan bli stort avseende laboratorieutrustning och datorer med mjukvara. Personerna försäkras att på delar av tiden kunna meritera sig akademiskt på sedvanligt vis.

# Litteraturförteckning

- [1] Thörnqvist, L., *Universitets- och högskoleanknuten FoU-verksamhet på energigasområdet i Europa och Nordamerika*, Energigasinstitutet vid LTH, 1988
- [2] Bauer, A.-C., *Kartläggning av resurser och kompetens inom gastekniska området*, Värmeforsk rapport 399, maj 1991
- [3] *Gastekniskt forskningsprogram*, Energigasinstitutet vid LTH, november 1983
- [4] Näslund, M., *Energigasteknik*, Svenska Gasföreningen, Stockholm 1995, ISBN 91-8646-409-4
- [5] Krüger, T.; Jellinghaus, F. och Wilsdorf, J., *Erfahrungen und Ergebnisse beim Einsatz des Programmsystems FLUENT bei der Brennerentwicklung*, Gaswärme International, **44**(1995), Nr 10
- [6] Bai, X.-S., *On the Modeling of Turbulent Combustion at Low Mach Numbers*, Diss., Inst. för Mekanik KTH, 1994
- [7] Fureby, C., *On Modeling of Unsteady Combustion utilizing Continuum Mechanical Mixture Theories and Large Eddy Simulations*, Diss., Inst. för Förbränningsfysik LTH, 1995
- [8] Lindholm, A., *Time resolved measurements of flow fields and heat release in pulse combustors*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1995
- [9] Möller, S.-I., *Detailed Numerical Simulations of Pulsating Combustion*, lic.rapport, Inst. för Förbränningsfysik LTH, 1997
- [10] Edner, H.; Wallin, S. och Holmstedt, G., *Bildning och begränsning av NO<sub>x</sub> vid naturgasförbränning*, Värmeforsk rapport 186, 1985
- [11] Holmstedt, G., *Emission och reduktion av NO<sub>x</sub> i förblandade naturgas- luftbrännare*, Värmeforsk rapport 245, 1987
- [12] Blasiak, W., *Reburning med naturgas – Potential i Sverige*, Värme- och ugnsteknik KTH, Nordisk Gasteknisk Center, 1990
- [13] Collin, R., *Injektion av strålar i en tvärström*, Inst. för Värme- och ugnsteknik KTH, Nordisk Gasteknisk Center, 1990
- [14] Collin, R., *Development Project in Limhamn District Heating Central*.

- Reburning, Modelling and Experiments in a 125 MW Hot Water Boiler*, Inst. för Värme- och ugnsteknik KTH, Nordisk Gasteknisk Center 1991
- [15] Gustavsson, L.; Glarborg, P. och Leckner, B., *Reduction of N<sub>2</sub>O from CFB Combustion with Afterburning of Gas. Influence on Sulphur Capture and Modelling of the Chemical Reactions*, Inst. för Energiteknik CTH, Nordisk Gasteknisk Center, 1993
- [16] Näslund, M., *Emissioner vid byte av gaskvalitet*, Värmeforsk rapport 271, 1987
- [17] Johansson, M., *Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare*, Värmeforsk rapport 424, 1991
- [18] Johansson, M.; Stenström, S. och Hermodsson, S., *Utvärdering av en industriell IR-strålare*, Svenskt Gastekniskt Center, Rapport 056, 1994
- [19] Christensen, R., *An Experimental and Theoretical Study of Decentralized Gas Fired Liquid Heating*, Diss., avd. för Kemisk apparatteknik LTH, 1997
- [20] Christensen, R., *Aspects on Decentralized Natural Gas Fired Liquid Heating*, lic.rapport, avd. för Kemisk apparatteknik LTH, 1991
- [21] Rehn, C., *Möjligheten till cogenerering vid direkttorkning*, Kemisk apparatteknik LTH, Nordisk Gasteknisk Center, 1991
- [22] Näsholm, A.-S., och Westermark, M., *Energy studies of different cogeneration systems for black liquor gasification*, Proc. ECOS'96, 25–27 juni 1996, Stockholm
- [23] Dahlin, S., *Mätprojekt Al-smältugn Boliden Bergsöe*, Drifttekniska inst. LTH, 1987
- [24] Dahlin, S., *Rekuperativa och regenerativa brännare i industriella processer*, Värmeforsk rapport 314, oktober 1988
- [25] *SPUNG (Statlig FoU-Program for Utnyttelse av Naturgass) Administrativ sluttrapport*, Norges forskningsråd, maj 1994
- [26] Gordanova, P., *Radhus med gasvärme. Uppvärmningsenergibehov och inneklimateanalys av kv Borgsund, Malmö*, Inst. för Byggnads-konstruktionslära LTH, 1997
- [27] Peterson, F. och Wallin, T., *Energikonvertering av direktelvärmda hus*, Tekniska meddelanden 331, 1989:1 vol. 20, Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm 1989
- [28] Jonson, E. och Nelson, M., *Konvertering av direktelvärmda småhus till naturgasuppvärmning. Teknik-Ekonomi-Potential*, examensarbete, avd. för Energihushållning LTH, april 1997

- [29] Näslund, M., *Konvertering från direktelvärme till gasvärme i småhus*, SGC Rapport 085, december 1997
- [30] Vannerberg, C. och Holmstedt, G., *Spridning av NO<sub>2</sub> från en naturgaseldad panna*, Inst. för Brandteknik LTH, LUTVDG/TVBB-3047
- [31] Holmstedt, G., *Spridning av utsläpp från villapannor*, Konf. Naturgas och miljö, Stockholm 1989, Nordisk Gasteknisk Center, Hörsholm, ISBN 87-89309-06-5
- [32] Näslund, M., *Avgasåtervinning i små kondenserande gaspannor*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1991
- [33] Nilsson, U.; Näslund, M. och Andersson, C.-H., *Korrosion i flexibla rostfria insatsrör*, SGC rapport 050, december 1993
- [34] Näslund, M., *On the Design of Residential Condensing Gas Boilers*, Diss., Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1997
- [35] Schweitzer, J., *Annual Efficiency Calculation Method for Domestic Boilers*, Dansk Gasteknisk Center, 1996
- [36] Dahlin, S., *Nya system för luft/bränslekvotreglering*, Drifttekniska institutionen LTH, 1991
- [37] Scholand, E., *Modellering och tillämpning av gaseldade IR-strålare*, Symp. Gasbaserad IR-teknik för industriellt bruk, Malmö 9 december 1987, Energigasinstitutet vid LTH
- [38] Raaijen, W., *Micro-wk nieuwste wapen van gassector*, Gas (NL), nr 9 1995
- [39] Lundqvist, P.G., *Stirling Cycle Heat Pumps and Refrigerators*, Diss., Inst. för Mekanisk värmeteori och kylteknik KTH, 1993
- [40] Kallner, P.; Fredriksson, J. och Kjellström, B., *Wood combustion and ash separation for gas turbine applications*, IGTI vol 9, ASME COGEN-TURBO 1994
- [41] Kivisaari, T., *Studies of Natural Gas and Biomass Fueled MCFC Systems*, 4th Int. Symp. on Carbonate Fuel Cells, 191st Meeting of The Electrochemical Soc., 4–9 maj 1997, Montreal, Canada
- [42] Johansson, B., *On Cycle to Cycle Variations in Spark Ignition Engines – The Effects of Fluid Flow and Gas Composition in the Vicinity of the Spark Plug on Early Combustion*, Diss., Inst. för Värme- och kraftteknik, LTH, 1995
- [43] Olsson, K., *On Combustion Chambers for Natural Gas SI Engines*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1995
- [44] Egnell, R., *Impact of Combustion Chamber Geometry on Charge Stratification in a CNG Fueled Direct Injection Otto Engine*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1994



- [45] Rosén, P., *Evaporative gas turbine cycles – A thermodynamic evaluation of their potentials*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1993
- [46] *EvGT – Evaporativ gasturbin. Block 3. Processanpassning 70–80 MW<sub>e</sub> anläggning. Slutrapport – Etapp 1*, ABB Stal, Vattenfall, LTH, KTH, Sydkraft, juni 1996
- [47] Nilsson, J., *A Study on a Low Emission Combustor – Lean Premix Prevaporize Concept*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1993
- [48] Egebäck, K.-E. och Westerholm, R., *Karakterisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB50-projektet*, Rapport SGC 077, 1996
- [49] Hedenqvist, M.S., *Morphology and Morphology-Sensitive Properties of Polyethylene: Fracture Behaviour and Diffusivity*, Diss., Inst. för Polymera material KTH, 1995
- [50] Tränkner, T., *Structure and Resistance to Slow Crack Growth in Polyethylene Pipe Materials*, lic.rapport, Inst. för Polymera material KTH, 1995
- [51] Tränkner, T., *Livslängdsbestämning för PE-rör för gasdistribution. Sammanfattning av ett internationellt projekt, EVOPE*, SGC Rapport 073, juli 1996
- [52] Delsing, J., *On Ultrasonic Flow Meters. Investigations and Improvements of the Sing-Around Flow Meter*, Diss., Inst. för Elektrisk mätteknik LTH, 1988
- [53] Nilsson, U., *A new way to find inaccurate meters*, Proc. FLOMEKO '96, Oct 24–26 1996, Standard Press of China, Beijing, Kina, pp. 592 ff.
- [54] Delsing, J. och Nilsson, U., *Identification of inaccurate gasflow meters by a finger-print technique*, Proc. FLOMEKO '96, Oct 24–26 1996, Standard Press of China, Beijing, Kina, pp. 590 ff.
- [55] Nilsson, U., *New Methods for Metering Quality Assurance in Natural Gas Grids*, lic.rapport, Inst. för Systemteknik LTU, 1997
- [56] Delsing, J., *Low cost absolute calibration rig for gas flowmeters*, 19th World Gas Conf. IGU/PD3-94, Milano Italien, 1994
- [57] Holm, M., *Simulation of flowmeter installation effects*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1995
- [58] Håkansson, E., *The performance of an ultrasonic gas flowmeter*, lic.rapport, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1993
- [59] Delsing, J. och Blom, I., *On-line mätning av energiinnehåll i bio- och naturgas: En grundläggande studie av användning av ljudhastighet som mått på energiinnehåll*, Värmeforsk rapport 544, 1995
- [60] Olsson, S.-O. (red.), *Naturgas i Norden. Förutsättningar för ett integrerat gasnät*, Varberg 1992,

ISBN 91-7246-094-6

- [61] Bergendahl, G. och Bergendahl, P.A., *Naturgasens expansion i västsverige. Ekonomi och strategi*, Företagsekonomiska inst. Göteborgs Univ., FE-rapport 267, 1986
- [62] Holmstedt, G. och Löfgren, D., *Risker vid eldning med naturgas i värmeanläggningar för bostadshus. Etapp 1. Beskrivning av naturgas och värmeanläggningar*, Inst. för Brandteknik LTH, SE-LUTVDG/TVBB-3045, 1989
- [63] Holmstedt, G. och Ondrus, J., *Risker vid eldning med naturgas i värmeanläggningar för bostadshus. Etapp 2. Brandrisker och behovsbedömning av kontrollåtgärder*, Inst. för Brandteknik LTH, SE-LUTVDG/TVBB-3048, 1989
- [64] Andersson, B.; Andersson, P.; Holmstedt, G. och Särdaqvist, S., *Naturgas Säkerhetsnivå Riskanalys*, Inst. för Brandteknik LTH, LUTVDG/TVBB-3073-SE, juni 1994
- [65] Johansson, J. och Lindblom, U.E., *System for detection and collection of potential gas leakages from a LRC gas storage*, 1995 Int. Gas Res. Conf., 6–9 november 1995, Cannes Frankrike
- [66] Johansson, J.; Stille, H. och Sturk, R., *Pilotanläggning för inklädda gaslager i Grängesberg. Fördjupad analys av försöksresultaten*, avd. för Jord- och bergmekanik KTH, 1995
- [67] *Temadag Energigasforskning*, Energigasinstitutet vid LTH, 11 april 1984
- [68] *Gasbaserad IR-teknik för industriellt bruk*, Symposiedokumentation, 9 december 1987, Energigasinstitutet vid LTH
- [69] *Modern Applications of Natural Gas in Industry*, Symposiedokumentation, 26 september 1985, Energigasinstitutet vid LTH
- [70] *Direktorkning med naturgas av foder och livsmedel*, Symposiedokumentation, 20 november 1986, Energigasinstitutet vid LTH
- [71] Åkesson, M., *Biogas Generation in Landfills. Equilibria, rates & yields*, Diss., Inst. för Teknisk vattenresurslära LTH, 1997
- [72] Lagerkvist, A., *Tvåstegs anaerob nedbrytning. En alternativ behandlingsmetod för upplagt hushållsavfall*, Diss., Inst. för Samhällsbyggnadsteknik LuTh, 1995
- [73] Lagerkvist, A. (red.), *Samordnad deponigas. Forskning, Utveckling, Demonstration. Slutrapport*, RVF Rapport 97:7, 1997
- [74] Magnusson, L., *Biogas från jordbruksgrödor. Översikt över projekt, förstudier och utredningar*, Stiftelsen Lantbruksforskning SLF rapport nr 3, 1993
- [75] Nordberg, Å., *One-and two-phase anaerobic digestion of ley crop silage*

*with and without liquid recirculation*,  
Diss., Inst för Mikrobiologi SLU, 1996

- [76] Jarvis, Å., *Evaluation of silage-fed biogas performance using microbiological and kinetics methods*, Diss., Inst. för Mikrobiologi SLU, 1996
- [77] Selimovic, A., *Vätgassystem – en studie om teknik och produktionsmöjligheter*, examensarbete, Inst. för Värme- och kraftteknik LTH, 1997
- [78] Thelander, M. och Axby, F., *Simuleringsstudie av solcellssystem med elektrolysör, vätgaslagring och bränslecell*, examensarbete, Inst. för Värme- och kraftteknik och avd. för Kemisk apparatteknik LTH, 1997
- [79] Gralén, H., *Produktion och storskalig lagring av vätgas, samt lagerhaverier*, examensarbete, Inst. för Fysisk resursteori CTH, 1994
- [80] Unger, T.; *Tillståndsekvationers applicerbarhet på vätgas-naturgasblandningar*, examensarbete, avd. för Energihushållning LTH, 1994
- [81] Bergström, C. och Sundström, T., *NO<sub>x</sub>-bildning vid tillsats av vätgas till naturgas*, examensarbete, avd. för Energihushållning LTH, 1994
- [82] Baumann, H., *Life Cycle Assessment and Decision Making – theories and practices*, Diss., Inst. för Teknisk miljöplanering CTH, 1998

# Bilaga A

## Enkät

- Vid vår enhet bedrivs ingen forsknings- och undervisningsverksamhet med koppling till energigasområdet och vi är ej heller intresserade av sådan forskning i framtiden (Markera med kryss).
- Vid vår enhet bedrivs i huvudsak följande forskningsverksamhet: (komplettera gärna med verksamhetsbroschyr e dyl).
- Av pågående forskning är följande relaterad till energigasteknik eller kan tänkas få tillämpningar inom energigasområdet:
- Forskarexamina med energigasanknytning har avlagts av ... st personer. Av dessa personer finns ... st kvar vid enheten, medan övriga finns vid följande företag organisationer m m:
- Om finansieringen kan ordnas kan vi tänka oss utöka vår forskningsverksamhet med följande energigasrelaterade områden: (Beskriv även den kompetens som finns för denna utökning)
- I följande kurser förekommer energigasrelaterade moment: (Beskriv momentens huvudsakliga innehåll)
- Samarbete finns med följande andra organisationer (inom och utom landet) där energigasrelaterad forskning förekommer:
- Vid vår enhet finns följande viktigare laboratorieutrustning:
- Vid vår enhet finns tillgång till:

	Ja	Nej
Naturgas i ledning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Naturgas på flaska	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gasol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Biogas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan energigas	.....	
- Som komplement till enkäten bifogas (eller översänds separat) följande broschyrer, rapporter, publikationslistor e t c:

Tabell A.1: Institutioner och avdelningar som erhållit enkäten och deras forskningsinriktning

Institution/avdelning	Besökt	Forskning
<b>Chalmers Tekniska Högskola</b>		<a href="http://www.chalmers.se">www.chalmers.se</a>
Reglerteknik		Regl. av ind. processer
Kemisk apparat- och anläggningsteknik		Torkning, pappersindustri, tillståndsekvationer
Värmeteknik och maskinlära		Värmepump- och kylteknik, processintegration, växthuseffekten
Energiteknik		
Energiumvandling	•	Energiumvandling, förbränning
Energisystemteknik	•	Modellering av energisystem
Polymera material		Konstruktioner med polymerer
Geoteknik		Deformationer i jord och berg
Tillämpad fysik		
Kemisk fysik		Ytprocesser, katalys
Förbränningsmotorteknik	•	Förbränning (otto, diesel), bränslen, emissioner
Termo- och Fluidodynamik		Fluidodynamik, termodynamik, värmeöverföring, förbränning
Installationsteknik		Ventilation, inomhusklimat
Produktrelaterad miljöanalys (CPM)		Livscykelanalyser
Centrum för Förbränningsforskning	•	Samordnande organ vid CTH
Kompetenscentrum Katalys		Katalytisk rening
<b>Kungliga Tekniska Högskolan</b>		<a href="http://www.kth.se">www.kth.se</a>
Inst. för Mekanik		Strömningsteknik
Jord och bergmekanik		Jordmekanik, bergmekanik
Inst. för Pappers- och massateknik		Blekning av pappersmassa
Inst. för Kemiteknik		
Energiprocesser		Kemiska aspekter på energiumvandling, rökgasrening
Kemisk apparatteknik		Kraftproduktion, pappers- och massaind.
• Besökt    ◦ Kännedom om inst./avd.		<i>fortsättning på nästa sida</i>

<i>fortsättning från föregående sida</i>		
Institution/avdelning	Besökt	Forskning
Kemisk teknologi	•	Katalys, biobränslen, bränsleceller
Teknisk Strömningslära		Absorptionsvärmepumpar, processsäkerhet
Inst. för Polymerteknologi	○	
Polymerteknologi		
Polymera material		Plaster, gummi, färg/lack
Inst. för Metallurgi		
Värme- och ugnsteknik	•	Modellering pannor och ugnar
Inst. för Energiteknik		
Tillämpad termodynamik och kylteknik	•	Värmepumpar, kylprocesser
Uppvärmnings- och ventilationsteknik		Ventilation, inomhusklimat
Kraft- och värmeteknologi	•	Gasturbiner, komponenter
Inst. för Maskinkonstruktion		
Förbränningsmotorteknik		Dieselmotorer
Inst. för byggd miljö		
Inneklimat och ventilation		Inomhusklimat
Informationsteknologi för mark, byggnader och infrastruktur		Mätteknik, läckage, termografering
Inst. för byggnader och installationer		
Byggnadsteknik	•	Byggnadsfysik, energihushållning
Installationsteknik	•	Ventilation, drift, underhåll, rör/kanaler
Inst. för miljöskydd och arbetsvetenskap		
Tekniskt miljöskydd		Miljöarbete, kommuner och företag
<b>Linköpings Tekniska Högskola</b>		<b><a href="http://www.lith.liu.se">www.lith.liu.se</a></b>
Inst. för Fysik och mätteknik		
Mätteknik/Miljöteknik		Miljöarbete vid företag och organisationer, industriella processer
Inst. för Konstruktions- och produktionsteknik		
Energisystem		Modeller av energisystem, industriella styrsystem
• Besökt   ○ Kännedom om inst./avd.		<i>fortsättning på nästa sida</i>

<i>fortsättning från föregående sida</i>		
Institution/avdelning	Besökt	Forskning
Mekanisk värmeteorik och strömningslära		Industriell värmeöverföring, strömning i medicinska sammanhang
Inst. för Systemteknik		
Fordonssystem		Styrning och övervakning av funktionen hos fordon
Reglerteknik		Icke-linjär modellering, signalbehandling
<b>Lunds Tekniska Högskola</b>		<b>www.lth.se</b>
Fysiska institutionen		
Förbränningsfysik	o	Diagnostik, modellering
Förbränningstekniskt Centrum		Samordnande organ vid LTH
Inst. för Energi- och miljösystem		Systemstudier
Inst. för Reglerteknik		Adaptiv reglering
Inst. för Elektrisk mätteknik		Ultraljud, medicinsk mätteknik
LTH-Malmö, Energigasteknik	o	IR-teknik, vätskevärmning
Inst. för Värme- och kraftteknik	o	
Kraftverksteknik	o	Modellering, kraftprod.
Energihushållning	o	Fjärrvärme, gasteknik, elanv.
Förbränningsmotorer	o	Ottomotorer, emissionsbegr.
Värmeöverföring	o	Värmeöverföring i gasturbiner, komplexa geometrier
Strömningsteknik	o	Modellering av strömning, förbränning
Inst. för Byggnadskonstruktionslära		
Installations- och klimatiseringslära		Ventilation, uppvärmningssystem, modellering
Kemikentrum		
Kemisk apparatteknik		Separationsproc., biobränsle, energisparande tekniker
Kemisk teknologi	o	Förgasning, katalys, emissionsbegränsning
Livsmedelsteknik		Värme- och masstransport i livsmedel
• Besökt    o Kännedom om inst./avd.		<i>fortsättning på nästa sida</i>

<i>fortsättning från föregående sida</i>		
Institution/avdelning	Besökt	Forskning
Bioteknik		Bioteknisk rening av vatten och luft
Inst. för Brandteknik		Säkerhet, risk, utsläppsspridning
Inst. för Byggnadsteknik		
Byggnadsfysik		Värme, fukt, lufttäthet
Inst. för Teknisk vattenresurslära		
Teknisk vattenresurslära		Hydrologi, vattenflöden i marker
Avfallshantering och återvinning		Hydrologi i deponier, Lagring av avfall
<b>Luleå Tekniska Universitet</b>		<b>www.luth.se</b>
Avdelningen för Maskinteknik		
Energiteknik		Ersättning av fossila bränslen, ökad verkningsgrad i industriprocesser
Strömningslära		Strömning i industriprocesser
Avdelningen för Arbetsvetenskap		
Miljöteknik		Motoremissioner, byggnadsakustik, materialhantering
Avdelningen för Samhällsbyggnadsteknik		
Ekologi och Miljövärd		Bottenvikens struktur och funktion
Restproduktteknik		Avfallsflöden, ind. restprodukter
Avdelningen för Systemteknik		
Industriell elektronik		Mätteknik, EMC
Avdelningen för kemi och metallurgi		
Processmetallurgi		Utvinning av metaller ur malm och skrot
<b>Stockholms universitet</b>		<b>www.su.se</b>
Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten		
Matematisk-fysiska sektionen		Atmosfärsfysik
Kemiska sektionen		Superledare, keramer, elektroder
• Besökt   ○ Kännedom om inst./avd.		<i>fortsättning på nästa sida</i>



<i>fortsättning från föregående sida</i>		
Institution/avdelning	Besökt	Forskning
<b>Uppsala universitet</b> Teknisk-naturvetenskaplig inst.		<a href="http://www.uu.se">www.uu.se</a> Materialteknik
<b>Umeå universitet</b> Miljö- och hälsoskydd Miljökemi		<a href="http://www.umu.se">www.umu.se</a> Föroreningar och hälsa Energiutvinning ur restprodukter, avgasrening
<b>Högskolan i Halmstad</b> Inst. för teknik och naturvetenskap		<a href="http://www.hh.se">www.hh.se</a> Produktutveckling
<b>Mälardalens högskola</b> Inst. för energiteknik		<a href="http://www.mdh.se">www.mdh.se</a> Kraftvärme
<b>Högskolan i Växjö</b> Inst. för teknik och naturvetenskap		<a href="http://www.hv.se">www.hv.se</a> Biobränslen (torkning, mätning, styrning, NO <sub>x</sub> )
<b>Sveriges Lantbruksuniversitet</b> Inst. för mikrobiologi		<a href="http://www.slu.se">www.slu.se</a> Biogasproduktion, metanläckage från marker
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besökt    ◦ Kännedom om inst./avd.</li> </ul>		

För en del institutioner och avdelningar med forskning inom många skilda områden har endast de områden som kan ha anknytning till energifrågor tagits med.

# Bilaga B

## Organisationsförkortningar

BFR	Byggeforskningsrådet, <a href="http://www.bfr.se">www.bfr.se</a>	LTH	Lunds Tekniska Högskola, <a href="http://www.lth.se">www.lth.se</a>
CTH	Chalmers Tekniska Högskola, <a href="http://www.chalmers.se">www.chalmers.se</a>	LTU	Luleå Tekniska Universitet, <a href="http://www.luth.se">www.luth.se</a>
DGC	Dansk Gasteknisk Center, <a href="http://www.dgc.dk">www.dgc.dk</a>	LU	Lunds universitet, <a href="http://www.lu.se">www.lu.se</a>
EM	Energimyndigheten, <a href="http://www.stem.se">www.stem.se</a>	MISTRA	Stiftelsen för miljöstrategisk forskning, <a href="http://www.mistra-research.se">www.mistra-research.se</a>
FRN	Forskningsrådsnämnden, <a href="http://www.frn.se">www.frn.se</a>	NUTEK	Närings och Teknikutvecklingsverket, <a href="http://www.nutek.se">www.nutek.se</a>
GRI	Gas Research Institute, <a href="http://www.gri.org">www.gri.org</a>	NFR	Naturvetenskapliga forskningsrådet, <a href="http://www.nfr.se">www.nfr.se</a>
ICGTI	International Centre for Gas Technology Information, <a href="http://www.icgti.org">www.icgti.org</a>	SGC	Svenskt Gastekniskt Center, <a href="http://www.sgc.se">www.sgc.se</a>
IGT	Institute of Gas Technology, <a href="http://www.igt.org">www.igt.org</a>	SLU	Sveriges Lantbruksuniversitet, <a href="http://www.slu.se">www.slu.se</a>
KTH	Kungliga Tekniska Högskolan, <a href="http://www.kth.se">www.kth.se</a>	SSF	Stiftelsen för strategisk forskning, <a href="http://www.stratresearch.se">www.stratresearch.se</a>
LiTh	Linköpings Tekniska Högskola, <a href="http://www.lith.liu.se">www.lith.liu.se</a>	STFI	Skogsindustrins Tekniska Forskningsinstitut, <a href="http://www.stfi.se">www.stfi.se</a>
LiTh	Linköpings Universitet <a href="http://www.liu.se">www.liu.se</a>		

TFR      Teknikvetenskapliga forsk-  
ningsrådet,  
[www.tfr.se](http://www.tfr.se)

UmU      Umeå Universitet,  
[www.umu.se](http://www.umu.se)

UU        Uppsala Universitet,  
[www.uu.se](http://www.uu.se)

# Bilaga C

## SGCs FUD-plan i sammandrag

SGC är gasbranschens samarbetsorgan för tekniska utvecklingsfrågor. SGC utför normalt ej utvecklingsuppdrag med egna resurser utan lägger ut dessa på högskolor, universitet, konsulter eller vid enskilda gasbolag. SGCs verksamhet skall vara ett verktyg att bredda och utöka kompetensen på det gastekniska området genom ett systematiskt stöd till kompetensuppbyggnad vid de svenska högskolorna. Detta skapar förutsättningar för ett långsiktigt engagemang för gastekniska frågeställningar samt för utveckling av spetskompetens inom, för Sverige, strategiskt viktiga områden. Utgångspunkt för SGCs verksamhet är FUD-planen, vari det framgår vilka teknikområden som prioriteras. Planen ska spegla uppdragsgivarnas behov av FUD, nationella och internationella utvecklingstrender samt tillgången på lämplig kompetens för genomförande av projekt.

FUD-planen är uppdelad i tre olika huvudområden

- Gasanvändningsteknik
- Distributions- och lagringsteknik
- Övrigt (information, miljö etc)

Under varje programområde finns ett antal olika teknikområden inom vilka projekt

i olika grad av teknisk mognad bedrivs, alltifrån forskningsprojekt på högskolor och universitet, till demonstrationsprojekt inom samhälle och industri.

### Gasanvändningsteknik

Inom "Gasanvändningsteknik" finns följande teknikområden:

### Förbränningsteknik

SGC koncentrerar sina insatser till två områden där hög svensk kompetens finns, katalytisk och pulserande förbränning. Utöver detta finns områdena låg-NO<sub>x</sub>-teknik samt övrig förbränning.

### Industriell gasteknik

Inom den innevarande planeringsperioden kommer det att bli aktuellt att inrikta verksamheten inom Industriell gasteknik mot en ersättning av el med energigaser i processer.

## Uppvärmning och klimatisering

Området ”Uppvärmning och klimatisering” omfattar frågor om gas för lokaluppvärmning och lokalkylning samt övriga, icke industriella applikationer som spisar, tvättmaskiner, torktumlare, grillar etc. Det är också här aktuellt att inrikta verksamheten mot ersättning av el (direktverkande eller vattenburna system) för uppvärmningsändamål.

## Kraftvärme

Gasbaserad kraftvärme förutsätts öka inom den närmaste treårsperioden. Möjligheten till en mer decentraliserad elproduktion gör det mer intressant för kommuner och industrier att producera sin egen el. Även minikraftvärme och mikrokraftvärme kan på sikt bli intressant och utvecklingen av alternativa tekniker som gasturbiner, stirlingmotorer och bränsleceller är intressant att följa.

Arbetet inom området skall, då så är lämpligt, bedrivas i samarbete med DGC.

## Fordon

Gasdrift av fordon växer i takt med de ökande miljökrav som ställs på våra fordon. Speciellt emissionerna från den tunga fordonsflottan reduceras kraftigt vid gasdrift. Övriga förbränningsmotorer i arbetsmaskiner kan vara aktuella för gasdrift.

Inom området mini- och mikrokraftvärme finns ofta en direkt koppling till fordonsområdet eftersom ibland samma motortyp kan användas i ett fordon och ett mikrokraftvärmeverk.

## Distributions- och lagringsteknik

Distributions- och lagringsteknik är ett programområde som är mycket brett och som omfattar allt ifrån geologiska kartläggningar för bergrumslagring till mätning av gasflöden genom ultraljudsteknik. Några aktuella teknikområden är t ex materialteknik, mätteknik, systemteknik, bränslen för fordonsdrift och andra energigaser än naturgas. Transmissionsteknik ingår normalt inte i SGCs verksamhet. Om flera aktörer önskar samarbeta kring specifika transmissionsprojekt, kan detta ske i SGCs regi.

## Övrigt inklusive miljö

Inom programområdet samlas de verksamheter som går tvärs igenom de övriga, t ex kompetensuppbyggnad, miljöfrågor och livscykelanalyser (LCA).

# Sakregister

- absorptionsvärmepumpar, 17
- avgaskanaler
  - avgasspridning, 19
  - insatsrör, 19
- bibliotek, 33
- biogas, 30, 31, **34**
- bränsleceller, 24
- CFD, 13, 29
- CTH
  - Bergbyggnad, 40
  - Energisystemteknik, 30
  - Energiteknik, 9, 14, 40
  - Fysikalisk kemi, 11
  - Fysisk resursteori, 35
  - Förbränningsmotorer, 9
  - Installationsteknik, 20
  - Kraftvärmecentralen, 26
  - Polymera material, 40
  - Reglerteknik, 38
  - Stadsbyggnad, 30
  - Teknisk miljöplanering, 36
  - Termo- och fluidodynamik, 9, 11, 26
  - Tillämpadelektronik, 38
  - Värmeteknik och maskinlära, 9
- Demand Side Management, 30
- demonstration
  - deponigas, 34
  - kraftvärme, 27
- deponigas, 34
- direktorkning, 16
- DSM, *se* Demand Side Management
- elersättning
  - industrier, 17
  - uppvärmning, 19
- Elforsk, 25
- Energigasinstitutet vid LTH, 3, 33
- energimätning, 29
- fiberbrännare, 13
- fjärrvärme, 14, 24, 26, 42
- flamlös förbränning, 17
- fordon, 28, 31
- frysskåp, 22
- förbränning, **11**
- förbränningsmotorer
  - biogas, 31
  - emissioner, 7, 26, 28
  - kylning, 21
  - uppvärmning, 21
- föreslagna projekt, 15, 18, 23, 28, 32, 37
- förgasning, 16, **37**
- gasbrännare
  - atmosfärsbrännare, 15
  - emissioner, 14, 35
  - fiberbrännare, 13
  - flamlös förbränning, 17
  - IR-brännare, 15, 41
  - mätningar, 36
  - pulsbrännare, 12, 16
  - reglering, 21
- gashydrater, 37
- gaskvalitet, 15, 31
- gaslager, 35
  - bergrum, 32

gasmätare, *se* mätteknik 29  
 gasol, 11, 15, 28, 35  
 Gastekniskt Newsletter, 33  
 gasturbiner, 8  
     emissioner, 27  
     evaporativ cykel, 27  
     kraftvärme, 27  
     rekuperatorer, 24  
     torkning, 16  
 genomströmningsberedare, 22  
 Göteborgs universitet  
     Centrum för Energiekonomi, 30  
  
 hetvattenpannor, 14  
 Höskolan i Karlstad, 35  
 Höskolan i Växjö  
     Bioenergicentrum, 40  
  
 industriell gasanvändning, **15**  
 industriugnar, 17  
 infrarödteknik, *se* IR-teknik 15  
 insatsrör, 19  
 intern gasdistribution, 22  
 Internet, 33, 59  
 IR-teknik  
     torkning, 15  
     uppvärmning, 21  
  
 katalytisk förbränning, **12**  
     gasturbiner, 27  
     villapannor, 12  
 katalytisk rening, 7  
 kemisk råvara, 18  
 Keraminstitutet vid CTH, 15  
 kombicykler, 27  
 kondensationspannor, 20  
 korrosion  
     insatsrör, 19  
 kraftproduktion, 23  
 kraftvärme, **23**  
     bränsleceller, 24  
     demonstration, 27  
  
 stirlingmotorer, 25  
 systemstudier, 23  
 KTH  
     Byggnader och installationer, 20, 22  
     Elektrokemi, 25  
     Energiprocesser, 9, 16, 23–25, 27, 40  
     Förbränningsmotorer, 9, 26, 40  
     Hållfasthetslära, 28  
     Industriella styrsystem, 9  
     Installationsteknik, 40  
     Jord och Bergmekanik, 40  
     Kemisk teknologi, 9, 20, 25, 27, 36,  
         37, 40  
     Kraft- och värmeteknologi, 24, 40,  
         41  
     Mekanik, 11  
     Pappers- och massateknik, 17  
     Polymerteknologi, 28  
     Reglerteknik, 38  
     Strömningsfysik, 29  
     Tillämpad termodynamik och  
         kylteknik, 17, 22  
     Uppvärmning och ventilation, 19  
     Värme- och ugnsteknik, 14, 40, 41  
 kylning  
     byggnader, 21  
 kylskåp, 22  
  
 LCA, 8, 36  
 lean-burn, 26  
 Linköpings universitet  
     Tema Teknik och social förändring,  
         9  
 LiTh  
     Energisystem, 9  
     Fordonsteknik, 38  
     Mekanisk värmeteori och  
         strömningslära, 40  
     Tillämpad fysik, 12  
 livscykelanalys, *se* LCA  
 LTH

Atomfysik, 14  
 Brandteknik, 3, 9, 19, 31, 35, 40  
 Byggnadskonstruktionslära, 19  
 Driftteknik, *se* LTH-Malmö  
 Elektrisk mätteknik, 3, 29  
 Energi- och miljösystem, 30  
 Energihushållning, 13, 15, 19, 20, 24, 30, 35, 41  
 Fysik, 3  
 Förbränningsfysik, 9, 12, 13, 26  
 Förbränningsmotorer, 27  
 Kemisk apparatteknik, 3, 9, 15–17, 35, 40  
 Kemisk teknologi, 9, 12, 18, 37, 40  
 Konstruktionsmaterial, 9  
 Mekanik, 13  
 Reglerteknik, 21, 38  
 Strömningsteknik, 11  
 Teknisk vattenresurslära, 34  
 Tillämpad elektronik, 38  
 Tillämpad mikrobiologi, 18  
 Värme- och kraftteknik, 3, 4, 9, 23, 25, 27, 29, 33, 35, 39, 40  
 Värmeöverföring, 13, 14, 24  
 LTH-Malmö, 3, 15–17, 21, 33, 39–41  
 LTU  
   Energiteknik, 20, 24  
   Industriell elektronik, 38  
   Miljöteknik, 28  
   Reglerteknik, 38  
   Samhällsbyggnad, 34  
   Systemteknik, 29, 38  
 luftförvärmning, 17, 27  
 luftvärme, 19  
 lågvärdesgas, 27  
  
 magerdrift, 26  
 Malmö Högskola, 4  
 MARKAL, 30  
 metallurgiska processer, 17  
 miljö  
   märkning, 36  
   Vita Svanen, 36  
 MISTRA, 8  
 modellering, 38  
   energiprocesser, 9, 38  
   energisystem, 9, 30  
   förbränning, 7, 11  
   fordon, 38  
   IR-uppvärmning, 21  
   pulserande förbränning, 13  
   villapannor, 20  
 mätning  
   emissioner, 36  
   pannor, 21, 41  
 mätteknik, **29**, 38  
   förbränning, 12  
   gasflöden, 29  
  
 NO<sub>x</sub>-bildning, **13**  
   förbränningsmotorer, 26  
   gasturbiner, 27  
   pulserande förbränning, 13  
   reburning, 14  
   stirlingmotorer, 27  
   vätgas, 35  
 Nordisk Gasteknisk Center, 14  
 NUTEK, 3, 31  
   kompetenscentra, 6  
  
 olyckor, 31  
 oxy-fuel, 14, 17  
  
 pannor  
   fastigheter, 21  
   fjärrvärme, 14  
   provning, 41  
   ved, 20  
   villor, 20  
 pappersindustri, 7, 16  
 polyetenrör, 28  
 projektförslag, *se* föreslagna projekt  
 pulserande förbränning, **12**, 16



reburning, 14  
reglerteknik, 37  
Räddningsverket, 31  
rötgas, 35

skorstenar, *se* avgaskanaler  
SLU  
    Mikrobiologi, 35  
småhusuppvärmning, 19  
solenergi, 19, 20  
Stiftelsen för miljöstrategisk forskning, 8  
Stiftelsen för strategisk forskning, 8  
Stirlingmotorer  
    emissioner, 27  
styrning, 37  
syrgasanrikning, *se* oxy-fuel  
säkerhet, 31, 35

torkning, **16**

Umeå universitet  
    Miljökemi, 40  
Uppsala universitet  
    Materialvetenskap, 9  
    Oceanografi, 37  
utbildning, 33

varmvattenberedare, 22  
värmepannor, *se* pannor<sup>21</sup>  
värmepumpar  
    absorption, 17  
värmeåtervinning, 17  
vätgas, **35**  
vätskevärmning, 13, **16**

årsverkningsgrad, 20  
återvinning, 8