
Rapport SGC 078

UPPVÄRMNING MED GAS I SVENSKA SMÅHUS

ERFARENHETER OCH FRAMTIDA TEKNIKVAL

Mikael Näslund
Inst. för Värme- och kraftteknik, LTH

November 1996



Rapport SGC 078
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--78--SE

Rapport SGC 078

UPPVÄRMNING MED GAS I SVENSKA SMÅHUS

ERFARENHETER OCH FRAMTIDA TEKNIKVAL

Mikael Näslund
Inst. för Värme- och kraftteknik, LTH

November 1996

SGC:s FÖRORD

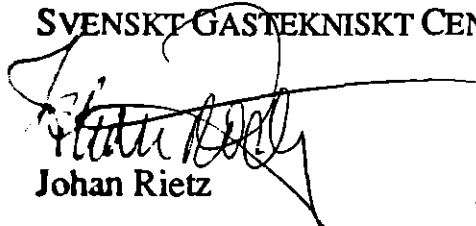
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

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

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

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

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Johan Rietz

Sammanfattning

En genomgång av redovisade erfarenheter av gasbaserad småhusuppvärmning i Sverige och modern gasbaserad uppvärmningsteknik har gjorts.

Sedan introduktionen av naturgas i sydvästra Sverige 1985 har den blivit en väl beprövad källa för småhusuppvärmning. Erfarenheterna har överlag varit goda men några probleminstallationer har förekommit. En detaljerad erfarenhetsåterföring avseende prestanda hos konventionella system (panna och radiatorsystem) tycks dock saknas. Detta är dock inte ett stort problem och fortsatta konverteringar från andra bränslen kan göras utan problem. Råd och riktlinjer bör utarbetas för framtida installationer.

Projekt för fortsatt kunskapsuppbyggnad och för att utveckla tekniska lösningar bör initieras. Kondensationsteknik bör främjas, bl a är det troligen en av de billigaste metoderna att sänka energiförbrukningen i ett hus. Detta gäller såväl konverteringar som installationer i nybyggnation.

För nybyggnation föreslås två uppvärmningssystem, ett luftvärmesystem där uppvärmning och ventilation integreras och ett system där uppvärmning och varmvattenproduktion integreras. I det första systemet är varmvattenproduktionen separerad från uppvärmningen. Ett skäl bakom dessa förslag är varmvattenproduktionens allt större andel av husets uppvärmningsbehov.

Grupphusbebyggelse värms förslagsvis med en centralt placerad gaspanna. Varmvattenproduktionen sker antingen centralt eller med individuella frånluftsvärmepumpar.

Det finns idag mycket liten möjlighet att märkbart förbättra prestanda hos de bästa pannorna då de ligger nära det fysikaliskt möjliga. I framtiden kan därför den traditionella gaspannan integreras med elproduktion, värmepumpar eller solvärme. Prototyper eller kommersiell teknik finns idag för alla dessa system.

Det är av största vikt att gasbaserade uppvärmningssystem är relativt billiga att installera. Detta gäller dels alla kostnader förknippade med ledningsdragningen fram till abonnentcentralen dels installationen av värmesystemet. Enkla avgassystem skall eftersträvas, vilket pekar på användandet av väggpannor eller placering på husets vind.

Summary

This report comprises a survey of experiences from gas fired space heating of single family houses in Sweden. Modern heating appliances are also dealt with.

Since the introduction of natural gas in Sweden in 1985 it has become a well proven source for space heating. There is a lack of a collection of experiences regarding the performance of conventional systems (boiler and hydronic system). However, this is not a big problem and further conversions from other fuels may be done without problems. Advice and guidelines should be developed for future installations.

Several projects are proposed to deal with lack of knowledge and to develop new systems. Condensing boilers ought to be promoted. It is probably one of the cheapest methods to reduce the energy consumption in buildings. This is valid for conversions from other fuels as well as for new buildings.

Two alternative heating systems are proposed for new houses, one warm air system where heating and ventilation are integrated and one hydronic system where heating and hot tap water production is integrated. In the first system is the hot tap water production separated from the heating system. One reason behind these proposals is lower heating demand due to better thermal insulation which means that the energy for hot tap water gets a larger share of the gas consumption.

For groups of new houses, e.g. terraced houses, is a common boiler proposed with a heating system connected to all houses. Hot tap water is produced either centrally using the boiler or locally using for example a ventilation air heat pump.

It is today difficult to improve the performance, both thermally and environmentally of the best gas fired boilers. In the future is it likely that the traditional gas boiler will be used together with solar heating, small scaled electricity generation or heat pumps. For all of these systems at least prototypes have been presented.

It is of utmost importance that the gas fired heating systems are comparatively cheap to install. This includes all costs associated with the gas distribution system to the point of house connection and the costs for the heating system. Simple flue systems should be strived for. Wall hung boilers or location on the attic are suitable solutions.

Innehåll

Sammanfattning	1
Summary	2
1 Inledning	7
1.1 Metod och avgränsningar	7
2 Användning av gas i svenska småhus	8
2.1 Uppvärmning av svenska småhus	8
2.1.1 Bidrag till energiinvesteringar	9
2.2 Uppvärmning med olika energigas	9
2.2.1 Naturgas	10
2.2.2 Gasol	11
2.2.3 Stadsgas	11
2.3 Konvertering till gasuppvärmning	11
2.4 Pannplacering och verkningsgrad	13
2.4.1 Pannans placering i byggnaden	13
2.4.2 Pannans verkningsgrad	14
2.5 Regler och normer för uppvärmning och ventilation	17
2.5.1 Uppvärmning	17
2.5.2 Ventilation	18
2.5.3 Varmvatten	19

3	Erfarenheter från gasvärmda svenska småhus	20
3.1	Använda pannor fram till idag	20
3.1.1	Icke-kondenserande pannor	21
3.1.2	Kondensationspannor	23
3.2	Varmvattenberedning	25
3.2.1	Genomströmningsberedare	25
3.2.2	Förrådsberedare	26
3.3	Erfarenheter av installationer	26
3.3.1	Bara	26
3.3.2	Bromma	27
3.3.3	Varberg	28
3.3.4	Malmö	28
3.3.5	Lund	30
3.3.6	Kommentarer till redovisade erfarenheter	33
3.4	Kondensering och korrosion i pannor och avgassystem	33
3.4.1	Korrosion i pannor	35
3.4.2	Korrosion i avgaskanaler	35
3.5	Danska rekommendationer för installation av gaspannor	36
3.5.1	Pannans dimensionering	36
3.5.2	Ljudproblem i värmesystemet	36
4	Modern teknik och tänkbara utvecklingsriktningar	38
4.1	Brännare	39
4.1.1	Atmosfärsbrännare	39
4.1.2	Förblandningsbrännare	40
4.1.3	Fläktgasbrännare	40
4.1.4	Pulsbrännare	40
4.1.5	Katalytiska brännare	41
4.2	Pannor för vattenburna värmesystem	41

4.2.1	Icke-kondenserande pannor	42
4.2.2	Kondensationspannor	43
4.3	Varmflötsuppvärmning	44
4.4	Anpassning till värmebehov – inneklimat	47
4.5	Ny teknik för värmegenereringen	48
4.5.1	Värmepumpar	48
4.5.2	Solenergi	50
4.5.3	Kraftvärme	50
4.6	Miljöeffekter med modern gasteknik	54
4.7	Gasdistributionen i huset	54
5	Gasbaserad uppvärmning för grupphusbebyggelse	57
5.1	Gasanvändning i en homogen grupp av byggnader	57
5.2	Gasanvändning i en inhomogen grupp av byggnader	58
6	Diskussion och slutsatser	61
6.1	Konvertering från annat bränsle	61
6.2	Nybyggnation	62
6.2.1	Individuella småhus	62
6.2.2	Grupphusbebyggelse	63
6.3	Sammanställning av förslag och rekommendationer	63
	Referenser	65

1

Inledning

Det finns ett behov av att sammanställa erfarenheterna från gasuppvärmning i svenska småhus. Med utgångspunkt från dessa erfarenheter och ny modern teknik föreslås lösningar för nya installationer. Både friliggande småhus och grupphusbebyggelse behandlas.

1.1 Metod och avgränsningar

Rapporten är en sammanställning av resultat från andra undersökningar samt data från tillverkare. Endast enklare beräkningar har gjorts för att komplettera inhämtade uppgifter. Låga emissioner och hög verkningsgrad har prioriterats vid val av pannor och värmesystem.

Rapporten riktas både till gasbranschen och till dem som tidigare inte varit i kontakt med naturgasbaserad småhusuppvärmning. För de senare ger kapitel 2 en introduktion.

2

Användning av gas i svenska småhus

2.1 Uppvärmning av svenska småhus

Idag värms drygt 1,5 miljoner småhus enligt tabell 2.1 [1]. Jordbruksfastigheter, permanentbebodda fritidshus, småhus ägda av allmännyttan och hus värmda under en del av eldningssäsongen är ej inräknade. Med dessa inräknade blir det totala antalet drygt 1,8 miljoner småhus. Gasuppvärmning är inte avsatt som en separat post utan de drygt 10000 småhus som värms med naturgas är inkluderade i antingen posten "Annan panncentral" eller "Annat". Naturgas har hittills nästan uteslutande ersatt oljeuppvärmning vid konvertering men en betydligt större potential finns hos de totalt ca 670 000 elvärmda småhusen. Naturgas ger möjlighet att utforma enklare och utrymmessnålare uppvärmningssystem med lägre krav på avgassystem jämfört med andra bränslebaserade uppvärmningssystem.

De småhus som hittills konverterats till naturgas från annat bränsle är till övervägande delen byggda före 1970. Med en utvecklad konverteringsteknik kommer även elvärmda hus att bli aktuella för gasbaserad gasuppvärmning. De nyare husen har dels andra ventilationssystem dels lägre uppvärmningsbehov än de hittills konverterade, vilket påverkar kraven på gasbaserade uppvärmningssystem i dagens och framtidens nybyggnation.

Valet av uppvärmningsform i nyproducerade småhus har växlat tydligt från slutet av 1960-talet och fram till 1985. Oljeuppvärmningens andel har minskat kraftigt sedan den första oljekrisen 1973. Innan dess installerades ca 20000 oljepannor årligen i nyproduktion. Antalet sjönk kraftigt och var 1985 drygt 5000 st. Direktverkande el ökade mycket kraftigt från en nivå på ca 5000 st årligen år 1968 till en topp 1976 på ca 35000 st. Därefter sjönk antalet årligen installerade direktel-system i nyproduktion snabbt till ca 5000 st 1980. Vattenburen el installerades

Tabell 2.1: Uppvärmningsformer i svenska småhus

Uppvärmningsform	Antal 1000-tal
Enbart elvärme, direktel	446
Enbart elvärme, vattenburen	277
Panna för:	
Enbart olja	141
Olja och ved	127
Olja och el samt direktel	5
Olja och el samt vattenburen elvärme	157
Olja samt direktel	5
Olja samt vattenburen elvärme	100
Ved samt direktel	11
Ved samt vattenburen el	111
Enbart ved	27
Annan panncentral	16
Fjärrvärme	121
Annat	25
Totalt	1569

endast i 1000–2000 nyproducerade småhus årligen fram till 1978 då antalet ökade till en nivå på ca 10000 installationer årligen.

2.1.1 Bidrag till energiinvesteringar

Idag ges vissa bidrag till energiinvesteringar [2]. Inget av dessa bidrag är dock specifikt kopplat till gasanvändning. För solvärme ges 25% investeringsbidrag till solvärmedelen. Bidraget i sin nuvarande form upphör 1 juli 1996 men en fortsättning kan förväntas. Till vindkraft ges också 25% investeringsbidrag. Hela tilldelningen är idag intecknad. Ackumulatortankar för bibränsleuppvärmning, främst för småhus, erhåller också bidrag, 25%.

2.2 Uppvärmning med olika energigaser

Totalt används 25 TWh energigaser (1993) årligen i Sverige. Av detta svarar naturgas för 9 TWh och gasol för 6 TWh. Resterande energi fördelas mellan biogas, stadsgas, hytt- och masugnsgas samt vätgas.

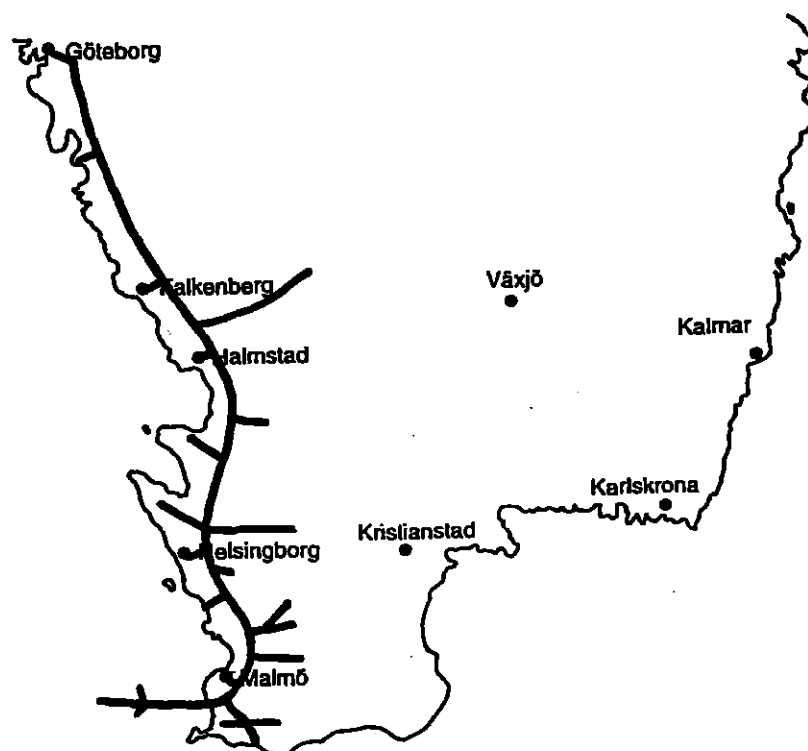
Ett antal svenska rapporter och artiklar har publicerats angående teknik i samband med gasbaserad byggnadsuppvärmning. I referenserna [3]–[4] behandlas

teknik för småhusuppvärmning och liknande områden. Pannor och brännare berörs i referenserna [5]–[15] samt skorstenar och insatsrör i [16]–[19].

Rapporterna [3]–[4] är båda skrivna under de första åren av naturgasanvändning i Sverige och innehåller framför allt en genomgång av utländsk gasbaserad uppvärmningsteknik inkluderande pannor och deras placering i byggnaden, förbränningsluft- och avgassystem m.m.

2.2.1 Naturgas

Sedan naturgas introducerades 1985 har ledningsnätet idag en sträckning från Trelleborg i söder till Göteborg i norr. Grenledningarna sträcker sig något österut. Det svenska stamnätet visas i figur 2.1.



Figur 2.1: Utsträckningen av stamledningarna i det svenska naturgasnätet

Naturgasen används till industri (35%), värme- och kraftvärme (50%) samt resten till uppvärmning. Drygt 10000 småhus värms idag med naturgas. Bland dessa har huvudsakligen renodlade gaspannor använts, d.v.s. pannor som enbart kan användas med gasformigt bränsle. De vanligaste av dessa beskrivs med början

på sidan 20. Konvertering av äldre oljepannor genom byte av brännare har också förekommit.

2.2.2 Gasol

I samband med naturgasintroduktionen användes gasol i sk förtida inkopplingar, dvs ett begränsat distributionsnät försörjt med gasol i avvaktan på naturgas. En del samhällen och städer har idag separata mindre distributionsnät. Huvudsakligen försörjs industrier med gasol men i Skåne och Småland (Höör, Tollarp, Mönsterås och Älmhult) har Sydgas mindre nät med anslutna småhus. Totalt är här ca 200 småhus anslutna. Pannorna är av samma fabrikat som i naturgasnätet. Platser med gasolnät för industrier är tex Alingsås, Örebro, Kalmar, Mjällby och Olofström.

2.2.3 Stadsgas

Egenproducerad stadsgas i form av spaltgas används endast i Stockholm. I Göteborg och Malmö är stadsgasen en naturgas/luft-blandning. Årligen säljs i Stockholm ca 0,5 TWh och ungefär 2000 småhus värms med stadsgas. Pannorna i Stockholms stadsgasnät har stor spridning avseende ålder, från gamla konverterade kokspannor till nya pannor. Vid utbyte eller nyinstallation väljs pannor med fläktgasbrännare så att konvertering till olja är möjlig om stadsgasnätet skulle läggas ned. Stadsgasapparaterna i Göteborg och Malmö är relativt nya och av sk allgastyp.

2.3 Konvertering till gasuppvärmning

I avsnittet redovisas kostnaderna för uppvärmning med naturgas som en följd av konvertering från annat bränsle. Utgångspunkten för beräkningen är de paketpriser för pannbyte som erbjudits 1995 i Skåne. Naturgaspriset gäller för Lund (1995). De fem erbjudna paketen innebär att den gamla pannan demonteras och eventuellt bortforslas och att en ny gaspanna installeras med maximalt 8 m rostfri skorstensslang. Vidare ingår gasledning (max 8 m) från ytterväggens insida till pannan, elanslutning av pannan och koppling till befintliga värme- och varmvattenledningar. Driftsättning av pannan ingår också. Priserna ges i tabell 2.2. Panna 1 är en Riello Milano. Priset i tabellen inkluderar cirkulationspump, reglercentral och expansionskärl. Utan dessa delar är priset 34500 kr. Panna 2 är en TMV Gazola. Panna 3 är den vägghängda Vaillant VC180 med separat varmvattenberedare. Panna 4 är en Nefit Turbo och panna 5 är en Viessmann Mirola, båda kondensationspannor. Ytterligare ett alternativ erbjuds för kon-

vertering från oljeeldning, nämligen enbart brännarbyte, i detta fall en Bentone BG100 som ersätter oljebrännaren. Fyra av pannorna beskrivs i nästa kapitel.

Tabell 2.2: Priser för kompletta installationer av gaspannor 1995

Panna	Fabrikat	Pris (kr)
Panna 1	Riello Milano	41 500
Panna 2	TMV Gazola	43 325
Panna 3	Vaillant VC180	43 250
Panna 4	Nefit Turbo	50 925
Panna 5	Viessmann Mirola	50 275
Enbart byte av brännare		
Bentone BG100		15 900

Finns det något skäl att installera dyrare högeffektiva pannor? Utsläpp av både NO_x och CO_2 blir lägre men finns det ekonomiska skäl? Med utgångspunkt från den billigaste pannan har en rak pay-off-tid för merkostnaden för de andra pannorna beräknats. Årsverkningsgraden för panna 1 har antagits till 80% och gaspriset till 37 öre/kWh. I tabell 2.3 ges resultatet för nettoppvarmningsbehoven 15 MWh/år och 25 MWh/år.

Tabell 2.3: Pay-off-tider för dyrare och effektivare pannor

kWh/år	Pay-off-tid (år) Panna/Årsverkningsgrad (%)							
	2/85	3/85	4/95	4/100	4/105	5/95	5/100	5/105
15 000	4,5	4,3	8,6	6,8	5,7	8,0	6,3	5,3
25 000	2,7	2,6	5,2	4,1	3,4	4,8	3,8	3,2

Av störst intresse i denna jämförelse är om kondensationspannor är ett attraktivt alternativ. Vid den högre energianvändningen blir pay-off-tiderna 4–5 år om årsverkningsgraden är 90–95%, vilket är rimligt med vanliga radiatorsystem. I lagtemperatursystem kan årsverkningsgraden närma sig 105% med kondensationspannor och pay-off-tiderna kan då bli så korta som 3 år. Vid den lägre energianvändningen blir tiderna 5–6 år, vilket gör att kondensationspannor även kan vara intressanta vid relativt liten energianvändning om mycket hög verkningsgrad kan erhållas. Strikt ekonomiskt är det svårt att motivera en kondensationspanna vid små uppvärmningsbehov, t.ex. under 10 000 kWh/år. Skäl för kondensationspannor kan då i stället vara ett effektivt energikutnyttjande och oftast laga emissioner.

En fortsatt användning av olja kan ses som alternativ till naturgas då pannan behöver bytas. En oljepanna med brännare, cirkulationspump, expansionskärl

och reglercentral kostar idag ca 40 000 kr inklusive installation. För elpatroner tillkommer ca 3 000 kr. Om skorstensslang behövs tillkommer 6 000–8 000 kr men ofta används i stället en draglucka. Årsverkningsgraden är hos de bästa pannorna ca 90% men oftast 5–10% lägre. Oljepriset är 40–45 öre/kWh. Oljepannor antas ha kortare livslängd än gaspannor och har dessutom regelbundna kostnader för sotning. Detta betyder att kostnaderna för oljeeldning och gaseldning med icke-kondenserande pannor är ungefär lika med något lägre energikostnader för gaseldning. En gaseldad kondensationspanna kostar ca 10 000 kr mer än en oljeeldad panna med 80–85% årsverkningsgrad. Om kondensationspannans årsverkningsgrad är 100% och oljepannans är 82% blir pay-off-tiden 5–6 år vid ett uppvärmningsbehov (netto) av 25 000 kWh/år exklusive anslutningskostnad för naturgas.

I en tysk undersökning [20] fann man att övergång till kondensationspannor gav den lägsta kostnaden för energibesparing. Kostnaden för varje besparad kWh är ca 9 öre (2 pfennig/kWh). Den dyraste åtgärden är värmeåtervinning ur frånluften, 373 öre/kWh (83 pfennig/kWh). Utgångsförutsättningarna är dock inte givna.

Fjärrvärmvärmda småhus är också möjliga att konvertera till gasuppvärmning. Tekniskt torde det inte vara några problem med konverteringen, som i de flesta fall skulle baseras på rent ekonomiska skäl. Fjärrvärmesaxen för villakunder i Malmö 1996 är 28,0 öre/kWh under sommarperioden (april–oktober) och 45,0 öre/kWh under vinterperioden (januari–mars, november–december) samt en fast årlig avgift på 1 575 kr. Anslutningsavgiften varierar från hus till hus men är minst 13 000 kr. Malmö Värme ger i sin prislista ett exempel på ett hus där tidigare 3 m³ olja användes. Med fjärrvärme används 21 000 kWh/år och årskostnaden blir då 9 705 kr. Med naturgas blir energikostnaderna (Malmö 1995) 8 830 kr, 9 717 kr och 10 825 kr årligen vid årsverkningsgrader på 100%, 90% och 80%.

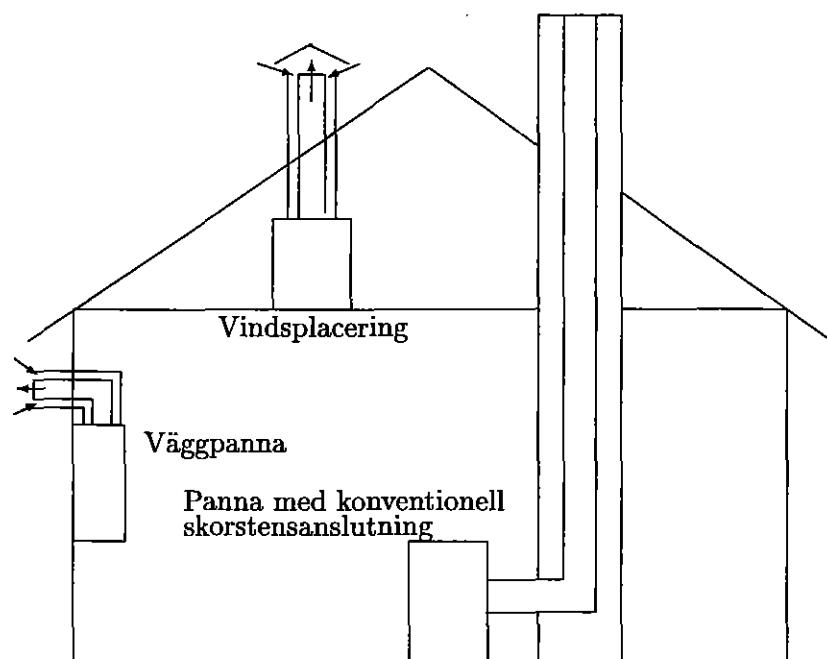
Möjligheten att framgångsrikt introducera nya bränslen beror också på lokala förhållanden. Ett exempel är den svenska pelletsbrännaren som varit framgångsrik i områden där pellets funnits till ett lågt pris. Enerkipriset för pellets är ca 25 öre/kWh.

2.4 Pannplacering och verkningsgrad

2.4.1 Pannans placering i byggnaden

Naturgaseldade pannor kan placeras mycket fritt i en byggnad. Skälen är att inget bränslelager behövs och att gastillförseln i huset är enkel, ren och tyst drift samt ofta små yttermått. Exempel på placeringar är i särskilt pannrum, mot yttervägg i bostadsdelen eller på vinden. Med ett sk slutet förbränningsrum (utomhusluft används till förbränningen) kan pannan placeras på valfri plats i

byggnaden. Placering på vinden eller mot yttervägg innebär att en mycket kort avgaskanal kan användas. I figur 2.2 [21] visas exempel på placeringsmöjligheter för gaspannor.

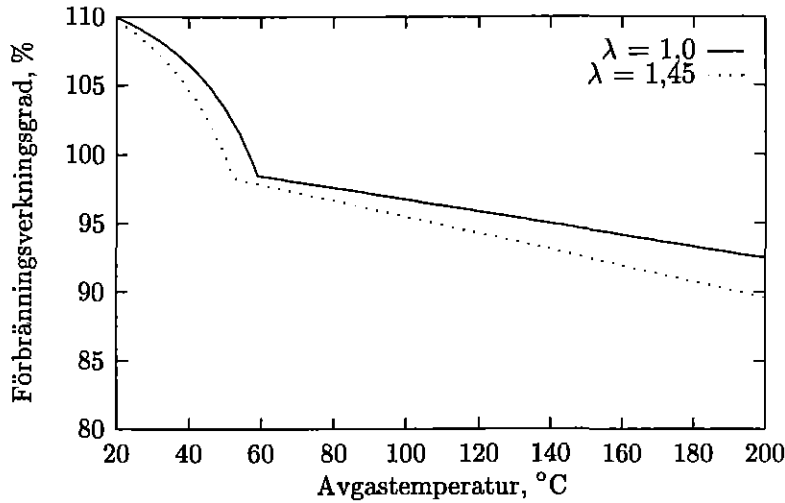


Figur 2.2: Olika möjligheter till placering av gaspannor i småhus

2.4.2 Pannans verkningsgrad

En pannas verkningsgrad är beroende av ett flertal faktorer, tex avgastemperatur, stilleståndsförluster och isolering men också av värmesystem och överdimensionering. Kondensationspannors verkningsgrad ökar markant då avgastemperaturen sänks under dagpunkten. Förbränningsverkningsgraden (beräknad ur avgastemperatur och luftöverskott) vid naturgaseldning ses i figur 2.3. Kurvorna avser stökiometrisk förbränning och förbränning med 45% luftöverskott, lufttal $\lambda = 1,0$ respektive $\lambda = 1,45$.

I dellastverkningsgraden för en panna med enstegsbrännare tas också hänsyn till stilleståndsförluster och strålningsförluster från pannan. Dellastverkningsgraden för uppvärmningssäsongens olika perioder vägs samman till årsverkningsgraden. Dittrich modell kan användas för en enklare bedömning av dellastverkningsgrad-



Figur 2.3: Förbränningsverkningsgrad för naturgas vid 0% och 45% luftöverskott

en. Modellen härleds på följande sätt [22]. Under brännarens drifttid t_{drift} tillförs energin Q_1 enligt

$$Q_1 = t_{drift} \frac{\dot{Q}_{rad}}{\eta_p} \quad (2.1)$$

där η_p är pannans verkningsgrad vid fullast och mätt vid vattenanslutningarna. Under tiden brännaren är avstängd, $t_{tot} - t_{drift}$, måste energin Q_2 tillföras för att kompensera stilleståndsförlusterna q_{sf}

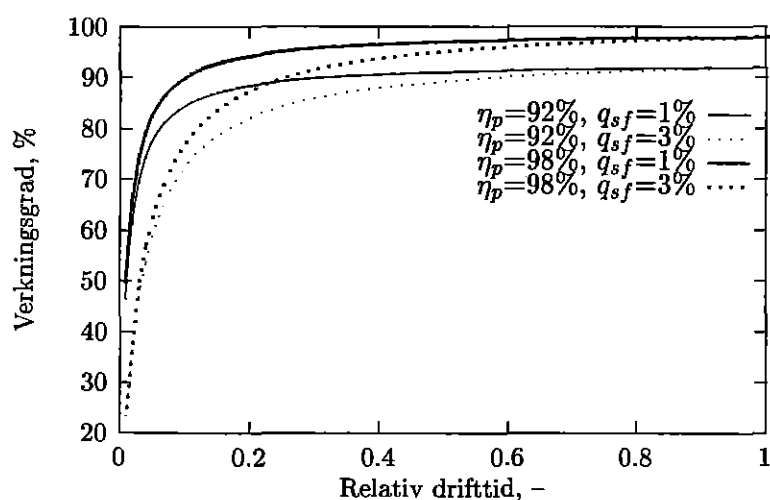
$$Q_2 = (t_{tot} - t_{drift}) q_{sf} \frac{\dot{Q}_{rad}}{\eta_p} \quad (2.2)$$

Detta ger verkningsgraden η som funktion av drifttiden t_{drift} som

$$\eta = \frac{Q_1 \eta_p}{Q_1 + Q_2} = \frac{\eta_p}{1 + \left(\frac{t_{tot}}{t_{drift}} - 1 \right) \cdot q_{sf}} \quad (2.3)$$

där η_p är pannverkningsgraden vid fullast (strålningsförluster inkluderade) och q_{sf} pannans stilleståndsförluster som andel av brännareffekten. Tiderna t_{tot} och t_{drift} anger uppvärmningssäsongens längd i timmar respektive brännarens drifttid under perioden. Modellen gäller endast vid konstant panntemperatur. Modellen kan anpassas till glidande panntemperatur genom att η_p och q_{sf} uttrycks som funktioner av någon relevant temperatur. I [23] visas detta med utomhustemperaturen, vilken då kan användas för att beräkna värmesystemets fram- och

returledningstemperatur. Modeller där hänsyn tas till glidande pannvattentemperatur skiljer sig huvudsakligen från Dittrich ursprungliga metod genom att värmeförlusterna är mer detaljerat modellerade. Årsverkningsgraden kan sedan beräknas genom att väga samman ett antal representativa värmelaster. I den tyska DIN 4702 [24] delas året in i fem olika perioder med lika energibehov och i SPs (Statens Provnings- och Forskningsinstitut) metod utnyttjas mätresultat från fyra olika värmelaster representativa för ett givet hus [25]. I figur 2.4 visas hur dellastverkningsgraden enligt Dittrich modell beror på den relativa drifttiden (t_{drift}/t_{tot}) för fyra olika pannor. Pannorna har 92% och 98% fullastverkningsgrad samt 1% eller 3% (av brännareffekten) stilleståndsförluster.



Figur 2.4: Dellastverkningsgrader beräknade med Dittrich modell. Konstant pann-temperatur

Verkningsgradskurvans utseende påverkas av pannans konstruktion. En flackare kurva fås med brännare som förhindrar ett avkylande luftflöde genom pannan, t ex fläktgasbrännare eller förblandningsbrännare (oftast kondensationspannor). Atmosfärsbrännare ger en kraftigare lutning. Följderna av överdimensionering ses tydligt i figuren då en allt större överdimensionering ger en kortare relativ drifttid. Om glidande utomhusstyrd pannvattentemperatur används minskar både strålnings- och stilleståndsförlusterna vid låga belastningar eftersom dessa är temperaturberoende. Kurvorna blir då flackare och för kondensationspannor kan verkningsgraden öka vid låga belastningar beroende på ökad kondensutfällning.

2.5 Regler och normer för uppvärmning och ventilation

Regler för gasanvändning i småhus finns i "Boverkets Byggregler" [26] och "Energigasnormer" [27]. Av intresse för denna rapport är reglerna för uppvärmning, ventilation och varmvatten. I detta avsnitt koncentreras sammanställningen till relevanta delar i "Boverkets Byggregler". Föreskrifterna gäller för uppförande av byggnader och tillbyggnader som kräver bygglov och i "skälig utsträckning" då bygglov ej krävs. En del föreskrifter rörande Energihushållning gäller inte för fritidshus med högst två bostäder. Detta markeras på aktuella platser i den följande texten.

2.5.1 Uppvärmning

Under åren har byggnormerna ändrats så att isoleringsstandarden förbättrats enligt tabell 2.4 [1]. Den ökade isoleringen innebär att uppvärmningsbehoven sällan överstiger 6–8 kW för nybyggda småhus vid dimensionerande utetemperatur. Värmeinstallationerna skall dimensioneras så att rumsluftens temperatur sjunker högst 3°C under den dimensionerande temperaturen vid den extrema utetemperatur som infaller högst 1 gång på 20 år.

Tabell 2.4: Isoleringsstandard enligt olika byggnormer

Norm, år	U-värde ($\text{W/m}^2 \text{K}$)		
	väggar	fönster	tak
BABS 1960	0,58–1,16 ^a	– ^b	0,46–0,58 ^a
SBN 1967	0,58–1,16 ^a	2,44–3,6 ^c	0,46–0,58 ^a
SBN 1975	0,3	2	0,2
SBN 1980	0,3	2	0,2
PFS 1980 (ELAK)			
SBN 1980	0,17	2	0,12
NR BES 1988 18			
BBR 1994	Beroende på övriga energiåtgärder i huset (isolering/täthet/återvinning)		

^a Beroende på byggnadsmaterial

^b Must samma värmeisoleringsförmåga som kopplade fönster med dubbla glasrutor med ett avstånd av minst 30 mm mellan dessa

^c Beroende på fönsterareans andel av fasadarean

"Pannor som eldas med flytande eller gasformigt bränsle skall utformas så att god förbränningsverkningsgrad erhålls." Inget sägs om gaspannors verkningsgrad men för pannor med flytande bränsle ($\leq 400 \text{ kW}$) ges som råd att föreskriften uppfylls om förbränningsverkningsgraden överstiger 90% och sottalet är ≤ 1 en-

ligt Bacharachskalan. Ingenting sägs alltså uttryckligen om pannornas prestanda under aktuella driftförhållanden.

"Eldstäder avsedda för gas skall anslutas till separata avgaskanaler. De får dock anslutas till rökkanaler eller avgaskanaler från andra eldstäder, om kanalens funktion säkerställs och de anslutna eldstäderna är uppställda i samma utrymme. Gasapparater med en tillförd effekt av högst 12 kW eller en hushållsspis för gas behöver inte anslutas till avgaskanal, om den installeras i ett utrymme vars volym är större än 3 m³."

"Vid eldning med märkeffekt upp till 60 kW bör skorstenar mynna minst 1 meter över yttertaks högsta punkt om inte särskilda förhållanden föreligger. Vid större märkeffekt kan genom särskild utredning visas att föreskriftens krav uppfylls. Vid gaseldning med fläktförstärkt avgaskanal bör denna utformas med minst de mått från byggnad som anges i Svenska Gasföreningens Naturgasdistributionsnormer, NGDN 90." NGDN 90 har nu ersatts av Energigasnormer EGN 95 [27].

2.5.2 Ventilation

"Byggnaders ventilationssystem skall utformas så att erforderlig mängd uteluft tillförs byggnaden så att föroreningar från verksamheter liksom luftburna utsöndringsprodukter från personer och byggnadsmaterial samt fukt, elak lukt och hälsofarliga ämnen bortförs. Ventilationseffekten skall vara god."

Luftväxlingen i rum som används skall vara lägst 0,35 l/s per m² golvarea. Luftflödet kan reduceras då rummen inte används. Uteluftflödet till sovrum, vilorum och motsvarande bör vara minst 4 l/s per sovplats. Vid mekanisk ventilation bör frånluftflödena i rum i bostäder vara minst 10–15 l/s per rum.

Ventilationsflödet skall inte orsaka besvärande drag och råd ges att lufthastigheten inte bör överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen i vistelsezonen i rum som används mer än tillfälligt. Annars gäller 0,25 m/s.

I avsnittet "Effektiv värmeanvändning" i Boverkets Byggregler sägs att byggnader vars energibehov för att värma ventilationsluften överstiger 2 MWh/år skall förses med en anordning som innebär att byggnadens värmebehov minskar med minst 50% av energin som krävs att värma ventilationsluften. (Detta gäller ej fritidshus.) Normalt används en frånluftsvärmeväxlare eller en frånluftsvärmepump. Det finns dock fall där man visat att genom att använda en kondensationspanna så har byggnadens energibehov minskat på föreskrivet sätt jämfört med att använda en icke-kondenserande panna.

2.5.3 Varmvatten

Reglerna omfattar vattentemperaturer och varmvattenkapaciteten. Varmvatten skall inte ha en lägre temperatur än 50°C vid tappstället. Den maximala temperaturen är 65°C.

Följande råd ges angående kravet på ett viss vattenflöde. Det "... är uppfyllt om minst 70% av de flöden som anges i nedanstående tabell (tabell 2.5, förf. anm) erhålls då ett sannolikt antal anslutna vattenuttag i en byggnad öppnas samtidigt."

Tabell 2.5: Normflöde vid tappställe enligt "Boverkets Byggregler"

Tappställe	Normflöde (l/s)
<i>För vardera varm- och kallvatten</i>	
Badkar	0,3
Diskbänk	0,2
Dusch	0,2
Tvättlåda	0,2
Utslagsback	0,2
Tvättställ	0,1
Bidé	0,1
<i>För enbart kallvatten</i>	
Hushållstvättmaskin (≤ 5 kg)	0,2
Vattenklosett	0,2
Tappventil vid golvbrunn och gårdsbevattning till småhus	0,2
<i>För varm- eller kallvatten</i>	
Hushållsdiskmaskin	0,2

Boverkets Byggregler ger som råd att "Vattenvärmare *utan* ackumulering för ett enbostadshus bör ge en effekt som medger ett flöde av blandat kall- och varmvatten med temperaturen 40°C av lägst 0,35 l/s. Vattenvärmare *med* ackumulering för ett enbostadshus bör vara så dimensionerad att den kan värma kallvatten av 10°C under en tid av högst sex timmar så att två tappningar om vardera 140 liter vatten av 40°C, blandat kall- och varmvatten, kan erhållas inom en timme. Därvid bör tappflödet vara lägst 0,2 l/s.

Placering av vattenvärmare och ledningsdimensioneringen bör vara sådan att varmvatten kan erhållas inom ca 30 sekunder vid ett flöde av 0,2 l/s." Regler för tappvarmvatten för några västeuropeiska länder är sammanställda i [28].

3

Erfarenheter från gasvärmda svenska småhus

I kapitlet beskrivs inledningsvis de vanligaste gaspannorna i svenska småhus. Därefter redovisas erfarenheterna av funktion och prestanda i svenska småhus med gasbaserad individuell uppvärmning. Kapitlet innehåller konventionella och okonventionella uppvärmningssystem. Till konventionella system räknas ett centralt vattenburet värmesystem och en gaspanna. Till de okonventionella lösningarna räknas bl a luftvärme. Hus som konverterats från elvärme behandlas även i kapitlet.

Mätningar av prestanda tycks inte ha gjorts på de vanligaste konverteringsfallen och nyinstallationerna. Man har använt data från danska undersökningar av hur pannans verkningsgrad varierar med uppvärmningsbehovet.

3.1 Använda pannor fram till idag

Naturgasbaserad uppvärmning i småhus sker idag huvudsakligen i konventionella centralvärmesystem med radiatorer. I den följande texten ges exempel på några vanliga gaspannor i Sverige och hur de normalt installeras. Pannorna har valts så att de representerar olika konstruktioner avseende exempelvis brännare och vatteninnehåll.

Uppvärmning med naturgas görs med minst samma verkningsgrad som med olja. En något högre verkningsgrad kan förväntas då oljebrännare byts mot gasbrännare. Detta beror på att inga sotbeläggningar uppstår på de värmeöverförande ytorna och att gasbrännarens långtidsstabilitet är bättre. Moderna renodlade gaspannor ger i korrekta installationer likvärdiga eller bättre prestanda än oljepannor.

Erfarenheterna av gasbaserad uppvärmning har i stort varit goda. Inget behov av

att byta pannorna som installerats sedan naturgasintroduktionen har uppstått. I speciellt vägghängda pannor kan de flesta delarna bytas utan att pannan behöver skrotas. Bara i de fall där gamla oljepannor konverterats till gas har byten blivit aktuella p g a ålder. Förstörda varmvattenberedare är ett skäl till att pannor behövt bytas.

I texten används uttrycken lätta och tunga pannor, vilket avser pannor med låg eller hög värmekapacitet. Det finns ingen given gräns för dessa benämningar utan uttrycken får betraktas som en allmän beskrivning av pannan.

3.1.1 Icke-kondenserande pannor

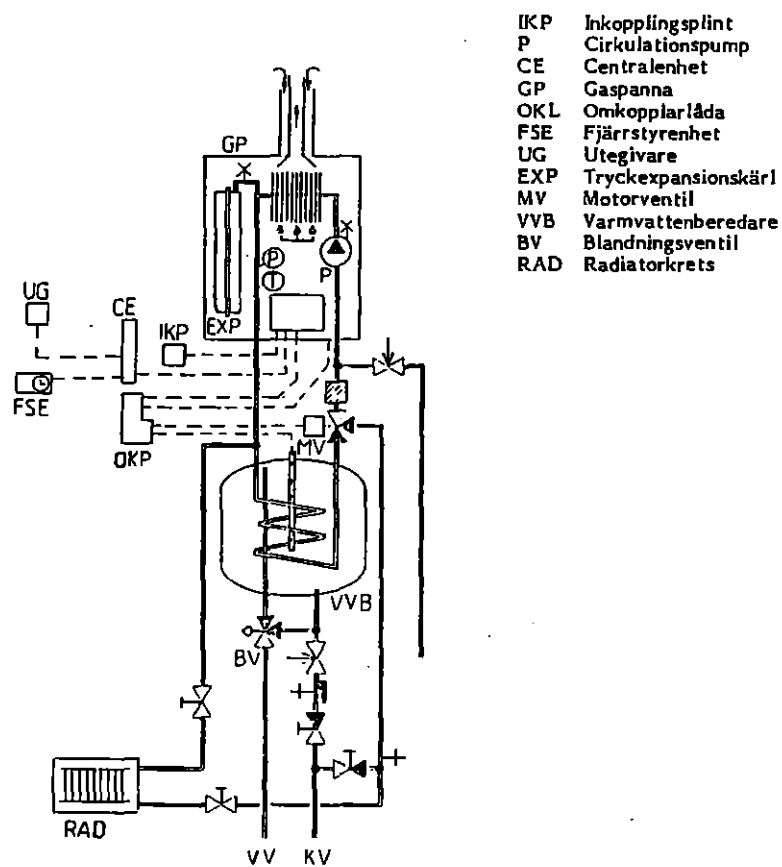
Tre icke-kondenserande pannor beskrivs. Det är de vägghängda Vaillant VC112 och EXOGAS 60 samt den golvplacerade TMV Gazola. **Vaillant VC112** är en väggpanna med en atmosfärsbrännare reglerbar mellan 10,5 kW och 5 kW. Avgastemperaturen är ca 120–130°C. Pannan har ett slutet förbränningsrum och avgasterminal. Den vanligaste installationen har varit i nybyggda hus. Oftast har pannan reglerats utifrån utomhustemperaturen. En installation med varmvattenberedning illustreras med figur 3.1. Varmvattenberedningen prioriteras framför uppvärmningsfunktionen, d v s när det finns behov av att värma beredaren används pannan primärt till detta.

I systemet ingår en överströmningsventil som skall säkerställa ett vattenflöde genom pannan även när radiatortermostaterna är stängda. På grund av pannans låga vikt och blygsamma vatteninnehåll riskeras överhettning om brännaren är i drift och vattenflödet mycket lågt. Vid brännarstart försäkras att cirkulationspumpen är i drift genom mätning av differenstrycket över cirkulationspumpen, d v s en flödesvakt.

En annan väggpanna på den svenska marknaden är **EXOGAS 60**. Den innehåller en 60 liters varmvattenberedare. Brännaren, av atmosfärstyp, är reglerbar mellan 14 kW och 25 kW. För uppvärmning arbetar brännaren som en enstegs brännare med 14 kW effekt men kan gå upp till 25 kW vid värmning av varmvattenberedaren.

I samband med installation av väggpannor eller andra gaspannor med små vattenkanaler rekommenderas att en sil eller filter monteras och att värmesystemet rensas. Stopp i eller igensättning av värmeväxlare har uppstått där detta inte gjorts. Vattenflödet genom pannan har då minskat eller helt upphört efter en tid. Som en följd därav har värmeväxlaren i en del fall bytts ut.

TMV Gazola är en svensktillverkad gaspanna med atmosfärsbrännare och sammanbyggd med en 150 liters varmvattenberedare. Pannvattenvolymen är ca 60 liter. Pannan är avsedd för golvplacering. Brännareffekten är 12–15 kW med 135°C avgastemperatur vid 12,5 kW och 75°C panntemperatur. Luftöverskottet är ca 55% och brännaren är försedd med en pilotlåga. Pannkroppen är en svet-



Figur 3.1: Systemuppbyggnad med vägghörsen Vaillant VC112

sad låda med ett stort antal släta rör ovanför brännaren. Jämförbara utländska pannor har som regel en gjuten värmeväxlare. Konstant pannvattentemperatur och utomhusstyrd glidande vattentemperatur i radiatorkretsens framledning kan väljas.

I jämförelse med de tidigare två pannorna är det inte nödvändigt med en överströmningsventil för att säkerställa vattenflöde genom pannan. Det finns däremot en laddpump som cirkulerar pannvattnet som värmer varmvattenberedaren. Tillverkningen av pannan upphörde 1995 pga kostnader för CE-märkning.

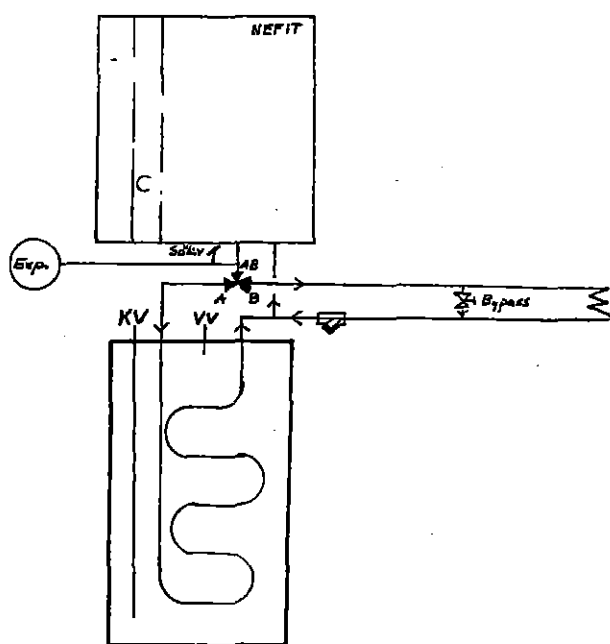
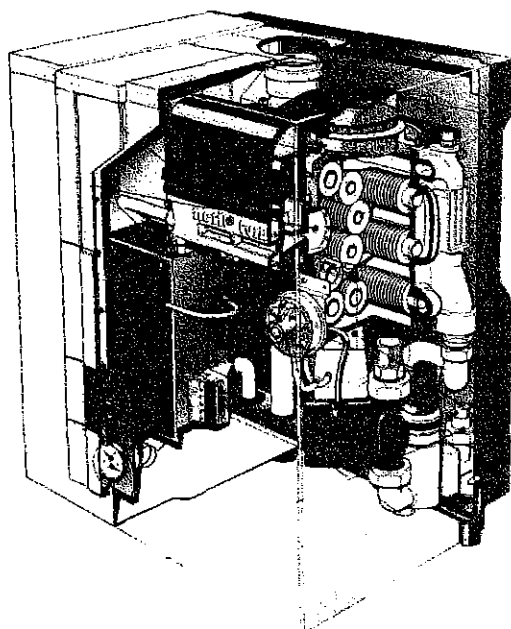
3.1.2 Kondensationspannor

Den holländska vägghängda kondensationspannan Nefit Turbo som installerats i ett antal svenska småhus är den vanligast förekommande kondensationspannan. Pannan, som introducerades 1981, kan också kaskadkopplas (flera pannor kopplas i serie) för värmeförsörjning av större fastigheter. Pannan är försedd med en förblandningsbrännare. Värmeväxlaren består av flänsade rör i en aluminiumlegering. Avgastemperaturen från pannan är endast 10–15°C högre än radiatorsystemets returtemperatur.

Svenska byggnormer har specificerade krav på varmvattenflöden varför det som regel krävs en varmvattenberedare på ca 100 liter. Pannan har reglering med utetemperaturgivare. Rumstermostat har endast använts i ett fåtal tidiga installationer. Rumstermostat tillsammans med radiatortermostater lämpar sig väl som reglersystem där framför allt pannan har ett litet vatteninnehåll. En felpplacerad rumstermostat kan orsaka problem. Dock kommer rumstermostat att användas i ett femtiotal bostäder under byggnad i Malmö. Figur 3.2 visar dels pannans konstruktion dels en skiss av en typisk installation.

I anslutning till pannan finns en överströmningsventil (By-pass i figuren) för att säkerställa vattencirkulation vid stängda termostatventiler. Om utomhusstyrning används är det viktigt att reglercentralen ställs in så att framledningstemperaturen är så låg som möjligt, vilket ger största möjliga flöde genom radiatorerna. Risk finns annars att radiatortemperaturen blir onödigt hög och sänker verkningsgraden.

I gamla hus installeras pannan i befintliga pannrum så att förbränningsluften hämtas från pannrummet och avgaserna transporteras bort i den befintliga skorstenen. Vid nybyggnation används utomhusluft till brännaren. Luften hämtas antingen genom en avgasterminal med både luft och avgaskanaler eller genom ett sk splitsystem, d v s förbränningsluften hämtas i en kanal och avgaserna transporteras bort i en annan kanal monterad vertikalt eller horisontellt.



Figur 3.2: Genomsärning av Nefit Turbo (överst) och systemkoppling av pannan (nederst)

3.2 Varmvattenberedning

Två metoder kan användas för att täcka hushållets varmvattenbehov, antingen direkt produktion i en genomströmningsberedare eller användning av förrådsberedare, antingen kopplade till en värmepanna eller med egen värmegenerering.

3.2.1 Genomströmningsberedare

Genomströmningsberedare skulle kunna ge en högre verkningsgrad tack vare minskade värmeförluster. Idag finns en del olje- och allbränslepannor där det varma pannvattnet används som värmekälla för momentan produktion av tappvarmvatten. Endast vid gaseldning är det rimligt att ha en separat genomströmningsberedare för att täcka hushållets tappvarmvattenbehov. I ett tidigare SGC-projekt [47] gjordes en litteraturstudie och bedömning av genomströmningsberedarens möjligheter i Sverige. I rapporten konstateras att fördelarna är att inga stilleståndsförluster förekommer och att verkningsgraden är hög, varmvattenuttaget är obegränsat, utrymmeskravet lågt och att priset är lägre än för stora förrådsberedare. Till nackdelarna hör högt effektbehov, 40–50 kW kan behövas, tidsfördröjning vid tappning, ljudnivån från brännaren kan vara hög, stort tryckfall på vattensidan och kalkutfällning samt korrosion kan ge kort livslängd. Med kravet i "Boverkets Byggregler" på ett varmvattenflöde på 0,35 l/s (40°C) fås ett effektbehov av 43 kW vid en ingående vattentemperatur av 10°C.

Relativt litet forskning tycks ha utförts under de senaste 15 åren enligt rapporten. Energibesparingen som genomströmningsberedaren kan ge i jämförelse med gaseldade förrådsberedare uppskattades till 1000–1800 kWh/år. Jämfört med en eluppvärmd förrådsberedare bedömdes genomströmningsberedaren endast ge marginella besparingar. Enligt Konsumentverket [48] har dagens elvärmda förrådsberedare en årlig värmeförlust på 500–1500 kWh. Det framgår inte om dessa värden innehåller förluster i ledningarna till och från beredaren.

Det tycks vara svårt att kombinera krav på hög vattenkomfort (jämn temperatur vid olika flöden, kort svarstid) med genomströmningsberedare på kanske 40 kW. Kondensationsteknik synes också vara nödvändig för att erhålla en tillräckligt hög verkningsgrad. Möjligen skulle komfortkravet klaras om två mindre genomströmningsberedare användes i ett småhus.

Det begränsade arbete som utförts de senaste åren medför också att det saknas klarläggande mätdata om genomströmningsberedares prestanda. Det föreligger ett klart behov av djupare studier i syfte att helt belysa skillnaderna mellan förrådsberedare och genomströmningsberedare.

En begränsande faktor för en utbredd användning av genomströmningsberedare i ett gasdistributionsområde är ledningstrycket enligt [47]. Det är tveksamt om

ett nät med 100 mbar ledningstryck skulle klara det men inga problem skulle uppkomma om husen anslöts direkt till 4 bar ledningstryck.

3.2.2 Förrådsberedare

För en normal familj är varmvattenbehovet ungefär 4000 kWh/år, vilket motsvarar en genomsnittseffekt på 0,5 kW. Beroende på beredarens volym och varmvattenbehovet blir den nödvändigt tillförda värmeeffekten mellan 0,5 kW och värdet för genomströmningsberedare.

En större förrådsberedare behöver inte en så stor tillförd effekt som en mindre för att uppfylla kapacitetskraven. Anledningen är att den inte behöver laddas lika ofta och effektbehovet blir då lägre när längre laddningstid är möjlig. I väggpannor är ibland en varmvattenberedare på 50–60 liter sammanbyggd med pannan, jfr EXOGAS 60. Med en brännareffekt på ca 25 kW uppfylls kraven.

3.3 Erfarenheter av installationer

I avsnittet redovisas erfarenheter av olika gasinstallationer i svenska småhus. Sammanställningen omfattar såväl konventionella installationer som ny teknik eller systemlösningar. Djupare studier och dokumentation av installationer har huvudsakligen gjorts då problem uppstått. Detta förklarar varför många av exemplen visar probleminstallationer. De flesta installationerna har dock varit lyckade. Exempelen speglar samtidigt effekterna av den för Sverige nya teknik som började användas vid naturgasintroduktionen. Vidare förekom väl optimistiska verkningsgradsangivelser från en del försäljare, vilket kunde föranleda klagomål angående gasförbrukningen. Speciellt gällde detta då en bra oljepanna ersattes. Idag bör inte liknande problem uppstå tack vare de kunskaper som vunnits från installationerna.

Någon omfattande och representativ undersökning av brukarnas erfarenheter av gasuppvärmning har inte gjorts. I texten redovisas brukares erfarenheter för ett litet, ej representativt, urval.

3.3.1 Bara

I Bara öster om Malmö konverterades en serie småhus från oljeeldning till gaseldning redan före naturgasintroduktionen i en sk förtida inkoppling med propan/luft-blandning. Erfarenheter från denna konvertering finns redovisade i [29].

Konverteringen gjordes med utgångspunkt att de gamla oljepannorna hade en

årsverkningsgrad på 70% och de nya gaspannorna skulle ha en årsverkningsgrad på 80%. De tidigare oljepannorna hade försörjts från en gemensam oljetank och var försedda med individuella oljemätare. Den förväntade minskningen av energianvändningen uteblev i de flesta fall. Den vanligaste pannan var CTC 171 som kunde förses med antingen en atmosfärs- eller fläktgasbrännare.

En ingående studie visade att årsverkningsgraden var kring 70%. Pannorna visade sig ha höga strålnings- och stilleståndsförluster. Dessutom förekom ett extra luftflöde genom dragavbrottet.

En rad åtgärder föreslogs för att höja årsverkningsgraden till målsättningen 80%. Sänkning av pannvattentemperaturen och sänkning av brännareffekten minskade strålnings- och stilleståndsförlusterna. Genom installation av ett spjäll i avgaskanalen kunde verkningsgraden höjas till ca 80%. Dock var inte den sänkta brännareffekten tillräcklig i alla hus varför andra åtgärder fick vidtas. Genom byte till fläktgasbrännare kunde årsverkningsgraden också höjas till 80%.

3.3.2 Bromma

I Bromma konverterades i utredningssyfte 1990 en villa från vattenburen el till stadsgasvärme. Under ett år med början i september 1991 gjordes mätningar i syfte att klarlägga prestanda [30]. Undersökningen gjordes av Vattenfall med stöd av SGC.

Huset har två plan och en totalt uppvärmd yta av ca 200 m². Byggnadsåret är 1938. Konverteringen innebar att elpannan (9 kW) ersattes av en Vaillant VC110 (sa när som på avgaskanalen är denna identisk med VC112, se sidan 21). Pannan har en atmosfärsbrännare med maxeffekten 10,5 kW och reglerbar till 5 kW. Pannan som oftast monteras som väggpanna placerades denna gång mot en ca 8 m hög skorsten i källaren. Detta innebär att draget genom pannan under brännarens stillestandstid är avsevärt större än om pannan monterats som en väggpanna med en horisontell avgasterminal. Detta påverkade pannans funktion på så sätt att stilleståndsförlusterna blev mycket höga. Brännaren arbetade troligen med mycket korta drift- och stilleståndstider. Problemet minskades genom att cirkulationspumpen var i drift endast då brännaren var i funktion.

Den uppmätta verkningsgraden över ett år med tappvarmvattenproduktion inräknad var 67%. Detta värde ligger under den verkningsgrad som gasleverantören och pannleverantören skulle ange som förväntad, åtminstone ca 80%. Installationen är inte optimal och skälet är troligen de ökade stilleståndsförlusterna som den höga skorstenen ger upphov till.

3.3.3 Varberg

Varberg Energi har sammanställt energianvändningen (el och gas) hos ett antal gasuppvärmda hus. Olika pannor och värmedistributionssystem förekommer. Ett konventionellt uppvärmningssystem med panna och radiatorer finns i 17 hus. Två olika pannor används här, panna I och panna II. Golvvärme är installerat i 9 hus och slutligen används luftvärme i 3 hus. Förbrukningsdata anges som årsanvändningen kWh/m² år. Husen är byggda i början av 1990-talet efter samma normer, vilket gör de angivna värdena jämförbara. Trots det begränsade underlaget och den nämnda osäkerheten görs en jämförelse av uppvärmningssystemens prestanda i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Jämförelse mellan olika gasbaserade uppvärmningssystem (Varberg Energi)

Anläggning	Antal	Gasanvändning kWh/m ² år	Relativt till A	Elanvändning kWh/år
Panna I och radiatorer (A)	10	98	1,00	7067
Panna II och radiatorer	7	80	0,82	7067
Panna och golvvärme	9	127	1,30	8731
Luftvärme	3	76	0,78	12386

Det framgår tydligt av tabellen att golvvärme innebär en betydligt högre gasanvändning än de andra alternativen. Ett troligt skäl till detta är värmeförluster till den underliggande marken.

3.3.4 Malmö

I kvarteret Borgsund byggdes i slutet av 1980-talet ett antal småhus som radhus. Olika former av uppvärmningssystem installerades. De flesta hus försågs med vanliga radiatorsystem men några hus försågs med luftvärme. Några hus försörjs med en central värmepanna medan de övriga har individuella gaspannor. Området är mycket lämpat för att göra studier av gasbaserade uppvärmningssystem i ny småhusbebyggelse. I ett BFR-finansierat uppdrag har Institutionen för Byggnadskonstruktionslära (LTH) studerat eventuella prestandaskillnader mellan några av de luftvärmda och de radiatorvärmda husen [31].

Luftuppvärmningen i de aktuella husen fungerar på två olika sätt. I det ena värms luftkanalerna direkt av gasbrännare och i det andra fallet används en vanlig väggpanna, som via en vattenkrets värmer luften. I det första systemet ingår en vattenvärmare i luftvärmningsaggregatet. Systemen beskrivs närmare

på sidan 44. Till radiatorsystemen är en Vaillant väggpanna kopplad och en förrådsberedare för varmvatten.

Redovisade mätningar gäller för 1990. I tabell 3.2 är mätresultaten sammanställda. Uppvärmningsbehoven är beräknade med hjälp av BKL-metoden och de uppmätta genomsnittliga inomhustemperaturerna. Hus 22 och 24 har värmeåtervinning, vilket förklarar skillnaderna jämfört med hus 21 och 23.

Tabell 3.2: Beräknad och uppmätt energianvändning i kvarteret Borgsund

Hus nr	Beräknad uppvärmning (kWh/år)	Uppmätt varmvatten (kWh/år)	Mätt gas- användning (kWh/år)	Verknings- grad (%)
LUFTVÄRMDA HUS				
21	8895	2793	13833	84,5
22	4036	2624	8687	64,3
23	7707	1650	12387	75,5
24	4384	— ¹	4563	96,1
RADIATORVÄRMDA HUS				
28	5625	2305	11900	66,7
29	6638	2305	11063	80,8
30	5570	2305	11790	66,6

¹ Ingår i elanvändningen

De beräknade årsverkningsgraderna är ofta mycket låga. Detta förklaras delvis av att det aktuella året var relativt varmt. Uppvärmningsbehovet var ca 80% av normalåret. Effekterna av ett normalår kan uppskattas genom att studera exempelvis hus 21 och 29, som har större uppvärmningsbehov. Här är årsverkningsgraden betydligt högre och närmare det förväntade värdet. Fortsatt arbete i syfte att minska känsligheten för små uppvärmningsbehov är önskvärd.

Det gjordes också en enkät bland de boende avseende inneklimatet. Resultatet omfattar 4 luftvärmda hus och 13 radiatorvärmda hus. I de flesta fallen (90%) ansåg de boende att värmekomforten var bra eller acceptabel. Värt att notera är att man i de luftvärmda husen upplevde ojämn temperaturfördelning i större omfattning. Detta beror bl a på att tilluftssystemet inte passar med planlösningen, zonindelningen innehåller både soliga och skuggiga delar samt att rumstermostater varit felplacerade. Problemen är alltså inte ett resultat av bränslevallet utan de beror på värmesystemets dimensionering och installation i de aktuella husen.

3.3.5 Lund

Lunds Energi konverterade fem småhus med elvärme till naturgasbaserad uppvärmning [32]. Projektet, som hade finansiellt stöd av Svensk Energiutveckling (SEU), inleddes 1989 och samtliga fem hus var konverterade februari 1992. De fem husen hade väldokumenterad energianvändning och olika konstruktion för att kunna prova olika konverteringsmetoder och -tekniker. De följande avsnitten beskriver de olika husens utgångsförutsättningar och konverteringsmetoderna.

Hus A

Huset är ett enplans, källarlöst kedjehus på 129 m². Taket har liten vinkel. När huset byggdes 1978 installerades direktverkande el om totalt 10,5 kW. Varmvattenberedarens volym var 300 liter och den värmdes med en 3 kW elpatron.

Vid konverteringen installerades ett luftvärmesystem. Ett kanalsystem placerades på vinden med totalt sju tilluftsdon till husets olika rum. Luften värmdes i ett separat aggregat med vatten från en gaspanna som placerats i garaget. Aggregatet placerades i tvättstugan. Gaspannan var en Pulsonex med pulsbrännare. Pannan är likadan som Pulsonex oljeeldade panna. Varmvattenberedningen sker momentant i en plattvärmeväxlare. Konverteringen var inte fullständig, d v s en liten del eluppvärmning behölls.

Hus B

Hus B är ett enplans radhus på 134 m². Huset byggdes 1960 och försågs då med en oljepanna och konventionellt radiatorsystem. Oljepannan byttes under 1970-talet till en elpanna (7,5 kW) sammanbyggd med en varmvattenberedare (300 liter, 3 kW). Radiatorsystemet behölls.

Konverteringen innebar att elpannan ersattes av en pulsationspanna med ett kondensationssteg för att ytterligare höja verkningsgraden. På grund av risk för ljudstörningar från pannan placerades denna i en liten separat tillbyggnad mot pannrummets yttervägg.

Hus C

Hus C byggdes 1930 med konventionellt vattenburet värmesystem, som dock ersattes av direktverkande el (12 kW) i samband med en omfattande renovering omkring 1980 där det gamla radiatorsystemet togs bort. Huset är på 1,5 plan med en bostadsyta på totalt ca 200 m² inklusive inredd källare.

Luftvärme ansågs olämpligt för detta hus beroende på planlösningens karaktär

med många prång och passager. Ett vattenburet system med en icke-kondenserande gaspanna inklusive en varmvattenberedare användes. Skorstenen försågs med insatsrör. Värmen distribuerades i ett system med plaströr monterade bakom en täcklist vid golvet och konvektorer av plåt. Värmesystemets vatteninnehåll är lågt jämfört med vanliga radiatorsystem.

Hus D

Detta hus är ett tvåplans radhus byggt 1972. Ytan är ca 240 m² inklusive källare. Då huset byggdes installerades direktverkande el (12 kW) och en varmvattenberedare (500 liter, 2×3 kW).

Husets öppna planlösning ansågs vara en god förutsättning för luftvärme. Övervåningen, som innehåller sovrum försågs med ventilationsöppningar och spalter kring dörrar för att möjliggöra luftcirkulation medan det räckte med centralt placerade tilluftsdon på övriga våningsplan. Den befintliga varmvattenberedaren kunde kopplas till den nya gaspannan. Denna var en Nefit Turbo med avgaskondensering, se sidan 23.

Hus E

Huset (1,5 plan) byggdes 1978 och är friliggande med en bostadsyta om 179 m². Vid uppförandet installerades direktverkande el (13,5 kW). Varmvattenberedaren har volymen 300 liter och en 3 kW elpatron.

En golvvärmelist användes för värmedistributionen i huset. Listen ersätter den befintliga golvlisten och har en maximal värmeeffekt av 100 W/m. Även här valdes en panna av modellen Nefit Turbo, dock med tillhörande varmvattenberedare.

Drifterfarenheter

Gemensamt för alla anläggningar anges att konverteringen varit mer komplicerad och tidskrävande än planerat. Värmedistributionen i husen med luftvärme har haft vissa brister, bl a kunde tilluftsdonen i hus A på grund av den låga takvinkeln inte kunnat placeras tillräckligt nära ytterväggarna för att kompensera kallrasen. Efter justeringar har dock många av problemen undanröjts. Av husen med vattenburen värme är det endast hus E som gett märkbara problem med komforten och då med läckage i skarvar och ljudstörningar som följd av materialexpansion vid temperaturändringar.

Pannorna har uppvisat olika former av problem. I hus A och B användes pulsationspannor från Pulsonex. Pannmodellen var vid konverteringen ny och många

driftstörningar uppkom, som dock kunde minskas genom ändringar av konstruktionen. Ljudet från pannan ansågs också som störande (Numera har Pulsonex pannor ljuddämpare och är troligen tystare än de provade pannorna). Nefit Turbo har ett litet vatteninnehåll och tillsammans med antingen litet vattenflöde eller liten värmekapacitet i värmesystemet uppkommer korta drifttider. Detta är ur verkningsgradssynpunkt en dålig driftsituation. I hus B där en panna med stort vatteninnehåll (hög värmekapacitet) kopplades till det befintliga radiatorsystemet upplevdes inga sådana driftproblem. Här hade troligen en Nefit Turbo givit goda driftresultat. Uppvärmningsbehovet bestäms bl a av den termiska komforten. Hur denna förändrats efter konverteringen är inte undersökt, men en del problem påpekas i nästa avsnitt.

Kostnader och ekonomi

Tabell 3.3 innehåller kostnader och energianvändning för de olika konverteringsfallen. Minskningen av elanvändningen varierar och är naturligtvis beroende av andelen hushållsel i ursprungssystemet. Reduktioner upp till 90% är möjliga då vattenburna värmesystem installerats. Förbränningsverkningsgraden för de olika installationerna är angivna i figuren. Då flera mätningar är gjorda är medelvärdet angivet i tabellen.

I hus A ökade energianvändningen kraftigt efter konverteringen. En låg pannverkningsgrad är troligen inte orsaken eftersom pannan har mycket små stilleståndsförluster och är välisolerad. Årsverkningsgraden uppskattades till 85–90%. Däremot noterades temperaturskiktning i rummen, vilket kan ha ökat uppvärmningsbehovet.

I hus B ökade energianvändningen för uppvärmning med ca 4%. Eftersom en kondensationspanna användes indikerar detta att årsverkningsgraden är ca 95%. Installationen ger goda förhållanden för pannan.

I hus C ökade energianvändningen för uppvärmning från 12500 till 20000 kWh/år. Om dessa värden jämförs skulle årsverkningsgraden vara ca 60%. Pannan, Albin Modul, har ett stort vatteninnehåll och är relativt okänslig för ett värmesystem med låg värmekapacitet och litet vattenflöde. Man förväntade sig en årsverkningsgrad på 80%. Möjligen kan en konstant hög panntemperatur vara en förklaring.

I hus D användes en del elvärme för att förbättra komforten i huset. Det innebär att energianvändningen för uppvärmning ökade ca 30% efter konverteringen.

I hus E ökade energianvändningen markant. Om detta beror på att husets uppvärmningsbehov ökat p g a annat inomhusklimat eller att pannan arbetat under dåliga driftförutsättningar är oklart. Det senare har med största sannolikhet inverkat.

På den ekonomiska sidan visar sammanställningen att konverteringskostnaderna (beräknade för en färdigutvecklad konverteringsteknik) var minst 80 000 kr som lägst då ett nytt värmedistributionssystem installeras. Konverteringarna är gjorda under en tid då byggkostnaderna var höga. De sänkta energikostnaderna kan inte försvara denna investering. Återbetalningstiden blir i det bästa fallet (hus B) ca 19 år. Konverteringen av hus B hade kunnat göras billigare genom att den nya pannan placerats på den gamla pannans plats. Återbetalningstiden skulle då kunna sänkas till uppskattningsvis 10–15 år. I övrigt är återbetalningstiderna orealistiskt långa. På grund av problemen med hus A återställdes detta senare.

Konverteringarna visade att det inte finns några betydande tekniska problem. Däremot kan inte de valda systemlösningarna ge kostnadsbesparingar för kunden som denne rimligen kan acceptera med hänsyn till investeringen.

3.3.6 Kommentarer till redovisade erfarenheter

Redovisade mätprojekt behandlar nästan uteslutande icke-typiska konverteringsfall. Prestanda, såsom årsverkningsgrad, för konventionella system tycks inte vara kända i detalj. Data för verkningsgrader som konsumenten kan ta del av är antingen schablonvärden från gasleverantören eller värden från pannstillverkaren.

Av den nya teknik som använts i samband med naturgasintroduktionen är det främst lätta vägghängda pannor som kunnat ge upphov till problem och dåliga prestanda. Stilleståndsförluster vid användning av pannor med atmosfärsbrännare och kondensationsteknik är andra egenskaper och tekniker som kunnat ge mindre lyckade installationer. I Danmark utvecklades rekommendationer för lätta vägghängda pannor, se sidan 36.

Systemlösningar som inte kan anses vara konventionella eller typiska, t ex ersättning av elvärme och användning av luftvärme, har studerats relativt ingående men i separata projekt. Sammantaget ger dessa projekt en god kunskapsbas där uppkomna problem oftast kan förklaras med kunskap från annat håll.

3.4 Kondensering och korrosion i pannor och avgassystem

Genom sänkning av avgastemperaturen ökar risken för kondensutfällning i avgaskanalen. I många fall har man undvikit detta genom introduktionen av väggpannor med sina korta avgasterminaler. De låga temperaturerna innebär också en risk för kondensutfällning och korrosion i pannan. Svenska arbeten om avgaskanaler och skorstenar i samband med naturgaseldning finns i rapporterna [16]–[19].

Tabell 3.3: Ekonomiska data för de konverterade elvärmda husen i Lund

	A	B	C	D	E
Ursprungligt system	dir. el	el + rad.sys	dir. el	dir. el	dir. el
System efter konvertering	varmluft	oför.	konvektorer	varmluft	värmelist
Utvecklad (beräknad) kostnad (kr)	77 000	60 000	140 000	106 000	121 000
Energianvändning före konv. (kWh/år) el	22 900	34 750	21 500	18 100	25 400
varav värme	14 600	24 700	12 500	8 600	17 400
Energianvändning efter konv. (kWh/år)					
el	13 900	4 900	7 500	8 400	8 100
gas	18 800	25 600	20 000	8 900	14 000
därav kompletteringsvärme (kWh)	5 000	—	—	2 000	60
Förbränningsverkningsgrad (%)	94,0	103,1	94,0	104,0	106,3
Reduktion el (%)	40	86	70	48	60
Energikostnad före konv. (kr/år)	7 700	13 300	8 500	5 800	7 100
Energikostnad efter konv. (kr/år)	10 900	10 100	8 100	5 550	6 150
Besparing (kr/år)	-3 200	3 200	400	250	950
Pay-off-tid för konverteringen (år)	—	19	350	424	127

3.4.1 Korrosion i pannor

Korrosion riskerar att uppkomma i pannan där yttemperaturen understiger avgasernas daggpunkt. I kondenserande pannor eftersträvas låg yttemperatur och problem med korrosion skall inte uppkomma. I icke-kondenserande pannor kan kondensutfällning ske vid brännarens start då pannan kylts av eller på grund av dålig vattencirkulation i pannan, vilket kan ge kalla ytor. Avgastemperaturen kan inte direkt ge information om eventuell risk för kondensutfällning. Den geometriska utformningen av värmeväxlaren och dess eventuella ytförstorande element bestämmer yttemperaturen men det finns pannor där låga yttemperaturer undviks genom noggrant styrd vattenströmning genom pannan och val av material i värmeväxlaren. Risken för kalla ytor och kondensutfällning ökar vid utomhusstyrd panntemperatur.

3.4.2 Korrosion i avgaskanaler

Det är huvudsakligen vid konvertering från ett annat bränsle som problem kan uppstå i avgaskanalen. Befintligt pannrum och skorsten används vanligen. I nyproduktion kan enklare lösningar användas, t ex väggpannor och avgasterminaler.

Det huvudsakliga skälet till ökad risk för korrosion i avgaskanalen är liksom för pannor den sänkta avgastemperaturen med påföljande kondensutfällning. Insatsrör av material som anses vara tillräckligt motståndskraftiga mot kondens har trots detta ändå drabbats av korrosion. Känsligast tycks rostfria stål vara, och här har korrosionen underlättats av klorider i förbränningsluften. Ett omfattande arbete i både Nordamerika och Europa har lett fram till pålitliga tekniska lösningar och material. I Sverige används normalt flexibla rostfria slangar, vilket är en mycket ovanlig teknik utomlands. Unika svenska problem har uppstått men rekommendationer för problemfri funktion har tagits fram av Sydgas [18]. Rekommendationerna gäller i första hand pannor med fläktgasbrännare. Två avgassystem behandlas: avgassystem där vattenångan ej skall kondensera och avgassystem där vattenångan skall kondensera under brännarens drift. I det förstnämnda fallet skall avgastemperaturen från pannan inte understiga 150°C. Insatsrör med stålqualiteten SS2343 kan då användas. Då vattenångan i avgaserna tillåts kondensera krävs högre materialkvalitet, t ex SS2562. Kondenseringen skall i sådana fall vara riklig och upptorkning minimeras. Vid de låga avgastemperaturer som är aktuella i detta fall kan också plastmaterial användas i insatsrören.

Till kondensationspannor och pannor med låga avgastemperaturer används också insatsrör av olika plastmaterial. I Tyskland används för kondensationspannor insatsrör av aluminium, rostfritt stål, plast (PVDF och PPS), glas, schamott och lättbetong. Det finns utvecklade tekniker för både en- och flerfamiljshus rörande integrerade system med både förbränningsluftstillförsel och avgaskanaler.

I Sverige finns erfarenheter bara av aluminium och rostfritt stål. Plastmaterial har använts under kort tid och inga långtidserfarenheter finns ännu.

Riktlinjer för dimensionering av avgaskanaler har nyligen tagits fram i USA [34]. Det är användningen av pannor med fläktgasbrännare och en årsverkningsgrad (Annual Fuel Utilization Efficiency, AFUE) på 85–91% som initierat arbetet. Pannornas prestanda stämmer väl överens med många av de svenska installationer där korrosionsskador i avgaskanalen inträffat. Riktlinjerna är utarbetade med hjälp av beräkningsprogrammet VENT-II, utvecklat av Battelle i Columbus, Ohio. Programmet beräknar temperaturer och eventuell kondensering i avgaskanalen. Riktlinjerna ger med avgaskanalens sträckning samt dess dimensioner ett intervall med lämplig brännareffekt.

Skorstensåtgärder i samband med konvertering till naturgas utgör en stor del av den totala konverteringskostnaden. Här torde det finnas utrymme för förbättrad teknik, både ur ekonomisk och installationsmässig synpunkt. Ett förslag till teknik som kan vara lämplig där avgastemperaturen inte är alltför hög är att belägga den befintliga avgaskanalen med ett motståndskraftigt material.

3.5 Danska rekommendationer för installation av gaspannor

3.5.1 Pannans dimensionering

I Danmark hade man tidigt problem med dåliga installationer där gaspanna och värmesystem inte fungerade på ett tillfredsställande sätt som en enhet. Exempelvis kunde gaspannor med ett litet vatteninnehåll visa höga start/stopp-frekvenser då värmesystemet hade ett lågt vattenflöde och liten termisk kapacitet. För att undvika problem ges följande rekommendationer för främst lätta vägghängda pannor och radiatorsystem [35]. Pannans värmeeffekt skall vara av samma storleksordning som radiatorsystemets samlade värmeeffekt. En tumregel ges: Pannans effekt bör inte vara mer än 50% större än radiatorsystemets. Pannans värmeeffekt skall också väljas med hänsyn till byggnadens effektbehov och varmvattenförbrukning med en överdimensionering för eventuell nattsänkning. Överslagsmässigt föreslås att panneffekten ökas med 10% av det dimensionerande värmebehovet för varje timmes nattsänkning. I praktiken innebär detta att pannans effekt inte överstiger det dubbla värmebehovet.

3.5.2 Ljudproblem i värmesystemet

Det har förekommit problem med ljud i installationer med små varmvattenberedare. Ljud uppkommer då en liten mängd mycket varmt vatten sänds ut

till radiatorerna i samband med att pannan växlar tillbaka till värmesystemet efter att ha värmt varmvattenberedaren. Ljudet uppkommer av de termiska spänningar som temperaturskillnaderna skapar. Problemet är tydligast vid användning av gaspannor med litet vatteninnehåll. Dansk Gasteknisk Center ger anvisningar om hur problemen kan undvikas i [33]. Tre möjligheter ges för justering av befintlig installation: förbättrad rördragning, ökat vattenflöde och installation av en bufferttank. En förbättrad rörinstallation innebär att glidskor installeras eller att genomföringar utförs så att rören inte är fixerade. Ett ökat vattenflöde kan fås genom sänkning av framledningstemperaturen. En bufferttank kan installeras i framledningen om andra åtgärder inte ger resultat. Som sista utväg föreslår DGC byte till en panna med större vatteninnehåll.

4

Modern teknik och tänkbara utvecklingsriktningar

De dominerande centralvärmesystemen i Europa och Nordamerika är radiatorsystem respektive varmluftsystem. Förbättringar av systemen där gasindustrin varit inblandad berör främst värmegenereringen, dvs brännaren och pannan. Här har avsevärda förbättringar gjorts, tex introduktionen av kondensationspannor i början av 1980-talet och utvecklingen av förblandningsbrännare och lågemitterande atmosfärsbrännare från slutet av 1980-talet. Förbättringar av värmedistributionen har framför allt omfattat pannornas reglering. I detta sammanhang bör också brukarnas komfortkrav användas som ett kriterium på vilken teknik som kan betraktas som den mest moderna. Exempelvis är det inte självklart att en panna med hög verkningsgrad ger det inomhusklimat de boende önskar.

En förbättrad husbyggnadsteknik sänker uppvärmningsbehovet och ställer ökade krav på uppvärmningssystemets dellastegenskaper då pannornas värmeeffekt inte minskat i samma omfattning. I nya hus överstiger uppvärmningsbehovet sällan 3–4 kW. I ingen panna på den svenska marknaden kan brännaren regleras ned till mindre än 7–8 kW. Moderna pannor, i synnerhet lätta pannor, innehåller många delar och givare. Samtidigt förutsätts det att pannan skall fungera väl utan tillsyn till skillnad från industriinstallationer. Åtgärder att säkra goda installationer bör prioriteras, tex genom kortfattade riktlinjer för systemuppbyggnad, dimensionering och installation.

Det minskade uppvärmningsbehovet och pannornas förbättrade prestanda innebär att kapitalkostnaden för panna mm har ökat kraftigt medan den rörliga delen för den använda energin minskat. Risken ökar att billig teknik används vid nybyggnation utan att hänsyn direkt tas till att sänka driftkostnaderna för de boende.

Ur ekonomisk synvinkel för gasleverantören finns en undre gräns för gasan-

vändningen i ett småhus. Denna kan beräknas med hänsyn till kostnader för servisledning och abonnentcentral och intäkter för anslutning och gasförsäljning. En förbättrad och billigare teknik att ansluta en abonnent sänker detta värde. Alla delar från distributionsnätet till gasledningen fram till pannan inverkar. Om användningen för byggnadsuppvärmning är mindre kan ytterligare hushållsapparater behöva vara gasanslutna för att motivera gasleverantören att ansluta byggnaden. Enligt [20] kan 1400 kWh/år användas i dessa apparater. Bara i små och/eller välisolerade hus behöver en sådan diskussion bli aktuell.

4.1 Brännare

Brännare till gaspannor för småhus har genomgått en kraftig utveckling under det senaste decenniet. Bara i kondensationspannor har moderna brännare fått en övervägande del av marknaden. Moderna brännare är mycket effektiva och så miljövänliga som det är möjligt med tanke på bränslet. NO_x -värden under 5 mg/MJ anges för många brännare. Det är ca 10% eller lägre av NO_x -emissionerna från de traditionella atmosfärsbrännare som tidigare dominerat i gaspannor. De nya brännarna förekommer i pannor som introducerats på marknaden under de senaste åren. För en mer detaljerad beskrivning av brännarnas miljöegenskaper hänvisas till [40]. Atmosfärsbrännare och förblandningsbrännare (allt bränsle och förbränningsluft blandas före förbränningen) är de brännare som förbättrats mest under åren och som används på marknaden. Andra tänkbara brännare är fläktgasbrännare, pulsbrännare och katalytiska brännare. Pulsbrännare finns i ett fåtal pannor och användningen begränsas troligen av bristen på kunskap om de komplicerade grundläggande förloppen i brännaren. Katalytisk förbränning har länge betraktats som mycket attraktiv teknik. 1996 introducerades den första villapannan med katalytisk förbränning och i övrigt finns ett antal prototyppannor redovisade.

4.1.1 Atmosfärsbrännare

Atmosfärsbrännaren är den enklaste och billigaste av de gasbrännare som används i värmepannor. Den har genomgått en markant teknikutveckling under de senaste åren. Traditionellt är primärluftmängden 40–60%. Det betyder att 40–60% av det stökiometriska luftbehovet sugas med gasströmmen från dysan in i brännarens injektor och blandningsrör. Gamla atmosfärsbrännare har NO_x -emissioner upp till 100 mg/MJ (200 ppm). En ökad primärluftmängd sänker NO_x -emissionerna. Genom en annan utformning av inlopps- och utloppsdelarna kan primärluftmängden bli överstökiometrisk. Ingen sekundärluft behövs och det totala luftöverskottet kan sänkas i jämförelse med gamla atmosfärsbrännare, t ex 30% i stället för 45%, vilket sänker avgasförlusterna. De överstökiometriska atmosfärsbrännarna får NO_x -emissioner i storleksordningen 10–20 mg/MJ, d v s

en mycket kraftig reduktion. Överstökiometrisk atmosfärsbrännare finns även i pannor på den svenska marknaden. Två exempel är en väggpanna från Vaillant och den golvplacerade Viessmann Litola.

4.1.2 Förblandningsbrännare

Förblandningsbrännare eller premixbrännare, d v s brännare där all förbränningsluft blandas med bränslet före förbränningen, används mycket ofta i kondensationspannor. Ofta fungerar de som strålningsbrännare men även utformningar med en mängd små flammor förekommer. NO_x -emissionerna är låga, oftast 5–15 mg/MJ. Brännarytan består av perforerade metallplåtar, parallella metallband i olika former, keramikplattor eller porösa fiberplattor. Brännaren ger möjlighet till lågt luftöverskott, små stilleståndsförluster och liten förbränningszon, vilket möjliggör en kompakt konstruktion. De små stilleståndsförlusterna beror på att avgasstråket är stängt under brännarens stilleståndstid. Detta minimerar förångning av kondenserad vattenånga, vilket är gynnsamt för både verkningssgrad och ur korrosionssynpunkt. Pannor på den svenska marknaden med förblandningsbrännare är exempelvis Nefit Turbo (EcomLine) och Viessmann Mirola.

4.1.3 Fläktgasbrännare

Fläktgasbrännare skiljer sig föga från oljebrännare. För småhusuppvärmning dominerar atmosfärsbrännare och förblandningsbrännare. Fläktgasbrännaren levereras oftast separat men det händer också att den är sammanbyggd med pannan som en "unit".

4.1.4 Pulsbrännare

Pulsbrännare används i några få pannor för villauppvärmning. I Sverige tillverkar Pulsonex oljepannor i tre effektstorlekar, 25, 88 och 125 kW värmeeffekt. I USA tillverkas Lennox Pulse för varmluftssystem. Pannan är en kondensationspanna där en kondenserande värmeväxlare placerats efter pulsbrännaren. Den har tillverkats från 1981 och den årliga produktionen är ca 100 000 exemplar. Hydrotherm tillverkar en panna för radiatorsystem, Hydro Pulse, med gaseffekten 25 kW. Pannan är en kondensationspanna och var den första som godkändes för den tyska marknaden 1981. Det franska företaget Auer presenterade under slutet av 1995 en kondensationspanna (20 kW) med pulsbrännare. Artiklar från företaget publicerades för flera år sedan om detta arbete, vilket kan ses som en indikation på svårigheterna att utveckla pulsbrännare från början. I USA och Australien utvecklas för närvarande pulsbrännare för uppvärmningsändamål.

Det är alltså mycket få pannor som är utrustade med pulsbrännare. Dock har de introducerade pannorna varit framgångsrika. Det begränsade antalet modeller beror bl a på bristen på kunskap om de grundläggande processerna.

Till pulsbrännarens fördelar räknas sedan lång tid tillbaka hög verkningsgrad och låga emissioner. Både atmosfärsbrännare och förblandningsbrännare ger med modern teknik NO_x - och CO-emissioner som är lika låga eller lägre än pulsbrännare med förblandning av gas och luft. Dock visar forskning vid bla LTH att NO_x -emissionerna kan sänkas till $<5 \text{ mg/MJ}$. Olika brännare kommer i framtiden att vara tämligen likvärdiga avseende emissioner och i viss grad verkningsgrad. Pulsbrännarens största fördel torde då bli möjligheten att ge en enkel och billig konstruktion om rätt dimensioneringsverktyg utvecklas.

4.1.5 Katalytiska brännare

Katalytisk förbränning är med sin låga temperatur mycket lämplig för värme-pannor där temperaturkravet är lågt. Kommersiella produkter med katalytisk förbränning begränsas idag huvudsakligen till torkningsapplikationer. Våren 1996 introducerade Viessmann en vägghängd kondensationspanna med katalytisk förbränning, Eurola-Kat. Brännaren är den sk MatriX-brännaren med ytförbränning som finns i andra av företagets pannor. Ytan har belagts med ett katalytiskt skikt. Brännareffekten är 15 kW och NO_x -emissionerna uppgår till mindre än 3 mg/MJ . Verkningsgraden är inte lägre än för andra kondensationspannor. För värme-pannor har flera andra prototyper utvecklats, t ex av de tyska företagen Buderus, Hoval samt Parca i samarbete med Katator i Lund.

4.2 Pannor för vattenburna värmesystem

I avsnittet beskrivs tillgängliga pannkonstruktioner, som på ett effektivt, ekonomiskt och miljövänligt sätt utnyttjar naturgasen som bränsle. De modernaste konstruktionerna bland både kondenserande och ickekondenserande pannor beskrivs. Pannornas verkningsgrad har höjts markant genom sänkt avgastemperatur och sänkta värmeförluster. Beskrivningen här koncentreras till tysk och holländsk teknik, vilken bedöms vara den som direkt kan anpassas till svenska installationer.

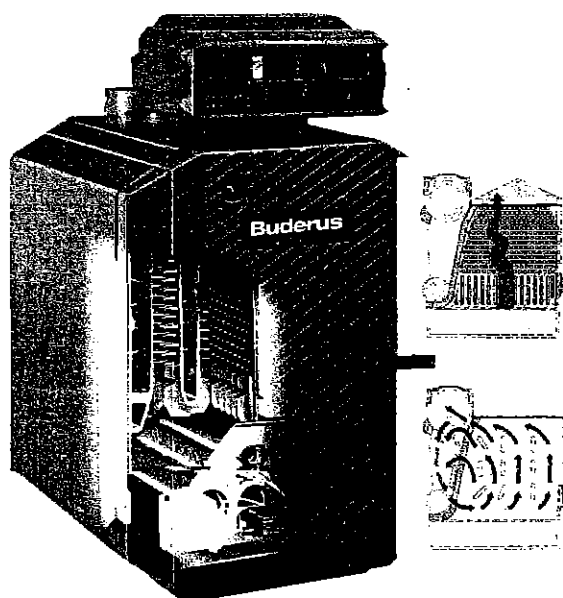
En av de mest framträdande förändringarna hos många europeiska pannor är det minskade vatteninnehållet och den låga vikten. Detta ställer särskilda krav på det övriga värmesystemet och negativa konsekvenser av detta observerades bl a i ett av de konverterade husen i Lund. En del tyska panntillverkare utvecklar pannor med stort vatteninnehåll med hänvisning till långa drifttider och hög verkningsgrad. I den följande texten presenteras några pannor som kan betraktas som

de modernaste avseende prestanda och undvikande av tidigare nämnda problem. Pannorna finns bara sedan en kort tid på marknaden.

4.2.1 Icke-kondenserande pannor

I denna grupp finner vi traditionella golvplacerade pannor med atmosfärsbrännare och värmeväxlare i gjutjärn samt pannor med fläktgasbrännare. Den senare pannkonstruktionen kan också användas med oljebrännare. Framför allt har utvecklingen av atmosfärsbrännare inneburit en prestandahöjning.

En panna med överstökiometrisk atmosfärsbrännare är **Buderus G134 LP**. För denna anges "Normnutzungsgrad" (DIN 4702 del 8, ung. årsverkningsgrad) utan varmvattenberedning till 93%. Detta värde förutsätter troligen ett lågtemperatursystem, tex golvvärme. Den höga verkningsgraden erhålls genom minskade strålnings- och konvektionsförluster tack vare god isolering och sänkta stilleståndsförluster. Sänkningen av de senare jämfört med gamla pannor med atmosfärsbrännare beror på den nya brännarkonstruktionen. Eftersom all förbränningsluft tillförs som primärluft finns ingen sekundärluftöppning. Följden blir minskat avkylande luftflöde under brännarens stilleståndstid. Brännarens emissioner är 5 mg/MJ för NO_x och 1 mg/MJ för CO. I figur 4.1 ses en bild av pannan samt skisser över de värmeöverförande ytorna och vattnets flödesväg i pannan.



Figur 4.1: Bild av Buderus G134 LP med överstökiometrisk atmosfärsbrännare. De infällda bilderna illustrerar hur vattenflödet i pannan är ordnat.

För att undvika kondensutfällning i pannan vid låga vattentemperaturer (glidande pannvattentemperatur) är returvattenflödet i pannan så anordnat att returvattnet inte kommer i kontakt med värmeväxlarytorna utan blandas med varmare pannvatten. Buderus kallar principen "Thermostream". Det tycks som om de flesta nackdelar som atmosfärspannor normalt lider av är kraftigt minskade i denna konstruktion. På den svenska marknaden finns Viessmann Litola med en liknande konstruktion.

Viessmann i Tyskland tillverkar en panna som är värd att nämna i detta sammanhang. Företagets pannor skiljer sig ofta avsevärt från traditionella konstruktioner oavsett om pannorna är kondenserande eller ej. **Vitola-biferral** är en panna med inbyggd fläktgasbrännare. Med god värmeisolering, glidande pannvattentemperatur och små stilleståndsförluster fås enligt tillverkaren en årsverkningsgrad på 94% (DIN 4702 del 8). Även i denna panna finns speciella åtgärder för att undvika kondensutfällning vid låga vattentemperaturer. Eldstaden är omgiven av ett rör i rostfritt stål. Här sker ingen värmeöverföring till vattnet. Efter en vändkammare möter avgaserna en värmeväxlare i gjutjärn med stora längsgående flänsar. Mellan pannvattnet och gjutjärnsdelen finns ett rör av rostfritt stål. För att undvika låga yttemperaturer vid start är kontakten mellan gjutjärnsdelen och det rostfria röret "dålig" innan materialtemperaturen har stigit så att gjutjärnsdelen expanderat och skapat god kontakt och möjliggjort effektiv värmeöverföring. Pannan karakteriseras av ett stort vatteninnehåll och hög värmekapacitet, vilket ger långa drifttider för brännaren.

4.2.2 Kondensationspannor

Tre kondensationspannor tas som exempel på modernaste teknik på området. Två av pannorna säljs i Sverige och de skiljer sig åt när det gäller värmeväxlarkonstruktion, material och vatteninnehåll. De flesta andra kondensationspannor för småhus har konstruktioner som i grunden skiljer ganska litet från de beskrivna.

Nefit Turbo är trots sin faktiska ålder en kondensationspanna av modernt snitt. Pannan introducerades 1981 och uppges ha tillverkats i 700 000 exemplar. Värmeväxlaren utgörs av flänsade rör i en aluminiumlegering. Brännaren är en förblandningsbrännare. Pannan har nyligen följts av en moderniserad version, **Nefit EcomLine**. Förbättringar sägs ha gjorts på brännare och värmeväxlare. Brännaren har nu en keramisk yta och är modulerande mellan 7 kW och 22 kW. Emissionerna uppgår till 9 mg/MJ NO_x och 4 mg/MJ CO. Verkningsgraden anges till 105% vid 50/30°C framlednings- respektive returledningstemperatur. Vatteninnehållet är 2,5 liter och vikten 52 kg. Pannan finns även i versioner med ca 30 och 40 kW effekt.

Pannkroppen är liksom tidigare isolerad. Kåpan mot rummet är däremot värmeisolerad. Värme från pannkroppen sägs återvinnas genom att all förbränningsluft cirkulerar kring denna och värms upp innan den når förbränningsluftfläkten.

Den nya pannan kan levereras med olika reglersystem. Enklast är en rumstermostat med tillhörande elektronik som kan styra brännarens effekt. Reglersystemet med flest funktioner innehåller både styrning av framledningstemperaturen efter utetemperaturen och en rumstermostatreglering. De boende kan då välja mellan att styra pannan med en rumstermostat eller utomhusstyrning. I Sverige kommer pannan att levereras med denna reglercentral.

Viessmann Mirola är en ny konstruktion som även finns i en icke-kondenserande modell. Utmärkande för pannan är den halvsfäriska brännaren. Denna fungerar som en infrastrålare med mycket låga emissioner, NO_x mindre än 5 mg/MJ. Brännareffekten är 11 eller 18 kW. Värmeväxlaren består av lodräta element med svagt ytförstorade ytor. Materialet är rostfri plåt.

Figur 4.2 visar bilder av Nefit EcomLine och Viessmann Mirola. Den senare visas sammankopplad med en varmvattenberedare.

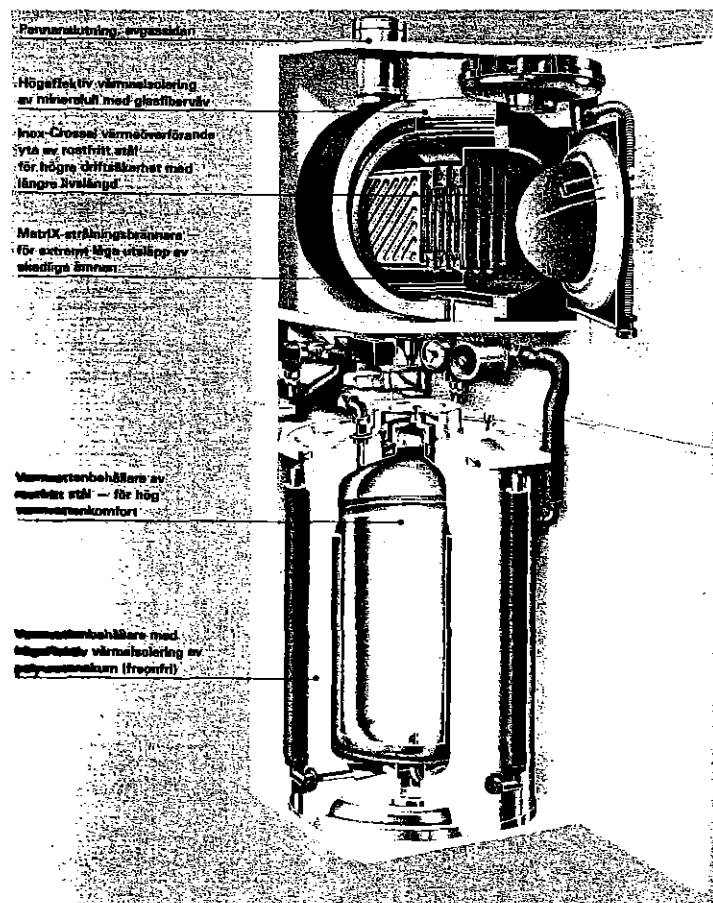
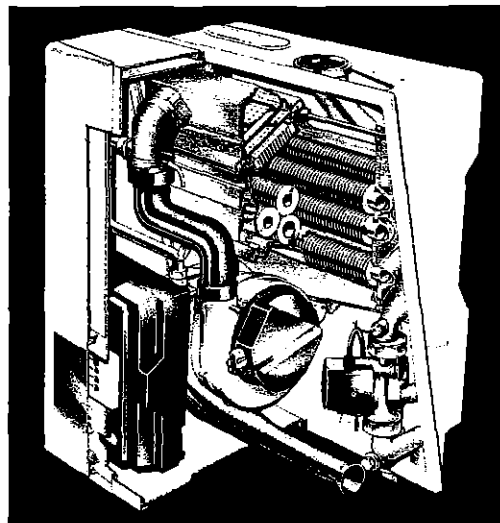
Årsverkningsgraden för de två pannorna uppgår enligt [36] till 104% för Nefit Turbo och 108% för Viessmann Mirola. Dessa årsverkningsgrader förutsätter uppvärmningssystem med låga temperaturer, t ex golvvärme. Vid högre systemtemperaturer sjunker årsverkningsgraden. Sänkningen är unik för varje pannkonstruktion. Vägghängda kondensationspannor på den tyska marknaden har 2–11% skillnad i årsverkningsgrad vid 75/60°C och 40/30°C systemtemperaturer [38]. Verkningsgraderna vid fullast vid temperaturerna 80/60°C och 40/30°C uppvisar större skillnader än för årsverkningsgraderna. En förklaring till detta är att den genomsnittliga avgastemperaturen vid dellast är lägre än vid fullast.

De låga systemtemperaturerna i moderna radiatorsystem och vid t ex golvvärme möjliggör en helt annan konstruktion för en värmepanna. Pannan och varmvattenberedaren kan byggas samman så att radiatorvattnet värms i en slinga placerad i varmvattenberedaren. Även här har Viessmann en modell i sitt produktprogram, **Viessmann Vertola**. Pannan ses i figur 4.3. Pannan består i huvudsak av en 160 liters förrådsberedare där brännaren är placerad i toppen. Avgaserna passerar nedåt i beredarens centrum. Radiatorvattnet värms dels runt avgasstråket i pannan dels i en liten slinga i beredarens nedre del.

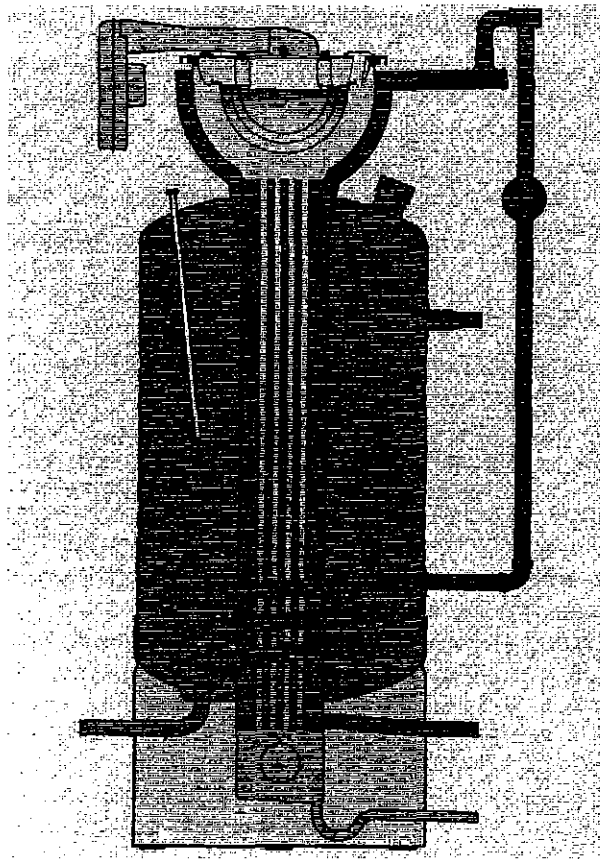
4.3 Varmluftsuppvärmning

Varmluftsuppvärmning ger en annorlunda utformning av pannorna jämfört med de avsedda för vattenburna system. Pannorna i traditionella nordamerikanska system är ofta större beroende på sämre värmeöverföring, vilket då kräver större värmeväxlarytor. Inga väggpannor för varmluftssystem är kända för författaren.

System som utnyttjar mekaniska ventilationssystem och gasuppvärmning har utvecklats av bl a holländska ventilationsföretag. Exempel på sådana varm-

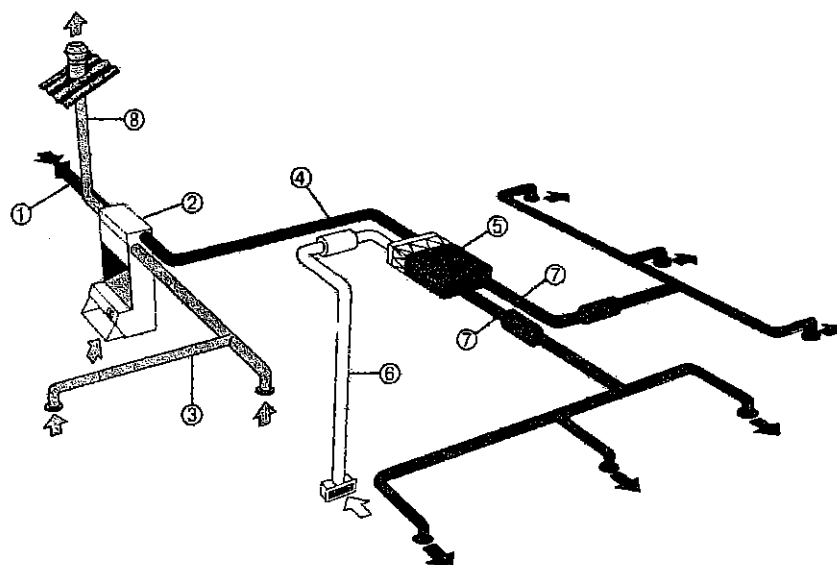


Figur 4.2: Nefit EcomLine (överst) och Viessmann Mirola (nederst) kondensationspannor



Figur 4.3: Viessmann Vertola med integrerad värme och varmvattenförsörjning

luftsystem finns i kvarteret Borgsund i Malmö (se sidan 28). I detta område har också Fläkts luftvärmesystem Termovent använts. Det systemet visas i figur 4.4. Systemet fungerar på följande sätt. Vid 1 tas uteluft in och förvärms av utgående luft i en värmeväxlare, 2. Luften värms sedan antingen med varmvatten eller el i luftvärmeaggregatet, 5. Vid ledningarna markerade med 7 distribueras varmluften till husets olika rum. Återluft tas in i kanalen 6 och blandas med inkommande förvärmad luft. Kanalen märkt 3 transporterar frånluften via värmeväxlaren ut ur huset. Termoventsystemet finns med 3 eller 6 kW värmeeffekt. Andra system fungerar i huvudsak på samma sätt. Skillnaderna ligger främst i sättet att värma luften till rummen och om en frånluftsvärmeväxlare används. I system från företagen Stork och Brink, som tillsammans med Termovent, finns i husen i området Borgsund, värms tilluftskanalerna direkt med atmosfärsbrännare. Frånluften används då som förbränningsluft. Termoventsystemet har i Borgsund varit kopplad till Vaillants vägghärdar.



Figur 4.4: Fläkts luftvärmesystem Termovent

4.4 Anpassning till värmebehov – inneklimat

De beskrivna pannorna har höga prestanda med avseende på utnyttjandet av den tillförda energin. Styr- och reglersystemets uppgift är att anpassa pannans värmeeffekt till uppvärmningsbehovet och skapa ett gott termiskt inomhusklimat. Det skall då minimera energibehovet men också skapa driftförhållanden för pannan så att hög verkningsgrad uppnås. Normalt används utomhusstyrning i Sverige idag. Finns det bättre teknik på marknaden idag eller under utveckling?

Ingen detaljerad genomgång av olika reglersystems för- och nackdelar har hittats under arbetets gång. Valet av reglersystem är oftast traditionsbundet.

Som exempel på reglersystem utöver renodlade utomhusstyrda och rumstermostatstyrda reglersystem kan nämnas ett system från Viessmann och ett från Nefit. I Viessmanns system styrs framledningstemperaturen utifrån uppmätt returledningstemperatur. Systemet kompletteras med rumstermostat. Inställningarna för varje dag lagras för att användas samma dag efterföljande år. Priset är ca hälften av ett utomhusstyrt system.

Nefit EcomLine kan utrustas med en rumstermostat som kan styra brännarens modulering. Troligen mäts rumstemperaturens förändring över tiden så att effektbehovet kan bestämmas.

Ett flertal styrsystem för direktverkande el har introducerats de senaste åren. De ger sk komfort- eller mjukel. Oftast kan byggnaden delas in i flera zoner där temperaturen kan bestämmas individuellt. Elenergin pulsas ut till de olika

elradiatorerna. Genom inomhusgivarna kan systemet ta hänsyn till energitillskott från solinstrålning, hushållsapparater m.m. Det är även möjligt att undvika onödig energianvändning då fönster öppnas för vädring. Temperatursänkningen när fönstren öppnas kan mätas och tas som kriterium för detta. Prov av dessa styrsystem finns redovisade i [37]. I kapitlet "Diskussion och slutsatser" ges exempel på hur denna reglerteknik kan användas vid gasuppvärmning.

4.5 Ny teknik för värmegenereringen

De bästa gaspannorna uppvisar idag både tekniska och miljömässiga prestanda som närmar sig det fysikaliskt möjliga. Byggnadsuppvärmning med gaspannor kan i framtiden då även ske i systemlösningar som också inkluderar:

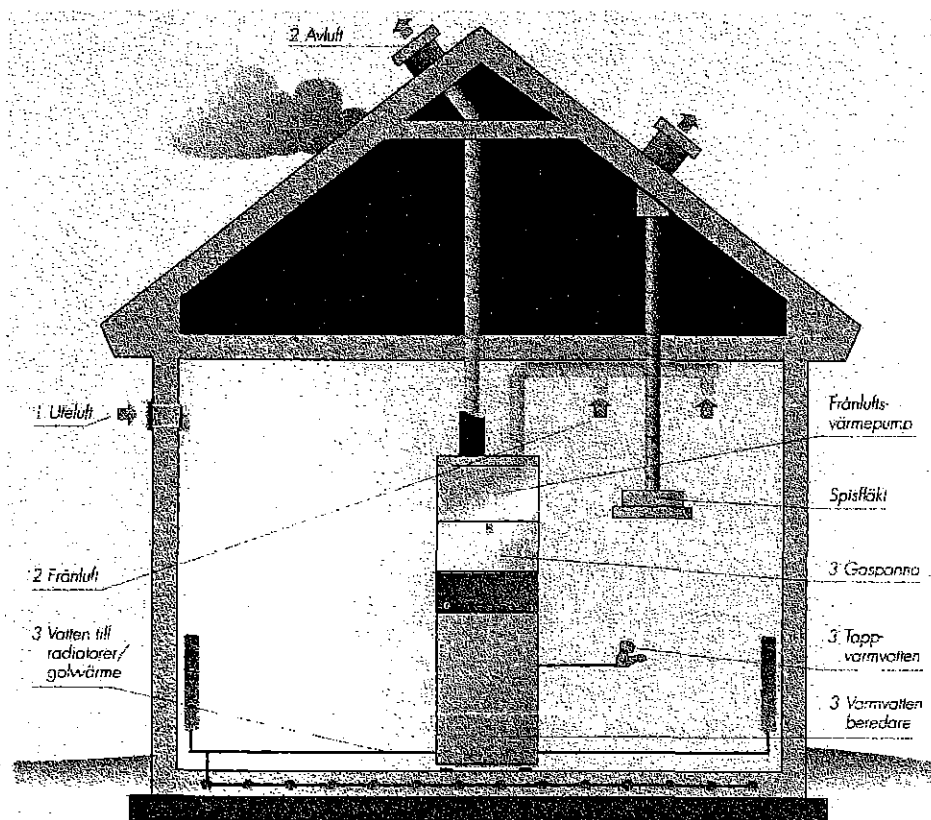
- värmepumpar
- solenergi
- kraftvärme

Gas används idag inom byggnadsuppvärmning tillsammans med alla teknikerna. Dock är omfattningen begränsad och de tekniska möjligheterna tycks inte vara ordentligt utredda eller utprovade. Den vanligaste kombinationen är gaspannor och solenergi. Flera företag erbjuder denna kombination. I information från danska gasföretag till konsumenterna om tillgängliga pannor visas vilka pannor som kan kopplas samman med solfångare. Det är inte otänkbart att ett optimalt utnyttjande av dessa alternativ också kräver ett större samspel med husbyggnadstekniken än vad som är fallet med dagens system med gaspanna och radiatorsystem. Därför kan några av systemlösningarna som diskuterats i avsnittet vara lämpliga endast vid nybyggnation.

4.5.1 Värmepumpar

Värmepumpar för småhus är en väl etablerad teknik i Sverige med en årlig marknad om ca 15000 eldrivna kompressionsmaskiner. De länder som idag har en utbredd användning av gasdrivna värmepumpar är USA och i mindre omfattning Japan. Ofta är värmepumpstekniken anpassad till landets speciella förhållanden som regelverk, energipriser m.m. Det är troligt att samarbete med svenska värmepumpstillverkare är nödvändigt i eventuella framtida utvecklingsinsatser. Då naturgas är aktuellt blir också värmepumpar av absorptionstyp intressanta eftersom dessa värmepumpar utnyttjar termisk energi från en brännare i stället för mekanisk energi som i kompressionsvärmepumpar.

Idag tillverkas en kombinerad gaspanna och värmepump av Elektro Standard i Katrineholm. Enheten, Aqua ES660, finns installerad i 600–700 hus i Europa, huvudsakligen i Sverige och Tyskland. Värmepumpen och hur den installeras i huset visas i figur 4.5.



Figur 4.5: Installation av Elektro Standard värmepump med gaspanna för uppvärmning och tappvarmvatten

Värmepumpen utnyttjar ventilationens frånluft men även återstående värme i avgaserna. Värmepumpens effekt är ca 2,5 kW och med gaspannan är den totala värmeeffekten 13 kW. Sommartid används värmepumpen till tappvarmvattenproduktion och under uppvärmningssäsongen till värmesystemet. Värmepumpen och gaspannan är monterade i serie så att gaspannan kopplas in först då tillräcklig framledningstemperatur inte uppnås efter värmepumpen. Gaspannan kopplas alltså in först då värmepumpens kapacitet inte räcker till.

Genom att gaspannans avgaser kyles i värmepumpen och blandas med frånluften behövs ingen särskild skorsten utan en isolerad ventilationskanal anges vara tillräcklig. Aggregatet regleras med utomhusgivare kompletterat med inomhusgivare. Det är inte angivet hur byggnadens energibehov under året fördelas mellan el och gas med systemet.

4.5.2 Solenergi

De låga vattentemperaturerna som kan användas i värmesystemet vid gaseldning gör det intressant att studera möjligheterna att kombinera gaspannor och solfångare. På marknaden finns system bestående av separata delar och system som är integrerade.

I Danmark ges subventioner för installation av solvärmesystem. Danskt Gas-tekniskt Center (DGC) har givit ut riktlinjer hur solvärmesystem skall kopplas samman med gaspannor för att erhålla en god funktion med höga prestanda [39]. Riktlinjerna ger dimensioneringsunderlag för tre olika systemlösningar där skillnaden ligger i gaspannans värmekapacitet och varmvattenbehållaren.

För att täcka 50–60% av tappvarmvattenbehovet rekommenderas 1 m² solfångaryta per person. Gaspannans effekt bör vara 50–100 W/m² boendeyta. I övrigt ges rekommendationer för styr- och reglersystem. I figur 4.6 visas en rekommenderad systemkoppling då en lätt gaspanna och en varmvattenbehållare kopplas samman med solfångare för att täcka varmvatten- och uppvärmningsbehov. De danska företagen HS-Tarm (gaspannor) och Arco (solfångare) erbjuder ett sol/gas-paket enligt systemkopplingen i figuren.

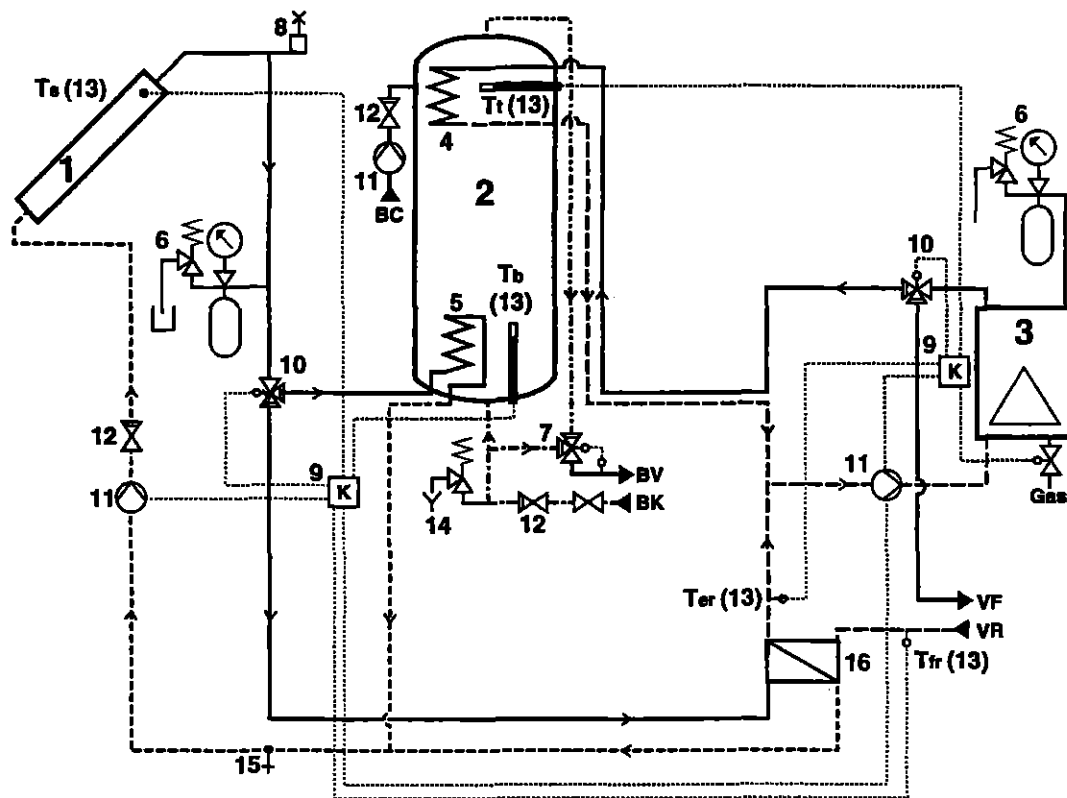
Kombinationen av gas och sol för småhusuppvärmning finns också i andra europeiska länder. Den tyska firman Paradigma erbjuder färdiga system med gaspannor och solfångare. Solenergin används i första hand till tappvarmvattenproduktion och är under sommartid tillräcklig för hela detta behov. För hela året täcker solenergin 50–70% av behovet. Företaget anger priser för några paket. Med kondensationspanna (18 kW), avgassystem, varmvattenberedare och erforderlig elektronik är priset ca 15 000–20 000 DM (1995). Systemet tycks vara lämpligt för två hushåll.

Det holländska företaget Luigjes har utvecklat ett solenergisystem (SolarGas-Combi) för småhus där solenergidelen har integrerats med en gaspanna. Systemet bygger på en 240 liters varmvattenberedare. I botten värms vattnet med en värmeväxlare kopplad till solfångarna, ca 5 m² för ett enfamiljshus. I beredarens övre del finns dels gasbrännare och värmeväxlare, dels värmeväxlare till uppvärmningssystemet. Den nominella värmeeffekten är 15 kW. Lämpliga uppvärmningssystem är lågtemperatursystem som exempelvis golvvärme men nya svenska radiatorsystem synes också passa väl ihop med detta solenergisystem.

4.5.3 Kraftvärme

Kraftvärme i samband med småhusuppvärmning är det minst utvecklade av de tre teknikerna för ny värmegenerering i småhus. Det är troligt att större insatser avseende teknikutveckling behövs än för solenergi och värmepumpar.

SGC har i en tidigare rapport analyserat teknikläge och marknad för småskalig



1. Solfångare
2. Varmvattenberedare
3. Gaspanna
4. Värmeväxlare till gaspannan
5. Värmeväxlare till solfångaren

Figur 4.6: Systemkoppling av solvärme och gaspannor enligt riktlinjer från Danskt Gastekniskt Center. Systemet består av en lätt gaspanna, solfångare och en varmvattenberedare kopplad till både pannan och solfångaren.

kraftvärme [41]. I rapporten, som publicerades 1991, drog man slutsatsen att el producerad med småskalig kraftvärme knappast kunde konkurrera med köpt el. Energipriserna är inte gynnsamma för denna energiomvandling. Inga tekniska problem föreligger för småskalig kraftvärme. I Danmark märker man dock idag ett ökat antal driftstörningar.

Ottomotorer

För byggnadsuppvärmning blir ottomotorer aktuella i kraftvärmeanläggningar. En av de största problemen är emissionerna. Rapporten nämner NO_x -emissioner på 150 mg/MJ hos den bästa tillgängliga utrustningen med framtida förhoppningar om att kunna nå 70 mg/MJ. Användandet av katalysatorer ger ännu lägre nivåer.

Idag används inga kraftvärmeanläggningar till enstaka småhus. De minsta anläggningarna kan användas för större grupphusbebyggelse. Användning av kraftvärme med förbränningsmotorer exemplifieras med den danska situationen.

I Danmark har småskalig gasbaserad kraftvärme expanderat kraftigt under de senaste åren. 1994 fanns 161 förbränningsmotorbaserade anläggningar med totalt 176 MW eleffekt [42]. Allra vanligast är en motor enligt ottocykeln och magerdrift (lean burn), 148 st. I övrigt förekommer några motorer med 3-vägs-katalysatorer och även dual-fuel-motorer. Fördelningen mellan motorstorlekarna framgår av tabell 4.1.

Tabell 4.1: Förbränningsmotorbaserade kraftvärmeanläggningar i Danmark 1993

Effektområde (kW _{el})	Antal motorer	Samlad effekt (MW _{el})
100–300	27	6
300–800	48	29
800–1500	55	58
1500–2500	8	17
>2500	23	67
Totalt	161	176

Elverkningsgraden ökar från ca 25% för anläggningar med ca 20 kW_{el} upp till ca 38% vid knappt 1 MW eleffekt. Ett fåtal anläggningar med gasturbiner finns också i Danmark. De minsta levererar ca 600 kW_{el} och 5 MW värme. Till de flesta kraftvärmeanläggningarna används korttids värmelager i form av ackumulatorer. Syftet är att anpassa driften till den danska eltariffen. Ursprungligen användes vertikala tankar men nu används även nedgrävda horisontella tankar.

Anläggningar med eleffekter på 500–5000 kW ägs normalt av de lokala fjärrvärmebolagen. Ibland samarbetar man med elföretagen, men även eldistribu-

tionsföretagen äger och driver kraftvärmeanläggningar av denna storleksordning, exempelvis i Köpenhamn. Kraftvärmeanläggningar som placerats för att försörja sportanläggningar och andra institutioner ägs och drivs normalt av respektive institution.

Stirlingmotorer

Stirlingmotorn har ännu inte fått någon bredare användning. Inom småskalig kraftvärme finns potential för låga emissioner och goda dellastegenskaper. En sammanställning av aktuella tyska aktiviteter finns i [43]. Företaget Solo har vidareutvecklat den svenska Stirlingmotorn V-160 och har idag 20 enheter i fältförsök. Eleffekten är 9 kW med en elverkningsgrad på 30%. Den största tyska Stirlingmotorn har 40 kW eleffekt och en totalverkningsgrad i en kraftvärmekoppling på 80%. HTC-Technologie Zentrum GmbH utvecklar en 1 kW_{el} Stirlingmotor för en- och flerfamiljshus. Senare skall en större motor, 3 kW_{el}, utvecklas. För alla dessa motorer anges emissioner och lågt servicebehov som värdefulla egenskaper.

Det tyska företaget Herrmann har utvecklat en enhet som innehåller en Stirlingmotor och en kondensationspanna sammanbyggda till en enhet, Autonom S [44]. Stirlingmotorn, utvecklad av TEM vid Lunds universitet, ger 3 kW_{el}, och tillsammans med gaspannan maximalt 25 kW värme. Stirlingmotorns värmegenerator har placerats intill pannans brännare. Detta innebär att motorns emissioner är desamma som pannans. Kondensationspannan har dessutom några detaljer som maximerar verkningsgraden. Förbränningsluften passerar en värmeväxlare placerad sist i pannan som kyler avgaserna mer än vad det inkommande returvattnet kan göra. Vidare erbjuds en varmvattenberedare med termisk skiktning av vattnet, vilket maximerar avkylningen av avgaserna.

Vid Gastec i Holland har arbete inletts med syfte att utveckla ett mikrokraftvärmeverk för bostäder. Enheten bygger på en Stirlingmotor med ca 1 kW eleffekt. Tanken är att bostadens grundläggande elbehov skall täckas och att resten köps in [45]. Det bör påpekas att det i det närmaste uteslutande används gasspisar i holländska hushåll.

En möjlig användning av små kraftvärmeanläggningar för grupphusbebyggelse beskrivs i avsnittet om grupphusbebyggelse, sidan 58.

Stirlingmotorn erbjuder goda tekniska egenskaper som hög totalverkningsgrad och låga emissioner. I det effektområde som tilldrar sig störst intresse, <10 kW_{el}, kan ingen annan motorbaserad teknik konkurrera. De största problemen tycks idag vara ekonomin.

4.6 Miljöeffekter med modern gasteknik

Nya brännare och högre verkningsgrader har minskat utsläppen från nya gaseldade pannor markant. I tabell 4.2 visas beräknade årliga utsläpp från ett hus med ett uppvärmnings- och varmvattenbehov av 25 000 kWh/år. Dagens bästa teknik för gaspannor antas ha 100% årsverkningsgrad och emittera 10 mg/MJ NO_x . I framtiden kan antas att den bästa tekniken då gaspannan kombineras med solfångare eller värmepump kan ge minst 120% "verkningsgrad" eller bränsleutnyttjande samtidigt som NO_x -emissionerna sänks till 5 mg/MJ. Data för moderna olje- och vedpannor har hämtats ur en NUTEK-publication [46].

Tabell 4.2: Årliga utsläpp från villapannor med modern teknik vid energibehovet 25 000 kWh/år

Teknik	η (%)	NO_x (mg/MJ)	CO_2 (kg/år)	NO_x (kg/år)
Gas, gammal	80	50	6 400	5,62
Gas, dagens bästa	100	10	5 100	0,90
Gas, kombination	120	5	4 300	0,38
Olja	90	30	7 600	3,00
Ved med ack.tank	80	120	–	13,50

Utsläppen av försurande ämnen (NO_x) är avsevärt lägre med modern gasteknik än med oljeeldning och framför allt vedeldning. Som en följd av strävanden att minska utsläppen av oförbränt i form av organiska föreningar (VOC) har NO_x -utsläppen ökat i dessa pannor. Vid pelletseldning kan utsläppen halveras. Övriga utsläpp, SO_2 , stoft och VOC, kan sättas till noll vid naturgaseldning. Enligt [46] uppgår de årliga SO_2 -utsläppen till 3–5 kg för ved- och pelletspannor och 6–7 kg för oljepannor. Stoftutsläppen är ca 1 kg/år vid oljeeldning och mycket varierande vid vedeldning. En ny vedpanna med ackumulator eller en pelletspanna ger ca 2 kg/år. Utan ackumulator kan utsläppen stiga till 40–50 kg/år. Utsläpp av VOC förekommer i mycket liten omfattning från oljepannor, <0,5 kg/år, medan de är betydligt större hos vedpannor. Med ackumulator ger en ny panna 30 kg/år och utan ackumulator 450 kg/år.

4.7 Gasdistributionen i huset

Ledningsdragning för gasdistributionen är en kritisk fråga för användandet av flera gasapparater i ett hushåll. För gas består lämpliga ledningar av raka stålrör, släta böjbara kopparrör eller böjbara korrugerade rostfria stålrör. Den sista varianten torde vara den minst kända av de tre. Denna ledningstyp utvecklades bl a i USA under 1980-talet. De flexibla ledningarna liknar de anslutningar som bl a

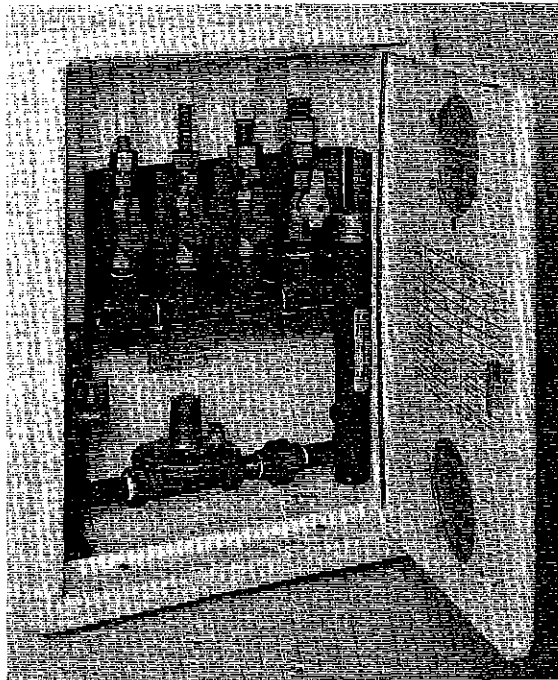
används till gasspisar men har ytligare refflor och är därmed betydligt mindre flexibla. De är endast avsedda att böjas i samband med installationen, tex vid hörn och vinklar. Rören är ofta plastöverdragna och fogas samman med mekaniska kopplingar. Dock är ledningarna så långa att fogning endast behöver göras på enstaka platser.

I USA finns två tillverkare av böjbara rostfria rör, Titeflex och Ward. I Europa tillverkas flexibla ledningar av United Flexible i Storbritannien. Vid kontakt med Titeflex [49] framgick att ledningarna främst installeras i enfamiljshus. Att intresset från de amerikanska gasföretagen fokuserats mot flerfamiljshus sägs bero på att man tappat marknadsandelar i denna sektor. Två exempel på installationer i flerfamiljshus finns i rapporterna [50, 51].

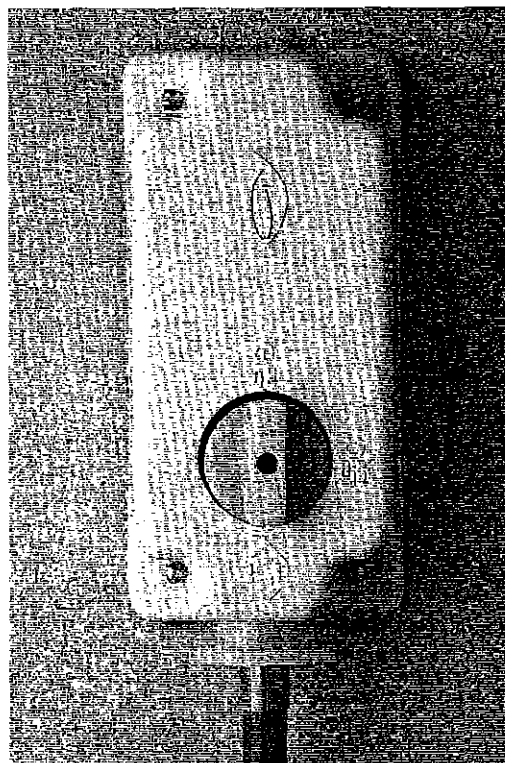
Tidsbesparingen vid installationen jämfört med att använda raka stålrör uppges vara 75% i flerfamiljshus och 66% i enfamiljshus. Ofta används de flexibla rören i hus av träkonstruktion med väggar av träreglar och gipsplattor, vilket ger en enkel installation. I de fall där gjutna väggar förekommer kan rören läggas inuti elrör eller liknande. Titeflex föreslår också att de flexibla ledningarna kan monteras utomhus, ovanpå ett platt tak eller utanför ytterväggen. Ledningen behöver då täckas av en skyddsplåt. Titeflex har förutom användandet i USA provats i Nederländerna och Colombia.

Det finns idag utvecklad enkel teknik för anslutning av de flexibla gasledningarna. En sådan teknik är den amerikanska "Gas Load Center" [52]. Armaturen är monterad i en låda och ser då ut som ett mindre elskåp, se figur 4.7. Genom avstängningsventilerna blir det enkelt att ansluta en ny ledning eller att ta bort en överflödig. En kombination av denna fördelningsarmatur och abonnentcentralen är önskvärd för en snabb, billig och enkel installation.

En enkel intern ledningsdragning kan också utnyttjas för att installera gasuttag som fungerar på samma sätt som eluttag. Sådana har utvecklats i flera länder. Ett exempel visas i figur 4.8 [53]. Ett flertal nya apparater i hushållet kan då drivas med gas.



Figur 4.7: "Gas Load Center" för anslutning av intern gasledningsnät i ett hus



Figur 4.8: Gasuttag för användning i småhus, även utomhus

5

Gasbaserad uppvärmning för grupphusbebyggelse

I kapitlet diskuteras grupphusbebyggelse från två utgångspunkter, dels en grupp av byggnader med snarlikt utseende som kan bli gemensamt försörjda av värme dels en mindre homogen bebyggelse där ett mindre distributionsnät kan tänkas. Tyngdpunkten läggs på den första kategorin, vilken troligen möjliggör de mest ekonomiska och innovativa värmeförsörjningssystemen.

Det är önskvärt att ett referensområde väljs ut för utvärdering av olika tekniker. Området bör vara relativt nybyggt och innehålla både gemensam värmeförsörjning och individuell uppvärmning av likvärdiga hus.

5.1 Gasanvändning i en homogen grupp av byggnader

Här avses främst bostäder uppförda de senaste åren och nybyggnation av småhus etc. Karakteristiskt för dessa hus är att uppvärmningssystemet gärna får vara utrymmessnålt. En central värmegenerering framstår som gynnsamt här och resonemanget kommer att bygga på detta antagande.

Olika kopplingsalternativ för en central värmepanna och direktkopplade radiatorer bör studeras. Det är lättare att ekonomiskt försvara en kondensationspanna i denna slags installation vid de högre värmebehov som blir aktuella. Värmeförluster i distributionsledningarna behöver ett närmare studium. Erfarenheter från fjärrvärmesystem i villaområden och mätningar i kvarteret Borgsund i Malmö bör kunna bilda underlag för optimering av ett sådant system.

Vidare bör man studera möjligheterna för ett husinternt distributionsnät till hus-

hållsmaskiner så att både gasdrivna spisar och tex torktumlare kan installeras och därigenom minska byggnadernas elbehov till ett "minimum".

Kostnaderna för uppvärmningssystemen kan minskas genom att en kraftvärmeanläggning används. En del av husen kan då värmas med direktverkande el medan de andra värms med radiatorsystem. För anläggningsstorlekar över 100 kW_{el} är en förbränningsmotorbaserad anläggning aktuell. I mikrokraftvärmeverk kan Stirlingmotorer användas. I framtiden kan bränsleceller användas. Ett icke-tekniskt problem är prissättning på el och värme, särskilt mot bakgrund av den nyligen genomförda omregleringen av den svenska elmarknaden

Ett nytt system för kraftvärme föreslås för en närmare studie, en Stirlingmotor och en kompressionsvärmepump. Båda dessa tekniker har i Sverige en hög teknisk nivå, vilket bör utnyttjas. Det föreslagna systemet bör ge mycket låga emissioner och ett högt bränsleutnyttjande.

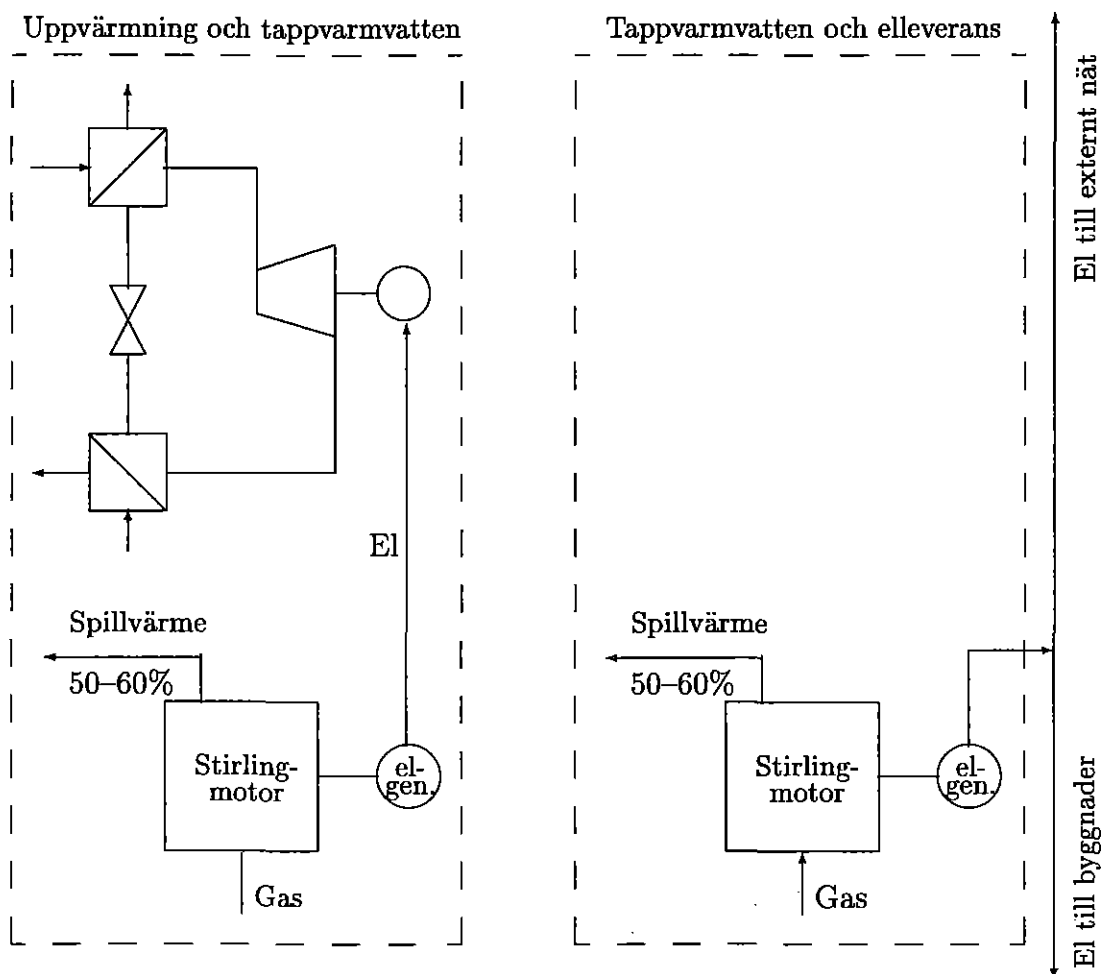
Systemet bygger på en Stirlingmotor med elproduktion. El används för att driva en kompressionsvärmepump. Spillvärmén från motorn utnyttjas också. Då värmepumpen inte används distribueras producerad el direkt till husen. De två driftsituationerna illustreras i figur 5.1.

Genererad värme används för uppvärmning och varmvattenproduktion. Stirlingmotorn antas köras på full effekt och överskottsel levereras till elnätet. Om Stirlingmotorn antas ha en verkningsgrad på 30%, värmepumpens värmefaktor är 3,5 och 50–60% av tillförd effekt till motorn kan tillvaratas ur kylvatten och avgaser fås ett totalt bränsleutnyttjande vid fullast på 150–160%. Emissionerna från Stirlingmotorn bör kunna bli 5 mg/MJ tillfört bränsle.

Dimensioneringen av systemet sker främst från ekonomisk synvinkel. Tänkbara alternativ är att dimensionera elproduktionen efter bebyggelsens basbehov (fläktar, kyl, frys etc) eller efter genomsnittligt varmvattenbehov. Spisar kan vara el- eller gasdrivna. I ett framtidsperspektiv kan alternativ diskuteras där byggnadens direkta elbehov minimeras. Då används gasspis och det blir tänkbart att disk- och tvättmaskiner utnyttjar centralt producerat varmvatten med eventuellt nödvändig eftervärmning. Hushållselen kan förutsättas minska i framtiden. Exempelvis anger [54] elanvändningen för kyl och frys till 1340 kWh/år 1970 och 870 kWh år 1995. År 2020 kan den ha minskat till 440 kWh/år. Användning av lagenergilampor kan också på sikt ytterligare minska elanvändningen i hushåll.

5.2 Gasanvändning i en inhomogen grupp av byggnader

Denna byggnadsgrupp kan bestå av ett antal friliggande villor men även annan bebyggelse, som inte är tänkta att anslutas till ett naturgasnät. Tänkbara alternativ är individuell eller centraliserad gasolförsörjning eller centraliserad



Figur 5.1: Driftsituationer för systemet Stirlingmotor/värmepump

LNG-försörjning. Gasdistributionen och -användningen innebär troligen inte någon omfattande teknisk utveckling utan skall ses som ett alternativ där högtrycksledningar till området ej är ekonomiskt bärkraftiga. De centrala frågeställningarna är ekonomi och regelverk.

För gasol kan följande punkter studeras närmare avseende systemlösningar och regelverk:

- Det föreligger inga tekniska hinder att installera en gasoleldad panna i ett småhus och att lagra gasol i en tank på samma sätt som vid oljeeldning. Systemutformning, säkerhetsaspekter, ekonomi och regelverk bör studeras närmare. Tekniken möjliggör gasanvändning i såväl glest som tätt bebyggda områden.

- I städer och samhällen finns redan idag lokala små gasoldistributionsnät. Det tycks inte som om några större insatser gjorts för att utveckla denna gasanvändningsteknik.

De två punkterna om utvidgad gasolanvändning innebär att marknaden för gaspannor kan breddas.

6

Diskussion och slutsatser

I detta kapitel sammanfattas i korthet den tidigare texten och förslag ges på gasbaserad uppvärmning i småhus av olika byggnadsår. Systemlösningarna kan sägas vara tämligen konventionella men är energieffektiva och troligen billiga. Hus som idag har direktverkande eluppvärmning behandlas inte. De behandlas i ett senare SGC-projekt.

6.1 Konvertering från annat bränsle

Huvuddelen av de hittills konverterade, tidigare oljeuppvärmda, småhusen är byggda före 1970. Utländsk teknik har till övervägande del använts. Denna passar väl till den husbyggnadsteknik som är aktuell i de berörda småhusen. Inga direkta behov av tekniska utvecklingsinsatser direkt riktade mot denna grupp synes föreligga. Fördjupade studier om vilket reglersystem som är det bästa kan dock behövas. Pålitliga verktyg för att välja rätt värmepanna och bedöma årsverkningsgraden är tillräckliga för väl fungerande installationer. Den modell för beräkning av uppvärmningssystemets årsverkningsgrad som utvecklats i ett EU-finansierat projekt med deltagande från LTH bör kunna användas. Modellen är använd i ett PC-program kallat BOILSIM. Vid konverteringar svarar åtgärder på avgaskanalen för en stor kostnad. En del problem med korrosion i insatsrör har uppstått men arbete vid bl a LTH och Sydgas har resulterat i rekommendationer för problemfri drift.

Dagens gaspannor ger i dessa installationer en årsverkningsgrad på 80–90% och ca 95–100% om de är kondenserande. Varmvattenberedningen är då inräknad. Pannornas prestanda ligger idag mycket nära vad som är fysikaliskt möjligt. Utvecklingslinjer som kan skönjas pekar mot integrering med småskalig elproduktion, värmepumpar och solvärme. Dessa nya tekniker kan troligen i ett första skede lämpa sig i nybyggda grupphusområden.

6.2 Nybyggnation

Småhus byggda efter naturgasintroduktionen 1985 med naturgasbaserad uppvärmning har inte konverterats från annat bränsle. Dessa hus har också betydligt lägre uppvärmningsbehov än äldre hus samt andra ventilationssystem. Nya krav och utformningar av uppvärmningssystemen kan då tänkas.

6.2.1 Individuella småhus

I nyproducerade småhus kan antingen ett luftvärmesystem eller ett konventionellt radiatorsystem användas. I ett luftvärmesystem kan uppvärmningssystemet integreras med ventilationssystemet där frånluften används som förbränningsluft. Tilluften kan värmas separat i olika kanaler så att huset kan delas in i zoner. Då kan ett reglersystem liknande det för komfortel användas. Om man väljer kondensationsteknik gynnas detta av luftvärme eftersom avgaserna kyla med en konstant temperatur oavsett belastning och utomhustemperatur.

I ett nybyggt hus med radiatorsystem är den bästa pannan sannolikt en panna med högst 10 kW brännareffekt, och hög värmekapacitet, tex genom ett stort vatteninnehåll. Pannor med annan konstruktion kan också fås att fungera väl men kräver då en noggrann dimensionering och anpassning till värmesystemet. Detta bör dimensioneras så att största möjliga vattenflöde erhålls, d v s minsta möjliga temperaturfall över radiatorerna. Alternativt kan en panna användas där uppvärmnings- och varmvattenfunktionen integreras. Det ger en panna med hög värmekapacitet som är relativt okänslig för den övriga installationen.

Varmvattenberedningen kan antingen klaras med en elektrisk förrådsberedare eller en gasbaserad varmvattenberedare. Elektriska förrådsberedare anges ha årliga förluster på 500–1500 kWh/år. Gaseldade genomströmningsberedare används knappast i Sverige men kan komma till användning i nybyggnation. För att möta höga krav på komfort avseende svarstiden för att varmvatten skall nå kranen kan huset konstrueras så att kök, badrum, toalett och tvättstuga placeras så att ledningarna blir så korta som möjligt. Alternativt kan en liten buffert, 5–10 liters volym, placeras intill tappstället och därmed minska svarstiden. En genomströmningsberedare minskar även risken för tillväxt av legionella. Med dagens teknik bedöms genomströmningsberedare dock inte vara ett fullgott alternativ. En varmvattenberedare på 200–300 liter möjliggör en panna med låg brännareffekt, vilket ger en god anpassning till byggnadens uppvärmningsbehov.

Intern ledningsdragning blir nödvändig om en separat varmvattenberedare används. Det ökar möjligheten att också använda fler gasapparater i huset, exempelvis en gasspis.

6.2.2 Grupphusbebyggelse

Radhus kan med fördel förses med ett radiatorsystem som försörjs centralt. Direktkopplade radiatorer skall då användas för att minimera returtemperaturen och förbättra förutsättningarna för en kondensationspanna. Uppvärmningssystemet kräver då minimalt med plats i varje hus. Radiatorerna bör dimensioneras efter lägsta möjliga temperaturer, vilket minskar värmeförlusterna i distributionsledningarna till och från den centrala pannan. Andra värmöverförande element än traditionella radiatorer kan användas.

Varmvattenberedning kan ske på två sätt då en central panna används, gemensamt med uppvärmningskretsen eller tex med en frånluftsvärmepump för varje bostad.

6.3 Sammanställning av förslag och rekommendationer

I rapporten föreslås olika insatser för att höja kunskapsnivån på en del begränsade områden. En del av diskussionen har förts i tidigare kapitel och en del tidigare i detta kapitel. Förslagen listas kortfattat nedan indelade efter Drift, underhåll och installation samt Systemutformning och teknikutveckling.

Drift, underhåll och installation

- Vid konvertering från annat bränsle är dagens teknik fullt tillräcklig för ett gott resultat. Med ett beprövat dimensioneringsunderlag säkerställs hög verkningsgrad och problemfri drift. Gasföretagen bör ta fram enkla råd.
- Vid nybyggnation är ofta panneffekterna mycket större än uppvärmningsbehovet. Det enklaste sättet att få en väl fungerande anläggning är sannolikt att använda en tung panna med högst 10 kW brännareffekt. Vid lätta pannor bör låga temperaturer och stort vattenflöde eftersträvas.
- Erfarenhetsåterföring rörande installationernas drift och underhåll bör göras. Eventuellt kan detta göras i samarbete med utländska organisationer. Resultatet bör användas för att ge underlag till dimensionerings- och installationsanvisningar. En ad hoc-grupp inom Svenska Gasföreningen skulle vara lämplig att utforma en systematik för kontinuerlig insamling av drifterfarenheter.
- I Sverige används idag oftast reglersystem som bygger på utomhustemperaturen. Det finns rapporter som anger högre verkningsgrader, speciellt vid låga laster, om rumsgivare används. En djupare genomgång av reglersystemets brister och möjligheter bör göras.

- Varmvattenberedning svarar för en allt större andel av byggnadens totala energibehov. Det saknas underlag för jämförelser mellan genomströmningsberedare och förrådsberedare. Vidare bör man öka intresset för utveckling av gasapparater med integrerad värme- och varmvattenproduktion.

Systemutformning och teknikutveckling

- I nybyggd grupphusbebyggelse bör central värmeförsörjning övervägas.
- Intern ledningsdragning för gas i ett hus är en nyckelfaktor för introduktion av fler gasapparater än värmepannan. Insatser att kombinera abonnentcentralen med ett distributionssystem till flera punkter i huset bör göras. Här kan utvecklingsinsatser från bl a USA troligen direkt utnyttjas. DGC utarbetar idag vägledningar för detta, vilket kan användas.
- Kombinerade uppvärmningstekniker som gaspanna-solfångare, gaspanna-värmepump osv bör provas.
- Fördjupade studier av utökad gasolanvändning för småhusuppvärmning. Både individuell bränsleförsörjning och försörjning i distributionsnät bör studeras.

Referenser

- [1] *Energistatistik för småhus 1994*, Statistiska Meddelanden, E16 SM 9504, Statistiska Centralbyrån
- [2] Kommunikation med Conny Ryytty, NUTEK
- [3] Berggren, Bo; *Naturgasteknik för bostadsuppvärmning – Teknikinventering småhus*, Swedegas, augusti 1987
- [4] Berggren, Bo; *Naturgasteknik för småhus – utvärdering av uppvärmningssystem*, Byggforskningsrådet T15:1989, ISBN 91-540-5079-0
- [5] Näslund, Mikael; *Kondenserande villagaspanna med rökgasåtervärmning – en anpassning till svenska förhållanden*, Värmeforsk rapport 269, juni 1987
- [6] Näslund, Mikael; *Emission vid byte av gaskvalitet*, Värmeforsk rapport 271, juni 1987
- [7] Brandin, Jan; Ahlström, Fredrik; *Utveckling av brännare för katalytisk förbränning av naturgas*, Värmeforsk rapport 396, maj 1991
- [8] Näslund, Mikael; *Kondenserande villagaspanna med avgasåtervärmning – fältförsök och beräkning av skorstensförlopp*, Värmeforsk rapport 423, maj 1992
- [9] Fureby, C, et al.; *Pulsating Combustion — Development of a Simulation Model and Experimental Investigation*, 1992 Int. Gas Research Conf., 16-19 november 1992, Orlando, Florida, USA
- [10] Näslund, Mikael; *Condensing Boilers with Dry Flue Gases*, 1992 Int. Gas Research Conf., 16-19 november 1992, Orlando, Florida, USA
- [11] Näslund, Mikael; *Experimentell undersökning av kondenserande panna med en Thermomaxbrännare och avgasåtervärmning*, Värmeforsk rapport 487, november 1993
- [12] Hertzberg, Tommy et al.; *Katalytiska brännare för emissionsreduktion i befintliga fastighetspannor*, Katator AB, Lund, Dokument 920698-6, februari 1994

- [13] Lindholm, Annika; *Time resolved measurements of flow fields and heat release in pulse combustors*, licentiatrapport maj 1995, värme- och kraftteknik LTH, ISRN LUTMDN/TMVK-7021-SE
- [14] Lindholm, Annika; *Combustion characteristics in pulse combustors using NO_x reduction methods*, 1995 Int. Gas Research Conf., 6–9 november 1995, Cannes, Frankrike
- [15] Näslund, Mikael; *Simulation of the intermittent operation of condensing gas boilers*, 1995 Int. Gas Research Conf., 6–9 november 1995, Cannes, Frankrike
- [16] Wanselius, Kjell; *Avgassystem vid naturgassystem*, Värmeforsk rapport 359, december 1989
- [17] Nilsson, Ulf; Näslund, Mikael; Andersson, Carl-Håkan; *Korrosion i flexibla rostfria insatsrör*, SGC rapport 050, december 1993
- [18] Hedeén, Lotta; Björklund, Gert; *Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt stål i villaskorstenar*, SGC rapport 060, maj 1995
- [19] Näslund, Mikael; *Utveckling av en värmeöverföringsmodell för skorstenar vid gaseldning*, Värmeforsk rapport 542, augusti 1995
- [20] Schüler, R.; *Voraussetzungen für die wirtschaftliche Erschließung von Neubaugebieten*, gwf Gas/Erdgas, 137 (1996), Nr 3, pp 137–144
- [21] Näslund, Mikael; *Energigasteknik*, Svenska Gasföreningens Service AB, Stockholm 1995, ISBN 91-8646-409-4
- [22] Dittrich, A.; *Zum Jahreswirkungsgrad von Ein- und Mehrkesselanlagen*, HLH, 23 (1972), Nr. 12 Dezember
- [23] Plate, J.; Tenhumberg, J.; *Theoretische und experimentelle Ermittlung des Nutzungsgrades von Wärmeerzeugern – Ein Vergleich*, HLH, 35 (1985), Nr. 3 März
- [24] DIN 4702, *Deutsche Norm: Heizkessel. Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors*, mars 1990
- [25] Statens Provningsanstalt, *Bestämning av årsmedelverkningsgrad och varmvatten*, SP Metod 1415, juli 1994
- [26] *Boverkets Byggregler BBR 94*, Boverket BFS 1993:57, 1993
- [27] *Energigasnormer*, Svenska Gasföreningen, 1995
- [28] van Wolferen, H.; *Framework for a European method to determine the energy consumption for domestic hot water production*, SAVE Contract No XVII/4.1031/Z/95-052, Final report, June 1996

- [29] Wanselius, Kjell; *Naturgasteknik för bostadsuppvärmning – Erfarenheter av gasinstallationer i enfamiljshus*, Swedegas, mars 1988
- [30] Forsman, Jonas; *Systemverkningsgrad efter konvertering av vattenburen elvärme till gasvärme i småhus*, SGC rapport 032, januari 1993
- [31] Gordonova, P.; *Utvärderingsrapport under färdigställande*, Inst. f. Byggnadskonstruktionslära, LTH
- [32] *Elersättning med naturgas – Slutrapport till SEUs pilotgrupp för rationell elanvändning*, Lunds Energi, mars 1993
- [33] *Vejledning – Afhjælpning af knirkestøj i gasfyrede varmeanlæg*, DGC Vejledning Nr 4, Dansk Gasteknisk Center 1992
- [34] Venting guidelines, GRI Pacesetters, 1995
- [35] Kristensen, Lene S.; Frederiksen, Karsten V. (rev); *Beregning af varmeanlæg til parcellhuse*, Teknisk note Nr. 1/1995, Dansk Gasteknisk Center, April 1995
- [36] Jannemann, Theo B.; *Kompendium Gas-Brennwert-Technik*, Vulkan Verlag, Essen 1994
- [37] Norberg, Calle; *Tester av styrsystem*, Rapport VU-V-93F:16 Vattenfall Utveckling AB, mars 1994
- [38] *Marktübersicht – Brennwertgeräte als Gas-Wandheizkessel*, Wärmetechnik, Nr 3 1996
- [39] *Gaskedel og solvarme — design 1, 2 och 3*, DGC vejledning nr 17, 18 och 19, november 1995
- [40] Näslund, Mikael; *Teknik för sänkta NO_x-emissioner för gasdrivna processer – dagsläge och utvecklingstendenser*, SGC rapport 076, oktober 1996
- [41] Persson, Per-Arne, *Analys av teknikstatus och marknadsläge för gaseldad "minikraftvärme"*, SGC Rapport 005, april 1991
- [42] deWit, Jan; *Naturgasfyret decentral kraftvarme i Danmark – teknisk udvikling*, Småskalig kraftvärme, Seminarium 1993-09-21 vid Lunds Tekniska Högskola, Nordiska Ministerrådet
- [43] Anon, *Comeback im Kleinen*, Energie Spektrum, Nr 3, 1995, pp50-53
- [44] Informationsmaterial om Stirlingmotorn Autonom S
- [45] Kommunikation med Jan-Pieter Bijkerk, Gastec, Apeldoorn
- [46] Moe, N.; Öfverholm, E.; Froste, H.; Andersson, O.; *Miljöanpassad effektiv uppvärmning – 20° C inomhus, men hur?*, NUTEK B1996:4

- [47] Forsman, Jonas; *Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten*, Rapport SGC 036, juni 1993
- [48] *Värme i småhus – marknadsöversikt*, Konsumentverket, 1995
- [49] Personlig kommunikation med William Rich, Titeflex
- [50] *Interior Gas Distribution Technology for Tall Buildings Phase II — Case Study No. 1. Evaluation of As-Installed versus Enhanced Gas Distribution System Valley Lo Apartments*, Foster-Miller, Waltham MA, GRI 94/0236, August 1994
- [51] *Interior Gas Distribution Technology for Tall Buildings Phase II — Case Study No. 2. Evaluation of As-Installed versus Enhanced Gas Distribution System North Hospital*, Foster-Miller, Waltham MA, GRI 94/0237, August 1994
- [52] *Gas Load Center enhances interior gas delivery*, Gas Research Institute Tech Profile, May 1995
- [53] *Gas Convenience Outlet*, Gas Research Institute Tech Profile, May 1995
- [54] Elmberg, A.; Elmroth, A.; Wannheden, C.; *Hus i Sverige – perspektiv på energianvändningen*, T2:1996, Byggforskningsrådet 1996

96-12-18

RAPPORTFÖRTECKNING

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

96-12-18

RAPPORTFÖRTECKNING

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

96-12-18

RAPPORTFÖRTECKNING

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

96-12-18

RAPPORTFÖRTECKNING

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

96-12-18

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
067	Naturgasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO ₂ -gödsling med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
070	Utvärdering av naturgasförbränning i porösa bäddar	Mar 96	Henric Larsson Lunds Tekniska Högskola	150
071	Utvärdering av naturgasdrivna IR-boostar i ugn för pulverlackering	Nov 95	Ole H Madsen Asger N Myken	150
072	Sammanställning av emissionsdata från naturgas-, biogas- o motorgasdrivna fordon	Jun 96	Hans-Åke Maltesson Svenskt Gastekniskt Center AB	150
073	Livslängdsbestämning för PE-rör för gasdistribution (EVOPE-projektet)	Jul 96	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	100
074	Gasblandningar för fordonsdrift. Idéstudie.	Aug 96	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
075	Gasbranschens miljöhandbok	Sep 96	Jörgen Thunell Svenskt Gastekniskt Center	500
076	Låg-NO _x -teknik för gasdrivna processer - dagsläge	Okt 96	Mikael Näslund, LTH	150
077	Karakterisering av emissioner från naturgasdrivna lastbilar inom LB 50-projektet	Dec 96	K-E Egeback Roger Westerholm	150
078	Uppvärmning med gas i svenska småhus - erfarenheter och framtida teknikval	Nov 96	Mikael Näslund, LTH	150
079	Handledn. för inst av gaseldade IR-värmare. Rådgivning, analys och genomförande	Jan 97	Pär Dalin, DITAB	150
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0

96-12-18

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
A04	Bussbuller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enerkon RC	50
A06	Isbildning i naturgasbussar och CNG-system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult	50
A08	Reduktion av dioxin, furan- och klorfenoler vid avfallsförbränning	Maj 96	H Palmén, M Lampinen et al Helsingfors Tekniska Högskola	50
A09	Naturgas/mikrovågsteknik för sintring av keramer	Maj 96	Anders Röstin, KTH	50
A10	NOx-reduktion genom naturgasinjektion o reburning. Demoprojekt på Knudmoseverket	Apr 96	Jan Flensted Poulsen Völund R & D Center	50
A11	Direktorkning av socker med naturgas (Endast för internt bruk)	Jul 96	Rolf Christensen	0



Svenskt Gastekniskt Center AB

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

KFS AB, LUND