



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Konvertering till Naturgas i typindustrier. typfall Arla Mejerier i Götene

Per Göransson
Pär Öberg
Ove Borg

Konvertering till Naturgas i typindustrier. Typfall Arla Mejerier i Götene

Per Göransson, ÅF Energikonsult Stockholm AB
Pär Öberg, ÅF Energikonsult Stockholm AB
Ove Borg, ÅF Energikonsult Stockholm AB

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 · 113 82 STOCKHOLM TEL. · 08/34 09 80

Juni 1993
ISSN 0282-3772

KONVERTERING TILL NATURGAS I TYPINDUSTRIER

Typfall Arla Mejerier i Götene

ÅF-Energikonsult Stockholm AB

Per Göransson
Pär Öberg
Ove Borg

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sida</u>
0 SAMMANFATTNING	1
1 SUMMARY	2
2 STUDIENS OMFATTNING OCH SYFTE	3
3 LITTERATURINVENTERING	4
3.1 Inledning	4
3.2 Applikationer beskrivna i litteraturen	4
3.3 Framtida teknik och forskning	7
4 ARLAS MEJERI I GÖTENE	8
5 TILLVERKNINGSPROCESSER	9
5.1 Inledning	9
5.2 Osttillverkning	9
5.3 Smörtillverkning	11
5.4 Mjölkpulvertillverkning	12
6 SLUTSATSER OM KONVERTERBARA PROCESSER MOT BAKGRUND AV LITTERATURINVENTERINGEN	14
7 ENERGIBALANSER	16
7.1 Inledning	16
7.2 Indunstarna	17
7.3 Torktornen	19
7.4 Valstorkarna	22
7.5 Diskcentralen	23
7.6 Kylmaskiner och värmepumpar	24
7.7 Övriga förbrukare i fabriken	25
7.8 Sammanställning fabriken	26
7.9 Mejeriet	27
7.10 Kontroll av värmebalansen	28
7.11 Översiktsbild av energiflödet	29
8 NATURGASAPPLIKATIONER I VISSA PROCESSER	30
8.1 Inledning	30
8.2 Teknisk utformning	30
8.3 Miljöpåverkan	38
8.4 Ekonomi	41
9 TOTALKONVERTERING	43
10 EGEN ELPRODUKTION	45
10.1 Gasmotor - Gasturbin	45
10.2 Slutsats	45
10.3 Generellt om gasmotorer	46
10.4 Ekonomiska aspekter vid egenproduktion av el	47
10.5 Miljöaspekter vid naturgasdrivna motorer	48
11 REFERENSER	49

Bilaga 1 SAMMANSTÄLLNING AV EMISSIONSMINSKNING AV SKADLIGA ÄMNEN VID ÖVERGÅNG FRÅN OLJA TILL NATURGAS (per år)

0 SAMMANFATTNING

Syftet med denna rapport är att ge en beskrivning av möjliga tillämpningar av naturgas för uppvärmningsändamål inom mejeriindustrin. För att finna olika tillämpningsexempel har litteraturstudier utförts, samtidigt som ett typmejeri, Arla i Götene, har kartlagts ur energisynpunkt.

Slutsatsen av litteraturstudien är att det är inom fyra olika områden som naturgastillämpningar kan vara lämpliga inom mejeriindustrin: ånggenerering, antingen genom konvertering av befintliga oljepannor till naturgasdrift eller genom installation av mindre decentraliserade naturgasdrivna ångpannor, direktvärmning av luft till torktorn, gasmotordrift av elgeneratorer med återvinning av motorns förluster, samt vattenvärmning med naturgasdrivna pannor.

De tekniska möjligheterna att applicera ovanstående teknik i olika delar av Arlas mejeri i Götene är goda. Idag sker all uppvärmning med ånga som produceras centralt i el- eller oljepannor. Här finns möjlighet att behålla ångnätet men att konvertera oljepannorna till naturgasdrift. Indunstarna och valstorkarna, vilka tillhör torkningsanläggningen för torrmjölkproduktionen, kräver ånga som värmande media varför dessa kan förses med decentraliserade naturgasdrivna ångpannor. Mejeridelen, där till exempel ost och Bregott tillverkas, samt diskcentralen kan förses med decentraliserade hetvattenpannor som eldas med naturgas. Gasmotordrift av elgeneratorer är en teknik som är väl lämpad i mejerier där det finns torktorn. Lämpligen driver genererad el tilluftsfläktarna till tornen och motorns förluster värmer tilluften.

1 SUMMARY

This report presents possible ways to use natural gas for heating purposes in the dairy industry. Information searches were made to find various applications for the use of natural gas at the same time as the energy situation at the Arla dairy in Götene was surveyed as a case study.

The information searches show that natural gas can be used in four different applications in the dairy industry: steam generation, either by converting existing oil-fired boilers to natural gas-fired boilers or by installing small decentralized natural gas-fired steam boilers, direct heating of air for the drying tower, gas engine operated electric power generators with recovery of the engine heat losses and water heating with natural gas-fired boilers.

The technical feasibility for using these technologies in various parts of the Arla dairy in Götene is favourable. Today, all heating is done by steam produced centrally in electric or oil-fired boilers. Here, it is possible to keep the steam net but to convert the oil-fired boilers to natural gas-fired ones. As the evaporators and the roller dryers, which are parts of the drying installations for the powdered milk production, require steam as heating medium, the best solution is to install decentralized natural gas-fired steam boilers here. The dairy plant, where, for instance, cheese and margarine is produced, as well as the central dish washing unit, can be supplied with decentralized natural gas-fired hot water boilers. Gas engine operated electric power generators is a technology well-suited to dairies, which have drying towers. The best solution is to have the intake air fans for the towers operate on generated electric power and heat the intake air with waste heat from the engine.

2 STUDIENS OMFATTNING OCH SYFTE

Rapporten beskriver hur vissa processer i Arlas mejeri i Götene skulle kunna konverteras från att vara olje- och elbaserade till att baseras på naturgas. Syftet med beskrivningen är att man med utgångspunkt härifrån enklare skall kunna göra motsvarande studier för andra liknande mejerier.

Drifttider, produktionsvolym, uppgifter om energiförbrukningar och andra nödvändiga uppgifter om proceserna har till största delen hämtats från de energiutredningar som tidigare utförts av Arla i Götene.

För att få en helhetsbild av energiflödet i mejeriet har en översiktlig energibalans upprättats. Denna energibalans har sedan legat till grund för indentifikation av de processer, där naturgas skulle kunna användas. Det speciella med mejeriet i Götene är den stora produktionen av torrmjök och torrmjölksprodukter. Torkprocesserna är energikrävande, i Götene förbrukas cirka 60 % av energin i dessa processer. Idag används ånga som värmemedium i torkprocesserna och den framställs i olje- och elpannor.

Parallellt med framtagandet av energibalansen har litteraturstudier utförts. Syftet med detta har varit att försöka finna beskrivningar på naturgasbaserad teknik inom mejeriindustrin.

Energipriser och kostnader för komponenter som det kalkylerats med i denna rapport är i 1989 års prisnivå.

3 LITTERATURINVENTERING

3.1 Inledning

Vid framtagandet av underlagsmaterial till denna rapport samt för studier av naturgasapplikationer inom mejeriindustrin har litteraturstudier utförts. Litteratursökningar har skett med hjälp av databaser samt manuella sökregister.

De databaser som använts är i första hand den svenska BODIL, den engelska FSTA (Food Science Tech) samt den amerikanska ENERGY. Olika sökord har använts och "parats ihop" för att få en heltäckande sökprofil.

Sökorden har varit - Naturgas
- Mejeri
- Energiförsörjning
- Torkning
- Värmning
- Gasmotorer

De tre första orden (Naturgas, Mejeri och Energiförsörjning) gav cirka 50 referenser. Kombinationer med "torkning" gav ett tiotal referenser från de engelska och amerikanska baserna.

Vid en eventuell fördjupning av studier inom området naturgasapplikationer inom mejeriindustrin rekommenderas kontakt med New Zealand Dairy Reseach Inst. och Netherlands Institute of Dairy Reseach. Dessa institut bedriver en omfattande verksamhet inom framför allt det produktionstekniska området men bedriver även forskning inom energiområdet.

3.2 Applikationer beskrivna i litteraturen

Nedan följer exempel på olika applikationer av naturgasteknik inom mejeriindustrin utan hänsyn till ekonomi och myndighetskrav. Exempelen är hämtade ur litteratur både från manuella sökningar och databassökningar.

"New concept of energy technology" Hullman/Hacker
(Ref 14)

Referensen beskriver ett mejeri i Tyskland som producerar el med hjälp av en dieselmotor och tillvaratar motorns förluster (=avgaser, mantelkylning, oljekylare, turboladdare etc) för värmning av vatten som via värmeväxlare värmer produkten. Tekniken är densamma oavsett om motorn är av otto- eller diesel-typ och oavsett om motorn drivs av naturgas eller annat bränsle.

"Dairy Factory Engineering Services" VICKERS (Ref 4)

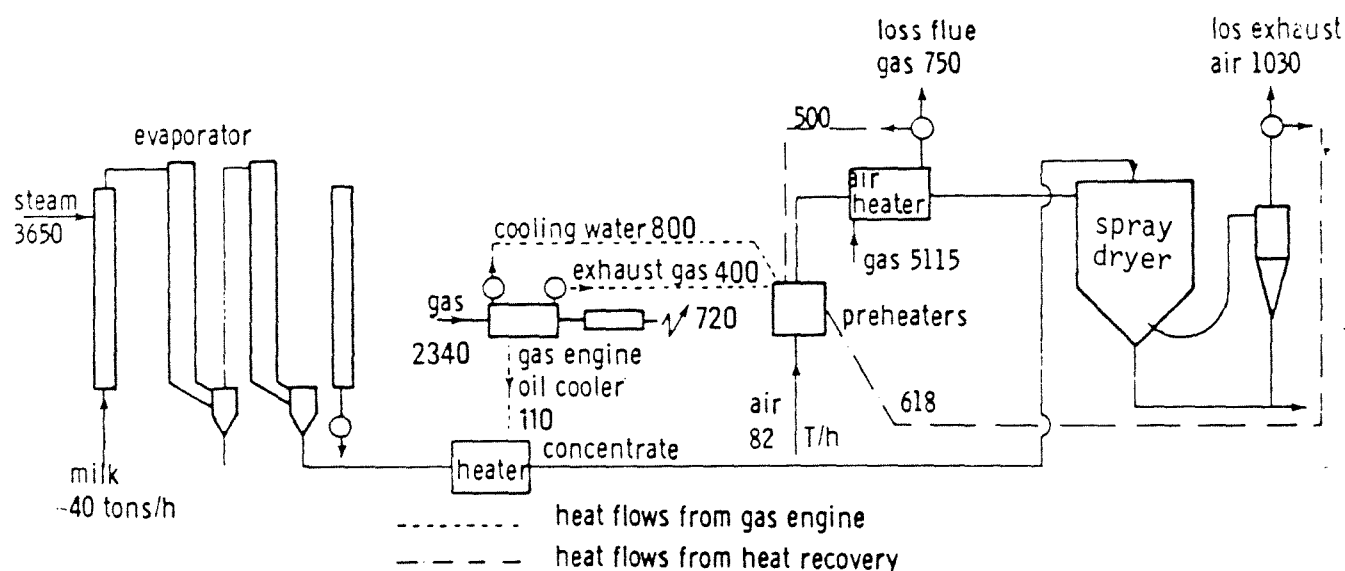
Beskriver värmning av luft till torktorn med ett indirekt system. Tilluften värms först i värmväxlare med ånga (av medeltryck) som värmeavgivande medium. Luftens temperatur blir cirka 150 °C efter ångbatteriet. För att värma luften till dess sluttemperatur cirka 200 °C används hetolja. Det påpekas i artikeln att denna teknik blir kostsam och är lämpad i de fall där den befintliga ångcentralen inte förmår producera ånga i den omfattning som krävs för att höja tillufttemperaturen till cirka 200 °C. Hetoljan leds i rör i luftkanalen (typ ett vanligt luftbatteri) och via en trevägsventil shuntas olja förbi luftkanalen om lufttemperaturen är uppnådd.

"Combined generation of electricity and heat in the dairy industri" Jansen/piersma (Ref 1)

Rapporten beskriver lämplig teknik för elgenerering och samtidig uppvärmning av luft till torktorn.

Den teknik som beskrivs utgörs av en gasmotor som driver en elgenerator, se figur 3:1. Kylvatten från manteln och turboladdaren leds till värmväxlare placerade i tilluftkanalen till torktornet. Avgaserna från ottomotorn kyls ner av tilluften. Resterande höjning av torkluftstemperaturen före torktornet sker här med hjälp av en gaspanna. Motors oljekylare är placerad så att koncentratet från indunstarna förvärms. För- och nackdelar med olika kopplingar av motors kylställen beskrivs. Om motorn kyls av tilluften till tornen och den genererade elen driver tilluftsfläktarna, erhålls ett system där motorkylningen alltid är säkerställd. I de fall där genererad el även driver andra elförbrukande processer måste torktornen vara i drift, ty annars får motorn ej kylning.

Rapporten innehåller även ekonomiska kalkyler för denna typ av installationer.

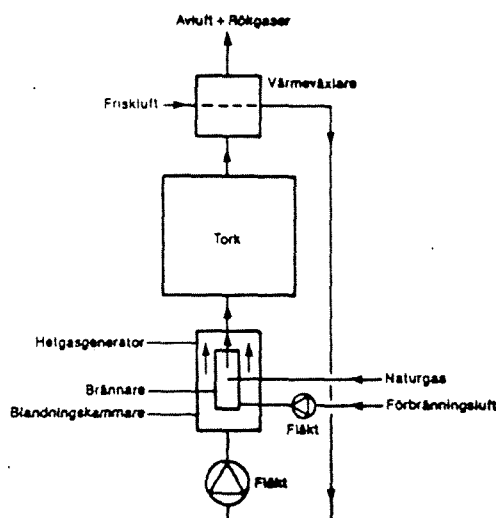


Figur 3:1 Effektfördelning (kW) för gasmotor kopplad till torktorn.
 Powerloading in a spraydryer with gas engine (figures i kW).

Industriell naturgasteknik (Ref 5)

Torkning av livsmedel:

Ett torktorn beskrivs där avgaserna från en naturgasbrännare blandas med tilluften till toronet, se figur 3:2. Till skillnad från "vanliga" torktorn har här det ångbatteri, som normalt värmer luften ersatts av en naturgasbrännare. Fördelarna med detta system är att en högre temperatur kan erhållas på torkluften, varvid den specifika torkenergin minskas, samt att torktornets kapacitet kan ökas på grund av den högre temperaturen.



Figur 3:2 Principschema för direkt torkning
 Flow sheet, direct drying

Vätskevärmning:

Olika typer av utrustning beskrivs, till exempel immersionsrör i värmare och avgasvattenvärmare. Sådana värmare finns även beskrivna i några Värme-forskrifter (ref 10 och 11), varför någon närmare beskrivning inte sker i denna rapport. Immersions-rörvärmare kan vara väl lämpade för värmning av vatten för olika processer i ett mejeri, eftersom mjölkprodukten inte skall värmas över 70-80 °C och vid diskning/rengöring används inte varmare vatten än 80 °C. Effektområdet för denna typ av värmare är mellan ett par kW och cirka 500 kW.

3.3 Framtida teknik och forskning

Den övervägande delen av de beskrivningar som framkommit genom litteratursökningar/litteraturstudier behandlar direktanvändning av naturgas i processerna. Eftersom svensk lag ej tillåter denna teknik, behandlas tekniken inte i de konverteringsexempel som är presenterade i denna rapport. Livsmedelslagen och livsmedelsförordningen beskriver direkttorkning i allmänt formulerade bestämmelser. Internationellt är bilden splittrad om vad som är godkänt och icke godkänt, nivåerna på gränsvärdena varierar från land till land. Undersökningar har utförts på hur halterna av de cancerogena nitrosaminerna varierar i torkade produkter från olika länder. Resultaten visar på högsta halter i produkter från USA, där direkt-torkning är vanlig.

Den framtida teknik som förväntas få en stor utbredning i svenska mejerier är olika applikationer av immersionsvärmare samt olika typer av IR-teknik för torkning. Flera utländska forskningsinstitut bedriver försök med IR-torkar mellan indunstare och torktorn för att reducera erforderlig mängd uppvärmd (cirka 200 °C) luft.

4 ARLAS MEJERI I GÖTENE

Anläggningen består av två huvuddelar: mejeri och fabriken. En gemensam ångcentral förser de värmekrävande processerna med ånga. Ångan genereras i tre oljeeldade ångpannor eller i två elpannor beroende på rådande el/oljekostnad. Värmepumpar finns som tillvaratar spillvärme från olika processer i fabriksdelen.

Mejeriet

I mejeridelen ligger mottagningsstationen där mjölkproducenternas råmjölk vägs in, samt de processenheter som tillhör råmjölksbehandlingen. De produkter som framställs i mejeriet är:

- * Ost (Riddarost, Edamer, Grevé)
- * Smör
- * Bregott
- * Lätt & Lagom
- * Smörolja

1988 års produktion var:

Ost	11 400 ton
Smör	6 700 ton
Lätt & Lagom	15 600 ton

Mejeriprodukterna förpackas i mejeriet.

Fabriken

Produktionen av Semper-produkter och mjölkpulverframställningen ligger i fabriken. År 1988 framställdes 14 300 ton mjölkpulver, varav 45 % användes i Semper-produkterna.

Semper-produkter är bland annat välling, frukostflingor och modersmjölkersättning. Exempel på mjölkpulverprodukter är skummjölkpulver, vasslepulver och gräddpulver. Dessa produkter tillverkas både för den svenska livsmedelsindustrin och för export.

5 TILLVERKNINGSPROCESSER

5.1 Inledning

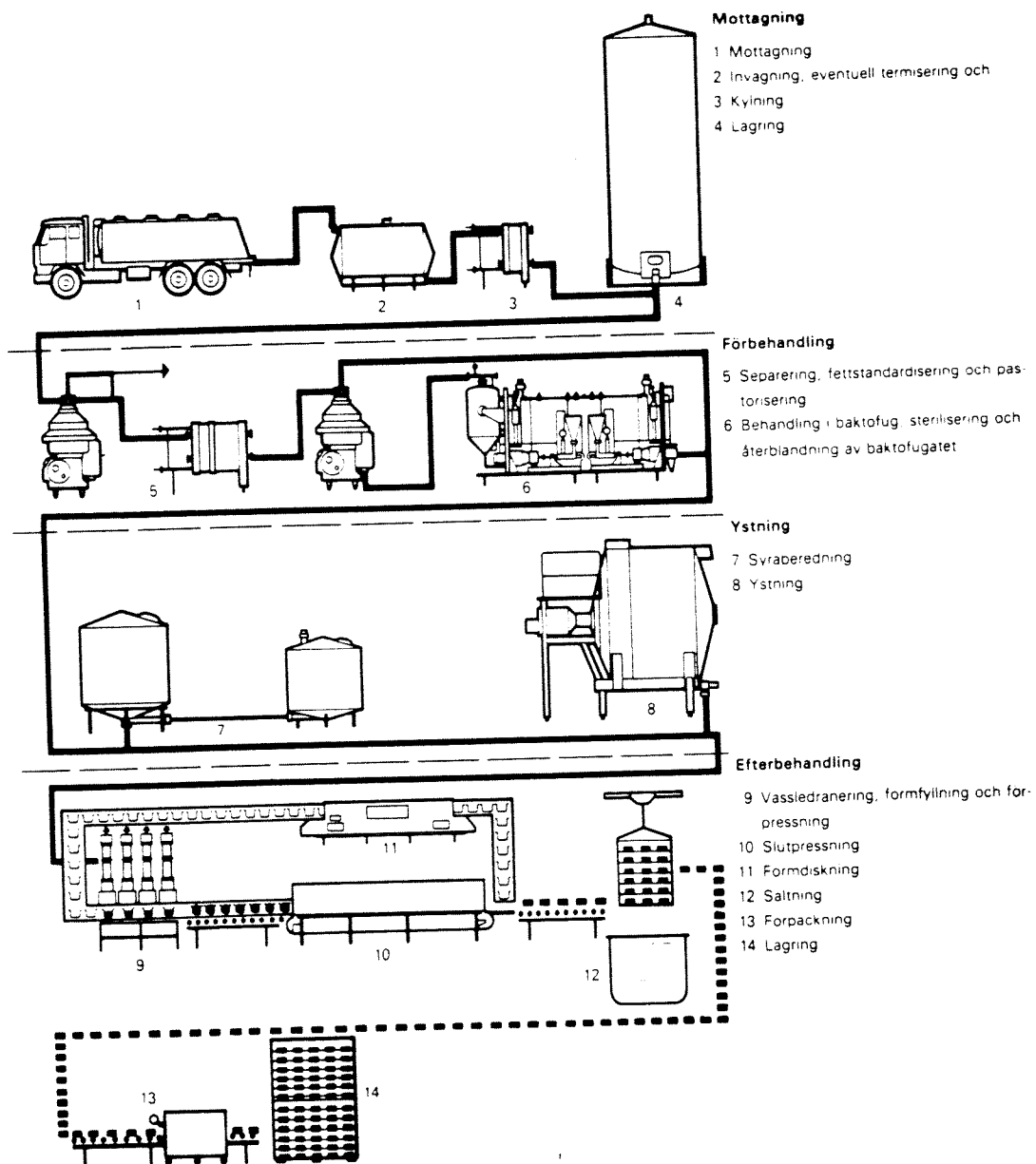
I detta kapitel ges en kortfattad beskrivning av de processer som finns vid Arlas anläggning i Götene. I referens nr 13 Mejerihandboken (ALFA-LAVAL) finns processerna beskrivna mer ingående. I referens 13 är även mjölkens kemi väl beskriven.

5.2 Osttillverkning

Råvarans väg till färdig ost är följande:
(Se figur 5:2, som är hämtad ur Ref 13).

- Rening
- Fettstandardisering
- Pastörisering
- Mogning/tillsatser
- Ystning
- Efterbehandling

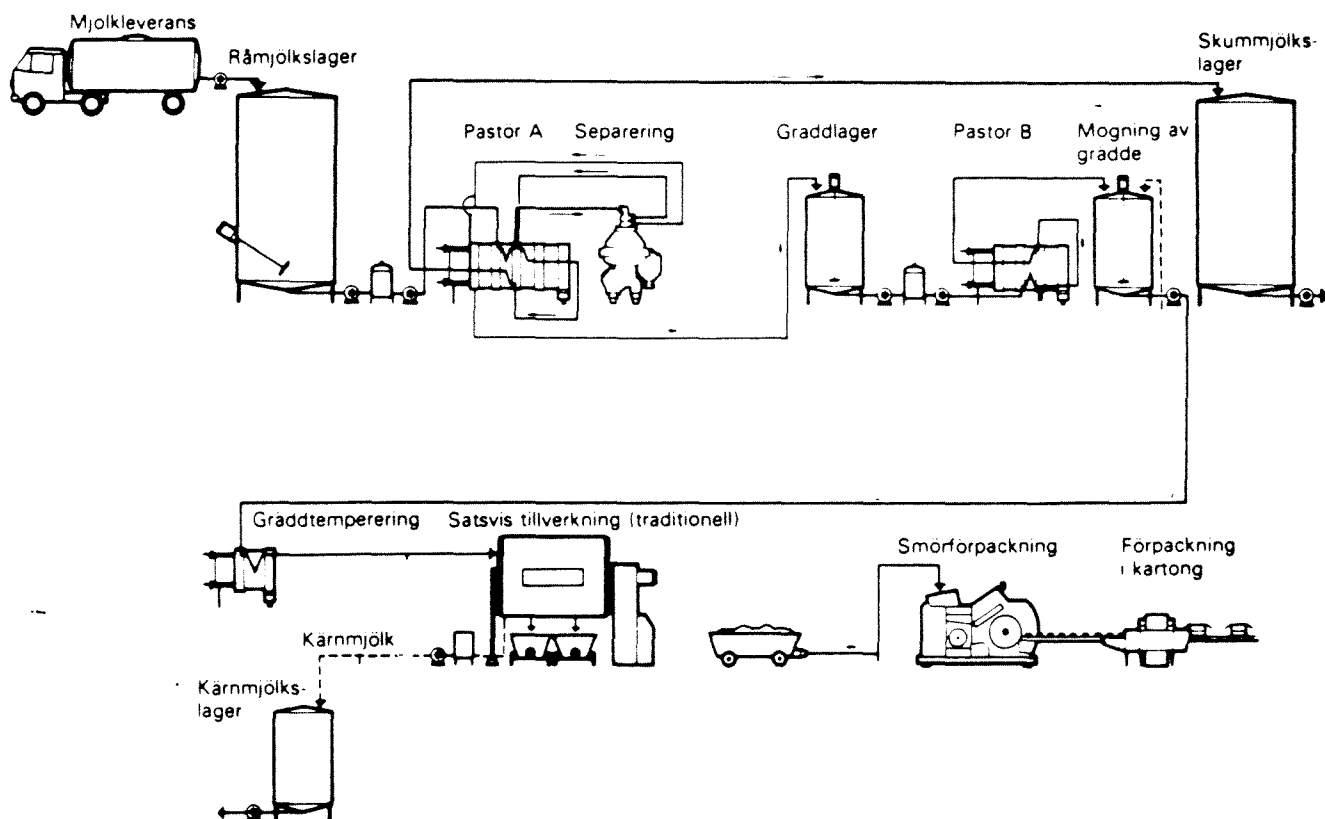
Helmjölken till osttillverkning genomgår lågpastörisering, det vill säga uppvärmning till 70-72 °C i 15 sekunder. Fettstandardiseringen sker genom separering, fettet avskiljs och återdoseras till rätt fetthalt. Detta sker utan värmetillskott. Mogning sker under 5-60 minuter, varvid bakterier får utveckla sig i mjölken. Tillsättning av ämnen sker som påverkar jäsning och koaguleringsförmågan för osten. Ystningen inrymmer flera steg, som löpläggning, vassleavtappning och värmning. Värmningen sker till olika temperaturnivåer beroende på typ av ost, men aldrig till mer än 45 °C. Efter värmningen tappas resterande mängd vassle ut, och ostmassan formas till sin slutgiltiga form.



Figur 5:2 Osttillverkning
Cheesemaking

5.3 Smörtillverkning

Tillverkningsprocessen för smör visas i figur 5.:3. Helmjölken förvärms i en skummjölkspastör för att den efterföljande separeringen av grädden ur helmjölken skall ske effektivare. Grädden förs via tankar till pastörisering vid cirka 95 °C. Därefter följer en mognadsprocess som är temperaturbärande, dock alltid under cirka 20 °C i 12-15 timmar. Själva smörbildningen sker mekaniskt i kärnältaren där smörkorn bildas, och vätskefasen kärnmjolk tappas av. Ältningen pågår tills rätt konsistens erhållits.



Figur 5:3 Smörtillverkning
Buttermaking process

5.4 Mjölkpulvertillverkning

Råvaran vid pulverframställning är lågpastöriserad skummjölk (lågpastöriserad = cirka 50-55 °C), som vid Göteneanläggningen kommer från mejeridelen. Första steget i torkprocessen är indunstningen, se figur 5:4, där 90 % av skummjölkens vatten avgår. I indunstaren råder undertryck så att mjölken kokar vid 70 °C. För att spara energi körs processen i flera steg. Mjölken rinner längs innerväggarna i vertikala tuber som är cirka 10 m höga och längs ytterväggarna passerar ånga, varvid mjölken upphetas till kokning. Sekundärången går ej till kondensorer utan används som värmeånga i en efterföljande värmekropp med lägre tryck. Detta kan upprepas flera gånger och ända upp till 7-stegs indunstare finns. Ytterligare energibesparing fås om man komprimerar ången (= högre tryck/temperatur) mellan stegen, så att den kan användas i samma indunstarsteg som den kom från.

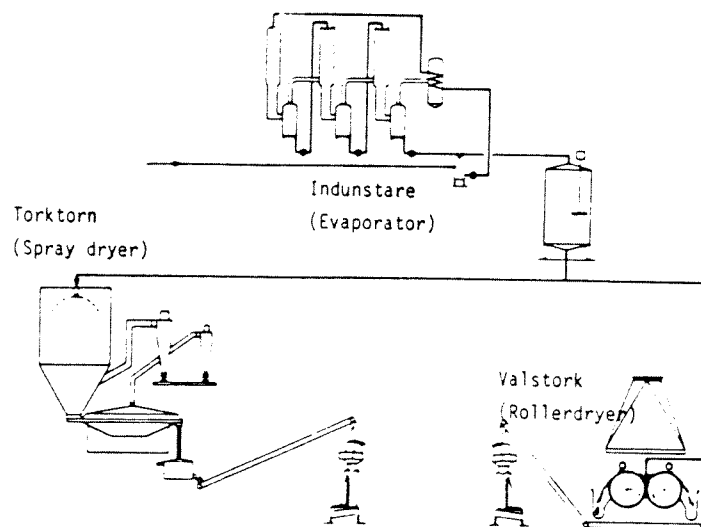
Används en mekanisk kompressor vid kompressionen åtgår elenergi, men ångförbrukningen minskar kraftigt.

Den fortsatta torkningen kan ske på två olika sätt: i torktorn eller i valstorkar.

Torkning i torktorn innebär att produkten från indunstarna finfördelas och blandas med en stor mängd luft i en blandningskammare i toppen på torktornet. Luften har blivit värmd i ett ångbatteri till cirka 200 °C. Produkten, nu i pulverform, samlas i botten av blandningskammaren och leds till paketering om pulvret ej skall gå via en "fluid bed" för instantisering. Instantisering innebär att mjölkpulvret behandlas så att det snabbt skall lösa sig i vatten.

Vid valstorkning sprids produkten från indunstaren över två roterande valsar, vilka uppvärms genom att ånga passerar inuti dessa. Den torkade produkten fastnar på valsarna och skrapas av med knivar.

Vid Arlas anläggning i Götene finns både torktorn och valstorkar.



Figur 5:4 Mjölkpulverframställning
Milk powder drying process

6 SLUTSATSER OM KONVERTERBARA PROCESSER MOT BAKGRUND AV LITTERATURSTUDIEN

Den litteratur som studerats anger i princip följande möjligheter vid konvertering till naturgas i en mejerianläggning:

- Befintliga ångpannor konverteras till naturgaseldning eller byts ut mot naturgaseldade pannor.
- Direktvärmning av torkluft till torktorn.
- Elproduktion med hjälp av gasmotor där motorförlusterna används för uppvärmningsändamål.
- Vätskevärmning, direkta och indirekta system.

Bildningen av cancerorgena nitrosaminer (från NO_x och aminer) vid direkta tork- och värmningstekniker, gör att denna typ av naturgasapplikationer, som tidigare nämnts, ej är tillåten i Sverige. (Se t ex Ref 6). Direkttorkning och direktvärmning berörs därför inte i kapitel 8 "Naturgasapplikationer i vissa processer".

Större delen av processutrustningen kräver ånga för uppvärmning. Av ekonomiska skäl är det orealistiskt att byta ut den befintliga processutrustningen vilket skulle bli nödvändigt om annat värmemedium än ånga användes. Vid naturgasledning är det fördelaktigt att producera ånga decentralt vid de olika processerna. De anläggningsdelar som kräver ånga är bland annat indunstaranläggningen, valstorkarna och större delen av värmeväxlarna i mejeridelen, dvs alla större energikrävande processer.

Med ovanstående i beaktande kvarstår följande möjligheter för naturgasanvändning i Götene:

- Utbyte av befintliga el- och oljepannor mot naturgaspannor som genererar ånga i det befintliga ångnätet.
- Delkonvertering av indunstare, valstorkar, torktorn, diskcentral i fabriken, samt mejeriet som en enhet.
- Egenproducerad el från gasmotor, där motorförlusterna används för uppvärmningsändamål.

De befintliga oljepannornas tekniska livslängd är slut, varför det är orealistiskt att i Arla Götene fall bara byta oljebrännarna till gasbrännare.

Indirekt vätskevärmning finns beskriven i andra Värmeforskrapporter, varför dessa möjligheter ej har studerats.

Tekniska, ekonomiska och miljömässiga aspekter på de tre möjligheterna för naturgasanvändning som beskrivits ovan ges i kapitel 8 till och med 10.

Produkten påverkas inte av naturgasanvändning i en anläggning av den typ som finns i Götene, eftersom all värmning av produkten kommer att ske under samma förutsättningar som idag. Det vill säga värmningen kommer att ske med varmvatten eller ånga som har samma data oberoende om den genereras med olja/el eller naturgas.

7 ENERGIBALANSER

7.1 Inledning

Som underlag för konverteringsstudien har energibalanser upprättats för de olika processerna. Data för energibalanserna har erhållits från Arlas interna utredningar och från Arlas driftjournaler. Vissa uppgifter har skattats där underlag ej funnits. Dessa skattningar har utförts i samråd med Arlas tekniska personal.

Energiförbrukningen varierar från år till år beroende på tillgången på mjölk från mjölkproducenterna. Detta medför t ex att vid perioder av minskad mjölkproduktion i producentledet, produktionen av torkprodukter minskar och prioritering av konsumtionsmjölk sker. Eftersom energiförbrukningen beror på produktionsvolym och typ av produkt, erhålls därmed stora variationer i årsenergiförbrukningen. De energibalanser som anges i det följande gäller för ett medelår.

7.2 Indunstarna

Indunstarnas varierande energibehov ånga/el beror på att vissa indunstare är försedda med elkompressorer. Detta innebär att ångförbrukningen reduceras men att elbehovet ökar för de indunstare som har elkompressorer.

7.2.1 Befintliga data

Befintliga data har sammanställts i tabell 7.2.1.

	Indunstare nr:				
	1	4	5	8	9
Drifftid per år (1988), h	4 800	1 900	2 200	3 800	2 400
Eleffektbehov, kW	400	40	50	340	70
Ångbehov, kg/tim (10 bar)	200	1 500	2 000	160	2 000
Produktkondensat avdrivet vatten, kg/tim	17 000	4 000	6 500	8 000	8 000

Tabell 7.2.1

Uppgifter om drifftid har erhållits ur Arlas driftjournaler.

Ångbehovet har erhållits ur fabrikantdata och uppgifter ur Arlas ångbehovskalkyler.

Kondensatmängderna är enligt flödesmätningar som Arla utför kontinuerligt.

7.2.2 Framräknade data

Med hjälp av befintliga data enligt ovan har energibalanser för de olika indunstarna framräknats, se tabell 7.2.2.

Energi (MWh/år)	Indunstare nr:					
	1	4	5	8	9	Totalt
Ånga (10 bar)	700	2 200	3 400	500	3 600	10 400
E1	1 900	100	100	1 300	200	3 600
Summa tillförd energi	2 600	2 300	3 500	1 800	3 800	14 000
Ångkondensat	100	300	500	100	500	1 500
Produktkondensat	1 400	300	500	500	700	3 400
Förluster	500	100	100	200	100	1 000
Bortkylt i kyltorn	600	1 600	2 400	1 000	2 500	8 100
Summa bortförd energi	2 600	2 300	3 500	1 800	3 800	14 000

Tabell 7.2.2

Ångenergin

Beräkningarna har utförts på följande sätt:

Behovet av ångenergin = ångeffekten x tiden där ångeffekten = massflödet x entalpin.

För indunstare nr 1 gäller: massflödet 200 kg/h
drifttiden 4800 h/år
vilket med entalpin 2776 kJ/kg och sortomvandling ger:

Ångenergin = $200/3600 \times 2776 \times 4800 = 740\,000$ kWh/år
eller (avrundat) 700 MWh/år.

Energien i ångkondensat har beräknats på samma sätt, men med kondensatets entalpiinnehåll 420 kJ/kg.

Kondensatenergin = $200/3600 \times 420 \times 4800 = 12$ MWh/år. I tabell 7.2.2 har ångenergin 700 MWh/år och (avrundat) 100 MWh/år för kondensatets energiinnehåll införts.

Beräkningarna för indunstare nr 4, 5, 8 och 9 har utförts enligt samma metod.

Produktkondensat

Produktkondensatets energiinnehåll per år har beräknats ur mängden avdrivet vatten, det avdrivna vattnets entalpi samt drifttid per år.

Temperaturen på kondensatet från indunstare nr 4, 5 och 9 är +30 °C, vilket ger en entalpi av 125 kJ/kg.

Temperaturen på kondensatet från indunstare nr 1 och 8 är +15 °C, vilket ger en entalpi av 62 kJ/kg.
För indunstare nr 1 gäller: massflöde 17 000 kg/h
drifttid 4 800 h/år
vilket med entalpin 62 kJ/kg och sortomvandling ger:

energiinnehåll = $17000/3600 \times 62 \times 4800 =$
1 405 300 kWh/år eller (avrundat) 1 400 MWh/år.

På samma sätt har produktkondensatets energiinnehåll från de övriga indunstarna beräknats.

Strålningsförluster

Enligt fabrikanterna av indunstare är strålningsförlusterna från en indunstare cirka 10 % av tillförd ångenergi. Totalt förbrukas 10 400 MWh/år ångenergi (se tabell 7.2.2), varför strålningsförlusterna har skattats till cirka 1 000 MWh/år. Förlustenergin har "fördelats" på de olika indunstarna i förhållande till mängden avdrivet vatten per år.

Kyltorn

De energimängder som kyls bort via kyltornen är beräknade som skillnaden mellan tillförd energi (ånga och el) och bortförd energi i form av kondensat, produktkondensat och strålningsförluster.

7.3 Torktornen

Tillförd energi till torktornen är ånga för värmning av torkluften samt elenergi till tilluftfläktarna.

Mjölksprodukten tillförs torktornen efter att ha passerat indunstarna. Bortförd energi från torktornen sker via kyltorn.

7.3.1 Befintliga data

Befintliga data har sammanställts i tabell 7.3.1.

	Torn nr		
	3	4	5
Drifttid per år (1988), h	2 700	3 200	5 300
Elbehov, kW	115	150	240
Ångbehov, kg/tim	1 500	2 000	3 700

Tabell 7.3.1

Ovanstående data har hämtats ur samma källor som använts vid framtagandet av tabell 7.2.1. Ångkondensatet har en temperatur av cirka 100 °C och ett entalpiinnehåll av 420 kJ/kg.

7.3.2 Framräknade data

Med hjälp av befintliga data enligt ovan har energibalanser för de olika torktornen beräknats, se tabell 7.3.2.

Torn nr				
Energi (MWh/år)	3	4	5	Totalt
Ånga (18 bar)	3 200	5 000	15 200	23 400
Elenergi	300	500	1 300	2 100
	-----	-----	-----	-----
Summa tillförd energi	3 500	5 500	16 500	25 500
Ångkondensat	500	700	2 300	3 500
Förluster	500	800	2 300	3 600
Bortkylt i kyltorn	2 500	4 000	11 900	18 400
	-----	-----	-----	-----
Summa bortförd energi	3 500	5 500	16 500	25 500

Tabell 7.3.2

Ångenergin

Beräkningarna har utförts på följande sätt:

Behovet av ångenergin = ångeffekt x tiden,
där ångeffekten = massflöde x entalpin.

För torktorn nr 5 gäller: massflöde 3700 kg/h
drifttid 5 300 h/år

vilket med entalpin 2795 kJ/kg och sortomvandling
ger avrundat:

$$\text{ångenergin} = 3700/3600 \times 2795 \times 5300 = 15200 \text{ MWh/år.}$$

Energiinnehållet i ångkondensatet har beräknats på
samma sätt, men med entalpin 420 kJ/kg.

$$\text{Ångkondensatets energiinnehåll} = 3700/3600 \times 420 \times 5300 = 2300 \text{ MWh/år, (avrundat och sortomvandlat).}$$

På samma sätt har torktorn nr 3 och 4 beräknats.

Förluster & kyltorn

Strålningsförlusterna för torktornen har approximerats till 15 % av ångförbrukningen. Resterande delen av energin finns i frånluften från tornen.

7.4 Valstorkarna

Valstorkarna förbrukar ånga och el. De roterande valsarna drivs av elmotorer och värmningen av valsarna sker med ånga.

7.4.1 Befintliga data

Befintliga data har sammanställts i tabell 7.4.1.

	Vals nr		
	3	4	5
Drifttid per år (1988), h	1 100	5 100	5 200
Eleffekt, kW	20	35	35
Ångbehov, kg/tim	600	950	950

Tabell 7.4.1

Data i tabell 7.4.1 har hämtats ur Arlas driftjournaler och ur internutredningar som utförts av Arlas personal.

7.4.2 Framräknade data

Metoden för energiförbrukningsberäkningarna följer de metoder som redovisas för indunstarna och torktornen.

Entalpin i ångan är 2776 kJ/kg och i kondensatet 663 kJ/kg. För valstork nr 5 ger detta:

$$\text{årsångbehovet} = 950/3600 \times 2776 \times 5200 = 3800 \text{ MWh/år}$$

och för kondensatet:

$$\text{årsenergin i kondensatet} = 950/3600 \times 633 \times 5200 = 870 \text{ MWh/år.}$$

På samma sätt har valstork nr 3 och nr 4 beräknats.

Förluster

Värmeenergin som alstras på ytorna av valstorkarna åtgår för torkning av produkten, resterande mängd värme (strålningsvärme till omgivande luft) sugas ut av en frånluftsfläkt placerad ovanför valspaketet. Detta medför att en viss del värme tillförs lokalen. Här har ansatts att 10 % tillförs lokalen, resten sugas ut. Denna procentsats har Arla tidigare använt vid beräkningar av värmebehov och dess rimlighet anses god.

7.5 Diskcentralen i fabriken

Stor osäkerhet råder i energibalansen eftersom vissa data måste uppskattas. Diskning sker med vatten av en temperatur på cirka 80 °C. Diskvattnet lämnar diskcentralen med en temperatur av cirka 47 °C. Sköljning efter diskning sker med kallvatten.

7.5.1 Diskcentralen i fabriken

Följande data har erhållits ur Arlas journaler samt uppskattats av Arlas personal:

- Ljumvatten (från kylning av luftkompressorer) med en temperatur av cirka 50 °C och en årsvolym av cirka 44 000 m³ tillförs diskcentralen.
- Cirka 1 700 MWh/år ånga tillförs diskcentralen.
- Diskvattnets temperatur före respektive efter diskning: 80°/47°C.
- Spillvattenmängd från diskcentralen: 27 000 m³.
- Det förbrukade diskvattnet som ej går ut i avloppet som spillvatten används till syra- och lutbehandlingsprocessen i mejeriet.

7.5.2 Beräknade data

Temperaturen på diskvattnet sjunker med 33 °C vid diskning. Detta motsvarar en energiförlust av 1700 MWh/år som anses komma lokalerna "tillgodo". Energi-mängden har beräknats enligt:

$$\text{Förlust till lokalen} = \text{massa} \times C_p \times \Delta T$$

$$\begin{aligned} \text{där massan} &= 44\,000\,000 \text{ kg} \\ C_p &= 4,19 \text{ kJ/kg} \\ \Delta T &= 33 \text{ °C} \end{aligned}$$

vilket ger:

$$\begin{aligned} \text{Förluster till lokal} &= 44\,000\,000 / 3\,600 \times 4,19 \times 33 \\ &= 1\,700 \text{ MWh/år} \\ &(\text{avrundat och sortomvandlat}). \end{aligned}$$

Energimängden i det 50-gradiga kylvattnet från kylkompressorna har beräknats till 2 600 MWh/år.

Energimängden i spillvattnet har beräknats till 1 500 MWh/år och i vattnet till syra och lut 900 MWh/år.

I tabell 7.5.2 redovisas diskcentralens värmebalans.

	MWh/år
-----	-----
Ånga	1 700
Ljumvatten från tryckluftskompressorer	2 600
-----	-----
Summa tillförd energi	<u>4 300</u>
Förluster till lokaler	1 700
Spillvatten	1 500
Kondensat	200
Ljumvatten till syra & lut	900
-----	-----
Summa bortförd energi	<u>4 300</u>

Tabell 7.5.2

7.6 Kylmaskiner och värmepumpar

Kylmaskinerna levererar isvatten till de av mejeriets processer som kräver kylning. Deras kondensorvärme lyfts i temperatur av värmepumpar som i sin tur förvärmer luften till torktornen. Värmepumparna tillvaratar även värme i frånluften från torktornen.

Totalt förbrukas 3 800 MWh el per år av kylmaskinerna och värmepumparna. Värmefaktorn för värmepumparna är 3.8.

7.7 Övriga förbrukare i fabriken

Lokalvärme 4 000 MWh/år (ånga 10 bar). Motsvarar den energimängd som åtgår för ventilationsförluster och transmissionsförluster i verkstadsbyggnader och lagerlokaler.

För övriga lokaler täcker processförlusterna uppvärmningsbehovet för fabriken.

Övriga mindre energikrävande processer och tappvarmvattenberedning förbrukar 500 MWh respektive 100 MWh per år. Dessa uppgifter är fabrikantdata och skattade. En elförbrukning för dessa "övriga processer" har skattats till cirka 2 120 MWh/år.

7.8 Sammanställning fabriken

Nedan redovisas en sammanställning av beräknade energimängder för de olika förbrukningsställena i fabriken.

MWh/år				Förluster MWh/år	
Objekt	Ång- behov	El	Ång- kondensat	Lokaler tillgodo	Frånluft spillvärme
Indunstare	10 400	3 600	1 500	1 000	8 100
Torktorn	23 400	2 100	3 500	3 600	18 400
Valstorkar	8 200	420	1 900	600	5 700
Diskcentral	1 700	–	200	1 700	1 500
Lokalupp- värmning	4 000	–	400	4 000	–
Övrigt	600	2 120	–	–	–
Totalt	48 300	8 240	7 500	10 900	33 700

7.9 Mejeriet

Mejeriets ångförbrukning fördelas på:

- Processer
- Diskcentral
- Lokalvärme

I processerna sker energiutbytet med plattvärmväxlare ånga/vatten/produkt eller ånga/produkt. Energiförbrukningen för mejeriet baseras på mätdata ur Arlas journaler för kondensatmängder.

Kondensat (70 °C) från processer:	15 800 m ³ /år
diskcentral:	7 200 m ³ /år
lokaluppvärmn:	5 800 m ³ /år

Energi i ånga till processer:

$$15\,800\,000 / 3\,600 \times 2\,776 \text{ kJ/kg} = 12\,200 \text{ MWh/år}$$

där 2 766 är entalpin för ångan (10 bar).

Energi i ånga till diskcentral:

$$72\,000\,000 / 3\,600 \times 2\,776 = 5\,500 \text{ MWh/år}$$

Energi i ånga till lokaluppvärmning:

$$5\,800\,000 / 3\,600 \times 2\,776 = 4\,500 \text{ MWh/år}$$

Totalt ångbehov för mejeriet: 22 200 MWh/år

Kondensat +70 °C: (entalpi 293 kJ/kg)

$$28\,800\,000 / 3\,600 \times 293 = \underline{2\,300 \text{ MWh/år}}$$

7.10 Kontroll av värmebalansen

Summeras nettoångbehoven (dvs tillförd energi i ångan minus energimängden i kondensatet) för fabriken och mejeriet erhålls:

Fabriken: 48 300 MWh/år bruttoenergi
 7 500 MWh/år kondensatenergi

Nettoångbehov = 48 300 - 7 500 = 40 800 MWh/år

Mejeriet: 22 200 MWh/år
 2 300 MWh/år kondensatenergi

Nettoångbehov = 22 200 - 2 300 = 19 900 MWh/år

Totalt netto = 40 800 + 19 900 = 60 700 MWh/år
vilket är den beräknade årsenergiförbrukningen (netto).

Elförbrukningen per år är 50 000 MWh. Den el som åtgår till processer är beräknad till 8 240 MWh. El till pannor 50 000 - 8 240 = 42 000 MWh. Verkningsgraden för elpannorna är 95 %.

Oljeinköpen är cirka 2 650 m³/år.
Energiinnehåll i oljan 10 640 MWh, pannornas verkningsgrad har ansatts till 85 %.

Producerad mängd energi i form av ånga:

El:	42 000 x 0,95	= 40 000 MWh
Olja:	2 650 x 10 640 x 0,85	= 24 000 MWh

Totalt		64 000 MWh

Förlusterna i ångnätet kan antas uppgå till cirka 5 %.

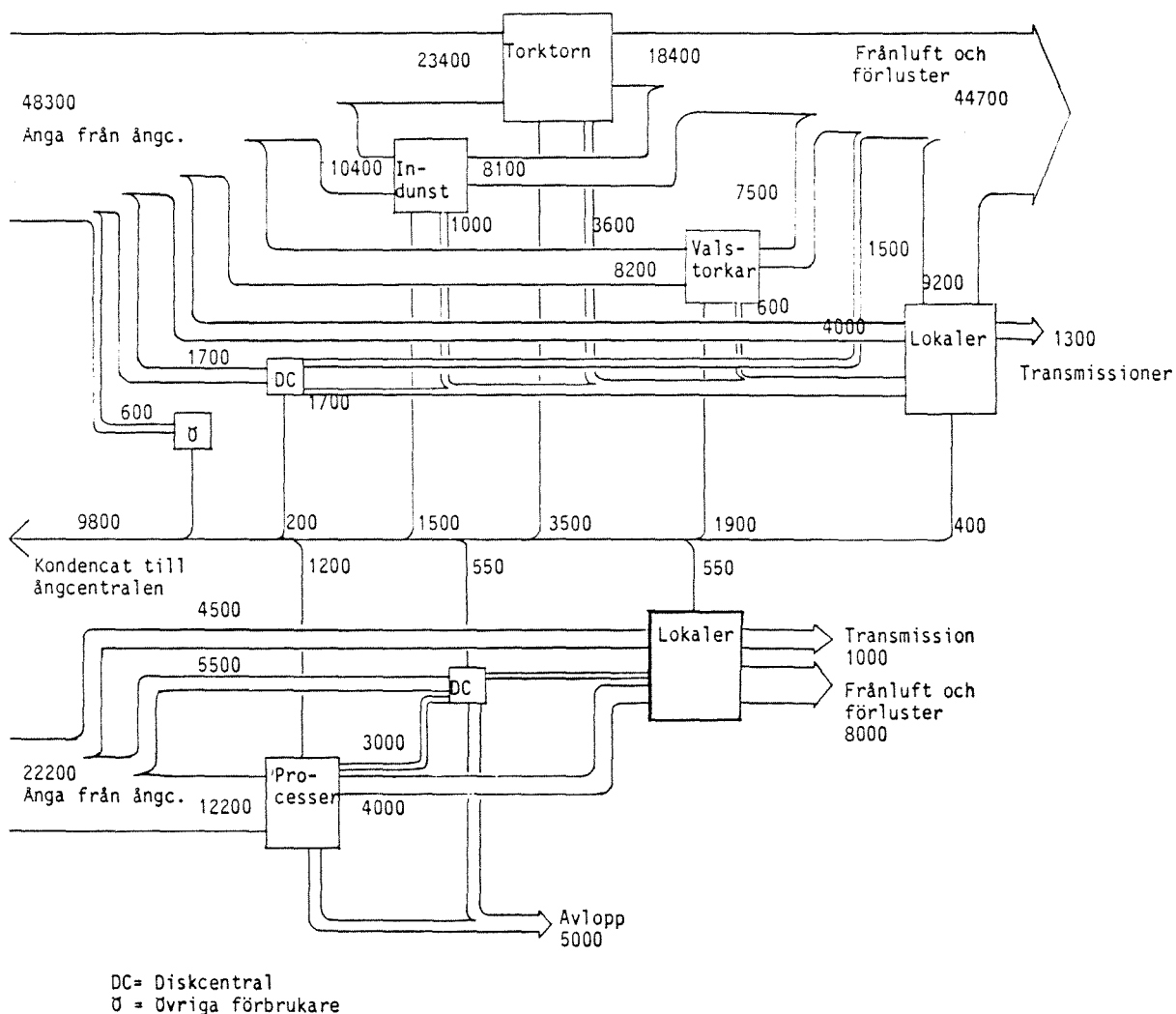
Den ångmängd som "når fram" till processerna:
6 400 x 0,95 = 60 800 MWh/år.

Enligt ovan är det beräknade årsnettobehovet 60 700 MWh.

Differensen på 100 MWh motsvarar 1 %, varför energibalansen antas vara korrekt.

7.11 Översiktbild av ångenergiflödet

Nedan visas energiflödet för fabriken och mejeriet. Energienheten är MWh och angivna förbrukningar är årsvärden. Kondensatåterföring sker från alla ångförbrukare till ångcentralen.



Figur 7:11 Energiflöde
Energy flow

8 NATURGASAPPLIKATIONER I VISSA PROCESSER

8.1 Inledning

I detta kapitel behandlas innebörden av en "delkonvertering", dvs en decentraliserad ångproduktion. De studerade förbrukningsställena är de som i Arla Götenes fall förbrukar den största mängden ånga.

I vissa fall krävs ånga som värmemedium (indunstare och valstorkar) och i en del fall kan befintligt ångsystem konverteras till hetvatten.

Nedan behandlas den tekniska utformningen, miljöpåverkan, produktionsfördelar/nackdelar, investeringskostnader samt driftekonomi vid konvertering till naturgas i följande processer och förbrukningsställena:

- Indunstare
- Valstorkar
- Torktorn
- Diskcentral
- Mejeriet i sin helhet

8.2 Teknisk utformning

Samtliga decentraliserade naturgaspannor har rök-gaskondenseringsutrustning. (Denna teknik finns väl beskriven i andra värmeforskrapporter). Tekniken innebär att verkningsgraden kan bli över 100 % beroende på att beräkningarna utförts med det effektiva värmevärdet.

En naturgaseldad ångpanna är mycket lik en vanlig oljeledad ångpanna. Skillnaden ligger i strålningsegenskaperna hos en oljefflamma respektive en naturgasflamma. Oljefflamman lyser på grund av sitt stora kolinnehåll med en gul låga som ger en mycket god värmeavgivning genom strålning till omgivande ytor.

Naturgasflamman däremot går normalt i blått på grund av den stora väteandelen och får därmed en lägre strålningsintensitet. Detta medför att värmeupptagningen i eldstaden sjunker för en naturgaseldad panna samtidigt som värmeupptagningen ökar i överhettaren och ekonomisern.

De tekniska fördelarna med en naturgaspanna jämfört med en konventionell oljepanna är:

- Naturgaspannan kan ha väsentligt lägre rök-gastemperatur utan att korrosionsproblem uppstår.
- Mindre sotbeläggningar.
- Längre livslängd.

Indunstare och valstorkar

I indunstare och valstorkar måste värmning ske med ånga. Komponenterna är termodynamiskt dimensionerade för ånga och om ett annat värmemedium till exempel rökgaser från en naturgasbrännare skulle användas, kräver detta helt ny indunstare och valstorkare. Naturgasalternativet blir en naturgaseldad ångpanna med samma ångdata som nuvarande.

Följande förutsättningar gäller:

Ångbehovet för indunstarna är 5 860 kg/h, effektbehov 3,5 MW vid en kondensattemperatur på cirka 30 °C. Ångbehovet för valstorkarna är 2 500 kg/h, effektbehov 1,5 MW vid en kondensattemperatur på cirka 150 °C.

Med hjälp av kondensatet från indunstarna går det att kondensera rökgaserna från indunstarnas ångpanna. För valstorkarnas ångpanna sker kylningen av rökgaserna lämpligen med tappvattnet till diskcentralen, som då samtidigt värms.

Data för lämpliga naturgaseldade ångpannor:

Indunstaren:	Drifttryck	10 bar
	Max ångproduktion	6 000 kg/h
	Max effekt	3,6 MW
	Förbränningsverkningsgrad (Rökgastemperatur 40 °C)	107 %
	Årsverkningsgrad (7 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	100 %
Valstorkarna:	Drifttryck	10 bar
	Max ångproduktion	3 000 kg/h
	Max effekt	2,2 MW
	Förbränningsverkningsgrad (Rökgastemperatur 40 °C)	105 %
	Årsverkningsgrad (7 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	98 %

Mejeriet och diskcentralen

Vid naturgaskonvertering av diskcentralen och mejeriet kan en övergång från en ångpanna till en värme-panna, som värmer vattnet, ske. De tekniska vinster-na blir förutom de som har nämnts inledningsvis följande:

- Enklare panna, vilket medför högre driftsäkerhet och mindre underhåll.
- Betydligt mindre storlek jämfört med oljeeldad ångpanna.

Beräkningar:

Följande förutsättningar gäller.

Värmebehovet för mejeriet är 22 200 MWh, värmeeffektbehov cirka 4,5 MW vid 5 000 drifttimmar per år. Värmebehovet för diskcentralen är 1 700 MWh, värmeeffektbehov cirka 800 kW vid 2 000 drifttimmar per år.

Data för lämpliga naturgaseldade värmepannor:

Mejeriet:	Värmeeffekt	5 MW
	Förbränningsverkningsgrad	108 %
	(rökgastemperatur 40 °C)	
	Årsverkningsgrad	103 %
	(5 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	
Diskcentralen:	Värmeeffekt	1 MW
	Förbränningsverkningsgrad	108 %
	(rökgastemperatur 40 °C)	
	Årsverkningsgrad	103 %
	(5 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	

Torktorn

Vid konvertering av torktornen till naturgasdrift finns det flera möjliga alternativ att tillgå. (Gemensamt för alla alternativ är att det sker med indirekt torkning).

Följande alternativ beskrivs nedan:

- Behålla nuvarande ångbatteri och använda en naturgaseldad ångpanna.
- Brännkammare och en luftrökgasvärmväxlare.
- Hetvattenpanna och en luftrökgasvärmväxlare.

Systemet med en brännkammare och en luftrökgasvärmväxlare serietillverkas ej varför de måste specialtillverkas. Samma sak gäller för systemet med en hetvattenpanna och en luftrökgasvärmväxlare.

Följande data gäller för tornen:

	Luftmängd m ³ /h	Ångbehov kg/h	Ångtryck bar	Kondensat- temperatur °C
Torn 3	15 000	1 500	18	70
Torn 4	16 500	2 000	18	70
Torn 5	27 000	3 700	18	70
Totalt	58 500	7 200	18	70

Totalt skall 58 500 m³/h luft värmas från +25 °C till +220 °C.

Alternativet att behålla nuvarande ångbatteri och använda en naturgaseldad ångpanna.

Systemet visas i bild 8.2a.

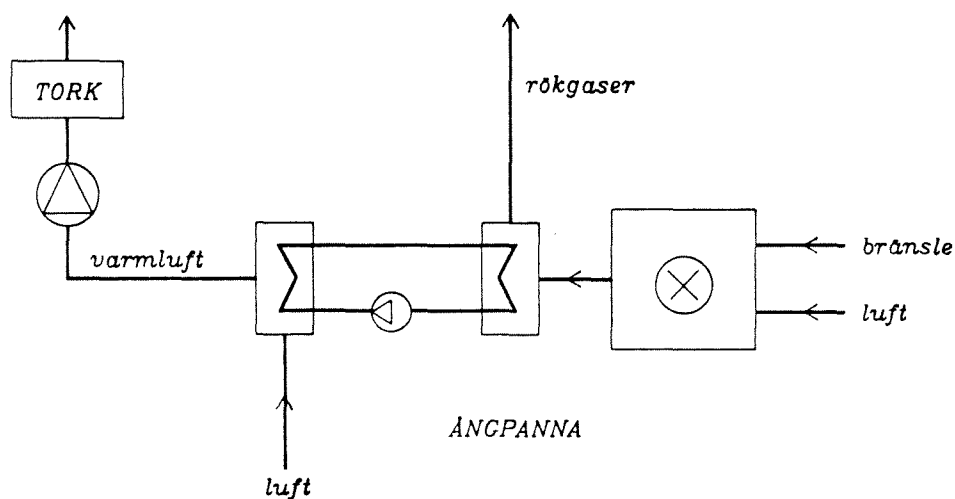


Bild 8.2a Ångpanna
(Steam boiler)

Det befintliga ångbatteriet, som idag är anslutet till det centrala ångnätet, ansluts till den decentraliserade ångpannan.

Med en ångpanna och rökgaskondensering erhålls följande data:

Ångtryck	18 bar
Ångproduktion	7200 kg/h
Värmeeffekt	5 MW
Förbränningsverkningsgrad (Rökgastemperatur 40 °C)	108 %
Årsverkningsgrad (7 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	101 %

Alternativet att installera en brännkammare och en luft-rökgasvärmväxlare

Systemet visas i bild 8.2b.

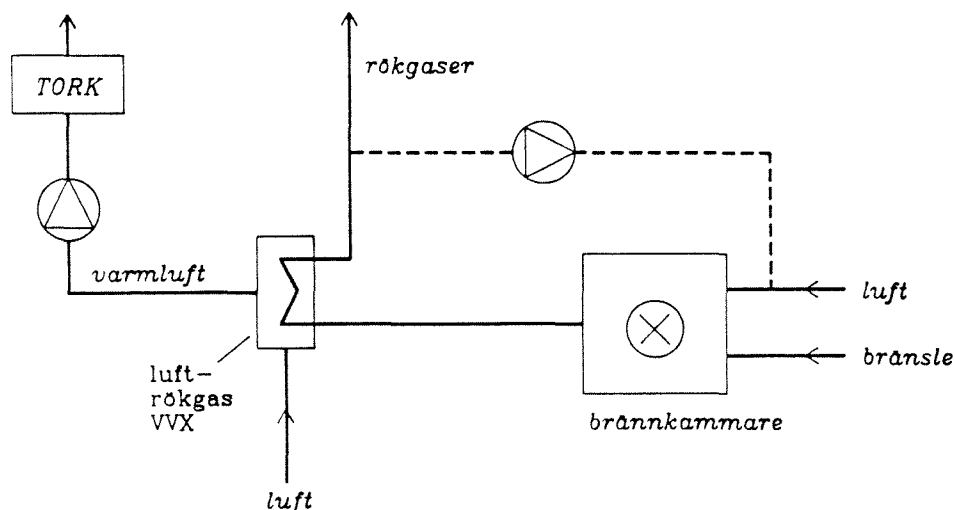


Bild 8.2b Brännkammare och en luft-rökgasvärmväxlare.
(Combustion chamber and an air-hot flue gas heat exchanger).

Med en brännkammare och en luft-rökgasvärmväxlare värmer heta rökgaser luften via en värmväxlare.

Fördelarna med ett sådant system jämfört med ett ångsystem är:

- Snabbare startförlopp
- Enklare reglering
- Mindre drift och underhållskostnader
- Hela systemet är betydligt enklare
- Driftsäkrare

Ett problem med detta system är att rökgastemperaturen efter brännkammaren blir för hög, (cirka 1500 - 2000 °C beroende på luftfaktorn) för luft-rökgasvärmväxlaren.

Värmväxlaren tål bara cirka 500-800 °C. Därför måste rökgastemperaturen sänkas och det kan göras antingen med en ökad luftfaktor i förbränningen eller genom att återföra redan kylda rökgaser till förbränningsluften före värmväxlaren.

Fördelen med rökgasåterföring jämfört med att höja luftfaktorn är att rökgasförlusterna blir mindre. Nackdelen blir att ett mer komplicerat system erhålls.

Genom att införa rökgasluftvärmväxlare kommer tryckfallet att påverkas marginellt i luftkanalen till torktornen. Jämföres däremot elförbrukningen

för rökgasfläktarna och befintlig matarvattenpump i ångsystemet, minskas elförbrukningen med cirka 40 MWh/år med naturgasalternativet.

Följande verkningsgrader gäller för systemet med brännkammare och en luft-rökgasvärmewäxlare:

Förbränningsverkningsgrad 109 %
(Rökgastemperatur 40 °C)

Årsverkningsgrad 106 %
(3 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)

Alternativet att installera en hetvattenpanna och en luft-rökgasvärmewäxlare

Ett sätt att minska problemet med den höga rökgas-temperaturen och det stora utrymme som en brännkammare kräver, är lösningen som visas i bild 8.2c.

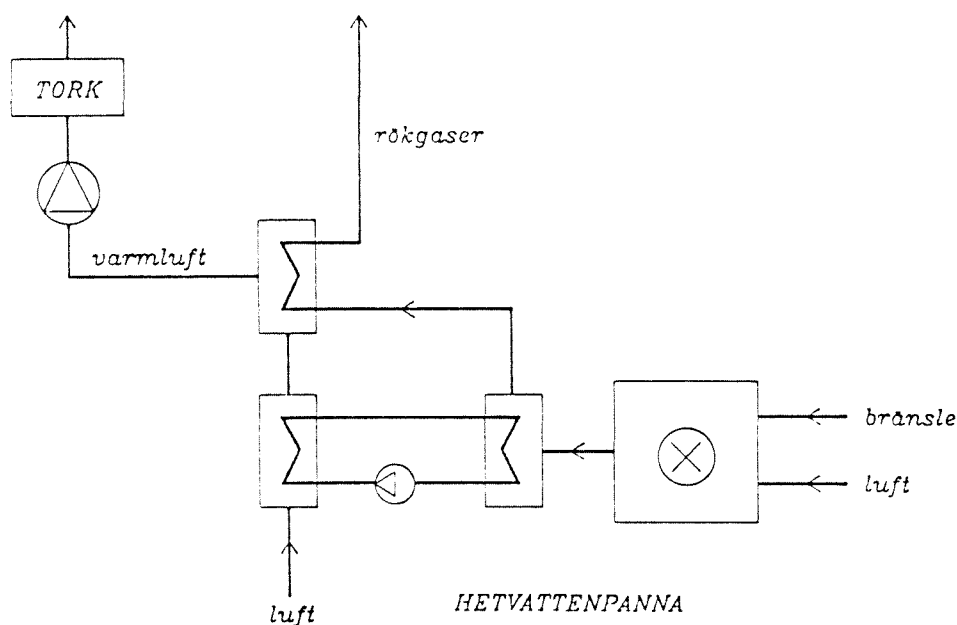


Bild 8.2c Hetvattenpanna och en luft-rökgasvärmeväxlare.
(Hot waterboiler and an air-hot flue gas heat exchanger)

Principen med en hetvattenpanna är att förvärma luften i en luft-vattenvärmeväxlare. Vattnet värms upp i hetvattenpannan samtidigt som rökgaserna kyls ner till lämplig nivå och därmed undviks problemet med för hög rökgastemperatur.

För systemet erhålls följande verkningsgrader:

Förbränningsverkningsgrad	108 %
(Rökgastemperatur 40 °C)	

Årsverkningsgrad	105 %
(3 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	

8.3 Miljöpåverkan

8.3.1 Generellt

Vid förbränning av naturgas bildas miljöstörande produkter som har sitt ursprung i själva förbränningsprocessen och inte härrör från föroreningar i bränslet.

Dessa produkter är huvudsakligen olika kväveoxider, stoft samt kolmonoxid och organiska föreningar.

Mängden bildad koldioxid (vid samma energiomsättning) blir för naturgasförbränning cirka 25-30 % mindre än vid oljeförbränning. Vid normal oljeeldning bildas cirka 8,3 g/MJ CO₂.

I tabell 8.3a redovisas typiska NO_x-nivåer från olika naturgasspannor.

Tillförd effekt	Naturgas NO _x (beräknad som NO ₂) mg/MJ	Olja NO _x mg/MJ
1-50 MW	60 konventionell brännare 50 låg-NO _x -brännare	170
0,01-1 MW	30	70

Tabell 8.3a (Ref 5 och Ref 15)

Stoftpartiklarna innehåller nästan enbart kol. Ett typiskt riktvärde för naturgasförbränning är 0,015 mg/MJ mot 10 mg/MJ vid oljeeldning.

I tabell 8.3b visas övriga föroreningar som bildas vid naturgaseldning och oljeeldning.

	Naturgas mg/MJ	E05 mg/MJ
Svavel	1 000	240 000
Arsenik	0,00003	2
Beryllium	-	0,2
Kadmium	0,04	0,7
Kobolt	0,0001	11
Krom	0,003	1,2
Koppar	0,0003	8,5
Kvicksilver	0,004	0,06
Mangan	0,001	0,5
Nickel	0,001	400
Bly	0,006	25
Selen	0,0005	2,5
Vanadin	0,0003	1 300
Zink	0,003	20

Tabell 8.3b Jämförelse mellan naturgas och E05
(ur Ref nr 15)

8.3.2 Miljöpåverkan vid decentralisrad naturgasanvändning

I tabell 8.3c redovisas miljöförändringarna i form av minskat utsläpp vid delkonvertering från olja till naturgas vid en total energiåtgång på *28 000 MWh/år, och med en verkningsgrad för den oljeeldade ångpannan på 85 %. Under varje process redovisas den antagna verkningsgraden vid naturgaseldningen.

I bilaga 1 redovisas minskningen av utsläpp mer i detalj.

* Motsvarar nuvarande årsoljeförbrukning.

	Indunstare n = 100 %	Valstorkar n = 98 %	Diskcentral n = 100 %	Mejeriet n = 103 %	Torktorn m = 103 %
CO ₂	ca 30 ton	ca 25 ton	ca 5 ton	ca 60 ton	ca 70 ton
NO _x	ca 600 kg	ca 500 kg	ca 100 kg	ca 1200 kg	ca 1300 kg
Stoft	15 kg	12 kg	2,4 kg	15 kg	33 kg
Svavel	3600 kg	2894 kg	580 kg	7477 kg	7960 kg

Tabell 8.3c Minskning av utsläpp vid övergång från oljeeldning till naturgaseldning.

8.4 Ekonomi

I tabell 8.4a redovisas investeringskostnader för de olika delkonverteringarna.

	Ångpanna		Värme-panna	Bränn-kammare med VVX	Hetvatten-panna med VVX
	10 bar	18 bar			
Indunstare	750'				
Valstorkare	630'				
Mejeriet			900'		
Diskcentral			200'		
Torktorn 3				450'	340'
Torktorn 4				580'	420'
Torktorn 5				1000'	1500'
Gemensam panna för torktorn 3, 4 och 5		1150'		2030'	1500'

Tabell 8.4a Investeringskostnader i kkr.

I investeringskostnaden ingår panna, brännare, reglerutrustning, skorsten och rökgaskylare. (Kostnaderna är ungefärliga och i 1989 års prisnivå).

Pay off-tiden för de olika delkonverteringarna redovisas i bild 8.4a - 8.4b där jämförelsepriset är 21 öre/kWh. (Pannverkningsgrad = 85 % och oljepris 1.800 kr/m³ E05).

Pay-offtid AR

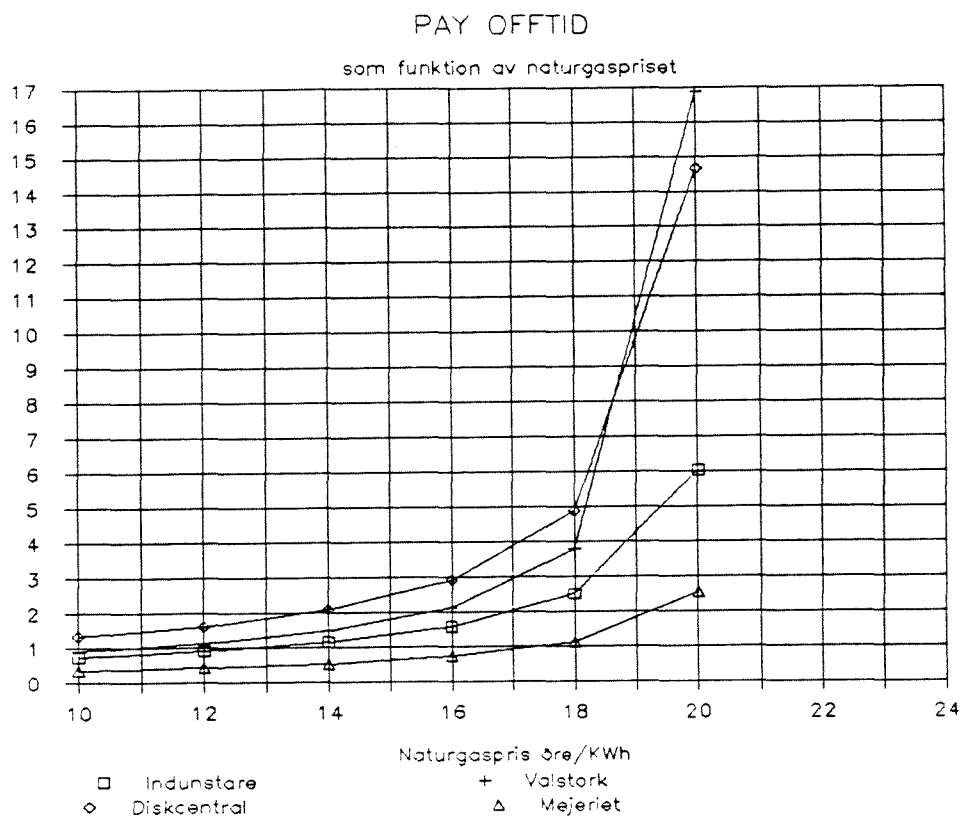


Bild 8.4a

Pay offtid AR

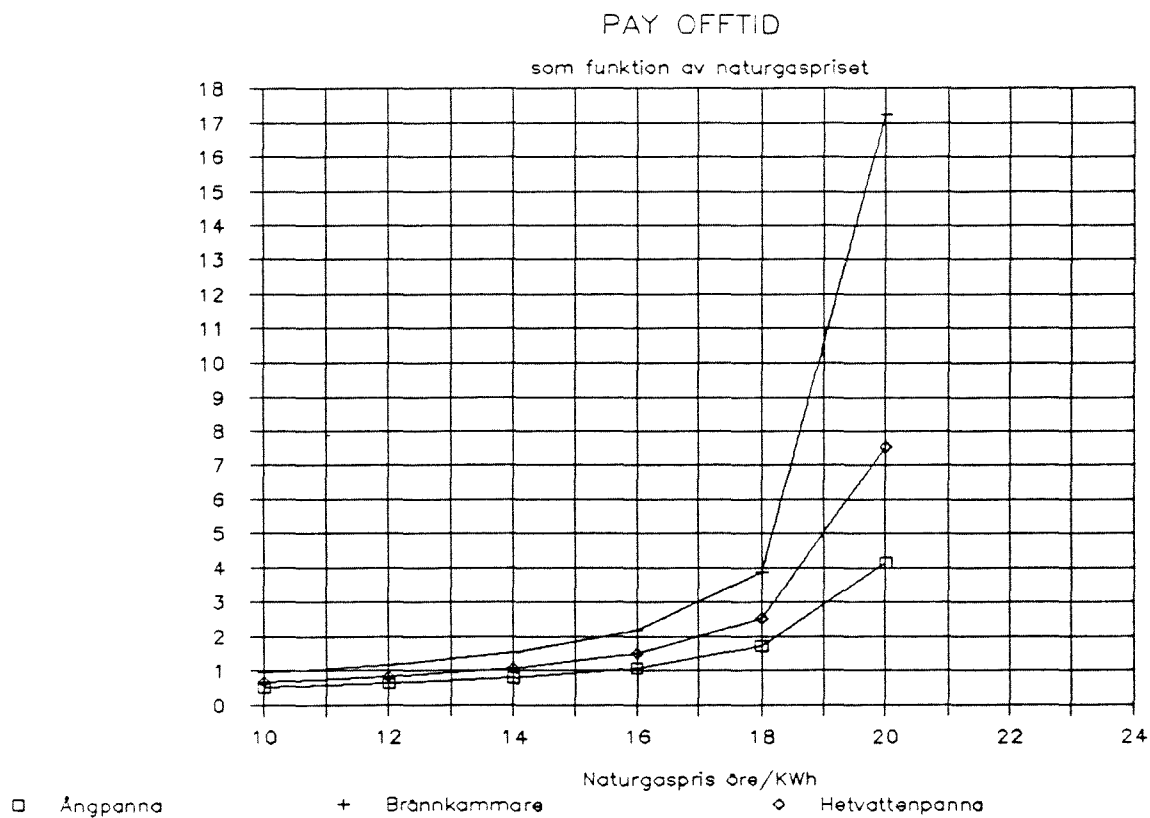


Bild 8.4b

9 TOTALKONVERTERING

Med totalkonvertering menas här att de befintliga oljeeldade ångpannorna byts ut mot nya naturgaseldade ångpannor. Vid en totalkonvertering kommer elångpannorna att fungera som reservpannor.

De befintliga pannorna är gamla, varför det är orealistiskt att bara byta brännare. (I beräkningarna har det antagits att pannverkningsgraden är 85 %. Denna verkningsgrad är aboslut inte för låg).

Den installerade oljepanneffekten är cirka 30 MW och maxeffekten är beräknad till 20 MW.

Det räcker således att installera två naturgaseldade ångpannor på 12 MW vardera.

Kostnaden för en 12 MW ångpanna med brännare, reglerutrustning, matarvattentank, skorsten och installationsarbete är cirka 2.100.000 kronor. Följande verkningsgrader gäller:

Förbränningsverkningsgrad (Rökgastemperatur 40 °C)	108 %
---	-------

Årsverkningsgrad (6 % förlust på grund av stillestånd och strålningsförluster)	102 %
--	-------

För att kyla ner rökgaserna till 40 °C kan en luft-rökgasvärmväxlare installeras i luftkanalen till torktornen före ångbatteriet.

Beräkning av luft-rökgasvärmväxlaren:

Max effektuttag 20 MW.

$20 \cdot 0,1 = 2 \text{ MW}$

En 2 MW växlare kostar cirka 800.000 kronor.

Ekonomi:

Totalinvestering: cirka 800.000 + 4.200.000 =
5.000.000:- (ångpanna med rökgaskondensering)

I bild 9a visas hur pay off-tiden varierar med naturgaspriset, där jämförelsepriset är 21 öre/kWh (pannverkningsgrad 85 % och oljepriset 1.800 kr/m³ E05).

Pay-offtid AR

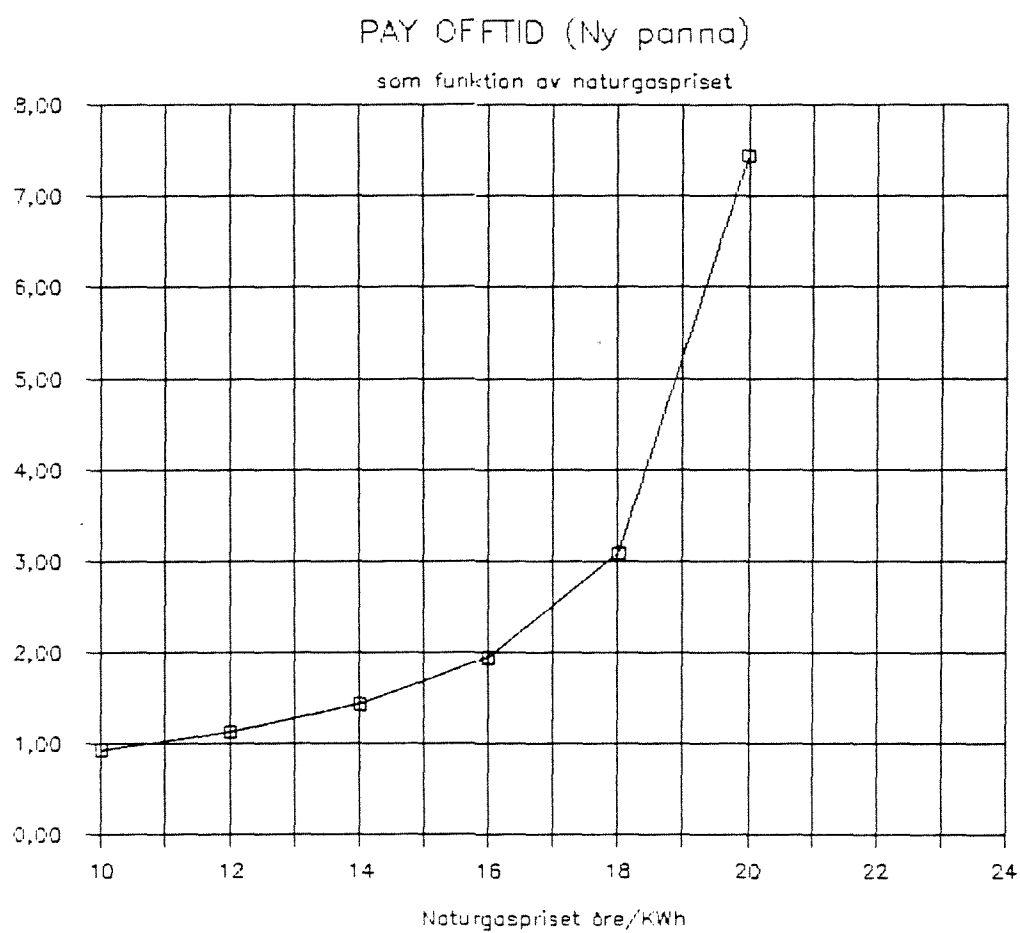


Bild 9.4

10 EGEN ELPRODUKTION

I detta kapitel ges en beskrivning av hur egen el kan genereras. För att detta skall bli ekonomiskt lönsamt måste värmen som bildas vid elgenereringen återvinnas. I slutet av kapitlet visas en ekonomisk kalkyl för en elproducerande gasmotor där el antingen kan levereras internt eller säljas externt. Överskottsvärmen från gasmotorn återvinns med hjälp av luftförvärmare till torktornen.

10.1 Gasmotor - Gasturbin

En ekonomisk jämförelse mellan en gasturbin och en gasmotor i kraftvärmeapplikation i aktuellt effektområde utfaller entydigt till gasmotorns fördel. Anskaffningskostnaden är lägre för en komplett gasmotoranläggning med värmeåtervinning än för motsvarande gasturbinanläggning. Detta sammantaget med gasmotorns högre el- och totalverkningsgrad medför att gasmotorn är det alternativ som bör särstuderas i applikationen kraftvärme i ministorlek. Nedan visas kostnaden per installerad kW el för en gasmotor respektive gasturbin.

Geneffekt gasturbin kW	Värmeeffekt gasturbin kW	Geneffekt gasmotor kW	Värmeeffekt gasmotor kW	Kostnad gasturbin kr/kW _{el}	Kostnad gasmotor kr/kW _{el}
260	900	240	344	13.000	5.700
450	1 520	480	695	9.300	4.300
750	2 260	837	1 272	8.600	5.900*
1 150	3 000	1 265	1 908	6.600	5.300*

* Dessa priser avser 2-taktare, de övriga avser 4-taktare.

I storlekar mellan 2 och 4 MW är gasturbiner och gasmotorer relativt likvärdiga, och i effekter större än cirka 4 MW förefaller gasturbiner vara det lönsammaste alternativet.

10.2 Slutsats

I effektområdet under 1 MW (el) är en gasmotor med värmeåtervinning det tekniskt och ekonomiskt bästa alternativet.

10.3 Generellt om gasmotorer

Gasmotorer för stationär drift av en generator kan även leverera värme från motorns smörjoljekylare, manatelkylare och luftkylare (vid turbo-överladdade motorer) samt ur motorns avgaser.

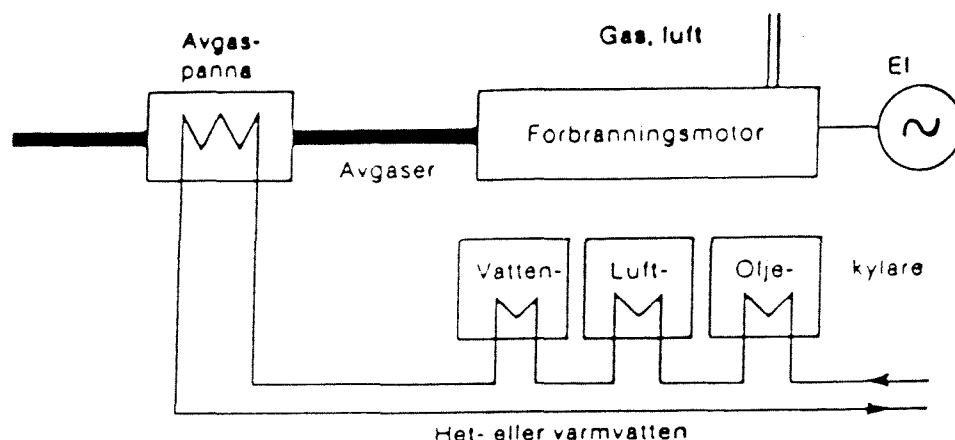


Bild 10.3 Principskiss gasmotor med värmeupptagning
(Gas engine: exchange of heat)

Det finns två huvudtyper av naturgasdrivna motorer, lågtrycksmotorer och högtrycksmotorer.

Lågtrycksteknik innebär att gasen blandas in i förbränningsluften före eller efter turboladdaren vid ett tryck av cirka 0,2 bar respektive 2 bar. För antändning av luft- och gasblandningen erfordras olja som pilotbränsle och andelen olja uppgår energimässigt till cirka 5 % (vid fullast).

Med lågtrycksteknik blir maximalt effektuttag från en given motor cirka 10-20 % lägre än vid dieseldrift. Lågtryckstekniken är mer en ottoprocess än en dieselprocess, på grund av att naturgasen redan har blandats med förbränningsluften innan antändningen sker.

Högtrycksteknik innebär att naturgasen komprimeras till cirka 250 bar innan den förbränns. När naturgas komprimeras till 250 bar får den samma energidensitet som dieselolja, vilket innebär att naturgasen kan sprutas in till förbränningsrummet på samma sätt som i en dieseldriven motor. Förbränningsluften tillförs även den på samma sätt som i en oljedriven dieselmotor, det vill säga den leds in i förbränningsutrymmet där den blandas med bränslet. Även vid denna teknik används pilotbränsle för att tända naturgasen. Pilotbränslet medverkar även till att ett mjukare förbränningsförlopp erhålls.

Högtryckstekniken har följande fördelar jämfört med lågtryckstekniken:

- Max uteffekt är lika stor med naturgas som med olja som bränsle.
- Möjlighet att växla bränsle- och inblandningsförhållande valfritt under drift. (Det går att driva motorn med 100 % olja).

Nackdelar med högtrycksteknik:

- Kräver ett avancerat säkerhets- och styrsystem.
- Lägre verkningsgrad på grund av att kompressionen av naturgasen kräver energi. Anslutes motorn till en gasledning med ett tryck understigande cirka 4 bar, åtgår en energimängd till kompressionen som motsvarar cirka 5 % av avgiven eleffekt från generatoren.

10.4 Ekonomiska aspekter vid egenproduktion av el

Den ekonomiska kalkylen (bild 10.4a) för en naturgasdriven motor har utförts med följande förutsättningar:

Investeringskostnad: 4.000.000:-

I detta pris ingår en elgenerator på 800 kW, naturgasdriven motor, synkroniseringsutrustning, ljuddämpare, värmeväxlare och en luft-rökgasvärmeväxlare.

Elverkningsgrad	38 %
Värmeverkningsgrad	50 %
Drifttid	5 000 h

Skattereduktion för den andel av naturgasen som genererar el.

Beräknat naturgaspris: 308 kr/1 000 m³.

Priset på värmen sätts lika med driftkostnaden (rörliga kostnaden) för en naturgaseldad värmepanna med pannverkningsgrad på 90 %.

Bild 10.4a visar hur pay off-tiden kommer att variera med naturgaspriset och elpriset.

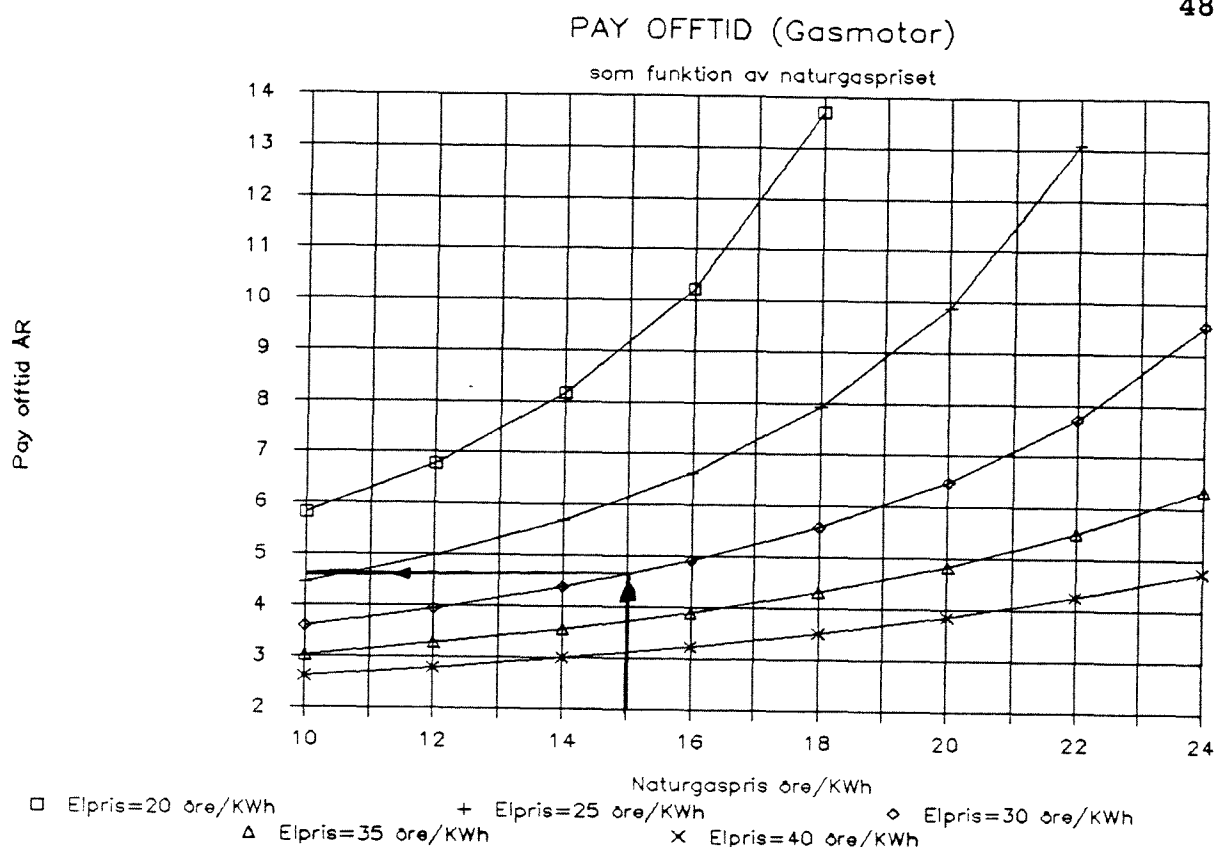


Bild 10.4a Pay off-tiden för en naturgasdriven motor.

Med ett naturgaspris på 15 öre/kWh och ett elpris på cirka 30 öre/kWh, erhålls en pay off-tid på 4,5 år. Detta motsvarar en driftvinst på cirka 900.000 kr/år.

10.5 Miljöaspekter vid naturgasdrivna motorer

Dagens stationära motorer optimeras för verkningsgrad och effekt, vilket innebär höga tryck och höga förbränningstemperaturer. Dessa faktorer ökar bildningen av NO_x , vilket är huvudproblemet för naturgasdrivna stationära motorer. Övriga emissioner är försumbara. En stationär naturgasdriven motor med en generatoreffekt på 800 kW släpper ut cirka 50-100 mg NO_x och 50-60 CO_2 per MJ bränsle. Det finns en rad olika metoder för rening av NO_x . Lean burn-tekniken är den mest lämpade tekniken för en naturgasdriven motor i den storlek som är aktuell i detta fall.

Lean burn innebär att en mikrodator styr förbränningsprocessen så att förbränningsluften minimeras. Lean burn ger ett utsläpp på cirka 10 mg NO_x per MJ bränsle. Utrustningen ökar kostnaderna med cirka 10 % för motorer i storlekar mellan 500 och 1000 kW.

11 REFERENSER

- Ref 1 "Combined generation of electricity and heat in the dairy industry"
Netherlands institute of dairy research
L.A Jansen 1981

Beskriver den teknik som är lämplig vid el-generering och samtidig uppvärmning av luft till sprytorn.

- Ref 2 "Conference on Energy in the Dairy Industry"
Dublin 1979

Ett flertal föredragssammanställningar.
Behandlar bland annat samma teknik som Ref 1.

- Ref 3 "Kombinerad småskalig kraft- och värmeproduktion med naturgas som bränsle"
SwedeGas 1988

Beskriver kostnader och allmän gasmotorteknik.

- Ref 4 "Dairy factory engineering services"
New Zealand Dairy Research Inst.
Vickers

Beskriver värmning av luft till torktorn med ånga som medium.
Referenser FSTA 78022452

- Ref 5 "Industriell naturgasteknik"
STU-702-1988

Miljöaspekter vid naturgasförbränning, ångproduktion, direkt- och indirekttorkning.

- Ref 6 "Direkttorkning med naturgas av foder och livsmedel"
Lunds Tekniska Högskola - 1986

Behandlar myndigheters syn på direkttorkning, i Sverige och internationellt.

- Ref 7 "Livsmedelsbranschens yrkesnämnd"
1981 - kursmaterial för utbildning inom mejeriyrket

Beskriver mjölkens väg genom ett mejeri med dess olika processer och temperaturförlopp.

- Ref 8 "Compression application in the dairy industry"
Symposium York 1984-09-25
J.J. Tuzon, Gas Research Inst.
- Ref 9 "Kraftproduktion med naturgas"
Vattenfall 1988
- Ref 10 Värmeforsk rapport nr 220
Utvecklingslinjer inom den tillämpade
naturgasforskningen (1986)
- Ref 11 Värmeforsk rapport nr 236
Naturgasbaserade kraftvärmeverk för fjärr-
värmeproduktion - tekniska och ekonomiska
aspekter (1986)
- Ref 12 BFR R83:1988
Installationsteknik för naturgas
- Ref 13 Mejerihandboken
Alfa Laval
- Ref 14 Deutsche Milchwirtschaft 1981:17p (610-612)
"New concept of energy technology"
Hullman/Hacer
Referensnr FSTA 82016220
- Ref 15 Naturgas, Hälsa, Miljö
Vattenfall 1984
- Övrigt Prisuppgifter, data etc för den nya utrust-
ning som kalkylerats med är hämtade från
nyckeltal (ÅF-Energikonsult) och offerter/
muntliga uppgifter från tillverkare.

SAMMANSTÄLLNING AV EMISSIONSMINSKNING AV SKADLIGA
ÄMNEN VID ÖVERGÅNG FRÅN OLJA TILL NATURGAS (per år)

(Samma förutsättningar som för tabell 8.3c).

	Indunstare n = 100 %	Valstorkar n = 98 %	Diskcentral n = 100 %	Mejeriet n = 103 %	Torktorn m = 103 %
CO ₂	ca 30 ton	ca 25 ton	ca 5 ton	ca 60 ton	ca 70 ton
NO _x	ca 600 kg	ca 500 kg	ca 100 kg	ca 1200 kg	ca 1300 kg
Stoft	15 kg	12 kg	2,4 kg	15 kg	33 kg
Svavel	3600 kg	2894 kg	580 kg	7477 kg	7960 kg
Arsenik	30 g	24 g	4,8 g	62 g	67 g
Beryllium	3 g	2,4 g	0,5 g	6,2 g	6,7 g
Kadmium	10,6 g	8,5 g	1,7 g	22 g	23 g
Kobolt	166 g	133 g	27 g	344 g	366 g
Krom	181 g	14,1 g	2,9 g	37,4 g	40 g
Koppar	129 g	103 g	21 g	266 g	283 g
Kvicksilver	0,9 g	0,7 g	0,1 g	1,9 g	2,0 g
Mangan	7,6 g	6,0 g	1,2 g	15,6 g	16,6 g
Nickel	6048 g	4800 g	970 g	12500 g	13300 g
Bly	378 g	302 g	60 g	781 g	832 g
Selen	3,78 g	30 g	6,0 g	7,8 g	83 g
Vanadin	20000 g	16000 g	3000 g	41000 g	43000 g
Zink	300 g	240 g	48 g	620 g	670 g

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Kraftverksföreningens utvecklingsstiftelse, VAST
- Statens Vattenfallsverk
- Studsvik Energiteknik AB
- Svenska Cellulosa- och Pappersbruksföreningen/Ångpanneföreningen
- Svenska Gasföreningen
- Svenska Värmeverksföreningen
- Tillverkande Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR), Statens Energiverk och Styrelsen för Teknisk Utveckling.