

Maskin- provningarna

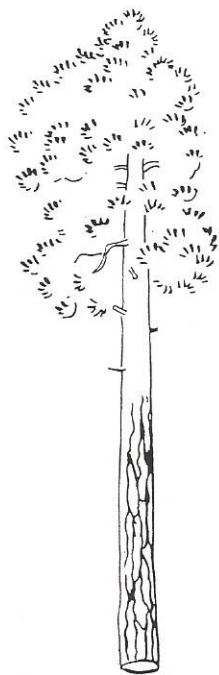
Meddelande 3378

Grupp 6

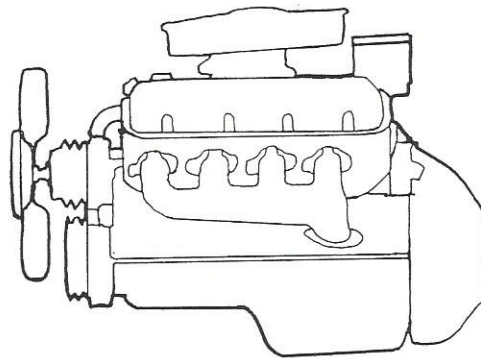
Minikraftvärmeverk

med

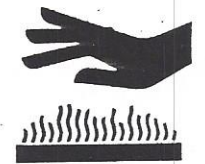
gengasdriven förbränningsmotor



+



=



kWh



Obs!

Beställare av provning får ordagrant återge provningsresultaten i dess helhet eller endast sammanfattningen. Annan form av återgivning får ske endast med Maskinprovningarnas medgivande.

Minikraftvärmeverk med gengasdriven förbränningsmotor

Ökat intresse för småskalig kraftvärmeproduktion

Med förväntade framtida högre elpriser och skatter på fossila bränslen kan en marknad för småskaliga biobränslebaserade anläggningar för el- och värmeproduktion väntas uppkomma. I första hand skulle sådana anläggningar kunna vara intressanta för verksamheter med stort el- och värmebehov och där brännbart avfall genereras. Exempel på sådana verksamheter är växt- och snickerifabriker, sågverk och lantbruk.

Den här typen av småskalig kraftvärmeproduktion med gengasdriven förbränningsmotor bedöms så intressant att forskningsprojekt genomförts på uppdrag av NUTEK (Närings- och Teknikutvecklingsverket).

I ett samarbetsprojekt som finansierats av NUTEK och med deltagande av Centralvärmeproduktion AB (CP), Örnsköldsvik, Statens maskinprovningar (SMP), Umeå

och Tekniska Högskolan avd. Energiteknik i Luleå har bl a gjorts undersökningar om avgasemissioner, eliminering av kondensat och marknadsförutsättningar. Resultatet från dessa undersökningar har sammanställt i en rapport "Förstudie för minikraftverk med gengasdriven förbränningsmotor" av Björn Kjellström, Tekniska Högskolan avd. Energiteknik, Luleå. Någon komplett anläggning finns vad vi vet f n inte i drift, åtminstone ej med statlig finansiering.

I det här meddelandet vill vi redovisa data för denna typ av anläggning så långt man har kunskap utan att ha resultat från en komplett anläggning i drift. Uppgifterna kommer framför allt från de erfarenheter som erhållits i ovannämnda forskning. Den typ av anläggning som redovisas här byggs bl a på den teknik som finns utvecklad för fordonsdrift och som har sitt ursprung i krigsårens avsaknad av flytande drivmedel.

Funktionen hos anläggningen är i princip följande:

Bränslet (vedflisen) leds från flisbehållaren till gasgeneratorn. I denna sker en förbränning vid luftunderskott som gör att brännbara gaser, gengas, bildas. Dessa leds vidare till gasrenaren, kylaren och blandaren där luft tillförs. Gasblandningen är explosiv och leds omedelbart in i motorn där den förbränns. Motorn driver en elgenerator som avger elenergi ut på nätet.

Den värme som frigörs vid kylning av gengasen, förbränningsmotorn och avgaserna utnyttjas för uppvärmningsändamål. Här nedan går vi igenom systemets ingående delar något mer i detalj.

Den anläggning vi beskriver är dimensionerad för en motor på ca 40 kW axeleffekt vid gengaskötning.

Flisbehållaren

Lufttillförseln till gengasverket måste ske den rätta vägen genom primärluftintagen. Då systemet arbetar med undertryck måste man göra flisbehållaren lufttät eller ordna med luftsluss annars kommer luft att ledas in genom flisen, vilket påverkar förbränningen i gasgeneratorn negativt. Från flisbehållaren (containern) matas flisen till gengasverket, t ex med en skruv.

Förbrukningen av flis är 40-50 kg per timme eller ca 250 liter per timme. Vill man köra ett helt dygn i sträck måste man alltså ha en behållare på minst 6 m³.

Gengasgeneratorn

Gengas, som är en förkortning av generatorgas, bildas genom ofullständig förbränning av fasta bränslen i en gasgenerator. Om man använder ved som bränsle kan man även tala om vedgas.

Till skillnad mot förbränning i allmänhet, som äger rum vid luftöverskott, alstras gengasen vid luftunderskott. Man får därigenom en förgasning av bränslet utan åtföljande förbränning av den bildade gasen.

Bild 3 visar hur gengasen bildas i ett aggregat som arbetar enligt principen nedan. Åtrikad förbränning, s k nedströmsgenerator.

Torkning och kolning

Luften tillförs generatorn genom munstycken, innanför vilka förbränningszonen bildas. Värmen härifrån torkar och kolar ovanför liggande bränsle, som sakta sjunker ner genom bränslemanteln nedersta del. En stor del av vattnet som finns i flisen kommer därigenom att förångas uppåt mellan bränslemanteln ut-

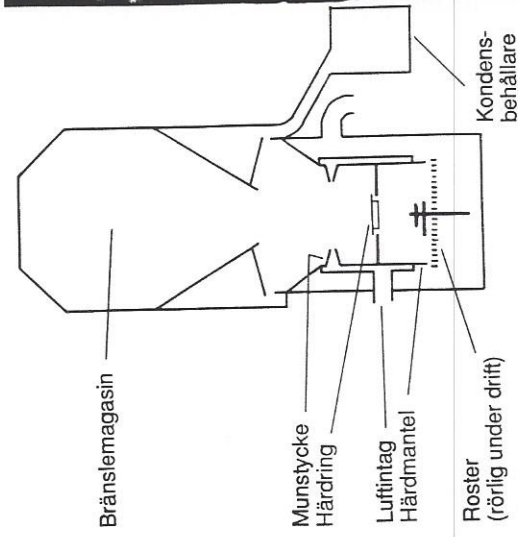


Bild 3. Principskiss och bild av gengasgeneratorn.

Anläggningens uppbyggnad och funktion

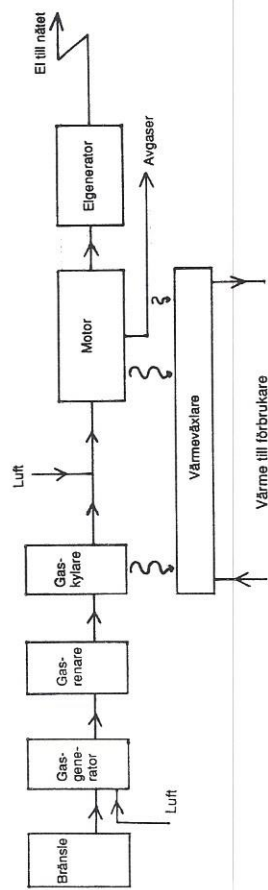
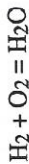
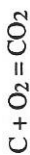


Bild 2. Principschema för ett minikraftvärmeverk med gengas och förbränningsmotor.

sida och bränslebehållarens insida, där en kondensering sker.

Förbränning

För förbränningen gäller följande reaktionsformler:



Reduktion

Under förbränningszonen och härdningen finns reduktionszonen, som består av små glödande kolbitar. Då gasen passerar detta kollager förenas den med kolen och det sker i stort sett följande reduktion:

Koldioxiden (CO_2) reduceras till kolmonoxid (CO), och tillsammans med vattenånga (H_2O) till kolmonoxid (CO) och vätegas (H_2).

När gengasen kommer ut från gengasverket innehåller den även vattenånga (ca 5-10 %). Stora variationer kan förekomma beroende på vedens fukthalt. Största delen av vattnet kondenseras bort i kylaren. Den gas som bildas har normalt ett energinnehåll på $5,0 - 5,8 \text{ MJ/Nm}^3$. ($\text{Nm}^3 = \text{normal-kubikmeter} = \text{en kubikmeter gas vid normalt lufttryck och } 10^\circ\text{C}$) och har nedanstående sammansättning i volymprocent.

Gasrenare

Gasen måste befrias från sotpartiklar annars sker ett onormalt slitage i motorn. Det kan vara lämpligt att gasreningen sker i steg.

Gengasens sammansättning, volymprocent

Brännbara ämnen	Koloxid Vätgas Metan Tunga kolväten	CO H ₂ CH ₄ C _n H _m	16 - 20 14 - 18 2 - 3 0,2 - 0,4
Icke brännbara ämnen	Koldioxid Kväve Vattenånga	CO ₂ N ₂ H ₂ O	10 - 15 40 - 45 5 - 10

I en enkel cyklonrenare kan mer än hälften av sotet frånskiljas. En cyklonrenare är helt enkelt en cylindrisk behållare genom vilken gasen passerar under rotationsrörelse och där framförallt stora och tunga partiklar genom centrifugalverkan faller ut. För slutrening finns flera alternativ: dukrenare, skrubber, elektrofilter. En mycket enkel gasrenare kan utgöras av en låda med sågspån eller träull. I en s k skrubber sker gasrening med hjälp av vatten.

Om man har dukrenare måste denna isoleras. Kylning orsakar nämligen att vatten, tjära m m som finns i gasen kondenseras och sätter igen filtret. I en anläggning för kontinuerlig drift måste man också finna en lösning på hur dukrenaren ska rensas från sotet. Efterhand kommer renaren annars att sättas igen, sugmotståndet ökar och motorn tappar effekt.

Gaskylare

Då gasen lämnar renaren har den hög temperatur och därmed låg volymvikt. I gaskylaren sänks temperaturen på gasen för att man skall få en bättre fylnadsgrad i motorn med högre motoreffekt som följd. Den varma gasen innehåller en viss mängd vattenånga, fenoler, träsyror och tjära, vilka övergår till vätskeform då gasen kyles ned. Gaskylaren måste därför vara konstruerad så att kondensatet kan avtappas under eller efter körningen. Dessutom bör kylaren vara så konstruerad att den lätt kan göras ren invändigt.

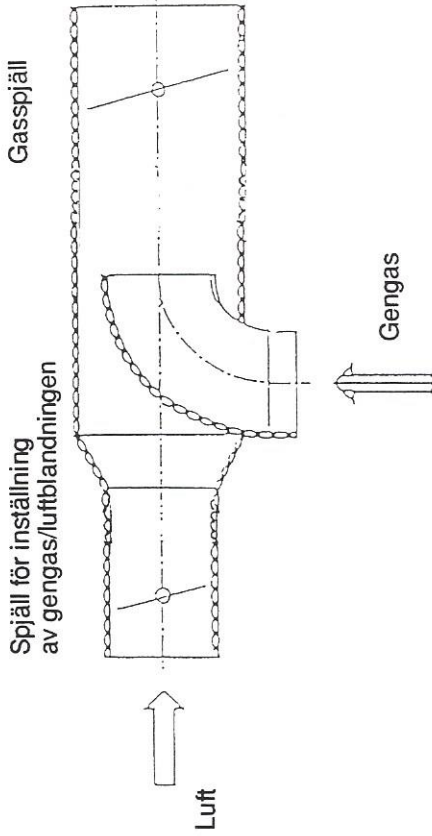


Bild 4. Gasblandare.

Gasblandare

För att gengasen skall kunna förbrännas i motorns cylindrar måste en viss mängd luft (sekundärluft) tillsättas. Detta sker i gasblandaren, som monteras i anslutning till motorns insugningsrör. Regleringen av blandningsförhållandet mellan gengas och luft kan skötas manuellt eller automatiskt med speciella blandare.

De senare kan dock bli mycket komplicerade och kostsamma om funktionen skall bli god. Bild 4 visar principen för en enkel typ av gasblandare.

Motorn

Motorer, som förutom elektriskt tändsystem är försedda med förgasare eller direktinsprutning (Otto-motorer) kan i allmänhet ändras till full gengasdrift utan större ingrepp. Ändringarna beror vanligtvis bränslesystem, inloppsrör, tändinställning och tändstift.

Motorns förgasare ersätts av eller kompletteras med gasblandaren. De flesta förgasarmotorer är byggda så att bränsle-luftblandningen förvärms innan den sugs in i motorn. Vid gengasdrift försämrar förvärmningen motorns fylnadsgrad och skall därför ställas in på lägsta förvärmning. Gasens relativt låga förbränningsshastighet kan medföra att man måste ställa

tändningen tidigare för att uppnå bästa motoreffekt.

Eftersom förbränningstemperaturen i reugel ökar vid övergång till gengasdrift kan det i vissa fall bli aktuellt att använda tändstift med högre värmemetall ("kallare" tändstift) än vid drift med flytande bränsle. Har motorn insprutningsystem skall detta sättas ur funktion.

Gengasen har god knockningsbeständighet och ett oktantal som ligger omkring 100 för vedgas. Man kan därför få störningsfri förbränning vid kompressionsförhållanden upp till omkring 10:1. Avvikelser härifrån kan dock förekomma på grund av motorns konstruktion.

Vid gengasdrift får man betydligt lägre effekt från motorn än när man kör på flytande drivmedel (bensin). Detta beror bl a på att gasen har lågt värmevärde, ökat sugmotstånd för gas-luftblandningen och att varvtalet blir lägre. Man kan räkna med att för att få ut 40 kW axeleffekt vid 2000 r/min behövs en motor på ca 6 liter cylindervolyum.

Elgeneratorn

Denna kan vid trefasssystem vara en asynkron- eller synkrongenerator. Båda kan anslutas till ett trefasnät. Man är i båda fallen hänvisad till varvtalsområdena ca 1500 eller ca 3000 r/min. För synkronmaskinen

Mätvärdet som bör kunna avläsas är:

Temperatur: - gasgenerator
- utgående gas
- skrubbevatten
- kylvatten motor
- motorolja

Tryck: - motorolja
- gas efter gasgenerator

Levererad eleffekt

Levererad värmeeffekt

Dessutom bör larm finnas för:

- Kolmonoxid
- Bränslebrist
- Hög respektive låg vattennivå i skrubbern
- Hög temperatur hos gas efter generator
- Hög motortemperatur
- Lågt oljetryck i motor
- Hög temperatur i elgenerator

gäller exakt dessa varvtal. Asynkronmaskinen går som generator vid ca 1600 resp 3200 r/min.

Den i särklass enklaste lösningen är direkt drift mot nätet vid ca 1600 r/min av en asynkrongenerator ansluten till nätet. Man får då acceptera en något lägre effekt eftersom de flesta förbränningsmotorer vid gengasdrift har sin högsta effekt vid 2000-2500 r/min. Å andra sidan kan man räkna med större livslängd på motorn.

3000 eller 3200 r/min är i allmänhet för högt varvtal för motorn. Skall man alltså köra vid maxeffektvarvtal måste man komplettera med ned- eller uppväxling till 1500-1600 eller 3000-3200 r/min.

Synkrongenerator

- Har högre kostnad.
- Kan väljas för exakt 1500 eller 3000 r/min.
- Kan köras mot ett befintligt 3-fasnät.
- Kan också köras som ett separat isolerat 3-fasnät men kräver då noggrann varvtalsreglering för motorn.

Asynkrongenerator

- Finns för ca 1600 eller 3200 r/min.
- Måste köras mot ett befintligt nät. (Eventuellt kan man i ett isolerat system anordna ett skonsigt 3-fas-system. Ställer då krav på varvtalsreglering på motorn).
- Är lätt att fasa in mot nätet.

Styrning och övervakning

Eftersom anläggningen avses att gå obemannad måste den förses med utrustning för automatisk styrning och övervakning, fjärrövervakning eller en kombination av båda.

Man kan lämpligen använda en dator för styrning och övervakningsfunktioner. Vid allvariga fel stoppas anläggningen.

Endast 20 % av flisens energi blir el-energi

Av flisens energi blir största delen värmeeffekt. Fördelningen i procent framgår av nedanstående schema som får ses som ett exempel. Här har bortsett från värmeeffekt från gasgenerator, rörfledningar och motorns utsidor.

Värmeeffektiviteten som ändå uppstår ger uppvärmning av omgivningsluften. I ett slutet utrymme ger detta uppvärmning av primärluften och en återföring av energi till gasgeneratorm.

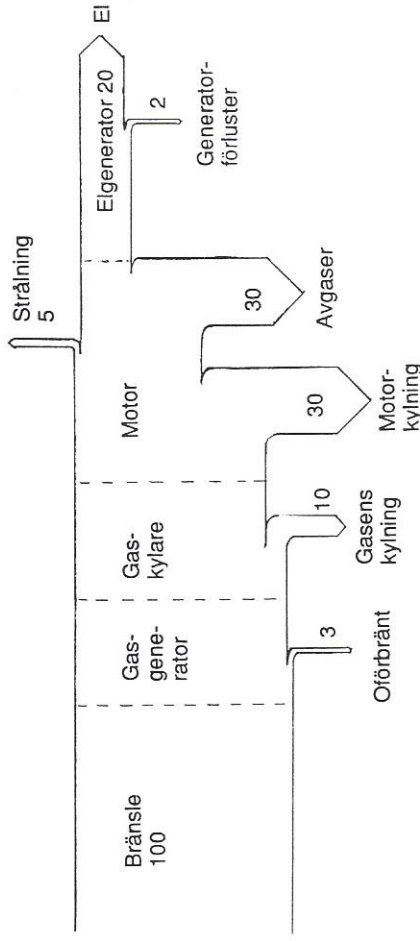


Bild 5. Energiflödet i ett minikraftvärmeverk.

Som framgår av schemat avger anläggningen värme i huvudsak på tre ställen:

- gengasens kylning
 - motorns kylning
 - kylning av avgaserna
- I samtliga fall kan värmen överföras till vatten via värmväxlare. Om dessa sitter i serie och man räknar med att returvattnet har temperaturen 72°C betyder det i praktiken att gengasen inte kan kylas mer än ned till ca 80°C. Om man dessutom räknar med att vattnet vid utgången ur systemet får ha

en temperatur på högst 95°C fördelar sig uppvärmningen av vattnet på det sätt som visas i bild 6.

Eftersom endast en mindre del av flisens energi blir elenergi är en förutsättning för lönsamhet att man kan utnyttja största möjliga del av värmen. Sågverk, snickerier, växthusanläggningar och grupper av småhus bör därför vara intressanta. För de två förstnämnda kan det vara speciellt gynnsamt om bränsle (träflis) finns som en över-skottsvara.

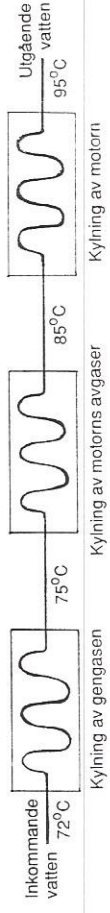


Bild 6. Fördelning av vattnets uppvärmning.

Skötsel vid kontinuerlig drift

Följande moment ingår normalt i ett skötselprogram:

- Påfyllning av bränsle
 - Uraskning
 - Rensning av filter (borttagande av sot)
 - Tömning av kondens (tjära och vatten)
- Dessa moment sker dagligen eller flera gånger per dag och bränslepåfyllning ca en gång per timme för gengassystem avsedda för fordonsdrift. I stationära anläggningar för kontinuerlig drift måste man rimligen på ett eller annat sätt öka drifttiden mellan skötsel tillfällen. Det skulle kunna ske genom att man automatiserar bränsleinmatning och utmatning av aska, sot och kondens. Beträffande bränsle, aska och kondens skulle detta kunna ske med skruvmatning. Sotet kan vara svårare att få bort åtminstone om man använder dukrenare. Någon annan typ av rening exempelvis skrubber bör bli aktuell i ett gengassystem avsett för kontinuerlig drift.

Gengas är livsfarlig att inandas

Den säkerhetsrisk som finns i gengasläggningar måste tas på allvar. Gengas är mycket giftig gas. Några djupa andetag med gengas medför döden.

För att minska riskerna har vi valt ett system som under drift baserar sig på undertryck. Gasen sugts till motorn från gengasverket och som en följd av sugmoistånd i luftintag, över reduktionszon och via ledningar, filter etc uppstår ett undertryck i hela systemet.

Detta innebär att vid en eventuell läcka i systemet tränger ingen gengas ut. I stället sugs luft in genom olåtheterna. Det är endast i samband med start (uppläkning), eller i samband med att motorn stoppas vid fel eller avslutat körpass, som gengasutsläpp kan ske. Om systemet är inrymt i någon form av byggnad är det därför ytterst viktigt med lämpliga säkerhetsarrangemang, t ex att "skorstenen" för uppläk-

ning mynnar utanför byggnaden och att god ventilation säkerställs vid skötsel, reparation o d. Det är ett måste att fungerande gasvarnare finns och används.

Även när man har ett system med undertryck är det mycket viktigt att systemet är lufttätt. Följerna kan bli katastrofala om luft kommer in i gengassystemet. Uppstår en läcka omedelbart efter gasgeneratorn där gengasen är het sker förbränning med ytterligare temperaturstegring och risk att anläggningen bränns sönder. Sker läckaget när gasen är svalare sker ingen förbränning. I stället har man fått en mer eller mindre explosiv gasblandning. Vid stora luftläckage långt före motorn finns en stor mängd explosiv gasblandning som vid minsta gnista, t ex baktändning i motorn, kan vålla en svår olycka. Det är av denna anledning också viktigt att gasblandaren sätter omedelbart in till motorn.

Buller

Detta kommer från förbränningsmotorn i systemet. I en stationär anläggning bör det vara relativt enkelt att ordna med extra ljuddämpare och bullerisolering för att komma ner under erforderliga gränsvärden.

Avgasemissioner

Vid mätningar på en gengasdriven motor uppmättes i genomsnitt bl a följande emissioner i avgaserna:

ppm = part per million (miljondelar)

THC (kolväten)	400 ppm
NO _x (kväveoxider)	550 ppm eller ca 300 mg per MJ tillfört bränsle

För NO_x finns ett riktvärde på 200 mg per MJ tillfört bränsle. Detta riktvärde överskrids alltså betydligt men det bör vara möjligt att med olika åtgärder få ner nivåerna till acceptabla värden.

Innan man bygger en sådan här anläggning skall givetvis kommunens Bygg- och Miljönämnd kontaktas för bygglov. I samband därmed avgörs slutgiltigt vilka gränsvärden som gäller.

Det ekonomiska utbytet kommer att bli starkt beroende av förhållandena vid den enskilda anläggningen. Priset för bränslet, priset på inköpt el och värme, kostnader för skötsel och underhåll, anläggningskostnad m m kan bli mycket olika från fall till fall.

Den kalkyl som redovisas här får därför snarast ses som ett räkneexempel där man utgått från en anläggning på 50 kW el som drivs 4000 timmar/år:

Anläggningskostnad 1 000 000:-
Investeringsbidrag 200 000:-

Med 15 % ränta blir kapitalkostnaden 120 000:-/år.

Räknat på det tillförda bränslets energi 1 000 000 kWh blir kapitalkostnaden 12 öre/kWh. Dessutom tillkommer bränsle-kostnaden, säg 12 öre/kWh, samt kostnad för drift och underhåll som kan sättas till 5 öre/kWh. Då blir totalkostnaden 29 öre per kWh. Med en verkningsgrad på 75 % blir priset på utvunnen energi 39 öre/kWh. Ovanstående resonemang bygger på att anläggningen körs så mycket som 4000 timmar/år. Motsvarande uträkningar för några olika drifttider ger följande tabell där i övrigt räknats med samma förutsättningar.

Drifttid timmar/år	öre/kWh (utvunnen energi)
1000	87
2000	55
3000	44
4000	39
6000	33

Detta skall jämföras med det pris man får betala för energi som man köper eller framställer i andra alternativa anläggningar.

Aska, sot och kondens

Vid mätningar som gjordes i samband med de som redovisats ovan för avgasemissioner konstaterades att per kWh producerad axelenergi erhöles 50 g aska, 15 g sot och 180 g kondensat. Om man räknar med en anläggning för 40 kW axeleffekt (36 kW el) skulle det innebära att man under en 8-timmars körning producerar 16 kg aska, 4,8 kg sot och 57,6 kg kondens. Askan och sotet kan deponeras på en vanlig sopstation. Kondensatet däremot som bl a innehåller fenoler och olika träsyror måste deponeras eller tas om hand på särskilda stationer. Eftersom det är fråga om stora mängder kommer kostnaden för kondenssahanteringen att bli betydande. Det är därför viktigt att hitta alternativa lösningar på problemet.

På gränsen till lönsamhet

Huruvida ett kraftvärmeverk av ovan beskrivet slag kan bli lönsamt går f n inte att ge ett entydigt svar på. Det finns alltför många osäkra faktorer. Bl a är investeringskostnaden svår att beräkna då det i dag inte finns några serietillverkade anläggningar att tillgå. Den största osäkerheten gäller det framtida priset på el och annan energi, bidrag, skatter etc. Lönsamheten kan ligga i att man med en egen produktionsanläggning sänker sina elräkningar under de tider på året och dygnet när energin är dyr och man samtidigt behöver stora värmemängder. Lönsamhet fordrar dessutom att skötselkostnaderna blir låga. Behöver man heltidsanställa personal enkelt för skötsel av en sådan här småskalig anläggning kan den inte bli lönsam. I kalkyler räknar man med att det åtgår 0,1 arbetskostnaden per driftstomme för skötsel.

Här nedan ställs samman några villkor för att en anläggning ska bli lönsam:

- Stort behov av värme och el under vintertidgar när elpriset är som högst.
- Tillgång till billig vedråvara.
- Tillgång till ej heltidsanställd arbetskraft för skötsel och underhåll.

Mer forskning behövs

För att få fram en anläggning som svarar mot krav på funktion, avgasemission, ekonomi etc finns ett stort behov av forskning och utveckling. Det fortsatta arbetet bör ta sikte på bl a följande:

- Minskning av kondensatmängderna (t ex med recirkulation)
- Minskning av emissioner av kolväten och kväveoxider
- Utveckling av gasreningssanordningar (t ex skrubber)
- Automatisering av bränsleinmatning och utmatning av aska, sot och kondens

Tills mer kunskaper erhållits är de intresserade hänvisade till befintlig teknik. Vi står gärna till tjänst med information angående gengastekniken.

Umeå 1993-05-15
STATENS MASKINPROVNINGAR

Provningsmeddelanden beställs från
Statens maskinprovningar
Box 7035, 750 07 Uppsala
tel 018-30 19 00, fax 018-30 95 89.

Våra utvecklingsvägar

För att möta de krav våra kunder och EES-avtalet ställer arbetar vi från den 1 juli 1993 efter TRE UTVECKLINGSVÄGAR:

Besiktning

Vi besiktigar bl a traktorer, motorredskap, tillsatsutrustningar och lyftinrättningar efter föreskrifter från arbetarskyddsstyrelsen och vägverket.

Certifiering

Vi certifierar produkter åt svenska och utländska tillverkare. Vårt EURO TEST CERTIFICATE accepteras i hela Europa och kan vara nyckeln till framgång på EG-marknaden.

Provning

Vi provar maskiner för tillverkare, köpare och användare. Resultat från officiella provningar publiceras alltid i vår meddelandeserie. Konfidentiella provningar rapporteras till uppdragsgivarna.



Expedition: 750 07 Uppsala
Provningsanläggningar:

230 53 Alnarp
040-46 44 20

750 07 Uppsala
018-30 19 00

904 03 Umeå
090-11 83 65

Utkom från trycket 1993-06-11

TRYCKT PÅ TK I UPPSALA AB, 1993