



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R118:1987

Värmeåtervinnings- och rökgasreningsanläggning

**Kondensation av rökgaser i
kombination med värmepump**

Förstudie

Karin Sjöbris

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Sjv

K/O
[Signature]

Byggeforskningsrådet

R118:1987

VÄRMEÅTERVINNING- OCH RÖKGASRENINGSANLÄGGNING

Kondensation av rökgaser i kombination
med värmepump

Förstudie

Karin Sjöbris

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870186-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Ekoteknik AB,
Göteborg.

VA NYTT

41490

REFERAT

Syftet med denna förstudie har varit att visa på en ny typ av kombinerad rökgasrenings- och värmeåtervinningsanläggning som utvecklats och uppförts i Danmark.

Metoden bygger på att man kondenserar rökgasernas innehåll av vattenånga. Därvid återvinns det mesta av värmen i rökgaserna samtidigt som ett kondensat bildas. Detta kondensat används sedan som tvättvatten vid tvättning av rökgaserna. Tvättningen sker i en skrubber.

Om man ansluter en värmepump till systemet kan tvättvattnets temperatur sänkas ytterligare, vilket medför en ökad värmeåtervinning och en effektivare rökgasrening med avseende på svaveldioxid.

Som neutraliseringsmedel i rökgasreningsprocessen används ammoniak. Därvid erhålls ett växtgödningsmedel som restprodukt.

Rökgasreningsmetoden ger en svavelreduktion på över 90% samtidigt som värmeproduktionsanläggningens direktverkningsgrad ökar med drygt 10%.

Under projektets gång har en studieresa till den ena av Danmarks två fullskaleanläggningar gjorts. Vid besöket gavs tillfälle att se anläggningen i drift samt att diskutera vunna erfarenheter.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R118:1987

ISBN 91-540-4836-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	FÖRORD	2
1	ORIENTERING	3
1.2	Rökgasrening och värmeåtervinning genom rök-gaskondensering	3
1.2.1	För-kylning	4
1.2.2	Slut-kylning och kondensering	4
2	TEKNIK	6
2.1	Systemlösning	6
2.2	Rök-gastemperaturer och vattentemperaturer	7
2.3	Kemisk process	8
3	BEFINTLIGA EXPERIMENTBYGGNADSANLÄGGNINGAR I DANMARK	9
3.1	Slagelse	9
3.1.1	Beskrivning av anläggningen i Slagelse Kommunes Central Syd	9
3.1.2	Driftserfarenheter	11
3.1.3	Mätningar och resultat	11
3.2	Viborg	13
3.2.1	Beskrivning av Viborgs nya huvudpanncentral	13
3.2.2	Driftserfarenheter	13
4	AMMONIAKHANTERING	16
5	RESTPRODUKTER	17
5.1	Växtgödningsprodukt	17
5.2	Avloppsvatten	18
6	VAL AV KONSTRUKTIONSMATERIAL	20
6.1	Materialval i det danska systemet	20
7	EKONOMISK KALKYL	21
8	SLUTSATSER	22
	LITTERATUR	23
BILAGA 1	Landbruksministeriets Gödningstilsyn	24

FÖRORD

Syftet med denna förstudie har varit att visa på en ny typ av kombinerad rökgasrenings- och värmeåtervinningsanläggning som utvecklats och uppförts i Danmark.

Metoden bygger på att man kondenserar rökgasernas innehåll av vattenånga. Därvid återvinns det mesta av värmen i rökgaserna samtidigt som ett kondensat bildas. Detta kondensat används sedan som tvättvatten vid tvättning av rökgaserna. Tvättningen sker i en skrubber.

Om man ansluter en värmepump till systemet kan tvättvattnets temperatur sänkas ytterligare, vilket medför en ökad värmeåtervinning och en effektivare rökgasrening med avseende på svaveldioxid.

Som neutraliseringsmedel i rökgasreningsprocessen används ammoniak. Därvid erhålls ett växtgödningsmedel som restprodukt.

Rökgasreningsmetoden ger en svavelreduktion på över 90% samtidigt som värmeproduktionsanläggningens direktverkningsgrad ökar med drygt 10%.

Under projektets gång har en studieresa till den ena av Danmarks två fullskalanläggningar gjorts. Vid besöket gavs tillfälle att se anläggningen i drift samt att diskutera vunna erfarenheter.

1 ORIENTERING

Under senare år har debatten om den ökade miljöförstöringen tagit fart. Orsaken till miljöförstöringen har diskuterats och olika förslag till åtgärder för att minska utsläppen har presenterats.

För att minska utsläppen av svavelföreningar i luften har det föreslagits att förbjuda eldning av olja med större svavelinnehåll än 0,6 viktsprocent från och med 1989. Fram till dess skall en successiv anpassning till de nya kraven ske.

I Danmark där man har liknande krav har man under 1980-talet utvecklat en kombinerad värmeåtervinnings- och rökgasreningsanläggning som bygger på rökgaskondensering för i första hand oljeeldade panncentraler. Rökgasreningsmetoden består i att man genom utnyttjande av billiga kemikalier kraftigt kan reducera svavelutsläppen i luften, samtidigt som man erhåller ett växtgödningsmedel som restprodukt från processen.

1.2 Rökgasrening och värmeåtervinning genom rökgaskondensering

Vid rökgaskondensering kyls rökgaserna ner under daggpunkten, d v s man får en utfällning av rökgasernas vattenånga. Flera fördelar uppnås vid kondensering, såsom en energivinst i form av kondensationsvärme och utfällningar av vissa föroreningar som kan avskiljas och omhändertas.

Rökgaskondensering för värmeåtervinning har tidigare främst utnyttjats utomlands vid naturgaseldning. I Sverige har kondensering börjat tillämpas vid förbränning av fuktiga bränslen, bland annat flis och kommunalt avfall. Metoden kan även tänkas bli utnyttjad även vid oljeeldade anläggningar.

Vanligtvis ligger en pannas verkningsgrad inom området 80-90%. Genom långtgående kylning av rökgaserna och kondensering av fuktigheten i dessa kan verkningsgraden ökas med 10 till 30 %-enheter, berodande bl a på rökgasernas fukthalt. Den på konventionellt sätt definierade pannverkningsgraden kan alltså komma att överstiga 100%.

Hur långt ner man väljer att sänka temperaturen på rökgaserna beror på tillgänglig kylvattentemperatur. Normalt kan man kyla ner mot värmesystemets returtemperatur genom direkt värmeväxling. Vill man kyla längre får man komplettera med en värmepump som sänker rökgas-temperaturen ytterligare och ger en för det aktuella värmedistributionsystemet användbar temperaturnivå.

Rökgaskylningen efter pannan sker lämpligen i två steg om rökgas-temperaturen ligger betydligt över daggpunkten.

1.2.1 För-kyllning

Finns tillgång till relativt kall värmebärare - returvatten med låg temperatur - så kan denna för-kyllning ske med hjälp av konventionell rökgasvärmväxlare - s k avgaspanna.

Om kylningen i detta steg sker så att kondensationsrisk inte föreligger så kan enkla stålmaterial väljas. Är den tillgängliga värmebäraretemperaturen emellertid så låg att kondensation inte med säkerhet kan undvikas så måste mer korrosionsbeständiga material övervägas.

1.2.2 Slut-kyllning och kondensering

För slut-kyllning av rökgaserna och kondensering av fuktigheten användes i princip två metoder, nämligen:

- värmväxlare av typen gas/vatten, placerad i rökgasströmmen
- skrubber i vilken rökgasen tvättas, kyla och fuktmättas genom tillförsel av vatten.

I det förstnämnda fallet kan kylningen ske direkt med värmebäraren om denna har tillräckligt låg temperatur. Om så inte är fallet kan en värmepump kopplas in mellan gaskylaren och värmebäraren. Värmväxlaren måste här givetvis utföras av material, som är korrosionsbeständigt och tål förekommande relativt höga gastemperaturer. Utformningen måste vara sådan att ytorna kan hållas rena under drift och att det förorenade kondensatet kan bortledas. Det är givetvis önskvärt att största möjliga del av föroreningarna i rökgasen - även stoft - avskiljes i samband med att fukten kondenseras ut.

Vid den andra metoden - våtskrubber - sänkes rökgastemperaturen snabbt genom vatteninsprutning och själva skrubberna kan därför utföras i mindre temperaturtåligt material - numera ofta plast. Önskas låg daggpunkt på den utgående gasen och värmeåtervinning, så måste det cirkulerande skrubbevattnet kylas, vanligen direkt med hjälp av en korrosionsbeständig vatten/vatten-värmväxlare och värmepump.

Oavsett vilken metod som används för slut-kyllning av gasen och kondensering av fukten så är den utgående rökgasen mättad med fuktighet vid den aktuella temperaturen - ca 30 à 40 °C. För att undvika korrosion i efterföljande rökgaskanaler och eventuella besvär i närmiljön så kan rökgaserna eftervärmas något före inloppet i skorstenen.

Skrubbernas uppgift är att skapa bästa möjliga kontakt mellan vätskan - vatten - och rökgasen. För att nå god skrubbereffekt krävs att kylvattnet finfördelas i gasströmmen. Detta kan ske genom att man tillför vatten via dysor, använder silbottnar eller fyllkroppsbadde. Kombinationer av nämnda arrangemang förekommer.

Vid rökgasrening med kondensering är inte själva kondenseringen så viktig som det faktum att gasen kommer i god kontakt med vätskan, varvid fasta partiklar avskiljs och vissa gaskomponenter absorberas av vattnet.

Av gaskomponenterna är det främst svaveldioxid, väteklorid och gasformigt kvicksilver som med framgång kan avskiljas, då dessa är lösliga i vatten. Svaveldioxidens löslighet är pH-beroende på så sätt att ett högt pH gynnar SO_2 -avskiljningen. Kväveoxiderna däremot är svårslösliga i vatten, varför dessa kommer att vara kvar i rökgasen.

2 TEKNIK

Huvudmålet för denna studie har varit att beskriva ett danskt system för rökgasrening i kombination med värmeåtervinning. Metoden bygger på den i kap 1.2 beskrivna tekniken med rökgaskondensering.

Med rökgasrening avses nedan i första hand svaveldioxidreduktionen. I systemlösningen används ammoniak som neutraliseringsmedel. Man uppnår därvid en SO₂-reduktion på 90% eller mer.

Marknaden i Sverige för den här typen av kombinerat rökgasrenings- och värmeåtervinningsystem torde vara i oljeeldade gruppcentraler och andra mindre pannanläggningar inom effektområdet 5-40 MW.

En enkel och tillförlitlig reningsmetod är ett alternativ till kraven på att använda extremt lågsavlig olja eller andra "rena" men ofta dyrare bränslen. Ur tillgänglighetssynpunkt torde en rening av emissionerna från ett högsvavligt bränsle vara att föredra, framför de renare men också svåråtkomligare bränslena.

2.1 Systemlösning

Det i Danmark prövade systemet består av följande huvudkomponenter, rökgas-/vattenvärmeväxlare - värmepump, två våtskrubbar kopplade i serie, tank- och doseringsutrustning för ammoniak (se flödesschema fig 2.1), utrustning för hantering av restprodukter.

Kylningen av rökgaserna sker i två steg. I det första steget, rökgas-/vattenvärmeväxlaren, är det frågan om en temperatursänkning genom direktväxling med fjärrvärmereturvattnet. I det andra steget, skrubber nr 1, sker en ytterligare temperatursänkning av rökgaserna samt en kondensering av rökgasernas innehåll av vattenånga. Detta kondensat används sedan som tvättvatten för rening av rökgaserna. Till skillnad från skrubber utan kylning erfordras ingen vattentillförsel vid tvättningen av rökgaserna. Tvättvattnet i skrubber nr 1 har ett pH-värde på 1-2, förorsakat av i första hand SO₃. Det låga pH-värdet i tvättvattnet gör att huvuddelen av SO₂ blir kvar i rökgasen medan däremot den största delen av de fasta partiklarna avlägsnas. Skrubbervattnet cirkuleras genom förångarsidan i värmepumpen där det avger sitt värmeinnehåll. Värmepumpens kondensorsida är ansluten till fjärrvärmereturvattnet.

Kondensatet, som bildas i skrubber nr 1, är surt och innehåller de avskiljda föröreningarna. Detta avloppsvatten utgör den egentliga restprodukten. En del av avloppsvattnet leds vidare från toppen på skrubber nr 1 till skrubber nr 2, vars huvudsakliga uppgift är att med hjälp av ammoniak höja tvättvattnets pH-värde så att även

svaveldioxiden kan avskiljas. Nedkylningen av rökgaserna i skrubber 1 bidrar till en bättre avsvavling, då lösligheten av SO_2 i vatten ökar med sjunkande temperatur. Den återstående avloppsvattenmängden avbördas direkt till spillvattennätet. Hur stor avloppsvattenmängden blir, beror på till vilken temperatur rökgaserna sänks.

Efter skrubber nr 2 leds rökgaserna via en rökgasfläkt till skorstenen.

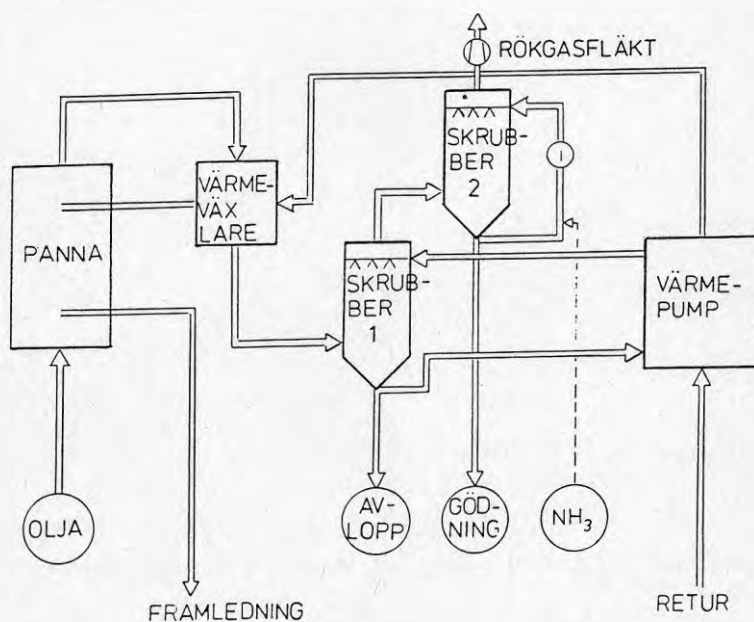


Fig 2.1 Flödesschema

2.2 Rökgas- och vattentemperaturer

Rökgastemperaturen efter pannorna är vanligen 250-300°C och densamma som den ingående temperaturen i rökgasvärmväxlaren. Utgående temperatur ur värmväxlaren på rökpassidan är ca 60°C. Rökgasernas slutliga temperatur efter tvättning i skrubbrarna är ca 30°C.

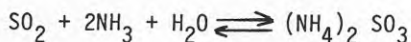
Returvattnet från fjärrvärmenätet har i det danska exemplet en temperatur på ca 48°C. Detta vatten får på sin väg tillbaka till pannorna passera först värmepumpens kondensorsida och därefter genom rökgasvärmväxlaren. Vattnets totala temperaturhöjning blir då ca 10°C.

2.3 Kemisk process

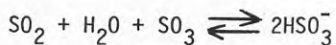
Den egentliga avsvavlingen sker i skrubber 2 genom att SO_2 avlägsnas. pH-värdet i skrubbern justeras till $\text{pH} = 6,0-6,5$ med hjälp av NH_3 . Rökgasens temperatursänkning i skrubber 1 bidrar till en bättre avskiljning av SO_2 i skrubber 2, genom att lösligheten av SO_2 ökar med fallande temperatur.

Reaktionsformeln för avsvavlingsprocessen är:

Totalt



Delprocesser



om $\text{pH} = 6,0 - 6,5$

Reaktionen med CO_2 är minimal.

Restprodukten i skrubber 2 kommer att innehålla en blandning av

$\text{NH}_4 \text{HSO}_3$ (ammoniumvätesulfit)

$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_3$ (ammoniumsulfit)

$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ (ammoniumsulfat)

Koncentrationen är ca 35% och denna restprodukt användes i Danmark som växtgödningsmedel.

Det har uppförts två stycken experimentbyggnadsanläggningar i Danmark. Under hösten 1984 togs anläggningen i Slagelse på Sjælland, ca 8 mil sydost om Köpenhamn, i drift och under hösten 1985 den andra i Viborg på Jylland.

På båda orterna är panncentralerna anslutna till kommunala fjärrvärmenät. Fjärrvärmenätens maximala värmebehov skiljer sig väsentligt åt. I Viborg är den installerade panneffekten 37 MW, och i Slagelse 5 MW. Den största skillnaden mellan anläggningarna är den att man i Slagelse har installerat rökgasreningsanläggningen i en befintlig panncentral, medan man i Viborg installerat rökgasreningen i samband med byggnation av en ny panncentral. Själva rökgasreningsanläggningen skiljer sig inte annat än i storlek och i valet av värmepump.

Anläggningarna presenteras nedan var för sig. Eftersom Slagelseanläggningen var den första som togs i drift är dokumentationen av denna mer utförlig.

3.1 Slagelse

3.1.1 Beskrivning av anläggningen i Slagelse Kommunes Central Syd

I panncentralen finns installerat 2 stycken oljepannor, men det är endast den ena, baslastpannan eller panna 2, som är försedd med rökgasrening.

Panna 2 är av fabrikat DANSTOKER med en termisk effekt på 4,7 MW. Denna är försedd med en SAACKE rotationsbrännare. I anläggningen används en 77cSt olja med 2,5 % svavelinnehåll. Till oljan sätts 5-6% H₂O så att en vatten/oljeemulsion erhålls. Denna emulsion insprutas i brännaren. Utöver de komponenter som krävs för själva rökgasreningen, har man måst sätta in en rökgasfläkt för att övervinna det tryckfall den nya utrustningen ger upphov till.

Det principiella utseendet av anläggningen efter installationen av rökgasreningsanläggningen framgår av fig 3.1.

Huvudkomponenterna i rökgasreningsanläggningen utgörs av en värmeväxlare, två seriekopplade våtskrubbar och en värmepump.

Principen för hur anläggningen fungerar finns beskrivet i kapitel 2.1 och 2.3. Det unika för Slagelseanläggningen är utformningen av värmepumpen och sättet att procedera ånga.

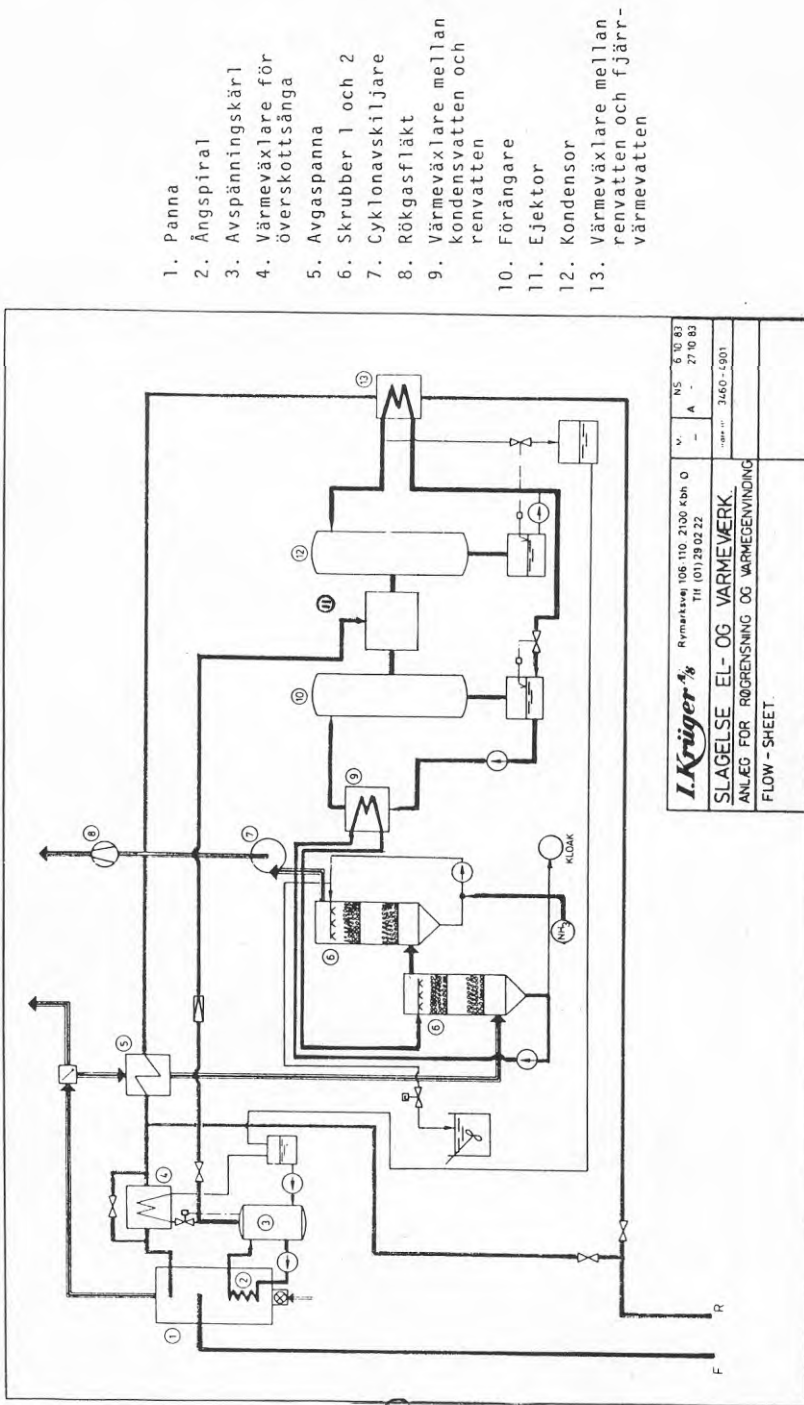


Fig 3.1 Flödesschema för Slagelse Panncentral

Själva värmepumpen är en ejektorvärmepump som drivs med ånga. Ångan som har ett tryck av ca 14 bar produceras i en ångspiral som installerats i den befintliga pannan.

3.1.2 Driftserfarenheter

Anläggningen är idag bemannad under 8 av dygnets 24 timmar. Under resten av tiden, 16 timmar, körs den helautomatiskt. Ungefär en halvtimme om dagen ägnas åt löpande underhåll.

Under tiden som anläggningen varit i drift har en del problem uppstått.

Packboxarna på de automatiska ångventilerna visade sig efter en tids användning vara otäta. Efter en misslyckad reparation bytte leverantören ut ventilerna utan kostnad och sedan dess har de fungerat.

Under anläggningens upp-start fick man problem med en pump under första skrubbern. Motorn var kopplad till pumpen med magnetkoppling men ändå brände motorn. Pumpen byttes på garantin.

Man har också haft problem med en nivåkontroll i en vattentank som är under vakuum. Nivåkontrollen byttes av leverantören till en annan typ. Den nya typen har fungerat tillfredsställande.

I övrigt har man inte kunnat konstatera något onormalt slitage i anläggningen.

3.1.3 Mätningar och Resultat

Rökgasanläggningens funktion har dokumenterats av Dansk Kedelforening som utfört mätningar vad avser SO₂- och stoftemission samt verkningsgrad före och efter ombyggnad. Mätningarna har sammanställts och utvärderats i en rapport utgiven av Dansk Kedelforening, Energi & Miljø.

Nedan sammanfattas några av resultaten som återfinns i rapporten. Mätningarna som redovisas här är gjorda på en ej sotad panna före och efter ombyggnad vid maxbelastning. Den använda oljan innehåller 2,5% svavel. Resultaten av stoft- och SO₂-emissionsmätningarna återfinns i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Stoft- och SO₂-emission

	1984.02.28 före ombyggn (5,1% H ₂ O)	1985.01.31 efter ombyggn rågas (1,1% H ₂ O)	1985.01.31 efter ombyggn rengas (1,1% H ₂ O)
Bränslemängd kg/h	528	398	398
Stoftkoncentration mg/m ³ _{n,t} *	190	365	467
Emitterad stoftmängd kg/h	1,0	1,8	2,5
Stoftkoncentration g/kg olja	1,9	4,3	5,9
CO ₂ %	15,6	13,4	12,9
SO ₂ -koncentration mg/m ³ _{n,t}	4525	3813	151
Emitterad SO ₂ -mängd g/s	6,6	5,3	0,2

* m³_{n,t} = m³ torr gas vid normaltillstånd 0°C, 1013 mb

Reduktionen av stoftemissionen går inte att få fram ur mätresultaten, då det förekommit medrivning av ammoniumsulfat [(NH₄)₂SO₄]. Anläggningen har sedan mätningarna företogs byggts om för att förhindra denna medrivning.

Avskiljningsgraden för SO₂-reningen var dock högre än den garanterade. Den uppmätta avskiljningsgraden låg på 96-99%, mot garanterade 90%.

Den direkta verkningsgraden för energiåtervinning före respektive efter ombyggnaden har bestämts genom att mäta tillförd och avgiven effekt. Mätningarna har gjorts med icke sotad respektive sotad panna vid både hög och låg belastning. Resultaten av bestämningarna återfinns i tabell 3.2

Tabell 3.2 Verkningsgrader för energiåtervinning

Belastning	Före ombyggnad %	Efter ombyggnad %	Differens %
Hög, ej sotad	83	101	18
Hög, sotad	86	103	17
Låg, ej sotad	88	102	14
Låg, sotad	90	101	11

Förbättringen av den direkta verkningsgraden varierar mellan 11-18%-enheter och kan jämföras med den garanterade förbättringen på minst 10%-enheter (designvärde).

3.2 Viborg

3.2.1 Beskrivning av Viborgs nya huvudpanncentral

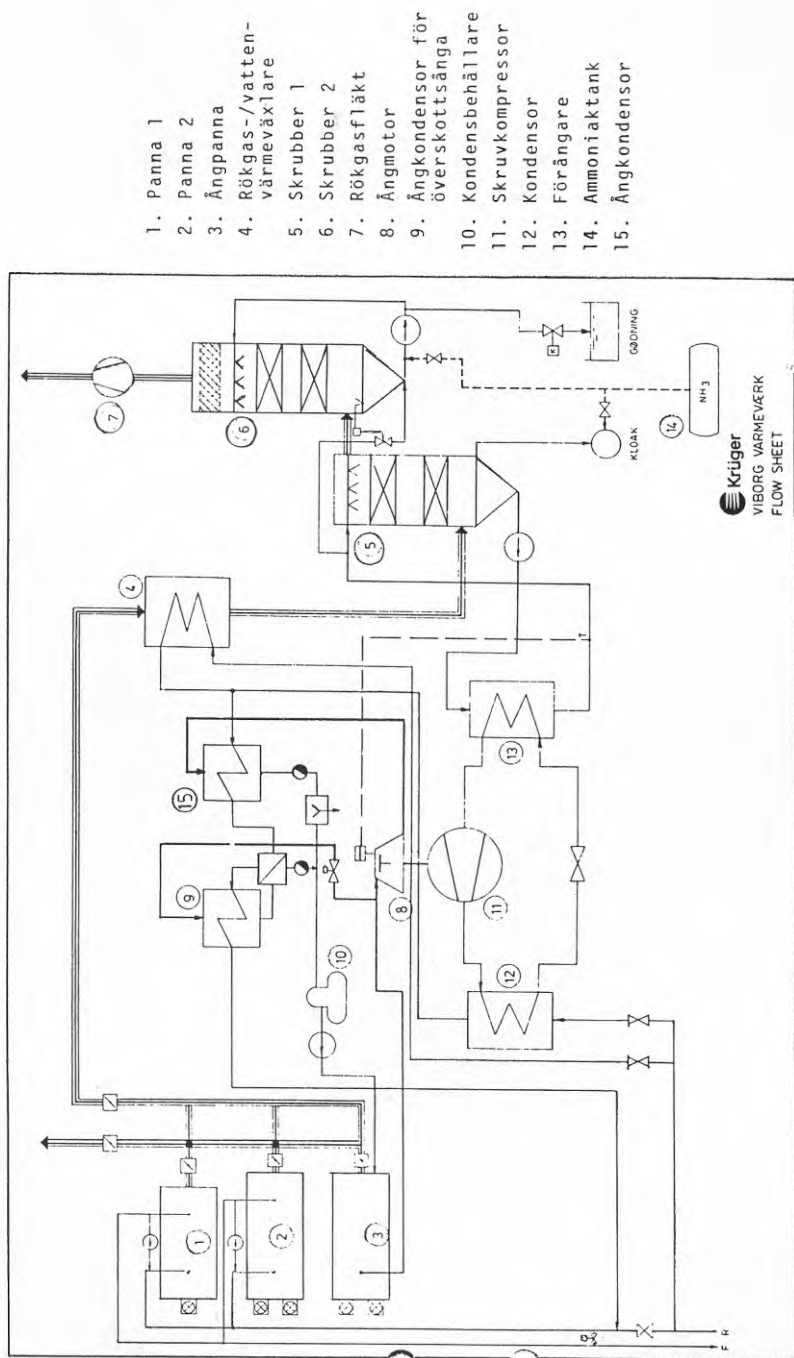
Allt eftersom anslutningen av abonnenter till Viborgs fjärrvärmenät ökat har behovet av en ny huvudcentral vuxit fram. Vid samma tid som Viborgs Varmeværk bestämde sig för att bygga en ny panncentral diskuterades det i Danmark att skärpa miljökraven och införa en föroreningsavgift. Denna avgift skulle man helt kunna undvika genom att installera rökgasrening. Man skulle även kunna använda den befintliga skorstenen i stället för att bygga en dubbelt så hög skorsten. Dessa orsaker medförde att man projekterade den nya anläggningen för rökgasrening.

I den nya panncentralen har installerats två stycken varmvattenpannor och en ångpanna. Samtliga pannor är anslutna till rökgasreningen, se fig 3.3. Rökgasreningens anläggningens ingående komponenter och funktion har beskrivits i kapitel 2. Speciellt för Viborg är att man valt en värmepump med en skruvkompressor vars ångmotor (kolvångmaskin) drivs med ånga producerad i ångpannan.

3.2.2 Driftserfarenheter

I Viborg har man liksom i Slagelse haft en del initialproblem i anläggningen.

Värmeväxlaren mellan skrubbevattnet och fjärrvärmevattnet har fått nya plattor efter punkterosion på grund av att man eldat med en spillolja med järnpulver och ett förhöjt kloridnehåll.



1. Panna 1

2. Panna 2

3. Ångpanna

4. Rökgas-/vatten-
värmväxlare

5. Skrubber 1

6. Skrubber 2

7. Rökgasfläkt

8. Ångmotor

9. Ångkondensator för
överkottisånga

10. Kondensbehållare

11. Skruvkompressor

12. Kondensator

13. Förångare

14. Ammoniaktank

15. Ångkondensator

Kriger
VIBORG VARMEVERK
FLOW SHEET

Fig 3.3 Flödesschema för Viborgs Panncentral

Rökgaserna avgav sedan sitt kloridinnehåll till vattnet och järnpartiklarna fastnade på de rostfria plattorna som små hullingar. Det är tillåtet att elda med spillolja i Viborganläggningen om spilloljan är godkänd av de danska miljömyndigheterna. Den spillolja man eldat med vid detta tillfälle var dock inte godkänd. Problemet har lösts genom att man inte längre använder ej godkänd spillolja.

Ett annat problem man haft är vibrationer i skruvkompressorn som medförde brott på freonledningarna. Orsaken var att kompressorns driftförhållanden inte var de lämpligaste. Driftförhållandena har nu justerats.

4 AMMONIAKHANTERING

Ammoniak, NH_3 , är en i vatten lättlöslig, färglös gas med stickande lukt. Gasen framställs av kvävgas och vätgas.

För förvaring av ammoniak ute hos brukarna krävs speciella lagringstankar. Konstruktionskraven för dessa tankar framgår av "Cisternnorm nr 2". Vad gäller uppställning och placering av lagringstankar för ammoniak inom tätbebyggt område är kraven mer diffusa. Bland annat görs en bedömning av brandmyndigheterna från fall till fall. Placeringsfrågan bör studeras närmare så att generella regler kan upprättas i framtiden. Paralleller kan dras med de ammoniaktankar för kylanläggningar som idag finns uppställda runt om i landet, t ex vid isbanor och vissa industriella anläggningar.

Ytterligare ett problem som måste studeras är ammoniaktransporterna. På en del orter i Sverige finns idag bestämmelser om hur stora kvantiteter ammoniak som får transporteras på en gång.

Storleken på lagringstanken bestäms förutom av processens ammoniakförbrukning även av transportmöjligheterna. För mindre panncentraler, 5-15 MW, är det i första hand transportmöjligheterna som avgör tankvolymen. Det transportsätt som här är aktuellt är med tankbil. En full tankbil, av den typen som finns idag, lastar 10 ton ammoniak. Detta medför att den mest ekonomiska lagringstankvolymen blir 13-15 ton för en anläggning på 5-15 MW. Volymantagandet baserar sig på att man vill kunna ta emot en full tankbil samtidigt som man har så mycket kvar i tanken att man kan köra processen kontinuerligt. Dessutom får man inte fylla en ammoniak-tank helt full.

Förbrukningen av ammoniak för en 5 MW-panna blir ca 40 ton/år vid eldningsolja med 2,5% svavelinnehåll och en driftstid på ca 4 000 timmar.

Koncentrerad ammoniak saluförs idag i två former, kylammoniak och handelsammoniak. Kylammoniak, med en koncentration av 99,9%, är kemiskt ren och används främst, som framgår av namnet i kylanläggningar. Handelsammoniak, med en koncentration av 99,8% däremot, kan innehålla både olja och vatten från framställningsprocessen och används bl a inom rökgasreningsanläggningar. Problemet idag ligger i att det inte finns några tankbilar för transport av handelsammoniak, utan denna transport sker med järnväg. Tankbilarna är endast avsedda för kylammoniak. Priset på handelsammoniak är ungefär hälften av priset på kylammoniak. Prisnivån varierar bl a med världsmarknadspriset på olja.

5 RESTPRODUKTER

Rökgasreningsprocessen ger två typer av restprodukter, dels en växtgödningsprodukt och dels ett avloppsvatten. I nedanstående kapitel behandlar vi restprodukterna var för sig.

5.1 Växtgödningsprodukt

Som framgår av kapitel 2.4 kommer vattnet i skrubber 2, efter injiceringen av ammoniak, att innehålla en blandning av

$\text{NH}_4 \text{HSO}_3$ (ammoniumvätesulfit)

$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_3$ (ammoniumsulfit)

$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ (ammoniumsulfat)

med en torrstoffkoncentration på ca 35%. Koncentrationen av kväve (N) uppgår till ca 9%.

I Slagelse där man eldar en olja med 2,5% svavelinnehåll, har man låtit göra en analys av vattnet som lämnar skrubber 2. Analysresultatet framgår av tabell 5.1.1. Man har även ansökt hos Landbruksministeriets Gödningstillsyn om att få använda skrubbervattnet som gödningsprodukt. Landbruksministeriet har givit tillstånd att marknadsföra Slagelseanläggningens skrubbervatten som en kvävehaltig gödningsprodukt, se bilaga 1. Man har dock inte gett ett generellt tillstånd, utan vill pröva varje enskild anläggnings produktkvalitet speciellt med hänsyn till tungmetallinnehållet.

Tabell 5.1.1 Analys av gödningsprodukt med ca 37% koncentration

kväve*	gN/l	110
ammonium	gN/l	110
cadmium	mg/l	<0,05
krom	mg/l	<0,1
kvicksilver	mg/l	<1,0
nickel	mg/l	3,0
arsenik	mg/l	<0,0042
vanadium	mg/l	14,4

* kväveanalysen är gjord enligt Kjeldahl-metoden

För att öka gödningsproduktens användbarhet kan man oxidera ammoniumvätesulfiten och ammoniumsulfiten till ammoniumsulfat. Man bör också antingen förtunna gödningsmedlet så att det kan spridas ut som vätska eller koncentrera det så att en mindre transportmängd erhålls.

Mängden gödningsmedel som erhålls vid neutraliseringsprocessen är vid eldning med olja med 1% svavelinnehåll ca $0,009 \text{ m}^3/\text{MWh}$ och med olja med 2,5% svavel ca $0,022 \text{ m}^3/\text{MWh}$.

Det är alltså frågan om storleksordningen 0,1 till $0,25 \text{ m}^3$ gödningsmedelslösning per m^3 olja, beroende på oljans svavelhalt och med den koncentration som ovan angivits. Transportbehovet är alltså 10 till 25% av oljeleveransen.

5.2 Avloppsvatten

Avloppsvattnet är den mängd överskottskondensat som måste avbördas direkt till spillvattennätet. Anledningen till att man får ett överskottskondensat är att man önskar utvinna så mycket värmeenergi som möjligt ur rökgaserna, samtidigt som man vill ha en så hög torrstoffhalt som möjligt i gödningsprodukten.

Avloppsvattenmängden blir vid eldning med en olja med 1% svavelinnehåll ca $0,05 \text{ m}^3/\text{MWh}$ och med en olja med 2,5% svavelinnehåll ca $0,037 \text{ m}^3/\text{MWh}$, vilket innebär 0,4-0,5 m^3 avloppsvatten per m^3 förbränd olja.

Provtagningar har gjorts på avloppsvattnet från de danska anläggningarna. Analysresultaten med avseende på svavel- och kväveinnehåll visar på högre värden än vad som anges i den svenska VAV M20.

VAV M20 är Svenska Vatten- och Avloppsverksförbundets meddelande M20 från oktober 1983, avseende "Villkor för utsläpp av skadliga ämnen i kommunal avloppsanläggning".

Den förhöjda kvävehalten beror på att man neutraliserar även avloppsvattnet med ammoniak. Neutraliseringen är nödvändig då man ej, enligt de danska normerna, får avbörda ett surare avloppsvatten än pH 6,5 till avloppsvattennätet. Samma sak gäller enligt VAV M20.

För att kunna komma till rätta med avloppsvattenproblemet kan man tänka sig några olika lösningar. Danskarna har ett par tänkbara metoder. Dessa och eventuella andra metoder, måste studeras och utvärderas så att lämpligaste åtgärder vidtas.

Det ena danska förslaget till åtgärder är att blåsa en svag luftström genom avloppsvattnet, varid SO_2 och SO_3 bortförs ur vattnet. De avluftade gaserna, som endast är en liten del av den totala rökgasmängden, förs tillbaka till skrubber 1 och

genomgår ånyo reningsprocessen. Avloppsvattnet är nu nästan fritt från SO_2 och SO_3 och kan neutraliseras genom att det får passera ett kalkstensfilter.

Det andra förslaget är att låta avloppsvattnet passera ett jonbytesfilter, som avlägsnar SO_2 och SO_3 , och sedan liksom i förra fallet neutralisera med kalk i stället för ammoniak. Vid regenerering av jonbytesfiltret får man ett returvatten som innehåller SO_2 och SO_3 . Detta returpolvatten leds till tanken med gödningsprodukten.

Mängden avloppsvatten kan minskas genom att arbeta med något högre skrubbertemperaturer och därmed mindre fuktutfällning ur rökgaserna. Detta sker dock på bekostnad av en något sänkt verkningsgrads förbättring och troligen en något försämrad svavelrening.

6 VAL AV KONSTRUKTIONSMATERIAL

Systemet med rök-gaskondensering ger vid eldning med svavelhaltiga bränslen upphov till ett surt kondensat. Detta i sin tur gör att riskerna för materialkorrosion ökar. Danskarnas materialval presenteras i korthet nedan. Det torde även finnas andra material som är väl lämpade för användning i den här typen av system, både ur teknisk och ekonomisk synvinkel.

6.1 Materialval i det danska systemet

Materialvalet på rök-gassidan varierar beroende på inom vilket temperaturintervall rök-gaserna befinner sig. Generellt kan man dela in rök-gasernas väg från pannan till skorstenen i tre områden, med avseende på temperaturen:

- När rök-gaserna kyls till 170-180°C används konventionellt stål
- När rök-gaserna kyls till 60-120°C används teflonbeklätt stål.
- När rök-gaserna kyls till <70°C används plast eller glas-fiberarmerad plast.

Materialen i de huvudkomponenter som kommer i kontakt med rök-gaserna och deras kondensat har valts enligt denna princip. Således utgörs rök-gas-/vattenvärmeväxlaren av en rörvärmeväxlare i teflonbeklätt stål. Behållare för fyllkroppsskrubbar är tillverkad i glasfiberarmerad plast och rök-gasfläkten av plast.

I Slagelse utgörs skorstenen av cortenstål.

7 EKONOMISK KALKYL

Ekonomiska beräkningar gjorda för Slagelseanläggningen visar på en återbetalningstid på ca 10 år, om man använder en olja med 2,5% svavelinnehåll. Motsvarande beräkningar gjorda för Viborgs panncentral visar på något kortare återbetalningstid, nämligen ca 8 år.

Förutom oljan med 2,5% svavelinnehåll har förutsättningarna för Slagelseanläggningens ekonomiska kalkyl varit:

* Maximalt värmebehov	5 MW
* Utnyttjandetid	4000 h/år
* Genomsnittlig elförbrukning	28 kW
* Värmeåtervinningen minskar bränsleförbrukningen med	12%
* Referensbränslepris	190 DKK/MWh
* Bränslepris	190 DKK/MWh
* Elpris	400 DKK/MWh
* Underhållskostnader på pannan	4,3 DKK/MWh
* Kemikalieutgift	7,5 DKK/MWh
* Bemanning av referensanläggningen	1,0 man/år
* Bemanning av pannanläggningen	1,25 man/år
* Årslön för personalen	175 000,- DKK/år
* Bränsleprisökning per år	6%
* Elprisökning per år	6%
* Marknadsränta	10%
* Inflation	4%
* Investering	2 400 000 DKK
* Extra underhåll	20%

Det har gjorts en jämförelse att elda med en olja med 3,5% svavelinnehåll istället för 2,5%. Priset på oljan med 3,5% svavelinnehåll är 164 DKK/MWh. Man får då istället en återbetalningstid på ca 4 år.

8 SLUTSATSER

Följande slutsatser kan dras. Metoden finns tillämpad i 2 anläggningar i Danmark. Enligt uppgift fungerar anläggningarna planerligt och efter det att vissa smärre barnsjukdomar åtgärdats är driftsäkerheten fullt tillfredsställande.

Med den beskrivna reningsmetoden är det tydligen möjligt att reducera svavelutsläppen till mindre än 1/10 av de ursprungliga, vilket alltså ger betydligt mer än t ex en halvering av oljans svavelhalt. Eldning med s k normalsvavlig olja, 2,5%, och rening skulle ge lägre utsläpp av svavel än eldning även med en extremt lågsvavlig olja utan rening. Det synes vara möjligt att applicera tekniken i mindre och medelstora panncentraler, dvs i de flesta s k gruppcentraler inom byggnadsuppvärmningssektorn.

För att slutgiltigt bedöma reningsmetodens möjligheter under svenska förhållanden måste bl a följande frågor utredas vidare:

- * Kan man behandla eller reducera avloppsvattnet så att det, utan att ställa till någon skada kan avbördas till det kommunala avloppssystemet?
- * Hur skall man på ett betryggande sätt förvara och transportera erforderliga kvantiteter ammoniak för panncentraler inom tätbebyggt område?
- * Kan svenska myndigheter godkänna "växtgödningsmedlet" som gödningsmedel? Vilken svensk marknad finns för gödningsmedlet? Hur påverkar den nyss uppkomna diskussionen om övergödning p g a kväveutsläpp gödselmarknaden?
- * Vilka andra konstruktionsmaterial än de som använts i den danska lösningen kan vara tillämpliga både ur teknisk och ekonomisk synvinkel?

Ovannämnda frågor kan lämpligen prövas realistiskt vid projektering och eventuellt byggande av en prototyp- och demonstrationsanläggning i Sverige.

Nämnas bör att danskarna på kommersiella grunder sålt denna typ av rökgasanläggningar till Norge, Västtyskland och Tjeckoslovakien.

9 LITTERATUR

Falster, Hans & Mathiesen, Carsten B, 1985, Energiministeriet, Undersøgelse af røgrensning- og energigenvindingsanlaeg, Slagelse Kommune central syd. (Dansk Kedelforening, Energi & Miljø.) Rapport Sv.S/62.85.349.

Magnusson, Jan, 1985, Røkgaskondensering, (Statens energiverk).



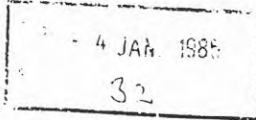
LANDBRUGSMINISTERIETS GØDNINGSTILSYN
LOTTENBORGVEJ 24 . 2800 LYNGBY . TELEFON 02 - 87 29 53
GIROKONTO: 4 24 11 18

24

BILAGA 1

DATO: 3/1 1985

I. Krüger AS
Gladsaxevej 363
2860 Søborg



Deres ref. NS/BJ

Som svar på Deres brev af 6. december 1984 om Røgvaskervand som gødningsmiddel, skal Gødningstilsynet anføre følgende:

Under de forudsætninger der blev nedfældet i Tilsynets brev af 14/9 1984, og med de analyseresultater De har fremsendt ved ovennævnte dato, ser Gødningstilsynet intet til hinder for at De, indtil videre, markedsfører den omtalte type af røgvaskervand som en kvælstofholdig gødning.

Tilsynet ønsker løbende at blive orienteret om de enkelte anlægs "produktkvalitet", specielt m.h.t. tungmetalindhold.

Den prøve af røgvaskervand, mærket Slagelse 19/11 84, De har overladt Tilsynet, indeholder 9,7% ammoniumkvælstof (N), og følgende deklaration for produktet vil derfor være at foreslå:

Typebetegnelse: N-holdigt røgvaskervand, opløsning

Deklaration: Ammoniumkvælstof (N): 9,0%

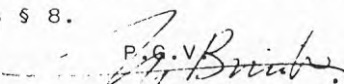
Producent: (Navn og adresse)

————— 0 —————

Indholdstolerancen for kvælstof (N) vil være 0,45 vægtprocent (abs.)

Indhold af virksomme stoffer skal altid angives som vægtprocent af produktet. Ved enhver levering til forbruger skal den leverede mængde anføres i kilogram.

Gødningstilsynet imødeser herefter Deres forslag til følgeseddel, og ved dennes godkendelse anses produktet som anmeldt til Tilsynet, jf. lovens § 8.

P. G. V.

M. Brink







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870186-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Ekoteknik AB,
Göteborg.**

R118: 1987

ISBN 91-540-4836-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707118

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms