

SVF--596



SE9707310

**Provtagning av tyngre kolväten med adsorptionsrör**  
**Sampling of high molecular weight hydrocarbons with**  
**adsorbent tubes**

**Birgitta Strömberg**

**MASTER**

**DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED**

RB

**STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNIK FORSKNING**

**101 53 STOCKHOLM - TEL 08/677 25 80**

**December 1996**

**ISSN 0282-3772**

**DISCLAIMER**

**Portions of this document may be illegible  
in electronic image products. Images are  
produced from the best available original  
document.**

Titel:	<b>Provtagning av tyngre kolväten med adsorptionsrör</b>
Författare:	Birgitta Strömberg
Rapportnummer:	TPS-96/40
Datum:	1996-10-28
Nyckelord:	Provtagning, analys, PAH, gaskromatografi, Tenax
Avsändare:	TPS Termiska Processer AB, Studsvik, 611 82 Nyköping Tel 0155-22 13 00, Fax 0155-26 30 52, e-post tps@tps.se
Dokumentnamn:	Tenax rapport/96-12-11
Godkänd av	

## SAMMANFATTNING

Adsorptionsrör har använts för att bestämma innehållet av kolväten i gasprover från förbrännings- och förgasningsutrustningar i labskala. Provtagning och analys av föreningar från bensen (molekylvikt 78) till indeno(1,2,3-cd)pyren (molekylvikt 276) har undersökts.

Resultaten visar att metoden fungerar så tillvida att det är fullt möjligt att analysera PAH-föreningar med 4 ringar och molekulvikt upp till  $M=202$ . Detektionsgränserna för dessa föreningar är lägre än  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tyngre föreningar (PAH med 5 ringar och fler) går också att identifiera och kvantifiera i gasprover med höga koncentrationer av PAH föreningar, t ex vid förgasning av biobränslen.

Jämfört med den konventionella och väl utprovade metoden för provtagning av PAH-föreningar är denna metod mycket snabb och enkel. Vid provtagningen införs adsorptionsröret i den gasström som man önskar analysera och provgasen suges med en pump genom röret. Provtagningstider på 2-10 min ger oftast tillräckliga mängder prov för analys. Analystiden är förhållandevis lång vilket begränsar antalet analyser som kan utföras per dag. Proven kan dock lagras i flera veckor utan att de förstörs.

Vid hög fukthalt i provgasen riskerar man att göra förluster av de flyktigaste föreningarna då all fukt måste drivas av innan analys. Fukten kan även orsaka ispropp i kylfällan vilket leder till att provet förstörs

**Nyckelord:** Provtagning, analys, PAH, gaskromatografi, Tenax

## SAMPLING OF HIGH MOLECULAR WEIGHT HYDROCARBONS WITH ADSORBENT TUBES.

### SUMMARY

Adsorption tubes have been used to determine the content of hydrocarbons in gas samples from small scale combustion and gasification of biomass. Compounds from benzene (mw 78) to indeno (1,2,3-cd) pyrene (mw 276) have been examined.

The results show that it is possible to analyze polyaromatic hydrocarbons (PAH) with 4 aromatic rings (mw 202). Detection limits for these compounds are  $< 1\mu\text{g}/\text{m}^3$ . PAH with higher molecule weight can be identified and quantified in samples with high amounts of PAH e.g. at gasification of biomass.

Sampling on adsorption tubes is extremely quick and easy. The tube is inserted in the gas of interest and the sample is sucked through the tube with a pump. Sampling times of 2-10 minutes are often sufficient.

High moisture content in the gas may result in losses of the most volatile compounds, when drying. Even very low concentrations of water in the tube may cause ice formation in the cold-trap and the sample will be destroyed.

The analysis is unfortunately time consuming because the desorption oven must be cooled between every analysis. This will reduce the number of samples which can be analyzed per day. The tubes can be stored for several weeks before analysis without deterioration.

**Key words:** Sampling, analysis, PAH, gas chromatograph, Tenax

## INNEHÅLL

<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>1</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>2</b>
<b>1. MÅL</b> .....	<b>4</b>
<b>2. BAKGRUND</b> .....	<b>4</b>
<b>3. UTRUSTNING</b> .....	<b>5</b>
<b>4. EXPERIMENTELLT</b> .....	<b>7</b>
4.1 Provtagning.....	7
4.2 Analys .....	7
4.3 Jämförelse med standard.....	9
4.4 Framtida utveckling av metod och utrustning.....	9
4.5 Verifierande tester .....	9
<b>5. RESULTAT</b> .....	<b>10</b>
<b>6. SLUTSATS OCH FORTSATT ARBETE</b> .....	<b>14</b>
6.1 Slutsats.....	14
6.2 Framtida arbete.....	14

## 1. MÅL.

Projektets mål har varit att undersöka om adsorptionsrör kan användas vid provtagning av tyngre kolväteföreningar t ex PAH (Poly Aromatic Hydrocarbons). Avsikten har varit att få en enklare och billigare metod än den konventionella provtagningsmetoden för PAH (se VF mättehandbok metod nr 4.17).

## 2. BAKGRUND.

Den ökade användningen av bibränslen gör att efterfrågan på mätningar av PAH-föreningar kan öka eftersom bibränslen generellt genererar större mängder av denna typ av föreningar än t ex kol och oljeeldning. Uppskattning av emissioner av PAH från olika bränslen redovisas i tabell 1.

**Tabell 1.** Emissioner av PAH vid småskalig förbränning av ved, avfall och olja.

*Emissions of PAH from small scale combustion of wood, waste and oil.*

	ved	vedpellets	avfall	olja
kW	20-75	20-100	900-2400	20-5200
PAH $\mu\text{g}/\text{m}^3$	900-185000	20-90	10-1960	<0.01-50

För att få möjlighet att analysera spår mängder av organiska föreningar i t ex rökgas krävs att man på något sätt koncentrerar proverna före analys. Detta kan ske med olika typer av provtagningsutrustningar och mer eller mindre komplicerade uppberedningsmetoder och efterföljande analys. Med konventionell teknik är provtagningsstiderna så långa att man endast kan erhålla medelvärden över 1 till 4 timmars drift. Utrustningen som behövs är skrymmande och tar tid att installera.

De vanligaste metoderna är provtagning med någon form av "provtagningsståg" där eventuell aska fångas på filter, vattnet kondenseras ut och de organiska föreningarna adsorberas på något lämpligt material t ex XAD-2 eller polyuretanskum. Denna typ av provtagningsutrustning kräver en omfattande rengöringsprocedur innan provtagning och en tidskrävande uppberedning efteråt där de olika fraktionerna måste extraheras under 6 - 16 timmar med olika lösningsmedel. Det ställs stora krav på renheten hos de använda lösningsmedlen för att inte proven ska kontamineras, vilket gör metoden dyrbar eftersom renheten kostar, antingen i inköp eller genom att man tvingas destillera lösningsmedlen innan användning.

En annan attraktiv metod, att samla de föreningar man är intresserad av, är att använda någon form av adsorbenttrör där de intressanta ämnena selektivt adsorberas. Dessa analyseras sedan efter att ha termisk desorberats direkt in i analysinstrumentet, vanligen en gaskromatograf eller en masspektrometer. Denna metod förutsätter att

en speciell injektor finns kopplad till analysinstrumentet. Adsorbentrören kan fyllas med olika material beroende på vilka föreningar som ska studeras. Vanliga adsorbenter är Tenax (2,6-difenyl-p-fenyleneoxid) eller någon form av kolpartiklar.

Provtagningen har förutsättningar att vara mycket enkel och snabb. Man använder till exempel en batteridrivna pump och suger provet direkt utan filter genom röret. Rören försluts och kan bäras i "bröstfickan" till analysen. Proven kan dessutom lagras i flera veckor utan att förstöras. Hela provet desorberas in på en separationskolonn och detekteras med lämplig detektor utan någon uppberedning före analys.

Provgasflödet kan vid desorberingen delas så att bara en del av flödet leds in på kolonnen, vilket kan vara nödvändigt vid mycket innehållsrika prover då man annars riskerar att instrumentet måste renas under lång tid för att kunna användas till prover med låga halter.

Fördelar med denna typ av metoder är förutom det enkla handhavandet vid provtagning, att en betydligt större provmängd kan analyseras jämfört med konventionella metoder samt att risken för kontaminering från lösningsmedel och förluster under uppberedningen minskar. Provtagningsstiderna bör kunna vara så korta som någon minut vilket innebär att nära momentana värden på emissioner kan erhållas.

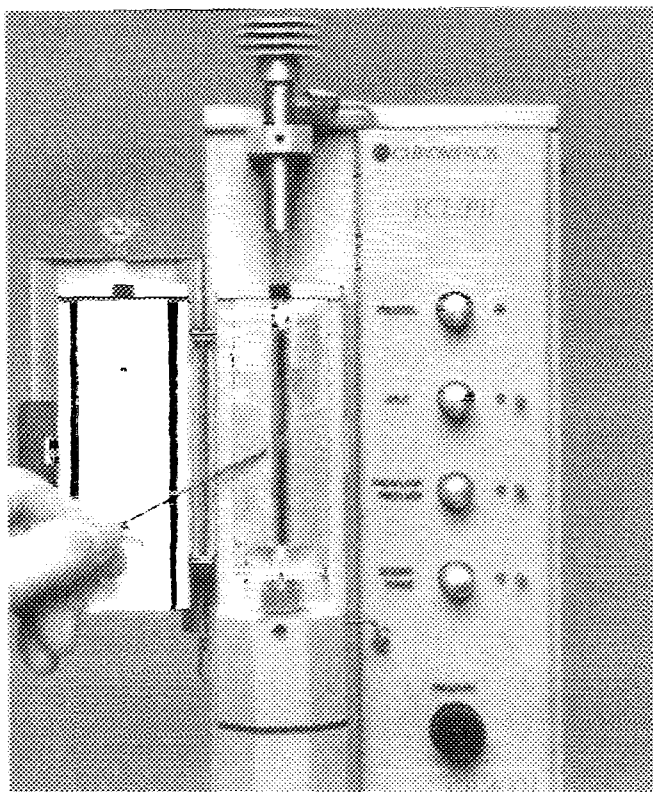
Metoden har i förbränningsmätningar hittills använts mest för medium-flyktiga föreningar som bensen, toluen, xylen, trimetylbenzen etc. och man kan bestämma dessa föreningar i låga halter med god noggrannhet. (2) Oftast används masspektrometer vid analysen för att få en säker identifiering av ingående komponenter. Även mer flyktiga föreningar har analyserats i olika miljöer men då har någon form av koladsorbent valts i stället för Tenax. Bestämning av klorerade föreningar i rökgaser har studerats och preliminära resultat visar på att klorerade bensener kan samlas på Tenaxrör och analyseras med gaskromatograf med elektroninfångningsdetektor. (3)

### 3. UTRUSTNING

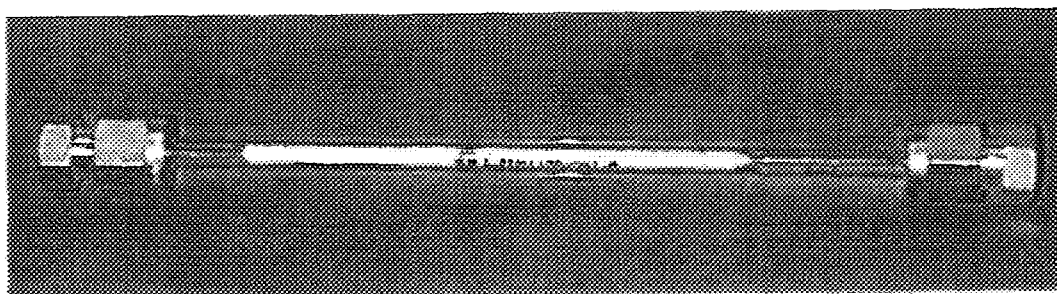
Analyser av innehållet i adsorbentrör har utförts med en Hewlett Packard 5890 gaskromatograf utrustad med en FID (flam joniserings detektor) och en Purge and Trap injektor CP 4010 från Chrompack (Figur 1). En termos för att förvara flytande kväve liksom isolerade ledningar krävs för att kunna utföra analyserna.

Adsorbentrör fyllda med Tenax passande till utrustningen, finns att köpa från Chrompack. Rören kan antingen köpas förkonditionerade och klara att använda eller som ett billigare alternativ enbart packade rör (Figur 2). Olika alternativa adsorbenter kan väljas beroende på vilka föreningar som skall undersökas.

En batteridrivna pump med justerbar provtagningshastighet (10-400 ml/min) har använts vid provtagning.



**Figur 1.** Termisk desorptionsenhet med installerat adsorbentrör (markerat).  
*Thermal desorption unit with adsorption tube installed (pointed)*



**Figur 2.** Adsorbentrör med TENAX. Nära verklig storlek.  
*Adsorption tube with TENAX. Near real size.*

En Chrompack CP-sil 5CB (l=30m; id= 0.32mm; fastjocklek 1.2 $\mu$ m) separationskolonn har använts. Denna kolonn gör det möjligt att samtidigt separera bensen och PAH-föreningar. Temperaturprogrammering från 60°C i 1 min med temperaturgradient på 10°C/min till 260°C. Helium har använts som bärgas. Vid enbart analys av PAH kan tex en J&W DB-5 kolonn väljas för att få en snabbare analys.



## 4. EXPERIMENTELLT

### 4.1 Provtagning

Prov samlas på adsorbentrören genom att röret införs i den gasström man önskar att analysera och en lämplig gasmängd sugas genom röret med hjälp av en pump. Provtagningsflöden på 20-50 ml/min har, genom praktiska prov samt erfarenheter av andra provtagningsystem och kontakter med instrumentleverantör och andra användare, visat sig vara lämpliga flöden. Efter provtagning försluts rören med Swagelock kopplingar och förvaras i rumstemperatur i väntan på analys. Provmängder på 100-800ml brukar ofta vara tillräckliga för biobränsleeldade anläggningar. Detta innebär provtagningsstider på 2-5 min i de flesta fall. Då metoden är enkel och provtagningsstiden är kort är det ett litet merarbete att ta många prover jämfört med den vinst man gör om något blir fel vid analysen. Vid återkomst till laboratoriet förvaras rören vid rumstemperatur i väntan på analys.

Adsorbentrören renas efter analys genom uppvärmning i ugn till 280°C under kvävgasflöde (ca 300 ml/min) i 2-4 timmar i en separat utrustning och försluts sedan med Swagelockförslutningar och förvaras vid rumstemperatur. Rören kontrolleras med avseende på renhet och hittills har inga rör kasserats pga kontamination eller några tecken på att adsorbenten blivit förstörd. Rören är av glas vilket gör att en del går sönder i hanteringen.

Temperaturen vid provtagning ska inte överstiga 60 °C och sannolikt ger rökgasmiljö i längden en begränsning av livslängden på rören. Rören levereras numrerade i förpackningar om fyra (numrering 0-3 i varje låda), vilket underlättar identifiering av proven vid provtagningen.

### 4.2 Analys

Vid analysen placeras adsorbentröret i TCT-injektorn (Thermal desorption Cold Trap) och röret värms upp elektriskt. De föreningar som fastnat på röret avgår med bärgasen och fastnar i en kylfälla. När desorberingen är klar hettas kylfällan upp mycket snabbt och provet injiceras in i gaskromatografen. Desorbering sker i motsatt riktning mot provtagningen. Flöden och temperaturer under den termiska desorberingen avpassas efter provets ursprung och de föreningar man önskar analysera. Hela analysproceduren sker automatiskt när metoden laddats in i styrenheten till TCT-injektorn. Ett stort antal metoder kan lagras i minnet, vilket gör det enkelt att variera mellan olika typer av analyser. Instrumenttillverkaren tillhandahåller information om vilka adsorbenter som är lämpliga för olika föreningar liksom även uppgifter om temperaturval etc. Detta är bra som startparametrar. Finjusteringarna av analysproceduren får sedan ske efter egna specifika önskemål. För ytterligare information se bilaga 1.

Varje analys omfattar fem olika steg:

- Precool, kylfällan kyls med flytande kväve till önskad temperatur. Temperaturen väljs efter de föreningar man önskar analysera. Ju mer flyktiga föreningar desto lägre temperatur. Vanligt temperaturområde är -110 till -150°C
- Preflush, bakblåsning med bärgas för att driva av fukt från röret. Tid, temperatur och flöde kan styras. Mängden fukt, samt vilka föreningar som ska analyseras avgör inställningarna. Det är mycket viktigt att fukten försvinner eftersom det annars bildas isproppar i kylfällan och analysen blir misslyckad. För fuktiga rökgasprover brukar ett flöde på ca 60 ml/min under 5min vid 60°C vara tillräckligt utan att bensen drivs av. Om man istället enbart är intresserad av tex PAH kan temperaturen ökas och då kan flödet eller tiden minskas.
- Desorbering, provtagningsröret hettas upp elektriskt till önskad temperatur och de föreningar som finns på röret överförs till kylfällan. Tid, temperatur och flöde kan regleras. Parametrarna styrs av de föreningar som ska analyseras. För PAH analys är en temperatur på 230 °C under 10 min med ett flöde på 25 ml/min en lämplig inställningar. Parametrarna samverkar så om någon variabel ökas kan de övriga minskas.
- Injektion, kylfällan hettas mycket snabbt upp till önskad temperatur och hålls där under 1 min. Tiden är fix men temperaturen kan styras. Lämpligt värde är 200-250°C vid PAH-analys.
- Backflush, provtagningsröret bakblåses med bärgas för att driva av föreningar som eventuellt finns kvar. Tid, temperatur och flöde kan regleras. Vanligen väljs en temperatur som är något högre än vid desorberingen för att rena röret. Detta moment kan väljas bort och rören renas i en separat utrustning. På så sätt kan tiden för varje analys kortas då kylningen av desorberingsugnen kan påbörjas direkt efter desorberingen.

Temperaturen under andra steget, preflush, är ett av de tidskrävande momenten då det är viktigt att temperaturen inte är för hög när rören placeras i ugnen speciellt om flyktiga föreningar ska analyseras.

Metodutprovningen har tagit längre tid än väntat då det vid analys av verkliga prover uppstod svårigheter att finna rätt inställningar. Dett gällde speciellt vid steget preflush, då fukten ska drivas av från röret. I prov med mycket fukt måste tiden förlängas, eller temperaturen/flödet bärgas ökas och det medför risk för förluster av de flyktigaste föreningarna. Om fukt finns kvar i röret bildas isproppar i kylfällan och pro-

vet misslyckas. Då proverna har varierat kraftigt i innehåll av både fukt och mängd av föreningar krävs en noggrann passning under analysen.

En del prov har innehållit så stora mängder av de olika komponenterna att flammen har blåsts ut under analysen. Det går inte att repetera analysen av ett och samma rör och många prov har därmed blivit förstörda.

### **4.3 Jämförelse med standard.**

Identifiering och kvantifiering sker genom extern standard. Standardblandningar kan köpas färdiga från många kemikalie- och tillbehörsföretag eller tillverkas på plats för att få exakt den sammansättning man önskar. Standardblandningar av intressanta föreningar appliceras på Tenaxrören med mikroliterspruta. Mängden avpassas så att varje enskild förening på röret inte blir för hög eftersom det då blir svårare att rena systemet efter analysen. Mängder på 0.1-1 µg är oftast helt tillräckligt. Flera prover med standard analyseras för att få säkrare identifiering och kvantifiering. Under en provserie bör rör med standardblandningar varvas med de aktuella proven för att öka säkerheten.

### **4.4 Framtida utveckling av metod och utrustning.**

En metod med internstandard som sätts till rören, antingen före provtagning eller innan analys bör utvecklas för att minska osäkerheten vid identifiering, speciellt om det är komplexa matriser av ämnen i provet. Valet av separationskolonn i gaskromatografen kan underlätta identifieringen i de fall det inte är nödvändigt att analysera "hela skalan" av organiska föreningar i samma prov. Sannolikt kan man på så sätt även korta analystiderna genom att inte behöva variera temperaturerna på ugnen i TCT-injektorn så mycket och då få en snabbare inställning av temperaturerna. Om en massdetektor används i stället för flamjoniseringsdetektorn bör identifieringen av komponenterna underlättas och antalet standard analyser kunna minskas vilket i sin tur ökar antalet utförda analyser.

### **4.5 Verifierande tester**

Prover från förbränning och förgasning har samlats på Tenaxrör och analyserats enligt den ovan beskrivna metoden. Främst har rökgasprover från småskalig eldning av biobränslen analyserats, dels prover från en villapanna som eldats med helved och dels prover när pelleterade bränslen har eldats i en liten fluidiserad bädd. I samband med eldning av helved togs parallellt prov med impingerflaskor enligt en standardiserad metod som används vid provtagning av PAH-och tjärföreningar på TPS. (4) Dessutom har gasprover från en liten trycksatt förgasare samt från TPS pilotförgasare också analyserats.

## 5. RESULTAT

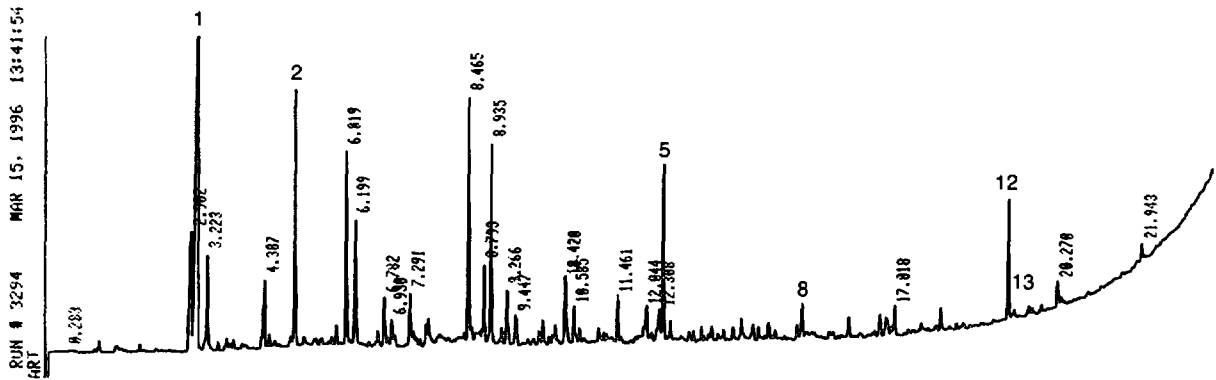
Rökgasprover från småskalig biobränsleledning ger ett komplext mönster vid analysen. I figur 3 ses exempel på ett rökgasprov från en vedeldad villapanna utrustad med katalysator där halterna av ingående komponenter är förhållandevis låga.

Identifiering och kvantifiering av ingående komponenter har skett med hjälp av extern standard.

**Tabell 2.** Föreningar som identifierats och kvantifierats i figur 3-5 .

*Organic compounds identified and quantified in figure 3-5*

förening nr	ämne
1	bensen
2	toluen
3+4	xylen
5	naftalen
6+7	metylnaftalen
8	bifenyl
9	avenaftylen
10	acenaften
11	fluoren
12	fenantren
13	antracen
14	fluoranten
15	pyren
16	benzo(a)antracen
17	chrysen

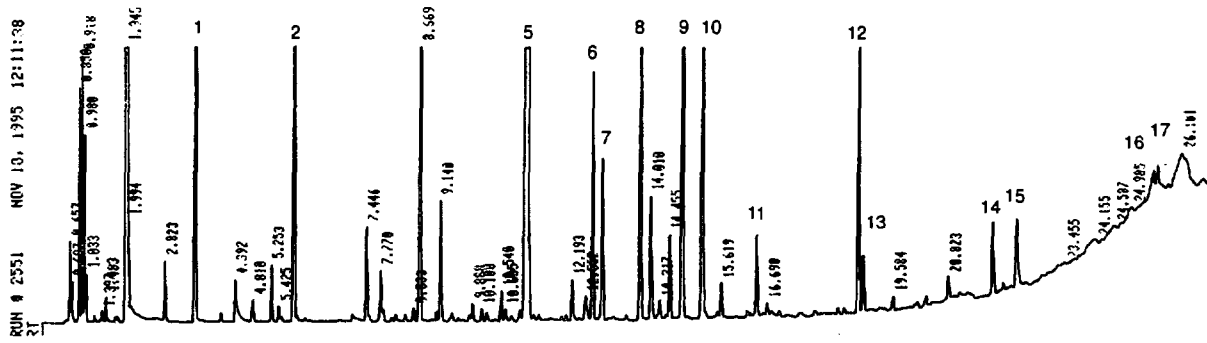


**Figur 3.** Rökgas från vedeldad villapanna efter katalysator. Prov volym 104 ml. identifiering se tabell 2.

*Flue gas sample from a wood fired stove. Sample of 104 ml is taken after catalyst. Identification se table 2.*

I denna undersökning har föreningar från bensen och upp till i första hand pyren och fluoranten (mw 202) analyserats. Fukthalten i rökgaserna har inneburit svårigheter att optimera "preflush"momentet genom att antingen orsaka förluster av de mest flyktiga föreningarna eller orsaka isproppar i kylfällan. Eftersom halterna varierar ganska kraftigt under förbränning av helved och provtagningstiderna är korta (3-10 min) kan det förekomma stora variationer i mängder av både fukt och organiska föreningar på de olika rören vilket försvårar inställningar av analysutrustningen och tolkningen av resultaten.

Även gas från pilotförgasaren håller hög fukthalt vilket medförde stora förluster av framförallt bensen vid analysen. Förluster av de flyktigaste föreningarna upptäcks lätt när standardblandningar analyseras med samma inställningar som provrören. I figur 4 visas prov på rågas från TPS pilotförgasare. Halterna av organiska föreningar är högre än vid förbränningen och till skillnad från förbränningen finns ett mindre antal speciellt av de mediumflyktiga föreningarna, vilka är svåra att identifiera delvis pga att det finns så många snarlika isomerer som kan bildas. Jämförelse med den konventionella proven som togs parallellt med adsorbentrören uppvisar stora likheter för PAH-liknande föreningar. Det bör dock påpekas att provtagningsbetingelserna inte var helt identiska då tryckvariationer förekom vid själva provtagningsplatsen och gasvolymbestämningen blev något osäker.



**Figur 4.** Prov från TPS pilotförgasare. Identifiering enligt tabell 2  
*Sample from TPS's CFBG. Identification see table 2.*

Prov från den trycksatta förgasningen innehöll avsevärda mängder av PAH-föreningar och endast 20-75 ml gasprov togs ut. Bakgrundsmatrisen var mindre komplex än vid de övriga proven och identifieringen var mycket enklare. I figur 5 är endast 36 ml gasprov uttaget från en trycksatt förgasningsreaktor och man kan lätt se att nästan samtliga av de vanligaste PAH-föreningarna kan identifieras.



**Figur 5.** 36 ml gasprov från experimenttrigg med trycksatt förgasning. Identifiering se tabell 2  
*36 ml sample from pressurized small scale gasification of biomass. Identification see table 2.*

Jämförelse mellan adsorbenttrör och TPS standard metod för tjärprovtagning visar att metoden med tenaxrören är avsevärt mycket känsligare. Vid samtidig provtagning uppvisar tjärprovtagningen inga detekterbara mängder av PAH (upp till pyren och fluoranten) medan tenaxrören blev överladdade. I samtliga fall med provtagning med tenaxrör kunde naftalen, fenantren och antracen identifieras och i många fall även pyren och fluoranten. Provtagningsvolymerna på mellan 100 och 800 ml har analyse-

rats, vilket motsvarar provtagningstider på 3-10 min. Halterna av PAH föreningar på adsorbenttrör i olika typer av prov redovisas i tabell 1.

Proven från pilotförgasningen var så innehållsrika att både identifiering och kvantifiering var svår i många fall. Det är lämpligt att vid provtagningen ta flera prov med olika volymer för att på så sätt minska risken att få överladdade adsorbenttrör. Analysproceduren kan modifieras för att passa en viss kategori föreningar, både vad gäller desoberingen men även när det gäller själva GC-analysen som tex val av separationskolonn och temperaturprogrammering.

**Tabell 3.** Detekterade föreningar vid olika typer av provtagning med tenaxtrör. (Halterna i  $\text{mg}/\text{m}^3$ )  
*Compounds identified and quantified on adsorption tubes from different kinds of experiments. (Amounts in  $\text{mg}/\text{m}^3$ )*

<b>Förening</b>	<b>Tryck.förgas.</b>	<b>Pilot förgas. rågas</b>	<b>Vedeldning villapanna</b>
bensen	70-300	1000-2500	0,3-20
toluen	180-240	250-2000	0,1-5
xylén	10-25	30-400	0,06-0,2
naftalen	100-150	20-2000	0,06-1,5
acenaftylén	1,8-2,4	5-800	0,03-0,4
acenaften	0,9-1,2	5-1000	0,03-0,1
bifenyl	2,4-3,0	5-1000	0,03-0,1
fluoren	2,0-2,3	1-400	0,06-0,4
fenantren	18-21	1-300	0,03-0,06
antracen	3,6-4,3	0,1-50	0,03
fluoranten	4,4-4,7	0,1-200	0,03-0,1
pyren	6,8-7,6	0,1-50	0,03-0,09
benzo(a)antrac	0,7-1,0	0,1-5	0,03-0,08
chrysen	0,9-1,3	0,1-5	0,03-0,08

## 6. SLUTSATS OCH FORTSATT ARBETE

### 6.1 Slutsats.

Till metodens positiva egenskaper hör den höga känsligheten, den korta och enkla provtagningsmetoden och förhållandevis lätta handhavandet av de ingående delarna. Jämfört med en konventionell glasutrustning med all kringutrustning som pumpar, filter etc är denna metod mycket snabb och enkel. Den största nackdelen är att man inte kan göra flera analyser med samma prov, vilket man kan göra med de konventionella provtagningsmetoderna. Detta problem kan kringås genom att man tar flera prov. Analystiden är förhållandevis lång men analysproceduren kan förfinas och specialdesignas för varje enskilt fall och på så sätt öka analyskapaciteten.

Slutsatsen måste bli att adsorbenttrör är ett bra alternativ till andra mer komplicerade provtagningsmetoder för mikroföroreningar i olika miljöer. Den enkla och snabba provtagning gör att provtagningstiderna kan hållas så korta att nästan momentana värden på emissionerna kan erhållas och man kan studera vad som händer vid text laständringar. Metoden kräver dock ytterligare förfining, Framförallt behövs utveckling av en metod för interna standarder som kan appliceras på rören innan provtagningen, för att enkelt kunna avgöra om förluster sker vid den termiska desorptionen. Dessutom underlättas identifieringen av de detekterade komponenterna vid användning av flamjonisationsdetektor.

Metoden fungerar bäst för mediumflyktiga föreningar som bensen och alkylerade bensener. Halterna av PAH föreningar är lättast att bestämma i prover där halterna av kolväteföreningar är höga. Prover med hög fukthalt kräver speciell analysprocedur. Eftersom provtagningsrören är av glas kan man se vilka prover som innehåller mycket fukt och visuellt avgöra när fukten drivits av. Prover med förväntat låga halter kolväteföreningar kräver större provtagningsvolym vilket medför längre provtagningstid. Identifiering (och kvantifiering) av ingående komponenter bör kunna underlättas om en massdetektor används i stället för flamjonisationsdetektor. Massdetektorn gör att man med hjälp av de enskilda komponenternas masstal och masspektra kan bestämma även de föreningar som inte finns med i de standardblandningar man använder. Analys med massdetektor har dock inte kunnat provas eftersom TCT-injektorn är sammanbyggd med gaskromatografen med flamjonisationsdetektor.

### 6.2 Framtida arbete

Mätning i fullstora anläggningar har inte undersökts i detta arbete. Det är därför svårt att ha en uppfattning om hur väl metoden fungerar när halterna blir så låga som de förväntas vara i dessa anläggningar som oftast både har god förbränning och har sofistikerade rökgasreningssystem. Jämförande mätningar där både konventionellt prov-

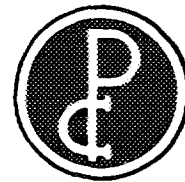


tagningsförfarande enligt standardiserade metoder och adsorbenttrör används vid samma anläggning bör genomföras.

## 7 REFERENSER

1. Benestad,C., Möller,M., Osvik,A., Ramdahl,T., Tveten,G. Air pollution from biomass heated boilers compared with that from waste incineration and oil combustion, Presenterat vid 3rd E.C. Conference on Energy from Biomass.
2. Trzcinski K. Bestämning av kolväten C<sub>6</sub>-C i gasprov. Studsvik Report Studsvik/EB-82/75.
3. Björkman E., Strömberg B., Release of chlorine from biomass at gasification conditions. TPS Report TPS-96/49
4. Aldén,H. Tjärprovtagning i LVG-anläggningen. Studsvik Arbetsrapport EP-89/29. 1989.

# CHROMPACK NEWS SPECIAL



82-03

## TENAX®

Tenax is a porous polymer based on 2,6-diphenyl-p-phenylene oxide. It was developed by AKZO Research Laboratories and introduced in GC by Van Wijk (4) in 1969-70.

As column packing Tenax is suitable for separation of high boiling polar compounds such as amines, alcohols, aldehydes, ketones and aromatic compounds.

Also Tenax is widely used as adsorbent in concentrating air and water pollutants.

### Tenax GC as column packing

The outstanding features of Tenax GC as column packing are:

- High thermostability (400° C)
- Relatively short retention time
- Relatively time for conditioning.

The thermostability of Tenax GC has been investigated by Sakodyskii (2). Thermogravimetric analysis showed no weight loss by heating Tenax GC upon 400° C while upon heating to 450° C the weight loss is 3,3%.

Daemen (3) showed that Tenax GC is a relative low polar porous polymer and besides it has a small specific surface area so the retention times of polar compounds are relative short. This implies that separations can be achieved at relative low operation temperature with additional advantage of longer column life.

Conditioning the column 20° C above operation temperature for at least 1 hour under a carrier gas flow (about 15 ml/min) gives satisfactory results.

A disadvantage of Tenax GC is the geometrical non-homogeneity, so special attention must be paid to pack the column sufficiently tied in order to obtain maximum efficiency. U-shaped and non-coiled columns can therefore be packed easily with Tenax GC whereas coiled glass or metal columns require special attention.

We strongly advise the use of our prepacked columns. For Tenax GC, in contrast to other porous polymers, it is no problem to get the desired inlet pressure, even at high temperatures (up to 375° C) as pressure drop over the column is small for all available Tenax GC mesh sizes.

### Examples of separations on Tenax GC

In table 2 a list of compounds separated on Tenax GC is shown.

In Chromatogram 1-15 examples of separations on Tenax GC are shown.

With the exception of the chromatograms shown in Chromatogram 1 and 2, all separations were made under the following conditions:

Column : 2 ft 1 in x 2.5 mm ID glass U-tube;  
 Column packing : Tenax-GC, 60/80 mesh;  
 Carrier gas : N<sub>2</sub> at 15 ml/min flow rate;  
 Detector : Flame ionization;  
 Hydrogen : 30 ml/min;  
 Air : 400 ml/min;  
 Injection volume : 2 µl (on-column injection).

The compounds separated, their concentration, temperature of separation and solvent are given in the caption to each chromatogram.

### Tenax TA as sorbent medium in concentrating air and water pollutants

Most air and water pollutants are present in low concentrations (ppm-ppb range) so pre-concentration of the pollutants is necessary for gas chromatographic analysis.

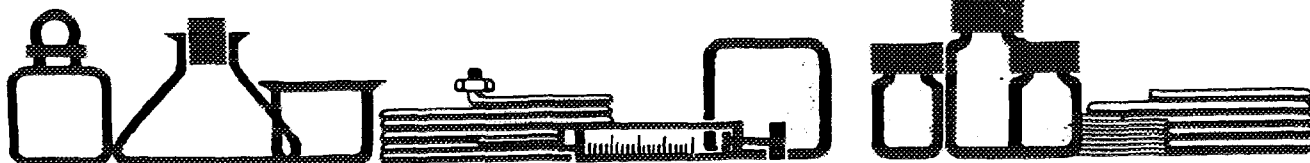
A useful concentration technique in measuring air pollution is drawing a known volume of air through a tube containing a sorbent medium.

Pre-concentration of water pollutants can be done either by leading the water sample through a sorption tube or by gas phase stripping of the volatile pollutants from the water sample by a stream of an inert gas onto a sorption tube.

### Ordering Information

Description	Mesh Size	Quantity	Cat. no.
Tenax GC®	35- 60	15 g	2451
Tenax GC®	60- 80	15 g	2450
Tenax GC®	80-100	15 g	2454
Tenax TA®	20-35	15 g	2442
Tenax TA®	35-60	15 g	2441
Tenax TA®	60-80	15 g	2440

Tenax GC® and Tenax TA® are registered trade marks of ENKA, The Netherlands.



FROM CHROMATOGRAPHERS – FOR CHROMATOGRAPHERS

Table 1

## ANALYSIS OF TRACE ORGANIC VAPOUR POLLUTANTS (from ref 29)

EXTRAPOLATED RETENTION VOLUMES AND SAFE SAMPLING VOLUMES FOR ORGANIC VAPOURS SAMPLED ON A 0.13-g TENAX ADSORBENT TUBE

Data are relevant to sampling parameters of flow-rate between 5 and 600 ml/min, vapour concentration below 250 mg/m<sup>3</sup> and temperatures up to 20°. Retention volumes are given at 20°. Desorption temperatures refer to a desorption volume of 50 ml.

Organic compound	Boiling point (°C)	Retention volume (l)	Safe sampling volume (l)	Safe sampling volume per g of adsorbent (l)	Desorption temperature (°C)
<b>Hydrocarbons</b>					
Pentane	36	0.59	0.29	2.2	70
Hexane	69	4.3	2.1	16	90
Heptane	98	23	11	85	110
Octane	125	100	50	390	120
Benzene	80	8.0	4.0	31	100
Toluene	111	50	25	190	120
Xylene(s)	138-144	400	200	1500	140
Cumene	152	600	300	2400	140
Trimethylbenzene(s)	165-176	1800	900	8900	150
Styrene	145	400	200	1500	140
Methylstyrene	167	1600	800	6000	150
Butadiene	-4	0.16		Not applicable	
<b>Chlorinated hydrocarbons</b>					
Chloromethane	-24	0.01		Not applicable	
Dichloromethane	40	0.52	0.2	1.5	70
Chloroform	62	2.5	1.2	9.3	90
Carbon tetrachloride	76	8.0	4.0	31	100
Chloroethane	12	0.1		Not applicable	
1,1-Dichloroethane	57	1.8	0.9	7.0	90
1,2-Dichloroethane	84	7.1	3.5	27	100
1,1,1-Trichloroethane	74	5.0	2.5	19	100
1,1,2-Trichloroethane	114	45	22	170	120
1,1,1,2-Tetrachloroethane	130	100	50	390	130
1,1,2,2-Tetrachloroethane	146	220	110	850	130
Vinyl chloride	-14	0.04		Not applicable	
Vinylidene chloride	32	0.28	0.1	1.1	60
1,2-Dichloroethylene	55	1.4	0.7	5.4	90
Trichloroethylene	87	7.4	3.7	28	100
Tetrachloroethylene	121	63	31	240	130
Allyl chloride	45	1.3	0.6	5	90
Chlorobenzene	131	34	17	130	120
<b>Other halogenated hydrocarbons</b>					
Bromomethane	4	0.14		Not applicable	
Fluorotrichloromethane	24	0.04		Not applicable	
2-Chloro-2-bromo-1,1,1-trifluoroethane	50	0.2	0.1	0.8	50
1,2,2-Trifluoro-1,1,2-trichloroethane	48	0.03		Not applicable	
<b>Esters</b>					
Methyl acetate	57	0.7	0.3	2.7	80
Ethyl acetate	71	4.6	2.3	18	100
Propyl acetate	102	25	12	92	120
Isopropyl acetate	90	8.0	4.0	31	100
Butyl acetate	126	110	55	420	130
Methyl acrylate	81	8.3	4.1	32	100
Ethyl acrylate	100	31	15	120	120
<b>Aldehydes and ketones</b>					
Acrolein	53	0.62	0.3	2.4	80
Acetone	56	0.7	0.3	2.7	80
Methyl ethyl ketone	80	4.3	2.1	16	100
Methyl isobutyl ketone	118	35	17	130	120
3,5,5-Trimethylcyclohex-2-enone	214	7400	3700	28000	170
Acetaldehyde	21	0.16		Not applicable	
<b>Alcohols</b>					
Methanol	65	0.04		Not applicable	
Ethanol	78	0.24	0.1	0.9	50
n-Propanol	97	1.1	0.5	4.2	80
Isopropanol	82	0.55	0.3	2.1	70
n-Butanol	118	6.6	3.3	25	100
Isobutanol	108	3.7	1.8	14	100
sec.-Butanol	99	2.8	1.4	11	90
n-Octanol	180	1800	900	6900	140
Allyl alcohol	96	1.2	0.6	4.6	80

After pre-concentration of the pollutants desorption from sorbent media can be effected either by solvent extraction or thermal elution.

Organic porous polymers have become popular in concentrating air and water pollutants. Among these porous polymers Tenax has become widely accepted in air and water analysis. This acceptance is mainly contributed by the fact that the sorption power of Tenax is nearly unaffected by water (12, 18) and repeated re-use of the sorbent (18).

Also the above mentioned high thermostability (thermal elution) and its compatibility with alcohols, amines, amides, acids and bases with good recovery characteristics makes Tenax very suitable as sorbent medium in air and water analysis.

A drawback disadvantage however are the relatively small break through volumes for light hydrocarbons and low molecular weight polar compounds thus limiting the sample volumes. If necessary another more active sorbent can be used in series with Tenax, for collecting low molecular weight compounds breaking through on Tenax (6).

Using Tenax as sorbent medium compounds up to C<sub>16</sub> (bp 290° C) have been determined (11).

A list of literature citing Tenax as sorbent in air and water pollution analysis is given by ref. (4-28).

An example of concentrating air pollutants on Tenax followed by gas chromatographic analysis with thermal elution injection and glass capillary column is shown in fig. 16.

**Typical characteristics of Tenax TA®**

Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	35
Pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	2,4
Average pore radius (nm)	200
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0,16

Recently Tenax TA® became available.

Although Tenax GC® after proper pretreatment has shown to be very useful as a trapping agent, some problems existed, especially with regard to aromatic hydrocarbons. Very often significant amounts of f.i. toluene, xylenes and ethylbenzene are observed in blank chromatograms of this materials.

By changing the process conditions a substantial reduction of the contribution of Tenax impurities to the blank values could be achieved, without changing the basic adsorption properties of the material.

So Tenax TA® is to be preferred to Tenax GC® for trace enrichment and consequent thermal desorption or liquid extraction. Before sampling adsorption tubes packed with Tenax TA® have to be heat treated at 340° C for at least 2 hours, or at 300° C for 12 hours, under an inert gas flow of about 20 ml/min.

Be sure that proper gas filters are installed. Tenax TA® to be used with liquid extraction can be cleaned by washing with the extraction solvents (30 ml/100 mg Tenax), followed by methanol (PA quality, also 30 ml/100 mg Tenax) and dry with clean nitrogen. Ultimately a heat treatment as described above should be applied.



Organic compound	Boiling point (°C)	Retention volume (l)	Safe sampling volume (l)	Safe sampling volume per g of adsorbent (l)	Desorption temperature (°C)
<i>Acids and anhydrides</i>					
Acetic acid	118	1.0	0.5	3.9	80
Acetic anhydride	140	1.0	0.5	3.9	80
Maleic anhydride	202	112	55	440	160
<i>Amines</i>					
Methylamine	-6.3	0.05		Not applicable	70
Ethylamine	17	0.35	0.15	1.2	80
Propylamine	48	1.1	0.5	4.2	80
Pyridine	116	10	5	39	130
Aniline	184	280	140	1100	170
<i>Miscellaneous</i>					
Acetonitrile	82	0.51	0.25	1.9	70
Acrylonitrile	78	0.89	0.45	3.5	80
Dimethylhydrazine	63	1.1	0.55	4.2	80
Epichlorhydrin	117	18	9	69	100
Ethylene oxide	14	0.06		Not applicable	
Ethyl mercaptan	35	0.9	0.45	3.5	
Nitrobenzene	211	18000	9000	69000	

**NEXT PAGE(S)  
left SLANK**

## RAPPORTFÖRTECKNING

Förteckning över tidigare publicerade rapporter, kan beställas hos Värmeforsk.

Telefax: 08-677 25 35

Telefon: 08-677 27 54

### Siffrorna inom parentes anger forskningsgrupp/program:

1 = Material- och kemiteknik

2 = Miljö- och förbränningsteknik

3 = Anläggningsteknik

4 = Hetvattenteknik

5 = Gasteknik

6 = Tillämpad förbränningsteknik

7 = Torkteknik

- |     |  |        |     |   |     |
|-----|--|--------|-----|---|-----|
| 531 | Järnsulfat som reduktionsmedel för konvertering från NO <sub>2</sub> till NO vid NO <sub>x</sub> -mätning i rökgaser<br>Martin Henriksson,<br>Sebastian Bäckström, Håkan Axelsson<br>och Evert Ljungström<br>februari 1995 | (2)    | 537 | Förbehandling av ytvatten för framställning av spädvatten med membranteknik<br>Bo Ramsbäck<br>februari 1995   | (1) |
| 532 | Sammanställning av EU-krav för förbränningsanläggningar<br>Anna-Karin Hjalmarsson<br>februari 1995   | (2)    | 538 | Organiska tillsatsmedel vid vattenbehandling i ångkraftanläggningar<br>Jüri Tavast<br>april 1995  | (1) |
| 533 | Polyetenrör för propandistribution<br>Jens Viebke<br>februari 1995   | (1, 5) | 539 | Inloppsfilter till gasturbiner<br>Mats Blomqvist<br>juni 1995   | (3) |
| 534 | Utvärdering av fjärrkyla i Västerås<br>Lars Lindgren, Urban Eklund<br>februari 1995  | (4)    | 540 | Expansionskuddar för direktförlagda fjärrvärmeledningar - med huvudinriktning på mineralullsprodukter<br>Sture Andersson, Bjarni Jensson<br>juni 1995 | (4) |
| 535 | Studie av drifterfarenheter från moderna dieselmotorbaserade kraftvärmeverk i Oskarshamn och Linköping<br>Rolf Öberg och Frank Dalerhult<br>februari 1995  | (3)    | 541 | Emissioner av kolväten och NO <sub>x</sub> vid låga luftöverskott i CFB<br>Robert Schuster<br>juni 1995   | (2) |
| 536 | Testning av komponenter som överhettarmaterial i en 65 MW <sub>v</sub> Pyroflow CFB-panna<br>Kari Peltola<br>februari 1995   | (1)    | 542 | Utveckling av en värmeöverföringsmodell för skorstenar vid gaseldning<br>Mikael Näslund<br>augusti 1995   | (5) |
|     |  |        | 543 | Kalibrering av gasflödesmätare (Calibration of gas flow meters)<br>Jerker Delsing<br>augusti 1995   | (5) |

- 544 On-line mätning av energiinnehåll i bio- och naturgas: En grundläggande studie av användning av ljudhastigheten som mått på energiinnehållet  
Jerker Delsing och Inge Blom  
augusti 1995 (5)
- 545 Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärmesystem  
Håkan Walletun och Peter Gummérus  
augusti 1995 (4)
- 546 Försmutningsförlopp i plattvärmeväxlare för fjärrvärmeabonmentcentraler  
Janusz Wollerstrand och Svend Frederiksen  
augusti 1995 (4)
- 547 Jämförelsemätningar av flödes hastighet mellan ultraljudsmätare av Clamp-On typ och debiteringsmätare i fjärrvärmeabonmentcentraler  
Jerker Delsing och Bernt Svensson  
augusti 1995 (4)
- 548 Utvärdering av fyra kontinuerliga emissionsmätsystem av enklare typ  
Henrik Harnevie, Laszlo Sarközi, Håkan Henriksson och Magnus Larsson  
oktober 1995 (2)
- 549 Predikterande emissionsmätsystem (PEMS) för emissionskontroll i förbränningsanläggningar  
Henrik Harnevie, Per Holmberg och Jan-Olov Jansson  
oktober 1995 (2)
- 550 Membranteknik - Karakterisering av partiklar i industrikondensat  
Ivan Falk  
oktober 1995 (1)
- 551 Konservering och åtgärder vid stillestånd  
Barbara Goldschmidt  
oktober 1995 (3)
- 552 Rökgasavsvavling för oljeeldade anläggningar  
Anna-Karin Hjalmarsson  
december 1995 (2)
- 553 Svavelabsorption vid sameldning av olja och biobränslen - optimeringsförsök i full skala  
Ulf Hagström, Karin Hedin och Anders Nordin  
december 1995 (3)
- 554 Livslängdsanalys av ångturbiner samt generell beskrivning av livslängdsområdet  
Lars Wrangsten  
december 1995 (3)
- 555 Reburning av en pulverflamma med lågvärdesgas  
Niklas Berge, Magnus Carlsson, Per Kallner och Birgitta Strömberg  
december 1995 (2)
- 556 Värmeväxlarenovering - Materialpåverkan vid kemisk rengöring av värmeväxlare  
Lars-Åke Cronholm  
december 1995 (4)
- 557 Korrosion i panntuber  
Ivan Falk  
december 1995 (1)
- 558 Utvärdering av de första SCR-anläggningarna i Sverige  
Cecilia Tärnström  
maj 1996 (2)
- 559 Erfarenheter från eldning med briketter och pellets från trä  
Kent Nyström  
december 1995 (3)
- 560 Installationer av NO<sub>x</sub>-reducerande åtgärder  
Anna-Karin Hjalmarsson och Karin Hedin  
januari 1996 (2)
- 561 Utvärdering av reduktionsmedel för SNCR  
Christer Andersson och Helena Woxlin  
januari 1996 (2)

- 562 Ersättning av HCFC 22 i stora värmepumpar  
Paul Ingvarsson  
februari 1996 (3)
- 563 Sammanställning av drifts- och underhållserfarenheter från kommunala och industriella kraftvärmeanläggningar  
Jan-Olof Gustafsson  
februari 1996 (3)
- 564 Korrosion hos överhettare i sulfatsodapannor  
Fredrik Bruno  
februari 1996 (1)
- 565 Installations of NO<sub>x</sub> control measures in Sweden(översättning av rapport 560)  
Anna-Karin Hjalmarsson och Karin Hedin  
februari 1996 (2)
- 566 Pulvereldning kol/rörflen/mald bränslekärna  
Sven Stridsberg och Karin Segerud  
mars 1996 (3)
- 567 Interface Oxidation and Lifetime of Thermal Barrier Coatings  
Xin-Hai Li  
mars 1996 (1)
- 568 Nyttiggörande av kondensat från rökgaskondensering  
Barbara Goldschmidt  
mars 1996 (3)
- 569 Effekter av olika tillsatser i eldningsolja  
Jonas Dyrke  
mars 1996 (3)
- 570 Utvärdering av förutsättningarna för SNCR i några mindre anläggningar  
Anders Kullendorff, Katarina Lorentzon  
april 1996 (2)
- 571 Alkalisering av ånga och kondensat med butanolamin och hydrazin  
Ivan Falk  
april 1996 (1)
- 572 Utvärdering av ny SNCR inblandnings teknik vid avfallspanna hos Uppsala Energi (System ROTAMIX™)  
G Moberg, H Sollenberg, H Westas  
april 1996 (2)
- 573 Beslutsstöd on line för minimering av NO<sub>x</sub> - Resultat från Örebro Energi  
Bengt Göran Bergdahl, Bohao Liao, Jan Sieurin  
maj 1996 (2)
- 574 Utvärdering av mekanisk och manuell provtagning av biobränsle vid energiverk  
Ronny Werkelin, Lennart Ryk  
juni 1996 (3)
- 575 Predikerande Emissionsmätsystem (PEMS) för emissionskontroll i biobränsleeldade förbränningsanläggningar  
Henrik Harnevie, Laszlo Sarközi, Sophia Trenkle  
augusti 1996 (2)
- 576 Reningsteknik vid rökgaskondensering  
Mats Westermark  
augusti 1996 (2)
- 577 Exponering av kylda och okylda material i simulerad förgasningsmiljö  
Ulf Engman, Eric Häggblom  
augusti 1996 (1)
- 578 Exposure of heat resistant materials in a synthetic biogas  
(Denna metallografiska undersökning har utförts inom huvudprojektet som finns rapporterat i rapport 577).  
Bo Ivarsson  
augusti 1996 (1)
- 579 Undersökning av försprödning och försprödningsmekanismer i material vid långa drifttider  
Magnus Gladh, Erik Skog  
augusti 1996 (1)
- 580 Värmeforsks mätandbok  
Lennart Gustavsson  
augusti 1996 (2)

- 581 Provtagning med membranteknik som anrikningssmetod samt framställning av ultrarent vatten för analysändamål  
Sofie Pehrsson  
augusti 1996 (1)
- 582 Utveckling av FTIR- och sondteknik för gasanalys i förbränningsrum  
Annika Johansson, Christer Andersson, Claes Tuhlin, Maria Karlsson, Lars-Erik Åmand  
augusti 1996 (2)
- 583 Termomekaniska egenskaper hos kulvert isolering av PUR-cellplast  
Gunnar Bergström, Jonas Karlsson  
augusti 1996 (4)
- 584 Handbok - Utbytesbehov i kontrollsystem för värmekraftverk  
Jan Tuszynski, Tage Eriksson  
december 1996 (3)
- 585 Remanent life assessment of creep resistant modified 12 % chromium steels: microstructural analysis and microstructural development models  
L Lundin, M Norell, H-O Andrén, L Nyborg  
september 1996 (1)
- 586 Validering av prediktionsmodeller för NO<sub>x</sub>-mätning  
Tomas Öberg  
oktober 1996 (2)
- 587 Oförstörande provning för livslängdsbedömning av högtemperaturanläggningar  
Jan Storesund  
oktober 1996 (1)
- 588 Gasseparation med membranteknik  
Barbara Goldschmidt  
oktober 1996 (1)
- 589 Korttidsprognoser för fjärrvärmelast och utetemperatur med on-linekopplade datorer  
Björn Malmström, Per Ernfors, Daniel Nilsson, Henrik Vallgren  
oktober 1996 (3)
- 590 Kombination av in-situ och kallekstrativ rökgasmätning med FTIR  
Christer Andersson, Johan Söderbom  
oktober 1996 (2)
- 591 Eldfasta material i värmeanläggningar  
Stig-Björn Westberg  
oktober 1996 (1)
- 592 SNCR - Förbättrad reglering genom modern gasanalysteknik, infångning och saltbildning av ammoniaköverskott vid rökgasrening  
Christer Andersson, Per Holmberg, Johan Söderbom  
oktober 1996 (2)
- 593 Katalytisk förbränning av biobränslen i en fluidisead bädd  
Tihamer Hargitai, Fredrik A Silversand  
november 1996 (3)
- 594 Förändringar i mikrostrukturen under kryp hos enkristall Ni-bas superlegeringar  
Pamela Henderson, Jacek Komenda  
december 1996 (1)
- 595 Korrosionsutmattnings i ångturbinnskovlar - Erfarenheter, inverkan och möjliga åtgärder  
Jüri Tavast  
december 1996 (1)
- 596 Provtagning av tyngre kolvägen med adsorptionsrör  
Birgitta Strömberg  
december 1996 (2)
- 597 Bestämning av kalkstensreaktivitet med avseende på SO<sub>2</sub> och modellering av avsvavling vid förbränning i fluidiserad bädd  
Tobias Mattisson, Anders Lyngfelt  
december 1996 (2)
- 598 IEA Annex 21; Globala miljöfördelar med industriella värmepumpar  
Mats Westermark  
december 1996 (3)



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:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).