

Kulkonsekvensundersøgelse

Luftforureningsmæssige konsekvenser af kulfyring på danske kraftværker

DELRAPPORT, SÆT 1

Rapport over Studstrupundersøgelse
Lars Jacobsen, Dansk Kedelforening
Februar-April 1979

Emissionsforhold ved elproduktion i 1980'erne
Lars Jacobsen, Dansk Kedelforening
Juli 1980

504.3.054.2:662.66:662.613

B1-2

ex 2

Delrapporterne udgør en del af kulkonsekvensudvalgets arbejdsgrundlag og er finansieret af miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Offentliggørelsen af delrapporterne betyder ikke nødvendigvis, at de pågældende indlæg giver udtryk for miljøstyrelsens synspunkter. Miljøstyrelsen finder imidlertid offentliggørelsen hensigtsmæssig, dels til belysning af hovedrapportens indhold og konklusioner, dels fordi delrapporterne indeholder en række oplysninger, som i anden sammenhæng kan være af interesse.

504.3.054.2

ex. 2

B1-2

Kulkonsekvensundersøgelse :
Luftforureningsmæssige konsekvenser af kulfyring på danske kraftværker / Miljøstyrelsen.
[Kulkonsekvensudvalget]

Kbh, 1980.

[Delrapport, sæt 1]

207 s

~~Henrik Petersen 13/9 1984~~



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	: Resume og konklusion	5
2	: Indledning	11
3	: Opgavestilling	13
4	: Anlægsbeskrivelse	23
5	: Målemetoder	28
5.1.	- 5.5. Faststofmåling	29
5.6.	- 5.8. Gasmåling	36
5.9.	Sekundære målinger	41
5.10.	. 5.12. Udtag af prøver på anlæg	42
5.13.	Måling af fyrrumstemperatur	45
5.14.	Aflæsning af driftsinstrumenter	46
6	: Analysemetoder	47
	PIXE, AAS, NAA, FAAS, Chemiluminiscens, Sulfat	
	Sigtning og PAH-analyse	
7	: Måleresultater	62
8	: Analyseresultater	94
9	: Sammenligning med tilsvarende undersøgelser	134
10	: Reference - liste	145

RESUME OG KONKLUSION.

Dansk Kedelforenings måletekniske afdeling har, i samarbejde med Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium, Isotopcentrallen og Civilforsvarets analytisk-kemiske laboratorium udført målinger og analyser til belysning af konsekvenserne ved overgang fra fueloliefyring til kulfyring på danske kraftværker. Målingerne er 2. fase i et større udredningsarbejde med titlen: "Undersøgelse af miljømæssige konsekvenser af forøget kulanvendelse i kraftværker".

Som forberedelse til de praktiske målinger, blev det undersøgt hvilket dansk kraftværk, man kunne anvende som forsøgsanlæg. Det var en betingelse at anlægget var både fueloliefyret og kulfyret og at støvudskilningsanlægget ved kulfyring var af en rimelig repræsentativ standard. Efter aftale mellem Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium, Studstrupværket og Dansk Kedelforening blev det foreslået at gennemføre undersøgelserne med kulfyring på Studstrupværket blok 1. Referencemålingerne ved fueloliefyring kunne gennemføres på Studstrupværket blok 2. Denne indstilling blev accepteret af udredningsprojektets styringsgruppe.

Undersøgelsen er derfor gennemført i perioden 1979.02.14. til 1979.04.05. på Studstrupværket ved Århus.

Målingerne på anlægget har omfattet bestemmelse af

SO₂/SO₃ -emission

NO_x -emission

Total faststofemission

Kemisk sammensætning af emitteret stof

Variation i emission med brændslet

Måleresultaterne kan meget forenklet udtrykkes ved disse mid-
delværdier i forhold til produceret energi:

SO_x-emission, gasfase:

Polske kul	(0,7 % svovl)	5100 g/MWh
Sydafrikanske kul	(1,0 % svovl)	7587 g/MWh
Fuelolie	(2,8 % svovl)	9676 g/MWh

NO_x-emission:

Polske kul	(1,01 % N)	2952 g/MWh
Sydafrikanske kul	(1,57 % N)	3738 g/MWh
Fuelolie	(0,23 % N)	1814 g/MWh

Total faststofemission:

Polske kul	(207 mg/m ³ , n,t)	617 g/MWh
Sydafrikanske kul	(168mg/m ³ , n,t)	452 g/MWh
Fuelolie	(2,54 g/kg olie ~209mg/m ³ , n,t)	545 g/MWh

Kemisk sammensætning af emitteret stof:

Analyseresultaterne er i det følgende udtrykt som en æn-
dringsfaktor ved overgang fra fueloliefyring til kulfyrring,
således at forstå at emissionen af for eksempel antimon i
gennemsnit bliver 3 gange større pr. MWh-produceret energi
ved kulfyrring frem for fueloliefyring.

Ændringsfaktoren for de forskellige stoffer er i øvrigt:

		ÆNDRINGSFAKTOR:	
<u>Stof:</u>		<u>Middel:</u>	<u>Område: x)</u>
Antimon	Sb	3	2 - 5
Arsen	As	9	6 - 11
Barium	Ba	123	73 - 225
Bly	Pb	2	0,4 - 5
Cadmium	Cd	3	1,6 - 6
Calcium	Ca	42	25 - 78
Gallium	Ga	6	3 - 12
Jern	Fe	13	9 - 20
Kalium	K	24	13 - 37
Kobber	Cu	1	0,5 - 2
Kviksølv	Hg	60	8 - 350
Mangan	Mn	30	9 - 67
Molydæn	Mo	0,7	0,3 - 12
Nikkel	Ni	0,09	0,05 - 0,13
Selen	Se	13	4 - 29
Silicium	Si	15	11 - 20
Strontium	Sr	108	69 - 157
Svovl (partikulær)S		0,08	0,05 - 0,1
Titan	Ti	122	71 - 250
Vanadium	V	0,03	0,03 - 0,04
Zink	Zn	2	0,3 - 6

Tilsvarende er fundet:

Svovloxider	SO _x	0,7	0,4 - 1,1
Kvælstofoxider	NO _x	2	1,4 - 2,6
Total partikelmængde		1	0,7 - 1,3

x) Område: Værdierne i denne kolonne angiver variationsområdet for ændringsfaktoren, når der tages hensyn til standardafvigelsen på middelanalyseresultaterne for både kulfyring og fueloliefyring.



Foruden ovennævnte stoffer emitteres alene ved kulfyring følgende stoffer i målelig mængde:

Aluminium	Al
Cerium	Ce
Lanthan	La
Rubidium	Rb

Efter dette reduceres emissionen kun for tre partikulære stoffer ved overgang til kulfyring, nemlig de tre hovedbestanddele i olieasken:

Nikkel	Ni
Svovl	S
Vanadium	V

Dertil kommer en vis reduktion af SO₂ emissionen, afhængig af kultypen.

Ved kulfyring er fundet en indbinding af svovl i slagge og udskilt aske af følgende størrelsesorden:

Slagge	: 0,1 - 0,2 % af indfyret svovl
Udskilt aske	: 4,0 - 7,4 % af indfyret svovl.

I modsætning til forskellige amerikanske undersøgelser, er der ved de her rapporterede målinger konstateret en væsentlig indbinding af kviksølv i specielt flyveaske-andelen udskilt i elektrofilteret. Af den med kullene indfyrede kviksølvmængde er følgende andele fundet udskilt:

Slagge	: 0,1 % af indfyret
Udskilt aske	: 48-76 % af indfyret

Ved målingerne er det konstateret at koncentrationen af visse stoffer stiger med faldende partikelstørrelse.

Dette gælder for eksempel :

Arsen	As
Bly	Pb
Gallium	Ga
Molybdan	Mo
Nikkel	Ni
Strontium	Sr
Vanadium	V
Zink	Zn

Målingerne har også vist at for eksempel arsenmængden i faststoffraktionen mindre end $0,4 \mu\text{m}$, er uafhængig af mængden af total støv i fraktionen. For eksempel er der målt Arsen-koncentration på ca. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3, \text{n,t}$ ved totalstøv (mindre end $0,4 \mu\text{m}$) mellem 4 og $10 \text{mg}/\text{m}^3, \text{n,t}$.

Det medfører at en forøget elektrofilter-effektivitet ikke nødvendigvis giver lavere emission af ovennævnte stoffer, da de mindste partikler er vanskeligt at udskille.

Målingerne har dog vist at mængden af faststof i for af små partikler er begrænset, hvorfor den absolutte stofmængde på de små partikler er begrænset. Det er således fundet at ovennævnte 8 stoffer fordeler sig således (regnet i forhold til mængden indfyret med kullene):

Udskilt med slagge	2,9 %
Udskilt i elektrofilter	95,5 %
Emitteret som partikler $> 2,4 \mu\text{m}$	\supset 1,5 %
Emitteret som partikler $< 0,4 \mu\text{m}$	0,4 %

Det fremgår heraf at ca. 98 - 99 % af pågældende stoffer udskilles med slagge og aske fra elektrofilteret, mens kun 1-2 % emitteres.



Hovedkonklusionen af de udførte målinger på Studstrupværket bliver således at emissionen stiger for alle stoffer ved overgang til kulfyring med undtagelse af emissionen af partikulære svovlforbindelser, nikkel og vanadium.

Efter afslutning af Studstrup-undersøgelsen er i anden sammenhæng udført målinger på Vestkraft blok 2 (september 1979).

Sammenligning mellem måleresultater fra Studstrupværket og fra Vestkraft blok 2, som er ombygget til kulfyring i 1978, viser at nyere røgrensningsanlæg for partikler er i stand til at reducere den specifikke partikelemission væsentligt.

På grundlag af dette vil det være betænkeligt ukritisk at bruge resultaterne her rapporteret til beregning af emissionen fra fremtidige kulfyrede kraftværkskedler.

Resultaterne er ligeledes uanvendelige ved vurdering af ældre anlæg med simple røgrensningsanlæg, som afbøjningsudskillere og multicyklonanlæg, idet disse anlæg emitterer partikler med middelkornstørrelse væsentligt over de her fundne 12 μm .

Studstrup-undersøgelsen er således repræsentativ alene for kulfyrede anlæg bygget omkring 1965-1973 udstyret med elektrostatisk askeudskiller, og resultaterne fra Vestkraft blok 2 mere er retningsgivende for emissionsforholdene fra nyere og/eller ombyggede anlæg.

DANSK KEDELFORENING

Måleteknisk afdeling

August 1979

Afdelingsleder

Leif Hansen

Sagsbehandler

Lars Jacobsen



2. INDLEDNING.

I forbindelse med det af Miljøstyrelsen etablerede udredningsarbejde til undersøgelse af de miljømæssige konsekvenser af forøget kulanvendelse i kraftværkerne, er i undersøgelsens 2. fase gennemført emissionsmålinger på Studstrupværket. Til overvågning af målingernes gennemførelse nedsatte kulkonsekvensudvalget en styringsgruppe bestående af:

Laboratorieforstander H. Flyger,	Miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium
Direktør Knud Hansen,	Dansk Kedelforening
Ekspeditionssekretær P.J. Snare,	Energistyrelsen
Overingeniør H.C. Mortensen,	Miljøstyrelsens 12.kontor (formand)
Afdelingsingeniør J. Richen,	IFV.

Til det løbende arbejde med projektets overvågning udvalgtes fra miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium

Civilingeniør Niels Zeuthen Heidam.

Den praktiske prøvetagning og måling på Studstrupværket blev gennemført af et prøvehold fra Dansk Kedelforenings måletekniske afdeling

med Lars Jacobsen som prøveleder.

Brændselsanalyser er udført af Dansk Kedelforenings brændselslaboratorium.

Analyser af de udtagne faststofprøvers kemiske sammensætning er udført af Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium, Niels Bohr Instituttet.

Visse prøver blev analyseret for kviksølvindhold hos Isotopcentralen.

Seks filtre fra emissionsmålingen er udtaget for analyse hos Civilforsvarets Analytisk/kemiske laboratorium for orienterende analyse for partikelbundne polyaromatiske kulbrinter (PAH).

Prøvetagningen på Studstrupværket blev gennemført i perioden 1979.02.14. til 1979.04.05. og ovennævnte kemiske analyser i perioden 1979.02.19. til 1979.07.15., og der rettes en varm tak til driftspersonalet for velvillighed og hjælp under målingerne. En særlig tak rettes til:

Driftschef, civilingeniør E. Schumacher
Ingeniør Anbo og
Vagtgående driftspersonale.



3. OPGAVESTILLING.

Ifølge aftale af 1978.11.20 mellem Miljøstyrelsen og Dansk Kedelforening skulle dk-måleteknisk afdeling gennemføre 2. fase af en undersøgelse over de forureningsmæssige konsekvenser af den forøgede kulanvendelse i danske kraftværker.

Undersøgelserne skulle udføres som beskrevet i forsøgsplanen "Undersøgelse af de miljømæssige konsekvenser af den forøgede kulanvendelse i kraftværker" dateret miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium den 27. juli 1978 med følgende ændringer:

1. Analyserne udføres ikke ved hjælp af neutronaktivering.
2. Der gennemføres kun én målekampagne for sydafrikanske og en blanding af sydafrikanske og canadiske kul. Der gennemføres to kampagner for polske kul.

Forsøgsplanen findes som bilag 3.1 til dette afsnit.

Det fremgår heraf at måleprogrammet omfatter måling af:

SO ₂ /SO ₃ (vaske-flasker)	(kul/olie)
NO _x (registrerende måleudstyr)	(kul/olie)
Hg (flammeløs atomabsorbtionsspektrometri)	(kul)
Totalt støv (4 m ³ /h-udstyr)	(kul/olie)
Totalt støv (registrerende måleudstyr)	(kul)
Totalt støv (60 m ³ /h-udstyr)	(kul)
Kornstørrelsesfordeling (kaskade-impaktor)	(kul/olie)

Der ud over skulle udtages prøver af indfyret brændsel, slagge fra fyrrum og udskilt aske fra elektrostatisk askeudskiller.

Udvalgte prøver fra målingerne skulle analyseres hos Miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium på Niels Bohr Institutet ved protoninduceret røntgenfluorescens spektrometri (PIXE-analyse).

Nogle prøver skulle analyseres ved atomabsorbtionsspektrometri (AAS) på dk-laboratoriet.

ÆNDRINGER I PRØVEPROGRAM:

På grund af tidsforløbet fra aftale med Studstrupværket 1978.07.14 til indgåelse af aftalen mellem Miljøstyrelsen og Dansk Kedelforening, underskrevet 1978.12.20 og iværksættelsen af måleprogrammet 1979.02.15, havde brændselssituationen på Studstrupværket ændret sig således:

- a) De canadiske kul var opbrugt og
- b) mængden af tilgængelige polske kul var reduceret.

Måleprogrammet blev derfor ændret til:

- 1) Polske kul : 1 måleserie á 2½ måledag
- 2) Sydafrikanske kul : 2 måleserier á 2 måledage med ca.
14 dage tidsmellemlum.
- 3) Fuelolie : 1 måleserie á 2 måledage.

Under forundersøgelserne opstod problemer med måling af gasformigt kviksølv, hvorfor denne måling blev opgivet til fordel for en bestemmelse af kviksølvemissionen ved en balance mellem indfyret med brændslet, udskilt med slagge fra fyrrum og udskilt med aske i elektrofilteret.

Ved afprøvning af målemetoderne for NO_x-emission, viste Saltzman-metoden sig uanvendelig ved måling i røggas, hvorfor der



alene skulle måles med registrerende måleudstyr af chemiluminescens-typen.

Miljøstyrelsens
Luftforureningslaboratorium

1978-07-27

Undersøgelse af de miljømæssige konsekvenser
af den forøgede kulanvendelse i kraftværker

Sign.:

Bilag nr.: **3.1.**

Projektplan for fase 2: Emissionsmålinger

1. Formålet med emissionsmålingerne er

- A. At bestemme svovldioxid, kvælstofoxider, kviksølv og totalt støv samt dets sammensætning og kornstørrelsesfordeling i emissionen fra et typisk dansk kraftværk.
- B. At bestemme denne emission i forbindelse med fyring med forskellige typer kul, som må antages at være repræsentative for det nuværende og/eller det fremtidige forbrugsmønster, samt at bestemme emissionen, i forbindelse med fyring med fuelolie.
- C. At vurdere ændringerne i emissionen som følge af anvendelsen af forskellige brændselstyper.
- D. At vurdere ændringerne i emissionen som følge af overgang fra olie-fyring til kulfyring.

2. Forsøgsplan

Målingerne er planlagt iværksat og afviklet i løbet af efteråret 1978 og tænkes at foregå i et samarbejde mellem Dansk Kedelforening (DKF) og Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium (ML). Desuden tænkes Isotopcentralen/ATV (IC) inddraget i en forundersøgelse på Vestforbrænding i København og muligvis også i de egentlige målinger der er tænkt henlagt til Studstrupværket ved Århus. Herudover tænkes Risøs Isotoplaboratorium inddraget i samarbejdet med grundstofbestemmelser ved hjælp af neutronaktiveringsanalyser.

Studstrupværket i Århus er ca. 10 år gammelt og er opdelt i to blokke. Blok 1 med en maksimal effekt på 225 MWe fyres med enten olie eller kul. Blok 2 er rent oliefyret. Hver af blokkene er forsynet med en 130 m høj skorsten, som i ca. 30 m's højde er delvist forberedt til emissionsmålinger. Blok 1 er desuden forsynet med et elektrofilter. På Studstrupværket undersøger man for tiden mulighederne for at anvende forskellige kul typer, både sådanne som er typiske for det nuværende forbrug og mere "eksotiske" typer, som kan blive aktuelle i fremtiden. Værket anvender for nærværende både polske, canadiske og sydafrikanske kul. Det er hensigten at koordinere emissionsmålingerne med forbrændingen af rent polske og sydafrikanske kul samt en blanding af sydafrikanske og canadiske kul i blok 1 og med forbrænding af olie i blok 2.

I perioder, hvor der forbrændes enten rent polske, sydafrikanske eller en blanding af sydafrikanske og canadiske kul, påregnes der gennemført 2 målekampanjer, således at variationen i emission ved forbrænding af kul af samme type (land) og imellem kul af forskellig type (land) kan vurderes. Hver kampagne består af 2 effektive måledage, i hvilke blok 1 kører på fuldlast. I en periode hvor blok 2 kører på fuldlast med olie, gennemføres 1 kampagne af 1 effektiv måledags varighed.

Som nævnt tænkes målingerne gennemført i løbet af efteråret 1978, men den nøjagtige tidsplan afhænger dels af kullasternes ankomst til Studstrupværket, dels af mulighederne for at køre de enkelte blokke på fuldlast; i den henseende udgør den oliefyrede blok 2 et særligt problem, da den normalt kører intermitterende. Den detaljerede tidsplan må derfor aftales løbende med Studstrupværket.

3. Forundersøgelser

Før emissionsmålinger af kvælstofoxider og kviksølv iværksættes, tænkes gennemført en forundersøgelse med det formål at afklare om kvælstofoxida-målinger hensigtsmæssigt kan foretages ved hjælp af registrerende måleudstyr (chemiluminescens) og at finde frem til en velegnet metode til bestemmelse af kviksølv i røggas.

A. Kvælstofoxider

NO_x måles normalt med den såkaldte Saltzmann-metode efter VDI-retningslinier, men metoden anses ikke for at være fuldt pålidelig. DKF og ML vil derfor i fællesskab undersøge, om det er muligt at anvende eksisterende, registrerende chemiluminescens udstyr, beregnet for immissionsmålinger i atmosfæren, til måling af de væsentligt højere emissionsniveauer i røggas. Dette tænkes gennemført ved at udstyre de to chemiluminescens apparater med fortyndingsaggregater (fortynding ca. 1:100), som DKF fremstiller.

Forundersøgelsen vil dels bestå af sammenlignende målinger i laboratoriet med de to apparater og dels af en 3-dages målekampagne på Amagerværket. Kvælstofoxidkoncentrationen i værkets skorsten vil blive bestemt dels ved hjælp af Saltzmann-metoden og dels ved hjælp af DKF's og ML's chemiluminescensudstyr. Med en midlingstid på ca. 1h, kan der foretages 6-8 målinger pr. dag.

I tilfælde af at chemiluminescensudstyret viser sig egnet til formålet, er det hensigten at bruge DKF's udstyr som supplement til den manuelle Saltzmann-metode i forbindelse med undersøgelsen på Studstrupværket.

B. Kviksølv

Erfaringen har vist, at luftens indhold af kviksølv i mange sammenhænge er vanskeligt at bestemme.

Det er derfor hensigten at foretage en forundersøgelse omfattende sammenlignende målinger mellem de af DKF og IC benyttede metoder i en kviksølv-emitterende skorsten og på basis heraf udvælge den bedst egnede metode til brug i forbindelse med Studstrupundersøgelsen.

Som måleobjekt kan Vestforbrændings skorsten, hvor DKF allerede gennemfører Hg-målinger, anvendes. Der tænkes gennemført en målekampagne af 3 dages varighed med 6-8 målinger pr. dag med en midlingstid på ca. 1h.

DKF benytter en metode, ved hjælp af hvilken kviksølv opsamles i en kaliumpermanganatopløsning, som så in situ underkastes en analyse med flammeløs atomabsorption (Perkin Elmer-Coleman). Metodens effektivitet er ikke undersøgt systematisk.

IC benytter en metode, med hjælp af hvilken gasformigt kviksølv opsamles på et tyndt, fintskåret guldfolie, hvis kviksølvindhold derpå bestemmes i laboratoriet ved hjælp af atomabsorption. Med denne metode opsamles foruden elementært kviksølv luftens indhold af kviksølvklorid, mono- og dimethylkviksølv.

Udfaldet af forundersøgelsen vil være afgørende for om Hg-målingerne på Studstrupværket skal forestås af DKF eller IC.

4. Målingernes gennemførelse

Målingerne udføres af DKF og evt. IC, jfr. vedlagte tilbud og kontraktudkast.

Svovldioxid. Målinger og analyser foretages af DKF efter VDI-retningslinier (absorption i en serie af vaskeflasker).

Der regnes med 6-10 prøver pr. dag.

Kvælstofoxider. Målinger og analyser foretages af DKF efter VDI-retningslinier (Saltzmann-metoden), suppleret med registrerende målinger med modificeret chemiluminescens apparatur såfremt denne metode skønnes egnet til formålet.

Der regnes med 4-6 prøver pr. dag.

Kviksølv. Målinger foretages af DKF eller af IC med den efter forundersøgelsen valgte metode. Kviksølv måles kun under forbrænding af kul.

Der regnes med 6-8 prøver pr. dag.

Støvmålinger. Målingerne foretages af DKF efter VDI-retningslinier.

I medfør heraf udføres kumulerende, isokinetiske målinger i 6-8 punkter over en skorstensdiameter; de samme målinger gentages med nye filtre etc. over en diameter vinkelret på den første. Resultaterne fra to sammenhørende diametre regnes sammen til et måleresultat. Alle målinger foretages efter elektrofilteret.

A. Totalt støv

a. Partiklerne opsamles i et kvartsuld-filter ($4 \text{ m}^3/\text{h}$) og den totale specifikke støvmængde bestemmes ved udvejning.

Der påregnes 3-6 måleresultater (ca. 8 eksponerede filtre) pr. dag.

b. Den totale støvkoncentration måles med registrerende optisk udstyr.

B. Støvetts kornstørrelsesfordeling

a. Med cyklonudstyr ($60 \text{ m}^3/\text{h}$) opsamles partikler større end ca. 5 μm , partiklerne der passerer cyklonen opsamles (ca. 1/2 vægtprocent) på et nålefilter.

Fraktionsmængderne bestemmes ved vejning. Fraktionen af store partikler kan i laboratoriet centrifugeres og derved opdeles i underfraktioner. Cyklonprøver tages kun under kulfyring.

Der regnes med 3-6 måleresultater (ca. 8 cyklonprøver) pr. dag.

b. Med kaskadeimpaktor opsamles partiklerne i 5 størrelsesfraktioner (0.2-10 μm) på udvejede Al-folier. Partikler, som er mindre end 0.2 μm , opsamles efter kaskadeimpaktoren på et kvartsfiberfilter. Fraktionsmængderne bestemmes ved vejning.

Der påregnes ca. 3 måleresultater pr. dag, svarende til $2 \times 3 \times 5 = 30$ Al-folier og $2 \times 3 = 6$ kvartsfiberfiltre.

C. Udskilt støv

Der påregnes udtaget 1 prøve pr. dag af det støv, som er udskilt af elektrofilteret. Ved udvejning eller ved sammenligning af rengasmåleresultater med data fra værket om askemængde m.v. kan elektrofilterets effektivitet vurderes.

Disse prøver udtages kun under kulfyring.

D. Støvetts sammensætning

ML har gennemført forundersøgelser med henblik på at finde frem til den bedste analyseteknik til bestemmelse af grundstofsammensætningen af røggas og askepartiklerne.

Resultatet heraf er, at med de ovenfor nævnte prøvetagningsmetoder og -apparaturer, vil neutronaktiveringsanalyse (NAA) være bedst egnet som analysemetode. Prøverne egner sig kun i ringe grad til PIXE-analyser. Der påregnes udført NAA på pulverprøverne fra cyklonen og fra elektrofilteret og på Al-folierne samt kvartsfiberfiltrene fra kaskadeimpaktoren. Analyserne udføres på Risøs Isotoplaboratorium efter at vejninger m.v. er udført af DKF.

5. Sammenfatning

Nedenfor er opregnet målingernes omfang pr. måledag.

Program for kul

SO ₂ /SO ₃	6-10 måleresultater
NO _x (Saltzmann)	4- 6 -
NO _x (registrerende måleudstyr)	kontinuert
Hg	6- 8 -
Totalt støv (kvartsuldfilter)	3- 6 -
Totalt støv (registrerende)	kontinuert
Cyklon m. efterfilter	3- 6 -
Kaskadeimpaktor	3- 4 -
Askepartikler	1 -

Program for olie

Som for kul, men med udeladelse af Hg-målinger, cyklonprøvetagning og prøvetagning af elektrofilterstøv.

Appendiks

Reduceret projektplan for fase 2: Emissionsmålinger.

1. Formålet uforandret

2. Forsøgsplan

Som tidligere beskrevet, dog således at der kun gennemføres én målekampagne og ikke som foreslået ført to målekampagner. Herved bortfalder mulighederne for at vurdere variationen i emissionen ved forbrænding af kul af samme type (fra samme land).

3. Forundersøgelser uforandret.

4. Målingernes gennemførelse

Som tidligere beskrevet, dog med den ændring, at analyserne ikke udføres ved hjælp af neutronaktivering på grund af de meget høje omkostninger, der er forbundet hermed.

ML undersøger i øjeblikket mulighederne for at udføre analyserne ved hjælp af PIXE. I forbindelse med PIXE analyserne skal der dog udføres en del absolutbestemmelser af ét evt. to grundstoffer ved hjælp af neutronaktivering og atomabsorption.

5. Sammenfatning uforandret.



BLOK 2 : mærkeydelse : 255 MW I praksis : 265 MW brutto

Idriftsat

1972

Kedel:

Konstruktion : Babcock & Wilcox

Type : Beholderkedel

Fabrikat : A/S Vølund

Ydelse : 760 tons damp/h á 165 kp/cm², 545 °C

Fyringsanlæg : 15 stk. Y-jet dampforstøvningsbrændere
i 3 etager på kedlens bagvæg. Olietryk
6-17 kp/cm², damptryk 10 kp/cm²

Brændsel : Fuelolie via 3 stk. 50 % fyringspumper
med forvarmere.

Askeudskiller : Røggasrensning er ikke etableret, hvilket
heller ikke er praksis på rent oliefyrede
anlæg.

Skorsten : Betonkappe med stálkerne med indvendig
diameter 4,134 meter. Skorstenshøjde 124
meter.

Måleplan : Målestudse er anbragt på 1. galleri ca.
21 meter over skorstensbund og ca. 18 me-
ter over røgkanalernes indløb i skorste-
nen, svarende til ca. 4 × diameteren.

Som det fremgår af ovenstående kan blok 1's kedel fyres med kulstøv svarende til fuld dampproduktion, hvorfor dette anlæg så vidt muligt kører med fuld belastning. Blok 2 kan kun fyres med fuelolie, hvorfor dette anlæg kører som reguleringsanlæg i Elsam's samkøringssystem. Det medfører at blok 2 i perioder er ret lavt belastet.

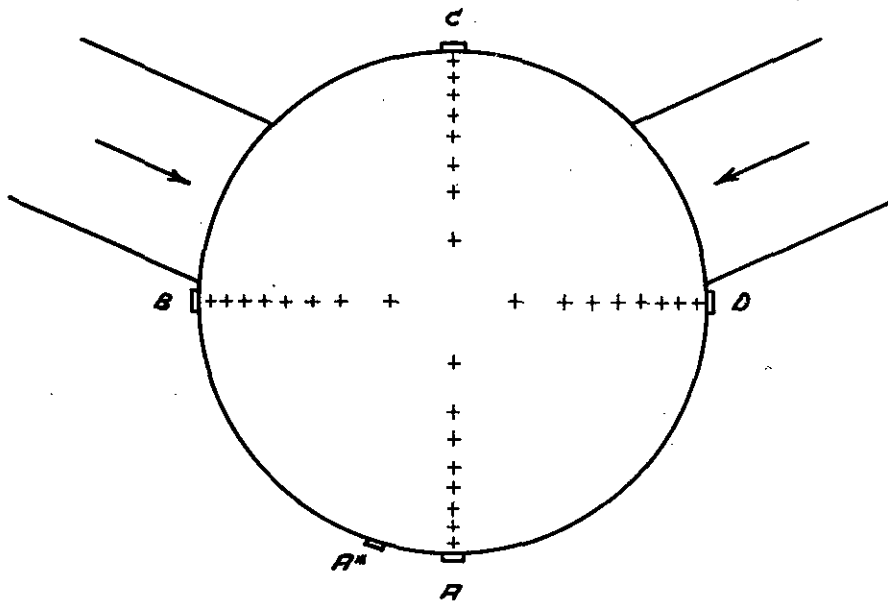
MÅLESTEDER I SKORSTENE

Som nævnt ovenfor er målestederne for emissionsmålingerne anbragt i skorstenene i kote 42 henholdsvis 21. Målestudsenes placering på stålkernerne fremgår af bilag 4.1 (blok 1) og bilag 4.2 (blok 2). Som det ses, er hvert sted monteret med 5 målestudse placeret i forhold til kanalindløb som skitseret.

Målepunkterne på radierne er markeret med +. I hele tværsnittet er markeret og anvendt 32 målepunkter for faststofmålingerne.

STUDSTRUPVÆRKET BLOK 1

Målested i skorsten



*Registrerende måleudstyr for faststofmåling
monteret i diameter D-B*

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

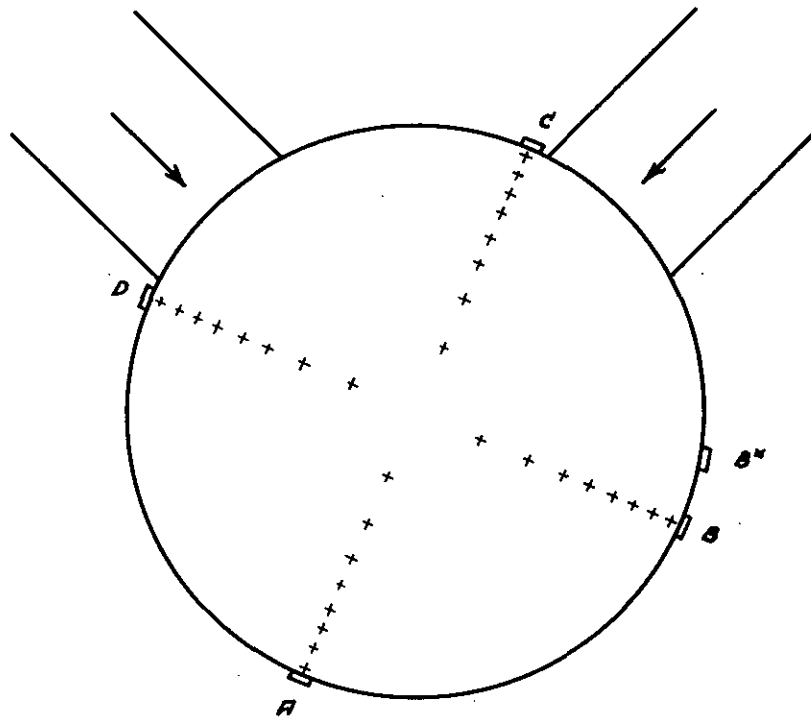


Sign.: 43

Bilag nr.: 4.1

STUDSTRUPVERKET BLOK 2

Målested i skorsten



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.: 47

Bilag nr.: 4.2.

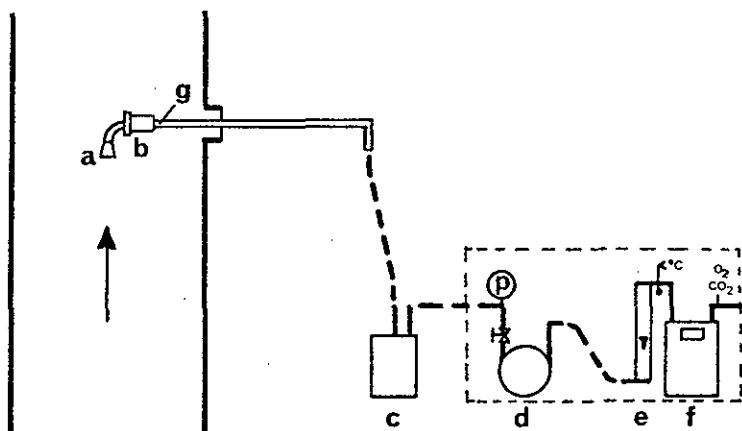


5. MÅLEMETODER.

	Side
5.1. Faststofmåling med 4 m ³ /h-udstyr	5.1.
5.2. Faststofmåling med 60m ³ /h-udstyr	5.2.
5.3. Faststofmåling med kaskade-impaktor	5.3.
5.4. Faststofmåling med cyklon/filter-måleudstyr	5.5.
5.5. Faststofmåling med registrerende måleudstyr	5.6.
5.6. NO _x -måling ved chemiluminescens	5.8.
5.7. SO ₂ -måling med vaskeflasker	5.11.
5.8. Hg -måling	5.12.
5.9. Sekundære målinger	5.13.
5.10. Udtag af kulprøver	5.14.
5.11. Udtag af slaggeprøver	5.15.
5.12. Udtag af udskilt flyveaske	5.16.
5.13. Måling af fyrrumstemperatur	5.17.
5.14. Aflæsning af driftsinstrumenter	5.18.

5.1. Faststofmåling med 4 m³/h-udstyr.

Måleudstyret er skitseret nedenfor.



Dette udstyr baseres på opsamling af faststoffet fra en udsuget delrøgstrøm i et stålhylster pakket med ca. 2 gram kvartzfibre.

Filteret (b) er anbragt umiddelbart efter udsugningssonden (a) inde i røgstrømmen så ekstra opvarmning er unødvendig.

Udsugningssondens størrelse og udsugningshastigheden bestemmes efter hastighedsmåling i hvert af de fastlagte målepunkter i kanaltværsnittet.

Der er udsuget 5 minutter fra hvert af de 8 målepunkter på hver måleradius, med anvendelse af ét målefilter pr. radius.

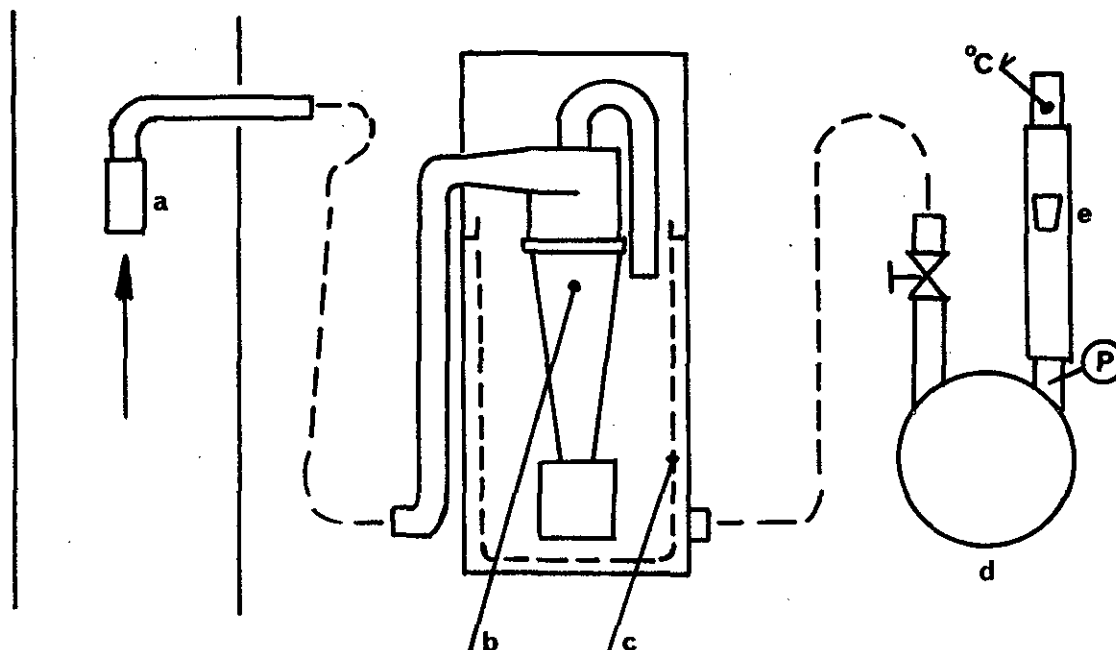
Der er anvendt 4 måleudstyr af denne type ved disse målinger, så de fire radier kunne gennemmåles samtidigt.

Ved hver anden måling er to af disse udstyr ombyttet med de senere beskrevne måleudstyr, men målingerne i studs B og D er hver gang gennemført med dette udstyr.

Udstyret er ved disse målinger anvendt ved 160 delprøver.

5.2. Faststofmåling med 60 m³/h-udstyr.

Måleudstyret er således opbygget:



Med dette udstyr udsuges en delrøgstrøm til en cyklon (b) efterfulgt af et filter (c). Cyklon og filter er anbragt udenfor røgstrømmen.

I cyklonen udskilles den væsentligste faststofmængde (her 96,0 % ± 1,6 point), resten opsamles i det efterfølgende nålefilterfilter.

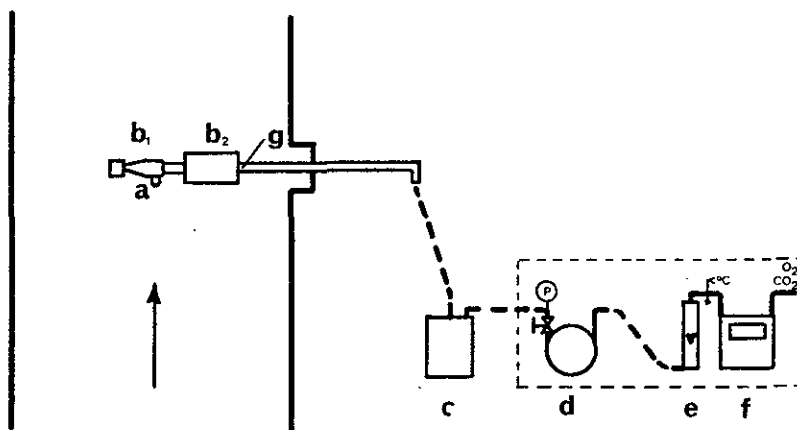
Udsugningssonde (a) og udsugningshastigheden fastlægges på basis af hastighedsmålinger i målepunkterne på måleradien (målestuds C blok 1).

Udsugningstiden pr. punkt var 5 minutter.

Med dette udstyr blev gennemført 20 målinger i skorsten for blok 1.

5.3. Faststofmåling med kaskade-impaktor.

Dette måleudstyr er opbygget som et 4 m³/h-udstyr som beskrevet i afsnit 5.1. Eneste forskel er at filterhuset med det kvartzfiber-pakkede stålhylster er ombyttet med en kaskade-impaktor (b₂) (eventuelt med en cyklon-forudskillter (b₁)).



Impaktorens princip er i korthed:

Den udsugede delrøgstrøm sendes med trinvis stigende hastighed mod tværstillede opsamlingsplader. På grund af deres energi vil stadig finere partikler træde ud af røgstrømmen og ramme overfladen på de tværstillede opsamlingsplader. Til sidst (efter for eksempel 7 hastighedstrin) opsamles de resterende meget fine partikler på et fiberfilter.

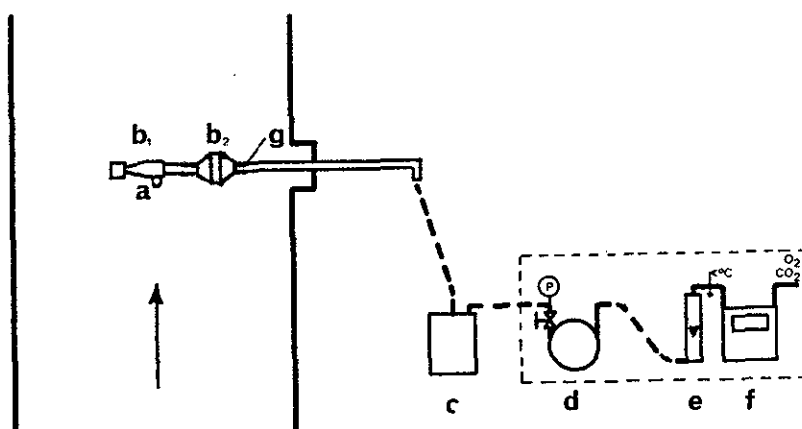
Desværre var der problemer med udstyret, idet partiklernes hæftning på opsamlingspladerne var utilstrækkelig, så for store partikler blev transporteret for langt ned i impaktoren. Som eksempel kan nævnes at filteret, som skulle rumme partikler mindre end 0,4 µm, havde en væsentlig belægning af partikler på omkring 3-4 µm. Samtidig var hæftningen af partikler på opsamlingspladerne så dårlig, at de faldt af pladerne under transporten til Niels Bohr Institutttet, hvor de skulle have

været analyseret.

Med måleudstyret blev udført 17 målinger, hvoraf 5 målinger med cyklon-forudskiller i studs A i skorsten på blok 1.

5.4. Faststofmåling med cyklon/filter-måleudstyr.

I stedet for det i afsnit 5.3. omtalte måleudstyr med kaskade-impaktorer blev ved de senere målinger anvendt det her skitserede udstyr.



Impaktoren er her erstattet af et kvartzfiberplanfilter (b_2) efter cyklon-forudskilleren. Filteret er af samme type som anvendt til slutfilter i impaktoren.

I dette måleudstyr svarer faststofmængden på filteret således til den mængde der ellers blev separeret i 7 fraktioner plus filter i impaktoren, hvorfor filteret her rummer væsentligt mere forholdsvis groft støv ($0,5 - 5 \mu\text{m}$), mens belastningen med fint støv er uændret.

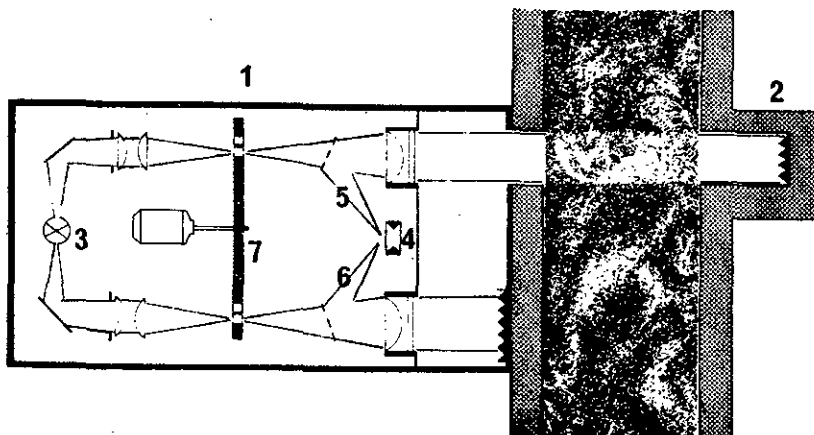
Dette udstyr blev anvendt i studs A ved 3 målinger i skorsten for blok 1 og 6 målinger i skorsten for blok 2.



5.5. Faststofmåling med registrerende måleudstyr.

Nedenfor er vist en skitse af det anvendte registrerende faststofmåleudstyr.

- 1: Måleenhed
- 2: Reflektor
- 3: Lampe
- 4: Fotocelle
- 5: Reflekteret lys
- 6: Udsendt lys
- 7: Modulatorskive



Måleudstyret var placeret over skorstensdiameteren B-D (se bilag 4.1.) i kote 43 svarende til 1,5 meter over målestudse for manuelle målinger.

Måleudstyret arbejder efter Lambert-Beers lov hvorefter:

$$I = I_0 e^{-xcs}$$

hvor: I = modtaget lysstrøm

I_0 = udsendt lysstrøm

s = støvkoncentration

x = effektiv lysbane

c = støvkarakteristik (extinktionskoefficient)

For måleudstyret monteret på skorsten for Studstrupværkets blok 1 fås:

$$s = 0,3 \times \frac{E_x}{c} \text{ mg/m}^3$$

Ved en række målinger på kulfyrede anlæg er fundet at:

$$c = \{37,05 - 7,285 \ln d_p\} \times 10^{-5}$$

hvor:

E_x = målt extinktion

d_p = middelkornstørrelse for støv (μm)



5.6. NO_x-måling ved chemiluminescens.

Da koncentrationen af NO_x i røggassen overstiger måleområdet for den anvendte chemiluminescens-måler, udtages en fortyndet delstrøm af røggassen til analyse. Opbygningen af det anvendte fortyndingsudstyr er vist næste side.

Med den anvendte opbygning af fortyndingsarrangementet opvarmes fortyndingsluften til røggastemperaturen før indløb i blandingskammeret, hvorved kondensdannelse undgås og dugpunktet sænkes til nær luftens dugpunkt (ca. ÷ 6 °C ved disse målinger). Tørring af målegassen er derfor ikke nødvendig før analysatoren.

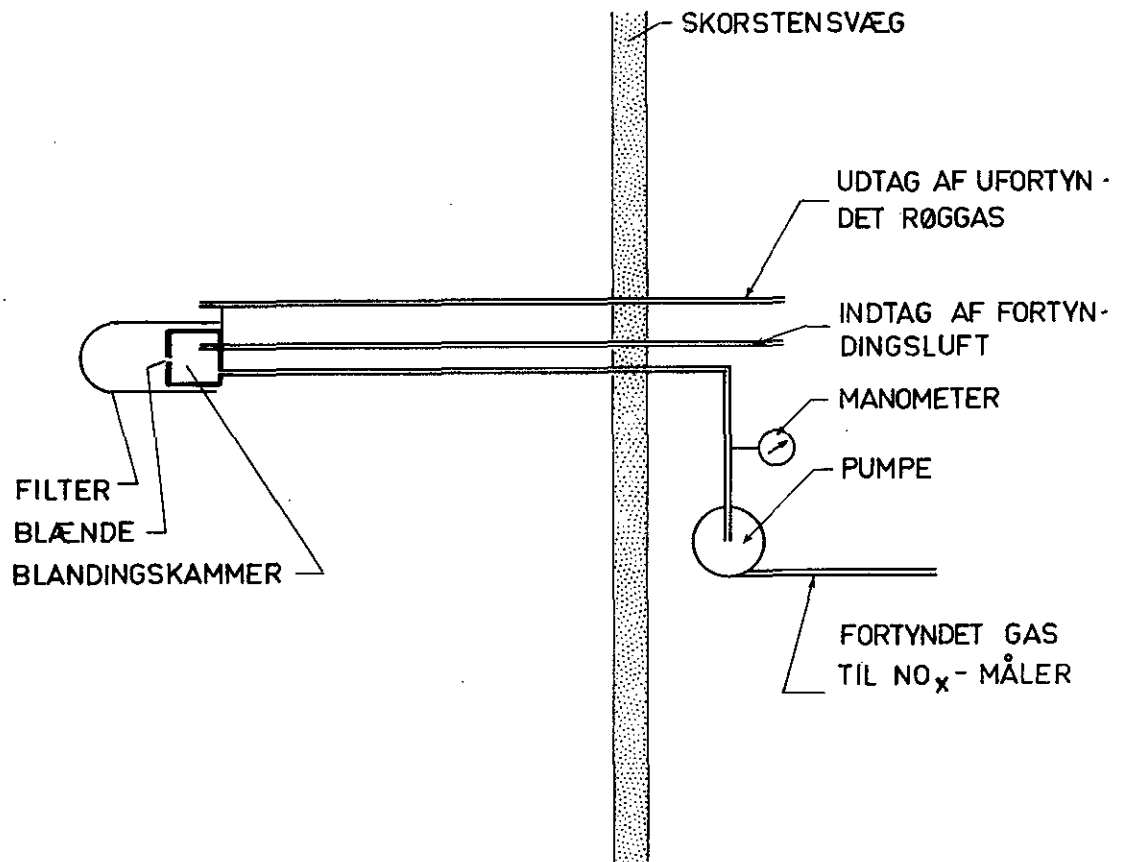
Røggassen suges ind i blandingskammeret gennem en konstant-flows dyse (blænde) med et flow på 0,5 l/min. når trykfaldet over dysen er mere end 500 mb. Ved lavere trykfald er flowet praktisk taget proportionalt med trykfaldet indenfor området 70 - 450 mb.

Da fortyndingsluften indsuges gennem et åbent rør uden reguleringsmidler er flowet gennem dette rør også proportional med trykfaldet.

Ved kalibrering er herved opnået at fortyndingsgraden er konstant indenfor et større trykfaldsområde.

Af sikkerhedsgrunde er alle målinger gennemført ved et trykfald på 270 mb. Fortyndingsgrad 186 × (±12). Den fortyndede røggas er kontinuerligt analyseret på en Philips PW 9762/02 NO/NO₂/NO_x-analyser. Se beskrivelse på side 5.9.

Mellem hver måling er fortyndingsluftens NO_x-indhold kontrolleret.



FORTYNDINGSUDSTYR , OPBYGNING

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**



Sign.: PRN

Bilag nr.:

NO/NO₂/NO_x Analyzer

PW9762/02

TECHNICAL SPECIFICATION

Measuring principle

Chemiluminescent reaction between NO and O₃

Unattended operational period

3 Months.

Nominal ranges

NO : 0 - 4 ppm
NO₂ : 0 - 1 ppm
NO_x : 0 - 5 ppm (eq. NO)

The output readings are available in ppm or mg/m³.

Digital displays

Two 3-digit displays are present on the front panel. Display I is used for NO and display II can be used for NO₂ or NO_x. The switch NO₂ ↔ NO_x is present on the front panel.

Analogue outputs

Two analogue outputs are available: output I gives the NO-signal and output II gives the NO₂ or the NO_x-signal depending on the position of the NO₂ ↔ NO_x front panel switch. The possible range settings are:

0.125 - 0.25 - 0.5 - 1.0 - 2.0 - 4.0 - 8 ppm or mg/m³

The settings can be chosen by means of two switches on the front panel.

Output fluctuations (noise)

NO, NO₂ and NO_x mode (noise)

Less than $0,5 \times 10^{-3}$ ppm (standard deviation)

Minimum detectable concentration

This mdc is by definition twice the noise value when the NO/NO₂-concentration is zero.

NO and NO_x-mode

Less than 0.001 ppm

NO₂-mode

The mdc is dependent on the NO-concentration

NO concentration ppm	mdc ppm
0	0.001
0.1	0.002

Zero signal

Less than 0.001 ppm on the digital displays (and the BCD-outputs)

Less than 0.5 % of the chosen range on the analogue output

Zero drift

Less than 0.001 ppm on the digital displays (and the BCD-outputs)

Less than 0.2 %/24 h of the chosen range on the analogue output

Span drift

Less than ± 2 %/24 h; less than ± 7 %/3months at reference conditions

Influence of ambient temperature: less than 0.2 %/°C

Interferences

Gases in concentrations that normally can be met in the ambient air do not give any measurable interference

Watervapour causes a sensitivity change of 5 % for -15 °C to +15 °C dewpoint

Linearity

Error less than ± 1 % of the indicated value with a minimum of 0.001 ppm

Repeatability

Error less than ± 1 % of the indicated value with a minimum of 0.001 ppm

Response time

95 % of a concentration step is reached within two cycles of 60 secs

Output signals

Analogue outputs separate for NO and NO₂/NO_x:

0-20 mA, load resistance max. 800 ohm

4-20 mA, load resistance max. 800 ohm

0-10 V, load resistance min. 10 kohm

Digital displays for NO and NO₂/NO_x

Flow rate at inlet

900 ml/min

Reference conditions

Ambient temperature: 20 °C

Humidity: 60 % Rel. Hum. (12 °C dewpoint)

Barometric pressure: 1013 mbar

(760 mm Hg)

Rated range of use

Ambient temperature: 0 - 40 °C

Humidity: -20 °C - +25 °C dewpoint

Barometric pressure: 530 - 1060 mbar (400 - 800 mm Hg)

Dimensions and weight

Dimensions: 483 x 266 x 530 mm

Weight: 32 kg

Supply conditions

Power supply: 110, 127, 200, 220 and

240 V (-15 - +10 %) 47 - 63 Hz

Power consumption: 200 VA

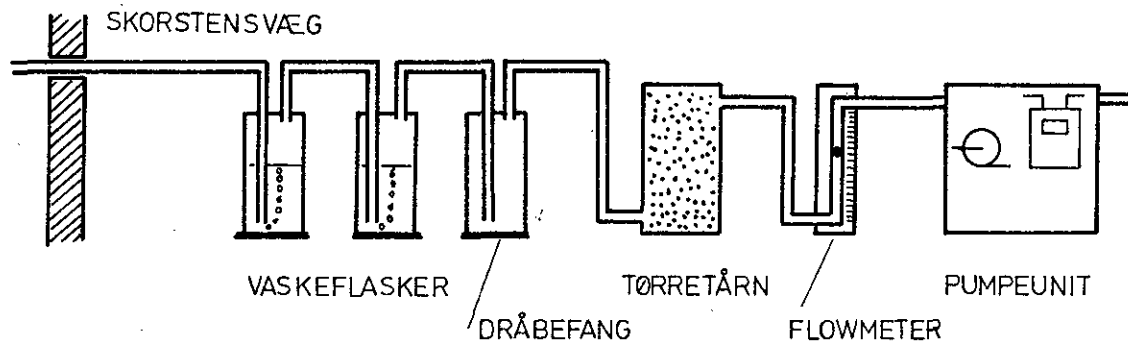
Consumables

Reductor set PW 9729/00



5.7. SO₂/SO₃-måling med vaskeflasker.

For bestemmelse af røggassens SO₂/SO₃-indhold er anvendt det nedenfor skitserede målesystem.

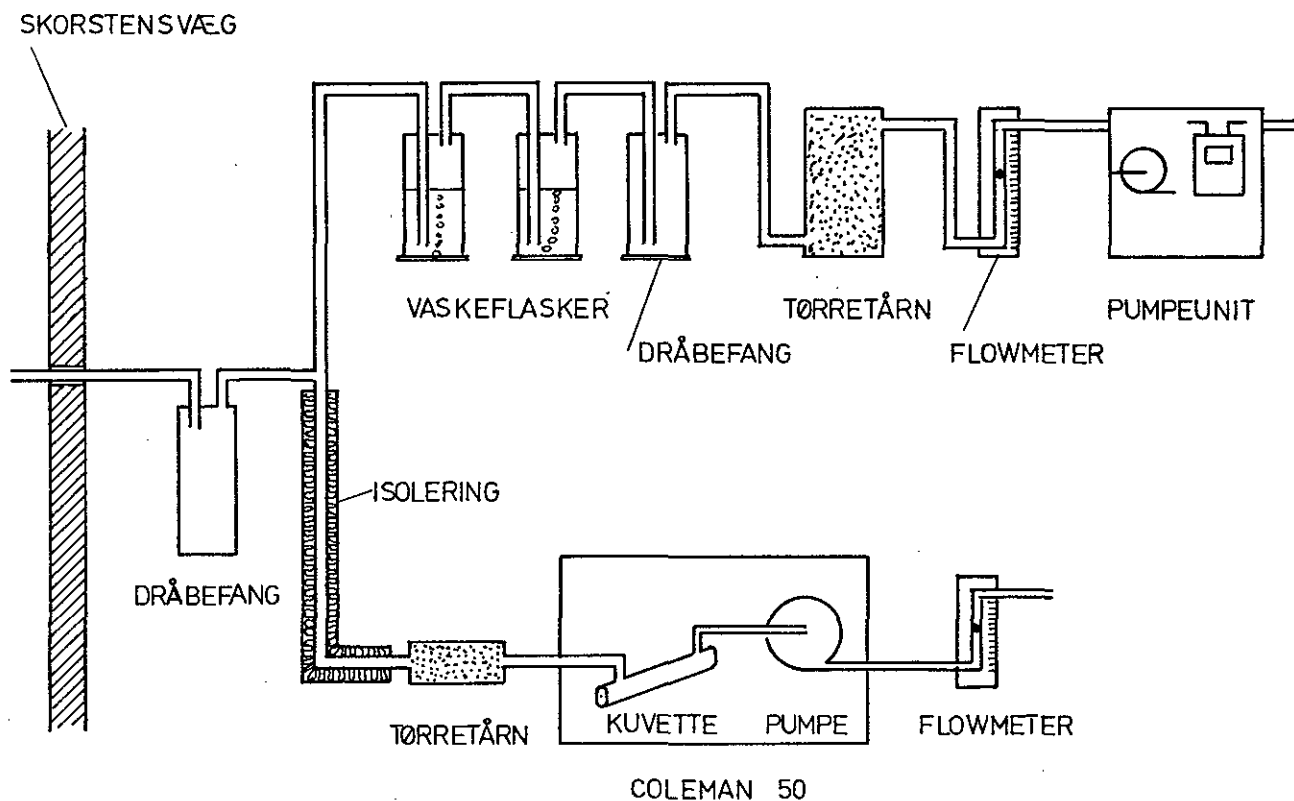


I vaskeflaskerne er anvendt en 3 % H₂O₂-opløsning for iltning af SO₂ til SO₄.

Den således opsamlede sulfat-mængde er på laboratorium bestemt ved fældning med barium og vejning af den fremkomne bariumsulfat. Herefter er tilbageregnet til SO₂ som sammenholdes med den udsugede delrøgstrøm pr. prøve.

5.8. Hg-måling.

For Hg-måling er anvendt den nedenfor viste måleopstilling.



I vaskeflaskerne er anvendt en vaskevæske med 10 % svovlsyre og 1 % kaliumpermanganat. (KMnO_4)

Vaskevæsken er senere analyseret for kviksølvindhold med Coleman MAS-50 (flammeløs absorbtionsspektrometri). Analysegrænsen med dette system : $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved udsugning af $0,1 \text{ m}^3$ pr. prøve.

Parallelt med vaskeflaskesystemet, blev Coleman MAS-50-analysatoren anvendt, som skitsen viser, for direkte måling af gasformig kviksølv i røggassen. Detektionsgrænsen for analysatoren er $2,9 \text{ ppb} \sim 26 \mu\text{g Hg}/\text{m}^3$ ved direkte måling.



5.9. SEKUNDÆRE MÅLINGER.

For beregning af måleresultaterne og for oplysning om driftstilstanden for anlægget er udført en række målinger, som ikke er omtalt i det foranstående.

CO₂/O₂ i røggas er målt med orsats-apparater med CO₂ absorption i 30 % kaliumhydroxid og O₂ absorption i en kromkloridopløsning.

CO₂/O₂ er målt på de med faststofmåleudstyrene udsugede delrøgstrømme med en måling pr. udsugningspunkt i måletværsnittet. Den angivne middelværdi pr. måling er således baseret på 32 enkeltmålinger.

Røghastighed er målt før start af hver anden måling ved hjælp af et pitotrør koblet til et mikromanometer. Hastigheden er målt i alle 32 målepunkter i måletværsnittet i skorstenen.

Statisk tryk er ligledes målt med pitotrør.

Røgtemperatur er målt med NiCr/NiAl-termoelementer anbragt i sonderørene for støvmåleudstyrene. Termospændingen blev målt med kompensationsmålebro med referancetemperatur i rumluften. Den i resultatskemaerne angivne middeltemperatur er gennemsnit af 32 enkeltmålinger.

Vanddamp i røggassen er dels målt med psykrometer (tørt/vådttermometer) og dels beregnet på basis af analyse af det indfyrede silokul.



5.10. UDTAG AF KULPRØVER.

For analyse er udtaget prøver af de ved målingerne anvendte kul.

Der er udtaget én prøve af de kul, som dagen før prøvedagen er transporteret fra kulpladsen til kulsiloen over kulmøllerne. Kullene blev transporteret til siloen med en hastighed af 300 t/h og under opkørslen blev udtaget en prøve pr. $\frac{1}{2}$ time. Hver dag køres 1200 - 1400 tons kul til siloen. Den således indsamlede kulprøve er i deleapparat neddelt til 5 - 10 kg til dk-laboratoriet, ca. 1 kg til Studstrupværkets laboratorium og en del til en ugeprøve.

Da den således udtagne kulprøve repræsenterer kul som indfyres i løbet af hele det næste døgn, var der behov for en kulprøve fra måleperioden. Derfor blev udtaget prøver af det indfyrede kul ved udtag af formalet kul mellem kulmøllerne og kedlen. Denne prøve er udtaget i 4 perioder á 10 minutter fordelt over måleperioden på ca. 8 - 10 timer pr. måledag. Da denne prøve af formalet kul er tørret i kulmøllen er der ved analysen regnet med samme vandindhold som råkulprøven for samme dag.



5.11. UDTAG AF SLAGGEPRØVER.

Slaggeprøverne analyseret i forbindelse med disse målinger er udtaget på transportbåndet mellem den vandfyldte slaggegrav under fyrrumstragtene og slaggesiloen. Slaggen er på gummitransportbåndet næsten tør og afkølet til ca. 30 - 40 °C.

Slaggen er fyldt i plasticpose som er lukket tæt og transporteret til dk-laboratoriet for bestemmelse af vandindhold, for knusning og for neddeling til fordeling til de forskellige analyser.



5.12. UDTAG AF UDSKILT FLYVEASKE.

Den i elektrofilteret udskilte flyveaske udsuges fra opsamlingsstragtene (8 stk.) med trykluftejektorer og samles i en mellembeholder. Fra mellembeholderen transporteres flyveasken med trykluft til askesiloerne. Da udsugningen fra opsamlingsstragtene sker periodisk og transporten sker over mellembeholder er det vanskeligt at vurdere produktionstidspunktets placering i forhold til transporttidspunktet.

En prøve af den transporterede flyveaske er derfor udtaget omkring kl. 13 og kl. 15, da produktionstidspunktet for flyveasken med stor sandsynlighed falder i måleperioden 0800-1800.

Den således udtagne flyveaskeprøve (ca. 20 kg) er transporteret til dk-laboratoriet i en lukket spand, og neddeling til analyser er foretaget på laboratoriet.

5.13. MÅLING AF FYRRUMSTEMPERATUR.

For orientering, specielt i forbindelse med NO_x -emissionsmålingerne, er det forsøgt at måle fyrrumstemperaturen med et strålingspyrometer.

Det viste sig at være vanskeligt at få et indtryk af temperaturforholdene, idet måleresultatet varierede kraftigt med målestedet i fyrrummet, som det vil fremgå af følgende eksempel fra målingerne 1979.03.08. Blok 1 fyring med sydafrikanske kul 100 % kedelydelse:

Kote 34,3 : før strålingsoverheder	1260 °C
Kote 28,9 :	1260 °C
Kote 18,0 : øverste brænderetage	1360 °C
Kote 15,5 : nederste brænderetage	1420-1500 °C.

Målingerne på blok 2 ved fueloliefyring viste temperaturer i flammerne på 1600 - 1700 °C og at flammevolumet voksede væsentligt i forhold til fyrrumsvolumet ved stigende belastning. Det betyder selvfølgelig at middeltemperaturen i fyrrummet vil stige væsentligt med belastningen.



5.14. AFLÆSNING AF DRIFTSINSTRUMENTER.

For vurdering af driftstilstanden er aflæst en række driftsinstrumenter i kontrolrummet. Følgende aflæsninger er foretaget:

Turbinens bruttoydelse	(MW)
Røgtemperatur efter mellemoverheder	(°C)
Røgtemperatur før skorsten	(°C)
CO ₂ i røggas før luftforvarmer	(%)
O ₂ i røggas før luftforvarmer	(%)
Forbrændingsluftmængde	(m ³ , n/h)
Strøm til elfilterensretter	(A)
Spænding til el.filterensretter	(V)
Strøm til el.filter	(mA)

Strøm og spænding til el.filterensrettere er aflæst separat til alle fire ensrettere, ligesom sekundærstrømmen er aflæst for hver filtersektion (4 sektioner).

Røgtemperaturen efter mellemoverhederen var den nærmeste temperatur efter fyrrummet, idet termofølgerne efter primæroverhederen var brændt af. Formålet med aflæsning af en røgtemperatur tæt efter fyrrummet var at få et indtryk af middeltemperaturen i fyrrummet, som kunne sammenlignes med resultaterne af NO_x-målingerne i skorstenen.



6. ANALYSEMETODER

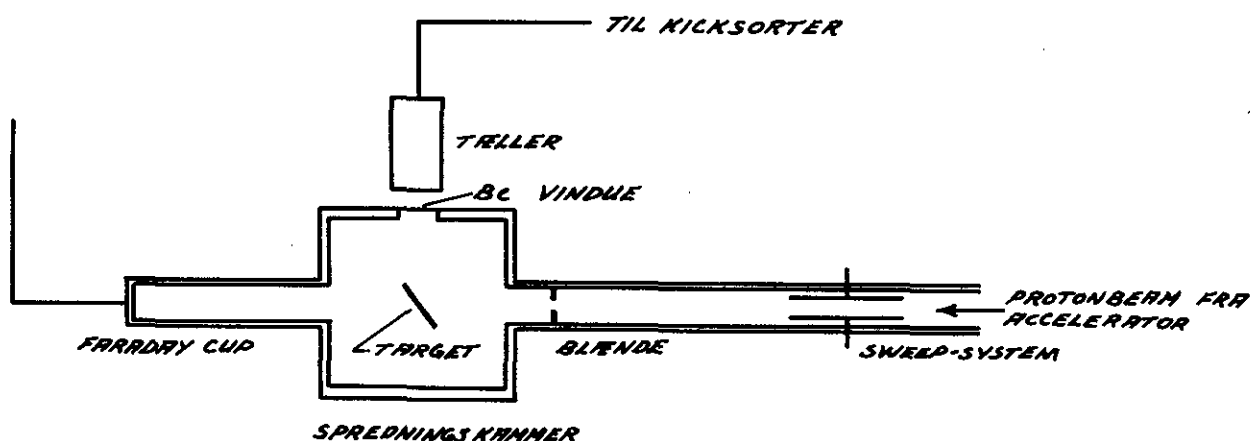
- 6.1. PIXE-analyse (Protoninduceret røntgenfluorescens)
- 6.2. AAS-analyse (atomabsorptions spektrometri)
- 6.3. NAA-analyse (neutronaktiveringsanalyse) for Hg.
- 6.4. Flammeløs AAS for Hg.
- 6.5. Chemiluminisens-analyse for NO_x
- 6.6. Analyse for SO₂
- 6.7. Sigtning for kornstørrelsesbestemmelse
- 6.8. Brændselsanalyser
- 6.9. PAH-analyser

6.1. PROTONINDUCERET RØNTGENSTRÅLING (PIXE)

PIXE-analysen er udført efter denne, her forenkede metodebeskrivelse:

Eksperimentel opstilling

Ioniseringen sker ved at beskyde stofprøven - kaldet target 2: skydeskive - med protoner fra en van de Graaff accelerator. Protonenergien kan vælges i området 1 - 4 MeV.



Figuren viser princippet i opstillingen i meget grove træk. Protonstrålen, som er magnetisk fokuseret ved hjælp af quadru-pollinser, har en diameter på et par millimeter, når den passerer sweep-systemet. Her sker der en elektrostatisk afbøjning i X- og Y-retningen med en frekvens på nogle hundrede Hz, hvorved strålen eller "beamet" får et rektangulært tværsnit.



Det endelige tværsnitsareal bestemmes af en blænde, efter targetets størrelse.

Den inducerede røntgenstråling udsendes isotropt, og en del af den slipper ud af spredningskammeret gennem et tyndt Be-vindue og ind i en faststof-tæller af Si(Li)-typen. Når tælleren rammes af et røntgenkvant, producerer den en spændingspuls, hvis størrelse er ca. proportional med energien af kvantet. Pulserne føres efter forstærkning til en kicksorter, der sorterer dem efter størrelse, hvorefter de oplægges i en magnetisk hukommelsesenhed med 2048 kanaler.

Man får herved optaget et røntgenspektrum, der viser, hvor mange pulser (tællinger) der er i hver kanal og derved viser arten og mængden af de grundstoffer, der er i stofprøven. Spektret læses ud på magnetbånd, og via en computer (UNIVAC 1108) kan det udskrives ved hjælp af en linieskriver, plottes eller fremkaldes på en dataskærm, hvorfra det er muligt at underkaste det en nærmere undersøgelse.

Target ved disse undersøgelser er dels løst støv presset i en tablet monteret i en aluminium-holder og dels udstandsede rondeller af kvartzfiberplanfiltre 20 mm ϕ . Prøverne monteres i en prøveholder med plads til 29 prøver, som efter tur kan drejes ind i protonstrålen. Detektionsgrænserne for analyserne er angivet af cand.scient. N.H. Bastholm, Niels Bohr Institutttet, som vist på næste side.

Detektionsgrænser for prøver analyseret i forbindelse med kulprojektet. -

	filter		pulver		795274/75
	kul (μ g hele filter)	olie (i.m.)	kul (ppm)	olie (ppm)	
Al		i.m.			
Si		50 ?			
S			600		
Cl	1.	i.m.			
K					
Ca					
Ti		i.m.			
V					
Cr	2-8	i.m.	60	400	0.3 %
Mn		i.m.			
Fe					
Co	25-100	i.m.	0.2 %	200	
Ni	0.5-1		(10)		
Cu	0.5	20.	(10)	150	0.05-0.1 %
Zn			(10)		
Ga			3	1.3	i.m.
Ge		i.m.	3	i.m.	
As	0.5-1	1-1.5	10-30	10-30	
Se	0.1-0.6	0.1	2-10	1.	i.m.
Br	0.5	0.5		5-10	
Rb	0.1	i.m.		1.5	
Sr					
Y	0.5	0.8		5 (-40)	
Zr	0.5-4	0.6		1.	
Nb	0.2-0.6		5-10		
Mo	0.5-1.5		15-40		
Ag	0.3-1.0		5.	2.5	
Cd	0.3-0.6	0.3	6.	3-6	
Sn	1.	0.5	10-20	5-10	
Sb	1.	0.5	10-20	5-20	
I			20-50	(55)	
Ba	(5)	0.5-2.		10-20	
La	2.		50		
Ce	2.		60		
Hg			i.m.		
Tl	1-3	1-3	2-20	2-20	
Pb	0.2	0.5	2-4	2-4	
Th	0.2-2.	i.m.	4-10	i.m.	

Der er stort set kun anført detektionsgrænser for de stoffer der ikke optræder i alle prøverne, da det ikke har megen mening at give detektionsgrænser for de stoffer der optræder i høje koncentrationer. i.m. betyder ikke målt og der har følgelig ikke kunnet anføres nogen detektionsgrænse.

795274/75 er det samme som for pulver/olie undtagen hvor der er anført separate værdier.



6.2. ATOMABSORBTIONSSPEKTROMETRI (AAS)

Analyserne er udført efter denne metodebeskrivelse:

Atomabsorbktion er en analysemetode baseret på absorbtionen af ultraviolet eller synligt lys af atomer i dampform. Omdannelsen (i det mindste delvis) af prøven til en atomiseret dampform opnås ved at indsprøjte en opløsning i en flamme. En lampe med hul katode af det stof, som skal bestemmes bruges som lyskilde. Atomerne af dette grundstof i flammen absorberer ved precis samme bølgelængde, som emitteres fra lyskilden. Spredningen i bølgelængden er ekstremt lille både for emissionslinien for lyskilden og for absorbtionslinien for det samme grundstof i flammen. Af denne grund er risiko for interference ved absorbtion af spektrallinier for andre grundstoffer næsten nul.

Ved de her rapporterede analyser er støvprøverne totaloplukket i flussyre, så også silicium er i opløsning ved atomabsorbktionsanalysen.

Detektionsgrænserne for analysemetoden er:

Silicium	Si	:	2000	µg/ℓ
Aluminium	Al	:	900	µg/ℓ
Kalium	K	:	20	µg/ℓ
Calcium	Ca	:	70	µg/ℓ
Titan	Ti	:	2000	µg/ℓ
Jern	Fe	:	50	µg/ℓ
Zink	Zn	:	15	µg/ℓ
Kobber	Cu	:	12	µg/ℓ



6.3. NEUTRONAKTIVERINGSANALYSE (NAA) FOR KVIKSØLV

Analysen er ifølge ISOTOPCENTRALEN udført efter beskrivelse af B. Sjöstrand, *Analytical Chemistry* vol. 36 nr. 4 April 1964.

I det følgende gengives dele af artiklen i kopi:

BERNT SJÖSTRAND

Division of Nuclear Chemistry, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

► A method has been developed to determine quantitatively nanogram amounts of mercury and arsenic in biological and organic base materials. After neutron irradiation of the sample in a nuclear reactor, followed by a chemical separation based mainly on distillation of volatile compounds of the elements, mercury and arsenic are determined by γ -spectrometry. The sensitivity limits are about 5×10^{-4} p.p.m. for mercury and 10^{-3} to 10^{-4} p.p.m. for arsenic when a sample weighing about 0.5 gram is irradiated for 2 to 3 days in a thermal neutron flux of about 10^{12} n./sq. cm.-second. The samples produced after the chemical separation are usually of high radiochemical purity. It is therefore possible to predict a sensitivity of about 10^{-5} p.p.m. for mercury and 10^{-4} to 10^{-5} p.p.m. for arsenic if the neutron irradiation is performed in a higher flux, say a few times 10^{13} n./sq. cm.-second, and if certain improvements in the radioactivity measurement technique are introduced.

Sample and Standard Preparation. Because of the volatility of the mercury compounds, the samples must be sealed in quartz tubes before the irradiation can be performed. The tubes must be carefully cleaned before inserting the samples, and precautions taken to avoid contamination inside the tubes. The sealing technique has been described in detail (12).

Mercury and arsenic standards should be prepared from aqueous solutions of HgCl_2 and As_2O_3 , about 1 μg . of each element. The standard solutions must also be sealed in quartz tubes, the two elements either together in one tube or separate.

During the neutron irradiation, samples and standard should be located at the shortest possible distance from each other to minimize the effects of flux gradients and flux depression in the reactor. After the neutron irradiation, the samples should be left for at least 10 hours to let short-lived activities decay.

In breaking the tubes, precautions must be taken to avoid loss of gaseous components of the sample formed by the heat in the reactor. The tubes should therefore be opened in nitric acid in the following way.

After careful cleaning of the tube to remove surface contamination, it is inserted in a piece of plastic tube, sealed at one end. The plastic tube is then filled with oxidation mixture to cover the quartz tube completely. The plastic tube is then sealed in the other end with a Hoffman clamp. Pressure is applied to the tube with a pair of tongs to crush the quartz tube. The sample is then immediately mixed with the acid and the gases are absorbed by shaking the tube. The plastic tube is then opened and the sample transferred to the distillation flask. The plastic tube should be carefully rinsed with a few milliliters of the oxidation mixture. It is not necessary to separate the sample from the crushed quartz tube.

Separation of Mercury. Add a mixture of 5 ml. of 70% perchloric acid and 0.5 gram of glycine in 5 ml. of water to the dissolved sample.

Apply heat to the flask. When the solution is boiling under reflux, close the tap and collect the mercury fraction in the reservoir. Interrupt the distillation when the temperature exceeds 250°C .

Tap the distillate into a 600-ml. glass beaker. Dilute the distillate to about 300 ml. with water. Deposit mercury on a gold foil by electrolysis as described earlier. Carefully clean and weigh the gold foil before the electrolysis. When the electrolysis is completed, neutralize the electrolyte with ammonium hydroxide, using phenol red as an indicator, before the current is interrupted.

Rinse the gold foil with distilled water and transfer the foil to a beaker containing ethyl alcohol, where it is stored until the weighing can be performed. Leave the foil to dry in the air for a few minutes. Do not dry the foil by heating. Determine weight increase of the foil and calculate the chemical yield by comparison with the

amount of mercury added as carrier. Seal the foil in a plastic bag. Measure the Hg^{197} activity by γ -spectrometry.

Radioactivity Measurement. The γ -spectrometry is performed by means of a 78-channel analyzer with a 3×3 inch solid NaI(Tl) scintillation crystal.

The Hg^{197} activity is determined by measuring the area of its 77-k.e.v. peak, and the As^{76} activity by measuring the area of its 560-k.e.v. photopeak.

The activities of standards containing known amounts of the respective elements are then measured in exactly the same geometry with respect to the detector. The amounts of the respective elements present in the samples can then be calculated after the corrections have been made for decay during the time elapsing between sample and standard measurement, and for differences in chemical yield between sample and standard.

6.4. FLAMMELØS ATOMABSORBTION (FAAS)

Coleman model MAS-50 Kviksølvanalytator

Analyse for kviksølvindholdet i væskeformige prøver udføres efter denne beskrivelse:

Måleudstyret er beregnet for kviksølvbestemmelse i sub-mikrogram-området. Det er et tre-trins system:

- 1 : Kemi
- 2 : Beluftning
- 3 : Flammeløs atomabsorbtion.

Kemien er baseret på metoden udviklet af Hatch og Ott, Analytical Chemistry 40 : 2085, 1968, og princippet er følgende: En 100 ml prøve behandles med salt- og svovlsyre under tilstedeværelsen af kaliumpermanganat for at ilte al tilstedeværende kviksølv til Hg^{2+} . Det overskydende permanganat reduceres med hydroxylamine hydrochlorid, hvorefter kviksølvet reduceres til metallisk kviksølv med tinclorid.

En belufter placeres i den reducerende kviksølv-opløsning. En pumpe cirkulerer luften i et lukket system gennem opløsningen og luften fordamper kviksølvet og fører det gennem absorbtionscellen. Kviksølvdampene, som er på atomar form, absorberer 253,7 nm strålingen som udsendes fra lyskilden. Ændringen i energi transmitteret gennem cellen, detekteres af en UV-følsomt fotocelle. Et smalbands transmissionsfilter foran fotocellen tillader kun transmission af 253,7 nm, strålingen og det gør analysatoren ufølsom overfor synligt lys.

Kviksølvindhold på 9 µg eller mere giver fuldt udslag på skalaen.

Ved prøver med mindre end 9 µg kviksølv fås et forholdsvis hurtigt voksende instrument-udslag, som når en maksimalværdi efter 45 - 50 sekunder, hvorefter signalet falder langsomt igen.



Målesystemet kalibreres før analyser med standard-opløsninger med kendt kviksølvindhold. Målesystemets følsomhed er lig med eller bedre end $0,01 \mu\text{g Hg}$. Ifølge instrumentbeskrivelsen.



6.5. NO_x-MÅLING (CHEMILUMINISCENS)

Målemetoden anvendt ved bestemmelse af den fortyndede røggasprøves NO/NO₂/NO_x-indhold er følgende:

For måling af NO anvendes dens chemiluminiscentreaktion med ozon (O₃). Denne reaktion fremkalder strålingsudsendelse fra lav-niveau overgang af elektroner i orbitale niveauer i området 600 til 3000 nm, med en maksimal intensitet ved ca. 1200 nm. En fotomultiplier anvendes til detektion af den udsendte stråling, som er proportional med mængden af NO.

Kun NO kan måles direkte med denne chemiluminiscens reaktion. NO₂ må derfor reduceres til NO i en converter. Denne reducerer NO₂ til NO med en effektivitet højere end 98 % og tillader NO at passere uforandret. Converteren arbejder ved en temperatur på ca. 110 °C, hvorfor for eksempel ammoniak, NH₃ og andre nitrogenholdige forbindelser ikke omdannes.

NO/NO₂/NO_x-måleren arbejder ved automatisk indkobling af NO₂/NO-converteren i 30 sek. efter 30 sek. måling af NO alene (uden converter). NO₂ måles som differensen mellem NO_x og NO.



6.6. ANALYSE FOR SO₂

SO₂ er ved disse målinger opsamlet i en 3 % brintperoxidopløsning i 2 serieforbundne gasvaskeflasker.

Efter målingerne er de to prøver samlet i én prøveflaske for analyse på laboratoriet.

Sulfatmængden i prøverne er på laboratoriet bestemt ved følgende analyse-procedure : Storelværkernes analyseudvalg arbejdsblad 12 - 58 eller Dansk Standard DS 252:

Væskeprøven filtreres.

Prøven tilsættes saltsyre til overskud.

Prøven opvarmes til kogning.

Bariumclorid tilsættes til overskud.

Prøven opvarmes til kogning og henstår natten over.

Prøven filtreres på askefrit filter, som vaskes clorid-frit.

Filteret tørres og glødes ved 800 °C.

Gløderesten vejes som Bariumsulfat.

Bariumsulfat (mg)x0,274 = SO₂ (mg).

SO₂-mængden sammenholdes med udsuget gasmængde.



6.7. SIGTNING FOR KORNSTØRRELSSESBESTEMMELSE

For bestemmelse af støvprøvers kornstørrelsesfordeling er anvendt 2 principielt forskellige metoder:

- 1) Mekanisk sigtning på sigtedug
- 2) Vindsigtning i centrifugalfelt.

Ved sigtning på sigtedug anbringes en afvejet prøve på øverste og groveste dug, og efter sigtningen er prøven fordelt på sigterne med faldende maskevidde nedad. På grund af adhæsions- og elektrostatiske kræfter, som gør dugsigtning vanskeligere ved små partikelstørrelser, anvendes ikke sigtedug med maskevidde mindre end 63 μm . Sigtedug sorterer partiklerne efter det mindste tværsnitsareal, som netop kan passere igennem dugens masker.

Ved centrifugal-vindsigtning, bestemmes partiklernes sedimentationshastighed, idet partiklerne sedimenterer i et vandret centrifugalfelt mod en kalibreret lufthastighed. Lufthastigheden er kalibreret med kugleformigt teststøv, således at skillegrænsen for det støv som føres med luftstrømmen, og det støv som sedimenterer imod luftstrømmen angives som faldhastighedsækvivalente partikelstørrelse med massefylde 1000 kg/m^3 .

Med centrifugalvindsigten bestemmes partiklernes faldhastighedsækvivalente størrelse i området 3,3 til 62 μm .



6.8. BRÆNDSELSANALYSER

De hjemtagne brændselsprøver er analyseret på dk-brændselslaboratoriet efter følgende normer:

Vand	DS/ISO	589
Aske	DS/ISO	1171
Kalorimetrisk brændværdi	ASTM D	271
Effektiv brændværdi	DS/ISO	1928
Flygtige bestanddele	DS/ISO	562
Hydrogen	ASTM D	271
Carbon	ASTM D	271
Svovl	ASTM D	3177
Oxygen	ASTM D	271
Nitrogen	ASTM D	3179
Hard grove index	DS/ISO	5074
Swelling index	DS/ISO	501
Sigtning	ISO	1953
Askens smelteforløb	DS/ISO	540

Kemisk analyse af askerest : foraskning ved 500 °C efterfulgt af total oplukning i flussyre.



6.9. PAH-ANALYSE

Nedenfor bringes et kopi af analysebeskrivelse fra Civilforsvarets analytisk-kemiske laboratorium ved civilingeniør Arne Kjær Sørensen:

Analyseprocedure

Filtrene inklusive stålhylstre Soxhlet-ekstraheres med cyclohexan i 24 h. Den organiske fase inddampes forsigtigt til næsten tørhed under tilledning af tør nitrogen i vandbad ved 35 °C, hvorefter tilsættes 2 ml toluen-methanol (1:1). Dette ekstrakt påsættes en glaskolonne (50 · 1,6 cm i.d.) pakket med 20 g Sephadex LH-20 i toluen -methanol (1:1). Der elueres med 2 · 50 ml af ovennævnte væskeblanding. De to fraktioner (I og II) inddampes som nævnt ovenfor forsigtigt til næsten tørhed og opløses i 1 ml pentan. Hver af disse fraktioner påsættes en kiselgelsøjle (15 · 1 cm i.d., 70-230 mesh) og elueres med 25 ml pentan og 25 ml dichlormethan. Herved fremkommer opløsningerne Ia, Ib, IIa og IIb.

Metoden er beskrevet af Giger og Schaffner (1978) og Kjær Sørensen og Vester (1979). Ved denne oprensningsmetode separeres PAH-forbindelser fra bl.a. alifater, phthalater og estre af fede syrer.

Fraktion IIb (PAH-fraktionen) inddampes til 20-100 µl og analyseres kvalitativt på et Finnigan Model 3100 D kombineret gaschromatograf-massespektrometer forsynet med glaskapillarkolonne (25 m · 0,35 mm, coated med OV-101) og splitløst injektionssystem.

Ca. 1,2 µl injiceres ved stuetemperatur. Efter 0,5 min. sættes kolonnetemperaturen på 85 °C, og efter 3 min. temperaturprogrammes med 6 °C/min til 240 °C.

Da røggassen indeholder et meget stort antal komponenter, udføres analysen massefragmentografisk hvorved opnås høj følsomhed og stor specificitet. Massespektrene af PAH-forbindelser er karakteriseret ved, at molekylarionen er yderst intens og massefragmentograferingen udføres derfor ved at scanne over et masseområde omkring molekylarionen for de enkelte grupper af isomere PAH-forbindelser efterhånden som disse separeres i den gaschromatografiske kolonne.

Kvantitative bestemmelser udføres på Perkin-Elmer Model Sigma 3 forsynet med glaskapillarkolonne (20 m·0,35 mm, coated med SE-52) og splitløst injektionssystem samt FID-detektor. Der injiceres 0,1 µl ved 50 °C. Efter 1 min. temperaturprogrammeres med 5 °/min til 245 °C. Som indre standard anvendes dodekahydrotriphenylen og m-quarterphenyl. Kvantiteringen udføres på Perkin-Elmer model Sigma 10 printer/plotter.



BILAGSFORTEGNELSE AFSNIT 7 : MÅLERESULTATER.

- 7.1.1. Middelresultater af emissionsmålinger.
- 7.2.1. - 7.2.3. Emissionsresultater polske kul.
- 7.3.1. - 7.3.4. Emissionsresultater sydafrikanske kul.
- 7.4.1. - 7.4.3. Emissionsresultater fuelolie.
- 7.5.1. - 7.5.2. Faststofemission som funktion af effekt tilført elektrofiltrenes sidste sektioner.
- 7.6.1. Faststofemission fueloliefyring.
- 7.7.1. NO_x -emission ved fueloliefyring.
- 7.7.2. Registrering fra NO_x -måling.
- 7.7.3. NO_x -emission som funktion af kvælstofindhold i brændslet.
- 7.8.1. Kviksølvfordeling i forbrændingsrester ved kulfyring.
- 7.8.2. Kviksølvemissionens variation.
- 7.9.1. Middel kornstørrelsesfordeling rengasstøv.
- 7.9.2. - 7.8.4. Måleresultater af kornstørrelsesfordeling fra 3 rengasmålinger.
- 7.10.1. Kornstørrelsesfordeling på udskilt støv fra elektrofilteret.
- 7.11.1. - 7.11.2. Askebalance ved kulfyring.
- 7.12.1. - 7.12.2. Måleresultater med registrerende optisk faststofmåleudstyr.

7. MÅLERESULTATER.

I dette afsnit er samlet resultaterne af emissionsmålingerne på Studstrupværket. Da datamængden er betydelig er det vurderet at en summarisk gennemgang giver det bedste overblik.

I bilag 7.1.1. findes et skema over middelresultaterne med standardafvigelse på middelværdien fra målingerne på de tre brændsler. Som det ses er der ikke væsentlig forskel på disse resultater med undtagelse af SO₂-emissionen og sulfatmængden på de emitterede partikler ved fueloliefyring.

I bilag 7.2.1. til 7.4.2. findes resultaterne fra hver enkelt måling. Hvert af de angivne prøveresultater er middelresultat fra 4 delprøver undtaget faststofemissionsmålingen, som er angivet for hver enkelt måleradius. Emissionsresultatet for studs A er sat i parentes for nogle prøver, fordi målingen er udført med kaskadeimpaktor, som har et betydeligt støvtab ved hæftning på impaktorens indvendige overflader (wall-loss og bounce-off).

I bilag 7.5.1. er foretaget en sammenligning mellem faststofemissionen og effekten tilført elektrofilterets ensrettere for paralelfiltrenes 2. sektioner. Der synes at være en vis sammenhæng mellem den tilførte effekt og emissionen. Men da støvindholdet i røggassen før filteret også må have en vis betydning, er forholdet mellem den tilførte effekt til alle fire ensrettere og filtereffektiviteterne undersøgt. I bilag 7.5.2. er dette forhold optegnet. Der synes at være et vist forhold omend noget usikkert (korrelationskoefficient for den indtegnede linie er 0,78).

Trods mange analyser af de indsamlede resultater er det ikke lykkedes at finde et bedre forhold mellem en umiddelbar til-

gængelig driftsaflæsning og emissionen. Dog viser resultaterne i bilag 7.5.1. at en lav effekt til elektrofilterets sidste sektion, er antydning om forholdsvis stor emission. Dette forhold er desværre ikke umiddelbart at ændre, idet den tilførte effekt til filteret automatisk opreguleres til der sker overslag i filteret og dette punkt er bestemt af støvtæthed i udskilningszonen, støvets elektriske egenskaber, kornstørrelsen, opretning af afstand mellem emissionselektroderne og nedslagspladerne m.m. Den tilførte effekt er altså et symptom og ikke en kur.

I bilag 7.6.1. er vist emissionsresultaterne fra den fueloliefyrede kedel for blok 2, som funktion af blokkens bruttoydelse. Normalniveauet for emissionen synes at være ca. 2,5 g/kg fuelolie, mens sodblæsning eller lastændring hæver emissionen til et niveau omkring 3 g/kg olie.

Da den kulfyrede kedel, blok 1, kører som grundlastenhed er belastningen konstant omkring 100 %, mens den fueloliefyrede kedel blok 2 kører som reguleringsenhed, hvorfor belastning må tilpasses forbruget på nettet. Det har haft en vis betydning for målingerne for eksempel af NO_x -emissionen, som varierer med belastningen (se bilag 7.7.1.).

Et eksempel på den registrerende NO_x -måling ses i bilag 7.7.2.. På diagram-papiret findes ligeledes signalet fra målingen af gasformig kviksølv.

I bilag 7.7.3. er foretaget en sammenligning mellem NO_x -emissionen og kvælstofindholdet i brændslet. Der synes at være god overensstemmelse mellem disse værdier. Den lodrette streg angiver standardafvigelsen på middelresultatet, angivet ved punktet. På diagrammerne angiver FO : fuelolie, P : polske kul



og SA - sydafrikanske kul.

På grundlag af analyser foretaget af Isotopcentralen er opstillet en kviksølvbalance for fyringerne med kul. Resultatet er samlet i bilag 7.8.1.. Heraf ses at en væsentlig andel af det indfyrede kviksølv udskilles med asken i elektrofilteret (48 - 76 %).

I bilag 7.8.2. er opstillet forholdet mellem mængden af indfyret kviksølv og emissionen, beregnet som differencen mellem indfyret kviksølv og målt udskilt kviksølv i slagge og udskilt aske.

Nederst i bilag 7.8.2. er vist udskilningsgraden for kviksølv i elektrofilteret i forhold til den indfyrede mængde.

I bilag 7.9.1. er vist resultatet af en kornstørrelsesbestemmelse af det emitterede faststof. Punkterne angiver middelværdien af 6 sigtninger fra 6 prøvedage. De lodrette streger angiver 3 x standardafvigelsen på middelværdien. Efter dette resultat er middelkornstørrelsen $12 \mu\text{m}$ ($\pm 12 \%$) regnet som faldhastighedsækvivalent partikel med massefylde 1000 kg/m^3 .

Ved målingerne på Studstrupværket blev ved nogle prøver anvendt en kaskadeimpaktor. Det var tanken at foretage analyse af støvfraktionerne og at bestemme kornstørrelsesfordelingen på det emitterede faststof ved hjælp af impaktoren, men på grund af mistillid til impaktorens funktion, blev dette opgivet.

For vurdering af sigterresultatet og kaskadeimpaktorens resultat er foretaget en sammenligning af sigtekurverne. 3 eksempler herpå er vist i bilag 7.9.2. - 7.9.3. og 7.9.4.

Resultatet fra prøve 4.01. i bilag 7.9.2. viser god overensstemmelse mellem resultaterne.

Resultatet fra prøve 10.01. i bilag 7.9.3. viser dårligere



overensstemmelse, måske på grund af at store partikler er vandret for langt ned i impaktoren.

I bilag 7.9.4. ses resultaterne fra prøve 30.01.. Den knækkede kurve for impaktoren skyldes den her anvendte cyklon-forudskiller, som med cut-size 4,4 μm fjerner en del partikler ned til ca. 2 - 3 μm fra røgstrømmen. Overensstemmelsen med sigteresultatet er rimeligt.

I bilag 7.10.1. er vist middelresultaterne af sigtning af den i elektrofilteret udskilte aske. Knækket i kurverne skyldes forskellen i sigtemetoderne.

I intervallet 63 - 250 μm er anvendt dugsigter, mens partiklerne mellem 6 og 43 μm er fraktioneret i centrifugal-vindsigtning.

Da mængden af udskilt slagge og udskilt aske ikke er målt, er balancen beregnet efter det i bilag 7.11.1. viste princip. Grundlaget for balancen er måling af faststofemissionen, indholdet af bortglødeligt i udskilt aske og udskilt slagge, askeindholdet i de indfyrede kul og fordelingen mellem slagge og aske, som transporteres bort fra anlægget. I bilag 7.11.2. findes den beregnede stofbalance for blok 1's kedelanlæg under målingerne.

I bilag 7.12.1. ses resultater fra sammenlignende målinger af faststofemissionen fra blok 1. Absissen er måling med registrerende støvmåleudstyr SICK RM 41, og ordinaten er tilsvarende målinger med manuel målemetode 4 m^3/h -faststofmåleudstyr.

Til kurverne skal bemærkes at hældningen er afhængig af faststoffets kornstørrelsesfordeling, hvorfor der kan ske nogen ændring i forholdet mellem extinktion og faststofemissionen ved ændring i driftsbetingelserne (for eksempel ved ændrede udskilningsforhold i elektrofilteret).

MIDDELRESULTATER							
	Dim.	POLSKKE KUL		SYDAFRIK. KUL		FUELOLIE	
		MIDDEL	SD %	MIDDEL	SD %	MIDDEL	SD %
Antal prøver	-	14		24		12	
Blokbelastning	MW	160	±0,6	160	±0,5	230	±13
Røghastighed	m/sec	19,8	±1,9	20,5	±1,2	21,6	±9,1
Røgstemperatur	°C	116	±1,5	121	±2,3	149	±1,8
Røgmængde våd	m ³ ,n/h	517000	±2,2	521000	±2,4	669000	±11
Røgmængde tør	m ³ ,n/h	479000	±2,3	486000	±2,5	599000	±11
CO ₂ i røggas	%	13,8	±2,1	14,0	±2,8	13,2	±1,0
O ₂ i røggas	%	5,7	±5,4	5,4	±7,7	3,5	±5,7
H ₂ O i røggas	%	7,5	±2,5	6,7	±2,7	10,4	±0,9
NO _x i røggas	ppm	490	±3,5	603	±3,5	340	±9,5
NO _x i røggas	g/MWh	2952	±3,3	3738	±5,1	1814	±9,8
SO ₂ i røggas	ppm	610	±8,7	878	±11	1293	±13
SO ₂ i røggas	g/MWh	5100	±7,6	7587	±12	9676	±17
Hg i røggas	µg/m ³ ,n,t	2,2	±52	15,2	±31	0,10	±33
Hg i røggas	mg/MWh	7	±52	48	±31	0,57	±24
SO ₄ ²⁻ på partikler	%	2,46	±19	2,43	±58	7,87	±12
SO ₄ ²⁻ på partikler	g/MWh	15	±19	11	±58	43	±12
Faststofemission	mg/m ³ ,n,t	207	±13	168	±20	209	±13
Faststofemission	g/MWh	617	±13	452	±14	545	±11
Totalemission	kg/h	99	±13	72	±14	125	±18
E1.filter effekt.	%	98,5	±0,1	99,0	±0,3	-	-
E1.filter effekt	KVA	77,5	±19	122,6	±8,6	-	-

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.:

Bilag nr.: 7.1.1.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

PRØVE MED : Polske kul							
	DIM.	PRØVE 01.01	02.01	03.01	04.01	05.01	06.01
Prøvedato	-	1979.02.15.					
Prøve start	kl.	0915	1025	1312	1414	1530	1625
Prøve stop	kl.	0956	1106	1354	1456	1613	1705
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	40
Blokbelastning	MW	160	160	160	160	160	160
Barometerstand	mb	1022	1024	1024	1026	1027	1029
Røghastighed	m/s	19,5	19,5	19,8	19,7	19,2	19,2
Røgtemperatur	°C	115	114	116	113	116	115
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	506.000	508.000	514.000	516.000	499.000	503.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	468.000	470.000	475.000	477.000	462.000	466.000
CO ₂ i røggas	%	14,3	14,2	14,1	14,2	13,7	13,6
O ₂ i røggas	%	5,3	5,2	5,3	5,2	5,8	5,9
H ₂ O i røggas	%	7,6	7,6	7,5	7,6	7,3	7,3
NO _x i røggas	ppm	472	500	520	472	511	520
NO _x i røggas	g/MWh	2757	2964	3128	2849	3007	3021
SO ₂ i røggas	ppm	711	634	620	549	656	645
SO ₂ i røggas	g/MWh	5779	5226	5186	4610	5372	5210
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	204	(127)	218	(141)	220	(138)
Studs B	mg/m ³ ,n,t	237	230	246	229	250	261
Studs C	mg/m ³ ,n,t	233	210	243	215	251	225
Studs D	mg/m ³ ,n,t	197	193	215	213	216	224
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	217	-	231	-	233	-
Totalemission	kg/h	101	-	110	-	108	-
Totelemission	g/MWh	634	-	685	-	674	-
Filtereffektivitet	%	98,7		98,6		98,5	

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.2.1.

PRØVE MED : Polske kul

	DIM.	PRØVE 07.01	08.01	09.01	10.01	11.01	12.01
Prøvedato	-	1979.02.16.					
Prøve start	kl.	0906	1002	1119	1304	1413	1508
Prøve stop	kl.	0951	1044	1200	1345	1454	1549
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	40
Blokbelastning	MW	160	160	160	158	163	160
Barometerstand	mb	1033	1034	1036	1036	1036	1036
Røghastighed	m/s	20,0	19,9	20,3	19,8	20,1	20,1
Røgteperatur	°C	117	114	118	117	116	118
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	523.000	525.000	531.000	518.000	527.000	525.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	485.000	486.000	493.000	480.000	489.000	486.000
CO ₂ i røggas	%	13,5	13,7	13,5	13,5	13,5	13,8
O ₂ i røggas	%	6,0	5,8	5,8	6,0	6,0	5,7
H ₂ O i røggas	%	7,3	7,4	7,3	7,3	7,3	7,4
NO _x i røggas	ppm	491	472	484	461	491	491
NO _x i røggas	g/MWh	2991	2875	3037	2822	2998	2945
SO ₂ i røggas	ppm	573	523	521	598	642	662
SO ₂ i røggas	g/MWh	4853	4432	4548	5092	5457	5523
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	200	(102)	192	204	209	(136)
Studs B	mg/m ³ ,n,t	231	241	221	222	221	228
Studs C	mg/m ³ ,n,t	211	169	222	206	210	208
Studs D	mg/m ³ ,n,t	199	208	186	194	191	188
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	210	-	204	206	207	-
Totalemission	kg/h	102	-	101	99	101	-
Totelemission	g/MWh	635	-	628	627	621	-
Filtereffektivitet	%	98,4		98,4		98,4	

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.2.2.

PRØVE MED : Polske kul							
	DIM.	PRØVE 13.01	14 .01	.01	.01	.01	.01
Prøvedato	-	1979.02.17.					
Prøve start	kl.	0842	0930				
Prøve stop	kl.	0923	1011				
Eff.prøvetid	min.	40	40				
Blokbelastning	MW	159	160				
Barometerstand	mb	1036	1036				
Røghastighed	m/s	20,0	19,9				
Røgtemperatur	°C	119	117				
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	520.000	521.000				
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	479.000	480.000				
CO ₂ i røggas	%	13,6	13,8				
O ₂ i røggas	%	5,9	5,5				
H ₂ O i røggas	%	7,8	7,8				
NO _x i røggas	ppm	484	491				
NO _x i røggas	g/MWh	2977	2961				
SO ₂ i røggas	ppm	593	600				
SO ₂ i røggas	g/MWh	5074	5031				
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	158	(82)				
Studs B	mg/m ³ ,n,t	143	167				
Studs C	mg/m ³ ,n,t	156	145				
Studs D	mg/m ³ ,n,t	121	142				
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	144	-				
Totalemission	kg/h	69,2	-				
Totelemission	g/MWh	435	-				
Filtereffektivitet %		98,8					

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.2.3.

PRØVE MED : Sydafrikanske kul

	DIM.	PRØVE 15 .01	16 .01	17.01	18 .01	19 .01	20 .01
Prøvedato	-	1979	02.21.				
Prøve start	kl.	0902	0956	1102	1305	1418	1515
Prøve stop	kl.	0943	1039	1144	1346	1500	1557
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	40
Blokbelastning	MW	161	161	160	161	161	161
Barometerstand	mb	1034	1034	1033	1033	1032	1032
Røghastighed	m/s	20,5	20,5	20,7	20,6	20,1	20,1
Røgtemperatur	°C	119	117	119	117	117	118
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	533.000	534.000	537.000	536.000	524.000	523.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	497.000	498.000	500.000	500.000	489.000	488.000
CO ₂ i røggas	%	13,3	13,4	13,5	13,7	13,4	13,6
O ₂ i røggas	%	6,1	6,1	6,0	5,8	6,0	5,9
H ₂ O i røggas	%	6,7	6,7	6,8	6,8	6,7	6,8
NO _x i røggas	ppm	603	603	617	598	610	603
NO _x i røggas	g/MWh	3853	3694	3907	3777	3774	3707
SO ₂ i røggas	ppm	1065	1022	993	978	924	940
SO ₂ i røggas	g/MWh	9468	8710	8746	8592	7949	8033
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	131	(68)	138	(70)	121	(56)
Studs B	mg/m ³ ,n,t	132	129	151	127	137	137
Studs C	mg/m ³ ,n,t	121	177	144	174	125	165
Studs D	mg/m ³ ,n,t	114	116	116	112	100	103
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	125	-	137	-	121	-
Totalemission	kg/h	62,1	-	68,6	-	59,0	-
Totelemission	g/MWh	386	-	429	-	366	-
Filtereffektivitet %		99,3		99,3		99,4	

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11

Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.3.1.

PRØVE MED : Sydafrikanske kul							
	DIM.	PRØVE 21.01	22.01	23.01	24.01	25.01	26.01
Prøvedato	-	1979	02.22.				
Prøve start	kl.	0906	0956	1100	1254	1403	1455
Prøve stop	kl.	0947	1037	1141	1335	1444	1536
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	40
Blokbelastning	MW	161	161	160	161	161	162
Barometerstand	mb	1025	1025	1025	1024	1023	1023
Røghastighed	m/s	20,7	20,7	21,0	21,0	20,8	20,8
Røgtemperatur	°C	121	120	121	121	120	119
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	530.000	539.000	539.000	538.000	534.000	533.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	496.000	504.000	504.000	503.000	499.000	498.000
CO ₂ i røggas	%	13,7	13,9	13,8	13,9	13,9	14,0
O ₂ i røggas	%	5,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4
H ₂ O i røggas	%	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
NO _x i røggas	ppm	655	618	618	632	625	618
NO _x i røggas	g/MWh	4059	3952	4004	3979	3951	3903
SO ₂ i røggas	ppm	966	-	862	979	876	882
SO ₂ i røggas	g/MWh	8326	-	7765	8572	7704	7750
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	143	(54)	132	167	148	143
Studs B	mg/m ³ ,n,t	154	148	136	180	144	163
Studs C	mg/m ³ ,n,t	121	184	126	251	133	238
Studs D	mg/m ³ ,n,t	95	119	124	155	119	138
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	128	-	129	188	136	170
Totalemission	kg/h	63,6	-	65,3	94,6	67,8	84,8
Totalemission	g/MWh	395	-	408	588	421	527
Filtereffektivitet	%	99,1		99,1		99,1	

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.3.2.

PRØVE MED : Sydafrikanske kul

	DIM.	PRØVE 27.01	28.01	29.01	30.01	31.01	32.01
Prøvedato	-	1979.03.07.					
Prøve start	kl.	0904	1015	1130	1351	1515	1615
Prøve stop	kl.	0952	1101	1210	1446	1556	1715
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	56
Blokbelastning	MW	160	160	159	159	160	160
Barometerstand	mb	999	999	1000	1001	1002	1004
Røghastighed	m/s	-	20,5	20,4	20,7	20,6	20,5
Røgtemperatur	°C	121	122	122	123	125	124
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	-	511.000	508.000	516.000	510.000	512.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	-	477.000	474.000	482.000	477.000	478.000
CO ₂ i røggas	%	14,7	14,4	14,4	14,1	14,3	13,9
O ₂ i røggas	%	4,6	5,0	5,2	5,3	5,0	5,5
H ₂ O i røggas	%	6,8	6,6	6,7	6,6	6,6	6,5
NO _x i røggas	ppm	595	588	577	595	606	558
NO _x i røggas	g/MWh	-	3613	3441	3634	3706	3355
SO ₂ i røggas	ppm	823	853	911	829	837	739
SO ₂ i røggas	g/MWh	-	7287	7555	7041	7119	6179
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	147	208	175	238	182	253
Studs B	mg/m ³ ,n,t	-	310	193	215	191	187
Studs C	mg/m ³ ,n,t	173	229	193	303	183	258
Studs D	mg/m ³ ,n,t	133	146	167	164	155	128
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	-	223	182	230	178	207
Totalemission	kg/h	-	107	86,2	111	84,6	98,9
Totelemission	g/MWh	-	666	542	696	529	618
Filtereffektivitet	%			98,8		98,8	

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.3.3.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

PRØVE MED : Sydafrikanske kul							
	DIM.	PRØVE 33 .01	34 .01	35 .01	36 .01	37 .01	38 .01
Prøvedato	-	1979	03.08				
Prøve start	kl.	0846	0950	1104	1313	1440	1535
Prøve stop	kl.	0929	1049	1154	1411	1521	1638
Eff.prøvetid	min.	40	56	40	56	40	56
Blokbelastning	MW	160	161	160	159	161	160
Barometerstand	mb	1009	1010	1012	1012	1012	1012
Røghastighed	m/s	20,3	20,3	20,3	20,5	20,6	20,7
Røgtemperatur	°C	125	124	126	123	125	124
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	507.000	508.000	508.000	516.000	515.000	519.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	472.000	473.000	473.000	481.000	479.000	483.000
CO ₂ i røggas	%	14,3	14,3	14,3	14,1	14,5	14,4
O ₂ i røggas	%	5,1	5,1	5,1	5,3	4,9	4,9
H ₂ O i røggas	%	6,9	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0
NO _x i røggas	ppm	580	610	610	588	580	573
NO _x i røggas	g/MWh	3492	3696	3700	3705	3521	3544
SO ₂ i røggas	ppm	832	826	806	752	775	727
SO ₂ i røggas	g/MWh	6964	6959	6799	6590	6546	6253
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	147	154	171	147	170	172
Studs B	mg/m ³ ,n,t	172	170	166	181	191	220
Studs C	mg/m ³ ,n,t	176	200	175	201	206	241
Studs D	mg/m ³ ,n,t	133	145	157	160	160	180
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	157	168	167	172	180	203
Totalemission	kg/h	73,9	79,2	79,1	82,7	86,3	98,1
Totalemission	g/MWh	462	492	494	520	536	613
Filtereffektivitet	%	98,8		98,8		98,7	

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.3.4.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

PRØVE MED : Fuelolie							
	DIM.	PRØVE 40 .01	41 .01	42 .01	43 .01	44 .01	45 .01
Prøvedato	-	1979	04.04.				
Prøve start	kl.	0940	1035	1128	1320	1427	1518
Prøve stop	kl.	1021	1116	1209	1401	1508	1559
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	40
Blokbelastning	MW	215	206	198	208	206	181
Barometerstand	mb	1004	1004	1004	1004	1004	1004
Røghastighed	m/s	20,5	20,5	20,5	20,8	19,3	19,3
Røgtemperatur	°C	147	147	146	151	146	144
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	635.000	608.000	637.000	613.000	600.000	542.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	569.000	544.000	571.000	550.000	538.000	487.000
CO ₂ i røggas	%	13,4	13,3	13,2	13,1	13,2	12,9
O ₂ i røggas	%	3,2	3,6	3,5	3,8	3,5	3,8
H ₂ O i røggas	%	10,5	10,5	10,4	10,3	10,4	10,2
NO _x i røggas	ppm	327	298	298	305	290	260
NO _x i røggas	g/MWh	1779	1694	1741	1717	1559	1610
SO ₂ i røggas	ppm	1253	1285	1153	1271	1378	1381
SO ₂ i røggas	g/MWh	9486	10159	9377	9948	10301	11898
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	266	161	203	184	237	174
Studs B	mg/m ³ ,n,t	234	211	205	206	229	218
Studs C	mg/m ³ ,n,t	271	215	200	205	229	168
Studs D	mg/m ³ ,n,t	199	164	168	170	185	141
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	243	188	194	192	221	177
Totalemission	kg/h	138	102	111	106	119	86,2
Totelemission	g/MWh	641	496	560	508	576	476

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11

Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.4.1.

PRØVE MED : Fuelolie							
	DIM.	PRØVE 46.01	47.01	48.01	49.01	50.01	51.01
Prøvedato	-	1979, 04.05					
Prøve start	kl.	0826	0916	1022	1110	1258	1345
Prøve stop	kl.	0907	0957	1103	1151	1339	1426
Eff.prøvetid	min.	40	40	40	40	40	40
Blokbelastning	MW	244	261	251	261	264	263
Barometerstand	mb	1010	1010	1010	1010	1010	1010
Røghastighed	m/s	21,1	22,6	23,5	23,3	24,4	24,4
Røgtemperatur	°C	150	152	149	151	151	152
Røgmængde, våd	m ³ ,n/h	653.000	750.000	730.000	750.000	753.000	753.000
Røgmængde, tør	m ³ ,n/h	584.000	671.000	653.000	672.000	674.000	675.000
CO ₂ i røggas	%	13,3	13,3	13,3	13,2	13,4	13,2
O ₂ i røggas	%	3,4	3,4	3,3	3,4	3,2	3,4
H ₂ O i røggas	%	10,5	10,5	10,5	10,4	10,5	10,4
NO _x i røggas	ppm	431	372	357	409	365	372
NO _x i røggas	g/MWh	2109	1689	1900	2064	1949	1951
SO ₂ i røggas	ppm	961	1033	1419	1462	1433	1491
SO ₂ i røggas	g/MWh	6544	6521	10497	10266	10639	10470
FASTSTOFEMISSION							
Studs A	mg/m ³ ,n,t	273	183	250	176	201	171
Studs B	mg/m ³ ,n,t	252	290	228	197	222	179
Studs C	mg/m ³ ,n,t	288	266	247	214	226	197
Studs D	mg/m ³ ,n,t	201	208	201	164	175	171
Studs, middel	mg/m ³ ,n,t	253	236	232	188	206	180
Totalemission	kg/h	148	158	151	126	139	121
Totalemission	g/MWh	606	607	602	484	527	461

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

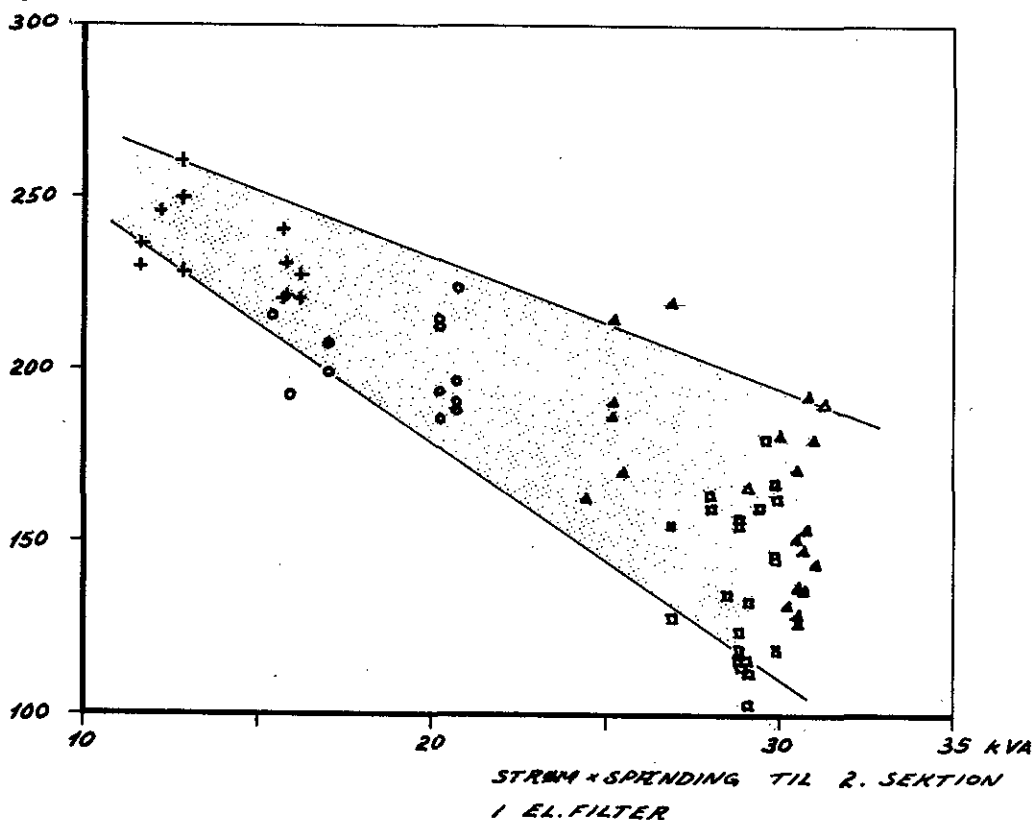


Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.4.2.

FRSTSTOFKONCENTRATION EFTER EL.FILTER

mg/m³n.t



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

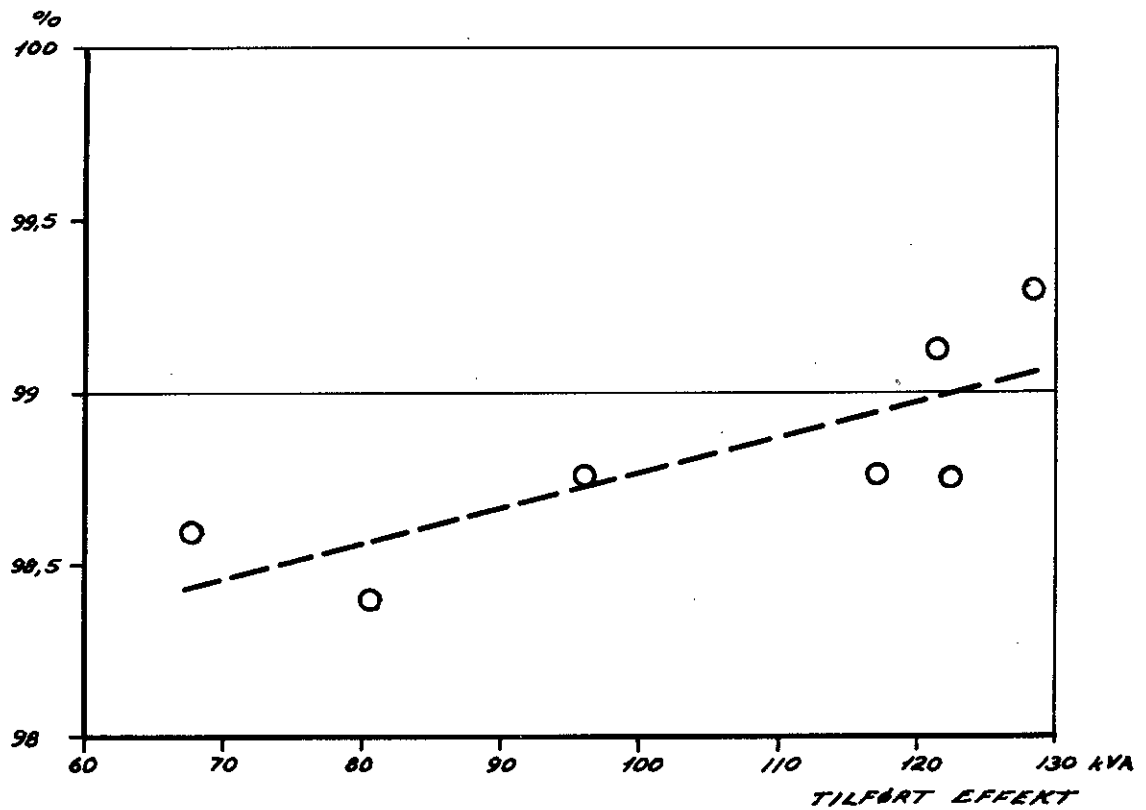
GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: L J

Bilag nr.: 7.5.1.

ELEKTROFILTERS EFFEKTIVITET



**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: *LJ*

Bilag nr.: *7.5.2.*

FUELOLIE - FYRING

EMISSION

g/kg

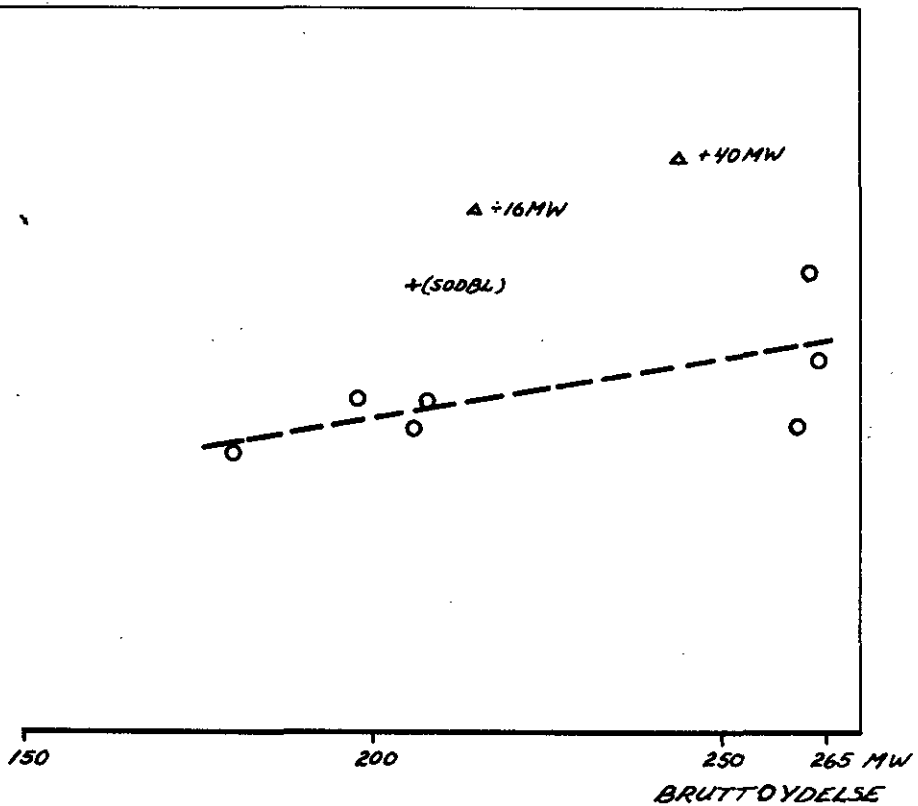
3,5

3,0

2,5

2,0

1,5



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11

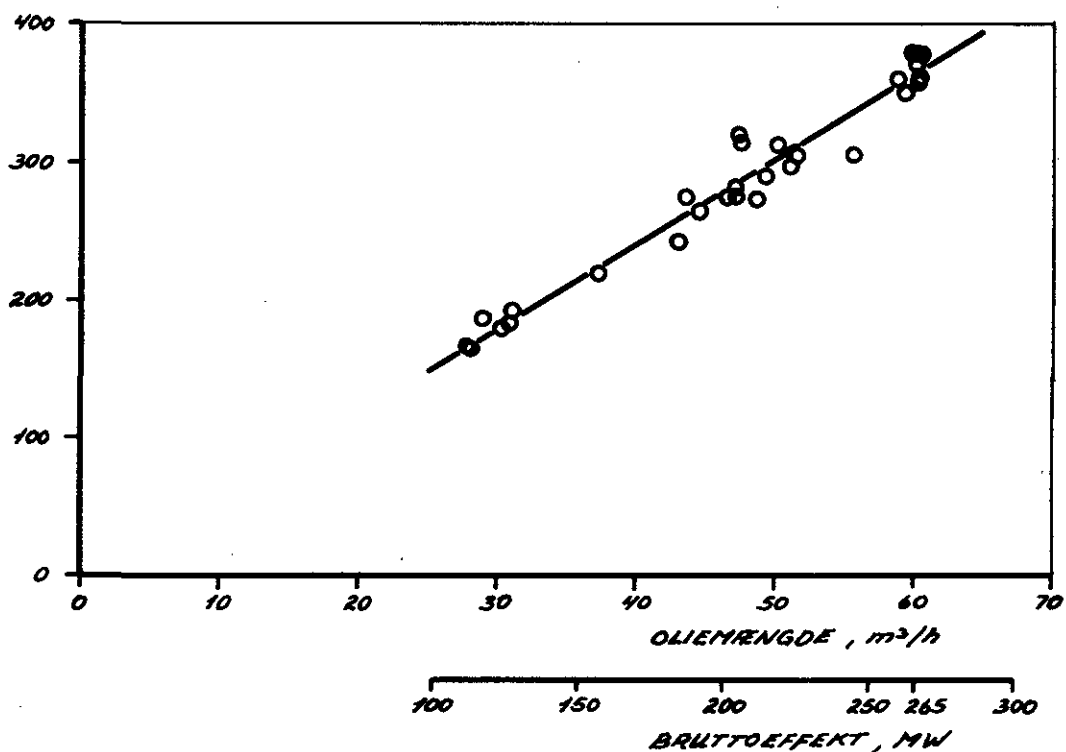


Sign.: *LJ*

Bilag nr.: *7.6.1.*

STUDSTRUP-VÆRKET BLOK 2
FUELOLIE-FYRING

NO_x I RØGGAS
ppm



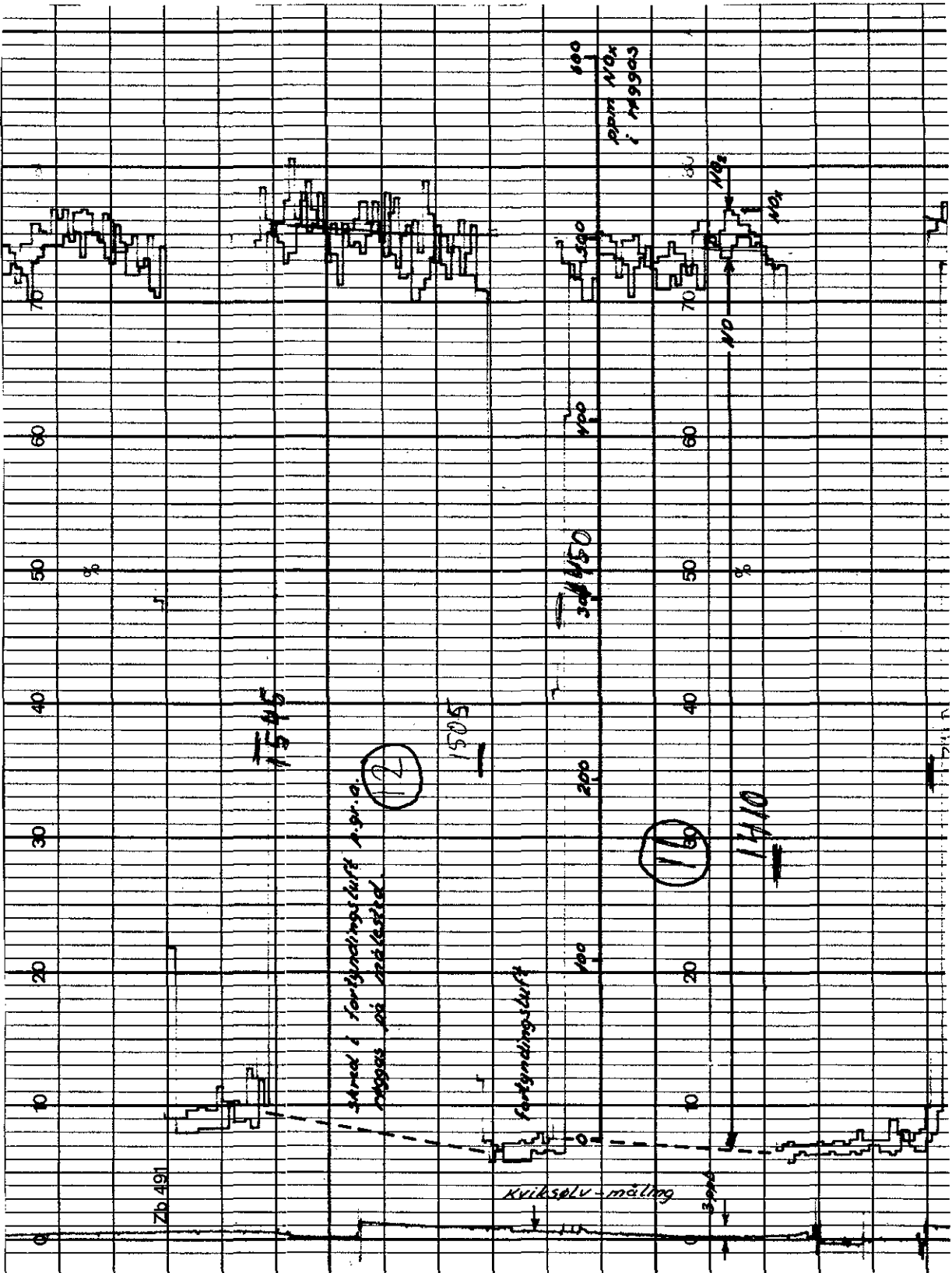
DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.:

Bilag nr.: 7. 7.1.



**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

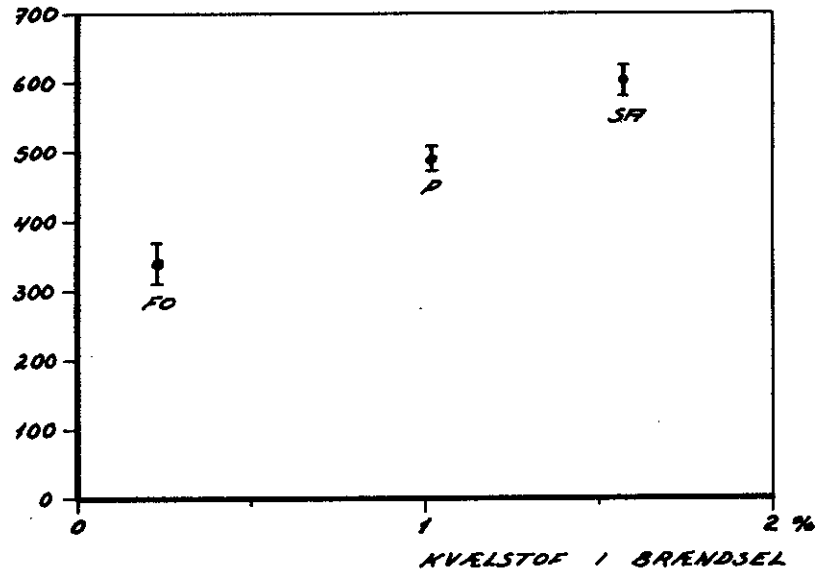


GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

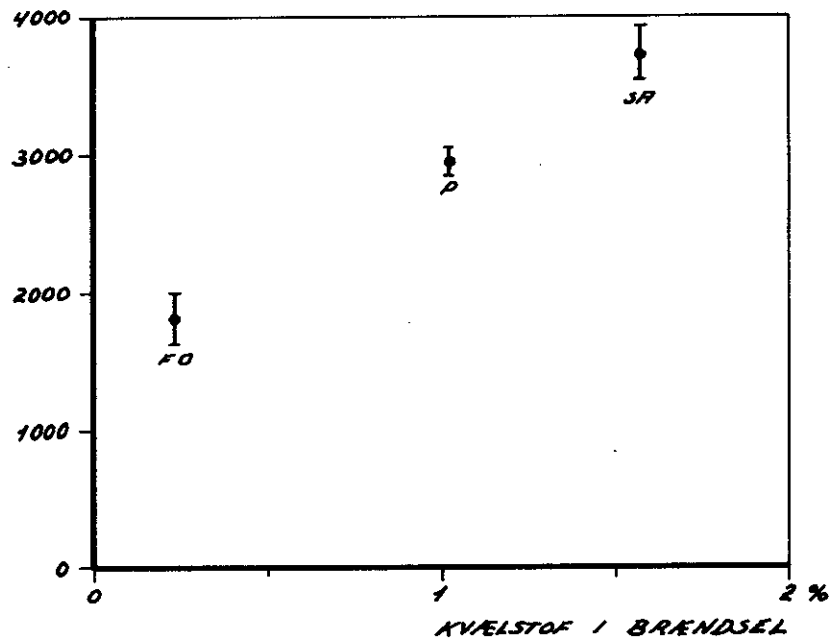
Sign.: 23.

Bilag nr.: 7.7.2.

ppm NO_x i røggas



NO_x-emission som NO₂
g/MWh



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

Sign.: L J

Bilag nr.: 7.7.3.

KVIKSØLV-FORDELING

Prøvedato	Hg i kul mg/h	Hg i slagge mg/h	Hg i udskilt aske mg/h	Hg-emission mg/h
79.02.15.	4294	-	3249	1045
79.02.16.	4558	5	3969	584
79.02.17.	5256	-	3516	1740
79.02.21.	18771	22	8763	9986
79.02.22.	17708	17	8622	9069
79.03.07.	13613	15	7246	6352
79.03.08.	12911	8	8042	4861

MIDDEL :	mg/h	mg/h	mg/h	mg/h
POLSKE KUL	4700(±11%)	5	3580(±10%)	1123(±52%)
SYDAFR. KUL	18240(±4,1%)	20	8690(±1,2%)	9530(±6,8%)
SYDAFR. KUL	13260(±3,7%)	12	7640(±7,4%)	5610(±19%)

FORDELING	mg/MWh	mg/MWh	mg/MWh	mg/MWh
POLSKE KUL	29	0,03	22	7
SYDAFR. KUL 1	114	0,13	54	60
SYDAFR. KUL 2	83	0,08	48	35

FORDELING	%	%	%	%
POLSKE KUL	100	0,11	76,1	23,9
SYDAFR. KUL 1	100	0,11	47,7	52,2
SYDAFR. KUL 2	100	0,09	57,6	42,3

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

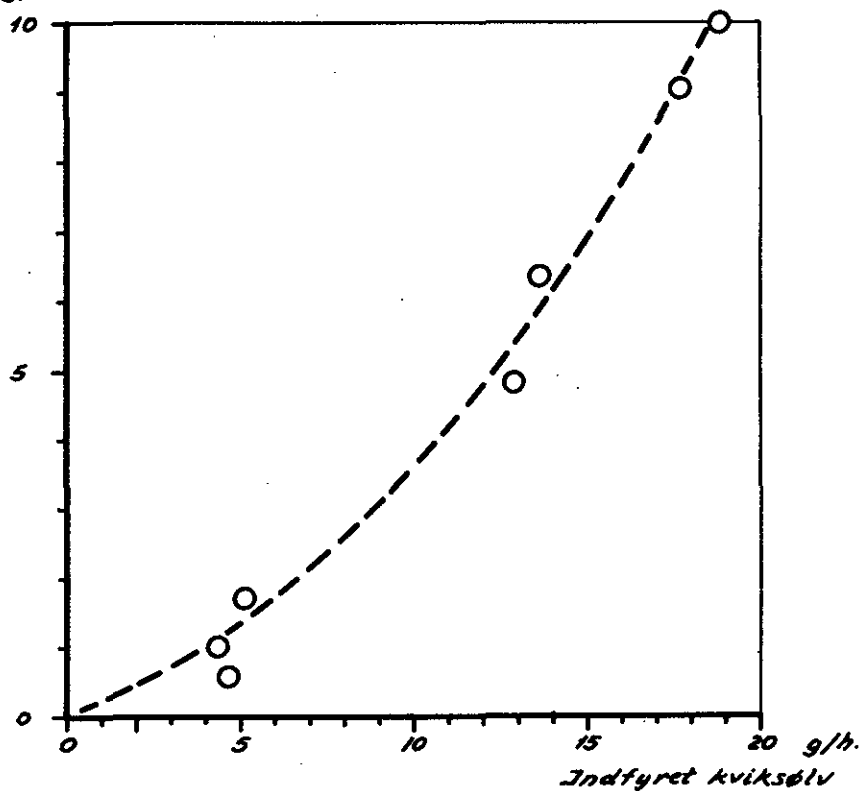


GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

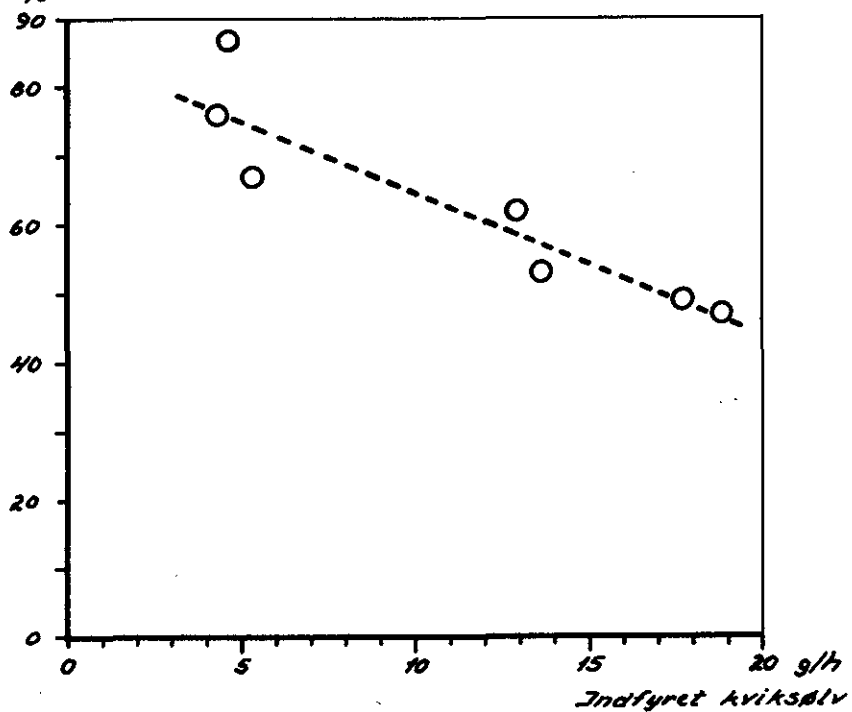
Sign.:

Bilag nr.: 7.8.1.

Emission of kviksølv
g/h



Udskilt kviksølv i el.filter
%



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



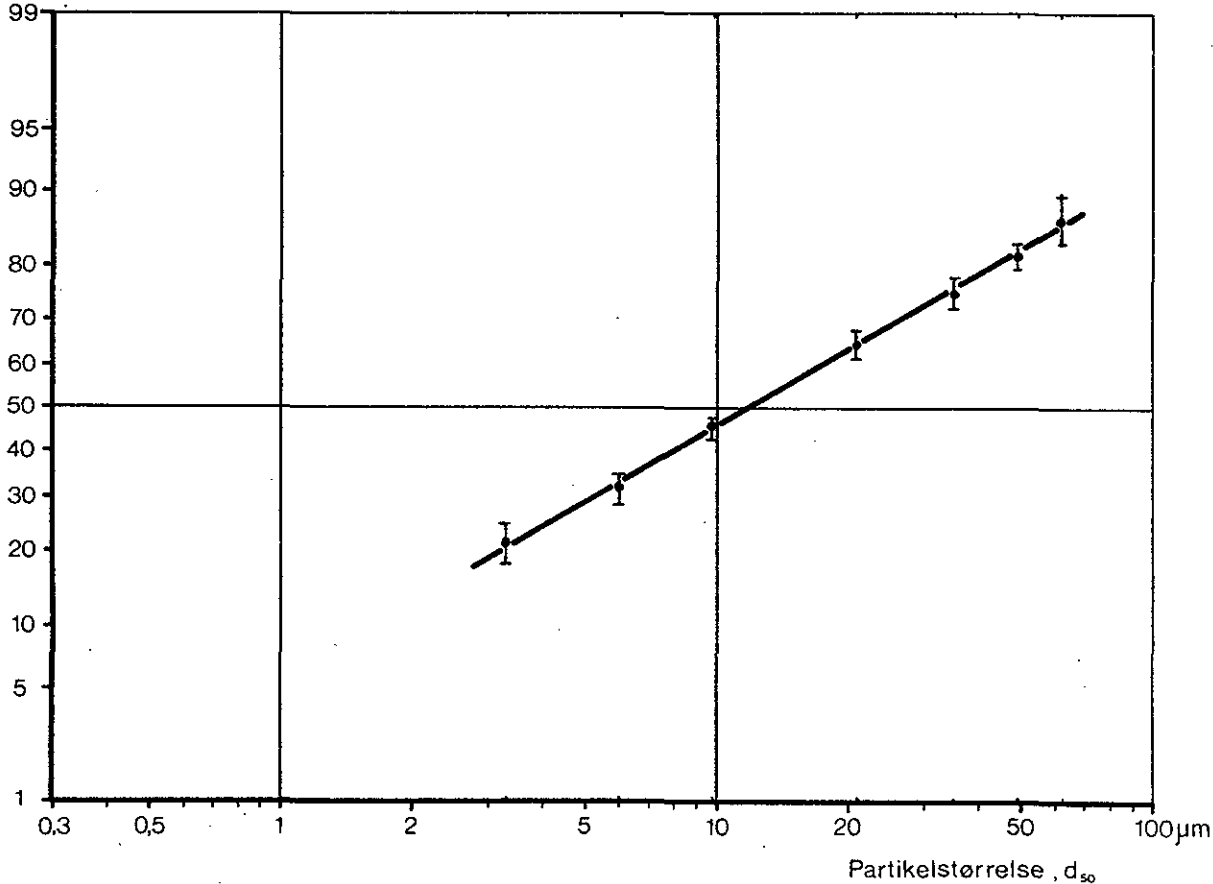
GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

Sign.: LJ

Bilag nr.: 7.8.2.

PARTIKELFORDELING

Massefordeling af faststof
% mindre end d_{50}



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

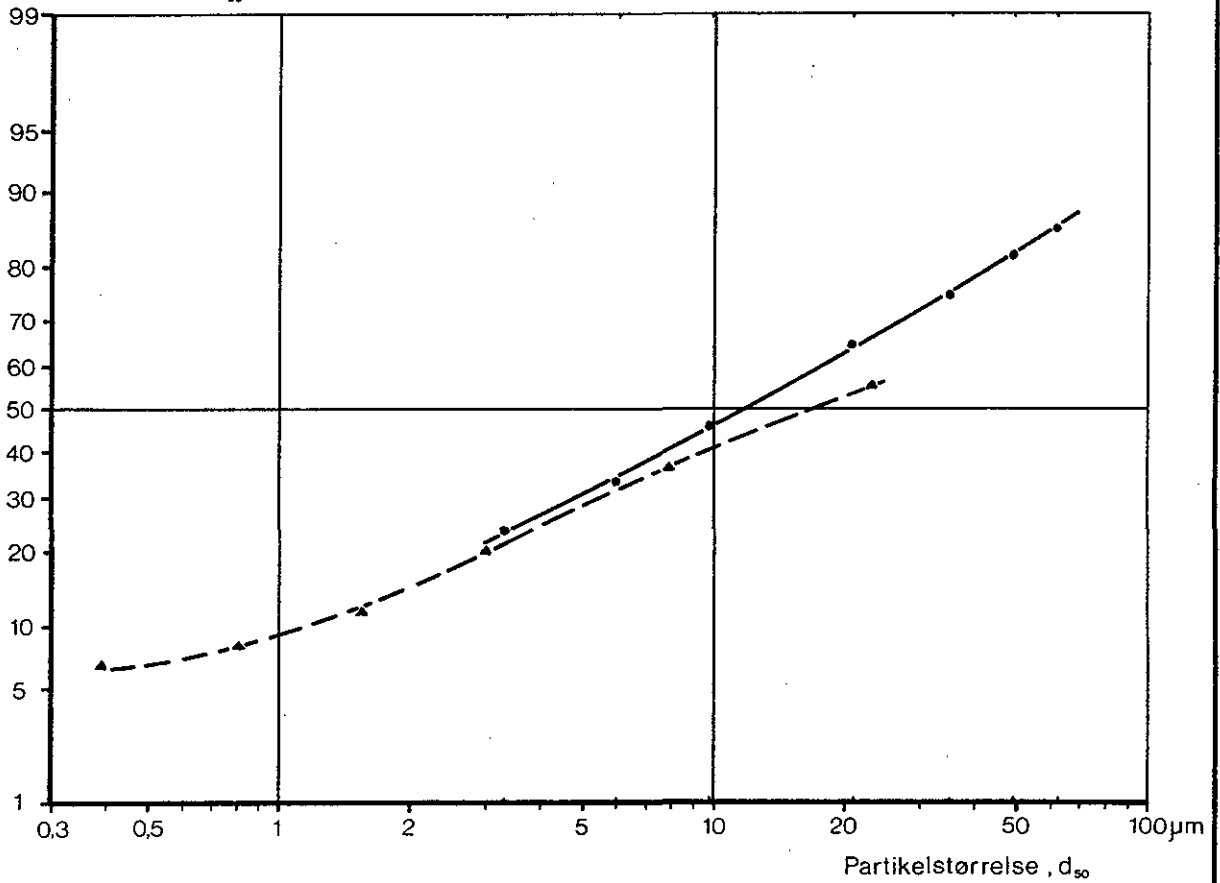


Sign.: *LJ*

Bilag nr.: *7.9.1.*

PARTIKELFORDELING

Massefordeling af faststof
% mindre end d_{50}



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

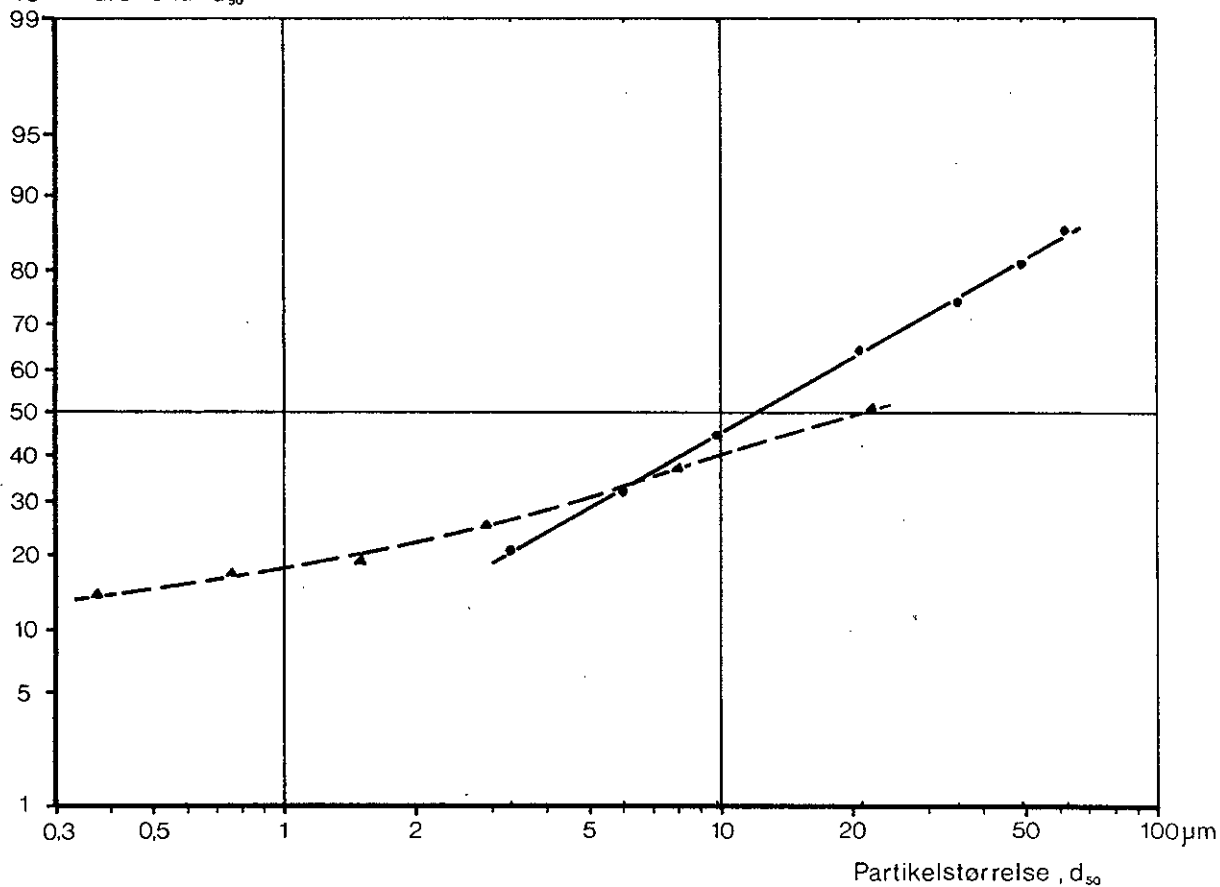


Sign.: 43

Bilag nr.: 7.9.2.

PARTIKELFORDELING

Massefordeling af faststof
% mindre end d_{50}



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

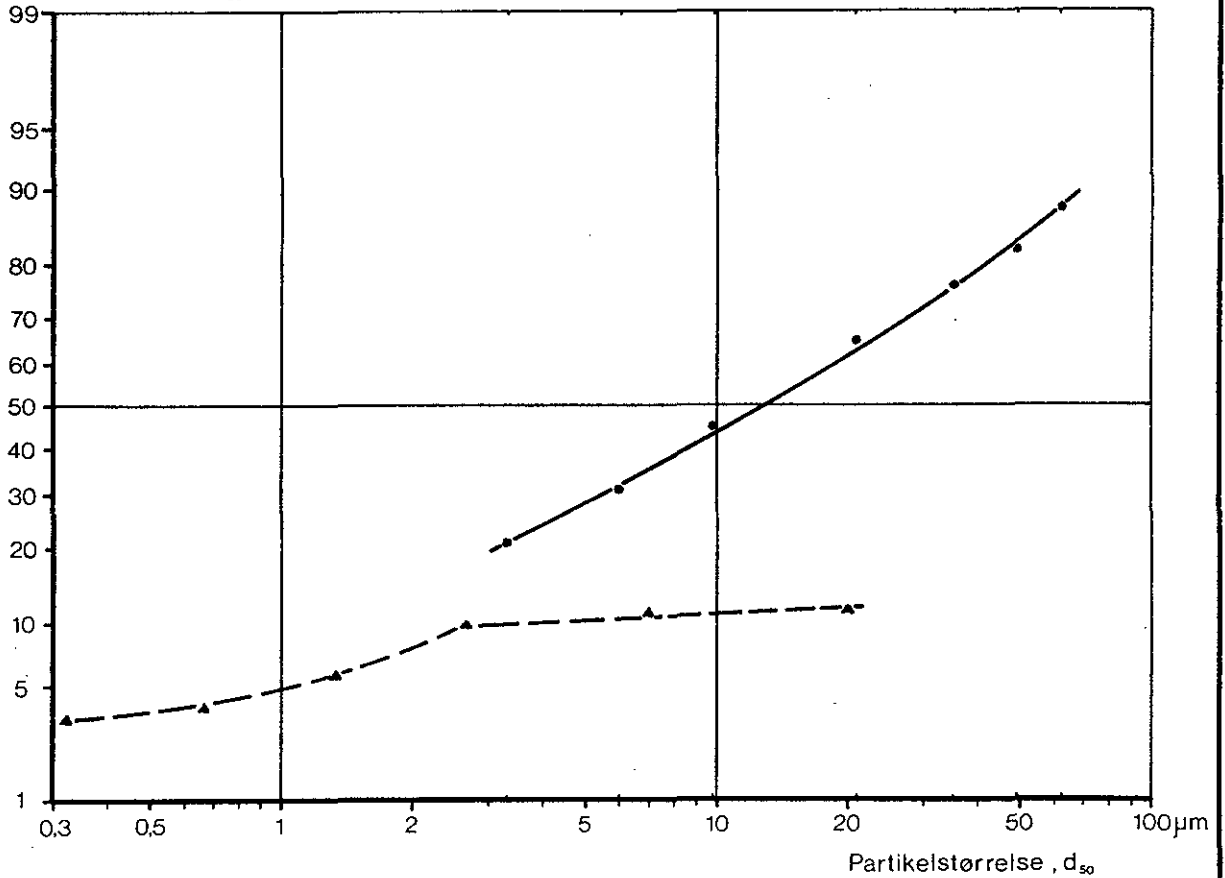


Sign.: *LJ*

Bilag nr.: *7.9.3.*

PARTIKEL FORDELING

Massefordeling af faststof
% mindre end d_{50}



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

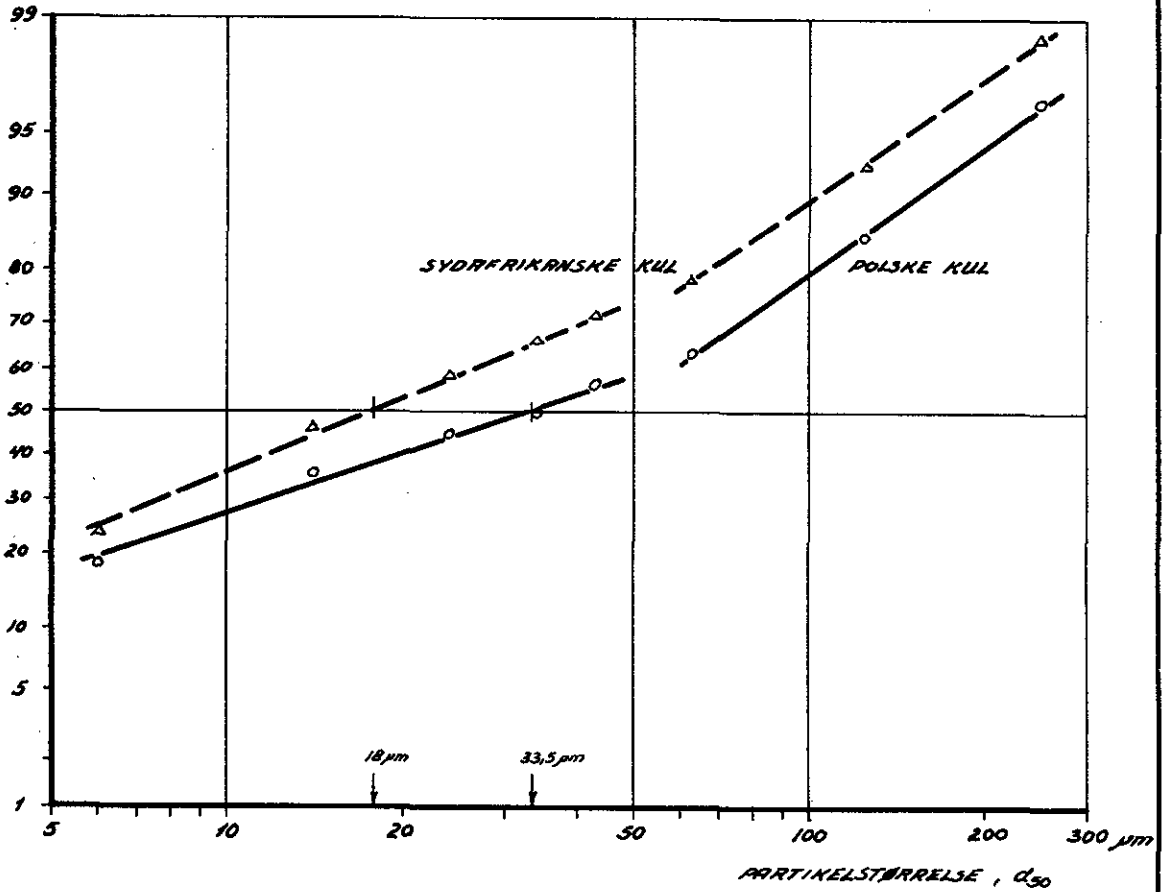


Sign.: *L J*

Bilag nr.: **7.9.4.**

MASSEFORDDELING AF UDSKIET RÅKE

% mindre end d_{50}



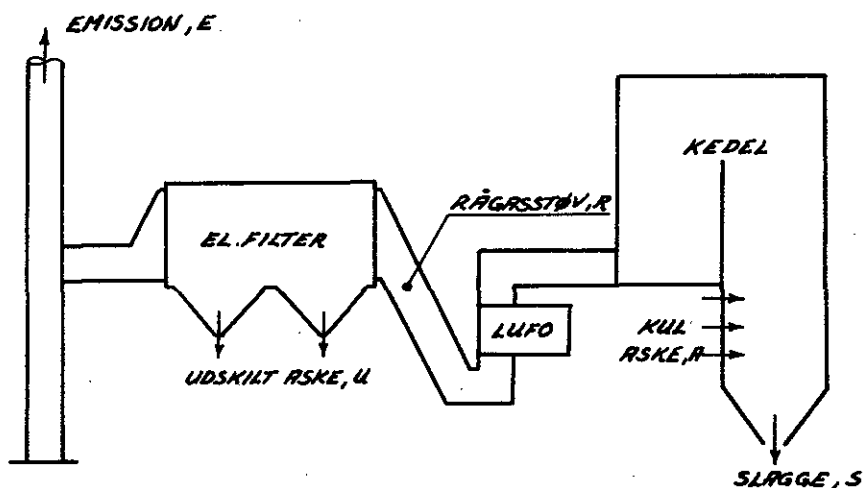
DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: LJ

Bilag nr.: 7. 10. 1.



B_{Gu} = Brændbart i udskilt støv og emission

B_{Gs} = Brændbart i slagge

Index a : Ubrændbar bestanddel

$$A = S \times \frac{100 - B_{Gs}}{100} + U \times \frac{100 - B_{Gu}}{100} + E \times \frac{100 - B_{Gu}}{100}$$

Forhold $S : U = 7 : 93$ (iflg. Studstrupværket).

$$A - E \times \frac{100 - B_{Gu}}{100} = S \times \frac{100 - B_{Gs}}{100} + U \times \frac{100 - B_{Gu}}{100} = S_a + U_a$$

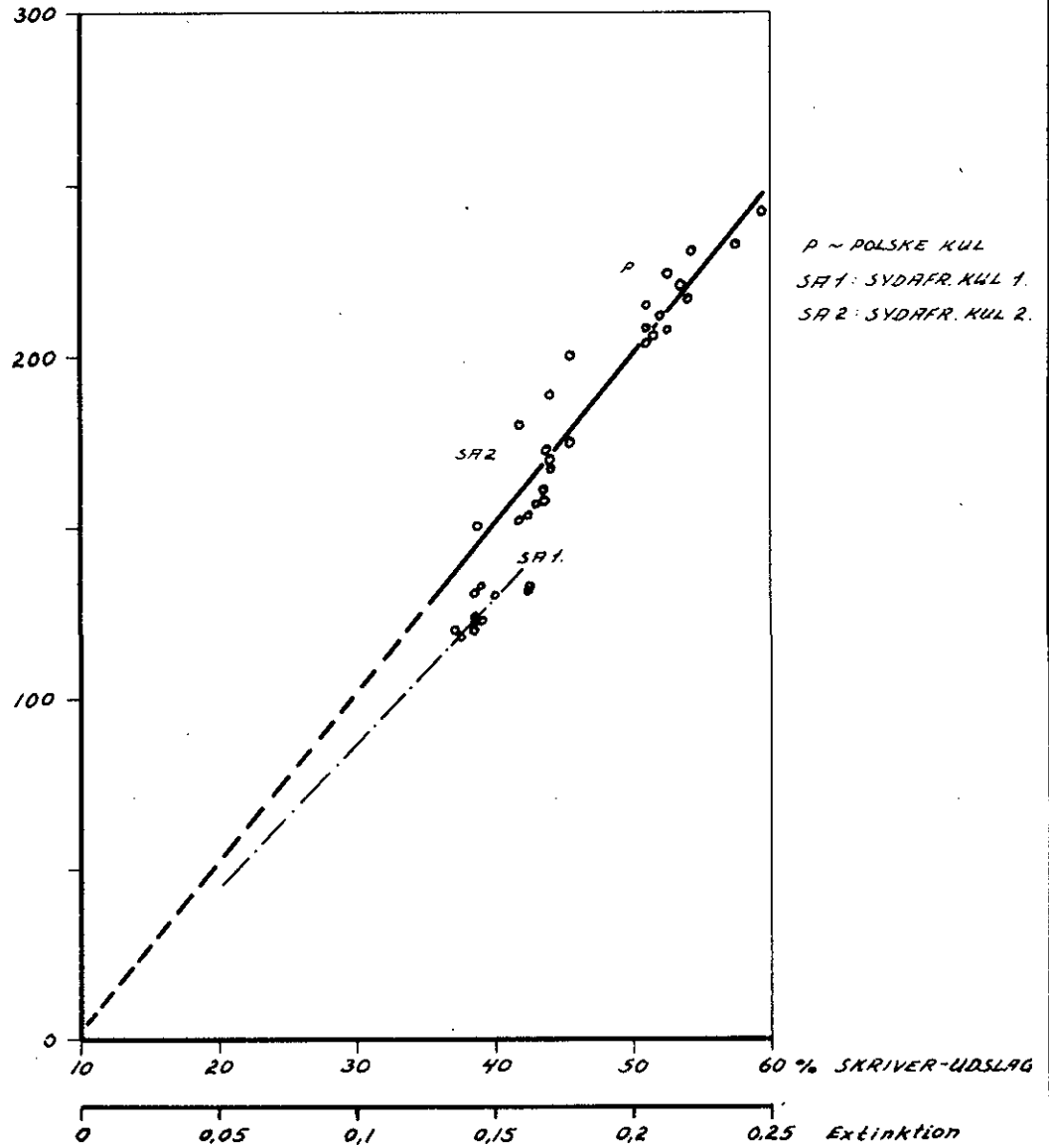
$$A = \frac{\text{Fugtig røgmængde}}{m^3, n_f / kg} \times \text{askeandel i indfyret kul}$$

$$\text{Forhold } S_a : U_a = \left(93 \times \frac{100 - B_{Gs}}{100} \right) : \left(7 \times \frac{100 - B_{Gu}}{100} \right)$$

$m^3, n_f / kg$ = specifik fugtig røgmængde beregnet efter brændselsanalyse.

Efter dette princip er mængden af udskilt støv fra elektrofiltret og mængden af slagge fra fyrrummet beregnet.

FASTSTOF KONCENTRATION, MANUEL MÅLING
mg/m³n,t



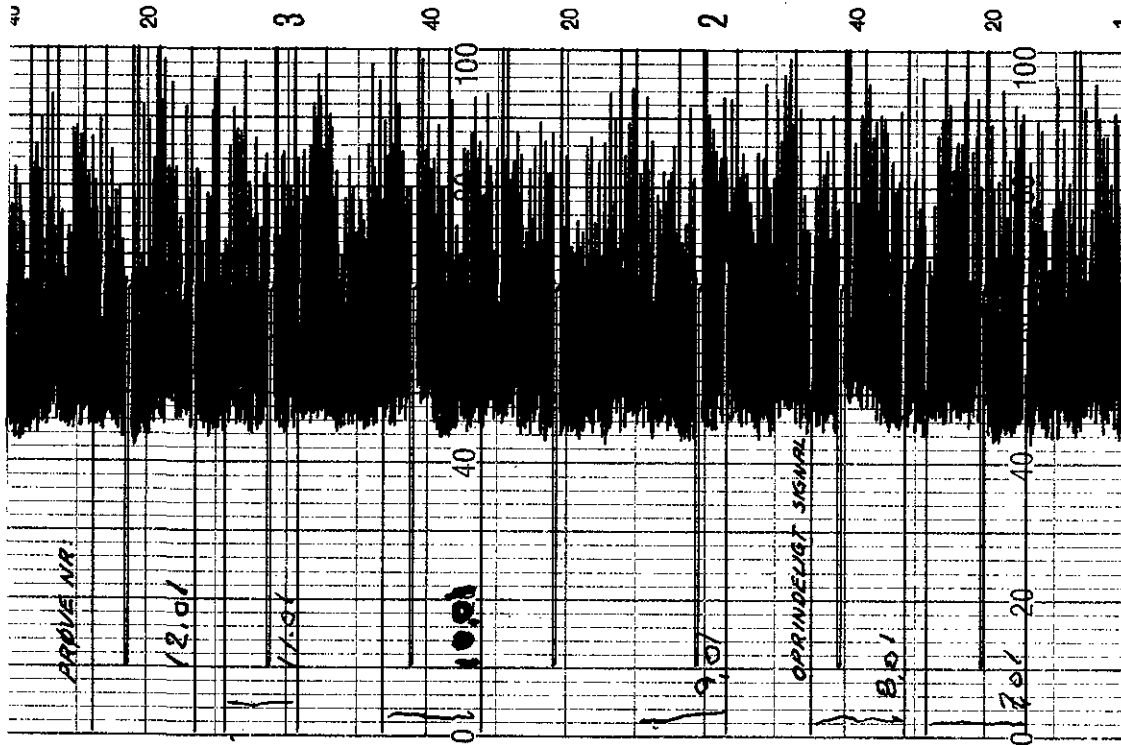
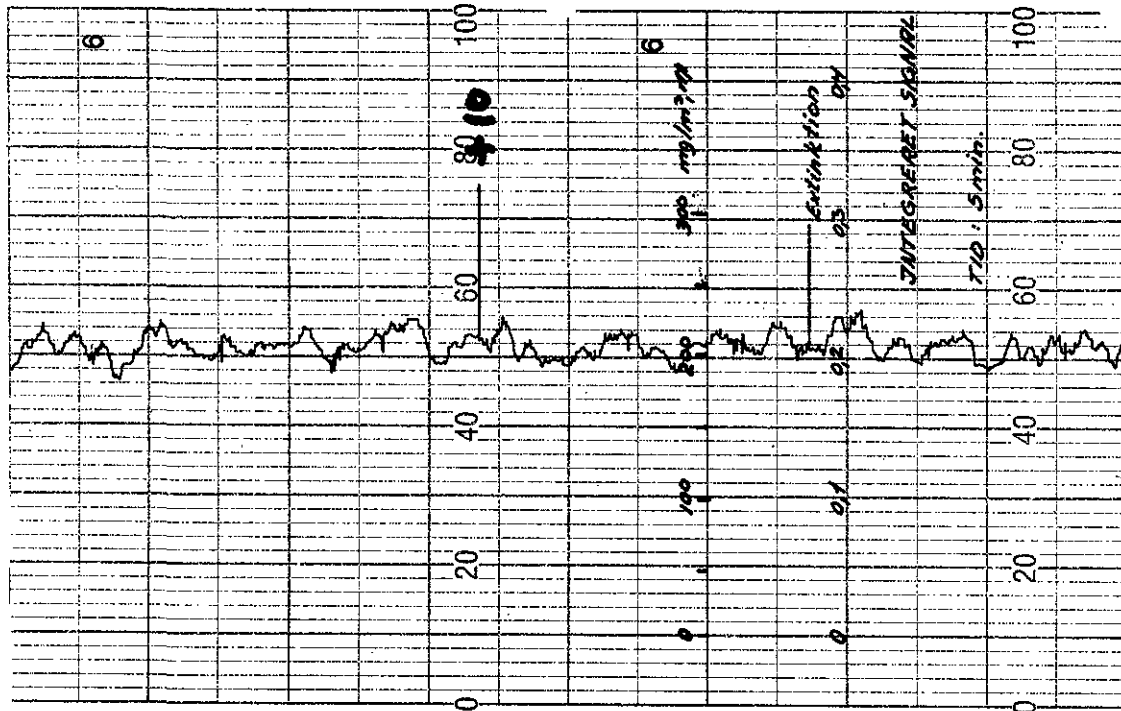
DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MOLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: L J

Bilag nr.: 7.12.1.



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.: 13

Bilag nr.: 7.12.2.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



BILAGSFORTEGNELSE AFSNIT 8: ANALYSERESULTATER.

- 8.1.1. Middelmission af grundstoffer.
- 8.1.2. Middelkoncentration i emitteret faststof.
- 8.2.1. - 8.2.3. Grundstofkoncentration i forbrændingsrester.
- 8.3.1. - 8.3.7. Grundstoffordeling i forbrændingsrester.
- 8.4.1. Procentisk grundstoffordeling i emission.
- 8.5.1. Arsenkoncentration i finkornet faststofemission.
- 8.6.1. Vanadiumkoncentration i finkornet faststofemiss.
- 8.7.1. Gennemsnitsanalyse af kulprøver.
- 8.7.2. Fuelolieanalyser.
- 8.8.1. - 8.8.3. Kviksølvanalyser af div. prøver.
- 8.9.1. PAH-analyse af emitteret faststof.
- 8.10.1. - 8.10.5. SEM-fotos af emitteret faststof.



8. ANALYSERESULTATER.

I dette afsnit vil der blive givet en oversigt over de mange analyseresultater opnået i forbindelse med målingerne. Da data-mængden er betydelig vil der primært blive behandlet middeltalresultater.

I bilag 8.1.1. er samlet middelemmissionen af de forskellige grundstoffer ved de tre brændselstyper: polske kul, sydafrikanske kul og fuelolie. Værdierne er udtrykt i mg pr. produceret MWh. Der er angivelse af standardafgivelsen på middeltallene udtrykt i procent af middelværdien.

I bilag 8.1.1. er ligeledes opstillet forholdet i grundstofemissionen ved kulfyring kontra oliefyring, ligesom området for dette forhold er angivet, når der tages hensyn til standardafgivelsen på begge middeltal.

Analyseresultaterne som er grundlaget for resultaterne i bilag 8.1.1. er sammensat af minimum 2 delresultater på 2 fraktioner af det emitterede faststof, efter følgende princip:

$$\text{Totalemission af faststof} : \Sigma = \frac{x \times b}{a \times MW} \text{ mg/MWh}$$

hvor:

x = måleværdi fra analyseret delmåling fra studs A henholdsvis studs C i mg/h.

a = røgmængde i kvadrant ved studs C henholdsvis A i m³,n,f/h.

b = total røgmængde i skorsten.

MW = middel bruttobelastning for turbine.

Da de analyserede prøver er fremkommet ved udskilning i en cy-



klon og filter efter dette princip:

Emission af et grundstof:

$$e = \Sigma \{ \eta_c \times \text{ppm}_c + (1 - \eta_c) \times \text{ppm}_f \} \text{ mg/MWh}$$

hvor:

η_c = udskilningsgraden for målecyklon

ppm_c = grundstoffets koncentration i cyklonstøv

ppm_f = grundstoffets koncentration i filterstøv

Herved er regnet med at støvfractionen som ikke er opsamlet i cyklonen er sammensat som støvet på filteret fra kaskadeimpaktoren. At dette er rimeligt ses af denne sammenligning af cycloneffektiviteten og faststofandelen på kaskadeimpaktorens filter:

Kultype	Cykloneffekt	Filtermængde	Cyklon
polske	96,8 ± 0,8 %	6,6 ± 1,3 %	75 mm
sydafrika 1.	95,2 ± 0,9 %	10,6 ± 6,1 %	75 mm
sydafrika 2.	97,0 ± 0,5 %	3,4 ± 0,4 %	75 mm
fuelolie	87,1 ± 2,4 %	12,9 ± 2,4 %	36 mm

Ved fueloliefyringen er filteret koblet direkte efter cyklonen.

Disse beregninger er gennemført på alle analyseresultater, hvorefter middelværdien er beregnet til notering i bilag 8.1.1.

I bilag 8.2.1. - 8.2.3. er angivet middelkoncentrationen af grundstofferne i de forskellige dele af forbrændingsresten. Nederst på disse bilag er angivet andelen af den med brændt indfyrede aske, som har forladt kedlen som slagge, udskilt i elektrofilteret eller emitteret i forskellige størrelsesfraktioner. Ved kulfyring er fordelingen typisk:

Slagge fra fyrrum	:	6,9 ± 0,03 %
Udskilt i elektrofilter	:	92,0 ± 0,3 %
Emission > 2,4 µm	:	1,0 ± 0,3 %
Emission < 0,4 µm	:	0,07 ± 0,03 %

Bilag 8.3.1. - 8.3.3. viser den vægtmæssige fordeling af grundstofferne i anlægget, hvoraf det fremgår at den overvejende mængde af stofferne udskilles i elektrofilteret eller som slagge.

Af bilag 8.3.4. - 8.3.7. kan den procentiske fordeling af grundstofferne aflæses, og heraf ses at typisk omkring 98 - 99 % af stofferne bindes i slagge og udskilt aske ved kylfy-ring.

Fordelingen er fundet at være:

	Slagge	Udskilt aske	>2,4 µm	<0,4 µm
Gruppe 1 :	6,5(±30%)	93,2(±3%)	1,2(±38%)	0,08(±74%)
Gruppe 2 :	2,9(±29%)	95,5(±3%)	1,5(±45%)	0,37(±64%)
Gruppe 3 :	6,2(±22%)	91,8(±2%)	1,7(±82%)	0,15(±73%)

Denne gruppering af grundstofferne er valgt efter forbillede i artiklen "Chemical Studies of Stack Fly Ash from a Coal-Fired Power Plant" af G. C. David et.al.. Følgende stoffer findes i grupperne:

Gruppe 1 : Matrix elementer. Lithoplitisk optræden

Al-Ca-Cc-Cs-Dy-Eu-Fe-Hf-K-La-Mg-Mn-Na-Nd
Rb-Sc-Sm-Ta-Tb-Th-Ti-Yb

Gruppe 2 : Stærk tilknytning til små partikler. Chalcophilisk optræden.

As-Cd-Ga-Mo-Pb-Sb-Se-W-Zn



Gruppe 3 : Mellemliggende optræden

Ba-Bc-Co-Cr-Cu-Ni-Sr-U-V

I bilag 8.4.8. er vist fordelingen af grundstofferne i det emitterede faststof ved fyring med sydafrikanske kul ved måleserie 2 og med fuelolie.

I bilag 8.5.1. er vist forholdet mellem faststofandel på slutfilteret i kaskadeimpakturen og arsen-koncentrationen. Det ses at faldende faststofandel på filteret, giver kraftigt forøget arsen-koncentration.

Nederst er beregnet absolut arsen-mængde på filteret i afhængighed af faststofmængden på filteret. Det ses at arsen-mængden tilsyneladende er uafhængig af totalstøvmængden i den fineste fraktion.

I bilag 8.6.1. ses at vanadium-koncentrationen varierer med den finkornede faststofandel, og det samme forhold er fundet for følgende stoffer : Zink (Zn), Gallium (Ga), Bly (Pb), Strontium (Sr) og Nikkel (Ni). For øvrige stoffer i disse grupper findes for få analyseresultater.

I bilag 8.7.1. findes middelresultater af kulanalyserne udført i forbindelse med målingerne.

Det fremgår heraf at især indholdet af Nitrogen og svovl er forskellige i de to kultyper.

I bilag 8.7.2. findes middelresultatet af fuelolieanalyserne. Som forventeligt er der ingen forskel i analyseresultaterne.

I bilag 8.8.1. - 8.8.3. findes analyseresultaterne fra ISOTOP-CENTRALEN af kviksølvindholdet i de forskellige prøver. Det fremgår heraf at Hg-indholdet i prøverne fordeler sig således:

Brændselstype	:	Polske kul - sydafrikanske kul - fuelolie		
Brændsel	:	82,9 (±12)	271 (±24)	3,5 (±70)
Slagge	:	10,4 (-)	26,9 (±27)	-
Udskilt aske	:	564 (±21)	1100 (±11)	-

Tallene angiver nanogram/gram prøve svarende til mikrogram pr. kg prøve (ppb). Tallene i parentes angiver standardafvigelsen i procent af middeltallet.

Der er således en markant forskel i kviksølvindholdet i kul og olie. Dette harmonerer dårligt med analyseresultaterne af faststof emitteret ved fueloliefyring hvor (NAA) viste Hg indhold på 77,1 ppm eller 77100 ppb. Faststoffemissionen er målt til 2,54 g/kg olie, hvorfor de 3,5 ppb Hg i fuelolien svarer til 1380ppb i det emitterede faststof, hvis det var 100 % partikelbundet. Dette er ca. 56 gange mindre end analyseværdien fra det emitterede faststof. Det skal her bemærkes at N. H. Bastholm, NBI i et notat af 1979.06.11. har skrevet : "Endelig har jeg i olieasken fundet noget som jeg mener er Hg, men det er ikke sikkert det er rigtigt".

På dette grundlag er det besluttet at regne med det på Isotopcentralen fundne kviksølvindhold i olien, som emissionsværdien.

Som bilag 8.9.1. er indsat rapport fra Civilforsvarets analytisk-kemiske laboratorium, hvor det overraskende konkluderes at der kun findes lette polyaromatiske kulbrinter i det opsamlede faststof, i modsætning til resultater fra immissionsmålinger, (se side 2 sidste linie og side 3 øverst). Det konkluderes i rapporten at udvælgelse af et mere velegnet opsamlingsmedium og en mere detaljeret analyse af forhold mellem brændselsvariation, fyringsforhold og PAH-emission kunne være påkrævet, se side 3 nederst.

I forbindelse med analyseresultaterne er flere gange nævnt fraktioner af det emitterede faststof ($>4,4 \mu\text{m}$, $> 2,4 \mu\text{m}$, $< 4,4 \mu\text{m}$ og $<0,4 \mu\text{m}$). Disse skilleværdier er beregnede størrelser for det anvendte måleudstyr, og for at få lidt flere oplysninger om disse værdiers rigtighed er gennemført mikroskopering af en del prøver på filtre. Nogle få mikrofotos er samlet i bilag 8.10.1. - 8.10.5.

Billederne i bilag 8.10.1. viser kaskadeimpaktorfilteret fra en måling, hvor cyklon-forudskilleren ikke er monteret. Oversigtsbilledet øverst giver et indtryk af mængden af store partikler på filteret og størrelsen af disse partikler fremgår af nederste billede. Der er en hel del for store partikler på filteret, partikler som burde være udskilt på et tidligere trin i impaktoren, men som ikke er blevet fastholdt.

Med cyklon-forudskilleren monteret før impaktoren bliver mængden af store partikler på filteret mindre, som det ses af bilag 8.10.2. øverst, og mængden på filteret kan med større rigtighed betegnes som værende mindre end $0,4 \mu\text{m}$.

Cyklon-forudskilleren blev ved de senere målinger anvendt direkte koblet foran et filter uden kaskadeimpaktoren imellem. Dette skete efter erkendelsen af de i kaskadeimpaktorens trin opsamlede støvfraktioners uanvendelighed ved grundstofanalyse. Det medførte at al faststof som passerer forudskilleren opsamles på filteret, og mængden af partikler over $1 \mu\text{m}$ vokser væsentligt på prøverne som det ses af bilag 8.10.3. Mængden af små partikler er ikke mere dominerende i nederste billede. Fraktion på filteret: partikler mindre end $4,4 \mu\text{m}$.

I bilag 8.10.4. ses billeder af filterprøver fra den fueloliefyrede kedel. Prøverne kan direkte sammenlignes med bilag 8.10.3., da måleudstyrene, anvendt ved målingerne er identiske.



I bilag 8.10.4. fås et helt andet indtryk af den fineste fraktion. Filteret er belagt med en meget svovlholdig, sammensmeltende belægning, som helt tilslører de enkelte partiklers form og størrelse. På nederste billede ses en oliekok som helt er overklæbet med denne tilsyneladende plastiske faststoffraktion. Det fremgår af billederne i bilag 8.10.1. til 8.10.4. at der er en væsentlig forskel i det finkornede faststofs egenskaber ved kulfyring kontra oliefyring. Den finkornede fraktion ved kulfyring optræder som enkeltpartikler, medens partikelmassen ved oliefyring klistrer sammen til en uformelig masse, så snart det opsamles.

I bilag 8.10.5. er samlet 2 billeder af speciel interesse. Øverste billede fordi det viser hvor tyndskallede de sfæriske partikler ved kulfyring er. Skaltykkelsen er målt til ca. 1-8 % af diameteren for sfærer på 10 - 20 μm .

Nederste billede viser et oliekok-lignende fragment af en stor partikel. Sammensætning og dannelses-forløb er ukendt, men det formodes at være en koksrest af en afgasset kulpartikel, som ikke er forbrændt.

Det fremgår af dette at partikelstørrelserne i de tidligere i rapporten omtalte faststoffraktioner ikke er alt for vel delfineret, men da en bedre angivelse end beregnede skillediameter ikke kan fremskaffes, er beregningsresultatet fastholdt som betegnelse. Usikkerheden på partikelstørrelsen går da ind på linie med alle øvrige usikkerheder på de rapporterede resultater, uden at fejlen dog kan kvantificeres.

MIDDELEMISSION i mg/MWh								
STOF	POLSKE KUL	SD %	SYDAFR. KUL	SD %	FUEL- OLIE	SD %	Forhold kul olie	område kul olie
Si	149.000	13,8	157.000	13,2	10.500	16,3	14,7	11-20
Al	35.200	9,4	40.800	20,6	-	-	+	
S	3.570	15,5	2.770	23,7	39.300	7,8	0,077	0,05-0,1
K	10.100	10,4	5.290	26,8	294	10,9	23,5	13-37
Ca	23.700	12,9	17.300	16,6	460	33,7	42,3	25-78
Ti	3.720	11,1	4.570	15,2	35,2	43,2	122	71-250
Mn	745	13,4	243	15,4	13,8	28,3	29,7	9-67
Fe	41.000	12,7	38.600	14,3	3031	24,9	13,0	9-20
Rb	76,5	6,0	40,2	15,3	-	-	+	
La	-	-	57,7	40,6	-	-	+	
Ce	89,5	21,9	122	21,8	-	-	+	
Th	23,3	22,3	14,1	23,9	-	-	+	
Zn	769	12,0	168	20,9	183	39,9	2,0	0,3- 6
Ga	30,1	16,3	35,5	25,5	5,83	42,4	5,8	3 -12
As	50,9	12,0	58,0	22,9	6,57	4,0	8,5	6 -11
Se	-	-	19,6	58,2	1,54	31,2	12,7	4 -29
Mo	51,4	41,2	29,2	57,8	52,0	10,2	0,7	0,3-12
Cd	9,70	21,6	5,98	19,5	2,56	28,5	3,0	1,6- 6
Sb	13,4	-	11,6	-	4,09	29,3	3,1	2 - 5
Hg	7		47,5	37,2	0,57	70	60	8 - 350
Pb	201	14,9	68,2	18,8	76,0	48,6	1,5	0,4- 5
Ba	1500	13,7	1120	15,3	10,1	34,7	123	73-227
V	278	12,6	320	15,0	9410	8,3	0,032	0,03-0,04
Cr	313	47,3	295	36,0	-	-	-	-
Ni	296	37,2	227	23,2	2890	13,3	0,087	0,05-0,13
Cu	93,4	21,3	40,3	42,8	54,1	9,1	1,1	0,5-2
Sr	585	8,9	1000	16,0	8,00	12,4	108	69-157
Total støv	617000	13,0	452000	14,0	545000	11,0		

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11

Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.1.1.

MIDDELKONCENTRATION

STOF	DIM.	POLSKE	KUL	SYDAFR.	KUL	FUELOLIE
Si	µg/m ³ n,t	49.800		51.700		4.030
Al	"	11.800		13.400		-
S	"	1.190		911		15.100
K	"	3.370		1.740		113
Ca	"	7.920		5.690		177
Ti	"	1.240		1.500		13,5
Mn	"	249		79,9		5,3
Fe	"	13.700		12.700		1.160
Rb	"	25,6		13,2		-
La	"	-		19,0		-
Ce	"	29,9		40,1		-
Th	"	7,8		4,6		-
Zn	µg/m ³ n,t	257		55,3		70,3
Ga	"	10,1		11,7		2,2
As	"	17,0		19,1		2,5
Se	"	-		6,4		0,6
Mo	"	17,2		9,6		20,0
Cd	"	3,2		2,0		1,0
Sb	"	4,5		3,8		1,6
Hg	"	2,3		15,6		0,2
Pb	"	67,1		22,4		29,2
Ba	µg/m ³ n,t	501		368		3,9
V	"	92,9		105		3.610
Cr	"	105		97,1		-
Ni	"	98,9		74,7		1.110
Cu	"	31,2		13,3		20,8
Sr	"	195		329		3,1
Total støv	µg/m ³ n,t	206.000		168.000		209.000

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.1.2.

POLSK KUL		GRUNDSTOFKONCENTRATION I FASTSTOF						
STOF	DIM.	UDSKILT		EMISSION				
		Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm	
Si	ppm	309000	272000		253000		108000	
Al	ppm	49700	57400		59600		35700	
S	ppm	1190	4350		5010		3350	
K	ppm	16000	17700		17100		11400	
Ca	ppm	35200	40000		38200		79800	
Ti	ppm	4730	5520		6160		7420	
Mn	ppm	1210	1180		1220		1900	
Fe	ppm	81600	68000		67900		79700	
Rb	ppm	142	143		130		85,6	
La	ppm	-	73,0		-		-	
Ce	ppm	-	129		153		-	
Th	ppm	11,9	18,7		40,1		16,4	
Zn	ppm	278	694		1210		3480	
Ga	ppm	24,8	36,2		49,7		65,2	
As	ppm	-	45,0		74,8		373	
Se	ppm	-	4,94		-		-	
Mo	ppm	-	-		86,0		50,9	
Cd	ppm	-	8,89		14,0		75,6	
Sb	ppm	-	24,4		-		99,7	
Hg	ppm	0,0104	0,564		-		-	
Pb	ppm	93,0	282		329		576	
Ba	ppm	1730	1930		2250		9870	
V	ppm	194	337		401		2380	
Cr	ppm	-	71,3		528		-	
Ni	ppm	77,1	105		494		259	
Cu	ppm	157	189		142		613	
Sr	ppm	679	823		942		2146	
Total	% af tilført	6,90	91,69		1,36		0,09	

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.:

Bilag nr.: 8.2.1.

SYDAFRIKANSKE KUL MALESERIE 1. UDSKILT				GRUNDSTOFKONCENTRATION I FASTSTOF EMISSION			
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	ppm	324000	287000		280000		125000
Al	ppm	58900	66900		65400		45200
S	ppm	766	4390		4170		15200
K	ppm	10200	9680		9490		8000
Ca	ppm	25900	26300		28200		41600
Ti	ppm	6690	7840		7650		9920
Mn	ppm	270	293		403		888
Fe	ppm	60500	61600		63300		105000
Rb	ppm	79,4	76,4		72,6		21,6
La	ppm	91,9	74,3		93,0		-
Ce	ppm	177	157		211		-
Th	ppm	22,9	26,7		23,9		-
Zn	ppm	44,6	120		304		771
Ga	ppm	32,1	85,0		51,7		270
As	ppm	19,7	76,8		79,6		607
Se	ppm	-	-		4,32		951
Mo	ppm	-	-		72,2		126
Cd	ppm	-	10,9		10,5		-
Sb	ppm	-	16,2		-		-
Hg	ppm	0,0307	1,05		-		-
Pb	ppm	25,4	84,8		108		822
Ba	ppm	1610	1770		1790		5060
V	ppm	355	501		513		1928
Cr	ppm	286	182		562		398
Ni	ppm	116	154		426		441
Cu	ppm	90,7	105		78,7		141
Sr	ppm	1520	1730		1610		3730
Total	% af tilført	6,95	92,33		0,68		0,08

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.:

Bilag nr.: 8.2.2.

SYDAFRIKANSKE KUL MALESERIE 2. GRUNDSTOFKONCENTRATION I FASTSTOF							
UDSKILT			EMISSION				
STOF	DIM	SLAGGE	UDSKILT ASKE	Fraktion >4,4 µm	Fraktion >2,4 µm	Fraktion <4,4 µm	Fraktion <0,4 µm
Si	ppm	320.000	265.000	266.000	266.000	197.000	93.400
Al	ppm	55.000	61.800	65.300	73.900	51.700	41.200
S	ppm	-	3.340	6.870	3.470	8.210	17.100
K	ppm	10.500	9.640	8.790	9.500	8.070	6.810
Ca	ppm	26.600	24.800	29.800	29.000	31.300	49.700
Ti	ppm	6.500	7.190	7.510	7.630	8.900	10.300
Mn	ppm	360	294	367	385	781	904
Fe	ppm	62.700	54.300	60.000	64.200	100.300	117.000
Rb	ppm	82,5	73,5	51,5	68,6	40,5	14,6
La	ppm	-	73,3	59,9	102	-	-
Ce	ppm	179	151	171	202	256	636
Th	ppm	26,0	24,1	10,5	25,0	30,7	-
Zn	ppm	63,8	127	640	246	699	707
Ga	ppm	31,6	69,4	45,9	51,9	296	294
As	ppm	16,3	58,2	72,7	75,9	409	710
Se	ppm	-	2,66	8,48	12,0	-	812
Mo	ppm	-	-	74,8	45,2	-	99,5
Cd	ppm	-	-	11,6	10,6	-	-
Sb	ppm	-	-	23,5	16,4	58,3	-
Hg	ppm	0,023	1,13	-	-	-	-
Pb	ppm	36,5	78,5	671	102	402	374
Ba	ppm	1650	1590	1610	1770	4400	5290
V	ppm	358	444	436	456	1329	2156
Cr	ppm	155	145	541	466	177	464
Ni	ppm	108	126	292	351	291	529
Cu	ppm	102	101	174	70,4	163	80,4
Sr	ppm	1470	1460	1490	1610	3380	4150
TOTAL	% af tilført	6,92	91,93	0,96	1,12	0,17	0,039

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**



Sign.:

Bilag nr.: 8.2.3.

POLSKKE KUL		GRUNDSTOF-FORDELING						
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske		> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	kg/h	150	1759			24,3		0,709
Al	kg/h	24,2	371			5,71		0,234
S	kg/h	0,580	28,1			0,480		0,220
K	kg/h	7,79	115			1,64		0,075
Ca	kg/h	17,1	259			3,66		0,524
Ti	kg/h	2,30	35,7			0,590		0,049
Mn	kg/h	0,589	7,63			0,117		0,013
Fe	kg/h	3,97	440			6,51		0,523
Rb	g/h	69,2	925			12,5		0,562
La	g/h	-	472			-		-
Ce	g/h	-	834			14,7		-
Th	g/h	5,8	121			3,84		0,108
Zn	g/h	135	4490			116		22,8
Ga	g/h	12,1	234			4,76		0,428
As	g/h	-	291			7,17		2,45
Se	g/h	-	31,9			-		-
Mo	g/h	-	-			8,24		0,334
Cd	g/h	-	57,5			1,34		0,496
Sb	g/h	-	158			-		0,654
Hg	g/h	0,00506	3,65			-		-
Pb	g/h	45,3	1824			31,5		3,78
Ba	g/h	843	12481			216		64,8
V	g/h	94,5	2179			38,4		1,56
Cr	g/h	-	461			50,6		-
Ni	g/h	37,5	679			47,4		1,70
Cu	g/h	76,5	1222			13,6		4,02
Sr	g/h	331	5322			90,3		14,1
Total	kg/h	487	6467			95,9		6,56
	%	6,90	91,69			1,36		0,09

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.1.

SYDAFRIKANSKE KUL MALESERIE 1				GRUNDSTOF-FORDELING			
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	kg/h	203	2392		17,3		0,389
Al	kg/h	36,9	557		4,04		0,141
S	kg/h	0,480	36,6		0,257		0,047
K	kg/h	6,40	80,7		0,586		0,025
Ca	kg/h	16,2	219		1,74		0,129
Ti	kg/h	0,004	65,3		0,472		0,031
Mn	kg/h	0,0002	2,44		0,025		0,003
Fe	kg/h	37,9	513		3,91		0,327
Rb	g/h	49,8	637		4,48		0,067
La	g/h	57,6	619		5,74		-
Ce	g/h	111	1308		13,0		-
Th	g/h	14,4	222		1,47		-
Zn	g/h	28,0	1000		18,8		2,40
Ga	g/h	20,1	708		3,19		0,840
As	g/h	12,4	640		4,91		1,89
Se	g/h	-	-		0,267		2,96
Mo	g/h	-	-		4,45		0,392
Cd	g/h	-	90,8		0,648		-
Sb	g/h	-	135		-		-
Hg	g/h	0,0193	8,75		-		-
Pb	g/h	15,9	707		6,66		2,56
Ba	g/h	1010	14749		110		15,7
V	g/h	223	4175		31,7		6,00
Cr	g/h	179	1517		34,7		1,24
Ni	g/h	72,8	1283		26,3		1,37
Cu	g/h	56,9	875		4,86		0,439
Sr	g/h	953	14416		99,3		11,6
Total	kg/h	627	8333		61,7		3,11
	%	6,95	92,33		0,68		0,08

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.2.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

SYDAFRIKANSKE KUL MALESERIE 2. GRUNDSTOF - FORDELING.

STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	Fraktion			
				>4,4	>2,4	<4,4	0,4
Si	kg/h	158	1740	18,3	21,3	2,35	0,26
Al	kg/h	27,2	406	4,50	5,90	0,617	0,12
S	kg/h	-	21,9	0,474	0,277	0,098	0,048
K	kg/h	5,19	63,3	0,606	0,759	0,096	0,019
Ca	kg/h	13,2	163	2,05	2,32	0,374	0,140
Ti	kg/h	3,21	47,2	0,518	0,610	0,106	0,029
Mn	kg/h	0,178	1,93	0,0253	0,0308	0,009	0,003
Fe	kg/h	31,0	357	4,14	5,13	1,23	0,33
Rb	g/h	40,8	483	3,55	5,48	0,484	0,041
La	g/h	-	482	4,13	8,15	-	-
Ce	g/h	88,5	992	11,8	16,1	3,06	1,79
Th	g/h	12,9	158	0,724	2,00	0,367	-
Zn	g/h	31,6	835	44,1	19,7	8,35	1,99
Ga	g/h	15,6	456	3,16	4,15	3,53	0,828
As	g/h	8,06	382	5,01	6,06	4,88	2,00
Se	g/h	-	17,5	0,585	0,959	-	2,29
Mo	g/h	-	-	5,16	3,61	-	0,280
Cd	g/h	-	-	0,800	0,847	-	-
Sb	g/h	-	-	1,62	1,31	0,696	-
Hg	g/h	0,0114	7,43	-	-	-	-
Pb	g/h	18,1	516	46,2	8,15	4,80	1,05
Ba	g/h	816	10448	111	141	52,5	14,9
V	g/h	177	2918	30,1	36,4	15,9	6,07
Cr	g/h	76,7	953	37,3	37,2	2,11	1,31
Ni	g/h	53,4	828	20,1	28,0	3,47	1,49
Cu	g/h	50,4	664	12,0	5,63	1,95	0,226
Sr	g/h	727	9594	103	129	40,4	11,7
TOTAL	kg/h	495	6571	68,9	79,9	11,9	2,82

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.3.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11

POLSKKE KUL				GRUNDSTOF-FØRDELING			
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	%	7,8	91,0		1,3		0,04
Al	%	6,0	92,5		1,4		0,06
S	%	2,0	95,6		1,6		-
K	%	6,3	92,4		1,3		0,06
Ca	%	6,1	92,4		1,3		0,19
Ti	%	6,0	92,4		1,5		0,13
Mn	%	7,1	91,4		1,4		0,16
Fe	%	0,9	97,6		1,4		0,12
Rb	%	6,9	91,8		1,2		0,06
La	%	-	-		-		-
Ce	%	-	98,3		1,7		-
Th	%	4,4	92,5		2,9		0,08
Zn	%	2,8	94,3		2,4		0,49
Ga	%	4,8	93,1		1,9		0,17
As	%	-	96,8		2,4		0,82
Se	%	-	-		-		-
Mo	%	-	-		-		-
Cd	%	-	96,9		2,3		0,84
Sb	%	-	99,6		-		0,41
Hg	%	-	-		-		-
Pb	%	2,4	95,8		1,7		0,20
Ba	%	6,2	91,7		1,6		0,48
V	%	4,1	94,2		1,7		0,07
Cr	%	-	90,1		-		-
Ni	%	4,9	88,7		6,2		0,22
Cu	%	5,8	92,9		1,0		0,31
Sr	%	5,8	92,4		1,6		0,25
Gruppe 1	%	5,3(±42)	93,4(±3)		1,6(±31)		0,10(±53)
Gruppe 2	%	3,3(±39)	96,1(±2)		2,1(±16)		0,49(±59)
Gruppe 3	%	5,3(±16)	91,7(±2)		2,4(±88)		0,26(±56)

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.4.

SYDAFRIKANSKE KUL SERIE 1				GRUNDSTOF-FORDELING			
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	%	7,8	91,6		0,67		0,02
Al	%	6,2	93,1		0,68		0,02
S	%	1,3	97,9		0,69		0,13
K	%	7,3	92,0		0,67		0,03
Ca	%	6,8	92,4		0,73		0,05
Ti	%	-	99,2		0,72		0,05
Mn	%	-	98,9		1,01		0,12
Fe	%	6,8	92,4		0,70		0,06
Rb	%	7,2	92,1		0,65		0,01
La	%	8,4	90,7		0,84		-
Ce	%	7,8	91,3		0,91		-
Th	%	6,1	93,3		0,62		-
Zn	%	2,7	95,3		1,79		0,23
Ga	%	2,8	96,7		0,44		0,12
As	%	1,9	97,1		0,75		0,29
Se	%	-	-		-		-
Mo	%	-	-		-		-
Cd	%	-	99,3		0,71		-
Sb	%	-	-		-		-
Hg	%	-	-		-		-
Pb	%	2,2	96,6		0,91		0,35
Ba	%	6,4	92,9		0,69		0,10
V	%	5,0	94,1		0,72		0,14
Cr	%	10,3	87,6		2,00		0,07
Ni	%	5,3	92,7		1,90		0,10
Cu	%	6,1	93,4		0,52		0,05
Sr	%	6,2	93,1		0,64		0,08
Gruppe 1	%	6,6(±30)	93,8(±3)		0,74(±16)		0,05(±80)
Gruppe 2	%	2,4(±17)	97,0(±1)		0,92(±56)		0,25(±41)
Gruppe 3	%	6,5(±30)	92,3(±3)		1,08(±63)		0,09(±34)

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.5.

SYDAFRIKANSKE KUL SERIE 2				GRUNDSTOF-FORDELING			
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	%	8,2	90,7	0,95	1,11	0,12	0,01
Al	%	6,2	92,6	1,03	1,35	0,14	0,03
S	%	-	97,5	2,11	1,23	0,44	0,21
K	%	7,5	91,5	0,88	1,10	0,14	0,03
Ca	%	7,4	91,3	1,15	1,30	0,21	0,08
Ti	%	6,3	92,5	1,02	1,20	0,21	0,06
Mn	%	8,3	90,1	1,18	1,44	0,42	0,14
Fe	%	7,9	90,8	1,05	1,30	0,31	0,08
Rb	%	7,7	91,5	0,67	1,04	0,09	0,01
La	%	-	99,2	0,85	1,68	-	-
Ce	%	8,1	90,6	1,08	1,47	0,28	0,16
Th	%	7,5	91,9	0,42	1,16	0,21	-
Zn	%	3,4	90,9	4,80	2,14	0,91	0,22
Ga	%	3,3	95,3	0,66	0,87	0,74	0,17
As	%	2,0	95,5	1,25	1,52	1,22	0,50
Se	%	-	96,8	3,23	-	-	-
Mo	%	-	-	-	-	-	-
Cd	%	-	-	-	-	-	-
Sb	%	-	-	-	-	-	-
Hg	%	-	-	-	-	-	-
Pb	%	3,1	88,2	7,90	1,39	0,82	0,18
Ba	%	7,1	91,4	0,97	1,23	0,46	0,13
V	%	5,6	92,9	0,96	1,16	0,51	0,19
Cr	%	7,2	89,1	3,49	3,48	0,20	0,12
Ni	%	5,9	91,5	2,22	3,09	0,38	0,17
Cu	%	6,9	91,2	1,65	0,77	0,27	0,03
Sr	%	7,0	91,7	0,98	1,23	0,39	0,11
Gruppe 1	%	7,5(±10)	92,4(±3)	1,03(±39)	1,28(±14)	0,23(±50)	0,08(±86)
Gruppe 2	%	3,0(±22)	93,3(±4)	3,57(±82)	1,48(±35)	0,92(±23)	0,27(±59)
Gruppe 3	%	6,6(±10)	91,3(±1)	1,71(±59)	1,83(±63)	0,37(±32)	0,13(±44)

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.6.

FUELOLIE				GRUNDSTOF-FORDELING			
STOF	DIM.	Slagge	Udskilt aske	> 4,4 µm	> 2,4 µm	< 4,4 µm	< 0,4 µm
Si	%			67,7			32,3
Al	%			-			-
S	%			84,1			15,9
K	%			54,2			45,8
Ca	%			86,4			13,6
Ti	%			-			-
Mn	%			-			-
Fe	%			81,0			19,0
Rb	%			-			-
La	%			-			-
Ce	%			-			-
Th	%			-			-
Zn	%			76,4			23,6
Ga	%			11,4			88,6
As	%			-			-
Se	%			50,0			50,0
Mo	%			48,9			51,1
Cd	%			-			-
Sb	%			68,8			31,2
Hg	%			-			-
Pb	%			71,0			29,0
Ba	%			-			-
V	%			56,2			43,8
Cr	%			-			-
Ni	%			66,3			33,7
Cu	%			49,2			50,8
Sr	%			73,6			26,4
Gruppe 1	%			74,5(±18)			25,3(±54)
Gruppe 2	%			54,4(±44)			45,6(±53)
Gruppe 3	%			61,3(±18)			38,7(±28)

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.3.7.

FORDELING AF GRUNDSTOFFER

STOF	SYDAFR. KUL	SYDAFR. KUL	SYDAFR. KUL		FUEL- OLIE	FUEL- OLIE		
d ₅₀ μm	> 4,4	< 4,4	< 0,4		> 4,4	< 4,4		
DIM	%	%	%		%	%		
Si	88,6	11,4	1,3		67,7	32,3		
Al	88,0	12,0	2,3		-	-		
S	82,8	17,2	8,4		84,1	15,9		
K	86,3	13,7	2,7		54,2	45,8		
Ca	84,6	15,4	5,8		86,4	13,6		
Ti	83,0	17,0	4,6		-	-		
Mn	73,0	27,0	7,3		-	-		
Fe	77,1	22,9	6,1		81,0	19,0		
Rb	88,0	12,0	1,0		-	-		
La	-	-	-		-	-		
Ce	79,4	20,6	12,0		-	-		
Th	66,4	33,6	-		-	-		
Zn	84,1	15,9	3,8		76,4	23,6		
Ga	47,2	52,8	12,4		11,4	88,6		
As	50,7	49,3	20,2		-	-		
Se	-	-	-		50,0	50,0		
Mo	-	-	-		48,9	51,1		
Cd	-	-	-		-	-		
Sb	70,0	30,0	-		68,8	31,2		
Hg	-	-	-		-	-		
Pb	90,6	9,4	2,1		71,0	29,0		
Ba	67,9	32,1	9,1		-	-		
V	65,4	34,6	13,2		56,2	43,8		
Cr	94,7	5,3	3,3		-	-		
Ni	85,3	14,7	6,3		66,3	33,7		
Cu	86,0	14,0	1,6		49,2	50,8		
Sr	71,8	28,2	8,2		73,6	26,4		
Gruppe 1	81,6(±9)	18,4(±38)	5,2(±68)		74,5(±18)	25,3(±54)		
Gruppe 2	68,5(±28)	31,5(±62)	9,6(±87)		54,4(±44)	45,6(±53)		
Gruppe 3	78,5(±15)	21,5(±55)	7,9(±60)		61,3(±18)	38,7(±28)		

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

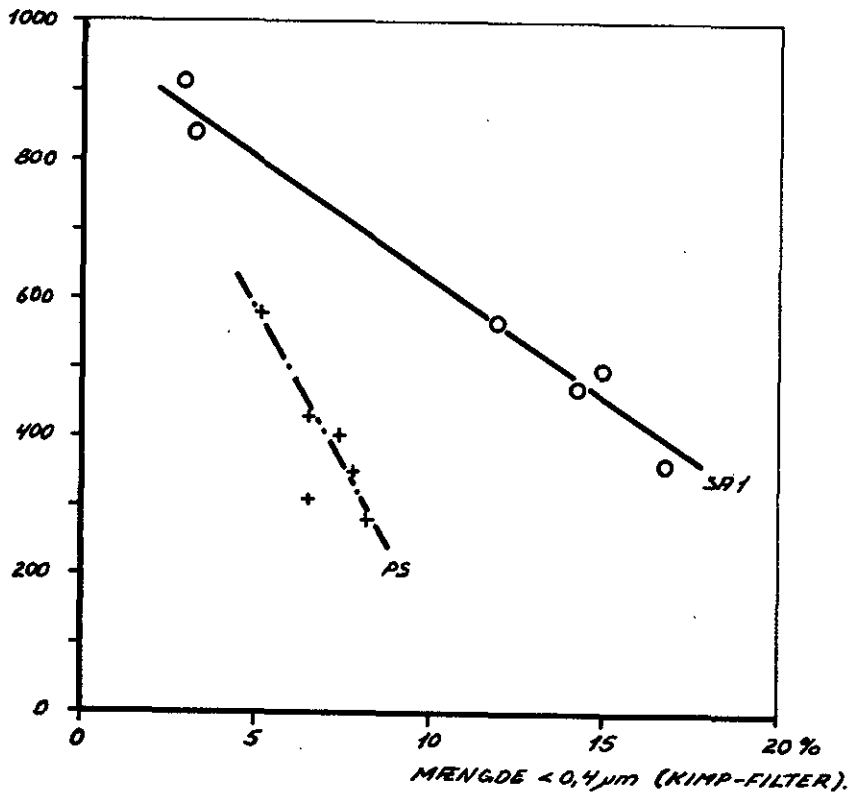


Sign.:

Bilag nr.: 8.4.1.

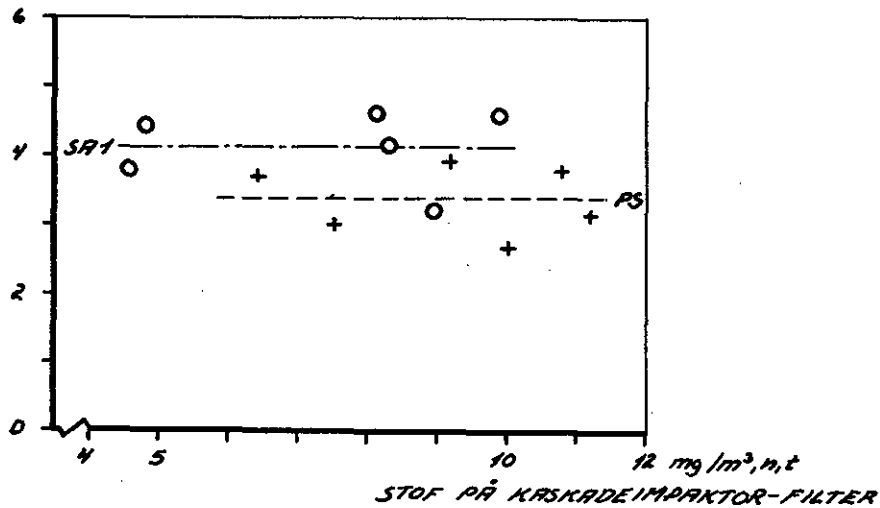
ARSEN-KONCENTRATION

PPM



ARSEN PÅ FILTER

μg/m³,m,t



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

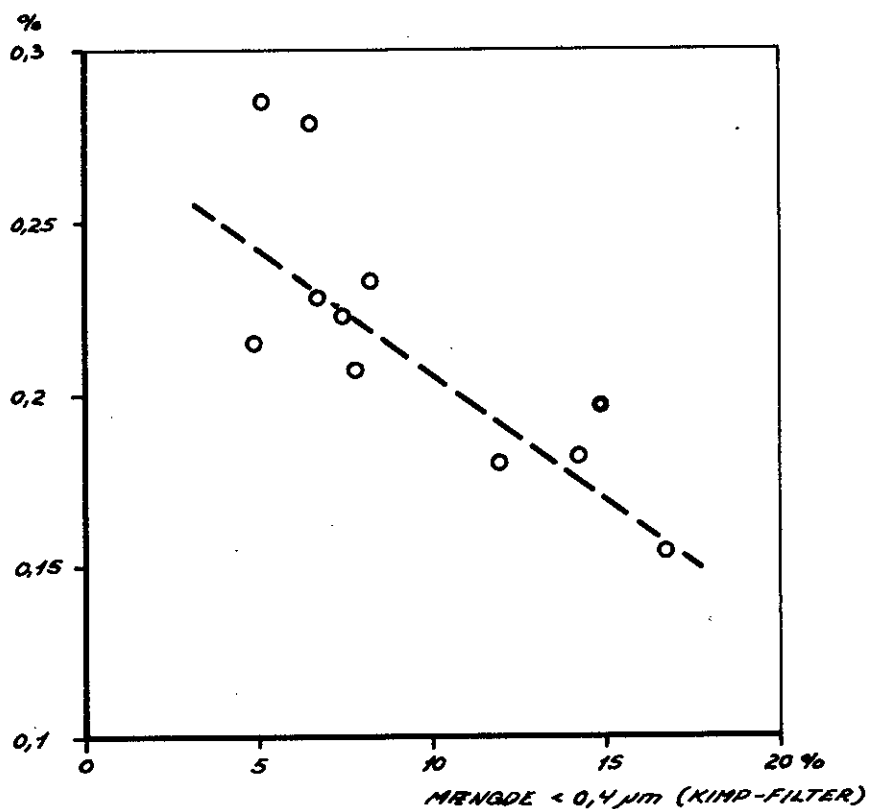
GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: 27

Bilag nr.: 8.5.1.

VANADIUM - KONCENTRATION



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: *LJ*

Bilag nr.: *8.6.1.*

GENNEMSNITSANALYSER AF KUL

	DIM.	POLSKE SILO \bar{x}	KUL TIL SD%	SYDAFRIK. SILO \bar{x}	KUL TIL SD%	SYDAFRK. MALET \bar{x}	KUL FOR SD%
Vand	%	11,0	3,7	8,7	12,9	-	-
Heraf grov fugtigh.	%	9,0	1,9	7,7	20,3	7,1	17,2
Aske	%	12,4	13,6	14,4	13,3	14,2	6,2
Kal. brændværdi	MJ/kg	25,2	2,7	25,4	2,5	25,2	2,2
do.÷(vand og aske)	MJ/kg	32,9	0,4	33,1	0,8	32,6	2,1
Eff. brændværdi	MJ/kg	24,1	2,6	24,4	2,7	24,2	2,3
do.÷(vand og aske)	MJ/kg	31,8	0,5	32,0	0,9	31,6	2,2
Flygtige bestandd.	%	28,4	2,5	25,2	5,4	24,8	4,0
do.÷(vand og aske)	%	37,0	0,0	32,8	7,2	32,2	4,2
Hydrogen (brint)	%	4,0	8,0	3,7	8,0	3,7	1,4
Carbon	%	62,3	1,6	65,4	4,1	65,9	1,5
Svovl	%	0,67	5,3	0,98	9,8	0,99	1,5
Ilt	%	8,9	6,4	6,0	21,1	5,7	13,8
Nitrogen	%	1,01	1,0	1,57	4,3	1,56	2,6
Hard grove index	-	50	6,5	56	2,3	-	-
Swelling index	-	2	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$ -2	$\frac{1}{4}$	2	$\frac{1}{4}$
Sigtning 10% <	mm	0,37	1,6	0,38	7,4	-	-
30% <	mm	1,4	23,5	1,6	14,5	-	-
50% <	mm	3,2	33,8	4,1	18,4	-	-
70% <	mm	5,9	17,0	8,7	15,0	-	-
90% <	mm	11,7	9,9	18,9	10,2	-	-
Aske: SO ₃	%	8,24	3,5	7,71	2,9	8,09	16,3
P ₂ O ₅	%	0,101	17,7	0,097	44,7	0,076	51,7
SiO ₂	%	49,3	2,3	54,7	3,9	52,9	6,5
Al ₂ O ₃	%	19,1	6,6	21,7	20,5	22,2	4,8
CaO	%	2,50	25,4	3,31	173	0,67	48,9
Fe ₂ O ₃	%	10,8	19,9	10,5	27,1	10,7	11,2
MgO	%	3,10	56,4	3,32	99,5	1,76	14,7
TiO ₂	%	1,43	13,6	1,79	25,5	1,85	10,9
Na ₂ O	%	0,950	19,7	0,47	32,4	0,52	15,2
K ₂ O	%	1,73	7,6	0,98	48,2	1,07	30,4
Li ₂ O	ppm	277	9,1	240	34,0	230	7,7
Blødgøringstemp.	°C	1160	3,0	1210	3,3	1190	2,1
Halvkugletemp.	°C	1240	0,0	1360	6,7	1360	1,2
Flydetemp.	°C	1280	0,0	1420	7,5	1420	0,4

**DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ**



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.7.1.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

GENNEMSNITSANALYSE AF FUELOLIE

		Midde1	SD (%)
Vandindhold	%	0,1	0
Askeindhold	%	0,022	0
Kalorimetrisk brændværdi	MJ/kg	42,95	0
Effektiv brændværdi	MJ/kg	40,56	0
Effektiv brændværdi ÷ vand & aske	MJ/kg	40,60	0
Hydrogen	%	11,2	0
Svovl	%	2,8	0
Nitrogen	%	0,23	3,0
Hårdasfalt	%	8,3	18,7
Softasfalt	%	12,2	0,6
Massefylde ved 20 °C	kg/m ³	0,9578	0,2
Viskositet ved 50 °C	cSt	334,8	1,6

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.7.2.



Dansk Kedelforening
Att.: Hr. Lars Jacobsen

Gladsaxe Møllevej 15
2860 Søborg

Deres ref.: Rekv. A 2468
og A 2646

Vor ref.: 1.77-43 VC/AR

Dato: 1979-06-13

Vedr.: Kviksølvbestemmelse i kulstøv, m.m.

I De nedenfor anførte prøver har vi bestemt kviksølv ved neutronaktiveringsanalyse efter SJÖSTRAND, B.: Anal. Chem. 36 (1964) 814.

To tal i resultatkolonnen betyder, at der er udført dobbeltbestemmelse ved separate analyser på to delprøver.

Med mindre andet er anført, er kviksølvindholdet udregnet i forhold til provens vægt i foreliggende tilstand.

Med mindre andet er anført under bemærkninger, er analysen udført efter en metode, hvor 0,3 g prøve tages i arbejde, og hvor detektionsgrænsen er ca. 1 ng Hg/g. Analysenøjagtigheden er bedre end 10 %.

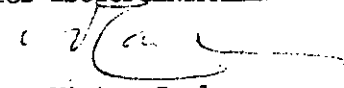
1 ng (nannogram) = 10^{-9} gram. 1000 ng/g = 1 mg/kg = 1 ppm.

Prøve modtaget år md dg	Deres prøvebetegnelse	Prøvens art	Vort prøve nr.	Kviksølv ng/g	Bemærkninger
79 05 14	795167/1	Kul	DKK1	80.3	
	795178/2	"	DKK2	321.8	
	795217/3	"	DKK3	169.6	
79 05 21	795168/4	"	DKK4	74.3	
	795176/6	"	DKK6	316.2	
	795216/7	"	DKK7	2793/	
				335.3	
	795180/2	Formalet kul	DKF2	317.0	
	795219/3	" "	DKF3	262.6/	
				270.8	
	795177/5	" "	DKF5	94.0	
	795179/6	" "	DKF6	294.3	
	795218/7	" "	DKF7	138.1	
79 05 14	793158/1	aske	DKA 1	634.8	
	793160/2	"	DKA 2	955.8	
	793163/3	"	DKA 3	1267	
790521	793157/4	"	DKA 4	430.8	

* To tal i resultatkolonnen angiver dobbelt bestemmelse.

.../2



Prøve modtaget år md dg	Deres prøvebetegnelse	Prøvens art	Vort prøve nr.	Kvikselv ng/g	Bemærkninger
790521	793159/5 793161/6 793162/7	aske " "	DKA 5 DKA 6 DKA 7	627.0 1150 1096/ 1037	
790514	793164/1 793165/2 793168/3	slagge " "	DKS 1 DKS 2 DKS 3	10.4 31.7 16.2	
790521	793166/6 793167/7	" "	DKS 6 DKS 7	29.7 29.8	<p>Analyserne er foretaget på prøverne i foreliggende tilstand.</p> <p>Ca. 0.3 g prøve er taget i arbejde.</p> <p>Med venlig hilsen for ISOTOPCENTRALEN</p> <p> Victor Carlsen</p>

* To tal i resultatkolonnen angiver dobbelt bestemmelse



Dansk Kedelforening
 Att.: ing. Lars Jacobsen
 Gladsaxe Møllevvej 15
 2860 Søborg

Deres ref.: Rekv. A 2656 Vor ref.: 1.77-47 VC/JS Dato: 1979-07-16

Vedr.: Kviksølvbestemmelse i fuelolie


I De nedenfor anførte prøver har vi bestemt kviksølv ved neutronaktiveringsanalyse efter SJÖSTRAND, B.: Anal. Chem. 36 (1964) 814.

To tal i resultatkolonnen betyder, at der er udført dobbeltbestemmelse ved separate analyser på to delprøver.

Med mindre andet er anført, er kviksølvindholdet udregnet i forhold til prøvens vægt i foreliggende tilstand.

Med mindre andet er anført under bemærkninger, er analysen udført efter en metode, hvor 0,3 g prøve tages i arbejde, og hvor detektionsgrænsen er ca. 1 ng Hg/g. Analysenøjagtigheden er bedre end 10 %.

1 ng (nannogram) = 10^{-9} gram. 1000 ng/g = 1 mg/kg = 1 ppm.

Prøve modtaget år md dg	Deres prøvebetegnelse	Prøvens art	Vort prøve nr.	Kviksølv ng/g	Bemærkninger
790627	795274	fuelolie	Fo 1	0.8	Denne prøve er sandsynligt kontamineret - omanalyseres tidligst muligt
	795275	fuelolie	Fo 2	10.3	
					Med venlig hilsen for ISOTOPCENTRALEN  V. Carlsen



Dansk Kedelforening
 Att.: ing. Lars Jacobsen

Gladsaxe Møllevej 15
 2860 Søborg

Deres ref.: Rekv. A 2656

Vor ref.: 1.77-47 VC/AR

Dato: 1979-08-10

Vedr.: Kviksølvbestemmelse i fuelolie

I De nedenfor anførte prøver har vi bestemt kviksølv ved neutronaktiveringsanalyse efter SJÖSTRAND, B.:
 Anal. Chem. 36 (1964) 814.

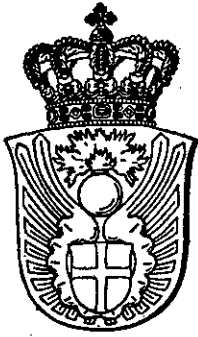
To tal i resultatkolonnen betyder, at der er udført dobbeltbestemmelse ved separate analyser på to delprøver.

Med mindre andet er anført, er kviksølvindholdet udregnet i forhold til prøvens vægt i foreliggende tilstand.

Med mindre andet er anført under bemærkninger, er analysen udført efter en metode, hvor 0,3 g prøve tages i arbejde, og hvor detektionsgrænsen er ca. 1 ng Hg/g. Analysenøjagtigheden er bedre end 10 %.

1 ng (nannogram) = 10^{-9} gram. 1000 ng/g = 1 mg/kg = 1 ppm.

Prøve modtaget år md dg	Deres prøvebetegnelse	Prøvens art	Vort prøve nr.	Kvik-sølv ng/g	Bemærkninger
790627	795275	fuelolie	FO 2	4,1/5,5	Med venlig hilsen for ISOTOPCENTRALEN V. Carlsen



Analyse af polyaromatiske hydrocarboner
i røggas fra kraftværk.
1. Indledende undersøgelser.

Arne Kjær Sørensen

Juli 1979.

CIVILFORSVARETS ANALYTISK-KEMISKE LABORATORIUM

Universitetsparken 2 - 2100 København Ø - Telefon (01) 37 18 07

Analyse af polyaromatiske hydrocarboner
i røggas fra kraftværk.

1. Indledende undersøgelser.

Arne Kjær Sørensen

Juli 1979.

Indledning

Civilforsvarets analytisk-kemiske Laboratorium har efter aftale med Dansk Kedelforening foretaget en indledende analyse af 6 stk. målefiltre for indhold af polyaromatiske hydrocarboner (PAH). Undersøgelsen er et led i et større projekt, der har til formål at belyse de miljømæssige konsekvenser af øget kulfy-ring ved danske kraftværker.

Filtrene (stålhylstre med kvartsuldsfyldning) er eksponeret under en måleserie på Studstrupværkets rengassystem ved fy-ring med henholdsvis sydafrikanske kul og fuel olie.

Følgende filtre er undersøgt for indhold af PAH:

Nr.	Brændsel	Røggasvolumen (Nm ³)
229	sydafrikanske kul	2,66
253	"	3,26
263	"	3,72
293	"	2,38
340	fuel olie	1,36
354	"	-

Analyseprocedure

Filtrene inklusive stålhylstre Soxhlet-ekstraheres med cyclohexan i 24 h. Den organiske fase inddampes forsigtigt til næsten tørhed under tilledning af tør nitrogen i vandbad ved 35 °C, hvorefter tilsættes 2 ml toluen-methanol (1:1). Dette ekstrakt påsættes en glaskolonne (50 · 1,6 cm i.d.) pakket med 20 g Sephadex LH-20 i toluen -methanol (1:1). Der elueres med 2 · 50 ml af ovennævnte væskeblanding. De to fraktioner (I og II) inddampes som nævnt ovenfor forsigtigt til næsten tørhed og opløses i 1 ml pentan. Hver af disse fraktioner påsættes en kiselgelsøjle (15 · 1 cm i.d., 70-230 mesh) og elueres med 25 ml pentan og 25 ml dichlormethan. Herved fremkommer opløsningerne Ia, Ib, IIa og IIb.

Metoden er beskrevet af Giger og Schaffner (1978) og Kjær Sørensen og Vester (1979). Ved denne oprensningstype separeres PAH-forbindelser fra bl.a. alifater, phthalater og estre af fede syrer.

Fraktion IIb (PAH-fraktionen) inddampes til 20-100 µl og analyseres kvalitativt på et Finnigan Model 3100 D kombineret gaschromatograf-massespektrometer forsynet med glaskapillarkolonne (25 m·0,35 mm, coated med OV-101) og splitløst injektionssystem.

Ca. 1,2 µl injiceres ved stuetemperatur. Efter 0,5 min. sættes kolonnetemperaturen på 85 °C, og efter 3 min. temperaturprogrammeres med 6 °C/min til 240 °C.

Da røggassen indeholder et meget stort antal komponenter, udføres analysen massefragmentografisk hvorved opnås høj følsomhed og stor specificitet. Massespektrene af PAH-forbindelser er karakteriseret ved, at molekylarionen er yderst intens og massefragmentograferingen udføres derfor ved at scanne over et masseområde omkring molekylarionen for de enkelte grupper af isomere PAH-forbindelser efterhånden som disse separeres i den gaschromatografiske kolonne.

Kvantitative bestemmelser udføres på Perkin-Elmer Model Sigma 3 forsynet med glaskapillarkolonne (20 m·0,35 mm, coated med SE-52) og splitløst injektionssystem samt FID-detektor. Der injiceres 0,1 µl ved 50 °C. Efter 1 min. temperaturprogrammeres med 5 °/min til 245 °C. Som indre standard anvendes dodekahydrotriphenylen og m-quarterphenyl. Kvantiteringen udføres på Perkin-Elmer model Sigma 10 printer/plotter.

Resultater og diskussion

Det er vist af bl.a. Brockhaus og Tomingas (1976), at røggassens indhold af PAH-forbindelser ved fyreing med såvel kul som olie er stærkt afhængig af brændselstype og fyringsmetode.

Nærværende undersøgelse kunne derfor forventes at bidrage til at belyse forskellen i PAH-emissionen fra fyring med sydafrikanske kul og fuel olie. Det må imidlertid påpeges, at antallet af analyserede prøver er for lille til at en sammenligning kan gennemføres, samt at omstændighederne og metoden hvorunder røggasprøverne er opsamlet ikke er tilstrækkelig effektive med henblik på analyse af PAH-forbindelser.

Undersøgelsen må derfor ses som en indledning til et mere systematisk projekt, der under anvendelse af optimale indsamlingsmetoder søger at belyse PAH-emissionen som funktion af bl.a. brændselstype og fyringsmetode.

Prøverne 229, 253, 263 og 354 er karakteriseret ved at indeholde

et stort antal forskellige alkylerede naphthalener og phenanthrener/anthracener. Endvidere observeres bl.a. phenanthren, fluoranthen, chrysen og benzofluorener, men derimod kun i ringe omfang pyren og slet ikke højt-kogende PAH-forbindelser som benzpyrener, benzfluoranthener og benzo(ghi)fluoranthen, stoffer som alle kan påvises i relativ store mængder i atmosfæren i byområder. Årsagen til, at disse stoffer ikke kan identificeres i nogle af de undersøgte prøver, er ret uklar, da netop de højmolekylære PAH-forbindelser ved indsamlingstemperaturen formodentlig findes på fast form, og derfor burde frafiltreres på filteret i højere grad end de lettere flygtige PAH-komponenter, der delvis findes i røggassen på dampform, endnu ikke adsorberet på støvpartikler.

Prøve 263 og 340 indeholder kun meget små mængder PAH.

PAH-koncentrationen er bestemt for prøve 263 for bl.a. følgende stoffer:

	W (ug)	C (ng/Nm ³)
Phenanthren	0,87	233
1-methylphenanthren	0,26	70
3,6-dimethylphenanthren	0,17	46
Fluoranthen	0,19	51
Chrysen	0,13	35

Koncentrationen af de tilsvarende stoffer er for prøve 253 og 340 noget mindre og for prøve 229 noget højere sammenlignet med prøve 263.

På basis af de udførte indledende undersøgelser konkluderes, at såvel sydafrikanske kul som fuel olie ved forbrænding som ventet giver anledning til udvikling af PAH-forbindelser.

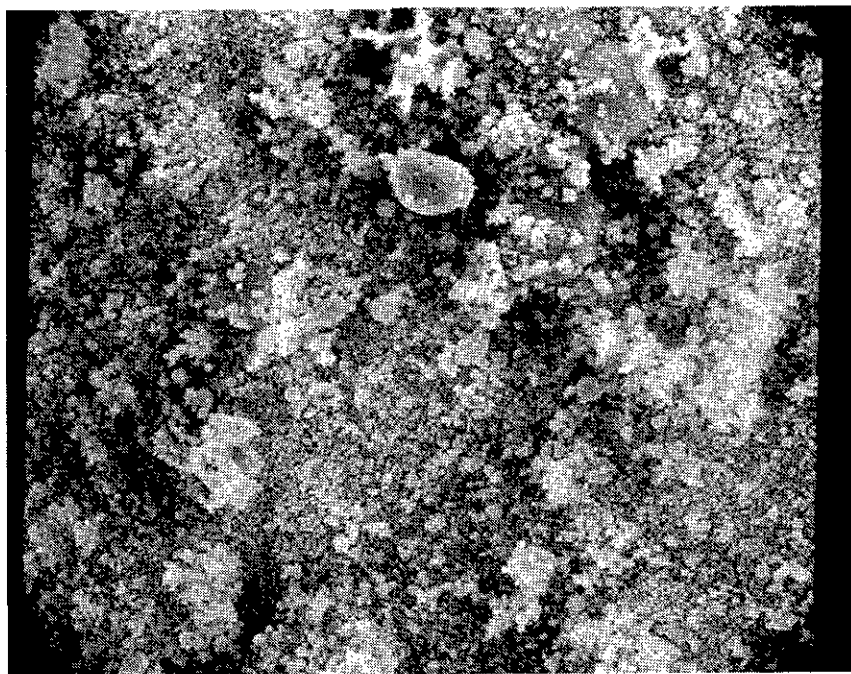
PAH-profilen og PAH-koncentrationen har det på baggrund af de få forsøg ikke været muligt at belyse nærmere, ligesom der ikke har kunnet konstateres signifikante forskelle som funktion af brændselstype. Undersøgelserne antyder imidlertid, at det vil være værdifuldt at få PAH-emissionens afhængighed af en række faktorer belyst nærmere i forbindelse med en samlet vurdering af de miljømæssige konsekvenser af at øge fyringen med kul ved danske kraftværker.

Referencer

Brockhaus, A. und R. Tomingas (1976) Staub-Reinhalt. Luft 36, 96.

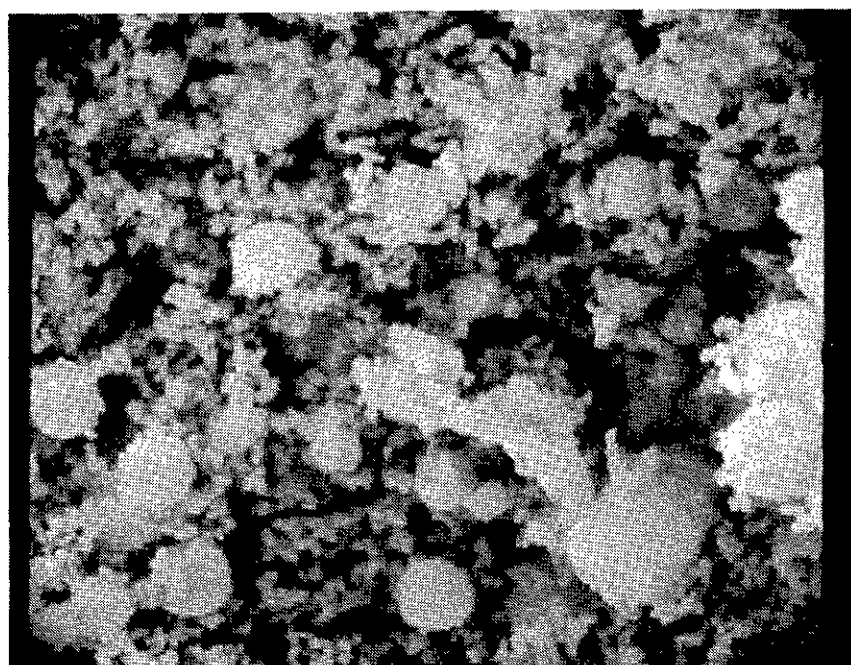
Giger, W. and C. Schaffner (1978) Anal. Chem. 50, 243.

Sørensen, A.K. og F. Vester (1979) Analyse af polyaromatiske hydrocarboner i byluft og nær lokale kilder, Civilforsvarets analytisk-kemiske Laboratorium, København. Under udarbejdelse.



10 μm

PRØVE: 04.01 IMPAKTORFILTER: 828 $d < 0,4 \mu\text{m}$ 1000x



1 μm

10.000x

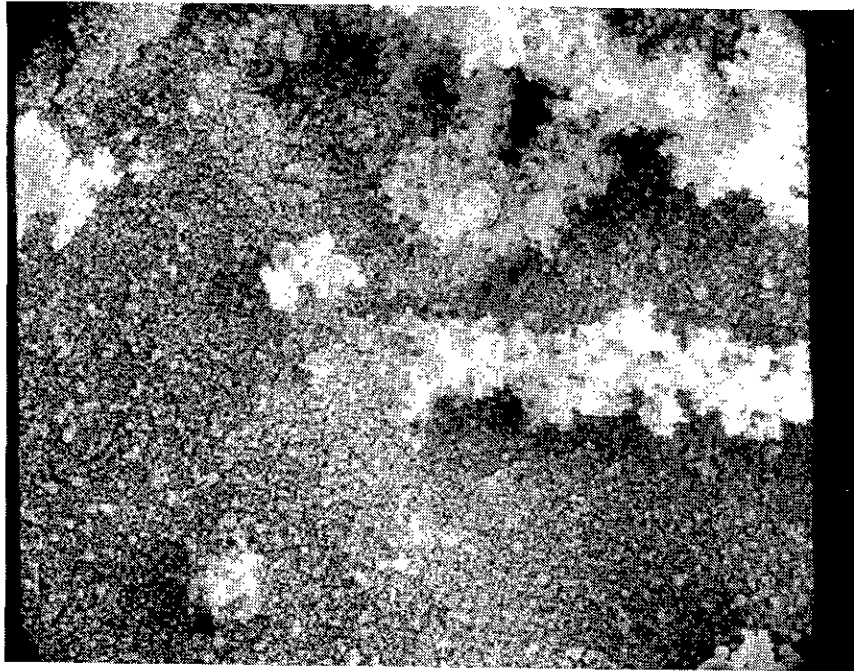
DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



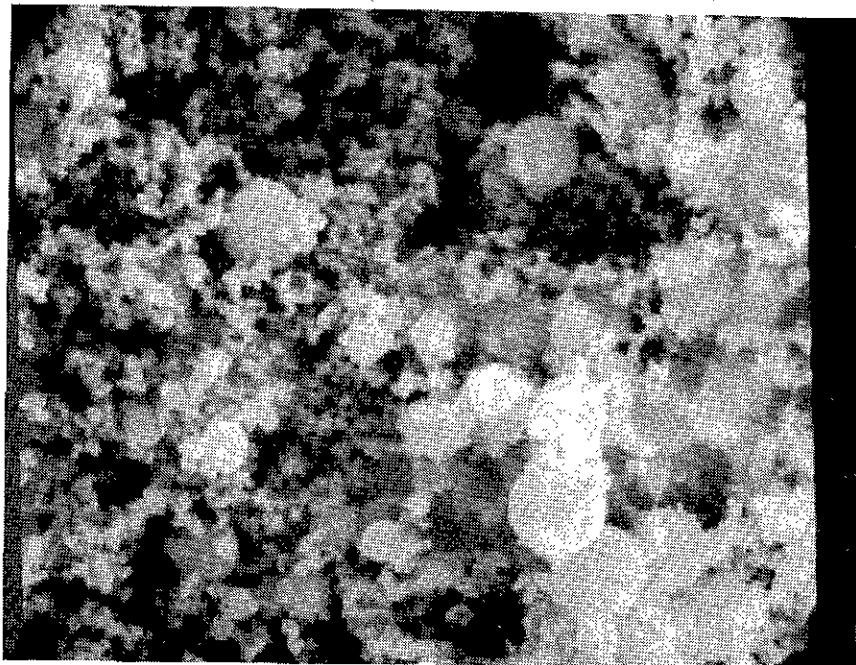
Sign.: 23

Bilag nr.: 8.10.1.



10 μ m

PRØVE: 30.01 IMPAKTORFILTER: 958 $d_{50}: 0,4 \mu$ m 1.000 x



1 μ m

10.000 x

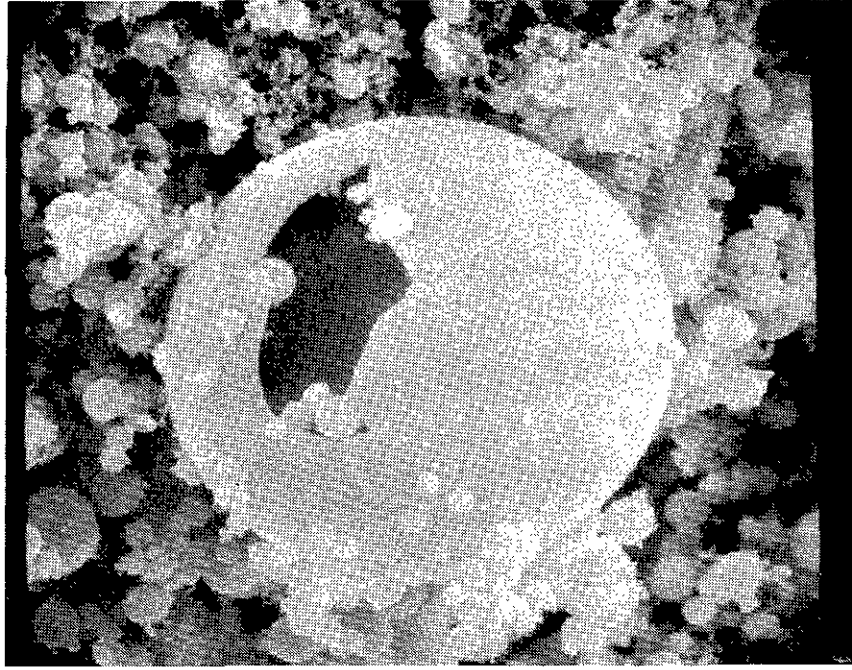
DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

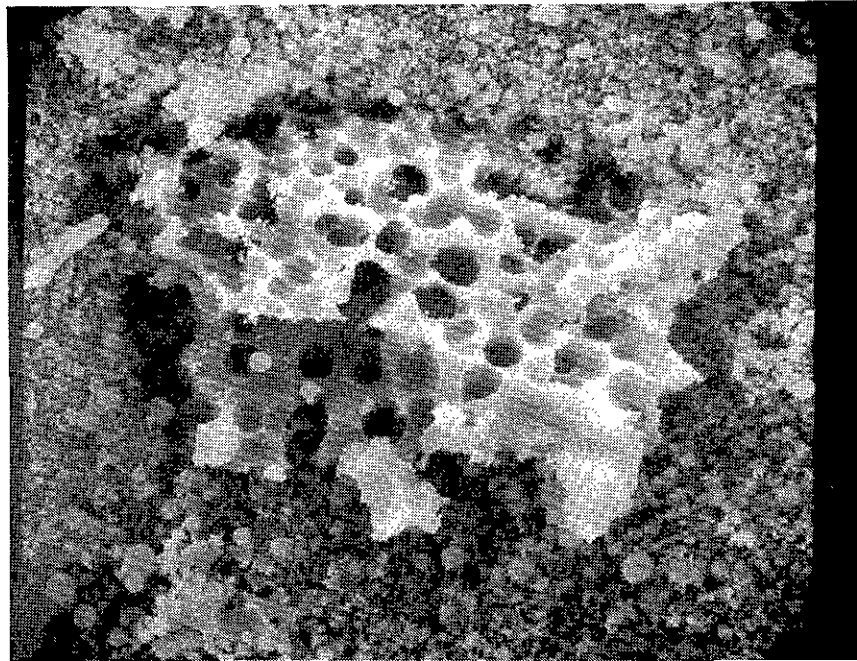


Sign.: LJ

Bilag nr.: 8.10.2.



PRØVE: 20.01 IMPAKTORFILTER: 908 $d < 0,4 \mu\text{m}$ 5.000x



PRØVE: 00.01 IMPAKTORFILTER: 808 $d < 0,4 \mu\text{m}$ 2.000x

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: L.J.

Bilag nr.: 8.10.5.



9. SAMMENLIGNING MED ANDRE UNDERSØGELSER.

I forbindelse med rapporteringen af måleresultaterne skønnes en vurdering i forhold til resultater af lignende eller beslægtede undersøgelser at være relevant.

I forbindelse med prøverne på Studstrupværket deltog to civilingeniørstuderende fra DTH-Laboratoriet for teknisk hygiejne i nogle af vore målinger. Disse studerende, Mette Eriksen og Svend T. Nielsen, ville udvikle målemetoder for bestemmelse af spormetaller i røggas fra forbrændingsanlæg, og specielt for de stoffer som stadig kan være på gasform eller nærmolekylær størrelse i røggassen. Nogle af deres indledende forsøg blev gennemført ved indkobling af et impinger-system i vort måleudstyr mellem kaskadeimpaktorens slutfilter og tørretårnet (se side 5.4. i denne rapport). Impingersystemet bestod af 4 seriekoblede vaskeflasker, for at spormetallerne kunne nå at vokse til en udskillelig størrelse, og nå at bindes i vandet. I deres rapport (ref. 1) er på side 8.3 i tabel 8.1. en opgørelse af deres måleresultater, sammenlignede med vore. Heraf fremgår det at vi opsamler:

Zink (Zn) : 57 - 284 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{n}, \text{t}$
Cadmium (Cd) : <1,5 - <5,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{n}, \text{t}$

medens de efter vort måleudstyr finder:

Zink (Zn) : 196 - 561 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{n}, \text{t}$
Cadmium (Cd) : 1 - 15,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3, \text{n}, \text{t}$

Der er altså, ifølge dette, en betydelig gennemgang af de letfordampelige stoffer i vort måleudstyr. Hvis dette er rigtigt (hvad videre forsøg i vort regi forhåbentlig vil afklare) ændres



emissionsværdierne for gruppe 2 - stofferne en faktor 2-5 opad. I heldigste fald er forholdene ens ved kulfyring og olie-fyring, så forholdet imellem brændslerne ikke ændres.

I ref. 2. er refereret en undersøgelse af koncentrationen af forskellige (42) grundstoffer i indfyrede kul og i emitteret flyveaske. I rapporten deles grundstofferne i 3 grupper efter deres optræden i forskellige størrelsesfraktioner flyveaske:

Gruppe 1 : Stoffer som ikke udviser stigende koncentration med faldende partikelstørrelse
Al, Ca, Cs, Fe, Hf, K, Mg, Mn, Na, Rb og de sjælne jordarter:
Ce, Dy, Eu, La, Nd, Sm, Tb og Yb samt Sc, Ta, Th og Ti.
Disse stoffer formodes knyttet til en matrix af aluminiumsilikat.

Gruppe 2 : Stoffer som har tydelig stigende koncentration med faldende partikelstørrelse. Disse stoffer er As, Cd, Ga, Mo, Pb, Sb, Se, W og Zn.

Gruppe 3 : Stoffer som af forskellige grunde har lille koncentrationsstigning med faldende partikelstørrelse. Disse stoffer er:
Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ni, Sn, U og V.

Vore målinger viser samme tendens til stigende koncentration igennem anlægget og ved faldende partikelstørrelse i det emitterede faststof.

Denne tendens er videre behandlet i ref. 4, hvor undersøgelserne er udvidet til partikel under 1 μm . Herved er det fundet at koncentrationen af de flygtige stoffer ikke stiger yderligere ved partikler under 1 μm .

Også undersøgelserne ref. 3 og 5 omtaler stigende stofkoncentration for gruppe 2-stoffer ved faldende partikelstørrelse.

I bilag 9.1.1. er foretaget en sammenligning af vore rengasstøv-analyser og analyseresultaterne i ref. 8. Som det ses er der en ret god overensstemmelse mellem de opnåede resultater.

I bilag 9.2.1. er foretaget sammenligning mellem vore analyse-resultater for udskilt aske fra elektrofilteret og ref. 7. side 21 tabel 13. Også ved disse resultater er der god overensstemmelse.

Ifølge ref. 9. kan ved frontmonterede kulstøvbrændere forventes NO_x -emission i området 380 - 600 ppm (side 9). Vi har til sammenligning målt 490 og 603 ppm i gennemsnit ved de to brændsler.

Ifølge ref. 9. side 13 kan for oliefyring med 0,24 % nitrogen i olien forventes ca. 275 ppm NO_x i røggas. Vi har i gennemsnit målt 340 ppm NO_x .

Ifølge ref. 12 må forventes at ca. 97 % af det med brændslet indfyrede kviksølv emitteres gennem skorstenen for kedlen. Dette er væsentligt forskelligt fra vore resultater hvor kun 24 - 52 % af kviksølvet emitteres.

Vore resultater understøttes dog af nogle preliminaire resultater fra ref. 10., som antyder udskillelse af 80 % Hg med faststoffet. Røggrensning sker her med tekstilfilter. Det antydes i ref. 10. at temperaturen i udskilleren har betydning for effektiviteten. Dette er undersøgt lidt nærmere ved opstilling af mætningskoncentrationen af gasformig Hg, som funktion af temperaturen i forhold til mætningskoncentrationen ved 120 °C (se bilag 9.3.1.). Ændring fra 120 °C til 150 °C giver ca. 4 gange så høj mætningskoncentration og 200 °C giver 23 gange så høj koncentration. Sandsynligheden for at kviksølv konden-

serer på partiklerne i røggassen stiger således stærkt med faldende temperatur. Et "varmt" elektrofilter vil efter dette være direkte uheldigt, fordi man her fjerner faststoffet ved ca. 350 °C, og ved denne temperatur er mætningskoncentrationen ca. 900 gange koncentrationen ved 120 °C.

For undersøgelsen af hvilke stoffer der fjernes fra faststofemissionen ved forbedret elektrofiltereffektivitet er foretaget en sammenligning mellem resultaterne fra Studstrupværket blok 1 og Vestkraft blok 2 (september 1979) ved fyring med polske kul.

En sammenligning af anlæggene ser således ud:

Anlæg	:	Studstrup B1	Vestkraft B2
Anlægsbetegnelse	:	MKS-B1	VK-B2
El.ydelse	:	MW 160	285
Parallele el.filtre	:	2	2
Sektioner pr. filter	:	2	4
El.filter effektivitet	:	% 98,5	99,91
Emission	:	g/MWh 617	30

Den specifikke emission er således ca. 20 gange lavere fra Vestkraft blok 2.

Ved sammenligning af det emitterede faststofs indhold af grundstofferne (se bilag 9.4.1. og 9.4.2.) ses at reduktionen er:

- 4 - 10 gange for S-V-Cu-As-Sr-Nb-Sn-Sb og Ba
- 10 - 20 gange for K-Ca-Ti-Mn-Zn-Ga-Y-Zr-Ag-Cd og Pb
20 gange for samlet faststofemission.
- 20 - 30 gange for Si-Fe og Rb
- > 30 gange for Al-Cr og Ni

Da silicium (Si), aluminium (Al) og jern (Fe) er væsentlige bestanddele af totalemissionen, (ca. 72 % på Studstrupværket blok 1 og 65 % på Vestkraft blok 2), er en betydelig reduktion af disse stoffer af stor betydning for reduktionen af den samlede partikelemission.

Stofferne med særlig stærk tilknytning til små partikler (gruppe 2-stoffer, side 8.3) findes i grupperne med lavere reduktion end gennemsnittet, udtrykt ved reduktionsfaktoren for den samlede faststofemission (20). Stofferne i gruppe 2 er understreget i ovennævnte opstilling.

I bilag 9.4.3. er vist de aktuelle reduktionsfaktorer for de forskellige grundstoffer og den procentiske emission af det med brændslet indfyrede stof. I sidste kolonner findes emissionsgrænser anvendt af Allan Astrup Jensen MST 5.kontor i paper af 1979.10.02 tabel 3 emissionsfaktorer.

ppm GRUNDSTOF I UDSKILT ASKE

STOF	Polske kul	Sydafrk. kul 1	Sydafrk. kul 2	Ref. 7 tab. 13.	Ref. 3 tab. 21.	Ref. 5 tab. III.
Si	272.000	287.000	265.000	-	-	-
Al	57.400	66.900	61.800	9.000- 125.000	102.000	33.000
S	4.350	4.390	3.340	5.000- 20.000	-	-
K	17.700	9.680	9.640	6.000- 35.000	-	14.800
Ca	40.000	26.300	24.800	13.000- 68.000	-	8.500
Ti	5.520	7.840	7.190	-	-	2.300
Mn	1.180	293	294	400-2400	-	330
Fe	68.000	61.600	54.300	15.000- 100.000	69.000	53.000
Rb	143	76,4	73,5	-	73	70
La	73,0	74,3	73,3	-	-	90
Ce	129	157	151	-	-	195
Th	18,7	26,7	24,1	-	-	8
Zn	694	120	127	50-1.400	250	2.700
Ga	36,2	85,0	69,4	-	-	110
As	45,0	76,8	58,2	22-30	120	160
Se	4,94	-	2,66	-	27	48
Mo	-	-	-	-	-	-
Cd	8,89	10,9	-	0,7-15	-	120
Sb	24,4	16,2	-	-	14	45
Hg	0,56	1,05	1,13	0,01-0,5	0,31	22
Pb	282	84,8	78,5	<10-300	66	-
Ba	1930	1770	1590	-	-	1300
V	337	501	444	-	-	380
Cr	71,3	182	145	4-330	-	250
Ni	105	154	126	80-350	-	1000
Cu	189	105	101	80-570	230	2800
Sr	823	1730	1460	-	2500	-

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

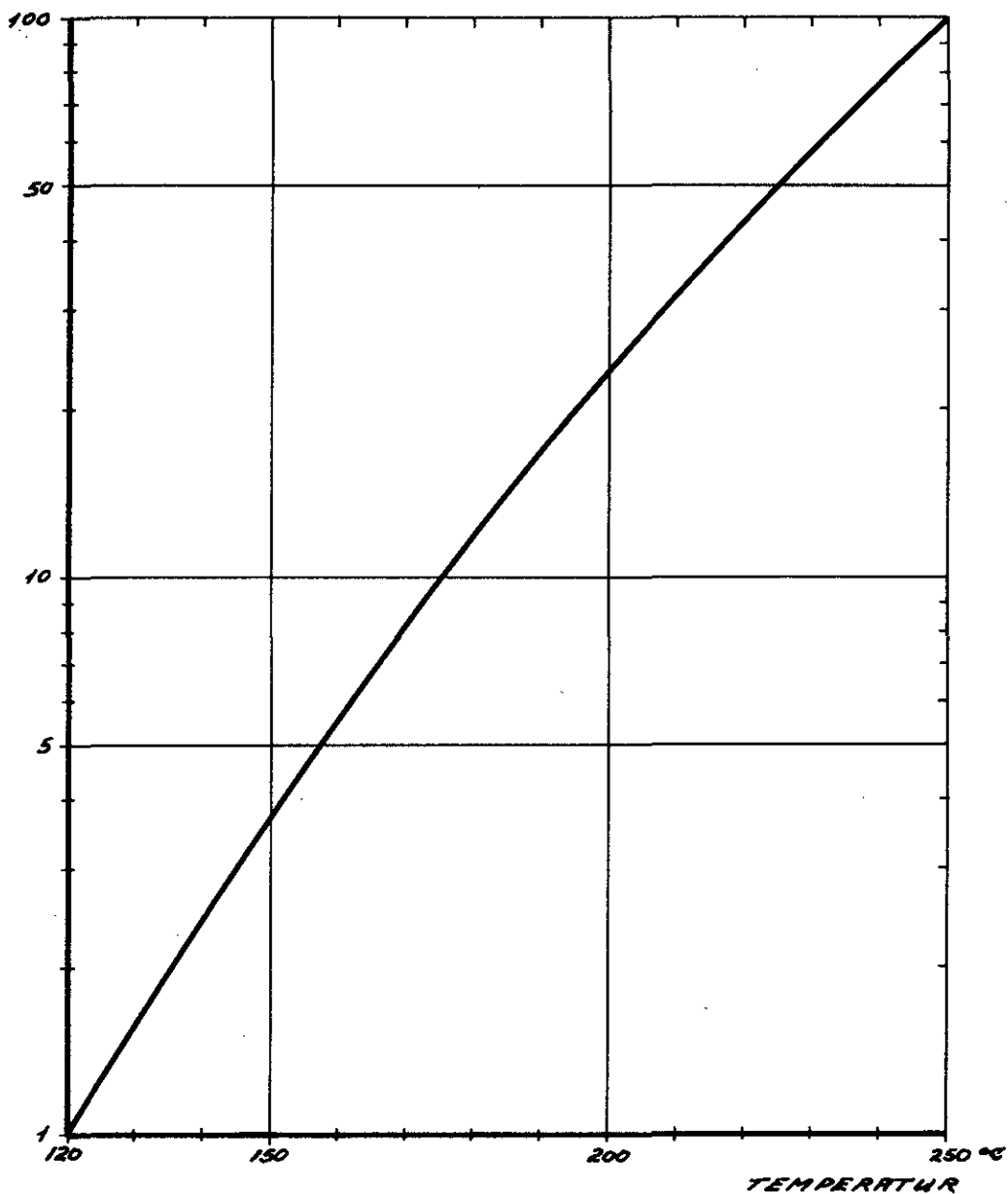


GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

Sign.: LJ

Bilag nr.: 9.2.1.

RELATIV MÆTNINGSKONCENTRATION FOR H₉



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: *LJ*

Bilag nr.: *9.3.1.*

STUDSTRUP BLOK 1

Grundstof		Dim.	Kul	Slagge	Rågas	Udskilt	Emission mg/MWh
Aluminium	Al	g/MWh	1653	151	-	2319	35200
Silicium	Si	"	8423	938	-	10994	149000
Svovl	S	"	1745	4	-	176	3570
Clor	Cl	"	266	-	-	-	1633
Kalium	K	"	637	49	-	719	10100
Calcium	Ca	"	1664	107	-	1619	23700
Titan	Ti	"	232	14	-	223	3720
Vanadium	V	"	14	0,6	-	14	278
Crom	Cr	"	-	-	-	3	315
Mangan	Mn	"	52	4	-	48	745
Jern	Fe	"	2693	25	-	2750	41000
Cobolt	Co	"	-	-	-	-	-
Nikkel	Ni	"	5	0,2	-	4	296
Kobber	Cu	"	21	0,5	-	8	93
Zink	Zn	"	44	0,8	-	28	769
Gallium	Ga	"	3	0,08	-	1	30
Arsen	As	"	3	-	-	2	51
Selen	Se	"	0,3	-	-	0,2	-
Brom	Br	"	3	-	-	0,2	39
Rubidium	Rb	"	6	0,4	-	6	77
Strontium	Sr	"	39	2	-	33	585
Yttrium	Y	"	4	0,2	-	2,5	32
Zirkonium	Zr	"	9	0,7	-	10	175
Niobium	Nb	"	-	-	-	0,3	6
Molybden	Mo	"	2	-	-	-	51
Sølv	Ag	"	0,7	0,02	-	0,4	13
Cadmium	Cd	"	-	-	-	0,4	10
Tin	Sn	"	2	-	-	-	15
Antimon	Sb	"	-	-	-	1	13
Barium	Ba	"	89	5	-	78	1500
Bly	Pb	"	12	0,3	-	11	201
Thorium	Th	g/MWh	2	0,04	-	0,8	23
Total stofmængde		g/MWh	357438	3044	41036	40419	617

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.: LJ

Bilag nr.: 9.4.1.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

VESTKRAFT BLOK 2

Grundstof		Dim.	Kul	Slagge	Rågas	Udskilt	Emission mg/MWh
Aluminium	Al	g/MWh	1957	361	2638	2469	896
Silicium	Si	"	10100	1612	10053	10193	7174
Svovl	S	"	1415	3	74	82	527
Clor	Cl	"	344	2	45	-	-
Kalium	K	"	645	82	627	597	533
Calcium	Ca	"	1381	164	1209	1105	1965
Titan	Ti	"	224	25	205	195	318
Vanadium	V	"	15	1	11	13	65
Crom	Cr	"	-	-	4	2	5
Mangan	Mn	"	47	7	43	39	55
Jern	Fe	"	2609	368	2363	2135	1961
Cobolt	Co	"	-	-	-	-	-
Nikkel	Ni	"	4	0,5	5	3	4
Kobber	Cu	"	14	0,8	6	6	17
Zink	Zn	"	17	1	28	10	44
Gallium	Ga	"	2	0,1	1	1	3
Arsen	As	"	2	0,1	2	1	6
Selen	Se	"	0,3	-	0,1	0,1	0,3
Brom	Br	"	4	-	1	-	-
Rubidium	Rb	"	6	0,6	5	4	3
Strontium	Sr	"	36	4	31	21	64
Yttrium	Y	"	3	0,2	2	2	2
Zirkonium	Zr	"	11	1	10	6	10
Niobium	Nb	"	0,5	0,04	0,3	-	0,7
Molybden	Mo	"	-	-	0,7	-	-
Sølv	Ag	"	0,8	0,06	0,4	0,3	1
Cadmium	Cd	"	-	-	0,4	0,3	1
Tin	Sn	"	1	-	0,9	0,8	2
Antimon	Sb	"	-	-	0,9	0,6	2
Barium	Ba	"	91	10	79	54	294
Bly	Pb	"	8	0,4	8	5	14
Thorium	Th	g/MWh	1	0,06	0,4	0,5	-
Total stofmængde		g/MWh	283300	5374	37096	37066	30,3

DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: LJ

Bilag nr.: 9.4.2.

Grundstof		MKS-1 VK-2	Dim.	Emission af MKS-1	ion af indfyret VK-2	ref. 13
Aluminium	Al	39,2	%	2,13	0,046	1
Silicium	Si	20,8	%	1,77	0,071	-
Svovl	S	6,8	%	0,20	0,037	-
Chlor	Cl	-	%	0,61	-	-
Kalium	K	18,9	%	1,59	0,083	-
Calcium	Ca	12,1	%	1,42	0,142	-
Titan	Ti	11,7	%	1,60	0,142	-
Vanadium	V	4,3	%	1,99	0,433	1
Crom	Cr	63,0	%	-	0,125	-
Mangan	Mn	13,5	%	1,43	0,117	1(0,2-12,5)
Jern	Fe	20,9	%	1,52	0,075	0,5
Cobolt	Co		%	-	-	1
Nikkel	Ni	74,0	%	5,90	0,1	2(1-20)
Kobber	Cu	5,5	%	0,44	0,121	1
Zink	Zn	17,5	%	1,75	0,259	3
Gallium	Ga	10,0	%	1,00	0,150	-
Arsen	As	8,5	%	2,55	0,300	4
Selen	Se	-	%	1,7	0,100	15(10-40)
Brom	Br		%	1,30	-	-
Rubidium	Rb	25,7	%	1,28	0,050	-
Strontium	Sr	9,1	%	1,50	0,178	-
Yttrium	Y		%	0,80	0,067	-
Zirkonium	Zr		%	1,94	0,091	-
Niobium	Nb		%	-	0,140	-
Molybden	Mo	-	%	2,55	-	1(0,1-10)
Sølv	Ag		%	1,86	0,125	-
Cadmium	Cd	10,0	%	2,50	0,250	3
Tin	Sn		%	0,75	0,200	0,2
Antimon	Sb	6,5	%	1	0,222	3
Barium	Ba	5,1	%	1,69	0,323	0,2
Bly	Pb	14,4	%	1,68	0,175	3(2-8)
Thorium	Th	-	%	1,15	-	-

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 9.4.3.



REFERENCE-LISTE

- 1) Eriksen, Mette og Nielsen, Svend T.
Elementer af en spormetalbalance for affaldsforbrændingsanlæg.
Heri omtales forsøgsresultater med 2 specielle måleudstyr opbygget for opsamling af spormetaller i udsuget delrøgstrøm fra traditionelt faststofmåleudstyr.
Rapport over eksamensprojekt ved Laboratoriet for teknisk hygiejne ved DTH juni 1979.

- 2) Coles, D.G. - Ragaini, R.C. og Ondov, J.M.
Chemical Studies of Stack Fly Ash from a Coal-Fired Power-Plant.
Heri omtales analyser af kul og flyveaske og analyse af 4 fraktioner af flyveasken.
Grundstofferne inddeles i tre grupper efter deres tilbøjelighed til optræden i forskellige fraktioner med forskellig koncentration.
Environmental Science & Technology Vol. 13 nr. 4 april 1979 p. 455 - 459.

- 3) Ray, S.S. and Parker, F.G.
Characterization of Ash from Coal-Fired Power Plants.
Denne rapport omhandler stoffernes koncentration i kul, slagge, udskilt flyveaske og emitteret aske, målt ved flere studier.
Rapporten omtaler ligeledes analysemetoder, og viser hvor stor forskel i analyseresultat man når frem til på forskellige laboratorier ved samme eller forskellige analysemetoder på samme prøve.
EPA-report no. 600/7-77-010 jan. 1977.
PB 265 374

- 4) Smith, R.D., Campbell, J.A. and Nielson, K.K.
Concentration Dependence upon Particle Size of Volatilized Elements in Fly Ash.
I denne artikel behandles resultater af analyse for 29 grundstoffer ved røntgen-fluorescence-analyse i 17 partikelfraktioner. Det vises at koncentrationen af flygtige spormetaller stiger med faldende partikelstørrelse til ca. 1 μm hvorefter koncentrationen bliver konstant, uafhængig af partikelstørrelsen. En kondensations-model foreslås til forklaring af analyseresultaterne.
Environmental Science & Technology Vol. 13 no. 5. may 1979
p. 553 - 558.

- 5) Block, C and Dams, R.
Study of Fly Ash Emission During Combustion of Coal.
Heri omtales undersøgelser af forholdet mellem partikelstørrelse og koncentration af grundstofferne i kul, slagge og flyveaske ved kulfyring i større kedelanlæg og i meget lille kedelanlæg.
Heri konstateres en koncentrationsforøgelse med faldende partikelstørrelse for visse stoffer.
Environmental Science & Technology Vol. 10 no. 10 okt. 1976
p. 1011 - 1017.

- 6) Jacko, R. B. and Neuendorf, D.W.
Trace Metal Particulate and Municipal Point Sources.
Heri er rapporteret resultater af undersøgelser af stoffkoncentrationer i forhold til partikelstørrelsen.
Cd, Pb, Zn og Cu har typisk stor koncentration ved ca. 1 μm .
Journal of the Air Pollution Control Association Vol. 27
no. 10 okt. 1977 p. 989 - 994.

- 7) Colliander, B.
Fysisk-kemisk sammensætning af flyveaske og slagge.

Heri er nævnt resultater af forskellige laboratoriers analyse af forskellige asker fra fyring med polske kul, og variationsbredden er opgjort for 20 grundstoffer.

Danske Elværkers Forening, DRiftsteknisk publikation nr. 20, 1977. Distribution : Dansk Kedelforening.

8) Kirsch von H. und Schwarz, G.

Über den Aussagewert chemischer Analysen von emittierten Kraftwerksstäuben.

Heri omtales undersøgelser af spormetalindholdet i rengasstøv ved forbrænding af 27 tyske og ikke tyske kulsorter, samt variationsbredden i indholdene.

VGB Kraftwerkstechnik 59 Heft 3 märztz 1979 s. 202 - 206.

9) Technical Assessment of NO_x Removal Processes for Utility Application.

Heri omtales en række undersøgelser af NO_x-emissions variation med driftsforhold som nitrogenindhold i brændsel, forvarmningstemperatur for forbrændingsluft, kedelbelastning, luftoverskud ved forbrændingen og fyringsprincip.

EPA-report no.

PB - 276 637.

10) Fläkt, Växjö 1979.06.12.

Referat af preliminaire resultater af Hg-udskillelse i posefilter ved kulfyret kedel.

Undersøgelsen synes at vise at væsentlige andele af den med brændslet tilførte kviksølv kan udskilles med faststof, når udskillelsen sker ved forholdsvis lav røgtemperatur (125 °C).

Rapport endnu ikke udarbejdet, hvorfor eksakte resultater ikke kan angives her.



11) BP-Data

Mercury Content of Crude Oils

Tabel over Hg-indhold i 13 råolier fra lige så mange områder.

Middel : 0,023 ppm Hg Område : 0,010 - 0,034 ppm

12) Billings, C.E. and Matson, W.R.

Mercury Emissions from Coal Combustion.

I denne rapport omtales målinger af kviksølvfordelingen tilført med kul, slagge, udskilt i economiser, udskilt i elektrofilter og emitteret i gasfase. Fordeling:

Kul	100,0 %
Slagge	2,6 %
Economiser-aske	2,6 %
Udskilt i el.filter	3,8 %
Emitteret	96,9 %

Desværre er filtertemperaturen ikke angivet.

SCIENCE Vol. 176 16. june 1972 p. 1232 - 1233.

13) Astrup Jensen, A . Miljøstyrelsens 5.kontor 1979.10.02.
Frigørelse af spormetaller til atmosfæren ved kulfyring.

I dette paper er foretaget en gennemgang af forskelligt litteratur om spometalemissionen ved kulfyring.

Til brug for kulkonsekvensudvalget er her samlet de nyeste, tilgængelige oplysninger om udviklingen i kulforbruget på danske kraftværker igennem 1980'erne.

I det følgende vil blive gennemgået:

- 1) Størrelsen af kommende anlæg
- 2) Placering af anlægstyper
- 3) Kultyper som skal anvendes
- 4) Kvalitativ vurdering af røgrensning
- 5) Kvantitativ vurdering af emission
- 6) Vurdering af variationsbredde.

1. KOMMENDE ANLÆG.

Efter forespørgsel hos ELSAM (vest for Store Bælt) og ELKRAFT (øst for Store Bælt og Bornholm) er det oplyst at udbygningsplanerne er under konstant revision, men at udbygningen frem til omkring 1985 er så langt fremme at større ændringer er tvivlsomme. For sidste halvdel af 1980'erne er udbygningsplanerne mere usikre, men dog ikke mere end at igangsætningstidspunktet for det enkelte anlæg kun vil kunne rykkes et år frem eller tilbage afhængigt af udviklingen i elforbruget. Ved stagnation i elforbruget vil nye elværksenheder alligevel blive bygget til afløsning af ældre anlæg som nedlægges eller overgår til reserve.

Ifølge brev af 1980-06-25 fra ELKRAFT forventes følgende udbygning af elværkerne øst for Store Bælt incl. Bornholm:



ELKRAFT:

År	Størrelse MW_{el}	Størrelse MW_{br}	Placering
1980	650	1600	Asnæsværket, blok 5
1984	70	200	H.C.Ørstedværket 7
1985	480	1350	Amagerværket, blok 3
1987	40	100	Østkraft 6
1989	480	1350	Amagerværket, blok 4

I samme periode forventes følgende anlæg nedlagt:

1980	12	-	H.C.Ørstedværket 9
1985	113	320	H.C.Ørstedværket 2 Kyndbyværket 1,2,3
1986	40	120	Masnødøværket 3
1987	12	30	Østkraft 1-3
1988	45	130	Svanemølleværket 1 & 2
1989	28	80	H.C.Ørstedværket 1 Kyndbyværket 11,12 & 13
1990	236	670	Svanemølleværket 3 & 4 Østkraft 4

Det betyder at der i ELKRAFT-området forventes en netto-tilgang på 1234 MW_{el} eller i størrelsesordenen 3250 MW_{br} .

MW_{el} : Elektrisk effekt.

MW_{br} : Brændselseffekt.

Ifølge "Udvidelsesplan 1979, ELSAM 1979.05.17" kan i ELSAM-området, vest for Store Bælt forventes følgende udbygning af værkerne:



ELSAM:

År	Størrelse MW _{el}	Størrelse MW _{br}	Placering
1979	610 (305)	1525	Enstedværket, blok 3
1980	(269)	(670)	Skærbækværket, blok 2
	(270)	(670)	Fynsværket, udbygning 4 ombygning til kul/olie-fyring
1983	350	1000	Studstrupværket, blok 3
1983	83	240	Herningværket kraft/varme
1983	45	130	Randers Kommunale Elværk
1984	350	1000	Studstrupværket, blok 4
1985	300	750	Skærbækværket, blok 3
1985	250	700	9 decentrale anlæg for kraft/varme
1986	600	1500	Limfjordsværket
1986	350	1000	Vestkraft, blok 3
1988	600	1500	Enstedværket, blok 4

(Tal i parantes er ombyggede enheder og effekt for ELSAM-området).

Dette betyder at der i ELSAM-området kan forventes en netto-tilgang i størrelsesordenen 3500 MW_{el} eller ca. 9300 MW_{br}. Der er ved omregning fra elektrisk effekt til brændselseffekt anvendt virkningsgrader på 40% ved kondensationskraftværker og 35% ved kraftværker med fjernvarmelevering. Sidstnævnte virkningsgrad er således ikke udtryk for anlæggets effektivitet. Ved samtidig elproduktion og fjernvarmelevering fra Studstrupværket blok 3, som forventes igangsat 1983, haves en maksimal eleffekt på 350 MW, som dog reduceres en smule ved maksimal fjernvarmelevering på 480 MJ/S (MW). Ved maksimal fjernvarmeproduktion har anlægget således en samlet virkningsgrad i størrelsesordenen 80-83%.

Skorstenshøjden er ikke endelig fastsat for alle nye anlæg, men følgende værdier kan give et indtryk af størrelsesordenen:

Enstedværket	EV 3	610 MW _{el}		181 meter
Asnæsværket	blok 5	650 MW _{el}		220 meter
Studstrupværket	blok 3	350 MW _{el}	måske omkring	175 meter
Skærbækværket	blok 3	300 MW _{el}	måske omkring	165 meter
Amagerværket	blok 3	480 MW _{el}	måske omkring	210 meter
Herningværket		83 MW _{el}	måske omkring	90 meter
Randersværket		45 MW _{el}	måske omkring	130 meter

Ud fra ovenstående tabel, ses helt klart, at den nødvendige skorstenshøjde varierer betydeligt indenfor en given anlægsstørrelse. Dette skyldes mange årsager, hvoraf kan nævnes:

det for blokken maksimalt tilladelige immisionskoncentrationsbidrag

bidraget fra andre enheder/blokke på værket

topografiske og meteorologiske forhold

brændsel - svovlindhold etc.

2. PLACERING AF ANLÆGSTYPERNE.

Der er i ELKRAFT og ELSAM's udbygningsplaner regnet med forskellige anlægstyper.

2.1. Grundlastværker

2.2. Mellemlastværker med fjernvarmelevering

2.3. Decentrale kraft/varme-værker.

Ad. 2.1. Grundlastværker.

Som eksempel kan nævnes Enstedværket, EV3 og Asnæsværket blok 5.

Disse værker er bygget til ren kondensationsdrift som højøkonomiske anlæg indrettet til konstant høj belastning. Der er ikke fjernvarmeforbrug i placeringsområderne, som kunne forsynes med de potentielt meget store varmemængder et sådan værk kunne levere.

Ad. 2.2. Mellemlastværker med fjernvarmelevering.

Denne anlægstype er ret almindelig omkring de større byer, og der vil i 1980'erne ske en prioriteret udbygning i områder hvor betydelig fjernvarmemængder kan udnyttes. Som eksempel kan nævnes:

Amagerværket	blok 3 og 4	(København)
Studstrupværket	blok 3 og 4	(Århus-området)
Limfjordsværket		(Aalborg-Nørresundby)
Vestkraft	blok 3	(Esbjerg)

Ad. 2.3. Decentrale kraft/varme-værker.

Denne anlægstype bliver introduceret ved igangsætning af Herningværket 1983, men driftsformen har været anvendt, f.eks. på Nordkraft, Aalborg, Randers Kommunale Elværk m.fl. i mange år.

Anlæggene er betegnet ved at hele dampmængden fra turbinen køles i en varmeveksler i fjernvarmesystemet. Anlæggene er således ikke udstyret med kondensator kølet med havvand el.lign.

Anlæggene tænkes placeret i mindre byer med veludbygget fjernvarmenet og af udbygningsprogrammet fremgår det at der forventes etableret 9 anlæg i ELSAM-området omkring 1985. I ELKRAFT-området undersøges mulighederne for placering i 7 byer med Helsingør og Hillerød som mest sandsynlige første etableringer.



Efter dette vil de større anlæg altså blive placeret ved kysten, hvor rigelige kølevandsmængder er tilgængelige, mens de decentrale kraft/varme-værker typisk vil blive placeret inde i landet.

3. KULTYPER SOM SKAL ANVENDES.

Det fremtidige kulforbrug i Danmark er senest behandlet i følgende publikationer:

3.1. Forsyningsmuligheder for kraftværkskul i 1980'erne
Elsam, november 1978

3.2. Dansk elforsyning 1979
Statistisk publikation 4. årgang fra Danske Elværkers For-
ening.

3.3. Coal-Bridge to the Future
World Coal Study (WOCOL) 1980

Ved gennemgang af dette materiale findes den i bilag 1 viste udviklingsprognose for forbruget af kraftværkskul i Danmark. Efter dette regner rapport 3.1. med et forbrug ca. 0,5 Mt/år højere end WOCOL i perioden 1980-1989, men dette svarer ret nøje til den forventede lageropbygning.

Efter dette er den detaljerede fordeling efter forsyningsmulighederne angivet i rapport 3.1. anvendt ved vurdering af hvilke kul der vil blive anvendt i danske kraftværker. Rapporten 3.1. er i sin helhed vedlagt som bilag til denne rapport, da den rummer en nærmere begrundelse for fordelingen mellem leverandør-landende, og en afskrift her er ikke skønnet nødvendig.

Bilag 2 viser den procentiske fordeling af kulforbruget på kraftværkerne fordelt på leverandør-landene. Det er heri forudsat at industri og fjernvarme-centraler især får kul fra nær-leverandører (EF, Polen og USSR), mens elværkerne især får transoceanske kul (Sydafrika, Australien, Colombia, Venezuela, Canada, Indien, Kina, USA).

Af fordelingen på leverandør-lande ses at der især skal anvendes kul fra Sydafrika, Polen, Australien og Canada. Først sidst i årtiet begynder kulleverancer fra andre lande at få en væsentlig betydning, dog tegner ovennævnte fire lande sig stadig for ca. 80 % af kulforbruget ved udgangen af 1980'erne.

4. KVALITATIV VURDERING AF RØGRENSNING.

Alle de nye elværksanlæg vil blive indrettet til røgrensning med elektrostatiske askeudskillere (elektrofiltre). Dimensioneringen vil ske ud fra de tilgængelige oplysninger om kulaskens elektriske egenskaber. De små decentrale anlæg kan måske delvist blive udstyret med tekstilfiltre, men beslutninger herom er endnu ikke truffet.

Med udgangspunkt i dette, og kendskabet til emissionsforholdene på eksisterende anlæg, vil der i det følgende blive forsøgt at give en vurdering af emissionsforholdene i 1980'erne.

Elværkerne er eller vil blive udstyret med røgrensningsudstyr i forhold til anlægsantal og dampydelse, som det fremgår af følgende tabel:

Udskillertype:	Byggeår:	Antal kedler:	Dampydelse i alt:
Multicyklon o.l.	1940-1967	49	1556 kg/s
Tekstilfiltre	1978-1979	4	250 kg/s
Elektrofiltre, ældre	1951-1961	3	306 kg/s
Elektrofiltre, nyere	1964-1971	7	583 kg/s
Elektrofiltre ombygning	1978-1980	6	1583 kg/s
Elektrofiltre, tilgang	1980'erne	13	4667 kg/s



I sidste halvdel af 1980'erne vil en del af de ældste anlæg med multicyklon-udskillere og tekstilfiltre blive nedlagt. Der er planlagt nedlægning af 12 kedler med en dampydelse på i alt 560 kg/s i ELKRAFT-området inden 1990.

Da anlæggene er meget forskellige er emissionen også meget varierende, men typiske emissionsværdier er:

Multicyklon o.l.	:	200 - 1500 mg/m ³ ,n,t
Tekstilfiltre	:	5 - 150 mg/m ³ ,n,t
Elektrofiltre, ældre	:	200 - 1000 mg/m ³ ,n,t
Elektrofiltre, nyere	:	100 - 300 mg/m ³ ,n,t
Elektrofiltre, ombygning	:	5 - 150 mg/m ³ ,n,t
Elektrofiltre, tilgang 1980'erne	:	5 - 150 mg/m ³ ,n,t

De ældste anlæg med multicyklon-udskillere er ikke i normal drift, de tjener kun som reservekapacitet med få årlige driftstimer. Kun omkring halvdelen af anlæggene har driftstid af betydning nu og denne del vil formentlig være stærkt faldende igennem 1980'erne.

Tekstilfiltrene er kendetegnet ved at emissionen er uafhængig af kulkvaliteten i betydeligt omfang. Emissionen varierer kun i ringe omfang med partikelstørrelsen, trykfaldet over filteret og rensningsintervallet. Det betyder at et tekstilfiltres rensningsgrad i høj grad bestemmes ved dimensioneringen (den specifikke belastning).

Elektrofiltres rensningsevne varierer med støvets elektriske egenskaber, som igen er afhængig af støvets kemiske sammensætning, røgtemperaturen, vanddampindholdet i røggassen, støvets indhold af uforbrændt kulstof m.v. Det betyder at et elektrofilter dimensioneres efter en given støvsammensætning og med en vis variationsbredde indenfor hvilken filtret f.eks. overholder emissionsgrænsen i Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 7/1974.



I øjeblikket udlægges elektrofiltre således for overholdelse af 150 mg/m^3 , n, t ved 12 % CO_2 for f.eks. Polske kul, Canadiske kul, Ruhrkul, Engelske kul, Spanske kul, Amerikanske kul, Syd-afrikanske kul og Russiske kul.

Da støvet fra disse kul ikke er lige svært at udskille, vil emissionen ved fyring med visse kul være meget lav, mens den ved andre kul vil være nær emissionsgrænsen.

Faststoffet fra følgende kul typer anses normalt for letudskilleligt i elektrofiltre:

Polske kul
 Sydafrikanske kul
 Ruhrkul

Faststoffet fra følgende kul typer anses derimod for vanskeligt udskillelige:

Vestcanadiske kul
 Australske kul (visse miner)

I bilag 4 er vist faststofemissionen fra en række anlæg som funktion af ASI-tallet (Alkali-Sulfat-Indexet). Linien i diagrammet repræsenterer en række resultater opnået med forskellige kul typer på samme anlæg. Den antyder at emissionen falder med stigende ASI-tal. Analyse af en række kulprøver fra forskellige lande giver disse gennemsnitsværdier:

Kul type:	ASI-tal:
Polske kul	4
Sydafrikanske kul	4
Vestcanadiske kul	3
Australske kul	2
Tyske kul (Ruhr)	5
Russiske kul (Petchora)	4
Amerikanske kul	-
Colombianske kul	4
Engelske kul	6
Kinesiske kul	3



Andre forhold som synes at have betydning for elektrofiltrenes effektivitet er kulaskens smeltepunkt og kullenes svovlindhold og som nævnt udbrændingsgraden (røgens kulstofindhold). Højt smeltepunkt giver finkornet aske ved forbrændingen mens lavt svovlindhold giver dårligere elektriske egenskaber for faststoffet.

Analyser af kullene fra følgende lande har givet disse resultater:

Land:	Halvkuglepunkt °C	Svovl i kul %
Polen	1240	0,67
Sydafrika	1360	0,98
Vestcanada	>1500	0,35
Østcanada	1320	1,5
Australien	>1500	0,52
Vesttyskland	1370	0,96
USSR	1280	0,63
USA	-	-
Colombia	1260	0,66
Englang	1300	1,3
Kina	1200	0,67

Af de kul, som i væsentligt omfang skal bruges på danske kraftværker, kan der således forventes problemer med australske og vestcanadiske kul.

5. KVANTITATIV VURDERING AF EMISSION.

Målinger på Asnæsværket blok 3 (udvidet elektrofilter), Vestkraft blok 2 (ombygget fra olie- til kulfyring) og Enstedværket blok 3, har vist, at nyere elektrofiltre, på trods af problemerne, er i stand til at rense røggassen for faststof så Miljøstyrelsens vejledende emissionsgrænseværdi overholdes med god margin.



På nyanlæg og ombyggede anlæg kan forventes faststofemissioner som følgende:

Polske kul	~ 20 mg/m ³ ,n,t
Sydafrikanske kul	~ 15 mg/m ³ ,n,t
Canadiske kul	~ 100 mg/m ³ ,n,t
Australske kul	~ 120 mg/m ³ ,n,t

Sammenholdes dette med fordelingen i kulforbruget som vist i bilag 2 kan forventes årsmiddelemmission for *nye eller ombyggede* anlæg på:

1980 :	30 mg/m ³ ,n,t
1989 :	35 mg/m ³ ,n,t

Den totale partikelemmission fra danske kraftværker vil sandsynligvis ikke stige, på trods af den kraftige vækst i installeret effekt. Emissionen fra de nye anlæg vil være så meget mindre end emissionen fra de nedlagte anlæg og anlæg som kommer til at stå som reserve, at den emitterede faststofmængde totalt vil være uændret eller måske svagt faldende. Ved denne vurdering er anvendt følgende kapacitets- og emissionsværdier:

<u>1980</u>	Dampydelse i alt: kg/s	Emission mg/m ³ ,n,t
Multicyklon o.l.	1556	1000
Tekstilfilter	250	50
Elektrofiltre, ældre	306	750
Elektrofiltre, nyere	583	250
Elektrofiltre, ombygning	1583	30
Middelemmission, vægtet efter dampydelse		465

<u>1989</u>	Dampydelse i alt: kg/s	Emission: mg/m ³ ,n,t
Multicyklon o.l.	1100	1000
Tekstilfilter	35	50
Elektrofilter, ældre	306	750
Elektrofilter, nyere	583	250
Elektrofilter, ombygning	1583	35
Elektrofilter, nybygning	4667	35
Middelemmission, vægtet efter dampydelse		205

Efter udbygningsplanerne vil dampydelsen blive fordoblet fra 1980 til 1989, men middelemmissionen mere end halveret. En yderligere reduktion i emissionen vil blive opnået hvis nogle af de ældste og mindst effektive røgrensningsanlæg forbedres eller udskiftes f.eks. med tekstilfiltre.

Vor viden om den kemiske sammensætning af asken i kul fra andre lande end Polen og Sydafrika er begrænset, men nogle sporadiske undersøgelser af kulprøver fra danske kraftværker gav de i bilag 5.1. viste resultater. I bilag 5.2. og 5.3. findes nogle analyser samlet af IVL, marts 1977 ved Gun Lövblad.

Ved beregning af den specifikke emission ved fyring med de forskellige kulkvaliteter er regnet med emissionsfaktorer som fundet på Studstrupværket ved emission større end 100 mg/m³,n,t. Ved lav emission er regnet med emissionsfaktorer som fundet ved målingerne på Vestkraft blok 2. Se bilag 6.

I bilag 7 er beregnet emission i mg/MWh ved fyring med de forskellige kul på ombyggede og kommende anlæg, og i bilag 8 er beregnet emission i mg/MWh ved fyring på anlæg med nyere elektrofiltre. Hvordan emissionen vil være fra anlæg med tekstilfiltre, ældre elektrofiltre og multicyklonanlæg o.l. er usikkert,



men disse anlæg vil udgøre en stadigt faldende andel af anlæggene i almindelig drift.

Den totale emission fra et givet anlæg ved en given belastning kan findes ved multiplikation af den specifikke emission fra bilag 7 eller 8 med anlægsydelsen i megawatt (MW). Som eksempel er beregningerne udført for Amagerværket i 1980 og 1989, som vist i bilag 11.

For at få en vurdering af den samlede emission af partikler fra danske kraftværker ved kulfyring, er fundet maksimalbelastningen, som den forventes at blive i 1980'erne (Se bilag 12.1 og 12.2). Hvis forholdet mellem maksimal- og middelbelastningen bliver som konstateret i 1979 kan forventes en middelbelastning som angivet i bilag 12.1 og 12.2.

Under forudsætning af, at især de nyeste anlæg skal dække forbruget og, at man kan forvente følgende maksimale rådighedsfaktorer for anlægstyperne tidligere nævnt, kan belastningsfordelingen beregnes.

Anlægstype:	Rådighedsfaktor:
Anlæg med: multicylkon o.l.	0,5
: tekstilfilter	0,5
: elektrofilter, ældre	0,6
: elektrofilter, nyere	0,7
: elektrofilter, ombygning	0,75 - 0,6
: elektrofilter, nybygning	0,8 - 0,75

Rådighedsfaktoren er skøn foretaget af Dansk Kedelforening. Rådighedsfaktoren angiver den del af året anlægget er til rådighed med maksimal ydelse. Hvor der er to værdier angiver de udviklingen igennem 1980'erne.

Ved beregning af totalemissionen er forenklet regnet med at anlæg i drift er fuldt belastet, at så stor en del af forbruget



som muligt dækkes af de nyeste anlæg og at de ældste anlæg står som reserve i det omfang der ikke er brug for kapaciteten.

Det er åbenlyst at den resulterende totale partikelemission er behæftet med betydelig usikkerhed, stærkt afhængig af den resulterende driftsfordeling imellem anlægstyperne, men tendensen til faldende totalemission igennem 1980'erne, som det fremgår af bilag 13 er dog sikker, fordi der er så betydelig forskel i emissionen fra de ældste - til de nyeste anlæg.

6. VURDERING AF VARIATIONSOMRÅDE.

De her angivne værdier er selvfølgelig baseret på tilgængeligt materiale, men også i et vist omfang på skøn. Der kan derfor vise sig at være ret store forskelle mellem de forventede emissioner og de emissionsværdier som vil kunne måles på de forskellige anlæg ved fyring med de forskellige kul typer. Følgende usikkerheder må indgå i vurdering af resultaterne:

- 1: Usikkerhed på vurdering af elektrofiltres evne til at udskille asken fra kul fra forskellige leverandør-lande.
- 2: Variation i elektrofiltres drift.
- 3: Variation i kullenes sporstof-indhold.
- 4: Ændringer i elværkernes udbygningstakt og dermed i kulforbruget.
- 5: Ændringer i leverandør-lande og fordeling af kulleverancen fra de enkelte lande.
- 6: Anden kulforbrugsfordeling på de enkelte værker end gennemsnittet.

Med disse begrænsninger skulle materialet give en rimelig vurdering af emissionen fra kulfyrede kraftværker i Danmark frem til omkring 1990.

DANSK KEDELFORENING

Juli 1980

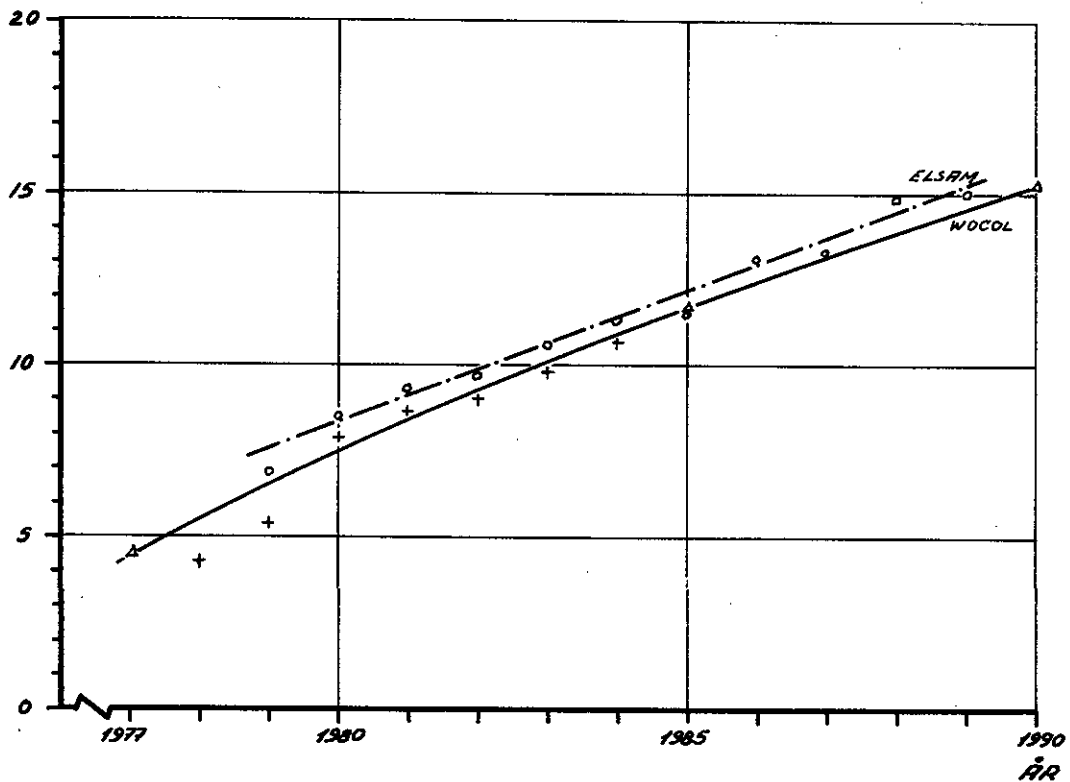


BILAGSFORTEGNELSE.

- Bilag nr. 1: Prognose for kulforbrug på danske elkraftværker 1980-1989.
- 2: Fordeling af kulforbrug efter leverandørlande.
- 3: Diagram over fordeling efter leverandørlande.
- 4: Faststofemission efter askeanalyse
- 5: Kemisk analyse af kul fra
Polen
Sydafrika
Australien
Vesttyskland
Colombia
Kina
- 6: Emissionsfaktorer ved jævn- og god røggasrensning for partikler
- 7: Beregnet emission fra ombyggede- eller kommende anlæg.
- 8: Beregnet emission fra nyere anlæg
- 9: Udbygningsplaner for ELKRAFT-området
(Øst for Store Bælt)
- 10: Udbygningsplaner for ELSAM-området
(Vest for Store Bælt)
- 11: Emissionsberegning for Amagerværket 1980 og 1989.
- 12: Udvikling i elproduktionen på danske kraftværker i 1980'erne.
- 13: Udvikling i totale partikelemission fra kraftværker i 1980'erne.
- 14: Elsam-rapport:
"Forsyningsmuligheder for kraftværkskul i 1980'erne".

KULFORBRUG PÅ ELVÆRKER

Mt/år



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: 47

Bilag nr.: 1

PROCENTISK FORDELING AF KULFORBRUG

Land/år	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Sydafrika	37,7	45,9	46,2	37,1	40,6	33,6	32,2	37,4	33,8	37,8	35,3
Polen	44,9	36,5	33,3	32,0	29,2	27,4	26,1	22,9	22,6	20,3	20,0
Australien	8,7	9,4	10,8	12,4	13,2	14,2	15,7	15,3	15,0	13,5	13,3
Canada	4,3	3,5	4,3	5,2	4,7	4,4	6,1	6,9	8,3	8,8	10,0
Columbia/ Venezuela	0	0	0	0	0	8,8	8,7	7,6	9,0	8,1	8,0
Indien	0	1,2	1,1	2,1	2,8	3,5	4,3	4,6	5,3	5,4	6,0
Kina	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	2,7	4,0
USA	0	0	0	3,1	2,8	2,7	2,6	2,3	2,3	2,0	2,0
USSR	4,3	3,5	4,3	3,1	1,9	0,0	0	0	0	0	0
EF	0	0	0	5,2	4,7	4,4	4,3	3,1	2,3	1,4	1,3
Forbrug Mt/år	6,9	8,5	9,3	9,7	10,6	11,3	11,5	13,1	13,3	14,8	15,0

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511

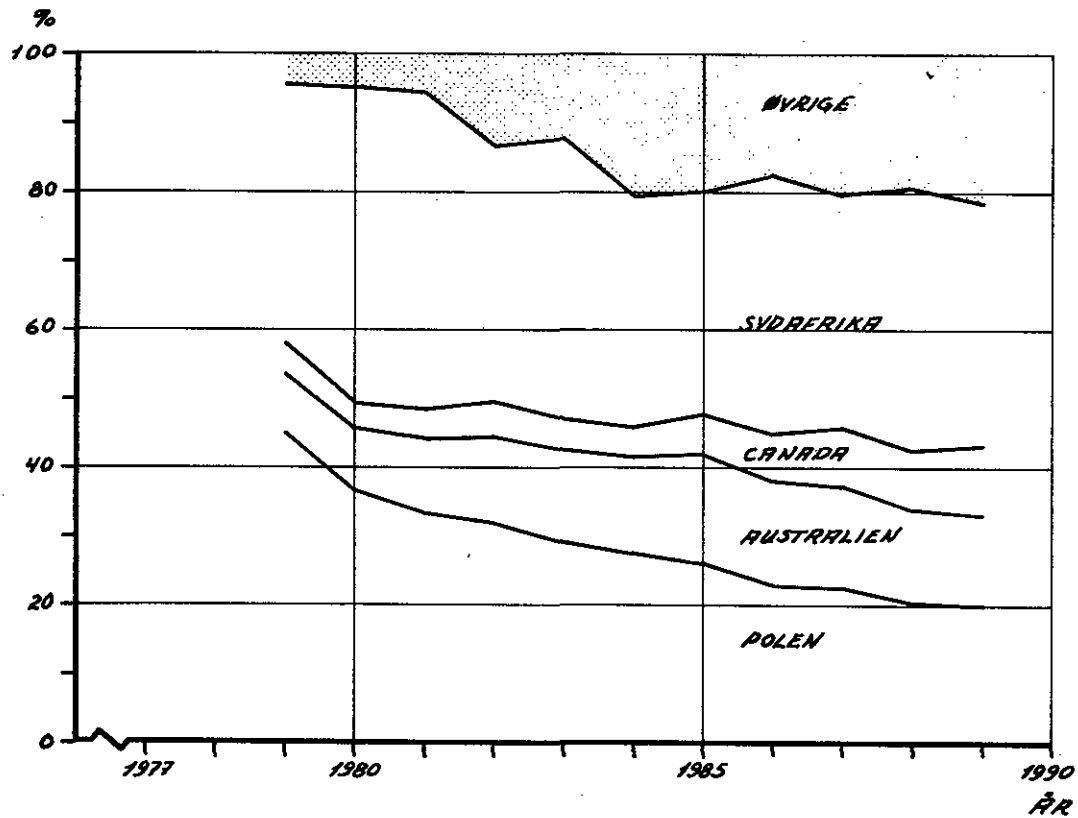


Sign.: LJ

Bilag nr.: 2.

KULFORBRUG PÅ ELVERKER

FORBRUG AF KUL - FORDELING



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

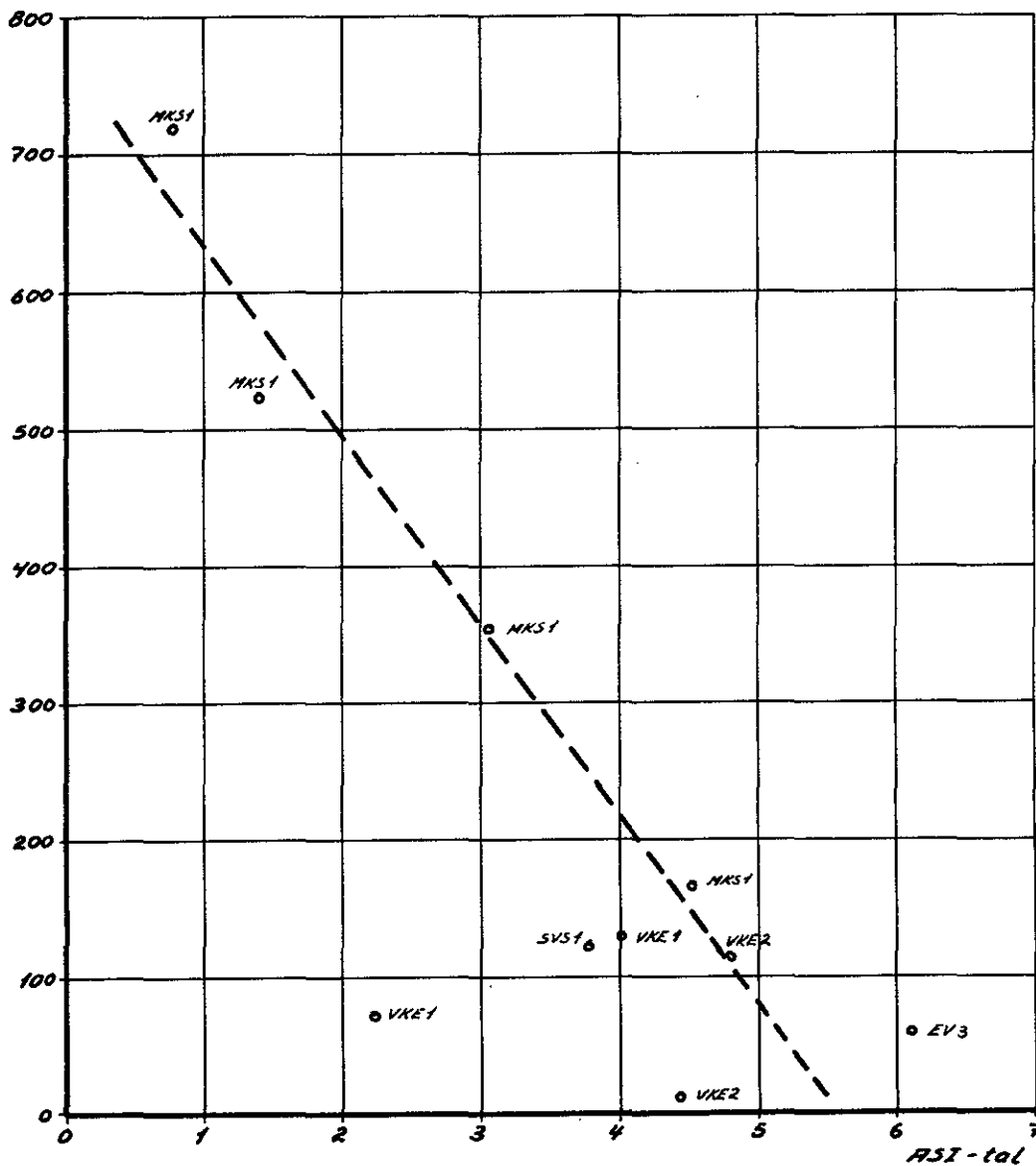


Sign.: 47

Bilag nr.: 3

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

EMISSION
mg/m³n.t



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 696511



Sign.: 47

Bilag nr.: 4

KULANALYSE (ppm ~ µg/g)

		DIM.	POLEN	SYD- AFRIKA	AUSTRAL- LIEN	VESTTYSK- LAND	COLUMBIA	KINA
Aluminium	Al	ppm	5200	6400	8800	9700	4200	4600
Silicium	Si	ppm	26000	33000	74000	53000	34000	39000
Svovl	S	ppm	5500	8200	6800	14000	9300	8000
Clor	Cl	ppm	840	410	63	1300	200	100
Kalium	K	ppm	2000	1200	1400	3800	1300	1000
Calcium	Ca	ppm	5200	4000	460	1200	1600	1700
Titan	Ti	ppm	730	1100	840	830	410	450
Vanadium	V	ppm	45	64	0-28	45	15	0
Crom	Cr	ppm	-	21	<5-10	15	8	<5-10
Mangan	Mn	ppm	160	47	130	70	36	190
Jern	Fe	ppm	8500	8400	3800	11000	4300	12000
Cobolt	Co	ppm	-	-	<80	<200	<85	<240
Nikkel	Ni	ppm	16	20	22	30	7	24
Kobber	Cu	ppm	66	47	~9	~30	~25	~9
Zink	Zn	ppm	140	20	45	220	74	37
Gallium	Ga	ppm	9	10	6	5	2	2
Arsen	As	ppm	7	10	3	20	6	6
Selen	Se	ppm	1	1	2	<1-3	4	<1-3
Brom	Br	ppm	8	2	1	8	1	1
Rubidium	Rb	ppm	18	10	11	31	9	9
Strontium	Sr	ppm	120	250	140	70	59	230
Yttrium	Y	ppm	11	21	24	8	0	5
Zinkonium	Zr	ppm	27	98	150	45	19	45
Niobium	Nb	ppm	-	2	0-2	5	1	2
Molybden	Mo	ppm	8	29	<2-10	<2-10	2	<2-10
Sølv	Ag	ppm	2	3	3	2	3	3
Cadmium	Cd	ppm	-	2-9	<2-5	<2-5	<2-5	0-2
Tin	Sn	ppm	5	6-15	0-4	4	10	0-4
Antimon	Sb	ppm	-	-	<2-5	5	<2-5	<2-5
Barium	Ba	ppm	280	260	240	197	105	420
Bly	Pb	ppm	37	15	15	75	44	7
Thorium	Th	ppm	5	5	8	13	9	4
Svovl	S	%	0.67	0.98	0.52	0.96	0.66	0.87
Kvælstof	N	%	1.01	1.57	-	-	1.34	0.70

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11

Sign.:

Bilag nr.: 5.1.1

KULANALYSER (middelværdier)							
	DIM.	PO	SA	AU	KI	CO	VT (RUHR)
Aluminium	Al g/MWh _{el}	1900	2300	3100	1530	1400	3500
Silicium	Si "	9900	12100	26200	12900	11300	19000
Svovl	S "	2000	3000	2400	2700	3100	5100
Clor	Cl "	310	150	22	33	68	470
Kalium	K "	750	440	510	30	430	1400
Calcium	Ca "	2000	2400	160	580	530	410
Titan	Ti "	270	390	290	150	140	300
Vanadium	V "	17	22	5	0	5	16
Crom	Cr "	-	8.8	<3	<3	2.7	5.4
Mangan	Mn "	61	19	29	62	12	25
Jern	Fe "	3200	3000	1300	3900	1400	4100
Cobolt	Co "	-	-	<50	<50	<50	<50
Nikkel	Ni "	5.9	7.8	7.6	8.0	2.3	11
Kobber	Cu "	25	17	3.2	3.0	8.4	11
Zink	Zn "	52	8.6	16	12	25	78
Gallim	Ga "	3.5	3.4	2.1	0.67	0.67	1.8
Arsen	As "	2.5	3.4	0.88	2.0	2.0	7.2
Selen	Se "	0.37	0.36	0.53	<0.5	1.3	<0.5
Brom	Br "	3.1	0.73	0.35	0.20	0.34	2.9
Rubidium	Rb "	6.7	3.4	3.7	3.0	3.0	11
Strontium	Sr "	46	93	48	76	20	25
Yttrium	Y "	4.1	7.7	8.5	1.5	0	2.9
Zirkonium	Zr "	10	35	53	15	6.4	16
Niobium	Nb "	-	0.74	0.35	0.50	0.34	1.8
Molybden	Mo "	2.9	10	<3	<3	0.67	<3
Sølv	Ag "	0.87	0.93	1.1	1.0	1.0	0.72
Cadmium	Cd "	-	0.72	<1	0.3	<1	<1
Tin	Sn "	1.9	2.3	0.7	0.7	3.4	1.4
Antimon	Sb "	-	-	<1	<1	<1	1.8
Barium	Ba "	100	99	83	140	35	71
Bly	Pb "	14	5.7	5.3	2.3	15	27
Thorium	Th "	1.9	1.9	2.8	1.1	3.0	4.7

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**



Sign.: LJ

Bilag nr.: 5.1.2.

Table 2.

RESULTS OF ANALYSIS OF COAL SAMPLES IN µg/g (EXCEPT FOR S)

	Norway	England		U S A		West. Germany		Poland		Sovjet Union			Austr.
		A	B	HA	W	A	B	A	B	C			
As	2,0	14,9	6,3	0,8	2,9	0,7	1,9	0,7	1,6	3,1	1,2	2,5	
Ba	337	122	92	76	96	106	148	173	290	155	254	329	
Be	<5	<5	<5	13	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	15	
Br	<2	99	23	12	16	8	13	10	14	5	5	<2	
Ca	2200	1500	1500	500	1000	2100	4000	5400	5200	2800	450	240	
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	
Cl	30	3680	1580	680	490	800	1200	1300	1230	150	30	80	
Co	0,6	6,5	2,7	13,2	5,0	6,5	3,0	4,1	4,1	6,6	3,5	18,4	
Cr	1,8	12,5	11,4	3,9	10,3	15,4	6,5	8,6	7,7	17,4	7,7	6,5	
Cu	<5	22	14	15	12	21	14	13	24	8	6	15	
F	54	75	39	17	45	42	72	32	58	53	83	64	
Fe	6200	6100	9100	1370	6600	2300	9000	9600	6000	26200	14500	2000	
Hg	0,066	0,120	0,066	<0,015	0,124	0,115	0,050	0,070	0,177	0,111	0,074	<0,015	
In	0,009	0,028	0,013	<0,005	0,019	0,028	<0,005	0,020	0,023	0,022	0,021	0,074	

(Table 2)

2.

- 173 -

	Norway	England	U S A		West. Germany		Poland		Sovjet Union			Austr.
			A	B	HA	W	A	B	A	B	C	
Mn	<10	47	16	<10	224	24	127	134	151	36	77	21
Mo	0,26	2,68	0,70	0,99	1,69	1,49	0,61	0,39	1,31	1,51	1,01	2,23
Na	1340	1820	240	410	310	550	970	950	1160	860	340	60
Ni	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Pb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	14	<10	<10	<10	60
S	0,78%	1,12%	1,02%	0,61%	0,85%	0,79%	0,60%	0,76%	0,70%	0,50%	0,40%	0,47%
Sb	0,02	1,54	0,28	0,08	1,47	0,92	0,78	0,82	0,97	0,47	0,14	2,47
Se	1,5	1,4	3,7	1,8	1,0	1,8	0,9	1,8	1,5	1,2	0,6	<0,5
Sr	286	15	60	87	57	56	50	37	163	128	105	180
Ti	140	810	800	<100	<200	360	340	350	920	1050	610	1120
Tl	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
V	5,5	39,5	16,6	5,8	23,8	34,0	8,7	14,5	24,2	26,3	12,7	20,5
Zn	0,3	15,1	3,1	1,1	9,6	13,3	24,4	34,0	16,7	23,7	17,3	116

Bilag nr.: 5.2.2.

Table 3.

COMPARISON BETWEEN RESULTS OF ANALYSIS AND TRACE METAL CONCENTRATIONS REPORTED IN THE LITTERATURE (1).

Element	Results of analysis (µg/g)		Reported Concentrations (µg/g)		Ref.
	Range	Mean	Range	Mean	
As	0,7 - 14,9	3,2		5	(3)
Ba	76 - 337	180		500	(3)
Be	<5 - ~15	<5		3	(3)
Br	<2 - 99	17	2 - 15	-	(4) (5)
Ca	240 - 5400	2240		10000	(3)
Cd	<0,1 - 0,3	<0,1	0,02 - 28	-	(4) (6)
Cl	30 - 3680	940		1000	(3)
Co	0,6 - 18,4	6,2		5	(3)
Cr	1,8 - 17,4	9,1		10	(3)
Cu	< 5 - 24	14		15	(3)
F	17 - 83	53	0 - 175	80	(7) (6)
Fe	2000 - 26200	8200		10000	(3)
Hg	<0,015 - 0,177	0,08		0,012	(3)
In	<0,005 - 0,074	0,022		-	
Mn	<10 - 224	72		50	(3)
Mo	0,26 - 2,68	1,2		5	(3)
Na	60 - 1820	760		2000	(3)
Ni	<50	<50		15	(3)
Pb	<10 - 60	6 - 15		25	(3)
Sb	0,02 - 2,47	0,83	<0,6 - 1,6	-	(4) (5)
Se	<0,5 - 3,7	1,5		3	(3)
Sr	15 - 286	100		500	(3)
Ti	<100 - 1120	560		500	(3)
Tl	<20	<20	{ 1-1000 0.1-0.2	-	(8) (9)
V	5,5 - 39,5	19		25	(3)
Zn	0,3 - 116	23		50	(3)

EMISSION AF INDFYRET STOF.

GRUNDSTOF		DIM	MKS-1	VKE-2
Aluminium	Al	%	2,13	0,046
Silicium	Si	%	1,77	0,071
Svovl	S	%	0,20	0,037
Chlor	Cl	%	0,61	-
Kalium	K	%	1,59	0,083
Calcium	Ca	%	1,42	0,142
Titan	Ti	%	1,60	0,142
Vanadium	V	%	1,99	0,433
Crom	Cr	%	-	0,125
Mangan	Mn	%	1,43	0,117
Jern	Fe	%	1,52	0,075
Cobolt	Co	%	-	-
Nikkel	Ni	%	5,90	0,1
Kobber	Cu	%	0,44	0,121
Zink	Zn	%	1,75	0,259
Gallium	Ga	%	1,00	0,150
Arsen	As	%	2,55	0,300
Selen	Se	%	1,7	0,100
Brom	Br	%	1,30	-
Rubidium	Rb	%	1,28	0,050
Strontium	Sr	%	1,50	0,178
Yttrium	Y	%	0,80	0,067
Zirkonium	Zr	%	1,94	0,091
Niobium	Nb	%	-	0,140
Molybden	Mo	%	2,55	-
Sølv	Ag	%	1,86	0,125
Cadmium	Cd	%	2,50	0,250
Tin	Sn	%	0,75	0,200
Antimon	Sb	%	1	0,222
Barium	Ba	%	1,69	0,323
Bly	Pb	%	1,68	0,175
Thorium	Th	%	1,15	-

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: LJ

Bilag nr.: 6



BEREGNET EMISSION

Ombyggede - og kommende anlæg (mg/MWh el)
Røgrensning med nye elektrofiltre.

Kulleverandør	POLEN	SYDAFRIKA	AUSTRALIEN	V.TYSKLAND	COLOMBIA	KINA
<u>g/MWh:</u>						
TOTAL STOF	30	23	180	20	25	50
SO ₂	5100	7600	3700	7400	5000	6700
NO _x	3000	3700	-	-	3400	2600
<u>mg/MWh:</u>						
Arsen	7,5	10	7	22	6	6
Cadmium	1	2	< 8	< 3	< 3	1
Crom	5	11	< 30	7	3	4
Kobber	30	21	6	13	10	4
Molybden	-	7	< 25	< 8	2	8
Nikkel	6	8	152	11	2	8
Bly	25	10	32	47	26	4
Selen	0,4	0,4	3	<0,5	1,3	<0,5
Thallium	-	-	-	-	-	-

Emissionsfaktorer som fundet ved målinger på Vestkraft blok 2. Australske kul dog som 0,33 x emissionsfaktorer fundet på Studstrupværket blok 1.

Usikkerheden på disse værdier er mindst en faktor 0,5-2.



BEREGNET EMISSION
 Nyere anlæg (1964 - 1971)
 Røgrensning med oprindelige elektrofiltre.

Kulleverandør	POLEN	SYDAFRIKA	AUSTRALIEN	V. TYSKLAND	COLOMBIA	KINA
<u>g/MWh:</u>						
Total stof	600	450	3500	400	500	1000
SO ₂	5100	7600	3700	7400	5000	6700
NO _x	3000	3700	-	-	3400	2600
<u>mg/MWh:</u>						
Arsen	64	58	67	184	51	51
Cadmium	10	6	< 75	< 25	< 25	8
Crom	315	295	< 180	108	54	< 60
Kobber	93	40	42	48	37	13
Molybden	51	255	< 230	< 77	17	< 77
Nikkel	296	227	1350	649	136	470
Bly	201	68	267	454	252	39
Selen	6	20	27	< 9	22	< 9
Thallium	-	-	-	-	-	-

Emissionsfaktorer som fundet på studstrupværket blok 1.
 Australske kul dog som 3 x emissionsfaktorerne.
 Usikkerheden på disse værdier er en faktor 0,5 - 2.

ELKRAFT A.m.b.A.



Parallelvej 19, 2800 Lyngby. Telegram: ELPOWER, Lyngby. Telex: 37500 - IFV DK. Postgiro nr. 9 34 79 09

Udbygningsplan for ELKRAFT-området (inkl. Bornholm).

I henhold til telefonisk aftale fremsendes vedlagt en udbygningsplan for kraftværker i ELKRAFT-området (inkl. Bornholm) for perioden 1980-1990.

Vi skal gøre opmærksom på, at usikkerheden på elforbrugsprognosen kan ændre idriftsættelsestidspunkterne for nye kraftværksenheder, ligesom igangværende undersøgelser og forhandlinger med byer på Sjælland med et udbygget fjernvarmenet kan resultere i opførelse af decentrale modtryksenheder.

Med venlig hilsen

ELKRAFT A.m.b.A.
Planlægningsafdelingen

O. Skak
O. Skak

År	Afgang af effekt		Ny effekt	
	Navn	MW	Navn	MW
1979				
1980	HCØ9	12	ASV5	650
1981				
1982				
1983				
1984			HCV7	70
1985	HCV2 KYV 1,2,3	113	AMV3	480
1986	MAV3	40		
1987	ØKR 1-3	12	ØKR6	40
1988	SMV 1 & 2	45		
1989	HCV1	28	AMV4	480
1990	KYV 11,12,13 SMV 3 & 4 ØKR4	236		

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ



Sign.:

Bilag nr.: 9

ELSAM
planlægningsafdelingen
april 1979

FORSLAG VEDR. KRAFTVÆRKSUDBYGNING

For at dække kapacitetsbehovet frem til 1989 foreslås følgende kraftværksudbygning:

År	Elmax MW	Tilgang MW	Ombygning MW	Kapac. MW	Reserv. %
1979	2595	Ensted 305	Fyn 269	3616	39.3
80	2775		Skærbæk 269	3672	32.3
81	2965			3759	26.8
82	3165			3754	18.6
83	3370	{ Studstrup 350 Herning 83 Randers 45		3936	16.7
1984	3580	Studstrup 350		4301	20.1
85	3795	Dec. værker 250 ★)		4540	19.6
86	4020	600 ★)		4805	19.5
87	4250			5105	20.1
88	4480	600 ★)		5285	18.0
1989	4720			5556	17.7

Kapaciteten er regnet som fulgyldig effekt jvf. side 16.

★) forprojekter udarbejdes.

Udbygningen til og med 1984 er besluttet af ELSAM.

DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.:

Bilag nr.: 10



AMAGERVÆRKET

Emission efter udbygning med blok 3 og 4 efter ELKRAFT's udbygningsprogram.

Blok 1 og 2	:	270 MW _{e1}	(nuværende)
Blok 3 og 4	:	960 MW _{e1}	(1985 og 1989)
<hr/>			
Anagerværket 1989	:	1230 MW _{e1}	

Emission:		1980	1989	
Totalt stof		67	109	g/sek.
SO ₂		461	1960	g/sek.
NO _x		255	1156	g/sek.
Arsen	As	5	7	mg/sek.
Cadmium	Cd	1.3	5	mg/sek.
Crom	Cr	21	22	mg/sek.
Kobber	Cu	5	9	mg/sek.
Molybden	Mo	13	15	mg/sek.
Nikkel	Ni	31	50	mg/sek.
Bly	Pb	12	18	mg/sek.
Selen	Se	1,1	1.6	mg/sek.
Thallium	Tl	-	-	mg/sek.

FORUDSÆTNINGER FOR TABEL:

- 1: Anlægget fyres med gennemsnitssammensætningen af importeres kul i 1980 og 1989, vist i bilag 2.
- 2: Emission er som angivet i bilag 7 for blok 3 og 4.
- 3: Emission er som angivet i bilag 8 for blok 1 og 2.
- 4: Anlægget er maksimalt belastet.
- 5: Emission fra canadiske kul er som australske kul.
- 6: Emission fra indiske- og USA-kul er som polske kul.
- 7: NO_x-emission ved australske- og EF-kul er 3500 g/MWh.

Usikkerhed på tabelværdier er min. en faktor 0,5 - 2.

SPORSTOFFEKLASSIFIKATION FRA ELVERKER I 1980'erne (tons,år)

STOF/AR	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Arsen	min.	0,21	0,23	0,25	0,26	0,27	0,29	0,29	0,31	0,32
	max.	1,79	1,99	2,16	2,20	2,31	2,45	2,49	2,64	2,71
	midel	0,73	0,93	0,94	0,84	0,70	0,48	0,52	0,45	0,48
Cadmium	min.	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12
	max.	0,66	0,74	0,73	0,83	0,85	1,04	1,05	1,16	1,18
	midel	0,28	0,29	0,33	0,35	0,31	0,19	0,21	0,18	0,19
Crom	min.	1,17	1,30	1,31	1,48	1,45	1,75	1,76	1,96	1,99
	max.	4,67	5,19	5,22	5,91	5,79	7,01	7,02	7,84	7,96
	midel	2,42	2,57	2,85	3,07	2,74	2,22	2,31	2,31	2,38
Kobber	min.	0,49	0,51	0,52	0,55	0,55	0,60	0,60	0,64	0,65
	max.	1,78	1,86	1,88	1,99	2,00	2,18	2,19	2,32	2,36
	midel	0,95	0,95	1,05	1,07	0,98	0,74	0,77	0,74	0,76
Molybden	min.	0,37	0,40	0,37	0,42	0,39	0,47	0,47	0,53	0,53
	max.	3,72	4,03	3,79	4,29	4,02	4,83	4,80	5,39	5,44
	midel	1,57	1,59	1,72	1,82	1,47	0,86	0,93	0,82	0,86
Nikkel	min.	0,18	0,20	0,22	0,23	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
	max.	10,8	11,7	12,7	13,6	15,7	16,4	17,0	17,7	18,3
	midel	3,99	3,97	5,16	5,03	4,85	1,69	2,05	1,32	1,50
Bly	min.	0,34	0,36	0,43	0,45	0,52	0,54	0,56	0,55	0,57
	max.	3,26	3,43	4,15	4,29	4,94	5,14	5,36	5,30	5,49
	midel	1,39	1,37	1,90	1,83	1,83	0,94	1,06	0,83	0,90
Selen	min.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	max.	0,17	0,19	0,21	0,23	0,29	0,33	0,36	0,37	0,40
	midel	0,07	0,07	0,09	0,09	0,10	0,05	0,06	0,04	0,05

fortsættes

Sign.: <i>47</i>
Bilag nr.: <i>11.2.1.</i>

fortsat:

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Kviksøl v										
min.	0,73	0,80	0,78	0,89	0,92	0,98	1,10	1,15	1,28	1,34
max.	1,31	1,43	1,41	1,59	1,65	1,76	1,98	2,08	2,30	2,41
midde l	0,94	1,00	1,03	1,14	1,14	1,14	1,18	1,25	1,34	1,41

min.-værdier : emission ved anvendelse af emissionsfaktorer fra Vestkraft blok 2 på sum af sporstoffet i importeret kraftværkskul plus anvendt fuelolie.

max.-værdier : do. men ved anvendelse af emissionsfaktorer fra Studstrupværket blok 1.

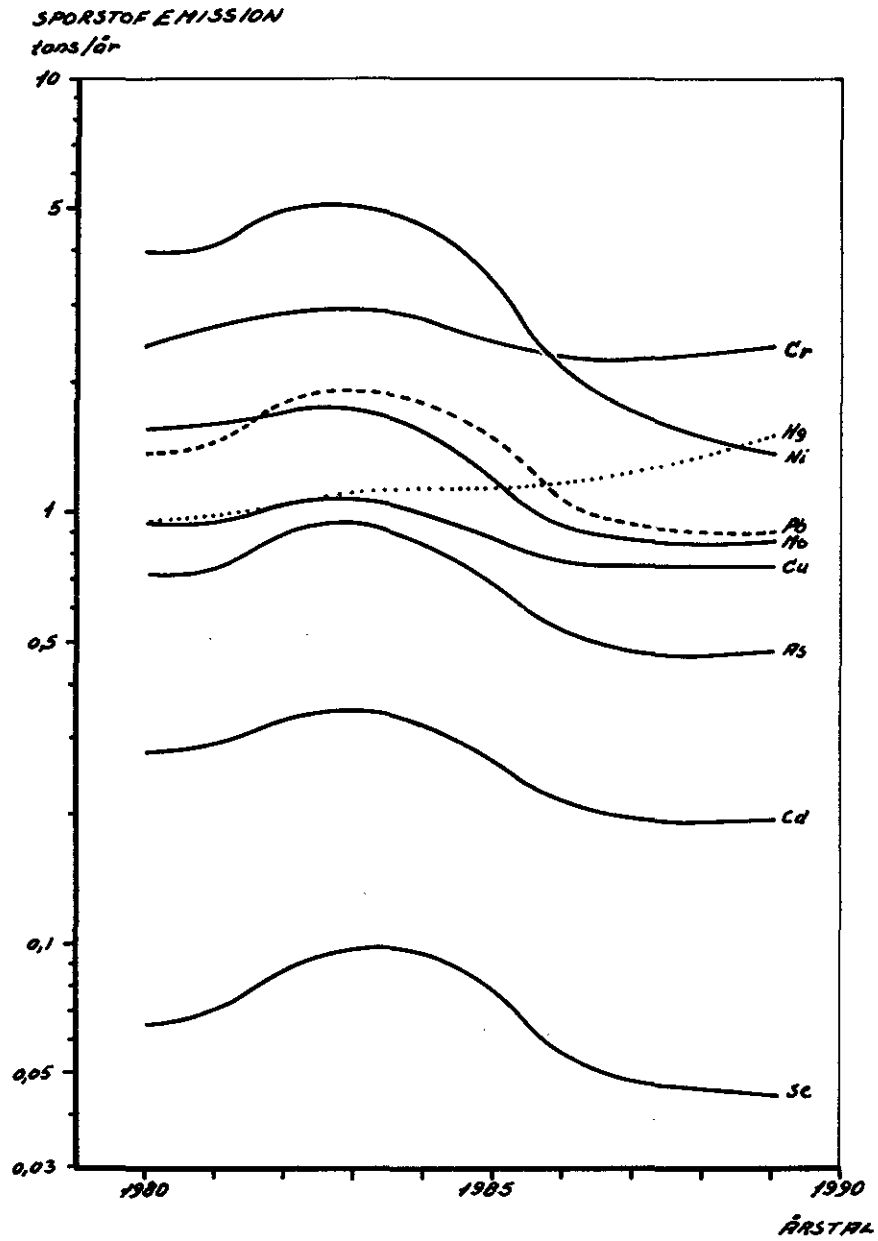
midde l - værdier

: middelværdier af ovennævnte min.- og max.-værdier vægtet efter forventet belastningsfordeling mellem nye og ombyggede anlæg i forhold til alle øvrige anlæg.

Sign.: 47

Bilag nr.: 11.2.2.

SPORSTOFEMISSION I 1980'erne



DANSK KEDELFØRENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 69 65 11



Sign.: 47

Bilag nr.: 11.3



KRAFTVÆRKERS KAPACITET

(MW_{e1})

AR	IALT	Resv. ELSAM	Max. effekt driftsklar	Middeleffekt
1980	7263	32,3 %	4917	3358 MW
81	7350	26,8 %	5380	3675 "
82	7345	18,6 %	5979	4084 "
83	7527	16,7 %	6270	4282 "
84	7962	20,1 %	6362	4345 "
1985	8568	19,6 %	6889	4705 "
86	8833	19,5 %	7111	4857 "
87	9121	20,1 %	7288	4978 "
88	9256	18,0 %	7590	5184 "
1989	9979	17,7 %	8213	5609 "

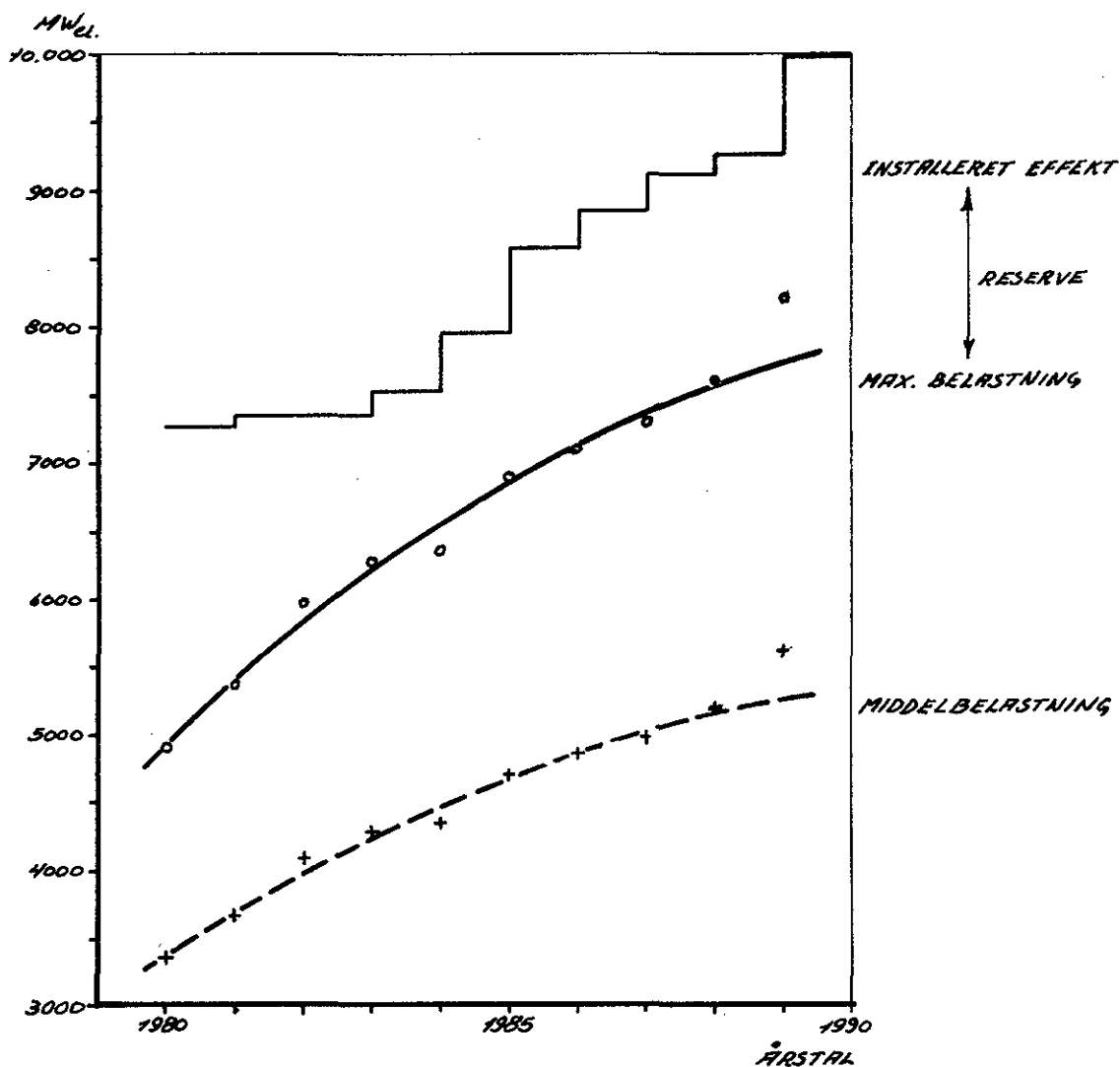
FORUDSÆTNINGER FOR TABEL:

- 1: Kraftværkernes samlede kapacitet er fundet i udbygningsplaner for kraftværker som angivet i bilag 9 og 10.
- 2: Reservekapacitet er anset ens i hele Danmark svarende til angivelse for ELSAM-området i, Udvidelsesplan 1979, ELSAM 1979.05.17.
- 3: Middelbelastningen er ansat til 68,3 % af maksimalbelastningen, svarende til 1979-værdien i "Dansk elforsyning 1979".

Installeret effekt = angivelser fra ELSAM og ELKRAFT

Max. belastning = installeret - reserve iflg. ELSAM

*Middelbelastning = 0,683 * max. belastning (1979-værdi).*



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

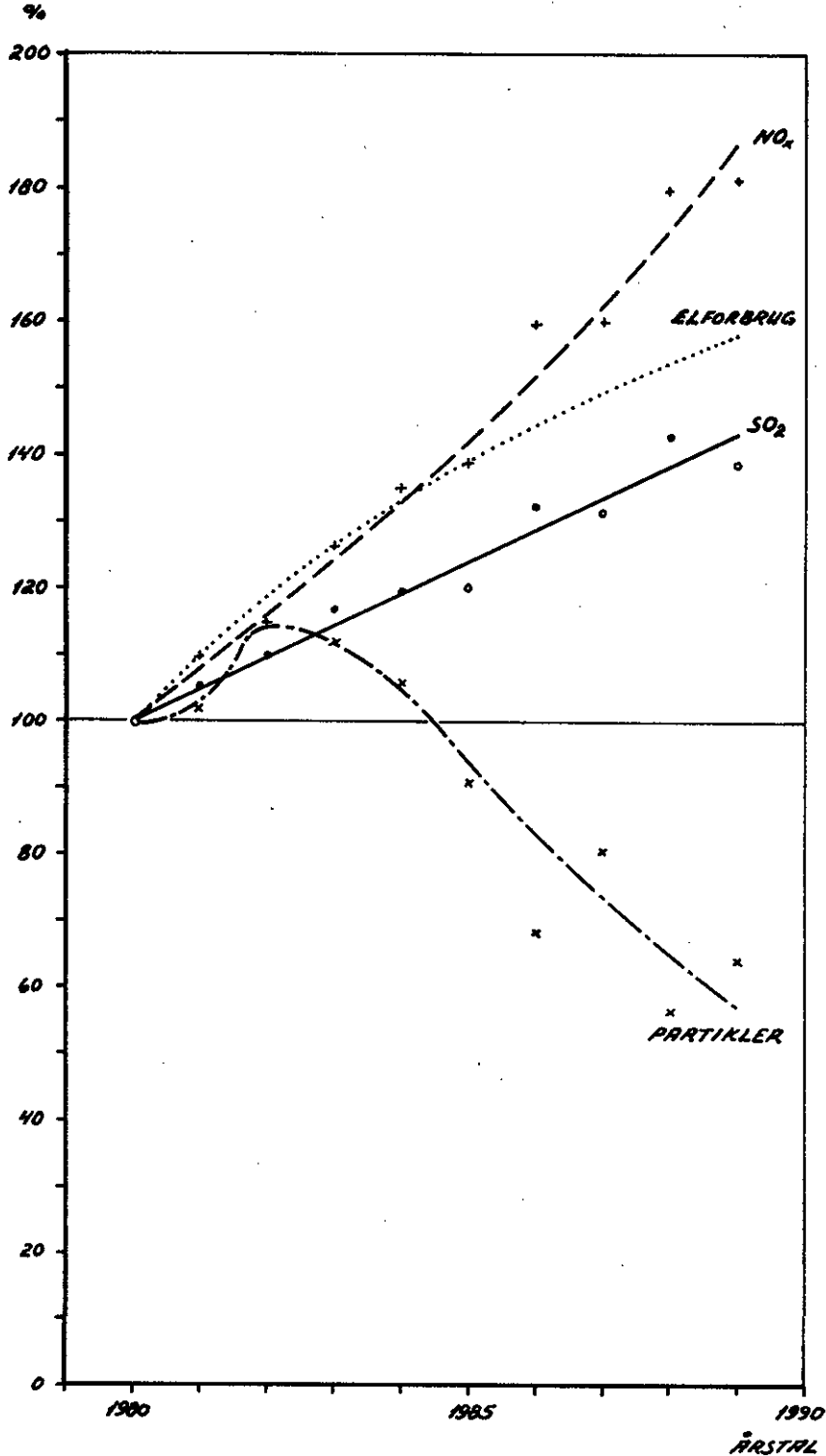


Sign.: 47

Bilag nr.: 12.2.

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11

EMISSION AF 1980-niveau



DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · TLF. (01) 6965 11



Sign.: 47

Bilag nr.: 13

**FORSYNINGSMULIGHEDER
FOR KRAFTVÆRKSUL
I 1980'ERNE**

ELSAM
NOVEMBER 1978

Bilag nr.: *14*

FORSYNINGSMULIGHEDER FOR KRAFTVÆRKSUL I 1980'ERNE

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. Indledning	190
2. Kulforbruget	190
2.1. Danmark	
2.2. Øvrige lande	
3. Kulforsyning	192
3.1. Indledning	
3.2. Australien	
3.3. Canada	
3.4. Sydamerika (Colombia)	
3.5. EF	
3.6. Indien	
3.7. Kina	
3.8. Polen	
3.9. Sydafrika	
3.10. U.S.A.	
3.11. U.S.S.R.	
4. Sammenfatning og konklusion	196
5. Bilagsfortegnelse	
1. Tabel: Kulforbruget i Danmark mio.t – 1979–1989	
2. Tabel: Kulforsyningsmuligheder for Danmark mio. t – 1979–1989	
3. Litteraturfortegnelse	
4. Kurve: Kultilførsler for Danmark – 1979–1989	
5. Kurve: Danmarks kulimport – 1972–1989	
6. Kurve: Kulforsyningsmuligheder for Danmark	
7. Kurve: Importens fordeling i 1978	
8. Kurve: Søeksportens fordeling – 1978 og 1980	
9. Kurve: Havnestørrelser	
10. Kurve: Omtrentlige jernbanetransportlængder	

1. Indledning

Baggrunden for den foreliggende vurdering af forsyningsmulighederne for kul er det stærkt stigende kulforbrug, som ventes i de kommende år.

Årsagen hertil er målet om større olieafhængighed samt den manglende beslutning vedrørende kernekraftspørgsmålet. Elværkerne bestræber sig på at opnå den størst mulige fleksibilitet på de konventionelle brændsels område ved at ombygge rent oliefyrede enheder til kul-/oliefyrede enheder samt ved at bygge alle nye enheder som kul-/oliefyrede. For at skaffe de nødvendige kul hertil har elværkerne endvidere bygget store havneanlæg til modtagelse af oversøiske kul, idet de traditionelle nære forsyningskilder, Polen, U.S.S.R. m.m., ikke er i stand til at efterkomme det stærkt stigende kulbehov.

For at dække det stigende kulbehov har elværkerne ud over Polen og U.S.S.R. draget så godt som alle kuleksporterende lande, dvs. Australien, Canada, England, Indien, Sydafrika, Sydamerika, Tyskland og U.S.A., ind i kulforsyningen.

I det efterfølgende vurderes mulighederne for helt at se bort fra Sydafrika som potentiel leverandør af kul til Danmark.

Udgangspunktet for vurderingen er en prognose over det danske kulforbrug i 80'erne, der sammenlignes med de kulproducerende landes muligheder for eksport under de i dag kendte økonomiske forudsætninger. Redegørelsen afsluttes med en konklusion vedrørende den danske kulforsyningsbalance i de kommende år.

2. Kulforbruget

2.1. Danmark

Hovedparten af det danske kulforbrug, ca. 85%, ligger i elsektoren.

Prognoserne for det fremtidige forbrug er baseret på ELSAM's og ELKRAFT's udvidelsesplaner, ifølge hvilke der sker en tilvækst af den kulfyrede kapacitet fra 1979-1989 på 4500 MW svarende til en stigning i kulforbruget indtil 1989 på 8,3 mio. t (jvf. bilag 1 og 4). I prognosen for ELSAM-området er indeholdt forbruget hos De kommunale Værker Randers samt Herning, og Østkraft er inkluderet i ELKRAFT-prognosen.

I industrien, dvs. hovedsageligt cement-, sukker- og papirindustri, er forbruget i dag omkring 900.000 t/år, og der er regnet med en svag stigning i forbruget, ca. 3% p.a. i løbet af 80'erne.

Som et nyt område er fjernvarmesektoren medtaget som kulforbruger, idet mulighederne for anvendelse af kul som brændsel i øjeblikket undersøges bl.a. i det af Handelsministeriet initierede projekt "Kulklassifikation og Kulforbrænding". På nuværende tidspunkt er det vanskeligt at give et skøn over, i hvilken udstrækning kullene vil kunne komme på tale som brændsel på dette område, bl.a. fordi det i dag ikke er afklaret, hvor og i hvilken udstrækning anvendelsen af naturgas skal ske. I prognosen, jvf. bilag 1, regnes derfor kun med et forbrug begyndende i 1983 på 0,1 mio. t stigende til 0,5 mio. t i 1989.

De samlede danske tilførsler af kraftværkskul vil herved stige fra 7,8 mio. t i 1979 til 16,7 mio. t i 1989. Det kan oplyses, at importen i f.eks. 1973 var 3,0 mio. t (jvf. bilag 5).

2.2. Øvrige lande

En tilsvarende udvikling som i Danmark, dvs. et stærkt stigende kulforbrug, forventes i en lang række andre lande. Der kan i denne forbindelse henvises til en række rapporter vedrørende energiforsyning og specielt kulforsyning (jvf. litteraturfortegnelse, bilag 3).

Inden for OECD-området regnes der med et kraftværkskulforbrug stigende fra 700 mio. t i 1978 til ca. 1300 mio. t i 1990 (jvf. bilag 3, (4)). De væsentligste importlande ud over Danmark vil blive Frankrig, Italien, Tyskland, Belgien, Holland og Japan, som derved vil blive Danmarks største konkurrenter med hensyn til efterspørgsel efter kraftværkskul. Derudover bygges i øjeblikket store kulfyrede kraftværker i Israel, Korea, Hongkong, Phillipinerne, Singapore og Taiwan. Verdens samlede importbehov for kraftværkskul vil herved stige fra ca. 40 mio. t i 1978 (jvf. bilag 7) til ca. 150 mio. t i 1990.

På basis af det netop startede "World Coal Study" under ledelse af Massachusetts Institute of Technology og med dansk deltagelse vil der fremkomme reviderede og sandsynligvis højere tal for verdenshandelen med kul indtil år 2000.

3. Kulforsyning

3.1. Indledning

I det følgende gives en oversigt over de væsentligste kuleeksporterende lande, specielt hvad angår den nuværende situation og den fremtidige udvikling på kraftværkskulområdet baseret på vurderinger og anerkendte rapporter (jvf. bilag 3).

Iøvrigt bør det bemærkes, at kraftværkskul ikke er en entydig kvalitetsbetegnelse. For kullenes anvendelse i kraftværker findes en række kvalitetskendetegn af betydning (brændværdi, kornstørrelse, svovlindhold, askeindhold, askesmeltetemperaturer, flygtige bestanddele), som varierer meget alt efter kullenes oprindelse. Alle de ovennævnte kvalitetskendetegn herunder specielt brændværdien har indflydelse på priserne, og det er derfor ikke muligt at sammenligne priser alene på mængdebasis. I denne forbindelse kan det nævnes, at man må forvente, at kvaliteten af de grønlandske kulfund, der i øjeblikket vurderes, er så dårlig, at kullene ikke kan brændes i de normale danske kraftværkskedler.

3.2. Australien

I øjeblikket eksporterer Australien mindre mængder kraftværkskul, i alt 3-4 mio. t/år. Danmark har dog ikke aftaget væsentlige mængder herfra bl.a. på grund af den store transportafstand og relativt dårlige forhold i afskibningshavnene.

Skibsstørrelserne er begrænset til 60-70.000 tonnere i de store udskibningshavne, Newcastle, Sydney og Port Kembla, og betingelserne for at uddybe havnene væsentligt er meget dårlige, idet indsejlingen til havnene flere steder er klippegrund. Alene fragtforskellen mellem Sydafrika og Australien vil være mindst 25-30 kr./t, selv om de australske havne uddybes til 100.000 tonnere, og langt større ved 60.000 tonnere.

Forekomsterne af kul er meget store, og i de seneste år har den australske regering i stigende omfang givet mulighed for udenlandsk kapitaltilførsel, hvilket kan øge produktionen og eksporten betydeligt. Eksporten menes at kunne øges til 16-20 mio. t i 1985. Japan og andre sydøstasiatiske lande vil dog blive de naturlige aftagere af denne eksport. Danmarks importmuligheder herfra er anslået til ca. 2 mio. t fra midten af 80'erne, dog til langt højere priser end fra Sydafrika.

3.3. Canada

Canada importerer i dag ca. 10 mio. t kraftværkskul fra U.S.A. og eksporterer kun meget små mængder, som opstår i forbindelse med produktion af stålværkskul. Der findes en række projekter for opbygning af nye miner til produktion af kraftværkskul i såvel Vest- som Østcanada.

Ingen af disse kul vil blive anvendt i større omfang til indenlandsk forbrug på grund af deres ugunstige beliggenhed i forhold til forbrugscentrene.

Hvad angår eksport af kul gælder for Vestcanada, at jernbanetransportomkostningerne er meget høje, og endvidere er søtransporten til Danmark, selv i store skibe der skal sejle syd om Kap Horn, meget dyr. Kullene fra Østcanada er derimod gunstigt placerede med henblik på eksport til Danmark, selv om skibsstørrelsen er begrænset til 30.000 tonnere (jvf. bilag 9), men regeringen i Ottawa skal først træffe beslutning om at yde tilskud til bygning af den pågældende mine, hvorfor den tidligst kan gå i drift i 1984.

3.4. Sydamerika (Colombia)

Den colombianske regering planlægger sammen med udenlandske selskaber at starte kulproduktion og eksport fra et område ud mod Det Karaibiske Hav. Det er dog nødvendigt i denne forbindelse at opbygge al infrastruktur i form af byer, veje, jernbane og en oceanhavn mange kilometer ude i havet. Eksporten ventes derfor tidligst påbegyndt i 1984 eller 1985 og vil kunne øges til 15 mio. t i løbet af få år. Beslutning om bygning af denne mine skal træffes i begyndelsen af 1980.

3.5. EF

Inden for EF er England og Tyskland de væsentligste kulproducerende lande, som på grund af store overskudslagre eksporterer kul til bl.a. Danmark til mellem en trediedel (i Tyskland) og to trediedele (i England) af produktionsprisen. Det fremsatte forslag vedrørende støtte til inter-EF-handel med kraftværkskul kan bevirke en hurtigere afvikling af overskudslagrene, men allerede i 1982 regner Tyskland selv med øget import af kraftværkskul, mens England ingen klare planer har for eventuel mulighed for eksport hen i 80'erne.

Efter 1981 kan importen fra Tyskland og England kun forventes opretholdt, såfremt den foreslåede EF-støtte fortsættes efter 1981, eller der betales en merpris af mindst samme størrelse, hvilket indebærer omtrent 30% højere kulpriser, end England og Tyskland eksporterer til nu.

Det bemærkes, at de tyske kul, der er til rådighed for eksport, gennemgående er af en sådan kvalitet, at de kun kan brænde sammen med andre kul.

3.6. Indien

Eksporten fra Indien er ubetydelig i dag, men der gøres store anstrengelser for at øge den. Havneforholdene er blevet forbedret, men dog slet ikke, så der med rimelighed kan transporteres kul til Europa. Landet skønnes at have mulighed for at øge eksporten til 5-7 mio. t i 1985. Dette nødvendiggør dog udbygning af den samlede infrastruktur.

3.7. Kina

Kina eksporterer kun små mængder kul i dag, som hovedsageligt sendes til Japan. Kina er meget interesseret i at øge eksporten og søger for øjeblikket vestlig økonomisk og teknisk bistand til såvel mine- som havnebyggeri.

Udviklingen forventes at forløbe meget trægt, og væsentlig eksport til Europa ventes tidligst i slutningen af 80'erne. Japan vil på grund af den geografiske beliggenhed blive hovedaftager til eventuelle større mængder.

3.8. Polen

Polen har indtil nu været den største eksportør af kraftværkskul med en nogenlunde konstant eksport på 13-15 mio. t/år til de vestlige lande. Frankrig, Danmark, Tyskland og Finland er de traditionelt største aftagere. Endvidere søger Holland at øge sin import af polske kul ved overgangen fra gas- til kulfyring. Danmarks muligheder for at dække et stærkt stigende kulbehov fra Polen er ikke til stede. Årsagen hertil er også, at selv om produktionen ventes at blive øget med 5-10 mio. t/år, stiger det indenlandske forbrug i samme omfang. Endvidere vil det vestlige U.S.S.R. i stigende omfang aftage polske kul. Man har fra officiel polsk side givet tilkende, at en forøgelse af den nuværende danske import forudsætter, at der investeres tilsvarende i polsk mineindustri, uden at der dog kan stilles sikkerhed i udstyr eller miner. En dansk investering på disse betingelser anses for urealistisk. Investeringsbehovet er så højt som ca. 750 mio. kr. for hver million tons ekstra om året, der ønskes. I den danske importprognose er der regnet med konstant import på 3,5 mio. t/år fra Polen i årene fremover, svarende til ca. 25% af Polens eksport af kraftværkskul til vestlige lande. De 3,5 mio. t er noget højere end det kvantum, Danmark hidtil har importeret.

3.9. Sydafrika

Sydafrika er det land, hvorfra der kan ventes den største stigning i eksporten i de kommende år. En ubetydelig eksport for blot tre år siden er øget til ca. 12 mio. t i 1978 (jvf. bilag 8). Heraf forventes Frankrig at aftage ca. 7 mio. t, Italien og Tyskland hver ca. 1 mio. t, og resten fordeler sig på Japan, U.S.A., Belgien, Holland og Danmark. I 1979 stiger eksporten til ca. 20 mio. t, hvorved Sydafrika vil blive verdens største eksportør af kraftværkskul. Årsagen til denne udvikling er først og fremmest de gode geologiske betingelser, der medfører en meget rationel brydning af kullene, men også at selskaber i de fleste store lande investerer kraftigt i miner i Sydafrika. Endvidere har Sydafrika opbygget det mest moderne jernbanesystem samt den havn i verden, der kan laste de største kulskibe (150.000 tonnere, jvf. bilag 9). Desuden er landet begunstiget af, at kullene ligger ret tæt på kysten. Således er der kun i Australien kortere transportafstande med jernbane, mens afstanden i de øvrige kulproducerende lande er to til fem gange så stor (jvf. bilag 10).

Eksporten ventes at blive øget til 40 mio. t/år inden 1985.

3.10. U.S.A.

I øjeblikket eksporterer U.S.A. ca. 10 mio. t kraftværkskul til Canada via jernbane og flodpramme og kun ca. 4-5 mio. t til andre lande. I hvilken udstrækning det vil være muligt at øge eksporten, vil afhænge meget af U.S.A.'s energipolitik i de kommende år.

Med de enorme kulressourcer i U.S.A. er mulighederne for øget produktion til stede, og det er derfor først og fremmest et politisk spørgsmål, i hvor høj grad man ønsker at øge kulproduktionen for derved at dække underskuddet i Europa og Japan. Da U.S.A. først og fremmest må dække sit eget stærkt voksende energiunderskud, kan Danmark næppe foreløbigt regne med import fra U.S.A. med undtagelse af kul med så højt et svovlindhold, at de ikke tillades anvendt i U.S.A. uden omfattende afsvovlingsanlæg. Usikkerheden omkring størrelsen af produktion og fremtidig eksport bliver ikke mindre af indførelsen af nye sikkerhedsbestemmelser, miljørestriktioner m.m. En betingelse for en langsigtet stor eksport er endvidere, at der sættes kraftigt ind på forbedring og nyanlæg af jernbaner og havneanlæg.

3.11. U.S.S.R.

Skønt reserverne og produktionen er verdens største, har landet kun ubetydelig eksport. De kul, Danmark hidtil har importeret fra U.S.S.R., har deres oprindelse i mineområder i den vestlige del af U.S.S.R., dvs. Petchora i Polarområdet og Donets i det sydlige Rusland. Da de fleste nye energifund, dvs. både kul, olie og naturgas, forekommer i Sibirien, koncentrerer den meget energikrævende sværindustri øst for Uralbjergene. Kulmineindustrien rykker derfor også østpå, og de "gamle" mineområder vest for Ural kan ikke dække energibehovet i denne del af U.S.S.R. Det er da på grund af kortere transportafstande billigere at dække underskuddet fra Polen end fra Sibirien. Iøvrigt er det mere økonomisk fordelagtigt for U.S.S.R. at eksportere energi i form af olie og gas end i form af kul.

4. Sammenfatning og konklusion

Hovedsageligt som en følge af elværkernes fortsatte overgang til kul i løbet af 80'erne ventes de danske kultilførsler at stige fra de nuværende ca. 7 mio. t til ca. 17 mio. t i 1989. Da Danmarks traditionelle leverandørlande, Polen og U.S.S.R., ikke forventes at kunne dække det stærkt stigende kulbehov i 1980'erne, må en række nye oversøiske kuleksporterende lande drages ind i kulforsyningen og bidrage med forsyninger, hovedsageligt i forhold til landenes eksportpotentiel. Da elværkerne allerede tidligt har erkendt nødvendigheden heraf, er der investeret store beløb i havneanlæg til modtagelse af kulskibe i 100-120.000 t klassen. Endvidere har elværkerne investeret ca. 1 mia. kr. i ombygninger til kulfyring for at opfylde dansk- og EF-energiolitik.

Forsyningssikkerheden tilstræbes såvel ved at sprede indkøbene mest muligt, som ved at elværkerne opretholder meget store lagre samtidig med, at alle de kulfyrede anlæg tillige kan fyres med olie.

Der er i rapporten foretaget en vurdering af alle væsentlige nuværende og kommende kuleksporterende landes muligheder for forøgelse af eksporten. I bilag 2 er de danske kulforsyningmuligheder for disse lande sammenstillet.

Det bemærkes, at en række lande, som Colombia, Venezuela, Indien og Kina, ikke er væsentlige eksportører i dag (deres samlede verdenseksport er under 1 mio. t) og må betragtes som meget usikre potentielle leverandører.

Af bilag 2 og 6 ses, at hvis der skal skabes balance mellem de danske kulbehov og forsyningsmuligheder, er det næppe muligt at udelukke nogen af verdens kulproducerende og -eksporterende lande som potentiel leverandør til Danmark og specielt ikke Sydafrika, der vil være verdens største kuleeksportør og på kortere sigt er garanteret for, at der globalt kan skabes balance mellem udbud og efterspørgsel af kraftværkskul.

Underskuddet, som vil opstå i den danske brændselsforsyning, hvis Danmark udelukker Sydafrika som kulleverandør, må formentlig erstattes med væsentligt dyrere kul fra Australien og U.S.A. samt med olie. På grund af manglende konkurrence på det danske marked kan man endvidere forudse krav om forhøjelse af prisen for de kul, Danmark allerede i dag importerer fra Polen, U.S.S.R. og EF.

I perioden frem til 1985, hvor man nogenlunde kan bedømme prisforholdene, forventes de økonomiske konsekvenser for Danmark at blive en merudgift til erstatning for kraftværkskul fra Sydafrika på 3-4 mia. kr.

Efter 1985 er forholdene mere usikre, men man kan håbe på, at især U.S.A. og Australien kan finde det fordelagtigt at øge produktionen og eksporten af kul væsentligt, hvilket forudsætter, at de pågældende lande foretager meget betydelige investeringer i miner, transportanlæg og havne.

Elværkerne bestræber sig på at inddrage alternative kulforsyningskilder i det omfang, dette er muligt, og støtter alle initiativer, der foretages for at opbygge nye miner.

KULFORBRUGET I DANMARK MIO. T (1)

1979 - 1989

Område	Ar										
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Elkraft (2)	2,8	3,9	4,1	4,3	4,5	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,8
Elsam (3)	3,4	4,2	4,8	5,0	5,7	6,3	6,3	7,5	7,5	8,7	8,7
Industri	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
Fjernvarme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5
I alt forbrug	7,1	9,0	9,8	10,3	11,3	12,1	12,5	14,1	14,4	16,0	16,2
+ lageropbygning	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Tilførsler	7,8	9,4	10,2	10,7	11,7	12,5	12,9	14,6	14,9	16,5	16,7

(1) Uden netto-udveksling med udlandet.

(2) Inklusive Østkraft, Bornholm. Prognosen er baseret på 20% støttefyring med olie. I det omfang, det er teknisk muligt, vil denne olie blive erstattet med kul.

(3) Inklusive De kommunale Værker Randers og Herning. Prognosen indeholder forbrug på et ombygget Skærbækværk. Beslutning herom er endnu ikke truffet.

KULFORSYNINGSMULIGHEDER FOR DANMARK MIO. T

1979 - 1989

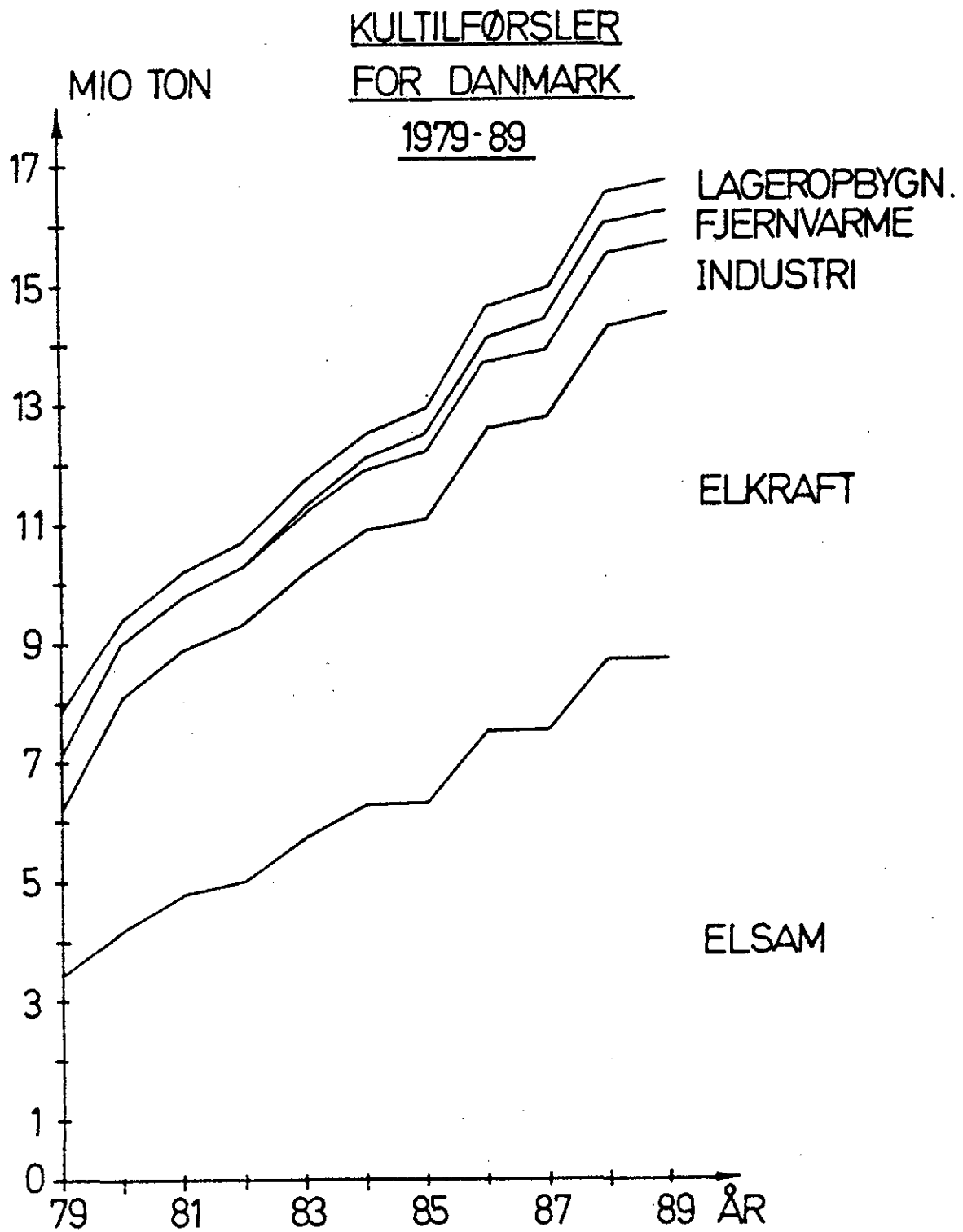
Land	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Australien	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0
Canada	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5
Sydamerika (Colombia, Venezuela m.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
EF (England og Tyskland) (2)	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Indien	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Kina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6
Polen	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Sydafrika	2,6	3,9	4,3	3,6	4,3	3,8	3,7	4,9	4,5	5,6	5,3
U. S. A.	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
USSR	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
I alt forsyningsmuligheder	7,8	9,4	10,2	10,7	11,7	12,5	12,9	14,6	14,9	16,5	16,7
I alt tilførsler	7,8	9,4	10,2	10,7	11,7	12,5	12,9	14,6	14,9	16,5	16,7

(1) Forudsat beslutning i 1980 om en ny mine i Colombia.

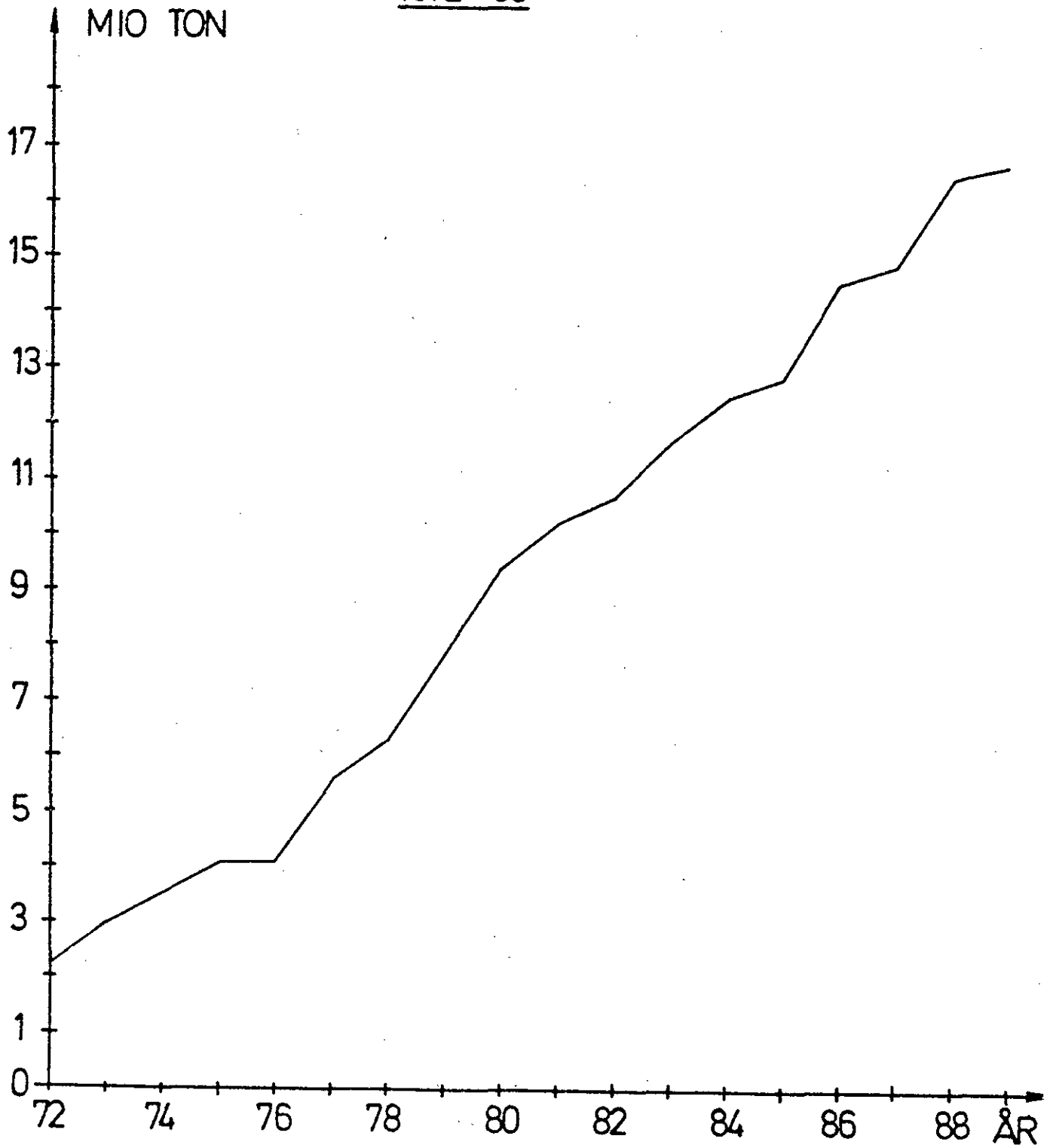
(2) Forudsætter, at den endnu ikke vedtagne EF-støtteordning forlænges ud over perioden 1979 - 1981.

LITTERATURFORTEGNELSE

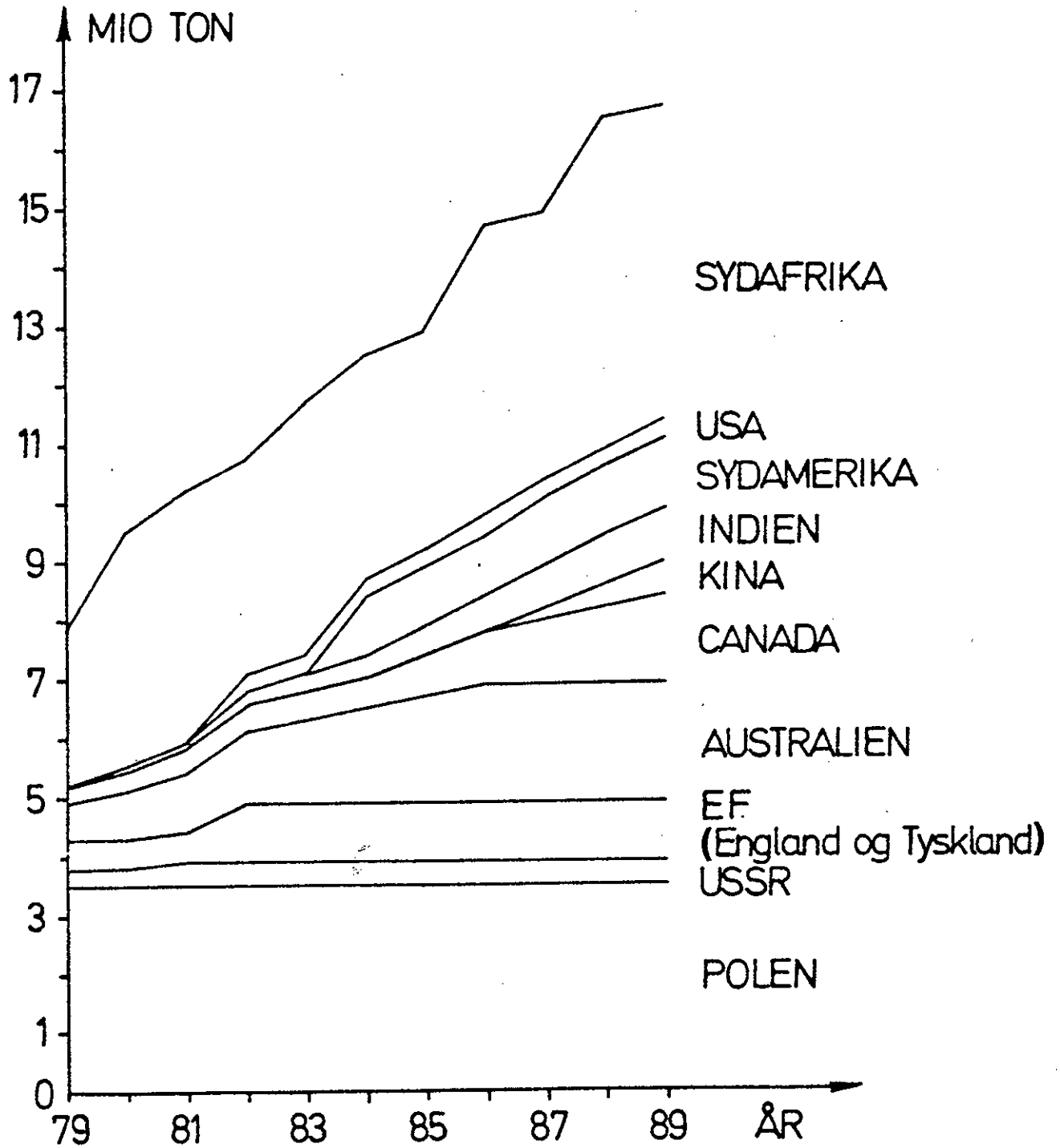
- (1) – An Appraisal of World Coal Resources and their Future Availability.
W. Peters, H.D. Schilling
World Energy Conference 1977
- (2) – Energy: Global Prospects 1985 – 2000
Report of the Workshop on Alternative Energy Strategies -(WAES)
- (3) – Prospects for Coal in the IEA
OECD/IEA/SLT (76) 48, Paris 1976
- (4) – Prospects for Steamcoal to 2000
IEA, Paris (foreløbig udgave, bliver offentliggjort i 1979)
- (5) – The Re-vitalised Coal Industries
World Production Trends
H. E. Collins, Reprinted from the Colliery Guardian, England
- (6) – World Coal Trade, World Coal, November 1977
- (7) – World Energy Outlook
OECD, Paris 1977

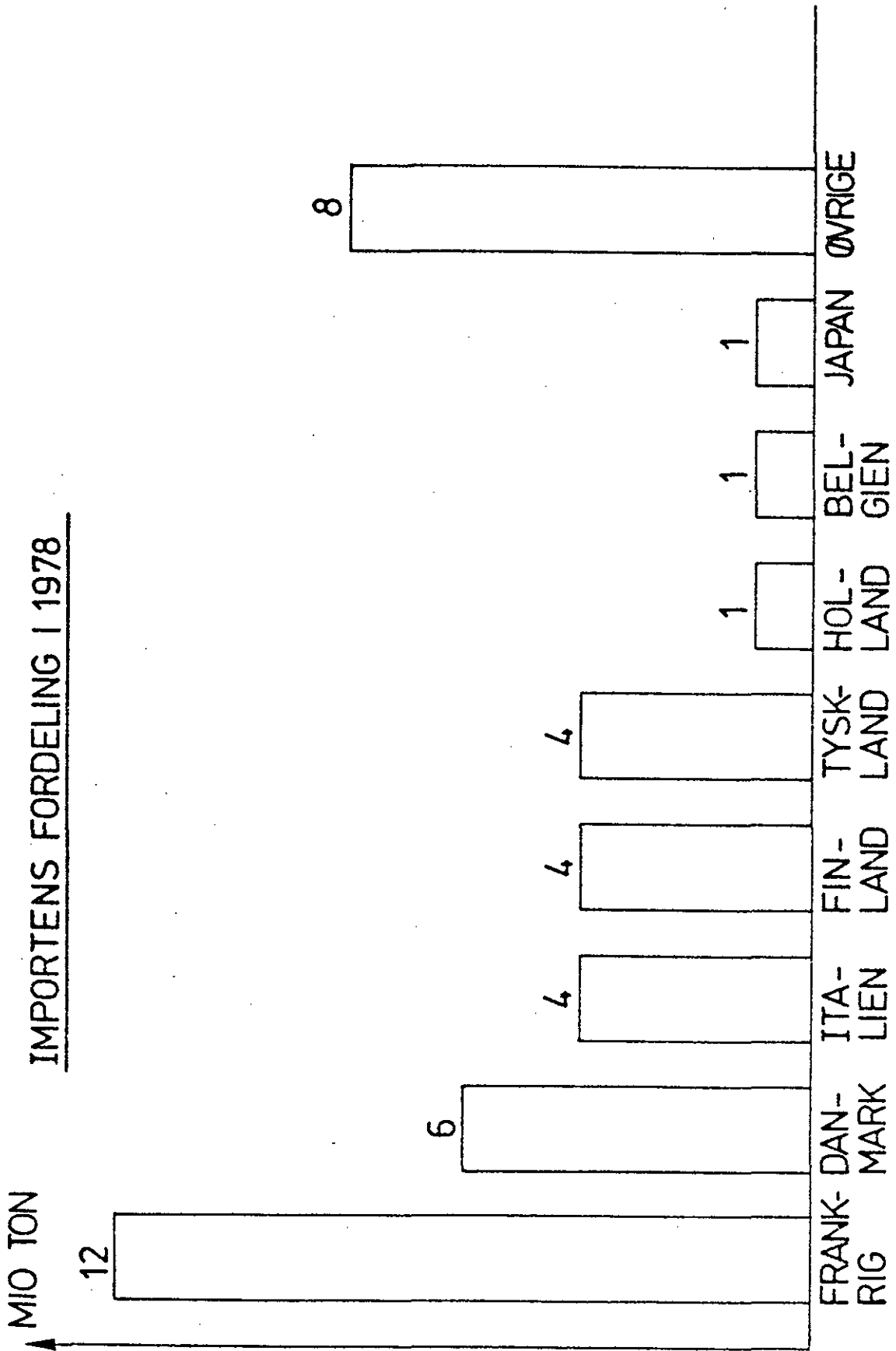


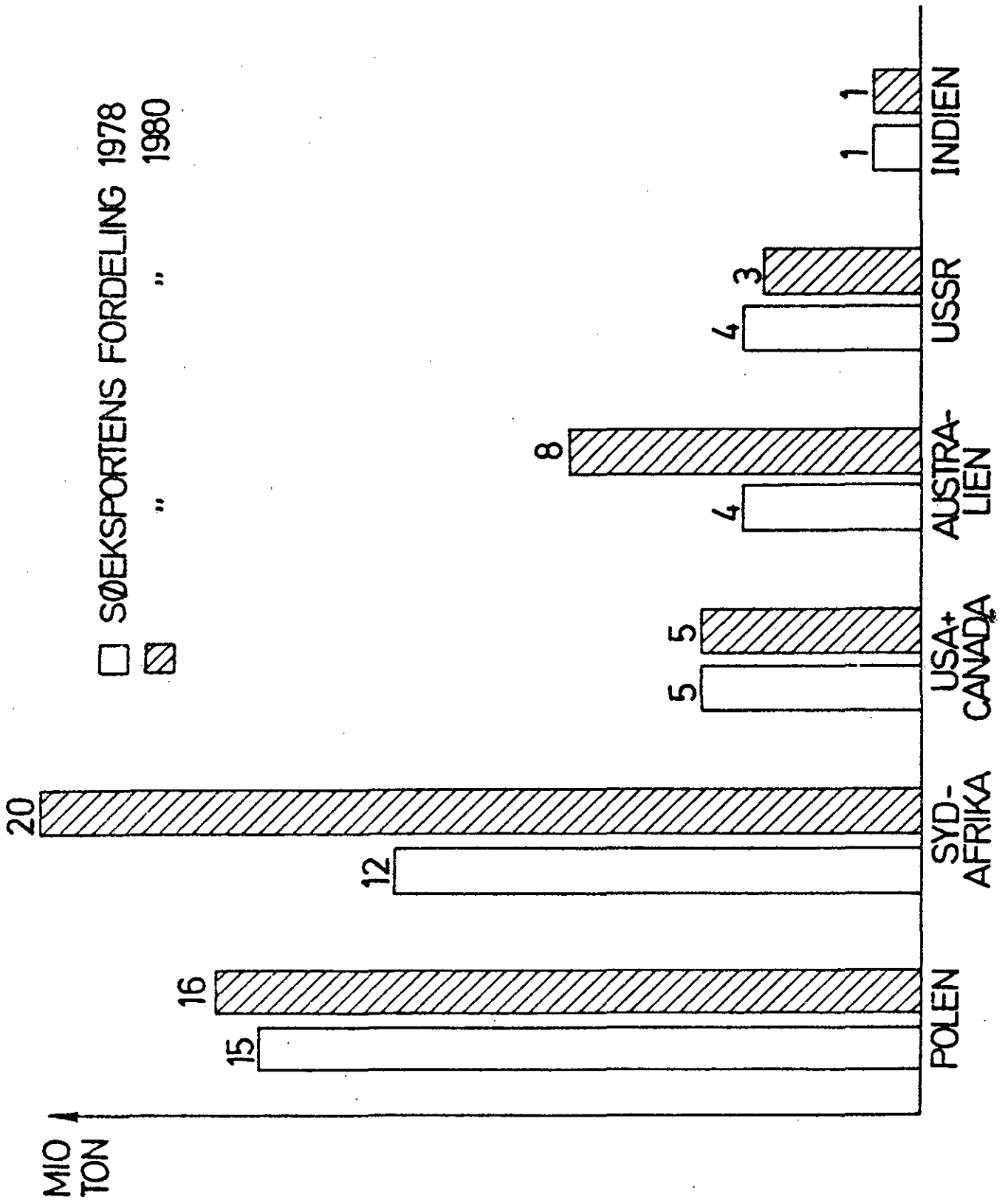
DANMARKS KULIMPORT
1972 - 89



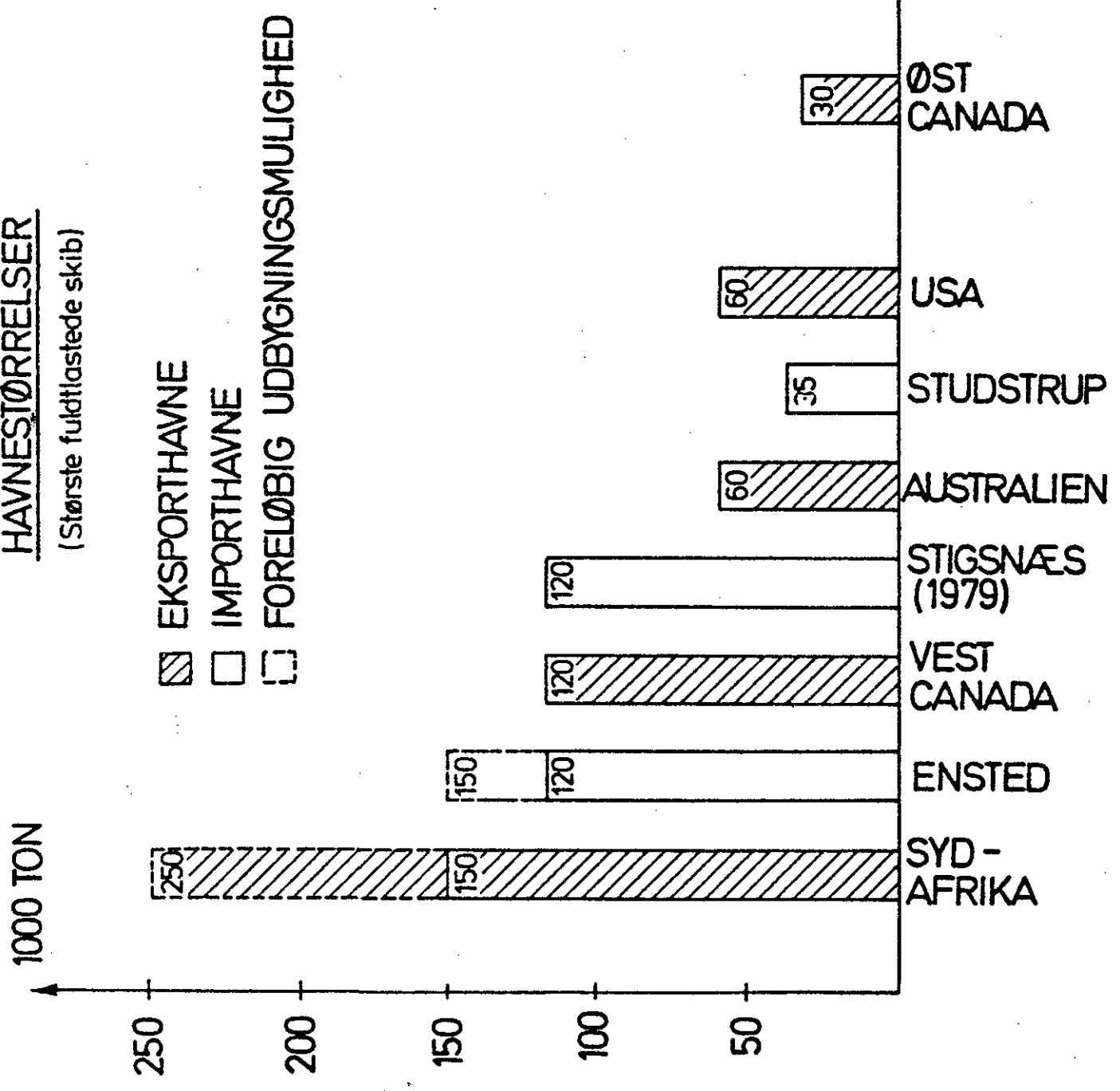
KULFORSYNINGSMULIGHEDER
FOR DANMARK



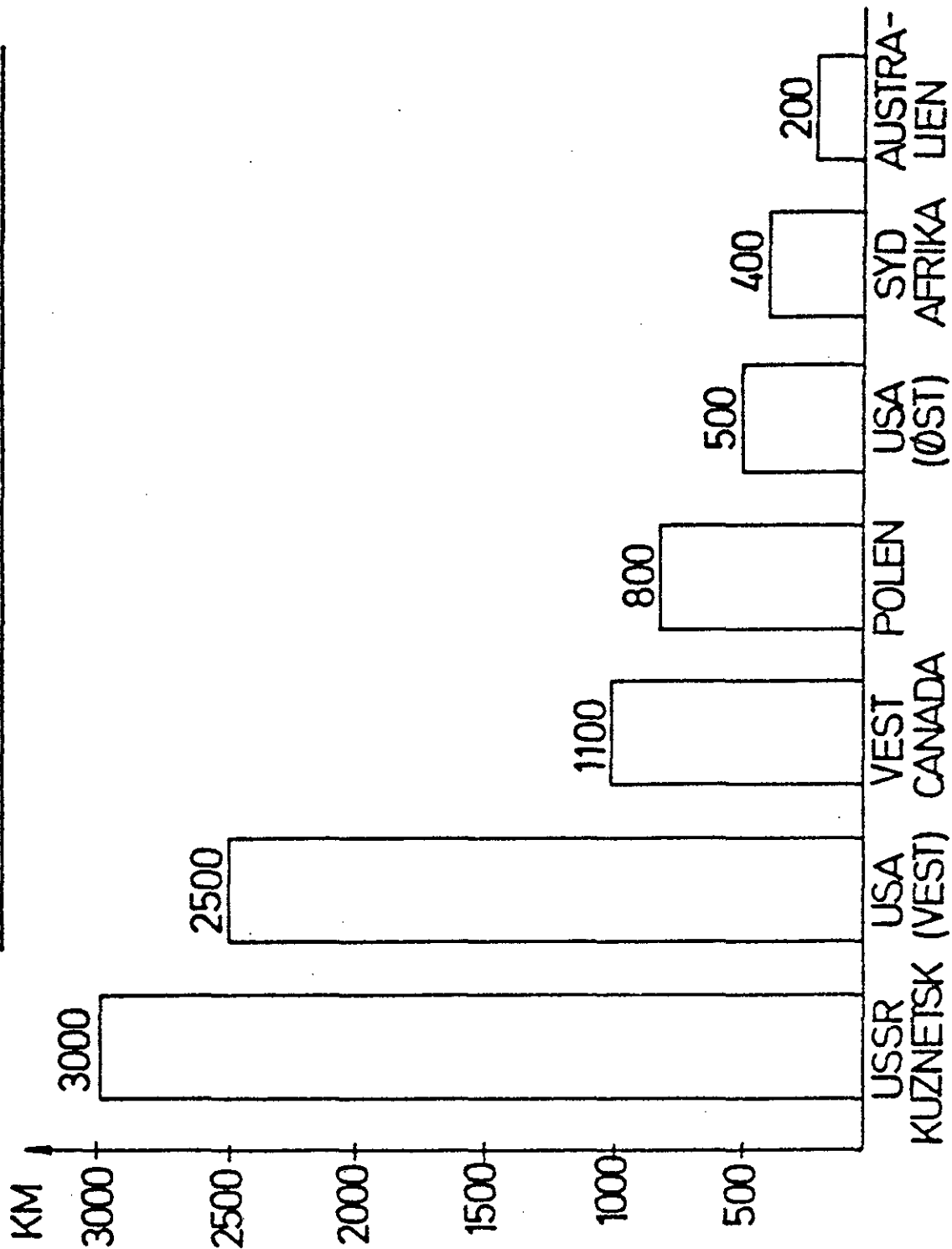




HAVNESTØRRELSER
(Største fuldtlastede skib)



OMTRENTLIGE JERNBANETRANSPORTLÆNGDER



I kommission

**DANSK KEDELFORENING
ENERGI & MILJØ**

GLADSAXE MØLLEVEJ 15 · 2860 SØBORG · (01) 69 65 11



ISBN 87-87607-15-8