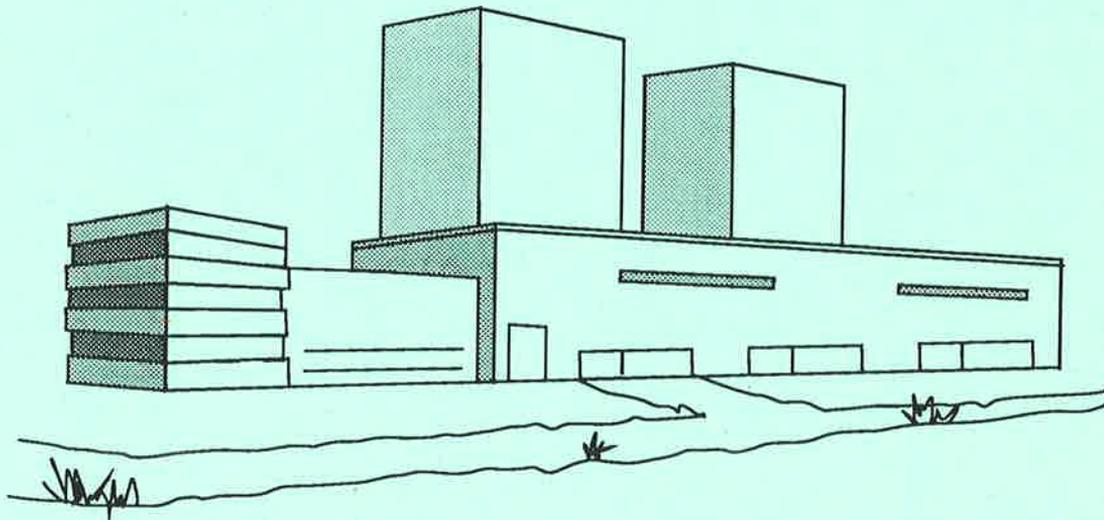


KVANTIFISERING AV MILJØULEMPER VED ULIKE ENERGITEKNOLOGIER

Delprosjekt 3:

*Kostnader ved reduksjon av utslipp og støy
knyttet til forbrenning og varmepumper*



Konsulent: Hafslund Engineering/Berdal Strømme A/S

April 1991

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEK

BERDAL STRØMME A.S

TITTEL

Kvantifisering av miljøkonsekvenser ved ulike energiteknologier

DATO

April 1991

UTFØRT AV

Margaret Matre
Pål Skjæggestad
Halvor Aalerud

OPPDRAGSLEDER

Margaret Matre

OPPDRAGSGIVER

Norges Vassdrags- og Energiverk

UNDERKONSULENTER:

Veritas Miljøplan A/S

BEMERKNING

Hafslund Engineering as som fikk oppdraget fra NVE, ble i løpet av prosjektgjennomføringen av dette prosjektet kjøpt opp av Berdal Strømme as.

Hafslund Engineering eksisterer ikke lenger som eget firma, og ansatte i Hafslund Engineering har gått over til Berdal Strømme.

Berdal Strømme a.s.

Kjørboveien 25, 1300 Sandvika

Telefon: (02) 47 11 00

Telefax: (02) 54 45 76

SAMMENDRAG

Reduksjonskostnadene er vurdert for følgende anleggstyper:

- Oljekjeler
- Forbrenning av kull
- Naturgass gassturbiner
- Naturgasskjeler
- Forbrenning av avfall
- Forbrenning av biobrensel
- Varmepumpeanlegg

Som utgangspunkt for kostnadsreduksjonene har en gitt opp sannsynlige krav som Statens Forurensningstilsyn (SFT) vil sette for nye energianlegg. Disse er satt opp etter samtaler med SFT.

En har også beskrevet miljøkonsekvenser fra de gitte anleggstypene ovenfor. Miljøkonsekvensene er hentet fra "Miljø- og energifakta. Håndbok for energiforsyningen" Ref. /7/.

Miljøkonsekvenser vil være ulike typer utslipp til luft, samt støy. I tillegg er industriell energibruk behandlet. Her vil det være bruk av egne avfallsprodukter til brensel som skiller seg fra annen energibruk. Typiske avfallsprodukter her er bruk av avlut som brensel.

Beregnete kostnader for reduserte utslipp er rensekostnader, kostnader for forbrenningsmessige tiltak eller kostnader for renere brensel. Kostnader for reduksjon av støy er beregnet på grunnlag av bygningsmessige tiltak. Kostnadene er basert på dagens teknologi.

Kostnadene vil variere avhengig av type anlegg og grad av utslippsreduksjon. Dette er vist grafisk i vedlegg 1-9.

Spredning i kostnader er vist i tabellen under:

| Anleggstype | Rensing av | Kostnad kr/MWh |
|-----------------|------------------------------------|----------------|
| Gassturbin | NOx | 0,2 - 9 |
| Naturgass kjel | NOx | 0,2 - 0,6 |
| Oljefyring | SO ₂ | 0 - 102 |
| Kull-vandrerist | Støv | 3 - 14 |
| Kull-vandrerist | SO ₂ | 11 - 22 |
| Avfall | Støv, HCl, SO ₂ , Hg | 8 - 58 |
| Biobrensel | Støv | 3 - 19 |

For varmepumper har en vurdert merkostnadene ved å investere i et anlegg som har amoniakk som arbeidsmedium. En har funnet at investeringen vil ligge på samme nivå som et varmepumpeanlegg med KFK (klorfluorkarboner, populært kalt freon).

Kostnadene for demping av støy vil være neglisjerbare i forhold til andre reduksjonskostnader og vil ligge på i størrelsesorden 0,2 kr/MWh.

NB! Alle kostnader er referert til innfyrt energi.

INNHOLDSFORTEGNELSE

side

| | | |
|----|--|----|
| 1. | INNLEDNING | 1 |
| .1 | Bakgrunn for prosjektet | 1 |
| .2 | Definisjon av oppgaven | 1 |
| .3 | Begrepsapparat - ord og uttrykk | 1 |
| .4 | Energi- og effektenheter | 3 |
| 2. | DAGENS RENSEKRAV VED ENERGIPRODUKSJON | 5 |
| .1 | Generelt | 5 |
| .2 | Naturgass | 5 |
| .3 | Forbrenning av olje | 5 |
| .4 | Forbrenning av kull | 6 |
| .5 | Avfallsforbrenning og anvendelse av deponigass | 7 |
| .6 | Forbrenning av biobrensel | 8 |
| .7 | Varmepumper | 8 |
| .8 | Støy | 9 |
| .9 | Sammenfatning av krav | 9 |
| 3. | TERMISK PRODUKSJON AV EL OG VARME | 11 |
| .1 | Matrise med beskrivelse av miljølemper | 11 |
| .2 | Tabell med typiske utslipp til luft | 15 |
| .3 | Sammenfatning av utslipp til luft | 16 |
| 4. | DRIVHUSEFFEKT | 18 |
| .1 | Generelt | 18 |
| .2 | CO ₂ - problematikk | 18 |
| 5. | INDUSTRIELL ENERGIBRUK | 21 |
| .1 | Generelt | 21 |
| .2 | Ulemper knyttet til bruk av avlut | 21 |
| .3 | Ulemper knyttet til andre brensler i industrien | 22 |
| .4 | Rensekrav knyttet til industriell energibruk | 23 |
| 6. | RENSEKOSTNADER | 24 |
| .1 | Forutsetninger | 24 |
| .2 | Naturgass | 25 |
| .3 | Forbrenning av olje | 27 |
| .4 | Forbrenning av kull | 27 |
| .5 | Avfallsforbrenning og anvendelse av deponigass | 28 |

| | | |
|----|---------------------------|----|
| .6 | Forbrenning av biobrensel | 29 |
| .7 | Varmepumper | 30 |
| .8 | Støy | 33 |
| 7. | REFERANSELISTE | 36 |

VEDLEGG:

| | |
|------------|------------------------------|
| VEDLEGG 1: | NOX-Rensing fra gassturbiner |
| 2: | Naturgassfyrt kjelanlegg |
| 3: | Oljefyring |
| 4: | Kullfyringsanlegg |
| 5: | " |
| 6: | Avfallsforbrenningsanlegg |
| 7: | Biobrenselanlegg |
| 8: | Varmepumpeanlegg |
| 9: | Støydemping varmekraftverk |
| 10: | Data brukt i beregningene |
| 11: | Omregning av røkgassmengder |

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Verdenskomisjonen for miljø og utvikling fokuserer i sin rapport på sammenhengen mellom miljø og energi.

Norske myndigheter ønsker på bakgrunn av bl.a. dette å vurdere hvordan miljøkostnader kan trekkes inn i energiprisene. NVE som statens fagetat på energispørsmål ser derfor dette som en viktig oppgave.

Behovet for en metode for å kvantifisere miljøulempene knyttet til forskjellige energiteknologier ble tidlig påpekt av NVE. Metoden skal benyttes i planlegging og økonomiske analyser. NVE prioriterte derfor et prosjekt med målsetning å kvantifisere miljøulempene ved ulike energiteknologier.

Prosjektleder fra NVE er Arne Carlsen.

Prosjektet består av flere delprosjekter. Denne rapporten tar for seg kostnader knyttet til reduksjon av utslipp til luft og reduksjon av støy. Kostnadsreduksjoner behandles for forbrenning av fossile brensler, biobrensel og avfall, samt varmepumper.

1.2 Definisjon av oppgaven

Energiforsyningsalternativer som vurderes i dette delprosjektet er knyttet til forbrenning og varmepumper.

For ulike energiforsyningsalternativer skal miljøkonsekvenser angis. Miljøkonsekvensene hentes fra Energiverkenes nylig utarbeidede miljøhåndbok. Ref. /7/. Aktuelle utbedringstiltak skal oppgis og kostnadene knyttet til dette skal vurderes. En skal ta utgangspunkt i kjente data fra forskning og litteratur, leverandører av rensutstyr og byggherrer.

1.3 Begrepsapparat - ord og uttrykk

Brennverdi - energiinnhold pr. enhet brensel.

Nedre brennverdi - brennverdi for et brensel når en regner med at vann som dannes under forbrenning ikke kan utnyttes og tapes i røkgassen som damp.

Effektiv brennverdi - brukes om brensler som inneholder fuktighet, effektiv brennverdi er lik nedre brennverdi minus fordampningsvarme for fuktigheten i brenselet.

dB - log-skala for måling av lydnivå. For å få et mål for ørets lydfølsomhet anvendes dB(A)-skala.

CH₄ - metan, brennbar gass, bidrar til drivhuseffekten.

CO - karbonmonoksid, oppstår ved ufullstendig forbrenning av brensler med karboninnhold.

CO₂ - karbondioksid, produkt av forbrenningsprosess med karbon og oksygen, bidrar til drivhuseffekten.

CO₂ inngår i det naturlige kretsløpet.

Effektfaktor - Brukes i varmepumpesammenheng for å uttrykke forholdet mellom avgitt varme og arbeid som må tilføres.

FAB - foredlet avfallsbrensel

HFK - hydrogenfluorkarboner, samlebetegnelse på kjemiske forbindelser som inneholder ulike andeler av hydrogen, fluor og karbon.

HKFK - hydrogenklorfluorkarboner, samlebetegnelse på kjemiske forbindelser som inneholder ulike andeler av hydrogen klor, fluor og karbon. Klorinnholdet er lavere enn i KFK.

KFK - klorfluorkarboner, samlebetegnelse på kjemiske forbindelser som inneholder ulike andeler av klor, fluor og karbon. I dagligtale kalles KFK ofte freon.

Kraftvarmeverk - kraftverk basert på fossilt brensel eller biobrensel som leverer både varme og el.

Kombinert anlegg - gasskraftverk bestående av gassturbin(er) og dampturbin(er). Dampturbinen(e) benytter energien i avgassen fra gassturbinen(e).

Luftoverskuddstall - luft tilsatt en forbrenningsprosess i forhold til støkiometrisk forbrenning (iht. forbrenningsligning). Et luftoverskuddstall på 1,0 vil si støkiometrisk forbrenning.

NH_3 - ammoniakk, aktuell i energisammenheng som kjølemedie i varmepumpe og til rensing av NO_x .

Nm^3 - normal kubikk meter, 1 m^3 gass ved 0 °C og atmosfæretrykk.

NO_x - Nitrogenoksider, NO og NO_2 .

PAH - Polyaromatiske sykliske hydrokarboner (tjærestoffer), oppstår bl.a. ved forbrenning av organisk materiale.

ppm - parts per million.

ppmv - parts per million volume.

Sm^3 - standard kubikk meter, 1 m^3 gass ved 15 °C og atmosfæretrykk

SO_2 - Svoveldioksid, oppstår ved forbrenning av brensel med svovelinnhold

TCDD - Den giftigste dioksinforbindelsen. Mindre giftige dioksiner måles som TCDD-ekvivalent, disse måles i forhold til TCDD som har TCDD-ekvivalenten 1,0

Tungmetaller - metalliske grunnstoff med høye atomnummer, f.eks. kadmium, kvikksølv og bly

Varmekraftverk - kraftverk som produserer elektrisk kraft basert på fossile brensler eller biobrensel

Virkningsgrad - forholdet mellom utnyttet energi og energi i brenselet

1.4 Energi- og effektenheter

ENERGI:

1 kWh - 1 kilowatttime - 3,6 MJ

1 MWh - 1 Megawatttime - 1 000 kWh - 3,6 GJ

1 GWh - 1 Gigawatttime - million kWh - 3,6 TJ

EFFEKT:

1 kW - 1 kilowatt - 1 kJ/s

1 MW - 1 Megawatt - 1 000 kW - 1 MJ/s

2. DAGENS RENSEKRAV VED ENERGIPRODUKSJON

2.1 Generelt

Dagens renskrav i forbindelse med energiproduksjon er avklart i samarbeid med Statens Forurensningstilsyn (SFT).

I dag behandles hver søknad om utslippstillatelse separat, og SFT har der muligheten til å ta hensyn til om plassering skjer i et allerede miljøbelastet område. Hvis dette er tilfelle, kan en få strengere krav om rensing knyttet til utslippstillatelsen.

Største grad av standardisering har en i dag for forbrenning av kommunalt avfall, hvor det knyttes krav til maksimalt utslipp av komponenter i røkgassen og til maksimalt utslipp til vann.

I de følgende punkter er krav fra SFT gjengitt.

2.2 Naturgass

Større anlegg (el):

NOx: 15 ppm \approx 95 mg/kWh brensel tilsvarende selektiv katalytisk rensing.

Mindre og mellomstore anlegg (el):

NOx: 40 - 45 ppm \approx 160 - 190 mg/kWh brensel tilsvarende lav-NOx-brenner. Ref. /1/.

Naturgass i kjeler vil ofte erstatte tungolje og vanlig fyringsolje, og en substitusjon fra tungolje til naturgass vil gi redusert utslipp til luft.

Av den grunn settes det i dag ikke krav til reduksjon av utslipp fra naturgassfyrte kjeler.

2.3 Forbrenning av olje

Generelle krav til forbrenning i kjeler over 1,5 MW:

Sot og støv: 1,5 g/kg innfyrt olje \approx 125 mg/kWh brensel

Svovelinhold i olje iht. svovelforskriftene.
Ref. /2/.

Større oljefyrt kraftverk:

For et større oljekraftverk vil en kunne regne med krav om rensing av SO₂ og NO_x med beste tilgjengelige renseteknikk. Ref. /1/.

Som eksempel kan nevnes Brofjorden kraftstasjon i Sverige hvor en regner med å kunne oppnå følgende utslipp ved hjelp av rensing. Ref. /22/:

| | | | |
|-------------------|----------|---|-----------|
| SO ₂ : | 10 mg/MJ | ≈ | 36 mg/kWh |
| NO _x : | 20 mg/MJ | ≈ | 72 mg/kWh |
| Støv: | 3 mg/MJ | ≈ | 11 mg/kWh |

Bygging av et større oljefyrt kraftverk er ikke særlig sannsynlig i Norge hvor en har tilgang på naturgass som gir mindre utslipp pr. energienhet enn olje.

2.4 Forbrenning av kull

Mindre kjeler:

| | | | |
|------------|------------------------|---|------------|
| Partikler: | 175 mg/Nm ³ | ≈ | 230 mg/kWh |
|------------|------------------------|---|------------|

Ref. /3/.

Større kullfyrt kraftverk:

For større kullfyrte kraftverk vil rensing av kullet for svovel før forbrenning være aktuelt. I tillegg vil en kunne få krav om katalytisk rensing. Ref. /1/.

Som eksempel kan nevnes at i Danmark oppnås følgende emisjonskrav med avgassrensing av svovel, DeNO_x-anlegg, og elektrofilter: Ref. /19/

| | | | |
|-------------------|-----------------------|---|------------|
| SO ₂ : | 38 mg/MJ | ≈ | 137 mg/kWh |
| NO _x : | 48 mg/MJ | ≈ | 173 mg/kWh |
| Støv: | 50 mg/Nm ³ | ≈ | 67 mg/kWh |

Kull er et mindre rent brensel enn olje og vil som regel gi høyere utslipp pr. energienhet.

Bygging av et større kullfyrt kraftverk er ikke særlig sannsynlig i Norge hvor en har tilgang på naturgass som

gir mindre utslipp pr. energienhet enn kull.

2.5 Avfallsforbrenning og anvendelse av deponigass

Avfallsforbrenning:

Ref. /4/.

Dagens utslippskrav for større forbrenningsanlegg gitt av SFT:

Større anlegg:

Utslipp til luft:

| | | | |
|-------------------|-----------------------|---|-------------------|
| Støv: | 30 mg/Nm ³ | ≈ | 60 mg/kWh brensel |
| HCl: | 100 " | ≈ | 200 " |
| SO ₂ : | 300 " | ≈ | 300 " |
| CO : | 100 " | ≈ | 200 " |
| Hg : | 0,1 " | ≈ | 0,2 " |

Dioksin: 2 ng/Nm³ (veiledende) ≈ 4 ng/kWh

Mindre anlegg:

Utslipp til luft:

| | | | |
|-------|------------------------|---|--------------------|
| Støv: | 100 mg/Nm ³ | ≈ | 200 mg/kWh brensel |
| HCl: | 150 " | ≈ | 300 " |
| CO : | 100 " | ≈ | 200 " |
| Hg : | 0,1 " | ≈ | 0,2 " |

Utslipp til vann:

| | |
|-----|------------|
| Pb: | 0,5 mg/l |
| Cd: | 0,005 mg/l |
| Hg: | 0,002 mg/l |
| Pb: | 0,5 mg/l |
| pH: | 6 - 9 |

Krav til utslipp til vann kan reduseres etter avtale med det lokale avløpsverk.

Som eksempel kan nevnes at i Oslo settes følgende krav til utslipp for Pb, Cd og Hg:

Pb: 1,0 mg/l
 Cd: 0,1 mg/l
 Hg: 0,01 mg/l

Deponigass:

En har ikke krav til rensing i dag, ettersom utnyttelse av deponigass gir en miljøforbedring i forhold til å la deponigassen gå ut i atmosfæren.

2.6 Forbrenning av biobrensel

Små anlegg mindre enn 6 MW:

Støv: 250 mg/Nm³ ≈ 380 mg/kWh multisyklon

Større anlegg:

Støv: 100 mg/Nm³ ≈ 155 mg/kWh elektrofilter

Ref. /5/.

Kravene til støvutslipp er mindre strenge enn for avfallsforbrenning. Dette kan bl.a. skyldes at anlegg for forbrenning av biobrensel ofte er plassert utenfor de store byene i områder hvor eksisterende miljøbelastning er mindre.

2.7 Varmepumper

Forslag om forbud mot KFK11, KFK12, KFK113, KFK114 og KFK115, samt blandinger som inneholder disse (f.eks. KFK 500 og KFK 502) i nye varmpumper. Dispensasjoner er aktuelt i en overgangsperiode. Ref. /6/.

2.8 Støy

For alle anlegg er kravet til støy:

- 50 dBA - dag
- 45 dBA - kveld
- 40 dBA - natt

Støykravene gjelder ved nærmeste bolighus.

Ref. /1/.

2.9 Sammenfatning av krav

Tabellen under viser på hvilke utslippskomponenter en kan forvente krav fra SFT, og omtrent for hvilke anleggsstørrelser (innfyrt effekt). Oversikten gjelder ikke anlegg mindre enn 1 - 1,5 MW innfyrt effekt.

Størrelsene i tabellen gjelder innfyrt effekt og er skjønnsmessig anslått ut fra samtaler med SFT.

FOSSILE BRENSLER

| | CO ₂ | SO ₂ | NOx | PAH | Pb | CO | Støv |
|-----------|-----------------|-----------------|--------|-----|----|----|------|
| KULL | | > 5 MW | > 5 MW | | | | Alle |
| TUNG-OLJE | | >50 MW | >50 MW | | | | Alle |
| LETT-OLJE | | >50 MW | >50 MW | | | | Alle |
| PARAFIN | | | >50 MW | | | | Alle |
| NATURGASS | | | >50 MW | | | | |
| PROPAN | | | >50 MW | | | | |

AVFALL

| | SO ₂ | HCl | NOx | PAH | Pb/Hg | CO | Støv | Dioksin |
|-----------|-----------------|------|-----|-----|-------|------|------|------------|
| DEPONGASS | | | | | | | | |
| FORBRENN. | >10 MW | Alle | | | Alle | Alle | Alle | Veil. krav |

BIOBRENSSEL

| | CO ₂ | SO ₂ | NO _x | PAH | Pb | CO | Støv |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----|----|------|
| TREBR ENSEL | | | | | | | Alle |
| HALM | | | | | | | Alle |
| TORV | | | | | | | Alle |

VARMEPUMPE:

Forbud mot de mest drivhusfremmende og ozon-reaktive
KFK-forbindelser.

3. TERMISK PRODUKSJON AV EL OG VARME

3.1 Matrise med beskrivelse av miljølemper

En skal i dette prosjektet beskrive miljøkonsekvenser knyttet til varme- og elproduksjon og til lokal lagring av energibærere.

Miljøkonsekvensene er hentet fra Energiverkenes miljøhåndbok og er satt opp i matrisen under for forskjellige energiproduksjonsalternativer. Ref. /7/.

BIOBRENSSEL

| ENERGIBÆRER | LOKAL LAGRING | ENERGIPRODUKSJON VARME |
|-------------|--|--|
| Trebrensel | Utslipp til grunnvann fra barklagere pga. avrenning. Tørrstofftap (svinn) Dannelse av sporer/muggsopp. Fare for selvan-tennelse. | Utslipp til luft. Typiske utslipp: støv, nitrogenoksider, uforbrent, bl.a. organiske forurensinger som PAH. |
| Halm | Tørrstofftap. Dannelse av sporer/muggsopp. | Utslipp til luft. Typiske utslipp: støv, nitrogenoksider, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som PAH. |
| Torv | Tørrstofftap. Dannelse av sporer/muggsopp | Utslipp til luft. Typiske utslipp: Støv. karbondioksid, svoveldioksid, nitrogenoksider, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som PAH, samt tungmetaller. |

FOSSILE BRENSLER

| ENERGIBÆRER | LOKAL LAGRING | ENERGIPRODUKSJON VARME/EL |
|---------------------|--|---|
| Kull | Utslipp til grunnvann fra kull-lagere pga. avrenning. | Utslipp til luft. Typiske utslipp: Støv, Karbondioksid, svoveldioksid, nitrogenoksider, partikler, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som PAH, samt tungmetaller. Utslipp av kjølevann fra damp-turbiner. |
| Tungolje | Fare for utslipp til grunnvann pga. lekkasje fra oljetanker. | Utslipp til luft. Typiske utslipp: Støv, Karbondioksid, svoveldioksid, nitrogenoksider, partikler, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som PAH, samt tungmetaller. Utslipp av kjølevann fra damp-turbiner. |
| Lettolje og parafin | Fare for utslipp til grunnvann pga. lekkasje fra oljetanker. | Utslipp til luft. Typiske utslipp: Noe sot, karbondioksid, svoveldioksid, nitrogenoksider, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som PAH. Utslipp av kjølevann fra damp-turbiner. |

| ENERGIBÆRER | LOKAL LAGRING | ENERGIPRODUKSJON VARME/EL |
|---------------------|--|--|
| Naturgass og propan | Brannfare ved lekkasje. Eksplosjonsfare innendørs ved lekkasje. Naturgass og propan er ikke giftige. | Utslipp til luft. Typiske utslipp: karbondioksid, nitrogenoksider, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som PAH. Utslipp av kjølevann fra damp-turbiner. |

AVFALL

| ENERGIBÆRER | LOKAL LAGRING | ENERGIPRODUKSJON VARME/EL |
|-------------|---|--|
| Avfall | Avfallsdeponi skaper i dag miljøproblemer som kan reduseres ved hjelp av avfallsforbrenning | Utslipp til luft. Typiske utslipp: Saltsyre, svoveldioksid, nitrogenoksider, partikler, uforbrent bl.a. organiske forurensninger som dioksiner og PAH, tungmetaller. Utslipp av kjølevann fra damp-turbiner. |
| Deponigass | Brannfare | Utslipp til luft. Typiske utslipp: Nitrogenoksider og karbondiksyd. Utnyttelse av deponigass bidrar til reduksjon av drivhuseffekt, pga. forbrenning av metan. |

VARMEMPUMPER

| ENERGIBÆRER | LOKAL LAGRING | ENERGIPRODUKSJON VARME |
|-------------|---------------|--|
| Varmepumper | KFK-utslipp | Lekkasje av visse typer KFK (kjølemedie basert på en klorfluorkarbonforbindelse) gir nedbryting av ozonlag og drivhuseffekt. |

3.2 Tabell med typiske utslipp til luft

Tabellen nedenfor viser typiske utslipp til luft med rensing iht. dagens krav. Det understrekes at utslippene kan variere betydelig avhengig av fyringsteknikk, drift, vedlikehold og rensemetoder. Ref. /7/.

Utslippstallene gjelder pr. kWh brensel og for kjeler.

FOSSILE BRENSLER

| | Brennverdi kWh/kg | CO ₂ g/kWh | SO ₂ mg/kWh | NOx mg/kWh | CO mg/kWh | Støv mg/kWh | PAH µg/kWh | Pb µg/kWh |
|----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
| KULL | 7,7 ¹ | 385 | 2300 | 580 | 380 | 180 | 4 | 40 |
| TUNG- OLJE | 11,4 | 270 | 1760 | 430 | 180 | 50 | 2 | lite |
| LETT- OLJE | 11,9 | 270 | 340 | 250 | 160 | 20 | 2 | lite |
| PARA- FIN | 11,9 | 270 | 20 | 250 | 160 | 20 | 2 | lite |
| NATUR- GASS | 13,6 | 200 | < 4 | 250 | 70 | lite | lite | lite |
| PRO- PAN | 12,8 | 235 | < 4 | 290 | 70 | lite | lite | lite |

AVFALL

| | SO ₂ mg/kWh | HCl mg/kWh | NOx mg/kWh | CO mg/kWh | Støv mg/kWh | PAH µg/kWh | Tung- met. µg/kWh | Diok- sin ng/kWh |
|------------------|---------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------|---------------|-------------------------|------------------------|
| AVFALL FORBR. | 50 | 30 | 300 | < 200 | 30 | 2 | 200 | 2 |

Brennverdi: 3 kWh/kg ¹

BIOBRENSSEL

| | Brennverdi kWh/kg ¹ | CO ₂ g/kWh | SO ₂ mg/kWh | NOx mg/kWh | CO mg/kWh | Støv mg/kWh | PAH µg/kWh | Tungm. µg/kWh |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|------------------|
| TREBR- ENSEL | 2,9 | - | 50 | 220 | 1730 | 720 | 180 | lite |
| TORV | 3,3 | 360 | 860 | 720 | 1800 | 720 | 200 | 300 |

¹) Brennverdi vil kunne variere pga. fukt i brenselet og brenselskvalitet.

VARMEPUMPE: KFK

3.3 Sammenfatning av utslipp til luft

CO₂ - karbondioksid:

CO₂ kan ikke renses. Reduksjon av CO₂ kan oppnås ved redusert forbruk av fossile brensel. Det er mulig å skille ut CO₂ fra røkgassen og injisere denne i borehull for gass etc. Se pkt. 4.2.

SO₂ - svoveldioksid:

Rensing av SO₂ er aktuelt for store anlegg som forbrenner kull, olje eller for avfallsforbrenning.

NO_x - nitrogenoksider:

Rensing eller forbrenningsmessige tiltak for å redusere utslipp av NO_x er mest aktuelt for fossile brenslere. Dette kan på sikt bli aktuelt for store forbrenningsanlegg basert på avfall eller biobrensel.

CO - karbonmonoksid:

CO oppstår ved ufullstendig forbrenning. Utslipp reduseres ved forbrenningsmessige tiltak, først og fremst riktig luft-overskudd.

Støv:

Støv skilles ut fra røkgassen ved hjelp av partikkelrensing. Rensing er aktuelt for kull, avfall og biobrensel.

PAH - tjærestoffer:

Dannelse av PAH kan reduseres ved hjelp av forbrenningsmessige tiltak.

Pb, Hg, Cd - tungmetaller:

Tungmetaller er et problem som særlig knyttes til avfallsforbrenning. Rensing er aktuelt.

HCl - saltsyre:

Utslipp av saltsyre i energisammenheng er knyttet til avfallsforbrenning. Utslipp reduseres ved hjelp av rensing.

Dioksiner:

De største enkeltutslippene av dioksiner i Norge stammer fra magnesiumverk. I energisammenheng vil det oppstå utslipp fra avfallsforbrenningsanlegg.

Utslipp reduseres ved hjelp av forbrenningsmessige tiltak. Stikkord er: Tilstrekkelig temperatur, turbulens og oppholdstid i brennkammer.

For større avfallsforbrenningsanlegg med kontinuerlig drift vil utslipp av dioksiner være svært lavt. Se også pkt. 6.5.1.

4. DRIVHUSEFFEKT

4.1 Generelt

Nedenfor er de viktigste drivhusgassene og deres andel av drivhuseffekten listet op. Dette er gasser som skyldes utslipp p.g.a. menneskelig aktivitet.

- Karbondioksid - CO₂ : 55 % av drivhuseffekt
- Metan - CH₄ : 20 % av drivhuseffekt
- KFK : 15 % av drivhuseffekt
- Lystgass - N₂O : 5 % av drivhuseffekt

Drivhus-effekt i forhold til CO₂ for et molekyl. (CO₂-ekvivalent):

- Metan : 20
- KFK : 10 000 ¹⁾
- Lystgass : 350

¹⁾ Kloratomer i KFK gir i tillegg en ozon-nedbrytende effekt.

Ref. /7/.

Vi har i neste avsnitt behandlet CO₂ som særlig har betydning for drivhuseffekten. Økningen av CO₂ i atmosfæren i nyere tid skyldes i hovedsak bruk av fossile brensler.

4.2 CO₂-problematikk

CO₂ oppstår bl.a. ved forbrenning av organisk materiale. Ved forbrenning av biobrensel regner en CO₂-utslippene lik null dersom tilveksten svarer til andel masse som forbrennes. For torv, hvor tilveksten er svært langsom, regner en gjerne med et CO₂-tilskudd ved forbrenning. Forbrenning av fossile brensler vil på samme måte gi et varig tilskudd av CO₂ til atmosfæren. CO₂ kan ikke renses, men kan skilles ut fra røkgassen. Ref. /7/.

Flere muligheter kan benyttes for å redusere CO₂-utslipp:

- Utskilling av CO₂ fra røkgass
- Substitusjon av fossile brensler

- Tilstrebe bedre virkningsgrad for prosesser som anvender fossile brensel
 - Enøk-tiltak
 - Økonomiske virkemidler
 - Restriksjoner på forbruk av fossile brensler

Utskilling av CO₂ fra røkgass

Det er mulig å fjerne CO₂ fra røkgasser via en absorpsjonsprosess. CO₂ som fjernes må i så fall nyttiggjøres eller lagres på en slik måte at CO₂ ikke slipper ut i atmosfæren.

Den utskilte gassen kan f.eks. injiseres i tomme olje- eller gassreservoarer, eller føres til store havdyp.

Ulemper med denne prosessen er et komplisert teknisk anlegg og en dårligere totalvirkningsgrad for energiprosessen ettersom utskilling og komprimering av CO₂ er energikrevende. Rundt 25% av energien i naturgass vil gå til utskilling og komprimering.

Muligheten for produksjon av el på plattformer og utskilling av CO₂ i røkgassen som deretter injiseres i olje- eller gassreservoarer under utvinning er også lansert. Ref. /8/. Dette vil bidra til å øke produksjon av olje og gass, men oksygen i røkgassen vil bidra til å forringe kvaliteten på olje og gass i reservoirene.

Forringelsen skyldes at oksygenet bindes kjemisk til oljen, og til dels visse aerobe bakterier som spiser oljen.

Substitusjon av fossile brensler

Utslipp av CO₂ fra forskjellige fossile brensel er:

| | |
|-------------|-----------|
| - Kull | 385 g/kWh |
| - Olje | 270 g/kWh |
| - Naturgass | 200 g/kWh |

En substitusjon fra et fossilt brensel til et annet fossilt brensel med mindre utslipp pr. energienhet vil gi en viss reduksjon i CO₂-utslipp. En større reduksjon vil kunne oppnås ved å substituere fossile brensel med fornybare energiformer. De fleste kjeler er dimensjonert

for et brensel med en brennverdi og en spesifikk røkgassmengde. Konvertering for eksisterende kjelanlegg er derfor vanskelig. Konvertering fra olje til naturgass kan gjøres for eksisterende kjeler ved å bytte brenner.

Energipriser:

| | | | |
|-------------|----|-----------------|----|
| Tungolje LS | 20 | øre/kWh brensel | |
| Lettolje | 22 | " | |
| Naturgass | 10 | " | 1) |

1) med en gasspris på 1 kr/Sm³. Gassprisen vil være et forhandlingsspørsmål.

Virkningsgradsforbedrende tiltak:

En viss reduksjon i forbruk av fossile brensel kan oppnås ved å satse på prosesser som gir en best mulig energiutnyttelse.

Enøk-tiltak

En kan også oppnå en reduksjon i forbruk av fossile brensel ved å stimulere til enøk-tiltak.

Økonomiske virkemidler:

En kan oppnå en reduksjon i forbruk av fossilt brensel ved hjelp av økonomiske virkemidler. Eksempler på dette er økonomisk støtte til anlegg basert på fornybare energiressurser eller bruk av miljøavgifter.

For fyringsolje er det foreslått en CO₂ avgift på 30 øre pr. liter olje for 1991. I tillegg er det foreslått en grunnavgift på 32 øre pr. liter og 7 øre pr. liter for hver påbegynt 0,25% vektandel svovel i oljen.

Restriksjoner i forbruk av fossile brensel

En reduksjon kan oppnås ved restriksjoner fra myndigheter, disse kan gå på begrensninger i persontrafikk og krav til totalvirkningsgrad på energiprosesser som anvender fossilt brensel.

5. INDUSTRIELL ENERGIBRUK

5.1. Generelt

Energiforbruk til industrien utgjorde 37 % av netto innenlandsk sluttforbruk i 1987.

Energibalanse for Norge i 1987 oppgir følgende sluttforbruk for industri og bergverk. Ref. /9/.

| | |
|---------------------------|----------------|
| Kull | 5,0 TWh |
| Koks | 8,3 TWh |
| Ved, avlut, avfall | 4,7 TWh |
| Petroleumsprodukter | 10,6 TWh |
| Naturgass og andre gasser | 0,6 TWh |
| Elektrisitet | 43,9 TWh |
| <u>Fjernvarme</u> | <u>0,3 TWh</u> |
| Sum | 73,3 TWh |

Ulemper ved anvendelse av de fleste av disse produktene er belyst i kapittel 3. I tillegg kommer avlut og typisk avfall fra industrien.

5.2 Ulemper knyttet til bruk av avlut

Avlut produseres i sulfat- og sulfittfabrikker. Ref. /10/.

I sulfatfabrikker dannes svartlut (sulfatavlut) ved produksjon (sulfatkoking) av papirmasse.

Ved svartlutforbrenning i sodahus slippes svovel ut som natriumsulfat i røkgassene. Sulfatet er i partikkelform og kan fanges opp ved hjelp av partikkelrensing. Elektrofilter fjerner 95 - 99 % av støvet. Ytteligere fjerning kan gjøres med en skrubber (99,9 %).

Ved ufullstendig forbrenning slippes den illeluktende gassen H_2S ut. Utslipp kan hindres ved forbrenningsmessige tiltak.

Sulfatfabrikker slipper ut følgende:

- Til vann: Lut og kondensater, fiber og mesa.
- Til luft: Lukt, svovelholdige gasser og støv.

I sulfittfabrikker dannes sulfittavlut under kokeprosessen ved produksjon av cellulose.

Avluten forbrennes sammen med olje og energien benyttes til kokeprosessen, det gjennvinnes også kjemikalier som tilsettes kokingen. Ved gjenvinningsprosessen er det et visst utslipp av SO_2 til atmosfæren.

Ved cellulosefabrikker samles illeluktende og brennbare gasser i et oppsamlingssystem og forbrennes i en mesaovn. Støvet i en mesaovn binder luktstoffene, slik at fjerning av støv i røkgassene medfører også fjerning av luktstoffene.

Utslippene i forbindelse avlut som brensel, vil i hovedsak skje til luft.

Aktuelle rensemetoder er:

Multisyklon: Partikkelrensing, moderat rensegrad, rimelig rensemetode.

Elektrofilter: Partikkelrensing, bedre og dyrere rensing enn multisyklon.

Scrubber (vasketårn): Partikkel- og svovelrensing, mer komplisert anlegg med bedre rensegrad og høyere rensekostnader enn elektrofilter. Kfr. rensekostnader for biobrensel og avfall.

5.3 Ulemper knyttet til bruk av andre brensler i industrien

Ulemper knyttet til bruk av trebrensel er beskrevet i kapittel 3. For spillolje vil miljøkonsekvenser være omtrent som for olje.

Utnyttelse av spillvarme vil være et enøk-tiltak som vil redusere behov for bruk av andre energikilder og dermed miljøulempene knyttet til disse.

Anvendelse av lavtemperaturvarme vil kreve bruk av varmpumpe. Ulemper knyttet til enkelte arbeidsmedier for varmpumper er beskrevet i kapittel 3.

5.4 Rensekrav knyttet til industriell energibruk

SFT knytter krav til industriens utslipp til luft og vann. Utslipp til vann vil i hovedsak være knyttet til industriprosessen og ikke til energibruk.

Typiske tiltak for å redusere utslipp til luft som er knyttet til energibruk vil være:

- Følge opp utslippstillatelser
- Gjennomføre tiltak for å redusere SO₂
- Revidere utslippstillatelser som er over 10 år gamle
- Øke innsatsen på kontroll og oppfølging

Ref. /11/.

6. RENSEKOSTNADER

6.1 Generelt

Årlige renssekostnader (1990 - nivå) og tilhørende renssevirkningsgrader er vist i vedlegg 1-9.

For å finne renssekostnader har en tatt utgangspunkt i dagens teknologi og landbaserte anlegg.

Det er store variasjoner både i renssekostnader og renssevirkningsgrad for anlegg som i utgangspunktet skulle være sammenlignbare.

Vi har derfor lagt oss på en middelvei av de priser og renssevirkningsgrader som har vært tilgjengelige. I de tilfellene det bare er tilgjengelig underlag fra ett anlegg, har dette blitt benyttet for å komme frem til kurveforløpet.

Teknisk levetid varierer avhengig av anleggstype, den vil være fra 15 - 25 år.

For biobrenselanlegg, kullfyringsanlegg og oljefyringsanlegg er driftstid og brukstid satt lik 3000 timer/år (brukstid = driftstid dvs. konstant effektproduksjon).

For naturgass er brukstiden satt til 6000 timer ettersom naturgassdistribusjonen vil kreve tariffer med lang brukstid.

For avfall er brukstiden satt til 6000 timer grunnet kontinuerlig avfallstilgang.

Renssekostnader er beregnet pr. MWh innfyrt energi.

- Forutsetninger for bestemmelse av renssekostnader:

Kapitalkostnader:

- 7 % kalkulasjonsrente
- Avskrivningstid er satt til teknisk levetid og vil i praksis være fra 15 - 25 år

Driftskostnader:

- Bemanning
- Vedlikehold
- Forbruk av kjemikalier
- Elforbruk

Aktuelle energiprosesser:

Naturgass: Vann-/dampinjeksjon og lav-NO_x-brennere er aktuelt for mindre anlegg. For store anlegg benyttes SCR.

Oljeforbrenning: For små anlegg er rensekostnad iht. dagens krav lik null. For store anlegg kreves rensing av SO₂ og reduksjon av NO_x. Forbrenningsmessige tiltak er aktuelt med tanke på reduksjon av NO_x.

Kull: For små anlegg har en i dag rensekraft på partikkelrensing. For større anlegg kreves rensing av partikler, SO₂ og reduksjon av NO_x. Forbrenningsmessige tiltak er aktuelt med tanke på reduksjon av NO_x.

Avfallsforbrenning: Det kreves rensing av støv, HCl, og Hg for alle anlegg, samt SO₂ for større anlegg.

Varmepumpe: Arbeidsmedieproblematikk kan løses ved å gjøre bruk av alternative arbeidmedier (f.eks. ammoniakk).

Biobrensel: Dagens rensekraft er krav til partikkelrensing.

Støy: Økning i byggekostnad pga. støydemping.

6.2 Naturgass

Kostnader for reduksjon av utslipp er vist i vedlegg 1 og 2.

Ved el- og varmeproduksjon med naturgass som brensel benyttes følgende energiproduserende enheter:

- Gassturbiner
- Gassmotorer
- Gasskjeler

Naturgass betraktes som et rent brensel med lave utslipp i forhold til olje og kull. Problemområder er NO_x og CO₂.

Ved forbrenning av naturgass er det idag aktuelt å kreve redusert NO_x-utslipp. De mest utbredte reduksjonsmetodene er:

- * SCR (Selective Catalytic Reduction)
 - Kan benyttes til alle energiproduksjonsformer
- * Lav-NO_x brennere
 - Kan benyttes til gassturbiner og gasskjeler
- * Vann- og dampinjeksjon
 - Benyttes kun til gassturbiner

I en SCR katalysator tilføres røkgassen ammoniakk (NH₃) som reagerer kjemisk med røkgassene og danner rent nitrogen og vann. Normal garanti av ammoniakklekkasje er 10 ppmv. Vanligvis ligger utslippet under 5 ppmv.

Lekkasje av amoniakk betraktes som et problem ettersom NH₃ anses som mer skadelig enn NO_x. Man har derfor håp om at videre utvikling av lav-NO_x brennere vil gjøre SCR-prosessen overflødig.

Hensikten med lav-NO_x brennere er å redusere lav-NO_x v.h.a. en trinnvis lufttilførsel under forbrenningen. Utvikling av lav-NO_x brennere pågår i dag for flere typer industriturbiner og for naturgasskjeler.

Vann- og dampinjeksjon vil si innspruting av vann eller damp i brennkammeret i gassturbiner. Dette reduserer temperaturen i brennkammeret og dermed dannelsen av NO_x.

For et vanninjeksjonsanlegg vil en ha behov for filter, avsaltingsanlegg, pumper og tilkobling. Et anlegg for en 35 MW gassturbin som benytter ferskvann vil veie 2,0 - 2,5 ton uten vann. Vanninjeksjon vil gi noe dårligere virkningsgrad. For dampinjeksjonsanlegg vil det i tillegg være behov for en røkgasskjel, noe som vil bidra til et dyrere anlegg enn et vanninjeksjonsanlegg.

Ref. /14/,/15/,/16/

6.3 Forbrenning av olje

Rensevirkningsgraden ved bruk av ulike oljetyper og sjøvannsvasker er vist i vedlegg 3. En legger her merke til at lavsvovelig tungolje er rimeligere enn normalsvovelig tungolje.

NOx:

Redusert NOx dannelse og derav redusert NOx utslipp kan oppnås først og fremst gjennom forbrenningstekniske tiltak. Ref. /28/, /30/.

6.4 Forbrenning av kull

Støvkonsentrasjonen i urensset røykgass fra kullfyringsanlegg vil variere fra 0,2 til 50 g/Nm³, avhengig av forbrenningsmetode. De minste konsentrasjonene får man ved bruk av undermaterstokere, mens fluidized bed gir opptil 50 g/Nm³ når bedden er tilsatt kalk for å absorbere svoveloksid.

I vedlegg 4 er det forutsatt forbrenning med vandrerist der støvkonsentrasjonen normalt er 1 - 6 g/Nm³.

De høyeste rensekostnadene gjelder for små anlegg (1-3 MW), mens kurven for de laveste rensekostnadene gjelder for større anlegg (20 MW og oppover).

Svovelinholdet i kullet varierer fra 0,5 - 2 vektprosent. Normalt er kullprisen og leveringssikkerheten for kull med maksimalt svovelinhold lik 0,8 % S god. 0,8 % S i kullet er derfor lagt til grunn ved beregning av rensekostnad og rensegrad for SO₂ utslippet i urensset røykgass (vedlegg 5). Ref./3/,/23/

NOx:

Ved bruk av ristfyrte anlegg får man relativt lave NOx-utslipp. Ved slike anlegg er det også små muligheter for å regulere NOx-dannelsen. Tiltak som kjøring av lavt luftoverskudd og redusert forvarming av forbrenningsluften har gitt NOx reduksjoner i størrelsesorden 10 - 35 %. Ulempen er at disse tiltakene kan gi økte utslipp av karbonmonoksid (CO) og organiske forurensninger.

6.5 Avfallsforbrenning og anvendelse av deponigass

6.5.1 Avfallsforbrenning

Siden det er liten pris- og renevirkningsgradsforskjell mellom store og mindre avfallsforbrenningsanlegg som skal tilfredsstillende SFT's nye utslippskrav er det i denne sammenstillingen valgt å presentere anleggsstørrelsene under ett (vedlegg 6). Ref./26//29/.

Rensevirkningsgraden for avfallsforbrenningsanlegg med vaskere er noe usikker, siden verdiene kun er basert på målinger fra et anlegg (Haraldsrud).

Vi har forutsatt at Hg hovedsakelig er i dampfase og derfor er utskillingsgraden over elektrofilteret satt lik null. Ved vaskere taes Hg ut slik at man ikke overskrider SFT's utslippskrav.

CO

For å overholde SFT's CO krav lik 100 mg/Nm^3 betinger dette høy nok temperatur i sekundærkammeret, god innblanding av sekundærluft og lang nok oppholdstid i sekundærkammeret. Måleresultatene har vist at CO kravet som regel overholdes i de store anleggene, mens de små anleggene ofte overskrider dette kravet, typisk $150 - 1000 \text{ mg/Nm}^3$

Dioksiner

Reduksjon av dioksinutslipp ligger først og fremst under de forbrenningstekniske betingelsene.

Det optimale temperaturområde for dioksindannelse ligger fra $450-650 \text{ }^{\circ}\text{C}$. For at de mest stabile forbindelsene skal bli mest mulig destruert er det derfor viktig at temperaturen i sekundærkammeret er høy ($>900 \text{ }^{\circ}\text{C}$), at turbulensen under forbrenningen er god og at oppholdstiden er lang.

Selv ved høye forbrenningstemperaturer og gode forbrenningsforhold er det i enkelte tilfeller funnet høye dioksinkonsentrasjoner i utslippet.

Løsninger med tilsetninger av aktiv kull eller torvaske i røykgassen som skilles ut i etterfølgende tekstilfilter prøves nå ut og foreløpige målinger viser lovende resultat.

6.5.2 Anvendelse av deponigass

Anvendelse av deponigass vil bidra til å redusere miljøproblemer knyttet til avfallsdeponi. Miljøproblemer som reduseres er lokale problemer som lukt og globale problemer som drivhuseffekt pga. utslipp av metan.

Deponigass som utvinnes kan anvendes til varmereproduksjon i kjeler, eller til el og varmereproduksjon i gassmotorer.

Fremtidige krav om utslippsreduksjon av NOx vil kunne komme for gassmotorer.

Det er ikke regningssvarende å rense eksosen fra gassmotoren med dagens teknologi som er katalysator. Dette er fordi deponigassen inneholder forurensinger som etter kort tids drift vil danne belegg og sette katalysatoren ut av drift.

Derimot er det mulig å redusere utslipp av NOx ved hjelp av bedre kontroll med forbrenningen. Et styringssystem for måling av gasskvalitet og kontroll med forbrenningen vil komme på 400 kr/kW for et 150 kW aggregat. For større aggregat vil kostnaden være lavere.

I Norge finnes kun et anlegg med gassmotor i forbindelse med deponigass, og måling av utslipp til luft er ikke utført på anlegget.

6.6 Forbrenning av biobrensel

Normalt vil en multisyklon klare SFT's krav til partikkelrensing lik 250 mg/Nm³. Kravene kan skjerpes avhengig av geografisk beliggenhet og eksisterende miljøbelastninger i det aktuelle område hvor anlegget skal plasseres. Rensegrad og kostnader er vist i vedlegg 7. Ref./23/,/27/.

NOx:

Redusert utslipp av NOx betinger tiltak som reduserer dannelsen av termisk NOx.

Dette betyr at forbrenningstemperaturen må holdes lav ved at luftoverskuddet holdes på et minimum.

6.7 Varmepumper

6.7.1 Generelt

Varmepumpeanlegg til varmeproduksjon representerer både miljøgevinster og miljøulemper i forhold til alternative metoder å fremskaffe den samme energimengde.

I prinsipp er det ingen miljøulempe ved å anvende lavverdig energi (sjøvann, luft, kloakk, spillvarme etc.) for å dekke et varmebehov. Det kan derfor sies at miljøgevinsten er ekvivalent med miljøulempen som alternative oppdekningmetoder for det samme varmebehovet representerer.

Størrelsen på "miljøgevinsten" er gitt av varmepumpeanleggets effektfaktor (forholdet mellom varmeproduksjon og exergi (el) tilført anlegget) som er avhengig av temperatur- og effektbehov hos energimottager samt temperaturforhold på lavtemperaturkilden.

Varmepumpeanlegg representerer imidlertid også en miljøulempe ved at arbeidsmedier som benyttes i varmepumpeprosessen ofte har negativ miljøeffekt.

Vi vil i dette kapittelet ikke drøfte miljøgevinsten nærmere, den kan finnes annet sted i rapporten avhengig hvilket alternativ til varmepumpe som vurderes. Vi vil her konsentrere oss om miljøulemper ved varmepumpeanlegg og kostnader forbundet med å redusere eller unngå disse.

6.7.2 Varmepumper - miljøulemper

Tradisjonelt benyttes KFK - forbindelser (klor-fluor-karbon) som arbeidsmedier i varmepumpeanlegg. Disse mediene er de mest utsatte i den pågående debatten om ozon-nedbrytning og drivhuseffekt. Arbeidsmediet inngår i en lukket sirkelprosess og forbrukes ikke. Dårlige

rutiner for drift og vedlikehold, tekniske problemer med å gjøre anleggene helt lekkasjefrie og manglende destruksjonsanlegg for å ta seg av anlegg som er kondemnabile, gjør at utslipp av KFK - forbindelser til atmosfæren likevel ikke er ubetydelige. Dette er miljølempen tilknyttet bruk av varmpumpeanlegg.

Forholdet mellom drivhuseffekten for den mest aktuelle KFK - forbindelsen for varmpumpeformål og CO₂ er per vektenhet en faktor ca 12 000. Det betyr at utslipp på 1 kg KFK 12 er likeverdig med utslipp på ca 12 000 kg CO₂ som tilsvarer en varmeproduksjon fra oljefyring på ca 35 MWh.

Sammenlikner vi dette med varme produsert fra et KFK 12 varmpumpeanlegg betyr det at en lekkasje på ca 0,03 kg/MWh år representerer "oljefyringsekvivalent" med hensyn til drivhuseffekten.

For en varmpumpe på 5 MW med et KFK-innhold på 6 tonn og en lekkasje på 10 % pr. år, vil drivhuseffekten være den samme som for oljefyring med en tilsvarende effekt. Brukstiden for varmpumpen settes til 4 000 timer.

6.7.3 Reduksjon av miljølempen

Det er to prinsipielt forskjellige metoder å benytte for å redusere miljølempene knyttet til bruk av varmpumper.

- Gjøre anleggene sikrere mot lekkasjer under drift og vedlikehold.
- Benytte arbeidsmedier som representerer mindre eller ingen miljølempe

Bransjen har konsentrert seg om begge forholdene, men en langsiktig løsning ligger i arbeidsmedier med liten eller ingen miljølempe.

Vi tar utgangspunkt i at et KFK 12-anlegg (referanseanlegg med kondenseringstemp 70 °C) som er bygget med tilgjengelig utstyr for å redusere lekkasjemuligheter, tilfredstiller dagens krav fra SFT (KFK 12 blir sannsynligvis i prinsipp forbudt etter 01.01.91, men det vil kunne gis dispensasjon for varmpumpeanlegg). Forventet utslipp fra disse anlegg er 2 - 3 % av totalfyllingen

pr. år.

Med dette utgangspunkt vil vi påvise tiltak for å redusere miljøulempene ved hjelp av å benytte andre arbeidsmedier med mindre eller ingen miljøulempe. De mest aktuelle alternativene er R 717 (ammoniakk), HKFK 22, HFK 152 A og HFK 134 A.

- Ammoniakk er brukt i kjøleindustrien i over 100 år og er termodynamisk (energieffektivt) det beste av de aktuelle mediene. Det har ingen globale miljøulemper, men representerer en lokal ulempe ved at det er giftig og brennbart.
- HKFK 22 er også et mye brukt medie i kjøleindustrien og blir ansett som et av de viktigste mediene til erstatning for KFK 12 på kort sikt. Mediet har en ozon-nedbrytningseffekt på ca 5 % og et drivhuspotensiale på ca 10 % relativt KFK 12 (ref. atmosfærisk levetid)
- HKFK 152 A er mye brukt som komponent i blandingsmedier i varmepumpeanlegg. Erfaringene med å benytte det som rent arbeidsmedie er svært begrenset. Mediet har ingen ozon-nedbrytende effekt og har drivhuspotensiale på ca 1% relativt KFK 12.
- HFK 134 A er et medie som er utviklet for å erstatte KFK 12 direkte, men er ikke kommersielt tilgjengelig idag. Mediet har ingen ozon-nedbrytende effekt og har drivhuspotensiale på ca 8% relativt KFK 12. I tillegg har mediet et indirekte drivhuspotensiale på grunn av dårligere energieffektivitet enn de øvrige omtalte.

6.7.4 Kostnadskonsekvenser ved å redusere miljøulempen

Varmepumpeaggregater som kan benytte ovennevnte arbeidsmedier og kunne være en erstatning for referanseanlegget (KFK 12), har begrenset tilgjengelighet. Det betyr at det idag kun er et fåtall leverandører som kan tilby disse anlegg.

Det betyr videre at grunnlaget for å kostnadsbestemme disse tiltak/overganger til miljøvennlige arbeidsmedier er vanskelig. Benyttes innhentede priser på forskjellig utstyr vil resultatene bli svært usikre. På grunnlag av

teknisk innsikt i hvilke forandringer som en slik overgang representerer, kan imidlertid en grov kostnadsvurdering på hovedkomponentnivå gjøres.

En slik vurdering viser at anlegg som vil benytte de omtalte arbeidsmedier med mindre negativ miljøeffekt, ikke burde gi noen vesentlig kostnadskonsekvens i forhold til referanseanlegget (KFK 12).

Ammoniakk utpeker seg idag etter en totalvurdering, som det mest interessante medie både på kort og lang sikt og ammoniakkanlegg finnes tilgjengelig for flere anleggsstørrelser allerede. Miljølempen som ammoniakk representerer kompenseres ved mediets energi-effektivitet.

6.7.5 Kostnadskonsekvens som funksjon av redusert miljøbelastning

En grafisk fremstilling av kostnadskonsekvens som funksjon av redusert miljøbelastning er vist i vedlegg 8. En slik fremstilling er imidlertid ikke særlig hensiktsmessig, og må leses i nær tilknytning til ovennevnte vurderinger. Ref. /13/.

6.8 Støy

STØYDEMPING

GENERELT

Begrepet lyd kan enklest forstås som trykkbølger som forplanter seg i et medium f.eks. luft. Lyd er energi i form av trykkbølger som avgis fra viberende flater og legmer. Bølger kan sette nye flater og legmer i bevegelse f.eks. en veggkonstruksjon. Det er disse bølgene som skal hindres å trenge i gjenneom.

Det er to hovedprinsipper å gjøre dette på:

1. Reflektere lyden tilbake til det rommet den kommer i fra. Dette krever en konstruksjon som er vanskelig å sette i svingninger, altså en tung konstruksjon f.eks. betongvegger.

2. Absorbere lyden, dvs. at lydbølgene blir fanget opp av konstruksjonen. Energien går over i varme. Dette krever en konstruksjon som opptar lydbølgene, men som også demper dem før de slipper igjennom. Dette kan være en lett konstruksjon bestående av flere sikt f.eks. plater og Glava-matter.

Definisjoner:

Lydnivå: Lydens styrke som angis i dB(A), og sier at størrelsen er korrigert for ørets følsomhet for ulike frekvenser.

Ekvivalent lydnivå: Gjennomsnittelig lydnivå målt over en bestemt tid f.eks. et døgn. Angis i dB(A).

Lydtrykknivå: Lydstyrke som funksjon av de små trykkvariasjonene lyden lager i lufta. Angis i dB(A). Ikke korrigert for ørets følsomhet.

Luftlydisolasjon: En konstruksjons evne til å isolere mot lyd. I praksis er det forskjellen i lydtrykknivå på hver side av en skillekonstruksjon. Angis i dB(A).

Dersom en konstruksjons luftlydisolasjon måles i laboratorie betegnes verdien R_w . Høyere verdi gir bedre isolering

Kostnader - støydemping

Fra energiproduserende enheter har man følgende støykilder:

- Gassturbin
- Dampeturbin
- Vifter
- Kompressorer
- Pumper
- Brennere

Støyende anleggsdeler fundamenteres på en slik måte at ikke vibrasjonsstøy overføres fra komponenten til andre deler av anlegget (bygget).

Kostnadene for redusert støy er basert på følgende bygningmessige tiltak :

- Betongvegger
- Mineralulls-isolasjon

Grafisk presentasjon av kostnader for støyreduksjon er vist i vedlegg 9. Ref. /20/, /21/.

Støykrav fra SFT referert nærmeste bolighus er:

- maks. 50 dBA om dagen
- maks. 45 dBA om kvelden
- maks. 40 dBA om natten

Dersom en antar at et gassturbinanlegg på 33 MW med et støynivå på 80 dBA og at avstand til nærmeste bolighus er minimum 50 m, vil kostnaden for støydemping ligge på 0,014 - 0,016 øre/kWhel. Ref. /12/, /17/.

8. REFERANSELISTE

1. S. Hagen, SFT. Personlig meddelelse
2. A. Hoel, SFT. Personlig meddelelse
3. S. L. Bjørnstad, SFT, Forbrenning av kull i mindre kjeler. 1980.
4. S. Nåmdal, SFT. Personlig meddelelse
5. E. Gjerald, SFT. Personlig meddelelse
6. E. Vike, SFT, Forslag til forskrift om tilvirkning, innførsel, utførsel og bruk av klorfluorkarboner (KFK) og haloner. Notat
7. Miljø- og energifakta, håndbok for energiforsyningen 1991.
8. E. Lindeberg m.fl., SINTEF, Offshore gassproduksjon uten utslipp av drivhusgasser. Rapport nr. 34.2847/00/03/90.
9. Statistisk sentralbyrå, Energistatsikk 1988.
10. Treforedlingens yrkesopplæring. Miljøvern i treforedlingsindustrien. 1984.
11. SFT. Framtiden er nå! Et sammendrag av SFTs langtidsplanlegging 1990-1993.
12. Frank Henning Holm. Økonomi i byggesaker. 1983.
13. Hafslund Engineering. Alternative arbeidsmedier. 1990.
14. Weishaupt, Oslo. Kjøl-leverandør
15. Fläkt AB, Sverige. Leverandør av rensutstyr.
16. Div. gassturbinleverandører. ABB, Sverige.
DRP, Kongsberg.
Kværner, Oslo.
17. Statistisk sentralbyrå. Byggekostnadsindeks.
18. Caterpillar. Leverandør av gassmotor.

19. Lars Lind, Elkraft, Danmark. Personlig meddelelse
20. Berdal Strømme, Byggavdeling, Sandvika.
21. Glava byggisolasjon 1990, Glava A/S.
22. Sofie Kuhnbrant, Vattenfall, Sverige.
Personlig meddelelse
23. Lars Gøran Berg, Karlstad mekaniske verksted,
Sverige. Personlig meddelelse
24. Karl Sverre Trollnes, Saxlund, Risør.
Personlig meddelelse
25. Melåen, Flebu Ticon, Oslo.
26. Forbrenningsanlegg for avfall:
E. Evensen, Trondheim. Personlig meddelelse
Jan Stenmo, Senja. Personlig meddelelse
Erik Nilsen. Oslo renholdsverk.
Personlig meddelelse
27. Rolf Norddahl, Trysil tre frobrenningsanlegg, Trysil.
Personlig meddelelse
28. Inger Melby, Norsk Petroleumsinstitutt.
Personlig meddelelse
29. Åge Heie, Miljøplan, Høvik.
30. Ivar Nestås, Miljøplan, Høvik.

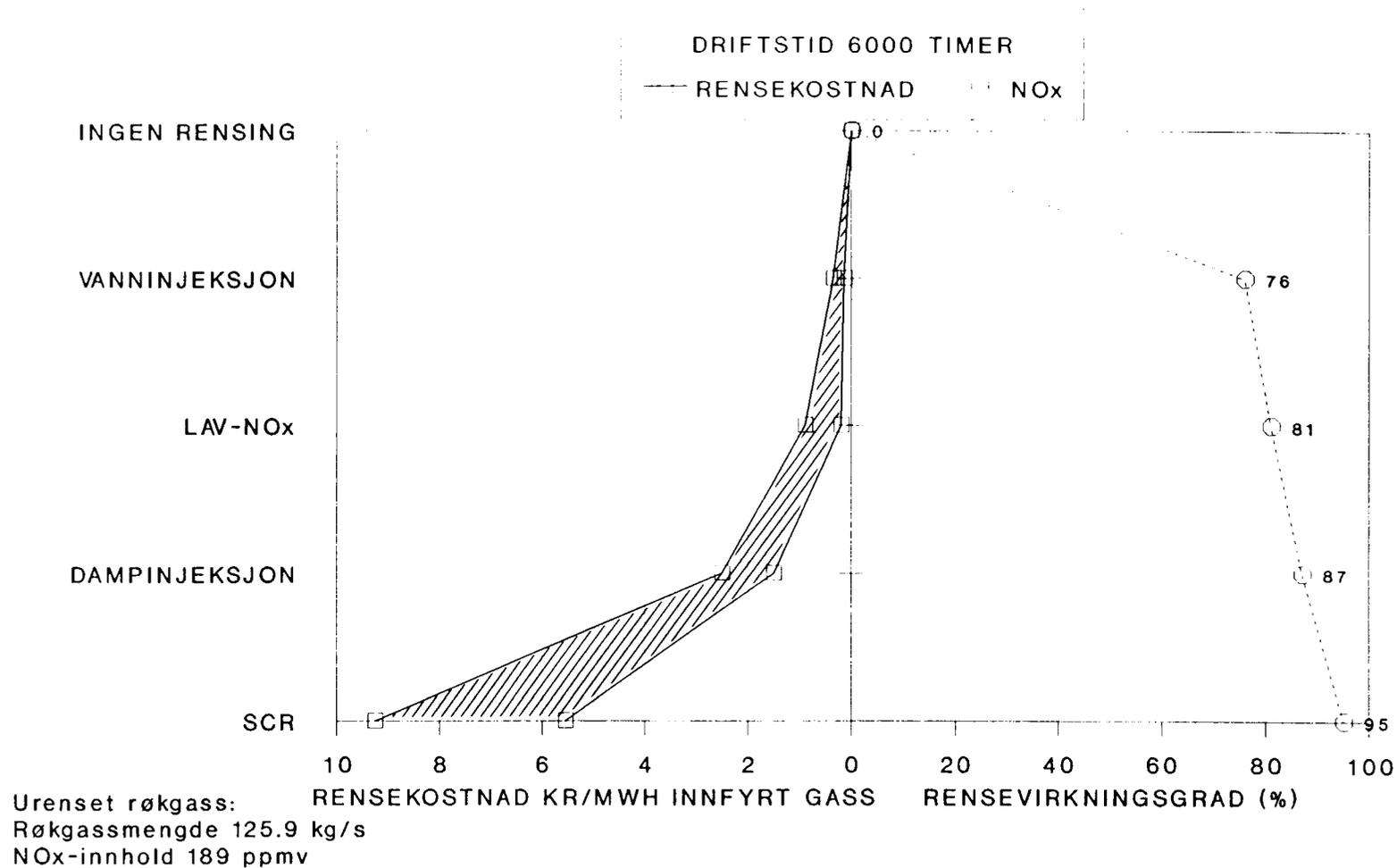
VEDLEGG 1

NO_x-RENSING FRA GASSTURBINER

RENSEKOSTNADER OG NO_x-UTSLIPP

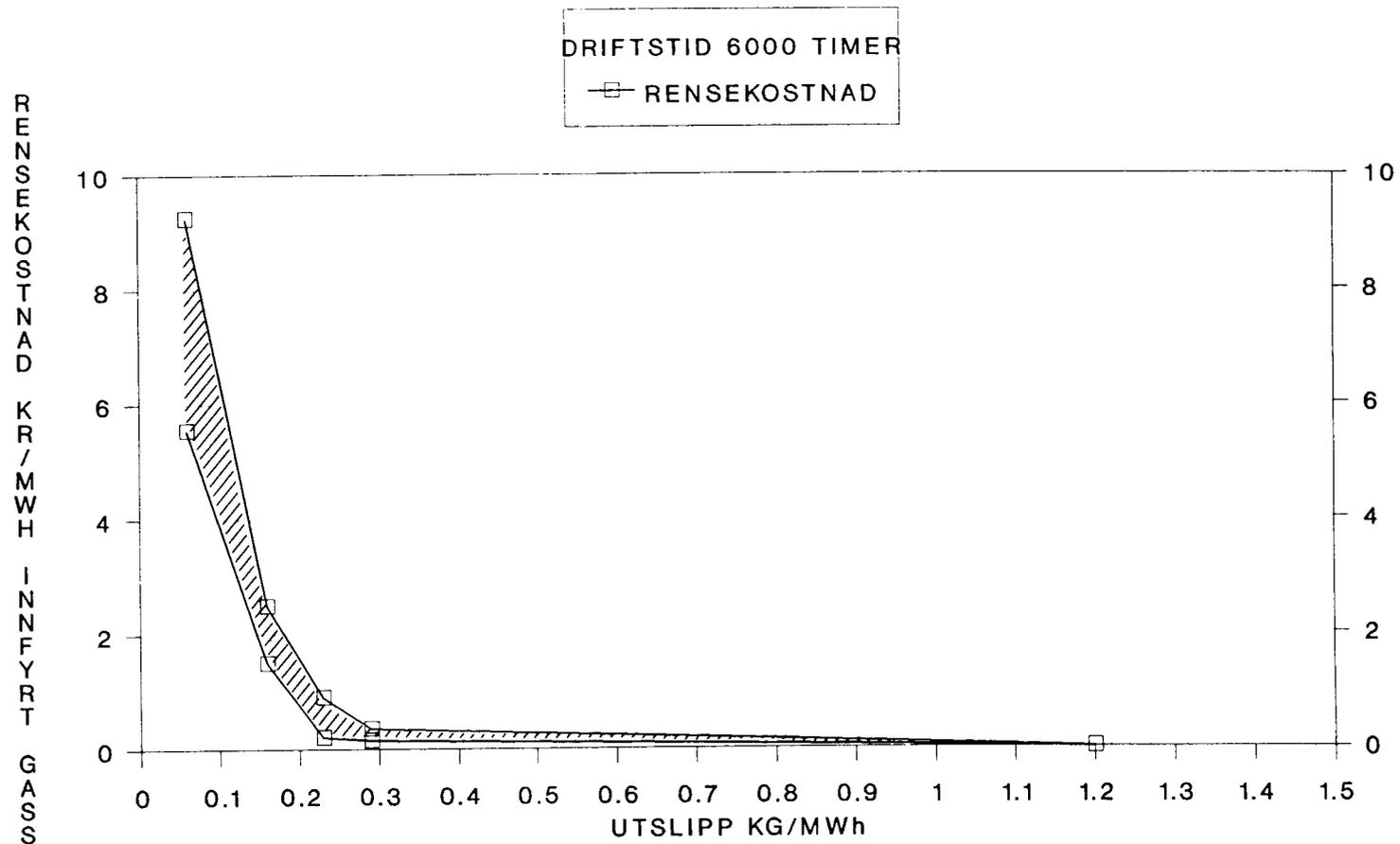
NATURGASSFYRT GASSTURBINANLEGG

RENSEKOSTNADER OG NO_x-UTSLIPP



NATURGASSFYRT GASSTURBINANLEGG

RENSEKOSTNADER OG NO_x-UTSLIPP



Urenset røkgass:

Røkgassmengde 125.9 kg/s

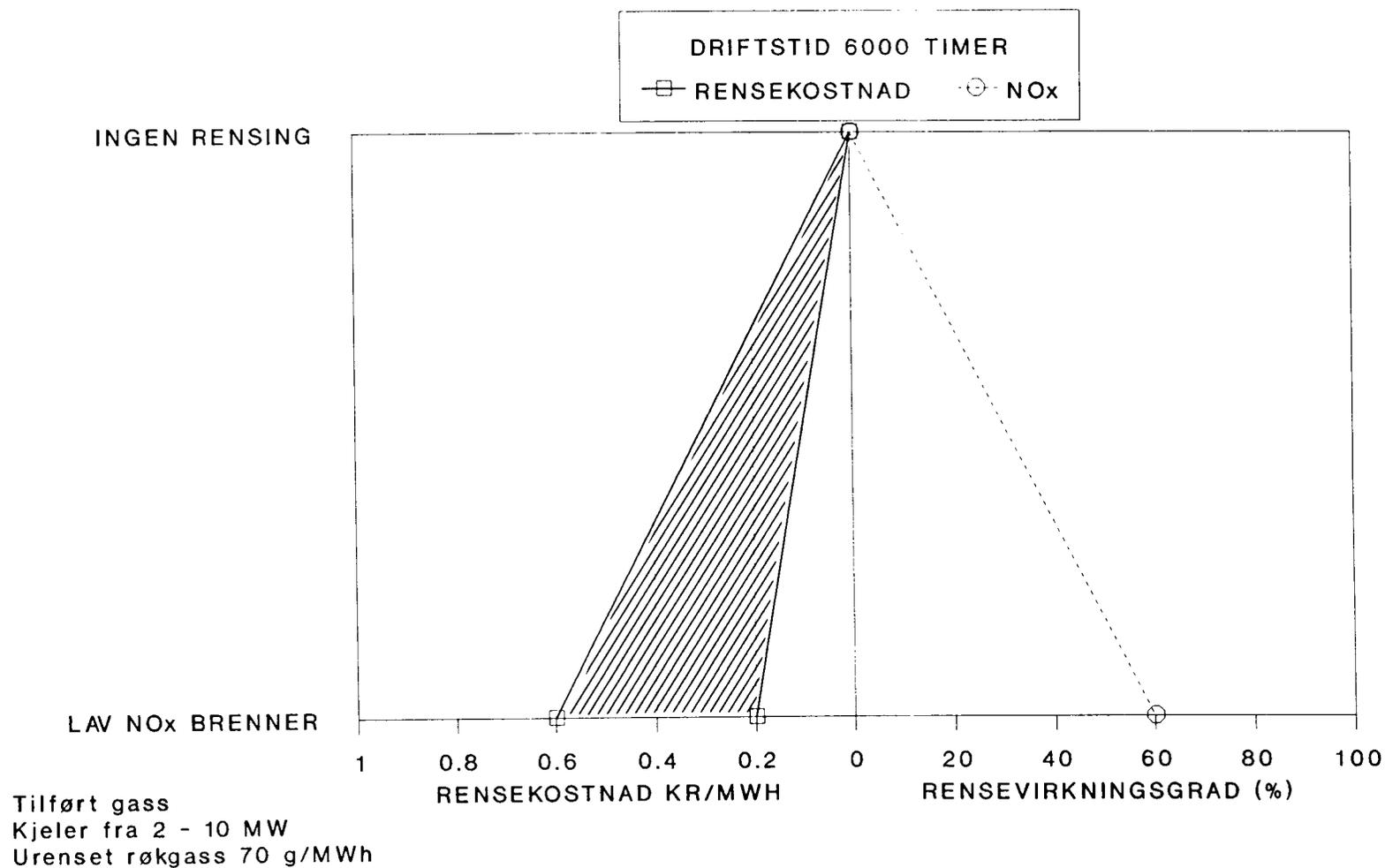
NO_x-innhold 189 ppmv = 1.2 KG/MWh

VEDLEGG 2

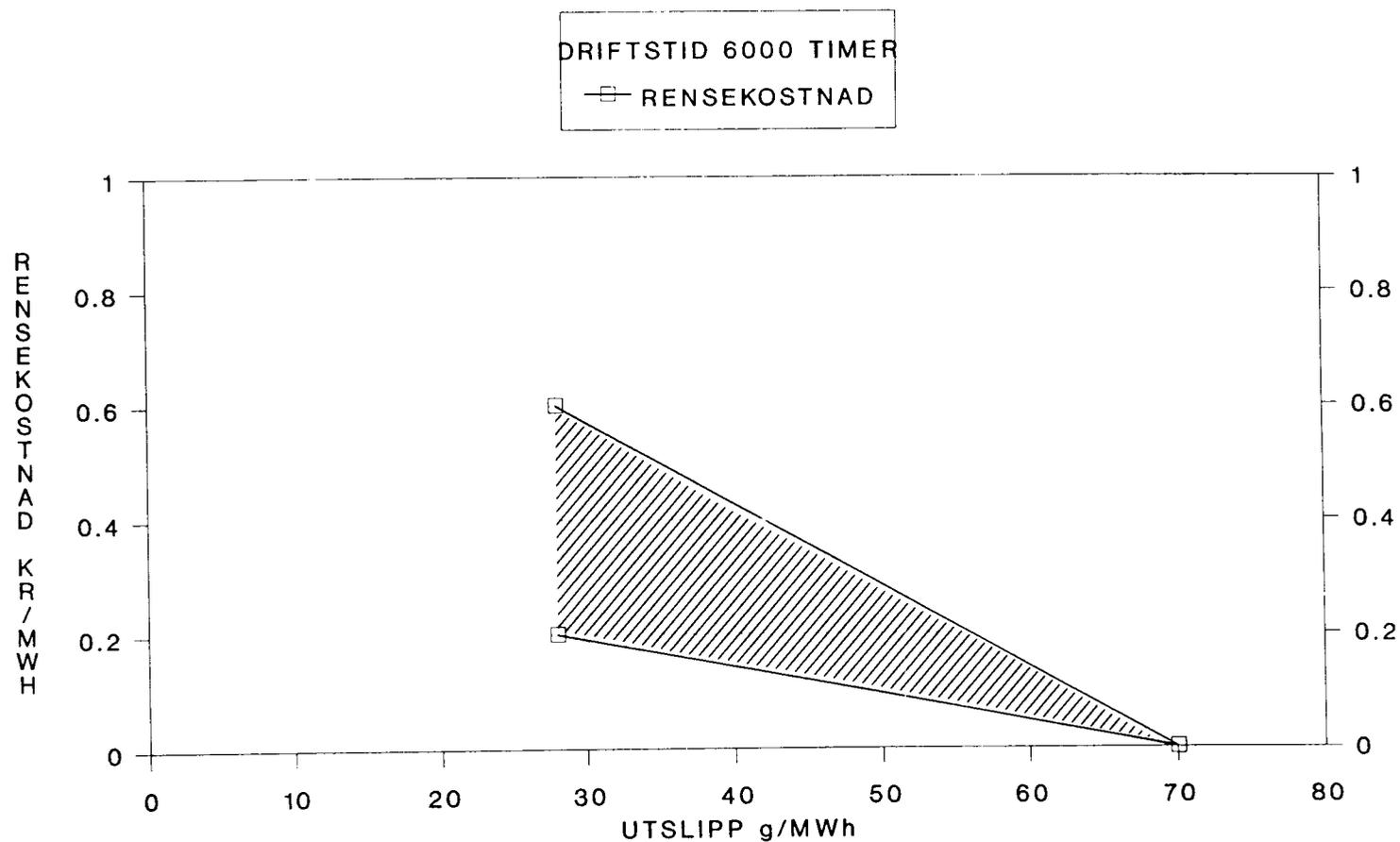
NATURGASSFYRT KJELANLEGG

RENSEKOSTNADER OG NO_x-UTSLIPP

NATURGASSFYRT KJELEANLEGG RENSEKOSTNADER OG NO_x-UTSLIPP



NATURGASSFYRT KJELANLEGG RENSEKOSTNADER OG NO_x-UTSLIPP



Tilført gass
Kjeler fra 2 - 10 MW
Urenset røkgass 70 g/MWh

VEDLEGG 3

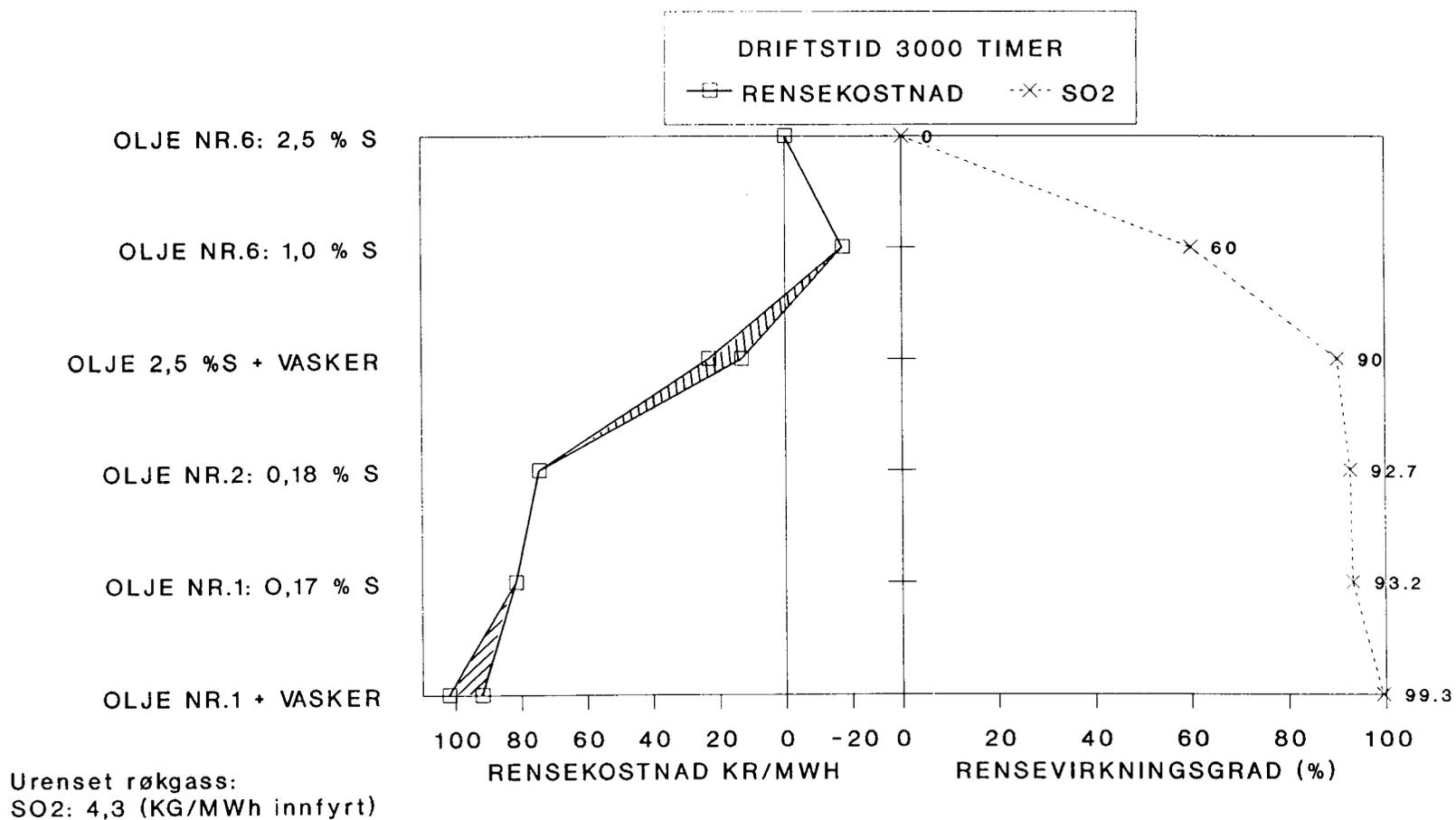
OLJEFYRING

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD

VED ULIKE OLJETYPER OG AVSVOVLINGSANLEGG

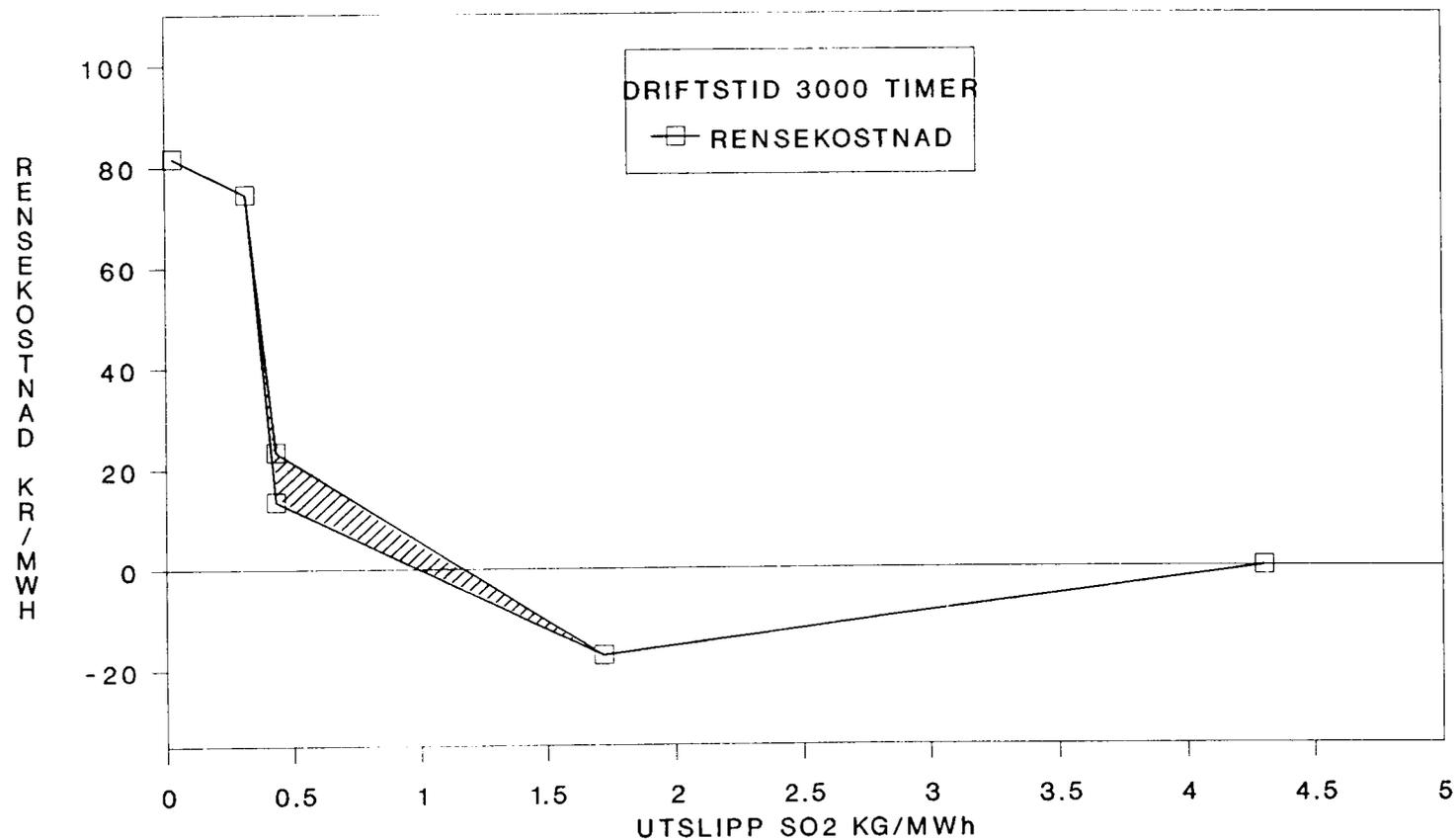
OLJEFYRING

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD VED ULIKE OLJETYPER OG AVSVOVLINGSANLEGG



OLJEFYRING

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD VED ULIKE OLJETYPER OG AVSVOVLINGSANLEGG



Urenset røkgass:
SO₂: 4,3 (KG/MWh innfyrt)

VEDLEGG 4

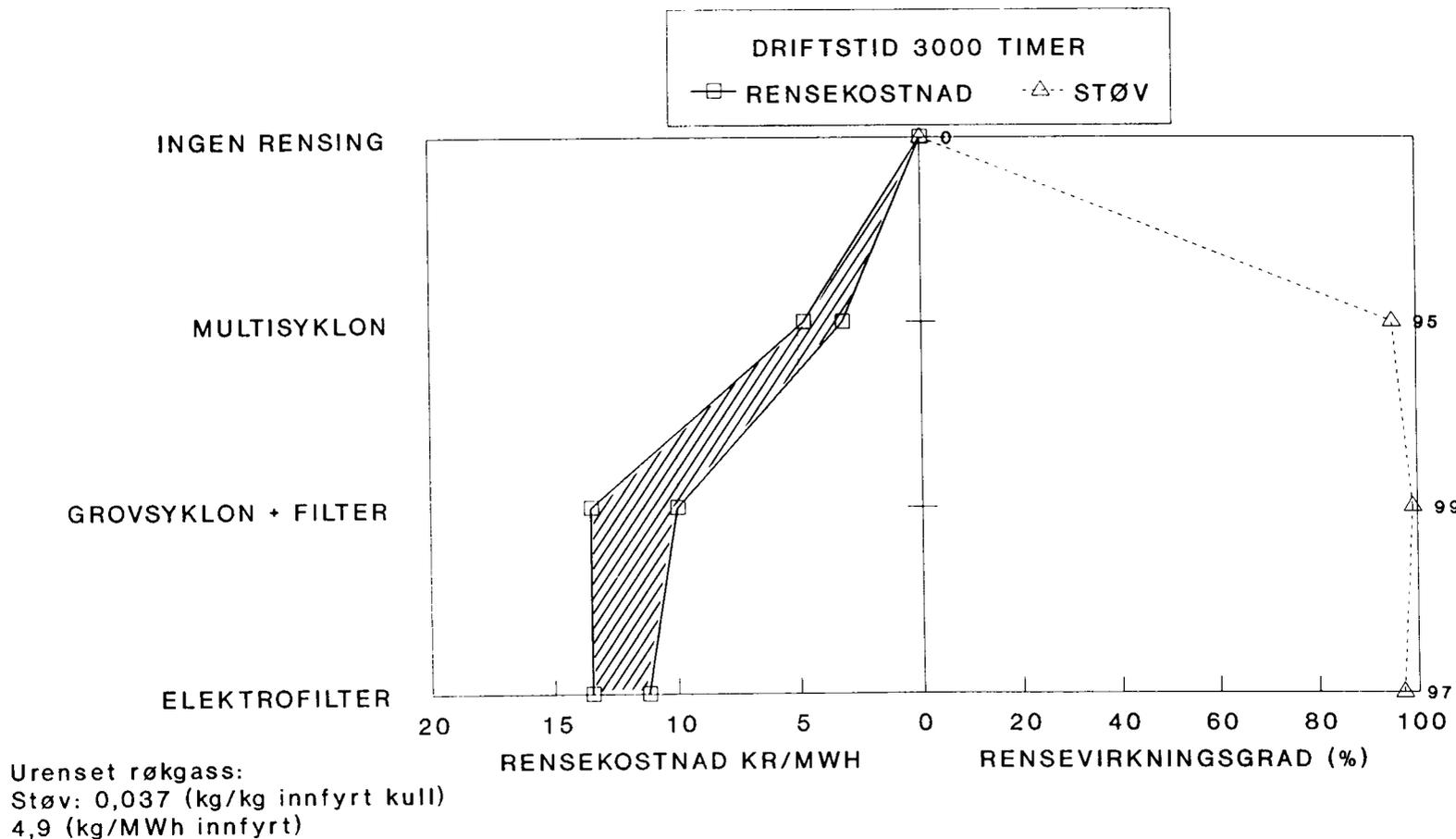
KULLFYRINGSANLEGG - VANDRERIST

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD

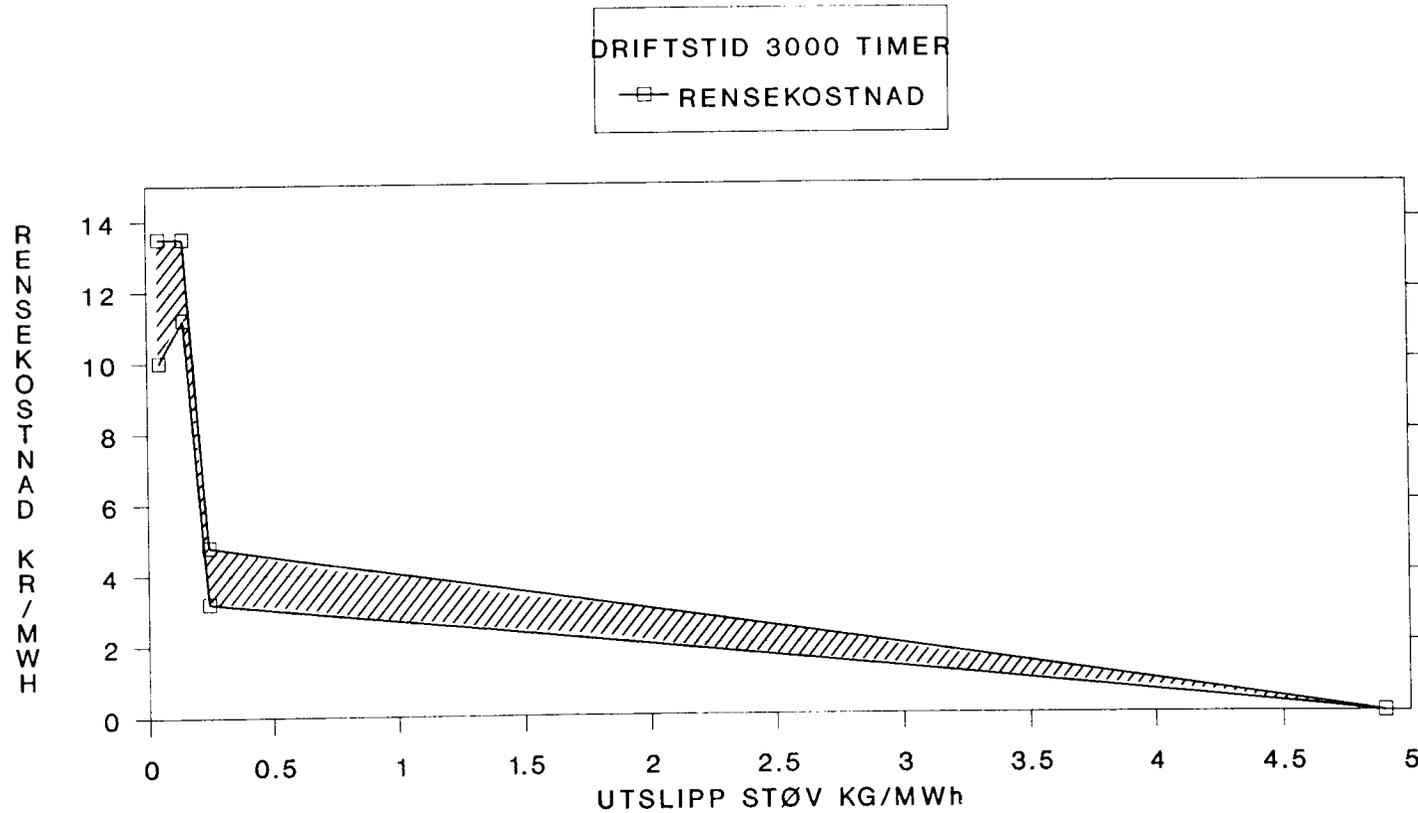
VED ULIKE RENSEANLEGG

KULLFYRINGSANLEGG - VANDRERIST

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD VED ULIKE RENSEANLEGG



KULLFYRINGSANLEGG - VANDRERIST RENSEKOSTNADER OG RENSEGRAD VED ULIKE RENSEANLEGG



Urenset røkgass:
Støv: 0,037 (kg/kg innfyrt kull)
4,9 (kg/MWh innfyrt)

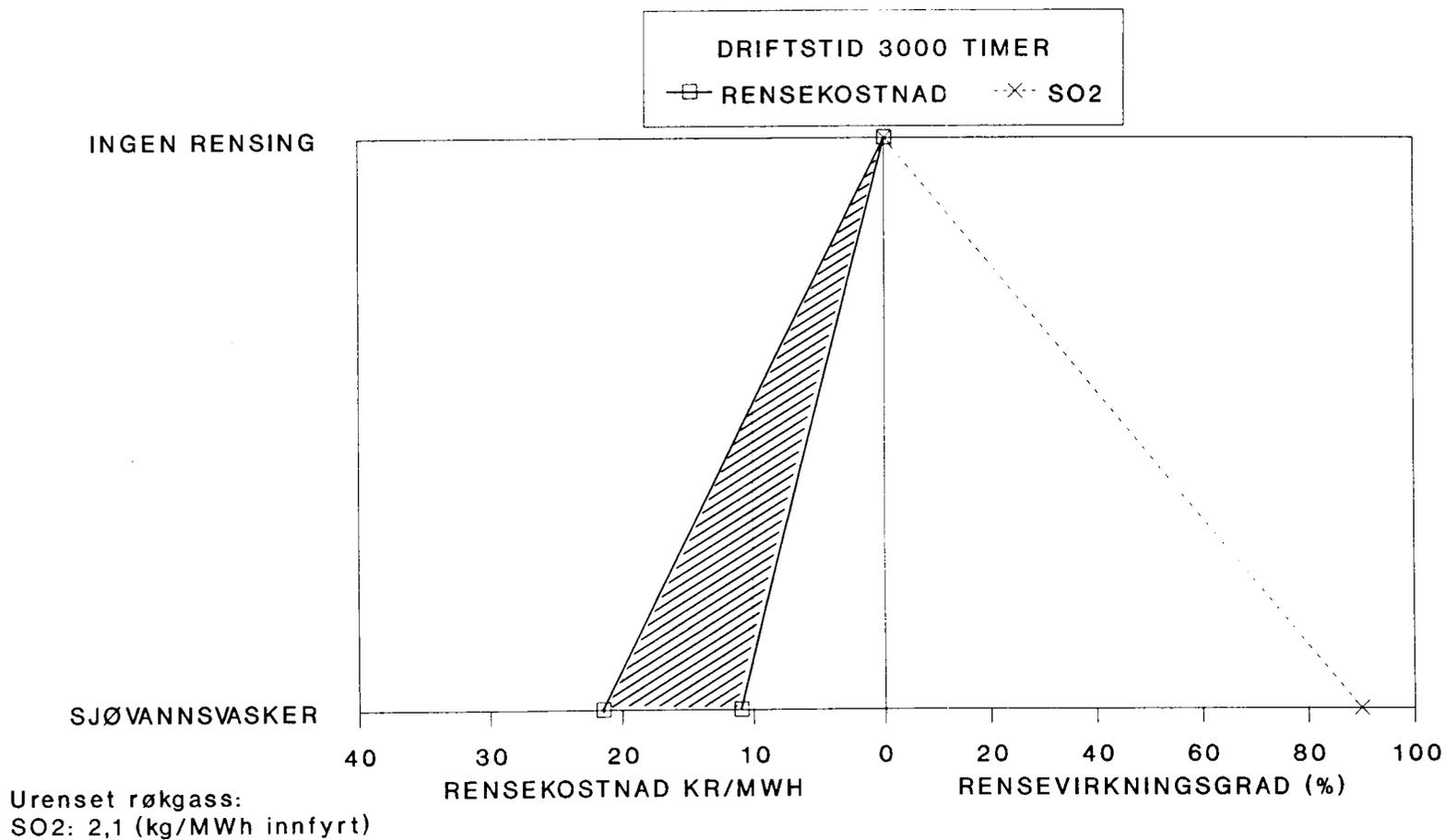
VEDLEGG 5

KULLFYRINGSANLEGG - VANDRERIST

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD

VED SJØVANNSVASKING

KULLFYRINGSANLEGG - VANDRERIST RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD VED SJØVANNSVASKING



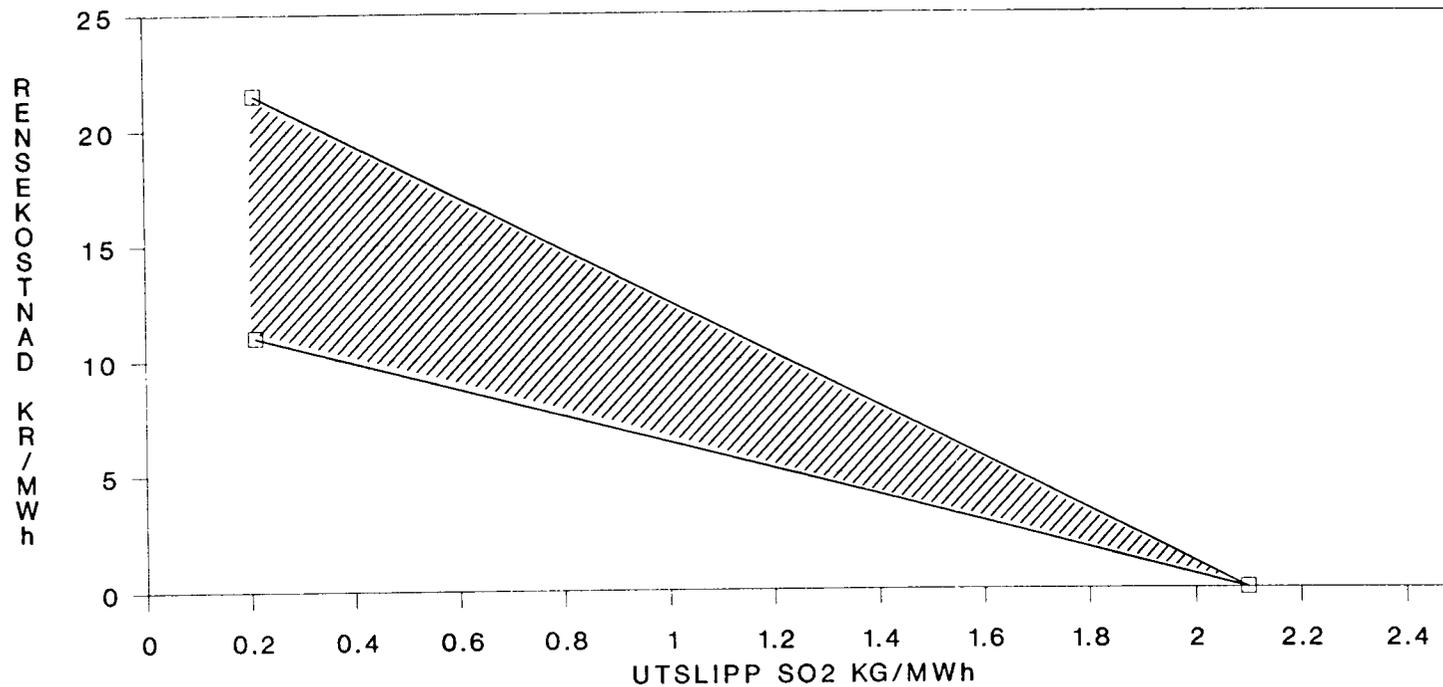
KULLFYRINGSANLEGG - VANDRERIST

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD

VED SJØVANNSVASKING

DRIFTSTID 3000 TIMER

—□— RENSEKOSTNAD



Urenset røkgass:
SO2: 2,1 (kg/MWh innfyrt)

VEDLEGG 6

AVFALLSFORBRENNINGSANLEGG

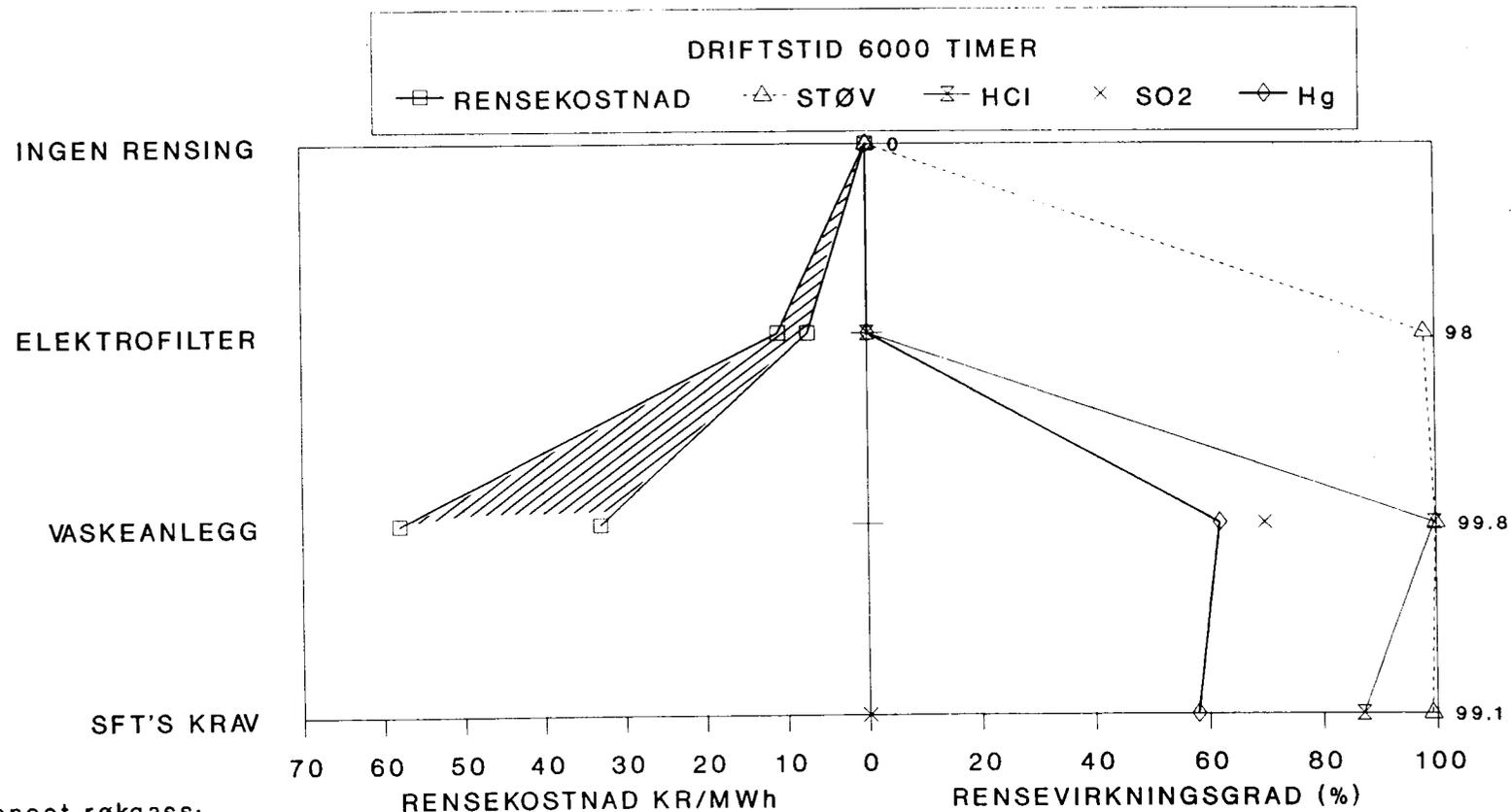
RENSEKOSTNADER OG VIRKNINGSGRADER

VED ULIKE RENSEANLEGG

AVFALLSFORBRENNINGSANLEGG

RENSEKOSTNADER OG VIRKNINGSGRADER

VED ULIKE RENSEANLEGG

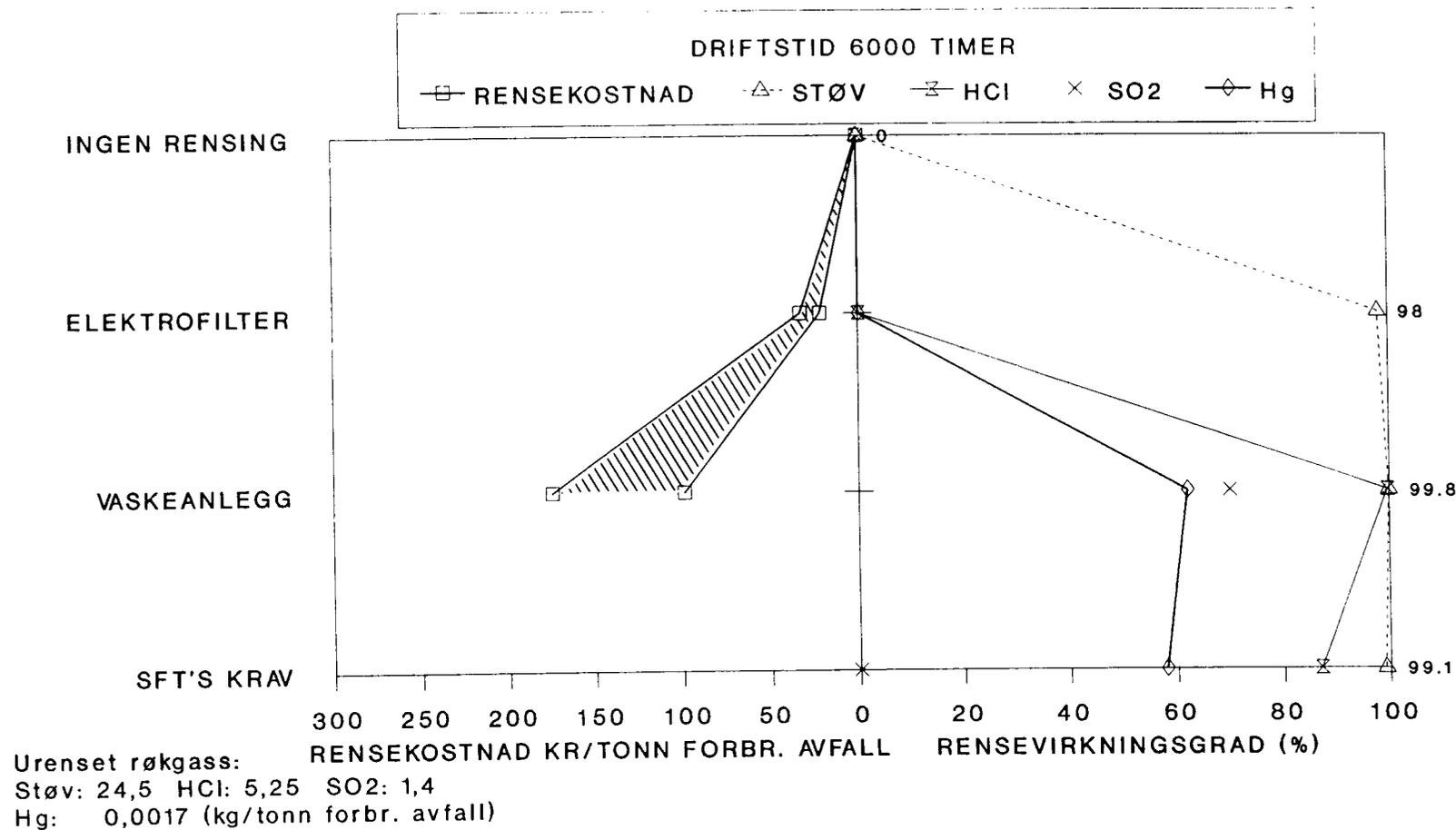


Urenset røkgass:
 Støv: 24,5 HCl: 5,25 SO₂: 1,4
 Hg: 0,0017 (kg/tonn forbr. avfall)

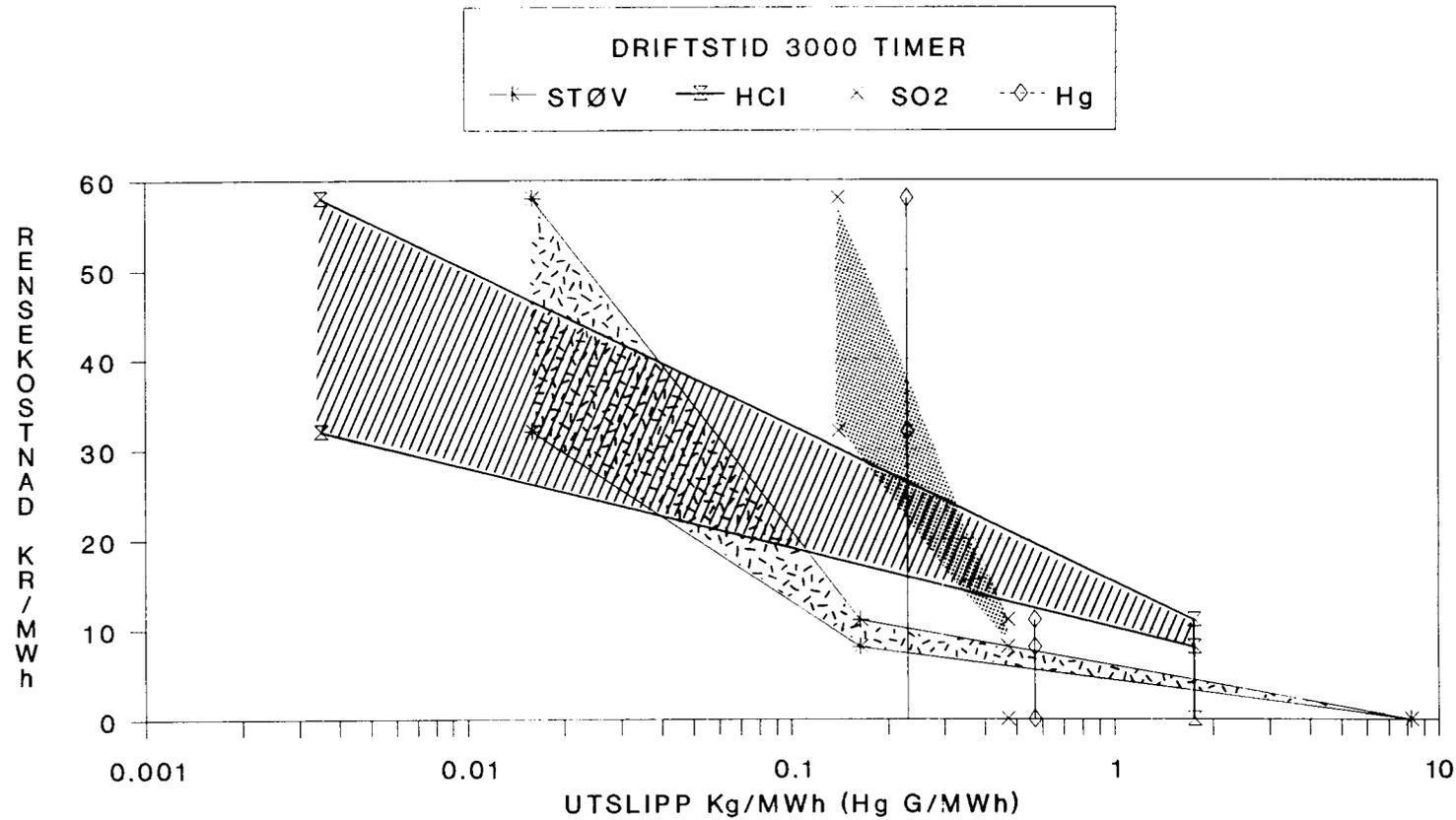
AVFALLSFORBRENNINGSANLEGG

RENSEKOSTNADER OG VIRKNINGSGRADER

VED ULIKE RENSEANLEGG



AVFALLSFORBRENNINGSANLEGG RENSEKOSTNADER FOR ULIKE STOFFER I RØKGASSEN



Urenset røkgass:
Støv: 24,5 HCl: 5,25 SO₂: 1,4
Hg: 0.0017 (Kg/tonn forbrent avfall)

VEDLEGG 7

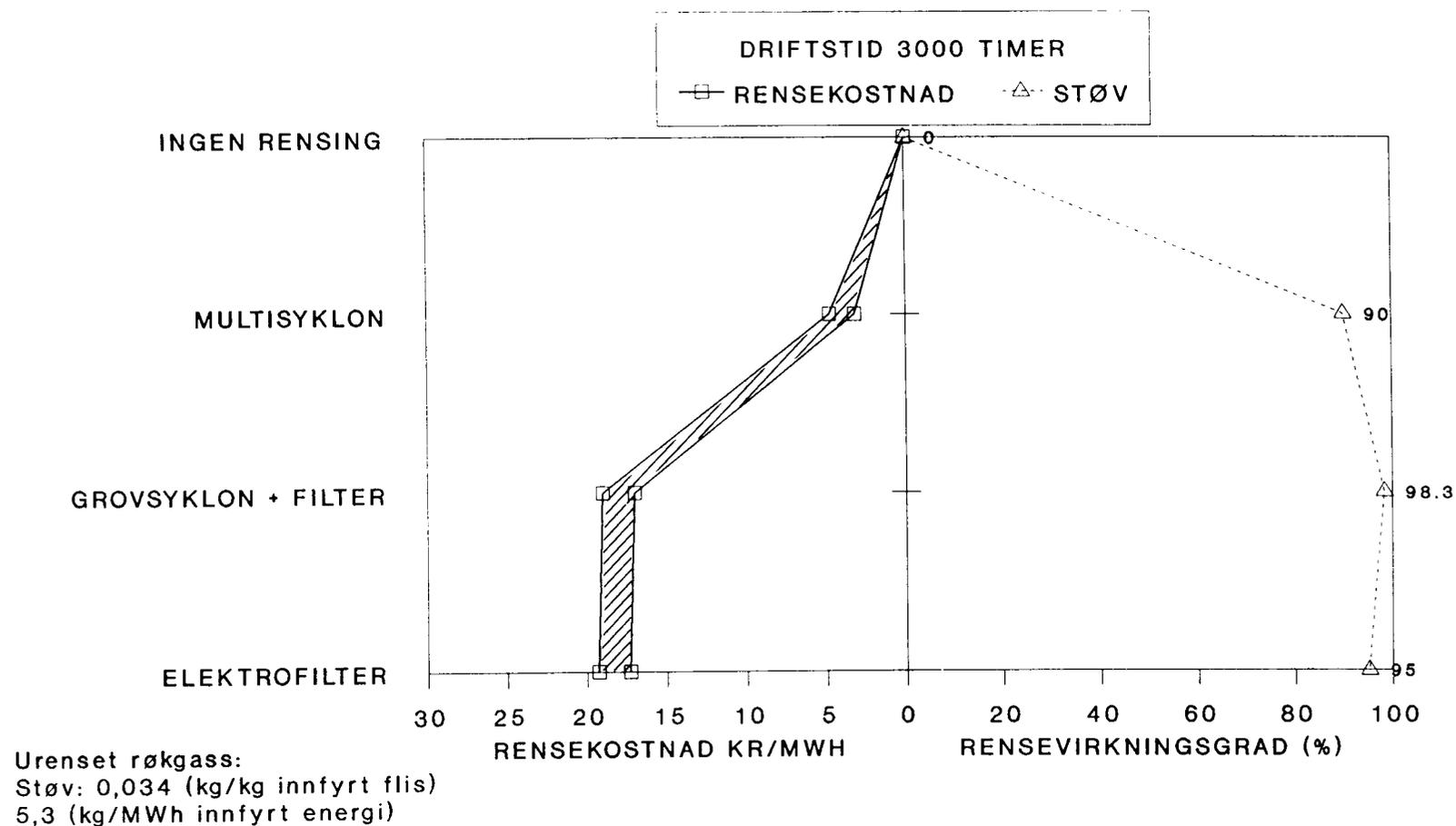
BIOBRENSELANLEGG

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD

VED ULIKE RENSEANLEGG

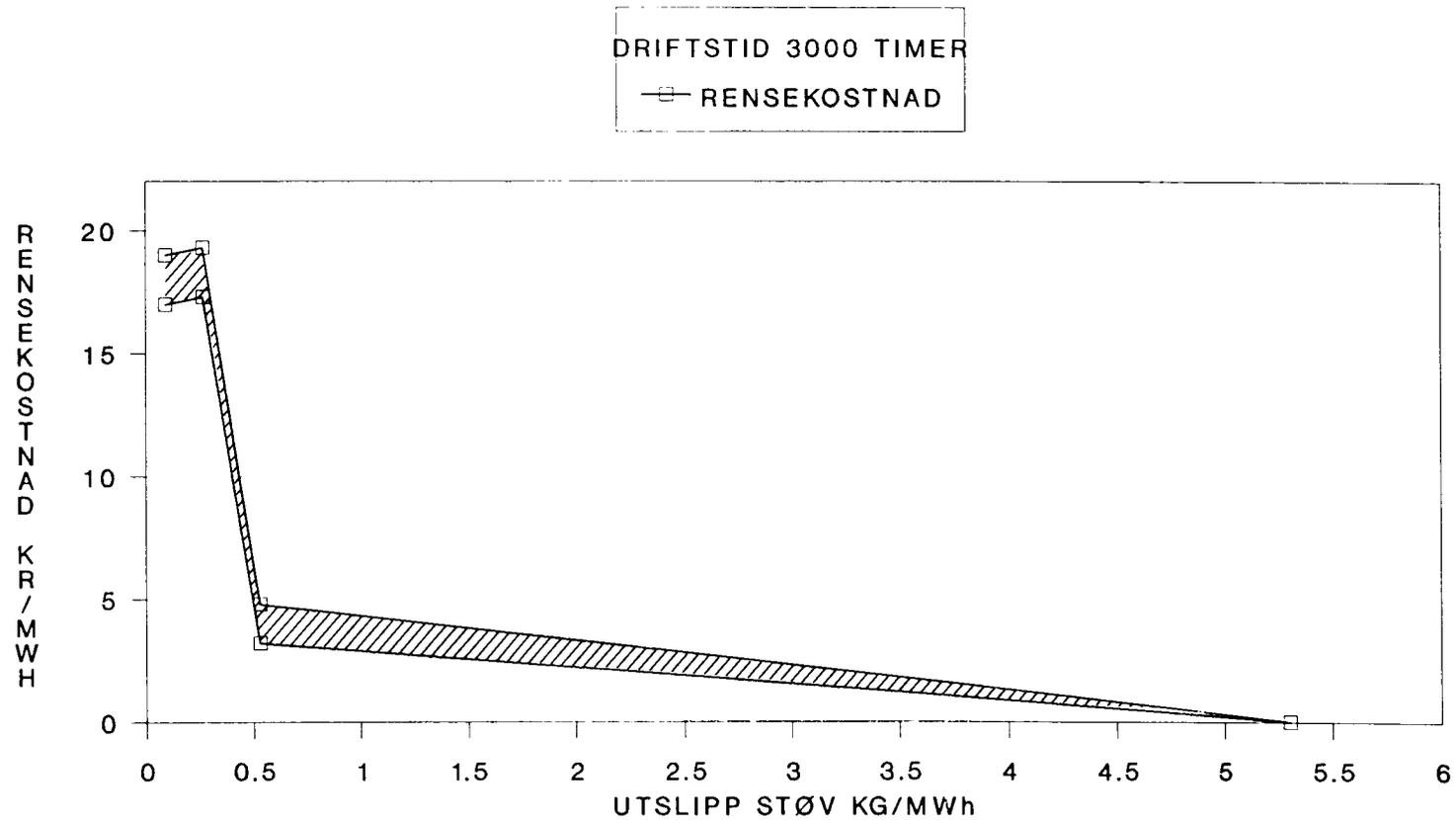
BIOBRENSELANLEGG

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD VED ULIKE RENSEANLEGG



BIOBRENSELANLEGG

RENSEKOSTNADER OG RENSEVIRKNINGSGRAD VED ULIKE RENSEANLEGG



Urenset røkgass:
Støv: 0,034 (kg/kg innfyrt flis)
5,3 (kg/MWh innfyrt energi)

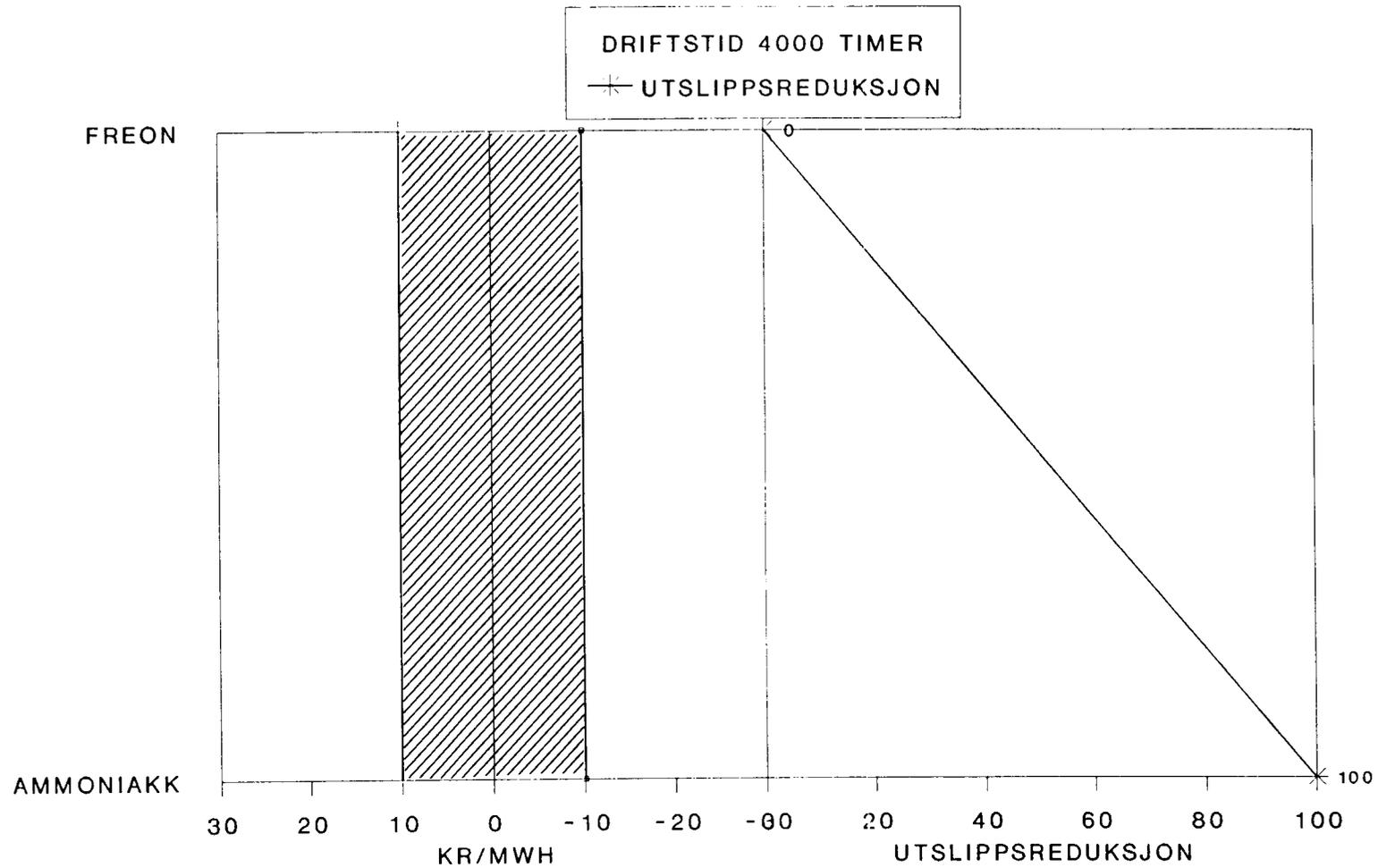
VEDLEGG 8

VARMEPUMPEANLEGG

OVERGANG FRA "FREON" TIL AMMONIAKK

SOM ARBEIDSMEDIUM

VARMEPUMPEANLEGG OVERGANG FRA "FREON" TIL AMMONIAKK



VEDLEGG 9

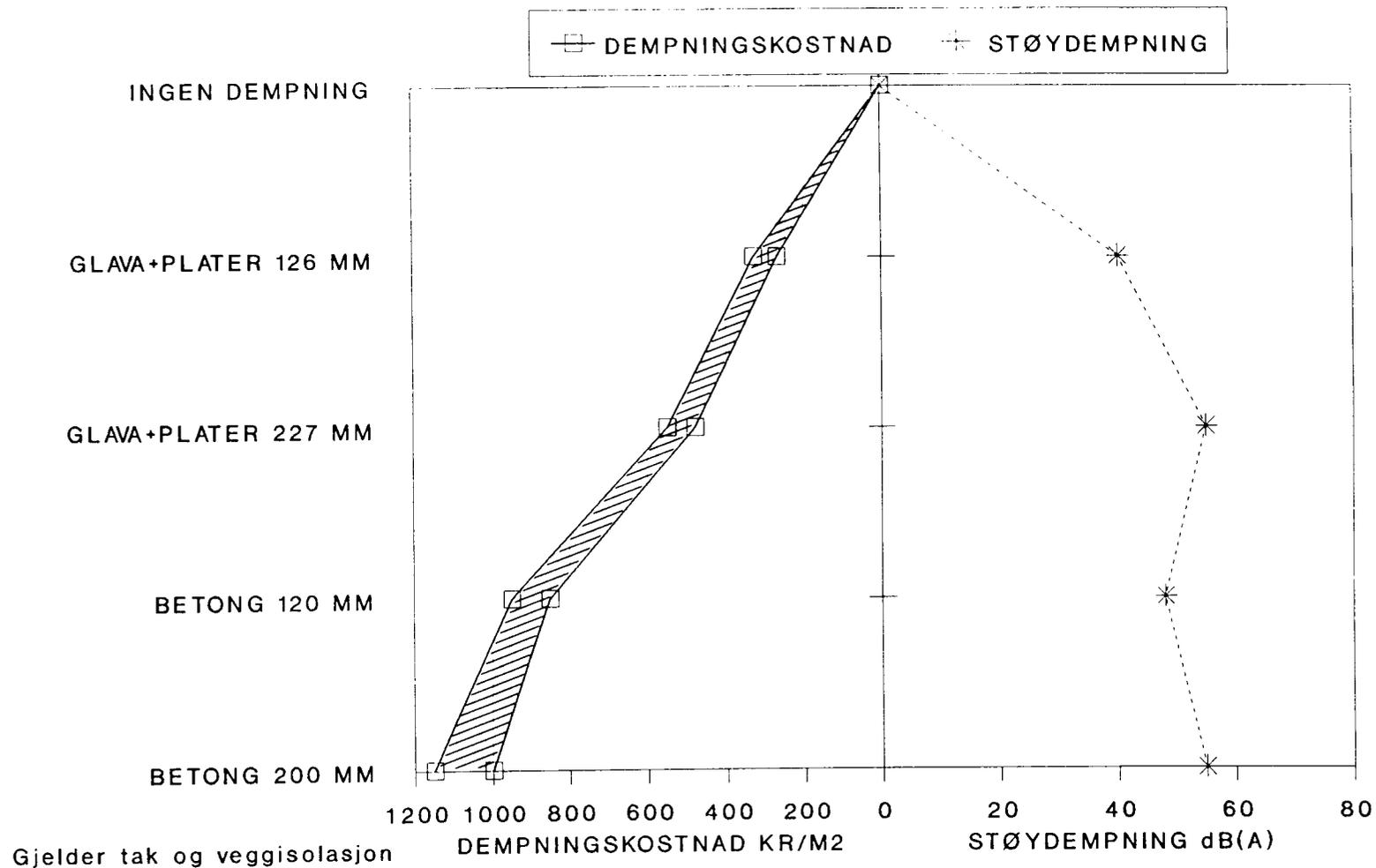
STØYDEMPNING - VARMEKRAFTVERK

KOSTNADER FOR ULIKE

DEMPNINGSMATERIALER

STØYDEMPNING - VARMEKRAFTVERK

KOSTNADER FOR ULIKE DEMPNINGSMATERIALER



VEDLEGG 10

DATA BRUKT I BEREGNINGENE

| Anleggstype | Driftstid (timer) | Kapitalkostnad (%) | Investering i rensing (kr/MW) |
|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Naturgass Kjeler | 6 000 | 100 | 15 000 |
| Elproduksjon | | | |
| Vanninjeksj. | 6 000 | 70 | 25 000 ¹ |
| Lav-NOx-br. | 6 000 | 100 | 100 000 ¹ |
| Dampinj. | 6 000 | 80 | 250 000 ¹ |
| SCR | 6 000 | 40 | 500 000 ¹ |
| Olje | | | |
| 2,5%+vasker | 3 000 | 75 | 200 000 |
| 0,1%+vasker | 3 000 | 75 | 200 000 |
| 0,1% | 3 000 | 0 | 0 |
| Kull | | | |
| Multisyklon | 3 000 | 70 | 100 000 |
| Tek.filter | 3 000 | 50 | 140 000 |
| Elfilter | 3 000 | 75 | 300 000 |
| Sj.vasking | 3 000 | 75 | 200 000 |
| Avfall | | | |
| Elfilter | 6 000 | 75 | 300 000 |
| Vaskeanlegg | 6 000 | 75 | 1 750 000 |
| Biobrensel | | | |
| Multisyklon | 3 000 | 70 | 100 000 |
| Elfilter | 3 000 | 75 | 300 000 |

¹⁾ kr/MW el

VEDLEGG 11

OMREGNING AV RØKGASSMENGDER

OMREGNINGSFAKTORER

OMREGNING AV RØKGASSMENGDER

OMREGNINGSFAKTORER:

ENERGIINNHold I BRENSSEL:

| | | | |
|-----------------|-----------|---|-------------|
| OLJE: | 43 MJ/KG | = | 11.9 KWH/KG |
| KULL: | 27 MJ/KG | = | 7.5 KWH/KG |
| NATURGASS: | 33 MJ/SM3 | = | 9.2 KWH/SM3 |
| NATURGASS: | 49 MJ/KG | = | 13.6 KWH/KG |
| PROPAN: | 46 MJ/KG | = | 12.8 KWH/KG |
| AVFALL: | 11 MJ/KG | = | 3.1 KWH/KG |
| FLIS/BARK 50 %: | 8 MJ/KG | = | 2.2 KWH/KG |
| FLIS/BARK 30 %: | 13 MJ/KG | = | 3.6 KWH/KG |

TYPISKE RØKGASSMENGDER (KJELER) PR. ENHET BRENSSEL:

| | |
|-----------------|--------------|
| OLJE: | 15.0 NM3/KG |
| KULL: | 10.0 NM3/KG |
| NATURGASS: | 15.0 NM3/KG |
| NATURGASS: | 10.0 NM3/SM3 |
| PROPAN: | 11.8 NM3/KG |
| AVFALL: | 6.0 NM3/KG |
| FLIS/BARK 50 %: | 4.2 NM3/KG |
| FLIS/BARK 30 %: | 5.6 NM3/KG |

OLJE:

| | | | |
|-----------|---------------|---|--------------|
| KRAV SOT: | 1.5 G/KG OLJE | = | 125.6 MG/KWH |
|-----------|---------------|---|--------------|

AVFALL (STORE ANLEGG):

| | | | |
|----------------|------------|---|--------------|
| KRAV STØV: | 30 MG/NM3 | = | 58.9 MG/KWH |
| KRAV HCL: | 100 MG/NM3 | = | 196.4 MG/KWH |
| KRAV SO2: | 300 MG/NM3 | = | 589.1 MG/KWH |
| KRAV CO: | 100 MG/NM3 | = | 196.4 MG/KWH |
| KRAV HG: | 0.1 MG/NM3 | = | 0.2 MG/KWH |
| KP AV DIOKSIN: | 2 NG/NM3 | = | 3.9 NG/KWH |

AVFALL (SMÅ ANLEGG):

| | | | |
|------------|------------|---|--------------|
| KRAV STØV: | 100 MG/NM3 | = | 196.4 MG/KWH |
| KRAV HCL: | 150 MG/NM3 | = | 294.5 MG/KWH |
| KRAV SO2: | 0 MG/NM3 | = | 0.0 MG/KWH |
| KRAV CO: | 100 MG/NM3 | = | 196.4 MG/KWH |
| KRAV HG: | 0.1 MG/NM3 | = | 0.2 MG/KWH |

KRAV DIOKSIN: 2 NG/NM3 = 3.9 NG/KWH

NATURGASS:

OMREGNING FRA PPM TIL MG/MJ:

VED 5 % O2: 1 PPM = 0.65 MG/MJ
VED 10 % O2: 1 PPM = 0.95 MG/MJ
VED 15 % O2: 30 PPM = 52.50 MG/MJ

OMREGNING FRA MG/MJ TIL MG/KWH:

1 MG/MJ = 3.6 KWH/MJ
52.50 MG/MJ = 188.99 KWH/MJ

KULL:

KRAV STØV: 175 MG/NM3 = 233.3 MG/KWH
KRAV SO2: 0 MG/NM3 = 0.0 MG/KWH
KRAV NOx: 0 MG/NM3 = 0.0 MG/KWH

FLIS/BARK 50 %:

KRAV STØV: 250 MG/NM3 = 472.5 MG/KW MULTISYKLON
KRAV STØV: 100 MG/NM3 = 189.0 MG/KW ELEKTROFILTER

FLIS/BARK 30 %:

KRAV STØV: 250 MG/NM3 = 387.7 MG/KW MULTISYKLON
KRAV STØV: 100 MG/NM3 = 155.1 MG/KW ELEKTROFILTER

Siste side
Intern informasjon

April 1991

Berdal Strømme a.s.

Rapportens tittel: Kvantifisering av miljølemper
ved ulike energiteknologier

Arkivnummer : 2656.754

Dokumentnavn: (SKJAE)KVANT-HOV-RAPP