

Miljøprojekt Nr. 592 2001

Indsamling og genanvendelse af SF6 fra elsektoren

Thomas Sander Poulsen
COWI A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
1.1 KORTLÆGNING	5
1.2 RENSNING AF SF ₆	5
1.3 INDSAMLINGSORDNING	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1.4 CHARTING	9
1.5 REGENERATION OF SF ₆	9
1.6 COLLECTION SYSTEM	10
2 INDLEDNING	13
2.1 FORMÅL	13
2.2 BAGGRUND	13
2.3 PROJEKTORGANISATION	14
3 ANVENDELSE AF SF₆ I ELSEKTOREN I ET GLOBALT PERSPEKTIV	15
3.1 INTERNATIONALE INITIATIVER TIL REDUKTION AF SF ₆ UDLEDNINGEN I ELSEKTOREN	16
3.1.1 EU	16
3.1.2 USA	16
3.1.3 Tyskland	17
3.1.4 Storbritannien	18
3.1.5 Norge	18
3.1.6 Danmark	18
4 FORBRUG OG EMISSIONER AF SF₆ I ELSEKTOREN	19
4.1 SF ₆ -ANLÆG OG EMISSIONER	19
4.1.1 Lastadskillere i netstationer	19
4.1.2 SF ₆ afbrydere i friluftstationer (AIS)	20
4.1.3 GIS-anlæg	21
4.2 EMISSIONER	21
4.3 NUVÆRENDE HÅNDTERING AF SF ₆	22
4.3.1 Revision og driftsforstyrrelser	22
4.3.2 Håndtering af trykflasker	23
5 KORTLÆGNING AF SF₆ FORBRUGET	25
5.1 SF ₆ ANLÆG INSTALLERET I DEN DANSKE ELSEKTOR	25
5.2 FORBRUG OG BORTSKAFFELSE AF SF ₆	27
5.3 KORTLÆGNINGENS RESULTATER	28
5.3.1 Elsektorens interesse for en indsamlingsordning	29
6 GENANVENDELSE AF SF₆	31
6.1 RENSEPRINCIP	31
6.2 TESTRESULTATER	33
6.2.1 SF ₆ -kvalitet	33
6.3 TEKNISKE BEGRÆNSNINGER	34

7	INDSAMLINGSORDNING FOR ELSEKTOREN	37
7.1	DET UMIDDELBARE POTENTIALE FOR EN INDSAMLINGSORDNING	37
7.2	GENERELLE FORUDSÆTNINGER	38
7.3	LOGISTIK	39
7.3.1	<i>Årlig gasmængde til indsamlingsordningen</i>	40
7.4	RENTABILITET	41
7.4.1	<i>Regenerering i forbindelse med bortskaffelse af udstyr og komponenter</i>	42
7.5	FØRSLAG TIL EN INDSAMLINGSORDNING	43
8	REFERENCELISTE	45

BILAG A SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE

Sammenfatning og konklusioner

1.1 Kortlægning

I dette projekt er der gennemført en kortlægning af den danske elsektor, hvor forbruget af SF₆ i branchen er blevet belyst detaljeret. I samarbejde med Danske Energiselskabers Forening (DEF) er 97 selskaber i elsektoren identificeret som virksomheder der potentielt forbruger og håndterer SF₆. Ved hjælp af en spørgeskema-undersøgelse, hvor der blev opnået en svarprocent på 100, er virksomhedernes forbrug af SF₆ etc. kortlagt og det har givet det bedst tænkelige arbejdsgrundlag for udvikling af en indsamlingsordning.

Af undersøgelsen fremgår det, at 42 virksomheder i elsektoren har SF₆ afbrydere hvor aftapning og håndtering af SF₆ kan være påkrævet. Den samlede installerede mængde hos disse virksomheder er ca. 39 tons SF₆ ud af i alt ca. 56 tons som er den totale installerede mængde SF₆ i den danske elsektor. Af disse 42 virksomheder har 17 virksomheder med en installeret mængde på over 100 kg SF₆ pr. virksomhed. En ordning, hvor SF₆ indsamles hos virksomhederne og renses vurderes først og fremmest at være relevant for disse 17 virksomheder.

Aftapning af SF₆ gas i 1999 er kun sket hos under 20 af de 97 medlemmer hos DEF. Ca. 70 har direkte svaret nej til at der sker aftapning af SF₆ på virksomheden. De samlede installerede SF₆ mængder ligger på mellem 0,2 og 8 tons, hos de respondenter, hvor der sker en aftapning, ligesom aftapningen kun omfatter SF₆-afbrydere fra 50 - 400 kV samt GIS-anlæg. Aftapningen udføres oftest af virksomheden selv og i mindre udstrækning af eksterne i form af leverandører/servicefolk.

1.2 Rensning af SF₆

Der er blevet udviklet et rensekoncept der kan rense gas forurenede med fugt, partikler, svovl, fluorider og øvrige relevante forureningskomponenter. Det grundlæggende renseprincip er et aluminiumsbaseret molekylarfilter til at fjerne fugt og fluorid-urenheder fra gassen.

Ved testkørsler på anlægget blev der renses SF₆ fra en flaske med over 50% luftindhold. Dette bevirkede en meget lang gennemløbstid med en rensehastighed på 0,1-0,3 kg/h og et relativt stort tab af SF₆. Ved regenerering med en flaske med 1,4% luft var rensehastigheden 7,1 kg/h. Denne luftkoncentration forventes at være repræsentativ for korrekt aftappet gas fra elforsyningsvirksomheder. På basis af disse erfaringer er det nødvendigt at stille visse krav til, hvordan gassen aftappes på virksomhederne så det sikres at der ikke er en uforholdsmæssig stor mængde luft i den forurenede gas. Af hensyn til rensesetider og ressourceforbrug bør luftindholdet ikke være større end at gennemløbstiden for renseprocessen som minimum er 5 kg/h.

Renset SF₆ der er fremstillet i anlægstestene er blevet kvalitativt analyseret af et eksternt laboratorium og kvantitativt analyseret på anlæggets indbyggede O₂

og H₂O-analysator. Analyseresultaterne kan groft summeres ved nedenstående.

- Alle de rensede flasker med SF₆ indeholder udover SF₆ urenhederne luft (O₂, N₂), H₂O og CO₂.
- H₂O er kvantitativt analyseret på eget laboratorium og her fremkommer analyseværdier fra 3 ppm til 28 ppm (krav < 15 ppm). H₂O-værdien i den rensede SF₆ er særdeles afhængig af trykflaskens præparering.
- O₂ som også er kvantitativt analyseret opnår værdier på 50 ppm til 90 ppm. Dette modsvarer et luftindhold på 250 ppm til ca. 450 ppm (krav < 500 ppm)

Øvrige forureninger er kvalitativt bestemt ved EIC-analyser (EIC er en standard for målemetode). Det gælder for alle disse urenheder, at der konstateres meget små mængder tæt på detektionsgrænserne, hvorfor det på den baggrund forventes at kunne overholde renhedskravet som er en målsætning om rensesgrad på > 99,9%.

På baggrund af de gennemførte testresultater er konklusionen, at rensning af SF₆ til en rensesgrad på > 99,9% af forureningskomponenterne er mulig med den udviklede renseteknik i projektet. Den rensede SF₆ vil opfylde de gældende kvalitetskrav til SF₆ gas der anvendes i effektafbrydere og udgør derfor et kommercielt alternativ til ny SF₆ gas.

1.3 Indsamlingsordning

Det umiddelbare potentiale for indsamling af gas til rensning er 200-400 kg/år. Det er den mængde, som elselskaberne forventer at aftappe årligt på flasker. Dette er dog kun en mindre mængde af den gas der reelt forbruges i elsektoren på årsbasis til påfyldning af nyanlæg eller til genpåfyldning af eksisterende anlæg i forbindelse med revisioner eller driftsforstyrrelser. Dette forbrug er i størrelsesordenen 1.500-2000 kg/år excl. påfyldning af ny-installerede GIS-anlæg. Det vil sige at behovet for renses gas i princippet er større end den mængde der må forventes at kunne indsamles de første mange år.

Skal dette gasbehov dækkes af renses gas via en indsamlingsordning, forudsætter det dog, at der i indsamlingsordningen indleveres min. 1.500 kg SF₆ til rensning pr år, hvilket ikke umiddelbart forventes på grund af interne renses anlæg hos flere elselskaber samt afsætning af gas til leverandører.

Der er nogle få basale forudsætninger der skal være til stede for at det er teknisk og praktisk muligt at indsamle og renses gassen.

De tekniske og praktiske forudsætninger for en indsamlingsordning er følgende:

Det vurderes som det mest hensigtsmæssige, at der indgås en rammeaftale mellem DEF og en leverandør af en indsamlings- og genanvendelsesordning, hvor aftalegrundlaget beskrives så samme retningslinier er gældende for alle deltagende virksomheder.

Indsamlingsordningen bør alene omfatte afhentning, rensning og distribution af renses gas. Indsamlingsordningen bør ikke omfatte aftapning af gas i forbindelse med revision etc. af de enkelte anlæg, dels på grund af

sikkerhedsmæssige hensyn, dels på grund af forsyningsvirksomhedernes ansvarsområde, hvor revisioner, aftapning mv. Hører under deres daglige drift.

Gassen skal være opbevaret i trykflasker, der kan transporteres. Der bør anvendes en standard-emballage, som er håndterlig, f.eks. 10 eller 20 kg flasker. Der vurderes ikke at være behov for flasker med større volumen, da de enkelte afbrydere sjældent indeholder mere end 20 kg pr. afbryder. Dog kan GIS-anlæg indeholder op til 100 kg i hvert kammer. Der bør således være mulighed for at indsætte flasker med større volumen, f.eks. 50 kg i tilfælde af specialaftapninger. Hvis gassen aftappes til en tank, skal den være mobil og kunne medtages samt være forsynet med standard-samlinger, så det er muligt at aftappe gassen til trykflasker. Dette er nødvendigt for det udviklede rensnings-setup, som ikke kan rense direkte fra en tryk-tank. Dog bør direkte aftapning til trykflasker foretrækkes da der vil være tab af SF₆ i forbindelse med aftapning og det forudsætter endvidere et større tidsforbrug på grund af overfyldning fra tank til flasker.

Den aftappede gas skal opbevares sikkerhedsmæssigt forsvarligt på virksomhederne efter retningslinierne for håndtering af trykflasker.

Af hensyn til rensprocessen skal gassen være aftappet, således at mindst mulig luft er iblandet gassen. Hvis koncentrationen af luft overstiger en vis procentdel bør aftageren have mulighed for at forbeholde sig ret til ikke at modtage gassen. Der kan evt. udleveres specifikationer til deltagende virksomheder i indsamlingsordningen, der angiver hvordan gassen bør aftappes fra effektafbryderen, så gaskvaliteten er optimal.

Der bør etableres et flaske-system i indsamlingsordningen bestående af to flaskepuljer – et for forurenede aftappede gas og et for rensede gas. På den måde vil udgifter til flaskerensning og skylning ved hver rensning ikke være nødvendig idet rent/forurenede gas altid holdes adskilt. Derved vil den nødvendige flaskepulje også kunne begrænses mest muligt. Der forventes at være behov for ca. 150 flasker i flaskepuljen, for at hver virksomhed har kapacitet til at aftappe, opbevare og genpåfylde længere tids forbrug ved forventet normal belastning. ligesom der kan være en buffer hos leverandøren der forestår indsamlingsordningen så drifttiden ved rensning kan optimeres.

Det forudsættes, at flaskepuljen lever op til stillede kvalitetskrav til trykflasker, herunder trykprøvning, ventiludskiftning og almindeligt vedligehold. Dette bør forestås af leverandøren

Summary and conclusions

1.4 Charting

In this project the danish electricity sector has been charted, illustrating SF₆ consumption in the branch in detail. In co-operation with Danish Energy stations Association (DEF) 97 companies in electricity sector have been identified as enterprises, who potentially use and handle SF₆. By means of questionnaire inquiry, obtained the respond percentage at 100, SF₆ consumption of the companies was charted and that made the best working foundation imaginable for development of collection system.

It appears from the inquiry that 42 companies in the electricity sector have SF₆ breakers, where drawing off and handling of SF₆ can be necessary. The total installed amount at these companies is approx. 39 tons SF₆ out of roughly 56 tons, which is total installed amount of SF₆ in the Danish electricity sector. From these 42 companies 17 companies have an installed amount at above 100 kg SF₆ pr. company. A system, where SF₆ is collected and regenerated at the companies, is estimated first of all to be relevant for those 17 companies.

In 1999 SF₆ gas drawing off is occurred only at less than 20 of the 97 DEF members. Ca. 70 have outright refused SF₆ drawing off at the company. The total installed SF₆ amounts range between 0,2 and 8 tons, at those respondents, who has drawing off, as well as drawing off only cover SF₆ - breakers from 50 - 400 kV along with GIS-arrangement. Drawing off is generally carried out by company itself, and to minor extent by externals such as suppliers/technical staff.

1.5 Regeneration of SF₆

There has been developed a cleaning concept, which can clean gas polluted with moister, particles, sulphur, fluorides and other relevant pollution components. The fundamental principle for cleaning is an aluminiumbased molecylarfilter to remove humidity and fluoride-impurities from the gas.

During test running at the plant SF₆ was cleaned from a bottle contained above 50% air. It brought on a very long turn-around time with clean velocity at 0,1-0,3 kg/h and relatively heavy SF₆ loss. At the regeneration by means of bottle, contained 1,4% air, clean velocity was 7,1 kg/h. This air concentration is expected to be representative for gas correctly drawn off from power supply companies. Based on these experiences it is essential to put in claims how the gas is drawn off at the companies provided against a disproportionate big amount of air in the contaminated gas. In view of clean time and resource consumption air content should not exceed that turn-around time for the clean process is 5 kg/h as minimum.

Cleaned SF₆, produced during the tests of plant, was qualitative analysed by an extern laboratory and quantitative analysed at the plants built-in O₂ and H₂O-analysator. Analyse results can be roughly summed up as follows bellow.

- All the cleaned bottles with SF₆ contain beyond SF₆ contamination air (O₂, N₂), H₂O and CO₂.
- H₂O is quantitative analysed by own laboratory and here appear analyse values from 3 ppm till 28 ppm (demand < 15 ppm). H₂O-value in the cleaned SF₆ particularly depends on high pressure vessels preparation.
- O₂ also quantitative analysed, obtain values at 50 ppm till 90 ppm. This corresponds to an air content at 250 ppm till apr. 450 ppm (demand < 500 ppm)

Other pollutions are qualitative identified by EIC-analyser (standard method). It applies to all these impurities, that very small amounts were noted near to detection limits, why it's on this basis expected to could meet purity demand which is an clean degree objective about > 99,9%.

Based on the accomplished test results the conclusion is, that regeneration of SF₆ to a clean degree at > 99,9% of pollution components is possible with the clean technique elaborated in the project. The cleaned SF₆ will meet current qualitative requirements to SF₆ gas, valid for effect breakers, and constitutes therefore a commercial alternative to new SF₆ gas.

1.6 Collection system

The direct potential for collecting of regenerated gas is 200-400 kg/y. This is only a minor amount of that gas, which is really consumed in the electricity sector per annum for the filling of new plants or for refilling of existing plants in connection with revisions or operation interruptions. This consumption amounts to 1.500-2000 kg/y except for filling of new-installed GIS-arrangements.

In terms of this the demand for SF₆ gas in the electricity sector is estimated to be min. 1.500 kg/y, and this amount can in principle be covered with regenerated gas via a collection system. It presumes however, that within the collection system there will be delivered min. 1.500 kg SF₆ for regeneration per year.

There are some few basic assumptions, which should be present making it possible technically and practically to collect and regenerate the gas.

The technical and practical assumptions for a collection system are as follows:

It's assessed as the most appropriate, that it will be reached a framework agreement between DEF and a supplier from a collection- and recycling system, where the agreement basis is described so the same guidelines refer to all participated companies.

The collection order alone should comprise collection, regeneration and distribution of regenerated gas. The collection order should not include gas drawing off in connection with revision etc. from the several plants, partly due to safety grounds, partly due to supply companies responsibility for revisions, drawing off etc. what belongs to their daily running.

The gas should be kept in high pressure vessels, suitable for transportation. A standard packing, which is handy, f. ex. 10 or 20 kg bottles, to be used. It's estimated that there is no need for bottles with bigger volume, since some

breakers seldom contain more than 20 kg pr. breaker. However GIS-arrangement can contain up to 100 kg in every chamber. So there should be an opportunity for installation of bottles with bigger volume, e.g. 50 kg in occasion of special bottling. If the gas is draught off to a tank, it has to be mobile and to be carried and also to be provided with standard collections, so it is possible to draw off the gas to high pressure vessels. This is necessary for the elaborated regeneration set-up, which can't regenerate direct from a pressure-tank. But direct bottling to high pressure vessels is to be preferred because of SF₆ loss due to drawing off and moreover it implies an increased time consumption caused of overloading from tank to bottles.

The bottled gas has to be kept safe at the plants measured up to guidelines for handling of high pressure vessels.

Considered the clean process the gas has to be bottled, provided that least possible air mixed with the gas. If the concentration of air exceeds a certain percent part the customer should have a possibility to reserve the right to refuse the gas. If ever specifications can be delivered to companies participated in collection system, indicated how the gas should to be bottled from the effect breaker, so the gas quality is optimal.

In the collection system a bottle system should be established consisted of two bottle pools – one for contaminated bottled gas and one for regenerated gas. Thereby expenses for bottle cleaning and rinsing at every regeneration will not be needed as clean/contaminated gas is always kept separated. Thereby it could be viable also to limit the needed bottle pool as much as possible. The demand is expected to be ca. 150 bottles in the bottle pool, because every company has capacity to draw off, keep and rebottle long time consumption at expected normal loading. It can also be a buffer at the supplier, who understands collection system so operation time during regeneration can be optimised.

It's presumed that the bottle pool live up to quality demands made to high pressure vessels, hereunder pressure testing, valve replacement and general maintenance. This should the supplier be responsible for.

2 Indledning

Både nationalt og internationalt er der et ønske om at reducere emissioner til atmosfæren fra kraftige drivhusgasser som svovlhexafluorid (SF_6) på grund af stoffets høje CO_2 ækvivalent og stabilitet i atmosfæren.

Der findes eller udvikles alternativer til kraftige drivhusgasser inden for stort set alle anvendelsesområder, med undtagelse af SF_6 anlæg i elsektoren. SF_6 bruges i afbrydere som isoleringsgas eller brydemedium.

Disse mængder kan i princippet emittere før eller siden med mindre gassen indsamles og mangel på alternativer til at substituere SF_6 gør det nødvendigt i stedet at reducere forbruget af ny gas ved hjælp af genanvendelse.

Forureningskomponenter i gassen vil betyde, at SF_6 ikke umiddelbart vil kunne genanvendes uden en forudgående rensning. Der findes kompressoraggregater med rensfaciliteter der kan gøre SF_6 genanvendelig i en vis udstrækning, men disse rensfaciliteter kan ikke fjerne alle forureningskomponenter som f.eks. fluorider, som gassen forurenes med ved kortslutninger.

2.1 Formål

Formålet med dette projekt er at belyse det danske emissionsbidrag af SF_6 fra elsektoren og vurdere behovet og mulighederne for en koordineret indsamling i den danske elsektor. Endvidere er det formålet at udvikle en genanvendelsesmetode, der rens alle forureningskomponenter i forurenede gas, herunder også fluorider og svovl således at den forurenede gas, uanset forureningskomponenter, kan genanvendes.

Projektet afdækker mulighederne for en simpel indsamlings- og genanvendelsesordning i elsektoren, hvor den indsamlede og genanvendte SF_6 kan renses til den nødvendige kvalitet og samtidig være et konkurrencedygtigt alternativ på kommercielle vilkår.

Projektets målgruppe er den del af elsektoren, som anvender SF_6 i anlæg der kræver revision og påfyldning.

2.2 Baggrund

SF_6 er den kraftigste rene drivhusgas med en CO_2 -ækvivalent svarende til 23.900 kg CO_2 . Forbruget i Danmark var i 1999 ca. 12,4 tons. Elsektorens andel af dette forbrug var ca. 4,9 tons af det samlede forbrug. Forbruget anvendes både til påfyldning af nyanlæg og efterfyldning af eksisterende anlæg. Den samlede installerede mængde af SF_6 i den danske elsektor er ca. 56 tons og forventes at stige til ca. 85 tons i år 2015 /1/.

I elsektoren anvendes SF_6 i afbrydere og i GIS-anlæg (Gas Insulated Switchgear). I afbrydere bruges SF_6 som brydemedium på anlæg fra 10-20 kV

niveauet og større /9/. Derudover bruges SF₆ som isolationsmedium i gasisolerede anlæg. Gasisolerede anlæg anvendes fortrinsvis ved højspænding fra 132 kV til 400 kV. De største forekomster af SF₆ findes i GIS-anlæg, f.eks. indeholder 400 kV GIS-anlæg op til ca. 3.000 kg SF₆.

Det er i vid udstrækning op til de enkelte elskaber hvordan SF₆ indsamles og håndteres. Der er kun få regler og retningslinier til håndtering af SF₆ og disse regler omfatter alene sikkerhedsforskrifter ved transport eller udslip. De områder hvor der er behov for at håndtere SF₆-gas er i forbindelse med revision af anlæg eller ved driftforstyrrelser i SF₆ afbrydere. I det omfang gassen ikke er forurenset på grund af kortslutning er det normal praksis at gassen opsamles af elskaberne og genbruges. Dog foregår dette primært hos de største elskaber da det forudsætter investering i kompressor og rene aggregater.

I forbindelse med en kontrolleret bortskaffelse af forurenset SF₆ har Kommunekemi modtaget 9 kg SF₆ de seneste 2 år. Det indikerer, at mængden af aftappet SF₆, som ikke kan genanvendes opbevares på lagre hos elskaberne

2.3 Projektorganisation

Projektet er gennemført af COWI som projektansvarlig i samarbejde med Hydrogas Danmark. Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen.

Projektetorganisationen bestod af:

Virksomhed	Navn	Område
COWI	Tomas Sander Poulsen	Projektleder
	Charlotte B. Pedersen	
	Bohdan Luzynski	Kvalitetssikring
Hydrogas Danmark A/S	Arvid Nielsen	Koordinator
	Mikkel Agerbæk	
	Lennart Franz	

Projektet har været fulgt af en følgegruppe, der har kommenteret projektets resultater og perspektiver. Følgegruppen bestod af:

- Frank Jensen, Miljøstyrelsen
- Carsten Mathiesen, DEF
- Poul Ølsgård, NESAs
- Kurt Andersen, KE-energi
- Erik Mortensen, Vestjyske Net
- Orla Christiansen, Eltra
- Thomas Hartmann, Elkraft

3 Anvendelse af SF₆ i elsektoren i et globalt perspektiv

Den samlede årlige udledning på globalt plan er skønnet til tilnærmelsesvis 6.000 tons årligt, hvoraf ca. 70-80% skyldtes udslip i forbindelse med elforsyning /5, 8/. Målinger udført i 1993 antydede, at ca. 80.000 tons SF₆ på daværende tidspunkt var akkumuleret til atmosfæren. Dette bidrag er fra alle kilder til SF₆ emission.

Uden miljømæssige tiltag til reduktion af udledningen ville den totale emission af SF₆ vokse til ca. 18.000 tons årligt i år 2050 på grund af en stigning i den samlede installerede mængde i produkter som f.eks. vinduer og afbrydere, men der er en generel forventning til at de forskellige miljøtiltag vil være i stand til at holde udledningen nede på det nuværende niveau gennem årene.

Internationalt er der stor forskel på, hvor intensiv indsatsen har været med henblik på at reducere SF₆ emissioner fra elsektoren og hvor detaljeret en viden der foreligger om forbruget og den installerede mængde af gassen.

I nedenstående tabel 3.1 fremgår den skønnede årlig produktion af SF₆, de installerede mængder samt årlig udledning af SF₆ for forskellige lande og regioner. Tabellen er baseret på eksisterede estimater og opgørelser (se referencelisten).

Tabel 3.1 Forbrug og emission af SF₆ fordelt på forskellige lande og regioner

År	Land	Produktion t/år	Forbrug i elsektoren T/år	Mængde i installerede anlæg t	Udledning		Reference
					Total t/år	Elsektor t/år	
1993-2000	Verden	6500-7500	5000-6000		6000		/3, 5/
1990-1995	USA	5000-6000			1000	290	/7, 3/
1995	EU		900-1200	4100		270*	/5, 6/
1997	UK				56	11	/5/
1999	Tyskland		300	1000		20	/6/
1995	Norge			240		2	/4/
1999	Danmark		4,87	55	2,7	0,5	/1/

* 120 tons er emission fra installerede anlæg i forbindelse med vedligehold eller lækage. 150 tons er emission i forbindelse med produktion af nyt udstyr (switchgear).

3.1 Internationale initiativer til reduktion af SF₆ udledningen i elsektoren

I det følgende gennemgås en række landes initiativer vedrørende reduktion af SF₆ fra elsektoren.

3.1.1 EU

Den samlede mængde SF₆ installeret i koblingsudstyr i EU er blevet estimeret til 4.100 tons i 1995 /5/.

Det årlige forbrug i forbindelse med påfyldning på nye anlæg er vurderes til 900 – 1200 t årligt for hele EU /5, 6/.

Den totale udledning af SF₆ er vurderet til 1.200 t årligt, hvoraf den samlede elsektor bidrager med 270 t/år heraf kommer 120 tons som emission i forbindelse med vedligeholdelse af afbrydere eller lækage og de resterende 150 tons kommer fra produktion af afbrydere.

Der er ikke nogen regulering af brug og håndtering af SF₆ på EU-plan. EU-producenter af switchgear/netstationer har haft drøftelser på EU-plan vedr. forventet regulering på EU-plan.

3.1.2 USA

Med udgangspunkt i en betydelig udledning af SF₆ til atmosfæren, som for 1997 blev vurderet til 7 mill tons CO₂ ækvivalent (290 tons SF₆ årligt) fra elforsyningssektoren har elsektorer i USA indgået en frivillig ordning med EPA med det formål at støtte aktiviteter rettet mod at minimere SF₆ udledningen. Ordningen kendes under navnet ” SF₆ Emissions Reduction Partnership for Electrical Power Systems”.

Det er ikke lavet undersøgelser af, hvor stor en andel af SF₆-emissionen der kommer fra henholdsvis produktion af nyt udstyr og fra løbende vedligeholdelse og lækage.

Deltagerne i ordningen indgår en aftale, hvor de forpligter sig til:
For Environmental Protection Agency's (EPA's) vedkommende:

- at sørge for information om strategier til reduktion af SF₆ udledning
- at støtte tiltag til en reduceret SF₆ udledning hos medlemmerne
- at opbevare data om reduktion af udledningen
- at arbejde for en bred tilslutning til ordningen

For medlemmernes vedkommende:

- at estimere udledning fra og med 1990 og udarbejde en årlig opgørelse over udledningen
- at udarbejde en strategi for udskiftning af ældre udstyr med udslip
- at indføre genanvendelse af SF₆
- sikre at SF₆ behandles af uddannet personale
- indsende årlige fremskridtsrapporter /3/.

Aftalen blev vedtaget i 1997.

I henhold til Energi Information Administration (EIA) rapporterede elsekskaberne en reduktion af SF₆ udledning på ca. 10 t i 1997 i forhold til 1996 /10/. Reduktionen skyldes hovedsageligt fjernelse af lækager og reparation af gammelt eller køb af nyt koblingsudstyr. Genanvendelse af SF₆ i stedet for tidligere direkte udledning til atmosfæren bidrog også til en reduktion af udledningen.

3.1.3 Tyskland

Ca. 1.000 t SF₆ er indeholdt i de eksisterende afbrydere i elsektoren. Udslip er blevet vurderet til ca. 20 tons/år på basis af praktiske erfaringer /6/. Der har været stort fokus fra de tyske miljømyndigheder på brugen af SF₆ i elsektoren og der er i den forbindelse blevet udarbejdet flere udredningsrapporter om emissionen af SF₆ fra afbrydere.

Tyskland er et af de europæiske lande, der også producerer SF₆. Der produceres ca. 300 tons SF₆ årligt: De 100 t anvendes på hjemmemarkedet og de øvrige 200 t til eksportmarkeder /6/.

Fabrikanter og brugere af SF₆ arbejder i Tyskland efter det princip, at emissionen af SF₆ skal forhindres overalt, hvor det er muligt:

- Kapslinger af eludstyr overvåges kontinuerligt
- Fabrikkerne garanterer en lækagehastighed mindre end 0,5% pr. år
- indsamling, rensning og genanvendelse sker på stedet
- SF₆ producenterne garanterer modtagelse af brugt SF₆, dens genanvendelse eller en opbevaring som tilfredsstillende miljøkravene
- mandskabet, der arbejder med SF₆, bliver regelmæssigt trænet og informeret
- Producenter af SF₆ udarbejder statistiske data for producerede mængder
- Producenter og brugere af koblingsudstyr registrerer forbrug og udfører opgørelse over installerede mængder

De tyske myndigheder fører tilsyn hos producenter af afbrydere og udarbejder en årlig overvågningsrapport.

3.1.4 Storbritannien

Den totale udledning af SF₆ steg fra 45 t i 1990 til 56 t i 1997 eller ca. 1,2 millioner tons CO₂ ækvivalent. Ca. 20% af emissionen er relateret til elsektoren svarende til ca. 11,2 tons i 1997 /5/.

Elsektoren har allerede anbefalet og deltager i følgende tiltag:

- SF₆ må ikke udledes direkte i atmosfæren
- SF₆ skal i størst mulig grad indsamles og genanvendes
- Udslip fra elektrisk udstyr skal minimeres
- Alt nyt udstyr skal muliggøre genanvendelse
- Genanvendelsesprocedurer skal udarbejdes

3.1.5 Norge

I Norge blev udslippet fra SF₆-afbrydere estimeret til 2,4 tons SF₆ årligt i 1995 under antagelse af, at den årlige emissionen er på 1% af gasmængden i installeret udstyr, hvilket er IPCC's generelle emissionsfaktor for afbrydere i elsektoren. Det er skønnet at den installerede mængde er på 240 t.

3.1.6 Danmark

Det samlede forbruget af SF₆ i Danmark var i 1999 12,7 tons. Heraf udgjorde elsektorens forbrug ca. 4,8 tons svarende til ca. 38% af det totale forbrug i Danmark.

Den totale danske emission af SF₆ var 2,7 tons, hvoraf emissionen fra elsektoren var mindre end 0,5 tons. Her er der regnet med en emissionsfaktor på 0,5% af den installerede mængde.

SF₆ emissionen er opgjort for første gang i 1998 efter IPCC's udvidede guidelines for emissionsopgørelser.

Der er i Danmark ikke regulering eller retningslinier for, hvordan SF₆ skal håndteres i elsektoren, men SF₆ har været i fokus indenfor vinduessektoren hvor gassen anvendes til støjdemning og flere udviklingsprojekter er igangsat af Miljøstyrelsen med henblik på substitution af gassen til mindre miljøbelastende alternativer /1/. Endvidere er der ved at blive indgået en frivillig aftale om anvendelse af SF₆ i små afbrydere.

4 Forbrug og emissioner af SF₆ i elsektoren

4.1 SF₆-anlæg og emissioner

I elsektoren anvendes svovlhexafluorid (SF₆) især i højspændingsanlæg til afbrydere og til isolation af samleskinner og korte hovedstrækninger. Anlæggene er indkapslet og denne indkapsling danner samtidig en trykbeholder og jordet skærm. Fordelen er brandsikkerhed og begrænset pladsbehov, hvorfor SF₆-anlæggene især anvendes i bydistrikter.

Der findes SF₆-anlæg i både distributions- og transmissionsanlæg og på kraftværker.

De første SF₆-afbrydere blev installeret i Danmark for ca. 30 år siden og har vundet indpas som alternativ til afbrydere med olie som bryde- og isoleringsmedium. Der er installeret ca. 10.000 SF₆-afbrydere i Danmark. Antallet i 1993 er vurderet til ca. 5.000 SF₆-afbrydere /1/.

Tendensen i samfundsudviklingen tyder på et stigende forbrug af elanlæg indeholdende SF₆ som slukkemedium eller isolationsmedium, hvilket først og fremmest er en udvikling, der følger et generelt større elbehov i samfundet samt en interesse i at begrænse pladsen til transmissions- og distributionsanlæg i byområderne.

Mængden af SF₆ varierer afhængig af hvilken anlægstype der er tale om. Ligeledes er der forskel på de potentielle emissioner af SF₆, som kan forekomme fra de enkelte anlæg.

Generelt er der tale om 3 overordnede typer af anlæg:

- Netstationer (koblingsanlæg, lastadskillere)
- Afbrydere (effektafbrydere i linie- og transformervejle fra 50-400 kV)
- GIS anlæg (Gas Insulated Switchgear 32-400 kV)

4.1.1 Lastadskillere i netstationer

Netstationer forsynes altid fra et højere spændingsniveau for så at fordele strømmen videre på lavere spændingsniveauer. En netstation opbygges i princippet af en transformer, eksempelvis 10/0,5 kV og et antal lastadskillere. Som brydemedium kan adskilleren anvende luft eller SF₆.

Der er ca. 60-70.000 netstationer i Danmark.

Det skønnes, at der de sidste 5 år er blevet leveret 1.500-2.000 SF₆ lastadskillere pr. år /1/.

En SF₆ lastadskiller indeholder mellem 2,2 og 2,6 kg SF₆. Gassen er indkapslet i en svejset kasse for at reducere tab af SF₆ til et minimum. Leverandørerne garanterer et tab af SF₆ på max 0,5% pr. år på nye anlæg. Lastadskillerne

fremstilles i udlandet (bl.a. Tyskland, Norge og USA) og importeres som en enhed, hvor gassen er påfyldt hos fabrikanten af koblingsudstyr.

Hvis en lastadskiller går i stykker, kontaktes leverandøren som tilbage sender enheden til fabrikken i udlandet, fx. i Tyskland. På fabrikken aftappes SF₆ som efterfølgende renses hos en gasleverandør, der har specialiseret sig i dette¹. Efter aftapning identificeres fejlen i lastadskilleren og skaden udbedres og returneres med ny påfyldt gas eller kasseres.

Den potentielle emission fra disse enheder er begrænset til et marginalt løbende tab på max 0,5% pr. år samt ved uheld som f.eks. påkørsel eller lignende ekstreme situationer, hvor en mekanisk belastning forårsager et brud på lastadskillerens kapsling.

Den årlige akkumulering i atmosfæren fra lastadskillere i netstationer installeret i Danmark skønnes til:

$$2000 \text{ enheder} \times 2,6 \text{ kg} \times 0,5/100 = \text{max } 22\text{-}26 \text{ kg årligt}$$

Målt over 100 år bliver emissionen lig med $100 \times 26 \text{ kg} = 2,6 \text{ tons}$ svarende til ca. 62.100 tons CO₂. Denne beregning er konservativ, idet den ikke tager højde for udskiftning af eksisterende anlæg, som forventes at have en levetid på max 30-50 år og den teknologiske udvikling, hvor lastadskillerne bliver tættere. Det ændrer dog ikke på, at lastadskillerne fortsat forbruger ny SF₆, med mindre at der med tiden etableres et lukket kredsløb, hvor der kun påfyldes med genanvendt SF₆.

I forhold til dette projekt er lastadskillere ikke interessante som genstand for en indsamlings- og genanvendelsesordning, da bortskaffelsen i forvejen udføres ved, at SF₆ tappes af producenten med henblik på genanvendelse, og der eksisterer rutiner for SF₆ håndtering ved bortskaffelse.

Beregningen viser dog, at de potentielle emissioner fra lastadskillere giver et betydeligt bidrag på længere sigt.

4.1.2 SF₆ afbrydere i friluftstationer (AIS)

Afbrydere, der bruger luft som isolationsmedium (Air Insulated Switchgear) er installeret i linie- og transformervelter på højspændingsanlæg.

Afbryderens funktion er at afbryde strømkredsløbet i tilfælde af kortslutning på elnettet. Ved kortslutning skal afbryderen udkoble. Afbryderen isolerer strømme på 40-100 kA og levetiden er typisk ca. 10.000 udkoblinger.

Der er installeret ca. 1.000 SF₆ afbrydere fra 50-400 kV i Danmark:

- 50 -150 kV afbryder indeholder 2-3 kg SF₆ i hver fase (3), dvs. 6-9 kg SF₆ i alt.
- 400 kV afbryder indeholder ca. 9 kg SF₆ og hver fase (3), dvs. 27 kg SF₆ i alt.

Mængden af SF₆- indehold i afbryderen følger størrelsen af afbryderen. Jo større spænding des større mængde SF₆ er der i afbryderen.

¹ Den omtalte gasleverandør er den internationale kemikoncern Solvay. De har en aftagerordning med mindst 2 producenter af lastadskillere, der leverer til det danske marked.

Kilder til emissioner af SF₆ fra afbryderne er:

1. løbende tab fra afbryder. Tabet er garanteret af en leverandør til max. 1% pr. år /12/.
2. tab ved aftapning og påfyldning i forbindelse med vedligeholdelse og revision af effektafbryder. Tab skyldes selve rensprocessen, hvor det ikke er muligt at rense gassen uden at tab ved til- og afkoblinger, fejl som f.eks. afmonteringsfejl eller utætheder.
3. tab ved lækage på grund af konstruktionsfejl, eller ved havari eller på grund af ældre konstruktion. Årsager til lækage kan være støbefejl, klemte pakninger eller slidtage.
4. havari.

4.1.3 GIS-anlæg

I GIS-anlæg forekommer langt den største mængde SF₆. Indholdet varierer fra knap 170 kg til godt 3.000 kg. Et GIS-anlægs funktion er identisk med funktionen af et AIS-anlæg, men de er mere kompakte og benyttes, hvor der er behov for at installere kompakte (mindre pladskrævende) effektafbrydere for store effekter og strømstyrker, f.eks. i tæt bebyggede områder. GIS-anlæg benyttes som afbrydere og fordelingsanlæg ved spændinger fra 32 kV til 400 kV.

Der findes 18 anlæg i alt i Danmark. Levetiden er estimeret til 30-50 år, men anlæggene kan blive udskiftet tidligere i forbindelse med ombygning på nettet. Der har ifølge en leverandør, ikke været behov for efterfyldning eller reparation af de GIS-anlæg, som er installeret i Danmark.

Et GIS-anlæg er en kompliceret installation som tager måneder at stille op og indkøre. Ved første påfyldning af SF₆ i et GIS-anlæg udføres påfyldningen af en special-montør og gassen er som regel leveret af udstyrsleverandøren. Overskydende SF₆ fra første påfyldning medtages af leverandøren igen.

4.2 Emissioner

Som tidligere nævnt kan emissioner af SF₆ fra koblingsudstyr forekomme ved lækage under normal drift samt ved driftsforstyrrelser og service ved f.eks. aftapning. En international beregningsmodel har estimeret denne mængde til 1 % pr. år af den samlede installerede mængde i udstyret (IPCC, 1996). Samme model angiver at 70 % af den påfyldte mængde vil være tilbage, når udstyret nedtages. SF₆ påfyldes eller efterfyldes på effektafbrydere, enten ved nye installationer af store anlæg eller ved reparation. Det anføres endvidere, at en væsentlig del af det registrerede årlige forbrug skønnes anvendt til disse efterfyldninger.

Denne emissionsfaktor er lavere for den danske elsektor. Emission fra den installerede mængde i 1999 var ca. 0,4%². Denne emissionsfaktor vurderes også at være repræsentativ for emissionen fremover.

Den væsentligste emission vil først komme i forbindelse med bortskaffelse af afbrydere på grund af omlægninger eller udvidelser i elnettet eller udtjente komponenter. Da levetiden er lang og den installerede mængde fortsat er stigende, forventes emissionen først for alvor at slå igennem efter år 2020 /1/.

² Emissionsfaktoren er beregnet på basis af forholdet mellem den installerede og aftappede mængde i 1999: 219 kg x 100/55.600 kg = 0,39

Den generelle tekniske udvikling af SF₆ afbrydere har betydet at nye afbrydere indeholder mindre SF₆ end gamle afbrydere uden at det går ud over præstationen. Endvidere er afbryderne blevet tættere

Der foreligger endnu ingen danske erfaringer med bortskaffelse af SF₆-afbrydere. Principielt vil en bortskaffelse foregå på samme måde som ved revision, hvor gassen aftappes- dog med den forskel, at der ikke laves nogen genfyldning. Derved kan virksomheden umiddelbart komme til at lægge inde med brugt SF₆-gas, med mindre gassen kan renses og aftages på evt. nye SF₆ afbrydere som installeres.

4.3 Nuværende håndtering af SF₆

Generelt har elskaber i højspændingsområdet (50-400 kV) et rimeligt overblik over deres SF₆-anlæg og installerede mængde af gassen. Der er dog variationer mellem de enkelte elskaber i, hvor udførlige oplysninger der er registreret om de enkelte SF₆-afbrydere.

Generelt for distributionsselskaberne (10 kV) gælder, at den installerede SF₆ mængder alene kommer fra lastadskillere i netstationer. Enkelte større forsyningsvirksomheder har også nogle koblingsanlæg i transformatorstationer. Disse distributionsselskaber har ingen behov for håndteringsrutiner, idet netstationerne hverken påfyldes eller aftappes med SF₆. Som tidligere nævnt tilbageleveres enhederne til leverandøren ved reparation. Fra kortlægningen er det indtrykket, at der foretages registrering af den installerede mængde SF₆.

De transmissionsselskaberne (50-400 kV), der har installeret og håndterer SF₆ har forskellige intervaller for kontrol og revision af SF-afbrydere. Endvidere har nogle af selskaberne lavet aftaler inbyrdes om service og driftskontrol af SF₆-afbrydere, så kompetence til revisioner er ikke nødvendigvis hos alle de virksomheder, der har SF₆-afbrydere.

4.3.1 Revision og driftsforstyrrelser

Aftapning af SF₆ fra afbrydere foretages i forbindelse med driftsforstyrrelser eller ved revision af afbryderen. Det er individuelt fra virksomhed til virksomhed, hvor ofte der foretages en revision, men af leverandøren anbefales det, at den gennemføres efter 10.000 udkoblinger eller ved driftsforstyrrelser, eksempelvis udkoblinger af større kortslutningsstrømme. Derefter skal afbryderen afmonteres og gennemgås for slidtage. Ved revision måles afbryderen og gaskvaliteten kontrolleres. Derefter udføres der reparation på afbryderen, hvis der er behov.

Driftsforstyrrelser opdages typisk ved, at en alarm i et kontrolrum indikerer, at der er problemer med en afbryder. Det er således teoretisk ikke muligt, at en afbryder udleder SF₆-gas uden at det registreres. Efter at trykfald i en afbryder er registreret aftappes SF₆ gas fra afbryder med en kompressor og vakuum-suger og overfyldes på trykflasker eller tank. Derefter påfyldes kvælstof i afbryderen, dels for at bevare et tryk i afbryderen, dels for at kunne spore utætheden, hvis ikke den allerede er identificeret med en gasdetektor. Dette foregår på eget værksted. Kvælstofpåfyldning anbefales af leverandøren, som best practice.

Større afbrydere sendes ikke (eller kun sjældent) til leverandør for at blive aftappet og repareret, fordi det er problematisk at transportere så store emner under tryk - i dette tilfælde 5 bar.

Det samme gælder for rutine ved driftsforstyrrelser og revision af GIS-anlæg.

Nogle få store elforsyningselskaber har investeret i et mobilt gasbehandlingsanlæg, der dels kan aftappe, måle og påfylde gassen og herudover er i stand til at rense gassen for fugt og støv via filtre til en kvalitet, så gassen kan returneres til afbryderen igen. Det mobile gasbehandlingsanlæg kan dog ikke rense for alle former for forurening, f.eks. svovl og fluorider. Leverandøren af anlægget har oplyst, at en yderligere påfyldning af ny SF₆-gas i reglen er nødvendigt, da der er et mindre tab ved behandling af gassen. Tabet kan være op til 5% af den aftappede mængde og vurderes ikke at kunne begrænses yderligere. Prisen for et gasbehandlingsanlæg varierer, men for den største model, som kan opbevare og behandle op til 580 kg SF₆ i en batch er prisen ca. 250.000,-

4.3.2 Håndtering af trykflasker

Ved arbejde med flasker der er under tryk er der nogle sikkerhedsmæssige aspekter der skal tages højde for. Det gælder dels i forbindelse med påfyldning af trykflasker eller tank og dels i forbindelse med transport.

Det er ikke belyst i dette projekt, hvordan de sikkerhedsmæssige aspekter overholdes af de enkelte elselskaber i forbindelse med deres håndtering af trykflasker, men det er konstateret, at nogle af de trykflasker fra elselskaberne der er modtaget med forurenet gas ikke har været påfyldt og transporteret sikkerhedsmæssigt korrekt. I forbindelse med en indsamlingsordning vil det være en forudsætning, at de sikkerhedsmæssige forskrifter ved håndtering af trykflasker overholdes.

5 Kortlægning af SF₆ forbruget

COWI har gennemført en undersøgelse af den installerede mængde af SF₆ i forskellige typer af mellemspændingsanlæg (10-60 kV) og højspændingsanlæg (132-400 kV) i elsektoren. Undersøgelsen er gennemført for at tilvejebringe så detaljeret et billede af elsektorens forbrug og emissionerne af SF₆, som muligt. Der er ikke tidligere gennemført en sådan kortlægning.

Undersøgelsen er baseret på en spørgeskemaundersøgelse som er gennemført i foråret 2000 og omfattede medlemmerne af Danske Energiselskabers Forening (DEF), jf. bilag 1. Spørgeskemaet og respondenterne i undersøgelsen er udarbejdet i samarbejde med DEF.

Formålet med undersøgelsen var at afdække følgende:

- de installerede SF₆ mængder i elsektoren samt fordelingen efter anlægstype og størrelse (der henvises til afsnit 6.1)
- elsektorens nuværende håndtering af SF₆ (der henvises til afsnit 6.2)
- elsektorens interesse for en fremtidig indsamlings- og genanvendelsesordning (der henvises til afsnit 6.3)

Spørgeskemaundersøgelsen vurderes at dække alle virksomheder i elsektoren, som har SF₆ anlæg. SF₆-distributionsanlæg (mellemspændingsanlæg) i visse industrivirksomheder er ikke medtaget i undersøgelsen. Vindmøllelaug og/eller lignende producenter af el er heller ikke medtaget, da disse ikke vil være omfattet af indsamlingsordningen.

Afgrænsningen fra elforbrugende industrivirksomheder vurderes at have en marginal betydning for den gennemførte kortlægning. Det er konsekvent, at de højere spændingsområder hører under eldistributører og transmittørernes regi. Derfor er industrivirksomheder og lignende med SF₆ anlæg, f.eks. lufthavne, energikrævende fremstillingsvirksomheder eller infrastrukturanlæg, forsynet og serviceret af det lokale distributions/transmissionsselskab, og eventuelle SF₆- anlæg er på den måde omfattet kortlægningen, da disse anlæg vil være registreret i det enkelte elselskab.

5.1 SF₆ anlæg installeret i den danske elsektor

Alle 97 medlemmer som undersøgelsen har omfattet har svaret. Blandt dem har 14 medlemmer ikke nogen SF₆-anlæg.

I tabel 5.1 er vist en oversigt over de anlægstyper og spændingskategorier, der er anvendt i spørgeskemaundersøgelsen. Derudover er de generelle overordnede krav til vedligeholdelse og emissionsfaktorer angivet samt det gennemsnitlige indhold af SF₆.

Tabel 5.1 Specifikationer for SF₆-afbrydere og GIS-anlæg.

Anlægsstørrelse	Type	Gennemsnitsmængde	Vedligehold	Emission
10-20/0,4 – 0,69 kV Transformerkiosker	Afbryder, hvor gassen er påfyldt ved fremstilling	1,75 kg	Vedligeholdet sesfri	Begrænset tab i drifttid. Tab ved haveri, hvor svejset kammer brydes.
10-32 kV Koblingsanlæg i transformestationer	Afbryder, hvor gassen påfyldes efter montering	2 kg	Eftersyn efter 10 års drift	Ca. 5 % i forbindelse med aftapning og genopfyldning ved lækage samt tab fra selve lækagen i enhed
50-60 kV Linie- og transformefellerter	Afbryder, hvor gassen påfyldes efter montering	4 kg	Eftersyn efter 10 års drift	Ca. 5 % i forbindelse med aftapning og genopfyldning ved lækage samt tab fra selve lækagen i enhed
132-400 kV Linie- og transformefellerter	Afbryder, hvor gassen påfyldes efter montering	24 kg	Eftersyn efter 10 års drift	Ca. 5 % i forbindelse med aftapning og genopfyldning ved lækage samt tab fra selve lækagen i enhed
GIS anlæg	Gasisoleret koblingsanlæg, hvor gassen er i opdelt kamre. Gas påfyldes af leverandør.	1.500 kg	Der udføres regelmæssig kontrol og hovedeftersyn efter ca. 15 års drift.	Emission i forbindelse med aftapning og genopfyldning ved lækage samt tab fra selve lækagen i celler

Kilde: Spørgeskemaundersøgelse i el sektoren blandt DEF's medlemmer, ultimo 2000.

I Tabel 5.1 fremgår at den installerede mængde af SF₆ i SF₆-afbrydere og GIS-anlæg tilsammen udgør ca. 55,6 tons. Dette er lidt højere end et estimat fra 1998, der har opgjort den installerede mængde i højspændingsanlæg til ca. 50 tons /1/

Tabel 5.2 Installeret SF₆ fordelt på kategori og anlægstype m.m.

Anlægstype	Installeret SF ₆ i afbrydere og GIS-anlæg, tons.	Antal SF ₆ afbrydere og GIS-anlæg, stk.
10-20/0,4 – 0,69 kV Transformerkiosker	12,9	7.404
10-32 kV Koblingsanlæg i transformestationer	3,5	1.714
50-60 kV Linie- og transformefellerter	2,5	580
132-400 kV Linie- og transformefellerter	9,3	389
GIS anlæg	27,1	18
Lager	0,3	-
I alt	55,6	10.105

Den første 2 kategorier: lastadskillere i transformerkioskerne- og stationer - er, som tidligere beskrevet, ikke relevante i en evt. indsamlingsordning på grund af den eksisterende service-rutine ved driftsforstyrrelser. Miljømæssigt har de dog stadig relevans p.g.a. en potential lækage og man kan på den baggrund overveje om der er behov for retningslinier for udskiftning af koblingsudstyr, der ikke opfylder gældende krav til tæthed og udledning.

De resterende kategorier, som omfatter afbrydere fra 50-400 kV har tilsammen knap 39 tons SF₆. 11,8 tons er installeret i afbrydere i

friluftstationer fordelt på 969 anlæg (3 faser) Det giver et gennemsnitsindhold på 12,2 kg. 27,1 tons er installeret i 18 GIS-anlæg. Det giver et gennemsnitsindhold på 1.505 kg. pr anlæg. I bilag 10.1 er det udsendte spørgeskema vedlagt.

Lager består af både brugt gas - ca. 200 kg - og ny gas.

5.2 Forbrug og bortskaffelse af SF₆

I den gennemførte spørgeskemaundersøgelse er virksomhederne blevet bedt om at oplyse antal SF₆ enheder, det årlige forbrug af SF₆ samt den installerede mængde. Endvidere har virksomhederne besvaret spørgsmålene vedrørende deres håndtering af SF₆, herunder hvordan gassen aftappes og opbevares.

I tabel 5.3 er forbrug samt den aftappede mængde vist i forhold til regioner. Den angivne mængde er ny gas.

Tabel 5.3 Aftapning og påfyldning af SF₆

Region	Påfyldte mængder af ny SF ₆ i 1999, kg.	Aftappet mængder i 1999, kg (som ikke genanvendes).	Skønnede gennemsnitlig årlig aftappet mængde SF ₆ , kg
002-003	81,1	77,0	50,0
Nordjylland	106,0	0,0	0,0
Midtjylland	92,2	10,0	10,0
Sydøstjylland	35,0	18,0	25,0
Vestjylland	100,0	100,0	20,0
Sønderjylland og Ærø	6,5	4,9	0,0
Fyn	50,1	0,0	0,0
006-007	0,0	0,0	0,0
København	240,0	0,0	0,0
Nordsjælland	4.041,0	0,0	0,0
Sydsjælland og Lolland	40,0	10,0	0,0
Bornholm	0,0	0,0	0,0
I alt	4.791,9	219,9	105,0

Kilde: Spørgeskemaundersøgelse i elsektoren blandt DEF's medlemmer, ultimo 2000. 002-003 og 006-007 er koder for virksomheder i henholdsvis Jylland og Sjælland.

I tilknytning til tabel 5.3 kan det tilføjes, at påfyldning er sket hos 18 ud af de 97 medlemmer af DEF. Heraf kan ca. 3.000 kg tilskrives etablering af nyt 400 kV GIS-anlæg hos en af respondenterne. Resten kan både dække over påfyldning af nye anlæg og efterfyldning af eksisterende anlæg. Det er ikke muligt ud fra undersøgelsen, at vurdere, hvor stor en andel af SF₆-forbruget, der er anvendt til påfyldning af nye anlæg.

Jf. tabel 5.3 har respondenterne oplyst, at den samlede aftappede mængde i 1999 var ca. 220 kg, og den gennemsnitlige årlige aftappede mængde er skønnet til at være ca. 100 kg. Aftappet mængde er i dette sammenhæng gas der aftappes til trykflasker/holder med henblik på bortskaffelse.

I en enkelt region; Vestjylland, har der været en markant forskel mellem den aktuelle aftappede mængde SF₆ i 1999 og den forventede årlige mængde SF₆. Den aktuelle mængde er betydeligt større.

Ud fra spørgeskemaundersøgelsen fremgår det, at hovedparten aftapper gassen til trykflasker. 2 virksomheder har angivet, at de aftapper til tank – sandsynligvis i forbindelse med aftapning til DILO-anlæg med henblik på

rensning. Begge virksomheder er lokaliseret på Sjælland og er blandt de største forbrugere af SF₆.

Aftapning af SF₆ gas i 1999 er kun sket hos under 20 af de 97 medlemmer hos DEF. Ca. 70 har direkte svaret nej, til at der sker aftapning af SF₆ på virksomheden. De samlede installerede SF₆ mængder ligger på mellem 0,2 og 8 tons, hos de respondenter, hvor der sker en aftapning, ligesom aftapningen kun omfatter SF₆-afbrydere fra 50 - 400 kV samt GIS-anlæg. Aftapningen udføres oftest af virksomheden selv og i mindre udstrækning af eksterne i form af leverandører/servicefolk.

Hos de respondenter der kun har SF₆ i vedligeholdelsesfrie SF₆ - lastadskillere I netstationer angives at udstyret primært leveres tilbage til leverandøren som sørger for behørig bortskaffelse. Leverandøren udfører alle reparationer på 10 kV netstationer ved at afmontere hele enheden, hvorefter den transporteres til leverandørens produktionsenheder i udlandet, bl.a. Tyskland. Enheden kontrolleres og afhængig af skadens omfang repareres enheden på fabrikken eller destrueres. SF₆-gassen aftappes på fabrikken og genanvendes i det omfang det er muligt.

Det fremgår af tabellen at der er stor forskel på det samlede forbrug og aftappede mængder af SF₆ mellem Nordsjælland og de øvrige landsdele. Det samlede forbrug omfatter dels SF₆ til nyanlæg, dels vedligeholdelses SF₆ til efterfyldning.

Forbruget på hele Sjælland er 10 gange større end i Jylland og forbruget i Nordsjælland udgør 83% af det totale forbrug. Fratrækkes den meget betydelige mængde der er anvendt til påfyldning af et GIS-anlæg på Sjælland, er forbruget ca. 900 kg større end i Jylland. Det fremgår ikke af undersøgelsen i hvilket omfang forbruget er anvendt til genfyldning eller påfyldning på nye anlæg men at dømme fra de aftappede mængder SF₆, forventes hovedparten af forbruget at være anvendt til nyanlæg. Det større forbrug på Sjælland og især i Nordsjællandsregionen hænger generelt sammen med krav om pladsbesparelser.

Sammenlignes dette forbrug med et beregnet forbrug for 1998 på 1,2 tons, er der sket en betydelig stigning fra 1998 til 1999 /1/. Der er dog ikke taget højde for lagerforskydninger og det skal bemærkes, at det beregnede forbrug for 1998 kun omfatter importerede mængde via gasleverandører. De 3.000 kg, som er blevet påfyldt et GIS-anlæg er gas, der er importeret via udstyrsleverandør og indgår ikke i beregningen. Fratrækkes denne mængde vil der fortsat være en stigning, om end mere modificeret idet stigningen i forbruget er fra 1,2 tons i 1998 til 1,8 tons i 1999.

Den aftappede mængde er i modsætning til forbruget ca. faktor 20 mindre på Sjælland end Jylland. Det skyldes sandsynligvis, at respondenterne ikke har angivet det mængde de har aftappet og genanvendt internt. Flere store sjællandske virksomheder anvender interne renselanlæg.

5.3 Kortlægningens resultater

Det kan konkluderes ud fra spørgeskemaundersøgelsen, at der potentielt udføres påfyldning og aftapning af SF₆ hos 42 virksomheder. Det vil sige, at det maksimalt vil være disse 42 virksomheder, der bør være omfattet af en

frivillig indsamlingsordning. De 42 virksomheder er alle transmissionselskaber (50 - 400 kV).

I følge spørgeskemaundersøgelsen blandt DEF's medlemmer er emissionen mindre end 0,5 %, når man forholder oplysningerne om den aftappede mængde med oplysninger om den installerede mængde. I denne vurdering skal der dog tages højde for, at løbende tab ikke registres umiddelbart, men først når tabet er stort nok til at det registreret som trykfald.

En emissionsfaktor på 0,5% for tab fra eksisterende udstyr svarer godt til det som udstyrsleverandører oplyser. På den baggrund konkluderes det, at den årlige emission af SF₆ fra den danske elsektor som følge af løbende tab fra udstyr er < 0,5 tons pr. år.

5.3.1 Elsektorens interesse for en indsamlingsordning

Kortlægningen har vist, at en indsamlingsordning max vil omfatte 42 virksomheder i elsektoren. De 42 elselskaber har alle SF₆-afbrydere, hvor aftapning og påfyldning potentielt kan forekomme. Dog fremgår det af kortlægningen, at der er virksomheder der enten selv genanvender gassen eller får udstyrsleverandør eller gasleverandør til at tilbagetage gassen. Det fremgår endvidere af kortlægningen, at virksomhedernes rutiner i forbindelse med vedligeholdelse og revision af SF₆-afbrydere ikke er ens. Hovedparten af virksomhederne forestår selv vedligehold og revision, men der er også virksomheder, der har udlagt denne opgave til udstyrsleverandøren eller har en samarbejdsaftale med et andet elselskab.

Af de 42 virksomheder, der potentielt kan deltage i indsamlingsordningen, vurderes det, at ordningen primært vil være aktuel for 17 virksomheder. De virksomheder har en installeret mængde på minimum 100 kg og er enten et produktionsselskab eller transmissionselskab.

Ud af de 42 virksomheder fremgår det af spørgeskemaundersøgelsen, at der er delte interesser angående, hvordan gassen skal afhentes. Hovedparten ønsker at få afhentet flaskerne på virksomheden efter aftale og nogle ønsker selv at aflevere den forurenede gas efter behov på et opsamlingssted. En enkelt af de 17 primære virksomheder har oplyst, at de ikke ønsker at deltage i en indsamlingsordning. Derudover har 3 virksomheder med en installeret mængde på mindre end 100 kg oplyst, at de ønsker fortsat at aflevere gassen til leverandører af udstyr.

16 virksomheder har svaret, at de ønsker gassen afhentet på virksomheden og 10 virksomheder ønsker selv at aflevere gassen på opsamlingssted. Herudover er der nogle virksomheder der ikke har besvaret, hvilken afhentningsform de ønsker. Hovedparten af disse virksomheder nævner, at de selv genanvender gassen eller andre opsamler det for dem.

Ca. 8 virksomheder har selv en genanvendelsesordning, hvor gassen aftappes og renses til en brugbar kvalitet på et mobilt aftapningsanlæg. Disse 8 virksomheder er alle blandt de 17 virksomheder, som det vurderes at indsamlingsordningen primært er relevant for.

Det er ikke muligt at tegne noget klart mønster ud fra besvarelsene, men de indikerer, at hovedparten af de mest SF₆-forbrugende virksomheder ønsker at få afhentet gassen på virksomheden. De virksomhederne der selv ønsker at aflevere gassen er en blanding af mindre forsyningsselskaber, kraftværker og

store forsyningselskaber. En enkelt nævner som motiv, at virksomheden ikke har mulighed for at aflevere gassen på flasker men aftapper i stedet til tank. En anden virksomhed nævner som motiv, at den allerede genanvender gassen internt eller via leverandør.

Sammenfattende peger kortlægningen på, at der er minimum 9 ud af de 17 primære virksomheder, der ikke på nuværende tidspunkt har en alternativ løsning til genanvendelse af forurenede SF₆ og derfor har behov for en indsamlingsordning. Herudover har flere af de primære virksomheder der i forvejen genanvender gassen intern, udtrykt interesse for at deltage i ordningen.

Selvom knap 60% af SF₆-gassen er installeret alene i København og Nordsjælland forventes indsamlingsordningen i overvejende grad at servicere de jyske virksomheder, da et af de københavnske selskaber satser på intern genanvendelse.

6 Genanvendelse af SF₆

Formålet med dette kapitel er at beskrive det renses-koncept der er udviklet i projektet samt de testresultater med hensyn til rensesgrader, der er gennemført.

Der er blevet gennemført et fuldskala forsøg hvor formålet var at rense forurenede SF₆ til en kvalitet, så det kan genanvendes på kommercielle vilkår. Det er formålet at bortrense alle forureningskomponenter, heriblandt fugt, fluorider og svovl. I mobile renselanlæg er dette ikke muligt.

Hydrogas Danmark A/S har udviklet regenereringsanlægget og analyseresultaterne er kvalitativt blevet verificeret på et eksternt laboratorium.

Til at gennemføre de nødvendige testforsøg er der indsamlet forurenede SF₆. Der blev indsamlet ca. 300 kg fra 2 virksomheder, hvilket er tilstrækkeligt til de planlagte forsøg.

I det følgende beskrives rensemetoden.

6.1 Renseprincip

Den forurenede SF₆ indeholder foruden en mindre mængde luft og vand et antal flouride-urenheder, hvoraf CF₄ er den største del. Disse flouride-urenheder er afgørende for hvor ren gassen er. Flouriderne kan absorberes på et aluminiums- baseret molekylarfilter, som også er i stand til at absorbere det vand som gassen måtte indeholde.

Et anlæg til at rense den forurenede SF₆ kan bygges efter to forskellige principper:

1. Rågassen overføres fra en moderflaske til en modtageflaske via en pumpe.
2. Der skabes et undertryk i modtageflasken gennem en kondensering af gassen, samtidig med at moderflasken opvarmes for at forøge trykket og derved opretholde en tryksækning, som opstår ved en ren adiabatisk tømning af moderflasken.

I forhold til dette projekt er metode 2 vurderet som den mest hensigtsmæssige. Fordelene ved metode 2 er, at SF₆-gassen overgår i fast form ved anvendelse af carbondioxid i fast form (tøris), som kølemiddel. Ved denne kraftige nedkøling kan eventuel restluft i den færdige flaske afblæses ved at vakuumpumpe gasflasken i ca. 1 minut efter afsluttet rensesproces. Endvidere er metode 2 mindre omkostningskrævende i investering men har til gengæld lidt højere driftomkostninger sammenlignet med metode 1.

I Hydrogas Danmark A/S afdeling i Glostrup er der blevet udviklet og opstillet et fuldskala renselanlæg, som tager afsæt i absorberings-princippet på aluminium baseret molekylarfilter. Det færdige forsøganlæg var klargjort til test i juni 2000, efter en design- og konstruktionsfase på knap 3 måneder.

Det opstillede SF₆-rens anlæg består af absorberingstårn, vakuumpumpe og varmekapper til opvarmning af moderflasken og til rensning af anlægget. Principskitse for anlægget er vist i figur 6.1

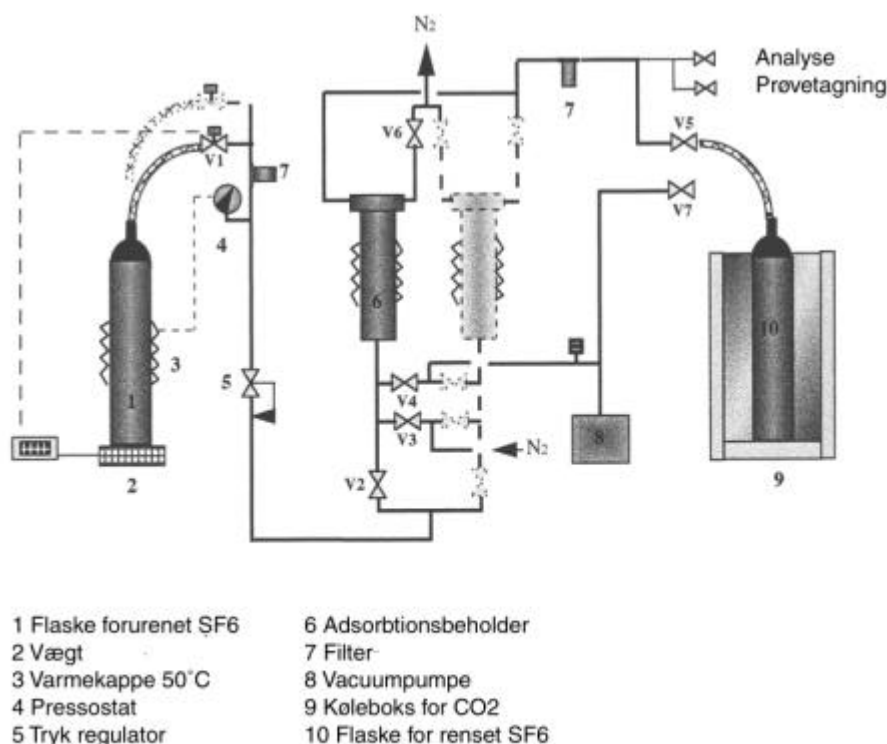
Anlægget er designet efter det princip og målsætning, at man uden betydelige udledning af SF₆ til atmosfæren udfører en rensning så den rensede SF₆ er af mindst lige så god kvalitet, som den der i dag udbydes på markedet som ny SF₆:

Målet er en renhed på > 99,9%. Referenceenhederne for dette mål er listet i nedenstående tabel 6.1

Tabel 6.1 Måleenheder for rensgrad af forurenede SF₆

Urenheder	Enhed
H ₂ O	< 15 ppm
Luft	< 500 ppm
CF ₄	< 500 ppm
Sure forbindelser	< 0,3 ppm
Hydrolyserte forbindelser	< 1 ppm
Mineralolie	< 10 ppm

Hele processen er skitseret i figur 6.1



Figur 6.1 Principerne bag rensemetoden

Processen består i at moderflasken med den forurenede SF₆ placeres på en procesvægt, som tareres og programmeres til at stoppe rensprocessen (V1 lukkes), ved planlagt vægt der svarer til den maksimale fyldvægt på modtageflasken. Som standard i testprojektet anvendes en let aluminium trykflasker, som indeholder ca. 10 kg rensede SF₆.

Modtageflasken placeres i en højisolerende køleboks og kobles først på anlæggets vakuumventil V7, hvorefter modtageflasken vakuumpumpes. Forbehandling/præparering af modtagerflasker ved hjælp af vacuumering og skylning er kritisk med henblik på at minimere fugtindholdet i denne "tomme" flaske. Herefter kobles modtageflasken til anlægges fyldeventil V5.

Carbondioxid i fast form (tøris) fyldes på køleboksen med henblik på at bringe gassen på fast form, hvorved evt. restluft kan fjernes i renseprocessen.

Ventilen V1 åbnes og opvarmning af moderflasken startes. Ventil V2 og V5 åbnes og renseprocessen er nu i gang. Anlægget stopper automatisk når den planlagte fyldevægt i modtageflasken er nået.

Selve absorbtionsårnet med filterindsatsen skal renses med tør nitrogen og opvarmning til 180 °C i minimum 8 timer og derefter vakuumpumpes i minimum 1 time før renseprocessen kan igangsættes. Dette er for at opretholde en tryksænkning i moderflasken.

6.2 Testresultater

I en periode på 14 dage blev indkøring og den første rensning af brugt SF₆ gennemført på anlægget. Testen blev udført på diverse indsamlet brugt SF₆ af ukendt oprindelse samt noget brugt SF₆ fra et transmissionselskab.

Testkørslerne på anlægget kan karakteriseres i to situationer. Den ene situation er karakteriseret ved en flaske med forurenede SF₆ med et stort indhold af luft (>1,5% = 15.000 ppm) og den anden med et lille luftindhold. Testen af anlægget viste at renehastigheden eller anlæggets kapacitet er meget afhængig af luftindholdet i den flaske, hvor SF₆ er blevet opsamlet.

Ved rensning af en flaske SF₆, hvor luftindholdet var over 50% gav det en procestid på ca. 0,1 - 0,3 kg/h og et relativt stort tab af SF₆ ved den anvendte metode. Denne luftkoncentration forventes ikke at forekomme i de forurenede flasker fra en evt. indsamlingsordning.

Ved rensning af en flaske forurenede SF₆, hvor luftindholdet var ca. 1,4% fungerede anlægget optimalt med en renehastighed på 7 kg/h. Denne luftkoncentration forventes at være repræsentativ for korrekt aftappet forurenede gas.

Ved et forstudie i 1999 blev metodens svaghed med hensyn til høje koncentrationer af luft ikke konstateret. De indsamlede flasker indeholdt på daværende tidspunkt luftmængder mindre end 1%. De gennemførte testresultater viser, at et oxygenindhold i det brugte SF₆ større end 1% nedsætter anlæggets formåen.

Af hensyn til gennemløbstid for renseprocessen, ressourceforbrug etc. er det en generel målsætning, at renehastigheden på anlægget minimum skal være 5 kg/h. Dette mål sætter altså nogle klare krav til indsamlingsmetoden af den brugte SF₆.

6.2.1 SF₆-kvalitet

Ved testkørslen blev der fremstillet i alt 5 flasker med rensede SF₆. 3 af flaskerne er blevet kvalitativt analyseret af et eksternt laboratorium (MS Consult,

Skovlunde) og kvantitativt analyseret på anlæggets indbyggede O₂-måler og H₂O-måler på Hydrogas's laboratorium i Fredericia. Analyseresultaterne kan groft summeres ved nedenstående.

- Alle de rensede flasker med SF₆ indeholder udover SF₆ urenhederne luft (O₂, N₂), H₂O og CO₂.
- H₂O er kvantitativt analyseret på eget laboratorium og her fremkommer analyseværdier fra 3 ppm til 28 ppm (krav < 15 ppm).
- O₂ som også er kvantitativt analyseret opnår vi værdier på 50 ppm til 90 ppm. Dette modsvarer et luftindhold på 250 ppm til ca. 450 ppm (krav < 500 ppm)

Øvrige forureninger er kvalitativt bestemt ved EIC-analyser. Det gælder for alle disse urenheder, at der konstateres meget små mængde tæt på detektionsgrænserne, hvorfor det på den baggrund forventes at kunne overholde renhedskravet.

Anden og tredje testperiode, der blev gennemført i efteråret 2000, viste samme resultater med hensyn til luftindholdet i det indsamlede SF₆ og dermed forsøgsanlæggets begrænsninger.

6.3 Tekniske begrænsninger

Efter gennemførelse af de praktiske test på anlægget, kan det konkluderes at anlægget ikke arbejder med de krævede præstationer, når rågassen indeholder for meget luft. Den megen luft (>5%) må, uden dog nærmere at have dokumentation herfor, stamme fra indsamlingen og overfyldning til trykflasken "ude i marken". Årsagerne kan være mangelfuld præparering af flasken før overfyldning og/eller utætte pumpe-, rør- og slangesystemer.

Forsøgsanlægget er ikke designet til at rense luftgasser fra, som har meget lave fordampningstemperaturer (< 100°C). SF₆ sammenblandet med luft får derved også et meget lavt fordampningspunkt, hvorved forsøgsanlægget kølemedie ikke er tiltrækkelig til at få processen til at forløbe tilfredsstillende.

Det vil være muligt at udbygge anlægget med en absorber for oxygen. Dette vil dog ikke kunne fjerne nitrogen, som jo udgør ca. 78% af luften. Dette anses derfor ikke som en mulig løsning.

Konklusionen vil være at de store luftmængde i rågassen skal fjernes før udførelse af den egentlige rensning for at undgå emission af SF₆ under rensprocessen.

Forsøgsanlægget blev designet til at fjerne flourider og vand og andre mindre mængder urenheder som gassen normalt indeholder. Denne opgave løser forsøgsanlægget med meget gode resultater.

Kapaciteten på forsøgsanlægget er som aftalt tidligere meget afhængig af rågassens luftindhold. Ved lav luftindhold kan anlægget præsterer op til 12 ton SF₆ pr. år ved normal operationstid. 7 kg pr. time anses for en tilfredsstillende procestid.

Med mindre det høje luftindhold i testflaskerne stammer fra en kilde, hvor det positivt kan konstateres at årsagen er utætte overførelsesforbindelser, og

dermed er en systematisk fejl, kræver forsøgsanlægget yderligere udvikling og test. Den primære udfordring er at fjerne luftindholdet. Dette kan sandsynligvis gennemføres på flere metoder, hvoraf den mest investeringstunge er at gribe til cryogene nedkølingsprincipper, hvor vi køler rågassen ned til -100°C .

Anlægsinvestering i denne forproces skønnes at andrage 200.000 - 300.000 DKK. Mere simple men dog også mere usikre metoder bør dog testes først.

7 Indsamlingsordning for elsektoren

Formålet med dette kapitel er at beskrive, hvordan en frivillig indsamlingsordning kan organiseres og under hvilke praktiske rammer en sådan ordning bør virke. Endvidere beskrives antallet af potentielle deltagere, mængden der må forventes at kunne indsamlet, de konkrete forhold ved logistik og rensning, indsamlingssystemer og mulige kandidater til at gennemføre en indsamlingsordning.

Projektet har kortlagt brugen af SF₆ i elsektoren med henblik på at tilvejebringe et overblik over forbruget så der foreligger et grundlag til organisering af en fælles indsamlingsordning for elsektoren. En indsamlingsordning vil være nødvendigt, hvis en målsætning om at nedbringe forbruget af ny SF₆ i elsektoren med 95% skal opnås og dette mål kan kun indfries, hvis alle i elsektoren enten regenererer gassen på egne mobile anlæg (f.eks. DILLO-anlæg), regenererer det via leverandører eller regenererer det via en indsamlingsordning. Bliver dette situationen vil det eneste forbrug af ny gas derefter være til supplerende genpåfyldning af anlæg samt til påfyldning af nye anlæg.

Teknisk vil det kunne lade sig gøre da renseteknologier nu er udviklet, så alle typer af forureningskomponenter kan renses fra gassen. Økonomisk vil det være en fordel for brugere i elsektoren at bruge genanvendt gas, hvad enten det er fra virksomhedens eget anlæg eller regenereret eksternt via f.eks. en indsamlingsordning på grund af regeringens varslede miljøafgifter på import af ny SF₆ gas. Det kan i praksis bane vejen for, at behovet for supplerende gas også dækkes af regenereret gas, hvorved Danmark kan have en forsyning af SF₆ til elsektoren, som udelukkende er baseret på regenereret gas.

7.1 Det umiddelbare potentiale for en indsamlingsordning

Af de 42 virksomheder, der potentielt kan deltage i indsamlingsordningen, vurderes det, at ordningen primært vil være aktuel for 17 virksomheder. De virksomheder har en installeret mængde på minimum 100 kg pr virksomhed og er enten et produktionsselskab eller transmissionsselskab. Ud af de 17 virksomheder har 8 adgang til et mobilt renseanlæg. De resterende 9 er de relativt mindst forbrugende virksomheder af de 17. Disse virksomheder er overvejende beliggende i Fyn/Jylland.

De skønnede mængder SF₆ i en indsamlingsordning er som udgangspunkt 200-400 kg/år med et minimum på ca 100 kg/år. Dette er en relativ lille mængde af elsektorens årlige forbrug af ny gas som vurderes at være mellem 1.500-2.000 kg ny SF₆ pr. år (excl. Påfyldning af nye GIS-anlæg) /1/.

Derudover cirkulerer der et ukendt volumen i forbindelse med rensning i de mobile anlæg der opererer idag, primært på sjælland.

Typisk påfyldning af SF₆ ved afbryderskift er 4 til 24 kg mens et komplet GIS anlæg kræver op til ca. 3.000 kg.

Det fremgår af kortlægningen, at flere virksomheder enten selv genanvender gassen ved hjælp af et DILLO-anlæg eller får udstyrsleverandør eller gasleverandør til at tilbagetage gassen. Det fremgår endvidere af kortlægningen, at virksomhedernes rutiner i forbindelse med vedligeholdelse og revision af SF₆-afbrydere ikke er ens. Hovedparten af virksomhederne forestår selv vedligehold og revision, men der er også virksomheder, der har udlagt denne opgave til udstyrsleverandøren eller har en samarbejdsaftale med et andet elselskab.

En indsamlingsordning bør derfor tage højde for de forskellige behov de enkelte virksomheder har og udgøre et supplement til de virksomheder der ikke har andre alternativer til at genanvende/regenererer gassen.

Det umiddelbare potentiale for indsamling af regenereret gas er 200-400 kg/år. Dette er dog kun en beskedne mængde af den gas der forbruges i elsektoren til påfyldning af nyanlæg eller til genpåfyldning af eksisterende anlæg i forbindelse med revisioner eller driftsforstyrrelser, som er i størrelsesordenen 1.500-2000 kg/år excl. påfyldning af ny-installerede GIS-anlæg.

På den baggrund er behovet for SF₆ gas i elsektoren min. 1.500 kg/år (årlige omsætning) og denne mængde kan principielt dækkes af regenereret gas via en indsamlingsordning. Det forudsætter dog, at der i indsamlingsordningen *indleveres* min. 1.500 kg SF₆ til rensning pr år.

7.2 Generelle forudsætninger

Der er nogle få basale forudsætninger der skal være til stede for at det er teknisk og praktisk muligt at indsamle og regenerere gassen.

De tekniske og praktiske forudsætninger for en indsamlingsordning er følgende:

Det vurderes som det mest hensigtsmæssige, at der indgås en rammeaftale mellem DEF og en leverandør af en indsamlings- og genanvendelsesordning, hvor aftalegrundlaget beskrives så samme retningslinier er gældende for alle deltagende virksomheder.

Indsamlingsordningen bør alene omfatte afhentning, rensning og distribution af regenereret gas. Indsamlingsordningen bør ikke omfatte aftapning af gas i forbindelse med revision etc. af de enkelte anlæg, dels på grund af sikkerhedsmæssige hensyn, dels på grund af forsyningsvirksomhedernes ansvarsområde, hvor revisioner, aftapning mv. Hører under deres daglige drift.

Gassen skal være opbevaret i trykflasker, der kan medtages. Der bør anvendes en standard-emballage, som er håndterlig, f.eks. 10 eller 20 kg flasker. Der vurderes ikke at være behov for flasker med større volumen, da de enkelte afbrydere sjældent indeholder mere end 20 kg pr. afbryder. Dog kan GIS-anlæg indeholde op til 100 kg i hvert kammer. Der bør således være mulighed for at indsætte flasker med større volumen, f.eks. 50 kg i tilfælde af specialaftapninger. Hvis gassen aftappes til en tank, skal den være mobil og kunne medtages samt være forsynet med standard-samlinger, så det er muligt at aftappe gassen til trykflasker. Dette er nødvendigt for det udviklede rensnings-setup, som ikke kan regenerere direkte fra en tryk-tank. Dog bør

direkte aftapning til trykflasker foretrækkes da der vil være tab af SF₆ i forbindelse med aftapning og det forudsætter endvidere et større tidsforbrug på grund af overfyldning fra tank til flasker.

Den aftappede gas skal opbevares sikkerhedsmæssigt forsvarligt på virksomhederne efter retningslinierne for håndtering af trykflasker.

Af hensyn til renseprocessen skal gassen være aftappet, således at mindst mulig luft er iblandet gassen. Hvis koncentrationen af luft overstiger en vis procentdel bør aftageren have mulighed for at forbeholde sig ret til ikke at modtage gassen. Der kan evt. udleveres specifikationer til deltagende virksomheder i indsamlingsordningen, der angiver hvordan gassen bør aftappes fra effektafbryderen, så gaskvaliteten er optimal.

Der bør etableres et flaskesystem i indsamlingsordningen bestående af to flaskepuljer – et for forurenede gas og et for regenereret gas. På den måde vil udgifter til flaskerensning og skylning ved hver rensning ikke være nødvendig idet rent/forurenede gas altid holdes adskilt. Derved vil den nødvendige flaskepulje også kunne begrænses mest muligt. Antages det at 17 virksomheder deltager i ordningen, samt at hver kunde udstyres med en flaske-volumen på 30 kg (3 x 10 kg) kræver det 51 10 kg flasker til aftapning af forurenede gas. Samme antal flasker kræves til påfyldning af regenereret gas, det vil sige 102 flasker i alt. Hver virksomhed har således rigelig kapacitet til at aftappe, opbevare og genpåfylde længere tids forbrug ved forventet normal belastning, ligesom der kan være en buffer hos leverandøren der forestår indsamlingsordningen så drifttiden ved rensning kan optimeres.

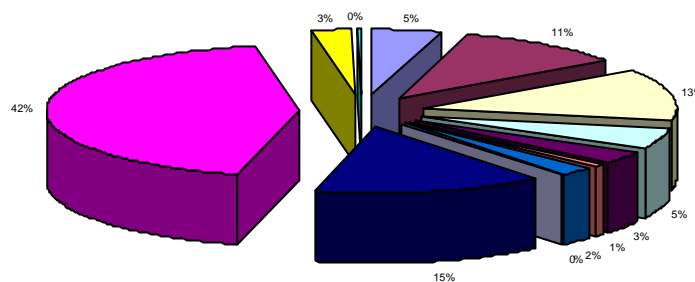
Det forudsættes, at flaskepuljen lever op til stillede kvalitetskrav til trykflasker, herunder trykprøvning, ventiludskiftning og almindeligt vedligehold. Dette bør forestås af leverandøren.

7.3 Logistik

I forhold til indsamlingsordningen er det væsentligt, at kortlægge SF₆ anlæggenes geografiske placering. I figur 3.1 fremgår hvorledes den installerede mængde SF₆ i el sektoren blandt DEF's medlemmer er fordelt på regioner.

Figur 7.1 Fordeling af installeret SF₆ i den danske el sektor

Fordeling af installeret SF₆
i den danske el sektor



Kilde: Spørgeskemaundersøgelse i den danske el-sektor - primo 2000

002-003	Nordjylland	Midtjylland	Sydstjylland	vestjylland	sønderjylland & Årø
Fyn	006-007	København	Nordstjylland	Syddanmark & lolland-f.	Bornholm

Det fremgår af spørgeskemaundersøgelsen, at der er delte interesser angående, hvordan gasen skal afhentes. Hovedparten ønsker at få afhentet flaskerne på virksomheden efter aftale og nogle ønsker selv at aflevere den forurenede gas efter behov på et opsamlingssted. En enkelt af de primære virksomheder har angivet at de ikke ønsker at deltage i en indsamlingsordning.

Det forventes ikke at påvirke logistikken i en indsamlingsordning, hvorvidt virksomheden foretrækker det ene frem for det andet så det vil sandsynligvis være valgfrit.

Som nævnt tidligere forventes indsamlingsordningen i overvejende grad at servicere de jyske virksomheder, da et af de københavnske selskaber satser på intern genanvendelse. Dog vil lysbueforurenede gas formodentlig også blive indleveret fra disse selskaber. Tekniske vanskeligheder ved interne renselanlæg kan også medføre en større deltagelse i en indsamlingsordning en umiddelbart forventet.

På grund af en stor geografiske spredning mellem selskaberne og forskydninger i intervaller og tidspunkter for aftapning, er en indsamlingsordning transportkrævende. Da der vil være tale om moderate mængder SF₆ fra de enkelte selskaber vil der nok ikke kunne etableres et rentabelt transportsystem, hvis systemet alene skal servicere i forbindelse med leverancer og afhentning af SF₆.

Det synes derfor oplagt, at en indsamlingsordning involverer eller evt. drives af en gasleverandør, da disse virksomheder i forvejen har et etableret distributionssystem der kan anvendes til formålet. Endvidere har gasleverandørerne i forvejen ekspertise med håndtering og transport af trykflasker og forventes at kunne have en kommerciel interesse i at stå for en indsamlingsordning.

7.3.1 Årlig gasmængde til indsamlingsordningen

Ud fra elsektorens skønnede aftappede mængder er den skønnede årlige potentielle mængde SF₆ til afhentning i flasker på ca. 100 kg. Dog var den reelle aftappede mængde 220 kg i 1999. Derudover blev der oplyst en samlet lagerbeholdning på ca. 300 kg i 1999, hvoraf de ca. 200 kg er forurenede gas der potentielt også kan regenereres. På baggrund af disse indrapporteringer forventes der totalt at kunne indsamles minimum 100 kg SF₆, hvilket er en

minimumsvurdering. En mere realistisk mængde er 200-400 kg pr. år, med det nuværende antal installerede SF₆ afbrydere og over en længere tidshorizont forventes det at stige på grund af revisioner samt flere afbrydere med SF₆. Det er de færreste af de installerede afbrydere der har været installeret længe nok til at der er foretaget gennemgribende revisioner af dem. Det udføres først efter 20-25 års driftstid ved normal drift.

Den forventede mængde er ekskl. de gasmængder, der aftappes og regenereres af virksomheden selv. Såfremt nogle af disse virksomheder ønsker at deltage i indsamlingsordningen bliver den potentielle mængde aftappede SF₆-gas betydelig større.

7.4 Rentabilitet

De samlede investeringer til etablering af et renseanlæg magen til det som er udviklet i projektet er ca. 250.000,-. Det omfatter måleudstyr (ca. 125.000,-), pumper, filtre, slanger fittings etc. og kalibrering af udstyret. Derudover skal der indkøbes trykflasker til en flaskepulje. Dette vil være en engangsinvestering. Der må også påregnes en udgift til vedligeholdelse af flaskepuljen, så flaskerne opfylder de gældende kvalitetsnormer for trykflasker. Vedligeholdelsen vil være begrænset men i det omfang den udføres er den knyttet til lønudgifter ved kontrol samt evt. udgifter til udskiftede materialer, f.eks. ventiler, omløbere o.lign samt omkostninger til periodisk revision af trykflasker hvert 10 år.

Investeringen i renseanlægget kan ikke nedbringes væsentligt da behandlingskapaciteten ikke vil nedbringes ved mindre dimensionering.

Driftomkostninger ved indsamling og rensning af SF₆ er primært knyttet til transport, operatørlønninger samt vedligehold af udstyret og analyser i forbindelse med evt. stikprøvekontroller af gaskvaliteten. Ressourceforbruget er i høj grad afhængig af batchens størrelse, hvor forbruget af nitrogen, tør is eller kølemiddel og strøm er forholdsvis større jo mindre batch der regenereres. Nitrogen anvendes til at sikre, at flasker, slanger, filtre etc. er fri for fugt. Strøm er primært til pumper og tør is til nedkøling af modtagerflasken.

Med hensyn til gennemløbstid for det udviklede anlæg i dette projekt, kan f.eks. 400 kg SF₆ regenereres på anlægget på ca. 80 timer. Det svarer til en udnyttelsesgrad af anlægget på under 5 %. Der er således ikke kapacitetsmæssige problemer ved at anvende det udviklede rensekoncept til rensning af den forventede mængde SF₆. Med en så lille udnyttelse af anlægget er det væsentligt for rentabiliteten, at rensning først foretages når der er en pulje SF₆ at regenerere.

For at renseanlægget kan blive rentabelt er det muligvis nødvendigt at maksimere de indsamlede mængder SF₆. Der kan derfor være tale om en ordning hvor kunden kan købe regenereret SF₆ svarende til den mængde virksomheden har indleveret. De varslede miljøafgifter på SF₆ må formodes at styrke incitamentet hos virksomhederne for at købe regenereret SF₆ da regenereret SF₆ vil være afgiftsfritaget.

Kvaliteten af den forurenede SF₆ er som nævnt andetsteds en faktor der influerer på rentabiliteten ved rensning - jo højere luftindhold i den forurenede gas, des dyrere bliver rensningen.

Det må alt andet lige vurderes, at prisen for at regenerere SF₆ med de transport, håndterings og analyseudgifter der er knyttet hertil, kun vil ligge under markedsprisen på ny SF₆ efter indførelse af miljøafgifter på de varslede 400 kr/kg. Det er ikke muligt at kvantificere et prisniveau da det vil afhænge af det specifikke aftalegrundlag der indgås mellem elsektoren og leverandøren af en indsamlings og regenereringsordning.

Det forventes at den aktuelle pris vil afspejle de mængder der indsamles og regenereres og det vil være en naturlig mekanisme, at prisen pr. kg falder i takt med at mængden til rensning øges.

Grundlæggende vurderes det forretningsmæssige grundlag i en indsamlingsordning at være begrænset, når man alene ser på indsamlingsordningen som forretningsgrundlag. Det er som udgangspunkt ikke de store mængder der forventes indsamlet og regenereret. Regnes der med at blive indsamlet og regenereret 400 kg/år og det sælges til f.eks. 300 ,- giver det en samlet omsætning på:
 $400 \times 300 = 120.000$ kr pr. år

Ved rensning af 1.500 kg pr år vil omsætningen være:
 $1500 \times 300 = 450.000$ kr pr år.

Dertil skal fratrækkes div. omkostninger til drift. Det skal bemærkes at priseksemplet med en salgspris på 300 kr. pr. kg alene tjener det formål at illustrere en mulig omsætning. Pris antages at blive fastsat ved forhandling mellem den leverandør der indgår i entreprisen om indsamlingsordningen og DEF.

7.4.1 Regenerering i forbindelse med bortskaffelse af udstyr og komponenter

Der er endnu ikke nogen erfaring med håndtering af SF₆-effektafbrydere i forbindelse med bortskaffelse af installationen, da det først forventes at blive aktuelt om 15-20 år, hvor de nuværende anlæg vil begynde at være udtjente.

Såfremt der til den tid ikke er udviklet andre mere attraktive genanvendelsesalternativer, vil de installerede mængder kunne indgå i indsamlingsordningen. P.t. drejer det sig om ca. 39 tons SF₆ (resten er i vedligeholdelsesfrie afbrydere), men mængden forventes at stige yderligere efterhånden som højspændingsnettet udbygges under forudsætning af, at det udbygges med SF₆-afbrydere.

For at sikre, en korrekt håndtering af SF₆-gassen i forbindelse med bortskaffelse af anlæg, bør der fastsættes nogle myndighedskrav der skal sikre, at gassen genanvendes samt udarbejdes klare procedurer for, hvem der er ansvarlig for at bortskaffe SF₆-gassen. Umiddelbart er det brugeren, men i dag er situationen den, at nogle leverandører af udstyr eller gas tilbagetager SF₆ som en service, hvis kunden ønsker det. Denne service kan praktiseres, så længe det er små mængder der er tale om, men i forbindelse med bortskaffelse af anlæg forøges mængderne betydeligt. Denne udvikling forventes at udløse en mere principiel diskussion mellem de konkrete aktører (bruger, udstyrsleverandør, gasleverandør) om hvem der bør bortskaffe og genanvende gassen.

7.5 Forslag til en indsamlingsordning

Det foreslås at der laves en indsamlingsordning, som er baseret på en frivillig deltagelse. Indsamlingsordningen bør omfatte de 42 virksomheder, som potentielt kan have et behov for at aftappe og bortskaffes SF₆ fra effektafbrydere.

I praksis kan der laves en frivillig rammeaftale mellem Miljøstyrelsen og DEF som repræsenterer de enkelte elselskaber, hvor elselskaberne forpligter sig til at genanvende aftappet SF₆ samt minimere emissioner af SF₆.

Ordningen bør være fleksibel og baseret på en frivillig deltagelse, således at de virksomheder som i forvejen genanvender SF₆, eller virksomheder der ønsker at anvende et andet genanvendelses-alternativ, kan vælge det i stedet for. Blot skal de kunne dokumentere overfor Miljøstyrelsen, at andre løsninger anvendes således at Miljøstyrelsen kan vurdere, hvordan SF₆ forbruges, håndteres og bortskaffes af selskaberne.

Det foreslås, at de omfattede virksomheder rapporterer årets forbrug og aftapning/genanvendelse til Miljøstyrelsen som dokumentationen.

Den foreslåede indsamlingsordning er organiseret med udgangspunkt i at det er en gasleverandør der bliver ansvarlig for ordningen. Umiddelbart vurderes det at være den mest oplagte kandidat til opgaven på grund af virksomhedernes eksisterende distributionssystem samt deres kendskab til gasarter. Endvidere forudsætter betjening af renseanlægget uddannet personale for at sikre korrekt håndtering af anlægget., flasker og processen.

Hos leverandøren bør der oprettes en genanvendelsesfunktion, som elselskabet kan kontakte når noget forurenede gas skal afhentes.

Af hensyn til renseprocessen kan der være behov for at stille nogle kvalitetskrav til den forurenede gas der afleveres. Information om disse krav bør defineres og udleveres af leverandøren.

Ordningen er landsdækkende og bør overvåges 1 gang årligt, hvor den forbrugte mængde SF₆ afstemmes med den genanvendte mængde, som enten er indleveret til leverandøren eller genanvendt på andre måder. På den måde er det muligt at vurdere forholdet mellem forbrug og bortskaffelse/genanvendelse.

Overvågningen foretages på basis af indrapporteringer fra de enkelte virksomheder.

Som nævnt tidligere, vil der være behov for en flaskepulje, evt. i forskellige farver, til forurenede aftappede gas og til regenereret gas.

Endelig så anbefales det, at renseanlægget indkøbes og drives af leverandøren der ønsker at drive virksomheden.

8 Referenceliste

- /1/. Ozonlagsnedbrydende stoffer og drivhusgasserne HFC'er, PFC'er og SF₆. Danmarks forbrug og emissioner, 1998. T. Sander Poulsen, Miljøstyrelsen 1999.
- /2/. Kortlægning af SF₆ afbrydere i den danske elsektor. Spørgeskemaundersøgelse af elsektoren. COWI, 2000.
- /3/. SF₆ Emissions Reduction Partnership for Electrical Power Systems. Office of Global Change, Department of State, Washington, USA. Internet submission, 10 July 1999.
- /4/. Policies and Measures. Ministry of Environment, Norway. Internet submission, 9 February 2000.
- /5/. Environmental Briefing. Sulphur Hexafluoride. Number 29, June 1999. Internet submission.
- /6/. Declaration on the Use of SF₆ in Connection with Electrical Switchgear and Substations in Germany. ABB Internet submission, February 2000.
- /7/. Emission of Greenhouse Gases in the United States 1987-1994, chapter 5. Halocarbons and other gases. US Energy Information Administration, September 1995.
- /8/. A Module for Estimating Future Emissions of Sulphur Hexafluoride and Perfluorocarbons. DG Victor and G.J. MacDonald. International Institute for Applied System Analysis, 1998, Laxenberg, Austria.
- /9/. Håndtering af SF₆ og dets reaktionsprodukter i elforsyningsanlæg, Komite'rapport 94, DEFU.
- /10/. Participation Moves Beyond Electric Utility Industry. Internet submission. Voluntary Reporting of Greenhouse Gases Program, US Department of Energy, Energy Information Administration, December 1998.
- /11/. Pers. Kommunikation, Erik Loving - Siemens, 1999.
- /12/. Pers. Kommunikation, F. Wikkelsøe - Alstom

1 Spørgeskema

Nr.:	Spørgsmål om virksomheden			
1	Adresse:			
2	Kontaktperson e-mail /tlf / fax:			
Spørgsmål om SF₆ i afbrydere og GIS anlæg (Gas Insulated Switchgear)				
	Niveau/kategori	Antal anlæg	Samlet installeret mængde (kg)	Eventuelle bemærkninger
3	10 - 20/0,4 - 0,69 kV Transformerkiosker			
4	10 - 32 kV Koblingsanlæg i transformerstationer			
5	50 - 60 kV Linie- og transformefeller			
6	132 - 400 kV Linie- og transformefeller			
7	GIS anlæg			
8	Evt. øvrige anlæg			
9	I alt:			
10	Hvor stor var den påfyldte mængde af ny gas i 1999 ? (kg)			
11	Sker der en aftapning af SF ₆ på virksomheden fra disse afbrydere og i hvilken forbindelse ? (Hvis ja, besvares spørgsmål 12-17)			
12	Hvem står for denne aftapning ? (virksomheden, leverandører eller andre ?)			
13	Hvor stor var den aftappede mængde i 1999 (kg)?			
14	Hvor stor skønnes den gennemsnitlige årligt aftappede mængde (kg)?			
15	Hvordan bortskaffes/håndteres den aftappede mængde ?			
16	Hvor stor en del heraf (jf. spørgsmål 15) blev evt. genanvendt ved genpåfyldning ? (kg) ?			
17	Hvordan opbevares den aftappede mængde ?			
Spørgsmål vedrørende en evt. fremtidig indsamlingsordning				
18	Vil virksomheden foretrække: 1. at gassen påfyldes flasker og afhentes på virksomheden 2. selv at aflevere gassen efter behov til opsamlings- eller genbrugssted ?			
19	Har virksomheden mulighed for at angive vægten af SF ₆ gas i de opfyldte			

	<i>opbevaringsflasker/-tanke ?</i>	
	Diverse	
20	<i>Anvender virksomheden SF₆ til andre end de nævnte formål ?</i>	
21	<i>Udstyrs- og gasleverandør ?</i>	
22	<i>Har virksomheden øvrige bemærkninger ?</i>	