

Aasne Olsen

Kartlegging av SF₆ i høyspentsektoren, samt miljøvennlige alternativer

Bacheloroppgave i Fornybar energi

Veileder: Magnar Eikerol

Mai 2019

Aasne Olsen

Kartlegging av SF₆ i høyspentsektoren, samt miljøvennlige alternativer

Bacheloroppgave i Fornybar energi
Veileder: Magnar Eikerol
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Oppgavens tittel:	Dato: [15.05.2019]		
Kartlegging av SF ₆ i høyspentsektoren, samt miljøvennlige alternativer.	Antall sider: [50]		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	<input checked="" type="checkbox"/>
Navn: Aasne Marie Olsen			
Veileder: Magnar Eikerol			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:			

Hensikten med denne oppgaven er å se på SF₆ gass sine bruksområder innenfor høyspentsektoren i Norge, samt nye teknologier som kan erstatte SF₆ gass. I dagens samfunn har vi blitt nødt til å ha et større fokus på forurensing og miljøskadelig utslipp som resulterer i globale forandringer. SF₆ gass har en GWP verdi på 22 800, som vil si at ved utslipp av 1 kg SF₆ gass tilsvarer det 22 800 kg CO₂. På grunn av den høye klimapåvirkningen SF₆ gassen har på miljøet er det ønskelig å begrense bruken av gassen.

Det er samlet inn informasjon fra brukergruppen for SF₆, samt fra større bedrifter som ABB og NVE. Informasjoner som er hentet inn er brukt til å gi en oversikt over hvordan SF₆ gass påvirker miljøet og hvordan den kan fases ut. Det er lagt lite vekt på den økonomiske siden av teknologiene, da disse ikke har vært tilgjengelige.

Det viser seg at SF₆ gass er overlegen i egenskaper som er nødvendige i høyspentsektoren, der den brukes til isolasjonsmedium og brytermedium. De nye teknologiene som er på markedet omfatter Vakuum, CO₂, fluorketoner og fluornitriler. Disse teknologiene er mer miljøvennlige, men har dårligere tekniske egenskaper.

Trolig vil SF₆ gass være på markedet i flere år fremover, da de nye teknologiene ikke er fullverdige erstatninger på de høye spenningene. På mellomspenningsnivå vil vakuum eller andre gasser fungere godt, noe som burde være til inspirasjon for høyspenningsnivåene.

Det kan også argumenteres for om brukergruppen burde være obligatorisk for selskaper som arbeider med SF₆, da de tallene som blir registrert i gruppen avviker fra de tall SSB fremstiller. Dette fører til at vi ikke har et reelt bilde på de faktiske utslippene av SF₆.

Stikkord:

SF ₆
GIS anlegg
AIS anlegg
Brukergruppen
Fluorketoner
Fluornitriler
Vakuumbryter
CO ₂

Aasne Marie Olsen

(sign.)

Abstract

The purpose of this thesis is to investigate SF₆ gas applications in the high voltage sector in Norway and new technologies that can replace SF₆ gas. Today there is a higher focus on pollution and environmentally harmful emissions that results in global changes.

SF₆ gas has a GWP value at 22 800, which means that when emission of 1 kg SF₆ gas corresponds to 22 800 kg of CO₂. Due to the high climate impact the SF₆ gas has on the environment, it's desirable to limit the use of this gas.

Information has been collected from the user group of SF₆, as well as from larger companies such as ABB and NVE. The information collected through this thesis gives an overview of how much SF₆ gas affects the environment and how it can be phased out. Little emphasis has been placed on the economic side of the technologies, as these have not been available.

It turns out that SF₆ is superior in properties required in the high voltage sector, where it is used for insulation medium and switch medium. The new technologies on the market includes vacuum, CO₂, fluorketone and fluornitrile. These technologies are more environmentally friendly poorer technical characteristics.

SF₆ will probably be on the market for several years to come, as the new technologies are not fully replacements for the high voltages. At medium voltage level will vacuum or other gases work well, which should inspire progress in the high voltage levels.

It can also be argued whether the user group should be obligatory for companies that works with SF₆, since the statistic that the user group has provided does not match the statistic from SSB. This means that we don't have the real picture of the actual emissions of SF₆.

Forord

Bacheloroppgaven er et avsluttende hovedprosjekt for studenten ved ingeniørfag Fornybar energi ved NTNU i Gjøvik. Oppdragsgiver er NTNU i Gjøvik.

Det jobbes kontinuerlig med å utarbeide nye løsninger for SF₆ gass innenfor høyspentsektoren. I denne oppgaven blir det belyst bruken av SF₆ i dag og hvilke andre teknologier som er tilgjengelige.

Jeg ønsker og takke veileder Magnar Eikerol, Stein Kotheim, Brukergruppa for SF₆, samt Brede Slåtten fra ABB.

Gjøvik, 8.mai 2019



Aasne Marie Olsen

Innholdsfortegnelse

Abstract.....	iii
Forord.....	iv
Innholdsfortegnelse.....	v
Figurliste	vi
Tabelliste	vi
Definisjoner	vii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Metode.....	2
2 SF ₆ gass.....	3
2.1 Tekniske egenskaper	3
2.1.1 Isolasjonsmedium	4
2.1.2 Brytermedium	5
2.2 Miljø.....	6
2.3 Bruk av SF ₆ gass	8
2.3.1 Bruk av SF ₆ I GIS anlegg.....	9
2.3.2 Bruk av SF ₆ I AIS anlegg.....	10
2.3.3 Installerte mengder med SF ₆ gass	12
2.3.4 Utslipp av SF ₆ gass	13
2.4 Regelverk	18
3 Brukergruppen	19
4 Nye teknologier.....	21
4.1 Vakuumbrytere.....	22
4.2 Fluorketoner	24
4.3 Fluornitriler	25
4.4 CO ₂	26
5 Resultat og diskusjon	27
6 Konklusjon.....	30
Litteraturliste.....	31

Figurliste

Figur 1. Lysbue og nullgjennomgang. Ref. (2).....	3
Figur 2. Gjennomsnittstemperaturer globalt. Ref. (6).....	6
Figur 3. Fordelinger og mengder ref. (13).....	8
Figur 4. AIS og GIS arealforskjell. Ref. (15).....	10
Figur 5. Visuell fremstilling av tabell 4. Ref. (16).....	14
Figur 6. Kakediagram av lekkasje. Ref. (16).....	14
Figur 7. Kakediagram av lekkasje fordelt på anlegg. Ref. (16).....	15
Figur 8. Bryteevne for SF ₆ vakuum. Ref. (8).....	23
Figur 9. CO ₂ bryter sammenlignet med SF ₆ bryter. Ref. (11).....	26

Tabelliste

Tabell 1. Spaltningsprodukter, konsentrasjon og volumprosent Ref. (1).....	7
Tabell 2. AIS og GIS sammenligning. Ref. (14).....	11
Tabell 3. Installert mengde SF ₆ gass fra brukergruppen. Ref. (1).....	12
Tabell 4. Installert mengde SF ₆ . Ref. (2).....	12
Tabell 5. Utslipp av SF ₆ fra brukergruppen. Ref. (16).....	13
Tabell 6. SSB statistikk utslipp CO ₂ . Ref. (4).....	16
Tabell 7. Utslipp fra 1990-2017. Ref. (4).....	16
Tabell 8. Tekniske egenskaper. Ref. (9).....	28
Tabell 9. Tekniske løsninger. Ref. (9).....	28

Definisjoner

Begrep	Definisjon
AIS anlegg	Air insulated switchgear
Brukergruppe	Samling av bedrifter som deler informasjon om SF ₆
GIS anlegg	Gas insulated switchgear
GWP	Global Warming Potential
IEC	International electrotechnical commission
LCC	Livssyklus kostnad
SF ₆	Svovelheksafluorid

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I dagens samfunn har vi blitt nødt til å ha et større fokus på forurensing og miljøskadelig utslipp som resulterer i globale forandringer. Det er mye fokus på utslipp av CO₂, som er en kjent klimagass og som vi vet har den en stor betydning for drivhuseffekten.

En mer ukjent gass heter SF₆ og den blir i Norge mest brukt i høyspentsektoren der den er å finne i bryter- og isolasjonsmedium. Denne gassen har en GWP (Global Warming Potential) på 22 800 enheter, sammenlignet med CO₂, som har en GWP på 1. Dette vil si at ved utslipp av 1 kg SF₆ gass tilsvarer det 22 800 kg CO₂.

På grunn av den høye klimapåvirkning SF₆ gass har på miljøet er det ønskelig å begrense bruken av gassen.

Det foregår mye forskning på nye teknologier for SF₆ erstatninger. På de lavere spenningsnivåene har det kommet opp flere mulige alternativer. Det er derimot vanskelig å finne noe som er like effektivt for de høye spenningsnivåene.

I denne oppgaven blir det sett nærmere på bruken av SF₆ i Norge, og hvilke alternativer som kan være aktuelle.

1.2 Problemstilling

Kartlegge miljøvennlige erstatninger til SF_6 gass og vurdere hvilke av disse alternative teknologiene som er gjennomførbare, og som det burde satses på i fremtiden.

1.3 Metode

Gjennomføringen av oppgaven har i hovedsak gått ut på å hente inn informasjon rundt bruken av SF_6 gass og de nye teknologiene som er under utvikling.

For å få et best mulig bilde av dette, ble en rekke bedrifter kontaktet. Responsen var noe varierende, men de som tok seg tid til å svare kom med svært grundige svar. Dette igjen har resultert i flere bedriftsbesøk og møter hos Skagerak energi, Eidsiva og ABB. Det er også planlagt et møte med brukergruppen for SF_6 , der jeg skal få observere på ett kurs for sertifisering. Dette møtet er to dager etter innlevering av bacheloren, men vil bli tatt med i fremføringen.

I arbeidet med SF_6 gass i Norge er det laget en brukergruppe som har i oppgave å kartlegge bruk og utslipp av gassen. Denne gruppen består av de største elektrobedriftene i landet, og ga derfor et godt grunnlag for hvem som videre kunne kontaktes. Brukergruppen holder møter der alle medlemmene blir oppdatert på den nyeste informasjonen innenfor temaet. Noen av disse foredragene ligger som grunnlag for denne oppgaven.

Det er i tillegg blitt gjort litteratursøk, men det er erfart at den største kunnskapen kommer fra selve bedriftene.

Det blir ikke lagt vekt på kostnaden på løsningene, da denne informasjonen ikke er tilgjengelig.

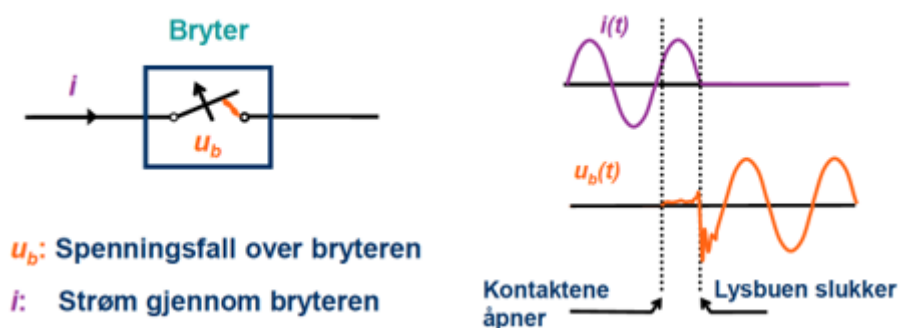
2 SF₆ gass

2.1 Tekniske egenskaper

Som nevnt har SF₆ gass en GWP på 22 800, og den har en levetid i atmosfæren på 3 200 år. Dette gjør gassen til den mest potente klimagassen vi kjenner til.

Gassen blir fremstilt ved relasjon mellom fluorgasser og smeltet svovel. Den er luktfri, fargeløs og er ikke-brennbar. SF₆ har en svært høy tetthet og er omtrent fem ganger tyngre enn luft (1). Ved for høyt trykk er det fare for kondensering, noe som gir dårligere elektrisk isolasjons varme. Trykket i anlegget vil variere med temperaturen, og ved for lav temperatur vil gassen gå delvis over i væske-form (2).

SF₆ gass blir i hovedsak brukt som enten isolasjonsmedium, da den har en høy dielektrisk holdfasthet eller som brytermedium da den kan bryte vekselstrøm på en effektiv og skånsom måte. Når strømmen brytes tennes det en lysbue som brenner frem til strømmens nullgjennomgang. Når en strømbrytning forekommer er dette for å forhindre lysbuen å antenne igjen etter nullgjennomgangen (2), illustrert i figur 1 nedenfor.



Figur 1. Lysbue og nullgjennomgang. Ref. (2)

2.1.1 Isolasjonsmedium

Den store fordelen med SF₆ gass er dens dielektriske holdfasthet, som kommer av dens elektronegative egenskaper. Dette gjør at ved å bytte ut luft med SF₆ gass kan avstanden mellom spenningsførende komponenter minskes med 2.5 m (1), dermed vil plassbehovet også bli mindre. Plassbehovet kan igjen reduseres ved å sette større trykk inne i kapslingen for å øke den dielektriske holdfastheten ytterligere. Med den tette kapslingen vil gassen ha det vanskeligere med å unnslippe, noe som også er en fordel.

For at SF₆ gass ikke skal kondensere er det optimale trykket 5-6 bar. Kondensering av gassen vil ikke være et problem før det blir -25 grader eller kaldere. Anlegg med SF₆ som isolasjonsmedium vil dermed kunne bygges på et mindre areal, mens ved luftisolasjon må de store spenningene bygges som utendørsanlegg. Hvis man tar utgangspunkt i en transformator, brukes det normalt olje som isolasjonsmedium. Ved å bytte ut dette med SF₆ gass med trykk på 6 bar, vil risikoen for brann og eksplosjonsfare minske betraktelig.

En nettstasjon selges opprinnelig som vedlikeholdsfri, og dermed skal det ikke være behov for etterfylling av SF₆ gass. Dette gjør det vanskelig å anslå hvor mye gass som slipper ut. Gassmengden i anleggene varierer også mye ut i fra hva produsenten har estimert for anlegget og når et anlegg ble bygget. Derfor kan det ikke med sikkerhet sies hvor mye SF₆ som er installert, men det er rimelig å anta at per felt er det 0.7-1 kg. De aller fleste nettstasjoner har tre felt (1).

ABB har gjort beregninger for å få en oversikt over hvor mange av nettstasjonene i Norge som inneholder SF₆ gass. Dataen viser omtrent 140 000 kg SF₆ fordelt utover stasjonen, hvis det antas at det er omtrent 3 kg per nettstasjon. Det vil gi en markedsandel på 36 % med installert SF₆ gass (1).

2.1.2 Brytermedium

De mest vanlige bryterne med SF₆ er lastbrytere og effektbrytere. Lastbryteren bryter normale strømmer i nettet, mens effektbryteren kan bryte alle strømmer også de som oppstår ved feilstømmer i nettet, som kan være høyere enn den normale strømmen.

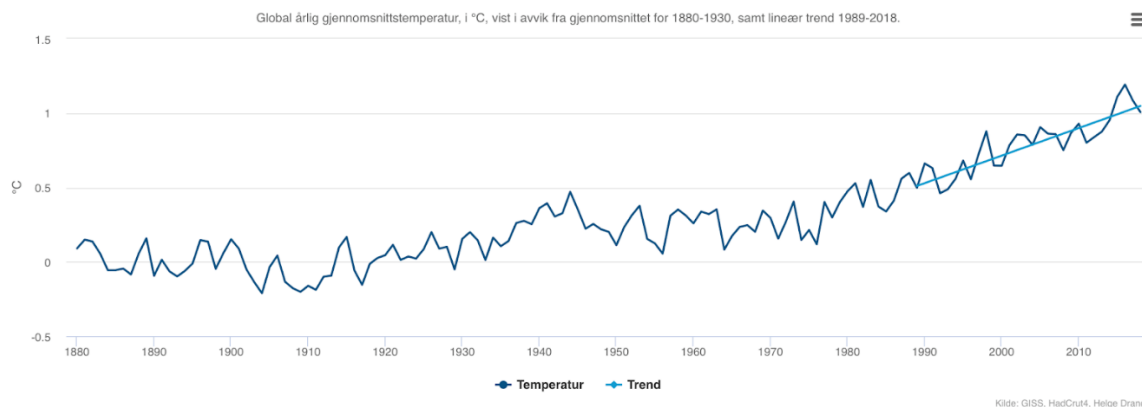
Det er fordi SF₆ gass har en spesielt god egenskap for å bryte strømmer, noe som gjør denne gassen aktuell som brytermedium.

Ved bruk av 50 Hz vekselstrøm, benyttes egenskapen der strømmen er lik null hvert 10 ms. Strømmen i et høyspentanlegg brytes da i dette øyeblikket, og det skapes en lysbue. SF₆ molekylene brytes fra hverandre, til svovel- og fluoratomer. Når så gassen kjøles ned, samler molekylene seg tilbake i opprinnelig form og tar dermed form som SF₆ igjen. Denne egenskapen gjør SF₆ gass unik og dette er en nødvendig egenskap for vedlikeholdsfrie anlegg.

Gassmengden som blir brukt i effektbrytere er høyere enn for lastbrytere. Felt for AIS (Air insulated switchgear) med effektbrytere på 132-140 kV blir det brukt 40 kg, mens et GIS (Gas insulated switchgear) anlegg blir det brukt 500 kg. Dette resulterer i at GIS anlegg har 12.5 ganger så mye SF₆ enn AIS og plassbehovet er desto større.

2.2 Miljø

«Ifølge FNs klimapanel skyldes mer enn halvparten av oppvarmingen etter 1960 med mer enn 95 prosent sikkerhet menneskelig aktivitet i form av klimagassutslipp og avskoging» (5).



Figur 2. Gjennomsnittstemperaturer globalt. Ref. (6)

Figur 2 ovenfor viser at ni av de ti varmeste årene siden målingen startet har kommet etter 2015. Klimagassene som blir sluppet ut blir samlet opp i atmosfæren, der blir de sammen med solstrålene som atmosfæren holder igjen, med på å varme planeten. Dette kjenner vi igjen som drivhuseffekten. Uten drivhuseffekten ville jordas gjennomsnittstemperatur vært rundt -19 grader (2).

I 1997 ble kyoto-protokollen vedtatt og den har som mål å redusere industriens utslipp av klimagasser. I Norge og EU skulle det reduseres med 8 % slik at nivået ble som før 1990. Dette var ikke oppnåelig og EU vedtok i 2006 en ny lov som skulle bidra til målet og under denne loven ble SF₆ nevnt.

I Norge står SF₆ gass i høyspentsektoren for 0.1% av de samlede klimagassutslippene (2). Potensielt kan anleggene i brukergruppen stå for 10% av Norges klimautslipp ut fra mengden installert gass (7). For å redusere dette utslippet har det blitt innført et renhetskrav til både ny og eksisterende SF₆ gass. IEC har fem kvalitetskategorier når det gjelder ny SF₆ gass, SF₆ gass til gjenbruk og SF₆ gass som ikke er gjenbrukbar. For mer informasjon angående disse kvalitetskravene refereres til kilde (2).

Lekkasjeraten for SF₆ er bestemt av IEC og den skal ikke overstige 0.1% for mellomspenningsanlegg og 0.5% for høyspenningsanlegg. Norge har hatt ett utslipp liggende mellom 0.2% - 0.4% siden 2003, sett bort fra år 2006 da flere store lekkasjer inntraff og lekkasjeraten kom opp i 0.7% (7).

Når det gjelder Norge er det bedriften RENAS som tar imot kassert elektronisk utstyr, mens SF₆ gass sendes til Stena Recycling. Arbeidsklær som har vært i kontakt med SF₆ utstyr trenger ikke å bli kassert, dette kan bli nøytralisert med en lutopløsning (2).

SF₆ gass i seg selv er ikke farlig for mennesker. Det er først når det oppstår det man kaller spaltningsprodukter at den blir giftig. Disse oppstår ved lysbuer eller temperaturer over 500 grader (2). To av spaltningsproduktene er SF₄ og SOF₂ er vist i tabell 2 under. Disse angriper lungene og kan lage store skader, samt at disse gassene vil ha en sterk og intens lukt (1). Et tredje spaltningsprodukt er AlF₃ (Aluminium fluorid), som opptrer som et hvitt pulver. Ved kontakt med fuktighet er dette etsende (7). Tabell 1 nedenfor viser spaltningsproduktene fra SF₆.

Tabell 1. Spaltningsprodukter, konsentrasjon og volumprosent Ref. (1)

Spaltningsprodukt	Konsentrasjon, volumprosent
Svoveloksid difluorid, SOF ₂ (SF ₄)	0.5 %
Svoveloksid tetrafluorid, SOF ₄	0.085 %
Svoveltetrafluorid, SF ₄	0.085 %
Svoveldekafluorid, S ₂ F ₁₀	0.025 %
Svoveldioksid difluoris, SO ₂ F ₂	0.006 %
Svoveloksid, SO ₂	0.002 %
Hydrogenfluorid, HF	1.0 %

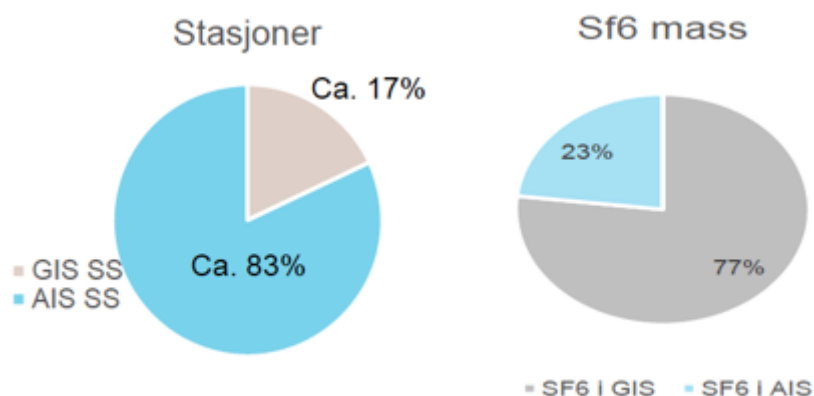
Da SF₆ gass har en høy massetetthet vil den ved utslipp legge seg på bakkenivå, der den fortrenger oksygenet oppover. Dette kan føre til kvelningsfare for personell som befinner seg i området, siden som nevnt tidligere er den luktløs og fargeløs.

2.3 Bruk av SF₆ gass

ABB antar at rundt 80% av nettstasjonene som installeres i Norge bruker SF₆ (1). I hovedsak har vi to typer anlegg i Norge. GIS anlegg der SF₆ gass brukes som isolasjonsmedium og brytermedium, mens i et AIS anlegg brukes SF₆ i brytere. Det er stor forskjell på hvor mye SF₆ gass de to anleggene bruker, siden det ene står i friluft og kan ha større areal for komponentene, mens det andre har mindre areal og bruker SF₆ som isolasjon.

Bruken av SF₆ i høyspentsektoren forekommer i sentralnett, regionalnett og i trafostasjoner med høyere spenning enn 52 kV. For spenninger under 52kV benyttes det vakuumbrytere som håndterer dette.

Som man leser ovenfor er det en klar fordel ved bruk av SF₆ at man reduserer plassbehovet, der vanligvis et GIS anlegg kan bygges inntil 15% mindre enn AIS anlegg (2). 83% av anleggene som bruker SF₆ gass er av typen AIS, men anlegget i seg selv bruker 23% av SF₆ gass. Resterende 17% er GIS anlegg hvor det brukes 77% SF₆ gass. Figur 3 nedenfor viser fordelingen i stasjoner og SF₆ masse.



Figur 3. Fordelinger og mengder ref. (13)

2.3.1 Bruk av SF₆ I GIS anlegg

Et GIS anlegg ligger gjerne inne i et fjell eller på trangere områder der det ikke er mulig å bygge et stort anlegg. Ved bruk av SF₆ gass gir det mulighet for et mer kompakt anlegg da komponentene kan flyttes nærmere sammen med SF₆ som isolasjonsmedium. Det gir også fordeler ved at det er berøringssikkert, har lang levetid og har lite vedlikehold. Gassen i anlegget isolerer de delene som ligger på høyt spenningsnivå fra de lavtliggende nivåene og i tillegg transporterer vekk varme fra ledere som igjen gjør levetiden på anlegget lenger.

Et GIS anlegg kan være enten lukket eller forseglet. De lukkede anleggene er normalt eldre anlegg med høyspenning over 132 kV, som inneholder store mengder med SF₆ gass. Disse anleggene er ansvarlige for tre fjerdedeler av utslippene, da i forbindelse med revisjon, lekkasje eller vedlikehold (1).

I de forseglede anleggene blir det normalt ikke utført revisjon eller vedlikehold og de blir heller ikke åpnet før de blir levert til destruksjon. Det blir derfor ikke tilført mer SF₆ gass gjennom levetiden til anlegget og dermed unngår man utslipp ved eventuelt påfylling. Dette er også grunnen til at nyere anlegg leveres som forseglet for å redusere utslippet.

Ser man på et bryteranlegg vil dette bli bygget som GIS anlegg fremfor AIS, siden arealet reduseres inntil 90%. Tar man også for seg et 145 kV anlegg med brytere vil dette inneholde rundt 85 kg med SF₆ gass. Hvis man øker bryterfeltet til 420 kV vil mengden med SF₆ gass tidobles og ende opp rundt 800 kg (7).

2.3.2 Bruk av SF₆ I AIS anlegg

Et AIS anlegg ligger ute i fri luft med god plass rundt. Dette gjør at komponentene kan ha større avstand og det kan holde med isolering av ren luft. Det blir likevel brukt SF₆ i lastbrytere og effektbrytere.



Figur 4. AIS og GIS arealforskjell. Ref. (15)

LCC (Livssyklus kostnaden) til et GIS anlegg sammenlignet med et AIS, er at for et GIS anlegg er utstyret dyrere. Hvis det regnes med tilleggsutstyr som installasjon, overvåkning og annet, blir kostnadsforskjellen mindre.

For brytere er feilfrekvensen for GIS en fjerdedel av det den er for AIS, og dette gjør at vedlikeholdskostnaden er mindre for GIS og siden feilfrekvensen er lavere for GIS vil utgangskostnaden for AIS være større. Driftskostnaden for anleggene er like, men opplæring i GIS er noe høyere enn for AIS.

Det er vanskelig å si noe konkret om prisforskjeller på anleggene og det må derfor gjøres en individuell vurdering på hvert enkelt når det søkes om bygging. Tabellen nedenfor viser en oversikt over kostnadene sammenlignet for GIS og AIS over en tiårsperiode (14).

Tabell 2. AIS og GIS sammenligning. Ref. (14)

LCC	AIS(%)	GIS(%)
Planlegging og engineering	100	80
Eiendom	100	40
Primærutstyr	100	120
Sekundært utstyr	100	100
Konstruksjon	100	60
Montering	100	70
Vedlikehold	100	50
Brudd	100	50
Etter 10 år	100	Maks 70

2.3.3 Installerte mengder med SF₆ gass

Bruken av SF₆ gass har vokst siden 2002, da brukergruppen startet med å registrere mengden SF₆ gass i Norge. Dette kommer av at Norge bygger ut strømmettet sitt. Fra 2002 til 2015 har det vært en økning på 25,48 %, der vekstraten har variert med årene. Tabell 3 nedenfor viser installert mengde SF₆ gass hos medlemmene i brukergruppen.

Tabell 3. Installert mengde SF₆ gass fra brukergruppen. Ref. (1)

År	Kg SF ₆	Årlig vekst [%]	Akkumulert vekst [%]
2002	211 359	-	-
2003	211 153	-0.10	-0.10
2004	213 141	0.94	0.84
2005	216 898	1.76	2.62
2006	226 842	4.58	7.33
2007	230 843	1.76	9.22
2008	241 259	4.51	14.15
2009	249 791	3.54	18.18
2010	254 442	1.86	20.38
2011	256 429	0.78	21.32
2012	252 275	-1.62	19.36
2013	262 067	3.88	23.99
2014	263 120	0.40	24.49
2015	265 212	0.80	25.48

De antatte mengdene med SF₆ i høypentanlegg er 400 tonn og økende. Den installerte mengden er fordelt som ut i fra tabell 4 nedenfor.

Tabell 4. Installert mengde SF₆. Ref. (2)

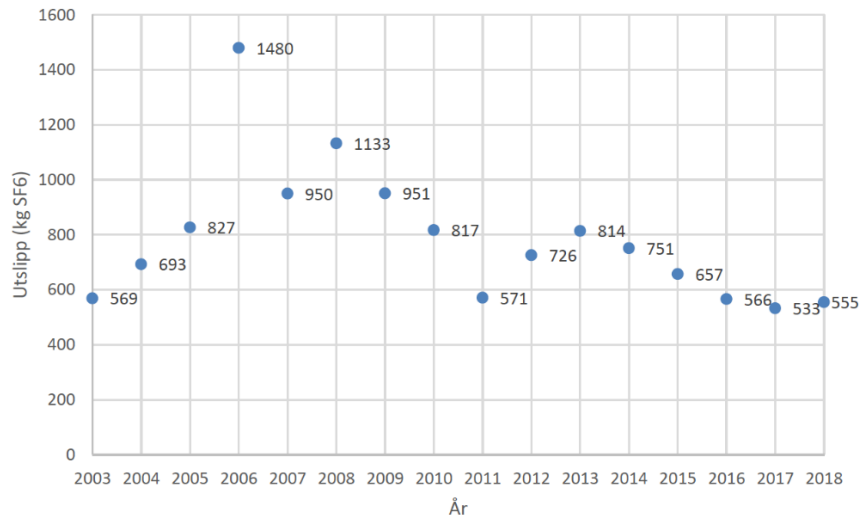
Anslått mengde installert (tonn)	
SF ₆ -anlegg 145-420 kV	250
Frittstående brytere større enn 72,5 kV.	30
Mellomspenningsanlegg	80
Lagerbeholdning	15
Andre komponenter	1
SUM	376

2.3.4 Utslipp av SF₆ gass

Brukergruppen definerer utslipp som årlig etterfylling av SF₆ i anleggene, da det gir tall på hvor mye som har lekket ut. Tallene kommer fra medlemmer som rapporterer inn. Siden starten av registreringen har dette tallet gått ned, og det har nå stabilisert seg med rundt tre promille av installert mengde (1). I tabell 5 er det vist en oversikt over utslipp av SF₆ gass av medlemmene av brukerguppen. Tallene er tatt i fra brukergruppens gassregnskap i 2018 som kan finnes på nettsiden til SF₆. Det kommer frem at medlemmer av brukerguppen har installert 12 500 kg mer i 2018 enn i 2017, men at utslipp/anleggsmasse er den samme.

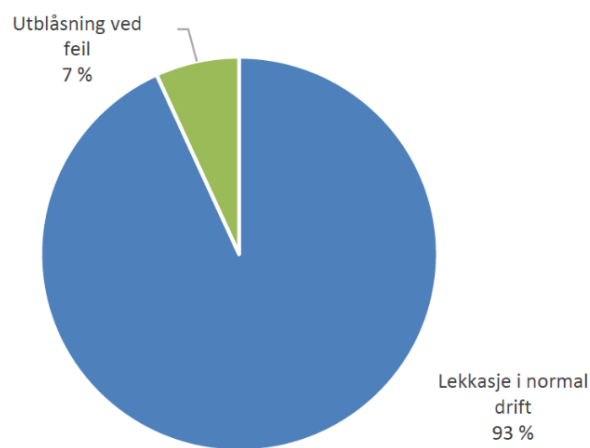
Tabell 5. Utslipp av SF₆ fra brukerguppen. Ref. (16)

År	Rapportert utslipp	Anleggsmasse	Utslipp/anleggsmasse
2003	569	205 122	0.28 %
2004	693	207 110	0.33 %
2005	827	210 867	0.39 %
2006	1480	220 811	0.67 %
2007	950	224 812	0.42 %
2008	1133	235 228	0.48 %
2009	951	243 971	0.39 %
2010	817	259 283	0.33 %
2011	571	256 319	0.22 %
2012	726	252 152	0.29 %
2013	814	262 066	0.31 %
2014	751	263 099	0.29 %
2015	657	264 219	0.25 %
2016	566	278 062	0.20 %
2017	533	287 120	0.19 %
2018	555	299 610	0.19 %



Figur 5. Visuell fremstilling av tabell 4. Ref. (16)

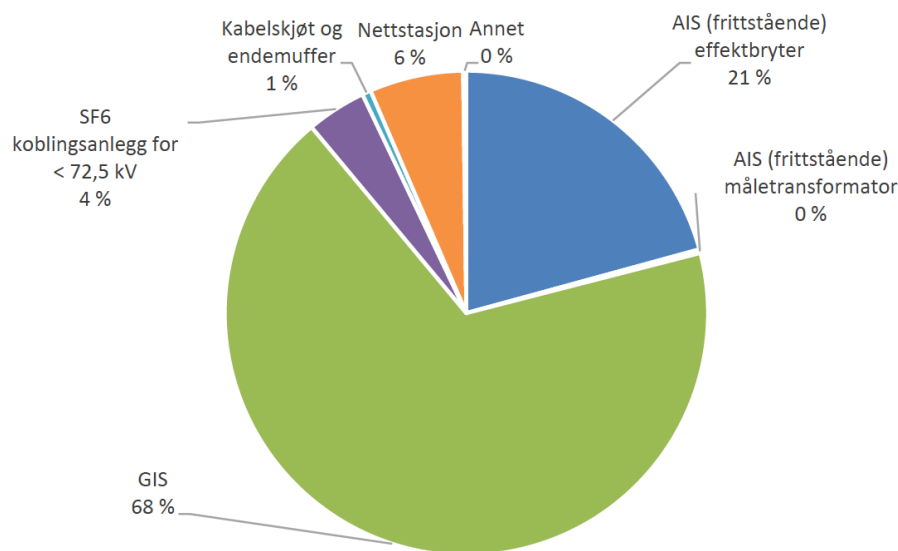
De siste årene har det stabilisert seg rundt 550 kg. Figur 5 viser tydelig et større utslipp i 2006, som er rapportert inn som to store lekkasjer i uavhengige anlegg. 2003 har omtrent samme utslippstall som 2016-2018, dette skyldes at medlemstallet har økt og dermed flere som rapporterer inn de siste årene, samt at det ble underrapportert i 2003.



Figur 6. Kakediagram av lekkasje. Ref. (16)

I 2018 er det registrert at de fleste utslipp kommer fra lekkasje under normal drift, mens de 7% vist i figur 6 kommer av utblåsning. Brukergruppen har i hovedsak rapportert inn fra spenningsnivåer over 145 kV, dermed er det liten oversikt over utslippene på de mindre anleggene.

Figur 7 viser en oversikt over hvor utslippene inntreffer. Man kan se fra figuren at det er størst utslipp fra GIS anlegg på hele 68%. Som nevnt tidligere i rapporten er det eldre anlegg av GIS type som står for store deler av utslippet.



Figur 7. Kakediagram av lekkasje fordelt på anlegg. Ref. (16)

SSB sin statistikk for 2012 viser utslippet av SF₆ i Norge var på 2524 kg (3), mens innrapporterte fra brukergruppen samme år viser et utslipp på 726 kg vist i tabell 5. Dette viser igjen at brukergruppen ikke har fanget opp alt utslippet som faktisk er i Norge. SSB gjør estimerer for utslipp basert på tall fra brukergruppen og andre kilder til SF₆-utslipp (blant annet gamle vinduer med SF₆, ABB sin produksjon av bryteranlegg med SF₆, gjenvinning av produkter med SF₆ osv.)

For 2017 viser statistikken til SSB at Norge hadde et utslipp på 2.6 tonn SF₆ (4). Vist i tabell 6 nedenfor kan man se de totale klimautslippene i Norge gjort om til CO₂-ekvivalenter. SF₆ går under kategorien fluorgasser, og dette utgjør 0.59 av 1.5 millioner CO₂-ekvivalenter. Dette tallet er lite om man sammenligner det med de totale klimagassene på 52.7 mill. tonn, men i gjengjeld er SF₆ gass den med høyest GWP og dermed utgjør den en større risiko.

Tabell 6. SSB statistikk utslipp CO₂. Ref. (4)

Utslipp til luft av klimagasser, etter kilde. 2017		
	Klimagasser i alt	SF₆
	Mill. tonn CO ₂ -ekvivalenter	Tonn
Alle kilder	52,7	2,6
Bruk av produkter med fluorgasser, løsemidler m.m.	1,5	2,6

Tabell 7 nedenfor viser utslippene av SF₆ gass over en tidsperiode på nesten 30 år. Her kommer det tydelig frem at utslipp av SF₆ til luft har sunket drastisk siden 1990.

Tabell 7. Utslipp fra 1990-2017. Ref. (4)

Utslipp til luft av klimagasser. Tidsserie. Mill. tonn CO₂-ekvivalenter¹		
År	Klimagasser i alt	Svovel- heksafluorid (SF ₆)
1990	51,2	2,1
2000	54,8	0,9
2013	54	0,1
2014	54,1	0,1
2015	54,4	0,1
2016	53,6	0,1
2017	52,7	0,1

Årsaker til utslipp:

Årsaker til de fleste utslipp er som nevnt:

- Tap ved gassbehandling
- Ved feil eller planlagt revisjon
- Feil på anlegg
- Anlegg med lekkasje over tid
- Overlagt utslipp.

Disse er noen av de årsakene som slipper ut mest SF₆ gass. Anlegg som trenger jevnlig vedlikehold, påfylling og lekkasje er de største faktorene.

Tiltak for utslipp:

Tiltak som kan iverksettes for å redusere utslipp av SF₆:

- Bedre rutiner og utstyr
- Forby bruk av SF₆ i mellomanlegg
- Fase ut bruken totalt

Statnett sine tiltak har vært følgende (13):

- Optimalisere kamre
- Innføre mulighet for måling av gasstrykk
- Foreta månedlige avlesninger med manometer
- Kontinuerlig overvåking med utstyr

2.4 Regelverk

EU har strenge krav og regler rundt utslipp av klimagasser. SF₆ går under fluorholdige klimagasser og er nevnt i flere forordninger. Den nyeste er EUs forordning nr. 517/2014. Denne skjerper inn kravene om hvordan gassene skal håndteres og hvordan man skal redusere utslipp ytterligere. Hvis det blir gjort overlagte utslipp, er det eiere og de som utfører arbeidet som blir holdt juridisk ansvarlige. I Norge er det miljødirektoratet som har ansvar for at kravene etterleves (2). Et av de største målene ved denne forordningen er at utslippet av SF₆ gass skal reduseres med to tredjedeler innen 2030.

Forordningen som kom i 2014 er bygget på den som ble vedtatt i 2006. I den første versjonen, som var en oppfølging av Kyotoprotokollen, omtales HFK, PFK og SF₆. Denne legger ansvaret av utslippene over på eieren eller de som drifter anleggene der utslippet kommer ifra. De skjerper kravene om gjenvinning av gasser og de innfører rapporteringsansvar for all produksjon, import og eksport av SF₆ gass der kvantumet er større enn 1 tonn i året. I tillegg til dette forbys bruken av SF₆ i bildekk og magnesium industrien, der det brukes mer enn 850 kg årlig (2).

Regelverket stiller også strenge krav til hvordan gassen håndteres og sertifisering av de som jobber med gassen. Ved sertifisering av personell, skal det holdes en skriftlig og en praktisk prøve. De som så blir godkjent blir registrert i et nasjonalt organ. Sertifiseringen er kun gyldig i 5 år. I Norge har det blitt bestemt at de gamle sertifikatene er gyldige til 1 juni 2020, etter dette må man ta sertifiseringen på nytt. I Norge er det Brukergruppen som står for sertifiseringskursene som blir holdt flere ganger i løpet av et år.

3 Brukergruppen

I 1991 ble det opprettet en brukergruppe for SF₆ i Norge. Denne har som formål å fremme erfaringer og problemer knyttet til bruken av SF₆ gass, drift, vedlikehold og utvikling. Hensikten med brukergruppen var å etablere et samarbeid mellom miljødirektoraret og elektrobransjen. De hadde en avtale som gikk mellom 2002 og 2012, hvor hensikten var å forebygge og redusere utslippet av SF₆ gass. Dette viste seg å ha en positiv effekt og derfor valgte de å gå videre med prosjektet. Medlemmene i gruppen er eiere og leverandører av høyspentanlegg, og de som leverer varere eller tjenester innenfor høyspentsektoren. Det blir annet hvert år holdt ett to dagers møte der det oppdateres om den siste tids utvikling i form av utslipp og bruk av gassen, ny teknologi og nye regler og tiltak. Dette er for at medlemmene skal holde seg oppdatert innenfor emnet som er under stadig utvikling. I styret av brukergruppen er Hafslund, Statnett, BKK Nett, Mørenett, NVE og SINTEF energi representert. De andre medlemmene består av andre store og små bedrifter i Norge.

For at utslippsmålene skal nås har medlemmene forpliktet seg til å ha en oppdatert oversikt over beholdningen og sørge for at alt personell som arbeider med gassen er sertifisert. Brukergruppen forplikter seg til å ha tilgjengelig verktøy i form av et databasesystem for medlemmene slik at de kan spore endringer og rapportere feil på sine anlegg i tillegg til at brukergruppen skal stå for opplæring av sikker håndtering av gassen.

Styringskomiteen har også ansvar for å sende ut oppdateringer og statistikker, holde sertifiseringskurs og registrere feil som blir sendt inn av medlemmene.

Brukergruppens har i tillegg til nyhetsoppdateringer på mail, en blogg der det legges ut innlegg angående SF₆.

De organiserer også noe som er kalt «*Samordning av reservedelshold for norske SF₆-anlegg*». Denne samordningen sikrer et samarbeid mellom bedrifter med samme type SF₆ utstyr, slik at ved en feil på anlegget vil det gå raskere å skaffe reservedelene eller spesialutstyret som trenges.

Det er krav om opplæring gjennom EU-forordning 842/2006, for at bedriften skal kunne oppnå miljøsertifisering. Der heter det at kvalifisert personell skal utføre gjenvinning av gassen og annen håndtering. Brukergruppen har kurs og eksamen som settes opp ved behov. Dette er et to dagers kurs som avsluttes med en teoretisk og en praktisk prøve. Neste kurs vil bli avholdt i mai 2019. Ved bestått eksamen er sertifiseringen godkjent i 5 år, etter dette må en ny teoretisk prøve bestås for å bli sertifiser igjen.

Brukergruppen skal tilby følgende:

- Være et talerør ut mot myndighetene
- Tilby praktiske kurs knyttet til drift
- Tilby registreringsprogram til medlemmer
- Samle inn data og rapportere dette hvert år

4 Nye teknologier

Da det er ønskelig å minske forbruket og utslippet av SF₆ gass, jobber markedet med å finne opp nye løsninger. Det har kommet flere nye teknologier, der de største bedriftene som ABB, Siemens og GE har prosjekter som er under utprøving. De nye forslagene bygger på nye og mer miljøvennlige gasser eller videreføring av bruk av vakuum eller luft. Fluorketoner og Fluornitriler vil ikke kunne erstatte SF₆ som brytermedium, kun som isolasjonsmedium og det er da mest aktuelt i GIS anlegg (1).

Det er forsket på å bruke CO₂ i brytere, samt vakuum som et alternativ på de høyere spenningene. Per dags dato er det ingen gode tekniske alternativer for effektbrytere på de høyeste spenningsnivåene.

For å kvalifisere som et alternativ til SF₆ gass (8), er det flere egenskaper som kreves, blant disse er:

- Høy dielektrisk holdfasthet
- Kjøle- og slukkeevne av lysbuer
- Egenskap for å lede bort varme fra ohmske tap i ledere
- Skal ikke være skadelig for miljøet eller giftig
- Den bør ikke forbrukes av lysbuen
- Økonomisk gunstig
- Den må kunne brukes i sammenheng med andre materialer i anlegget.

I arbeidet for å nå disse egenskapene har flere parameter blitt testet ut, og det har blitt forsket på forskjellige gasstyper eller sammensetninger, gasstrykk, hvordan gassen har blitt blåst inn i bryteren og antall slukkekamre. Flere av mulighetene er satt sammen i kombinasjonsløsninger (8).

4.1 Vakuumbrytere

Det dominerende valget på lavere spenningsnivåene er vakuum som brytermedium for effektbrytere. Siemens har utviklet en teknologi som også dekker de større spenningene, og på markedet leverer de opp til 145 kV. For å nå opp på enda større spenningsnivåer kan det settes flere bruddsteder i serie (8).

I deres løsning er det kombinert vakuum med teknisk ren luft, som er den beste miljømessige løsningen, da det eneste utslippet blir ren luft. Ved bruk av teknisk ren luft, Siemens kaller blandingen Clean Air, vil vedlikeholdet ved GIS anlegg kortes ned fra 2.5 timer til 40 minutter (12). Blandingen består av 80% N₂ og 20% O₂, og blir kun brukt til isolasjonsmedium. Siemens mener deres løsning med vakuumbrytere og Clean Air isolasjon, veier opp for at den trenger noe større plass. I år 2019 blir denne løsningen på GIS klar for levering opp til 145 kV. Effektbrytere og måletransformatorer kom på markedet i 2018.

I elektronikken er en vakuumbryter en bryter som bruker elektrisk kontakt i et vakuum. Det er kjernekomponenten i mellomspenningsbrytere, generatorbrytere og høyspenningsbrytere. Separasjonen av de elektriske kontaktene resulterer i en metalledamp bue som raskt slukkes.

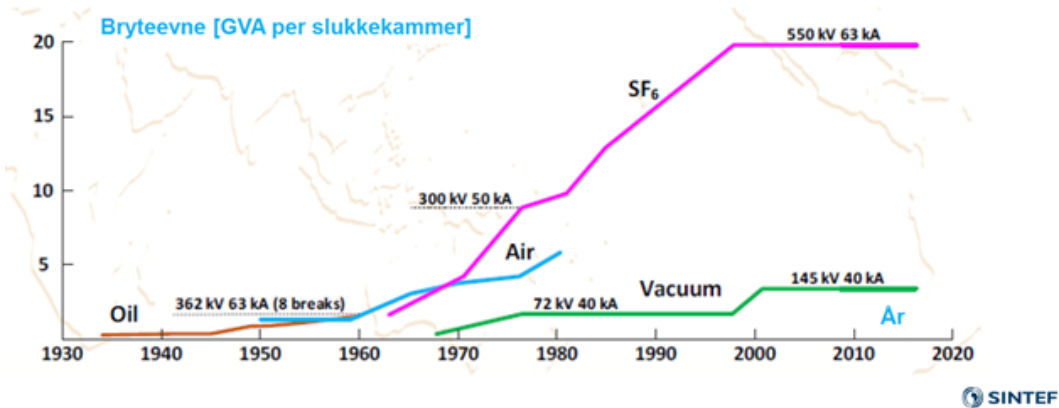
Ved bruk på mellomspenning har vakuumenteknologien flere fordeler, da den ikke tilfører noen klimaproblematikk og er nærmest vedlikeholdsfri. Den tåler lave temperaturer og tåler svært mange koblinger. I tillegg er lysbuespenningen lavere og lysbuetiden kortere. Vakuum på mellomspenningsnivå har få ulemper, men når spenningen øker har ikke lenger vakuum de egenskapene som trengs.

Den dielektriske holdfastheten kan variere noe for vakuumbrytere og den kan få noe forsinket overslag. Holdfastheten kan også endres over tid da det kan komme til metallpartikler (10).

Den uforutsigbare holdfastheten gjør at vakuum egner seg dårlig i skillebrytere. I en vakuumbryter kan lysbuen ved høy temperatur endre seg og bli til en innsnevret lysbuemodus. Når strømmen går mot null, vil den klippes, dette kan være problematisk og i noen tilfeller vil det oppstå overspenning i prosessen (10).

Hvis spenningen over vakuumbryteren blir for høy vil det oppstå en røntgenstråling, skillebryteren sørger normalt for at dette ikke er et stort problem (9).

Arbeidet frem mot nye alternativer har tatt tid, og det er få som har vist seg som så gode løsninger som SF₆. Figur 8 nedenfor viser utviklingen gjennom årene.



Figur 8. Bryteevne for SF₆ vakuum. Ref. (8)

4.2 Fluorketoner

Fluorketonene er en gassmiks utviklet for brytere som opererer fra 24 kV til 170kV. Gassen er en miks av Fluorketoner (C5-PFK), karbondioksid (CO₂) og oksygen (O₂) for høyspentanlegg. Gassen for mellomanlegg er Fluorketoner (C5-PFK), nitrogen (N₂) og oksygen (O₂).

Dette fluorerte molekylet har en kjemisk sammensetning som dekomponeres under ultrafiolett lys i den nedre atmosfæren. Derfor er levetiden 14 dager i motsetning til 3 200 år som SF₆ har, og det dekomponeres ned til ubetydelige mengder CO₂ og blir sett på som ikke skadelig for miljøet (17).

På grunn av dette så er den GWP mindre enn 1, enda lavere enn CO₂. I tillegg er dette fluorerte molekylet ikke giftig, ikke brennbart og har ingen effekt på ozonlaget. Fluorketoner ferdig blandet har omtrent samme isolasjonsevne som SF₆ gass, men noe dårligere bryterevne. En annen ulempe er at gassen ikke rekombineres etter en lysbue (8), og dermed vil bli dårligere med tiden. Produsenten mener at det ikke skaper problemer da mengden gass i et kammer er stor.

GWP verdien er nesten 100% mindre enn SF₆ uten at dette går ut over utstyrets kvalitet og pålitelighet. Denne gassblandingen er den eneste tilgjengelige så langt og den oppfyller ytelse kriterier i henhold til IEC standard med en GWP <= 1.

Ved ren form av C₅ kondenserer gassen om til væske ved 27 grader, og dermed er det valgt og blande inn flere gasser som gjør den mer stabil.

Utvikleren av denne gassen er firmaet 3M, der den kalles NOVEC 5110, der dens egentlige navn er C5F10O. ABB har patent på denne gassen kalt AirPlus, selv om de nå velger å åpne opp for bruk for andre leverandører.

4.3 Fluornitriler

Fluornitriler har en GWP på 2210, noe som fortsatt er betydelig mindre enn SF₆, men mer enn fluorketoner. Den har også noe bedre elektriske egenskaper enn fluorketoner, selv om isolasjon- og bryteevnen er omtrent lik. Denne gassen rekombineres ikke etter lysbuer (8).

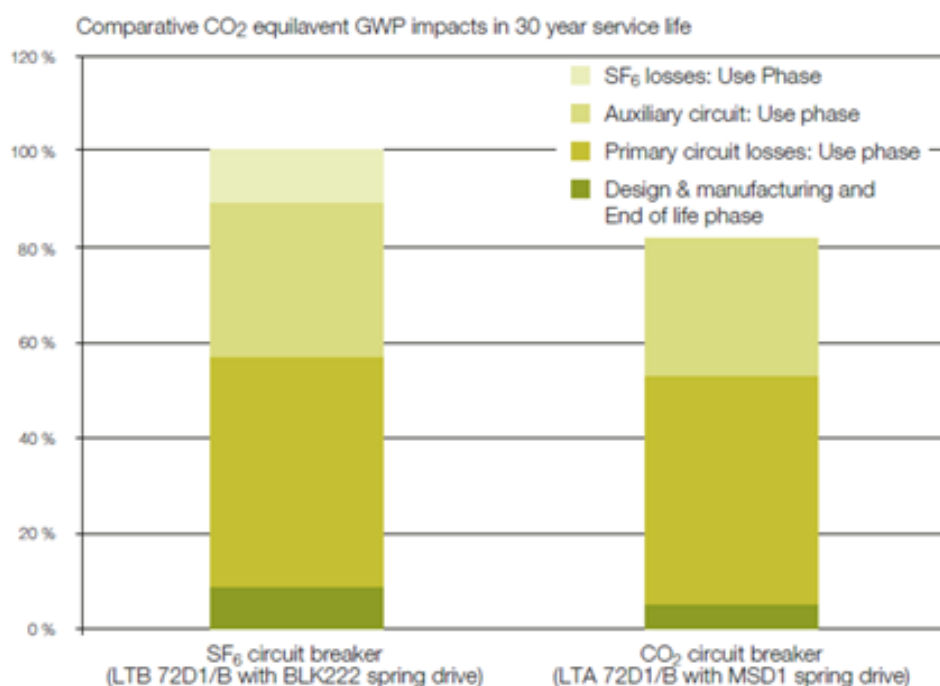
Utvikleren av denne gassen er også 3M, der den kalles NOVEC 4710, der dens egentlige navn er C₄F₇N. GE bruker Fluornitriler i en blanding med CO₂ i sitt "Green Gas for Grid".

Blandingen består av 4-6 % nitriler og resten CO₂, trykket er satt til 7-8 bar. På markedet er det tilgjengelig opp til 145 kV, med en temperaturgrense ned til -30 grader (8).

4.4 CO₂

Karbondioksid (CO₂) er en naturlig forekommende gass med GWP verdien på 1. Noe som gir lite miljøpåvirkning. Den rekombinerer etter bryting, men har bare en tredjedel av SF₆ gassen sin dielektriske holdfasthet. Hvis den settes under trykk øker dette noe, og ved 10 bar oppnår den 60-80% av bryteevnen og holdfastheten til SF₆ gass. Hvis det blandes inn 10-20% O₂ øker bryteevnen ytterligere. (8)

Ved å erstatte brytere på 72.5 kV fra SF₆ til CO₂ vil den i løpet av sin levetid redusere CO₂ utslippet med 10 tonn vist i figur 9 nedenfor.



Figur 9. CO₂ bryter sammenlignet med SF₆ bryter. Ref. (11)

5 Resultat og diskusjon

Ved innføring av nye teknologier må også rutiner endres for å tilfredsstillende kravene som settes. Utstyr som håndterer SF₆ gass må også eventuelt byttes ut, tilpasses eller det må innføres nye løsninger, på grunn av kombinasjon av nye gasser. Trykkovervåkning i anlegg må også forandres, når det nå kan forekomme overtrykk. Med nye sammensetninger av gasser vil ikke alt kunne la seg gjenvinne, og det må derfor lages egne maskiner for å kunne rette gassammensetningen. Lekkasjeraten for en gassblanding vil variere da hver sammensetning av gasstyper reagerer forskjellig (8), samt måleinstrumenter må oppdateres når gassene byttes ut.

Når det gjelder nettselskapene oppfordrer NVE til å tenke gjennom bruken av SF₆ og hvilke utfordringer som følger med når gassen brukes. De vil ikke begrense bruken av SF₆ i GIS anlegg, men mener at nettselskapene selv bør ta bevisste valg når de vil bruke SF₆ gass. NVE sin rapport fra 2017 ble en rekke nettselskaper spurt om deres holdninger og fremtidsplaner ved oppsett av GIS anlegg. Dette er interessant da GIS anlegg har den største forbruken av SF₆ gass i Norge. Det som gikk igjen fra innrapporteringen var arealbegrensninger, investeringskostnader, pålitelighet, visuelle virkninger og klima- og miljøpåvirkninger (7).

Det nettselskapene har innrapportert kan man finne i sin helhet i vedlegg B.

Videre er det noen forskjellige meninger bland nettselskapene og det varierer om de melder inn til brukergruppen ved feil. Klimautslippene er i fokus for mange og alle forsøker å unngå utslipp av SF₆ gass. De fleste nettselskapene ville valgt et GIS anlegg fremfor AIS, siden det viser seg å være billigere og mindre vedlikehold over tid. De nettselskapene som foretrekker AIS anlegg er også villige til å bygge GIS anlegg i tettbebygde strøk. Allikevel vil nettselskapene gjøre en alternativvurdering der AIS er å foretrekke hvis det er mulig og økonomisk tilfredsstillende (7).

I tabell 8 er en oversikt over de positive og negative egenskapene til gassene som er gjennomgått i oppgaven. Tabellen viser at fluorketoner og fluornitriler er de mest miljøvennlige, mens SF₆ gass har de beste tekniske egenskapene.

Tabell 8. Tekniske egenskaper. Ref. (9)

Egenskaper (Der 4 er positivt og 1 er negativt)	SF₆	Ketoner	Nitriler
Dielektrisk holdfasthet	4	3	3
Lysbue slukking	4	3	3
Termisk ledeevne	4	3	3
Stabilitet	4	2	2
Ikke giftig	2	3	3
Klimavennlig	1	4	3
Kompatibelt med andre materialer	4	3	3
Kokepunkt	4	2	2

En sammenligning av de tekniske løsningene i tabell 9 viser et potensial for erstatning av SF₆, selv om fluornitriler har noe høy GWP-verdi, fluorketoner fungerer dårligere under lave temperaturer og vakuumbøsningen vil trenge større plass.

Tabell 9. Tekniske løsninger. Ref. (9)

Gass/teknologi	Produsent	GWP	MIN temp
SF ₆		22 800	-25°C
Luft/vakuumbøsning	Siemens	1	-50°C
Fluornitriler+CO ₂ +O ₂	GE	2 210	-25°C
Fluorketoner+CO ₂ +O ₂	ABB	<1	-5°C

Det er fortsatt sider ved saken som gjenstår å avklare og hovedutfordringene går ut på om løsningene er langtidsrettet, viser seg å være stabile og pålitelige. Andre spørsmål vil være om det oppnår tilstrekkelig bryteevne, hva løsningen for høyspenningsnivåene blir og vil det oppstå skadelige spaltningsprodukter (8). Fremtiden er fortsatt uvisst angående teknologiene, men det som er vist er at SF₆ ikke lenger er aktuelt på mellomspenningsnivå. Det vil heller ikke være aktuelt å bruke alle de løsningene som er presentert, siden nettselskapene ikke ønsker anlegg med flere forskjellige løsninger å forholde seg til. For høyspenningsnivå må det komme flere og bedre løsninger før SF₆ gass kan bli faset ut.

Brukergruppen ble opprettet for å fremme fokus mot SF₆ i 1991. Spoler vi frem til i dag gjør de mye mer enn å fremme et fokus. De har innrapporteringer, kurs, sertifiseringer og er et talerør mot myndighetene for å nevne noe. Brukergruppene sine medlemmer rapporterer inn hendelser og data gjennom året, men tall fra SSB i 2017 viser at det er store forskjeller mellom hva som er rapportert inn og hva SSB viser. Det er flere aktører i Norge som ikke er medlemmer i denne brukergruppen og data som ikke blir innrapportert fra disse vises ikke i statistikken til brukergruppen, men i SSB sin statistikk. Det som kan argumenteres for er at alle som leverer produkter med SF₆ gass burde være medlemmer av brukergruppen, for å få en felles plattform for alle bedrifter hvor man rapporterer inn statistikk, tekniske løsninger mm. Hvorvidt dette skulle vært lovpålagt eller sterkt oppfordret vil fremtiden vise når det blir større fokus på miljøvennlige teknologi, utslipp og samt hvorvidt kunder generelt aksepterer en høyere pris på produkter mot at det er mer miljøvennlig.

6 Konklusjon

En oppsummering av de undersøkelsene som er utført gjennom denne bacheloren viser at det fremdeles ikke er utviklet et fullverdig gassystem som kan erstatte dagens SF₆ løsning. Dette gjelder spesielt ved bruk i høyspentsektoren hvor SF₆ er den enerådende løsningen. For de lavere spenningsområdene finnes det løsninger som blir implementert i stedet for SF₆, siden de nye teknologiene tilfredsstillere deres tekniske egenskaper.

For høyspenningsanlegg vil nok SF₆ gass fortsatt være enerådende i en periode til. Dette grunnet kostnader med innkjøp, installasjon og vedlikehold. Ser man på dette fra et miljøperspektiv er dette ugunstig selv om det er vedlikeholdsfrie anlegg, siden de på et tidspunkt må byttes ut og man ikke kan forhindre at det er noe lekkasje.

Det som også forekommer under undersøkelsen er at nettselskapene og bedrifter i Norge viser bare middels interesse for SF₆ problematikken, samt økonomi og vedlikehold er en av de større gjengangeren. For å få et fullt oversiktsbilde burde det komme retningslinjer som pålegger bedrifter om å innrapportere bruken av SF₆, enten via brukergruppen eller annet felles system i fremtiden. I dag er det meget stor avvik mellom det som brukergruppen mottar av utslipp og det som faktisk SSB sin statistikk viser.

Litteraturliste

- (1) Rondeel, W., Syed, S., Bonden, A. (2017) SF6 i høyspentsektoren (M-737|2017)
- (2) Runde, M. 2019. Arbeid med SF6-gass og SF6 isolerte høyspenningsanlegg. Brukergruppen for SF6-anlegg.
- (3) 10800: Klimagasser, etter kilde (aktivitet), energiprodukt, komponent, statistikkvariabel og år. (2012) Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/10800/tableViewLayout1/> (Hentet 23. april 2019)
- (4) Utslipp til luft (2018) Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn> (Hentet 23.april 2019)
- (5) Jansen,E. 2016. Klimaendringer og klimarisiko. (05/2016) Bergen: Norsk klimastiftelse Tilgjengelig fra: http://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2016/08/NK5_2016_Klimastatus.pdf (Hentet 28.april 2019)
- (6) Et varmere klima (2019) Tilgjengelig fra: <https://energiogklima.no/klimavakten/global-temperatur/> (Hentet 28. April 2019)
- (7) Skotland, C. H., Vik, M., Oftebro, A., Eriksson, L. A., Seim, L. H., Berg, K. S. (2017) Gassisolerte og luftisolerte bryteranlegg (55/2017) Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat.
- (8) Runde, M. (2017) Oversikt over foreslåtte teknologier, Brukermøtet 2017. Oslo, 6-7.november, 2017.
- (9) Støa-Aanensen, N. (2017) ”Nye” gasser for bruk i koblingsanlegg, Brukermøtet 2017. Oslo, 6-7.november, 2017.
- (10) Runde, M. (2017) Vakuumbryteren. Sintef
- (11) Borg, T. (2013) Presentation av LTA brytaren, LTA. 6.november 2013
- (12) Standheim, L.I. (2017) Bærekraftige løsninger for fremtidens energisystem, Brukermøtet 2017. Oslo, 6-7.november, 2017.

(13) Blanchet, G. (2017) Tilstandskontroll og overvåkning, Brukermøtet 2017. Oslo, 6-7. november, 2017.

(14) Kezunovic, M., Ghavami, M., Guo, C., Guan, Y., Karady, G., Dam, L. The 21st Century Substation Design. Texas: Texas A&M University; 2010. PSERC Publication 10-15

(15) Gas insulated substation (GIS) versus Air insulated substation (AIS) (2016) Tilgjengelig fra: <https://electrical-engineering-portal.com/gas-insulated-substation-gis-vs-ais> (Hentet 11.05.2019)

(16) SF6-Gassregnskap 2018 (2019) Tilgjengelig fra: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/sf6-gassregnskap/> (Hentet 14.05.2019)

(17) Torbergsen, G. (2019) Høyspenningsprodukter 52-420 kV, ECO-DAG, 6.februar 2019.

Vedlegg

- A. Medlemmer I brukergruppen
- B. NVE rapport – Svar på spørreundersøkelse for nettselskapene
- C. Bedriftsbesøk logg

A. Medlemmer i brukergruppen

46 Medlemmer er registrert i Brukergruppen per 2018-11-12.

- ABB v/ Brede Slåtten (950 63 524)
- Agder Energi Nett v/Vidar Pettersen (386 06 279)
- Agder Energi Vannkraft AS v/Helge G.Ø. Ruud (901 89 252)
- Bane Nor v/Frank Jensen (951 26 103)
- BKK Enotek AS v/Renate Borlaug (452 31 909)
- BKK Nett v/Nils Nesheim (551 28 626)
- BKK Produksjon v/Lars Søreide (551 27 000)
- E-CO Vannkraft v/Ranveig Jordet (320 73 036)
- EGA v/Oddvar Gaaseidnes (920 24 472)
- Eidsiva Vannkraft AS v/Lucie Boniface (959 81 606)
- Energinet.dk v/Bent M. Pedersen (+45 233 38 737)
- GE Grid Solutions v/Roger Disenbroen (957 57 978)
- Glitre Energi Nett v/Trond Eriksen (909 40 397)
- Glitre Energi Produksjon AS v/Stein Ødegaard (901 99 175)
- Gudbrandsdal Energi Nett AS v/Arne-Ivar Myrvang (982 95 288)
- Hafslund Nett v/Johnny Kjørnås (992 13 042)
- Haugaland Kraft Nett AS v/Tore Vik (975 39 461)
- Herøya Nett AS v/Øyvind Nyhus (958 24 050)
- Hydro Aluminium v/Johnny Bjørk (576 49 949)
- Infratek Norge AS v/Jørn Haugnes (412 72 511)
- INOVYN Norge AS v/Jørgen Mykløy (350 06 394)
- Landsnet v/Adalsteinn Gudmannsson (+35 456 39 320)
- Lofotkraft AS v/Bjørnar Larsen (957 21 191)
- Lundin v/Øyvind Seim (917 40 075)
- Lyse Elnett AS v/Svein Sandhaug (529 79 188)
- Megger AS v/Vidar Stene (461 70 605)
- Multiconsult v/Jonathan Skramstad Jørstad (980 73 558)

- Mørenett AS v/Stig Kyrkjeeide (977 32 696)
- Nexans Norway AS v/Erik Sandtangen (691 73 367)
- Norconsult AS v/Anders Lingaas (675 71 080)
- Nordlandsnett AS v/Torgeir Berg (948 16 339)
- Nordmøre Energiverk AS v/Tormod Stene (915 39 380)
- NTE Nett AS v/Arne Morten Kammen (959 04 795)
- Otra Kraft v/Torstein Bjørgum (995 79 141)
- REN v/Magnus Johansson (474 83 829)
- SFE Nett v/Kjetil Gausvik (578 86 117 / 940 15 234)
- Shell v/Tore Olav Hansen (711 78 185)
- Siemens v/Erik F. Haagensen (911 52 540)
- Sira Kvina Kraftselskap v/Eivind Skregelid (971 64 564)
- Skagerak Nett v/Sjur Morten Lund (950 54 118)
- Statkraft v/Jan Petter Haugli (916 55 610)
- Statnett v/Bent Mathisen (911 17 699)
- Equinor v/Håvard Andreas Pedersen (918 16 483)
- Troms Kraft Nett v/Anne-Lise Hansen (481 97 520)
- TrønderEnergi Kraft AS v/Tor Bjerkan (724 28 313)
- TrønderEnergi Nett AS v/Arnfinn Kalstad (480 99 63)

B. NVE rapport – Svar på spørreundersøkelse for nettselskapene

Hentet fra kilde 7.

Nettselskap 1

Nettselskap 1 har ingen bryteranlegg med GIS og har derfor begrenset erfaring, men ut fra tidligere prosjekter med nye stasjoner konkluderer de med at GIS er dyrere enn AIS. Som generell policy ønsker de også å redusere bruken av SF så mye som mulig pga.

klimautslippene, og bygger som hovedregel derfor ikke GIS. Nettselskap 1 sier også at de som regel har god plass rundt sine anlegg og ville sannsynligvis vurdert det annerledes dersom de hadde bygget anlegg i bynære strøk. Nettselskap 1 har nylig bygget en ny stasjon som et innendørs AIS-anlegg. Ettersom anlegget er bygget innendørs mener de at feilsannsynlighetene er svært lav, samtidig som det vil ta kort tid å reparere eventuelle feil.

Nettselskap 2

Kostnadsvurdering

Nettselskap 2 har vurdert investeringskostnadene for GIS og AIS til å være på omtrent samme nivå. Det er sjelden behov for vedlikehold på GIS, men revisjonene er kostbare. Sett over anleggenes levetid mener Nettselskap 2 at det ikke er vesentlig forskjell på vedlikeholdskostnadene (utfordrende å utarbeide et LCC-regnskap). Ved feil i anleggene, er feilretting og provisoriske omlegginger gjerne enklere og raskere å håndtere i AIS. Feilretting er også gjerne mer kostbart og tidkrevende i et GIS- anlegg. Feilsannsynligheten i et GIS-anlegg vurderes derimot til å være betydelig lavere enn i AIS. Når Nettselskap 2 planlegger og bygger GIS søker de om å bygge inn funksjonalitet i GIS-anlegget slik at de kan drifte anlegget videre med tilstrekkelig kapasitet uansett hvor en feil måtte oppstå i anlegget. Dette gjelder også under feilretting/reparasjon slik at avbruddskostnader ved feil i GIS-anlegg, ifølge Nettselskap 2, jevnt over skal bli lave.

Feil på anlegg

Nettselskap 2 har opplevd feil i GIS-anlegg, men da i et anlegg som tilhørte 1. generasjon (fra 1973). Dette anlegget hadde trolig noen designmessige «barnesykdommer» som ikke er relevant for dagens mer moderne design og anlegg.

SF-rapporteringen

Nettselskap 2 mener at dagens innrapporteringssystem gjennom brukergruppen fungerer meget godt og er viktig bidrag for hele organisasjonen i forhold til bevisstgjøring rundt SF som klimagass og en intern målsetting om å holde eventuelle utslipp så lave som mulig. Innrapporteringssystemet hjelper Nettselskap 2 til å ha fokus på å holde utslipp til atmosfæren så lave som praktisk mulig.

Generell policy

Ved bygging av nye stasjoner og rehabilitering av eksisterende stasjoner vurderer Nettselskap 2 i utgangspunktet AIS og GIS som teknisk likeverdige alternativer. En kombinasjon av faktorer som tomteareal, beliggenhet, gjenbruk av eksisterende bygninger, påvirkning fra ytre miljø, mulighet for provisoriske omkoblinger ved feil og estetikk/visuell utforming av anlegget, vil påvirke valg av anleggstype. Nettselskap 2 mener at det er svært viktig å ha muligheten til å kunne velge mellom de to teknologiene også i fremtiden.

Nettselskap 3

Kostnadsvurdering

Nettselskap 3 mener at GIS er billigst i sentrumsnære strøk, mens AIS fortsatt er billigst i mer griskrendte strøk. Som eksempel bruker Nettselskap 3 i budsjettssammenheng nå 1,5 MNOK pr. felt med GIS, mens det på slutten av 80-tallet var på omtrent det dobbelte.

Bygningskostnader har gått motsatt vei, og gir fort et påslag på 1-2 MNOK pr. felt for å få etablert rom til GIS-anlegget. For konvensjonelle anlegg er også prisen nedadgående og pris er her ned mot 1,5 MNOK pr. felt (avhengig av design). DCB4 krymper arealbehov og dermed arealkostnaden.

Nettselskap 3 mener vedlikeholdskostnader er lavere på GIS-anlegg enn konvensjonelle anlegg, men har ikke konkrete tall på dette. Erfaring så langt har vært at det er lite vedlikeholdsbehov på GIS- anleggene utover planlagt revisjoner.

Feil på anlegg

Historisk sett har Nettselskap 3 hatt lite feil på sine GIS-anlegg. Men det har vært noen feil på gjennomføringer ut av anlegget og flenser/pakninger mellom deler i GIS. På et av anleggene deres har det også oppstått lekkasjer.

SF-rapporteringen

Nettselskap 3 har fått mer fokus på innrapportering av SFde siste året.

Generell policy

Nettselskap 3 refererer til sitt svar på første spørsmål, samt at i sentrumsnære strøk er det ofte 45kV- anlegg som står i bygg som skal erstattes, og da er kun 132kV GIS som aktuelt ved oppgradering pga. plassforhold.

Nettselskap 4

Kostnadsvurdering

Nettselskap 4 mener at selve bryteranlegget har liten kostnadsforskjell om en vurderer GIS mot AIS- anlegg, mens kostnadene for bygge- og grunnarbeid fort blir mye høyere for AIS da de er plasskrevende. I området til nettselskapet er topografien slik at Nettselskap 4 i de fleste tilfeller må spreng og planere ut større områder for å kunne bygge AIS. For GIS-anlegg har Nettselskap 4 valgt å bygge bygg med levetid på 100 år og allikevel ikke fått de samme kostnadene som tomt og kontrollbygg for AIS har generert. Nettselskap 4 mener det vil være et skjæringspunkt for investeringskostnad som tilsier at for små anlegg med 2-3 felt vil AIS komme rimeligere ut.

Nettselskap 4 har tidligere kalkulert med at drifts- og vedlikeholdskostnadene vil være utjevnet etter 25-30 års drift. Med 15 års intervall for kontroll på GIS og større revisjon etter 30 år, antar Nettselskap 4 at kompetanse, erfaring, opplæring etc. vil gå i favør av GIS. Fordelen med GIS-anlegg er at de plasseres innendørs i et stabilt klima med små temperaturvariasjoner og ikke utsettes for ytre påvirkninger. Et AIS-anlegg vil være mer utsatt for ytre påvirkninger, både klimatisk og mekanisk.

Når det gjelder avbruddskostnader forventer Nettselskap 4 færre avbrudd som følge av feil i et moderne GIS-anlegg enn AIS-anlegg. Opprettingstiden for feil i et GIS-anlegg vil allikevel være lengre. Dette kompenseres med mulighet for forbikoblinger i anlegget for å redusere konsekvensene. Nettselskap 4 har valgt å ha et komplett GIS-felt i reserve og i dette feltet kan anleggsdeler demonteres og hentes ved feil. Nettselskap 4 har også innført ekstra gasskammer (dobbel barriere) for å kunne demontere felt uten å måtte gjøre hele anlegget dødt. I regionalnettet har Nettselskap 4 som mål å tilfredsstille N-1 prinsippet, som innebærer at én feil normalt ikke skal føre til svikt i forsyningen. Avhengig av type feil/havari forventes det ikke høyere avbruddskostnader i et GIS-anlegg sammenlignet med AIS. Forutsetning er at Nettselskap 4 tilegner seg egen kompetanse for å stille diagnose, utføre utskiftninger i GIS-anlegg på lik linje med det de i dag gjennomfører i AIS-anlegg.

Feil på anlegg

Nettselskap 4 har hatt feil med drivmekanisme for bryterstyring med tilhørende lang responstid fra leverandør.

SF-rapporteringen

Nettselskap 4 registrerer inn til systemet som avtalt.

Generell policy

Nettselskap 4 sin policy er at alle nyinvesteringer og reinvesteringer skal ha alternativvurdering. Det er også en lederbeslutning på at de skal bygge AIS-anlegg dersom dette er mulig og kostnadmessig tilfredsstillende. Erfaringen med nyanlegg er at disse i de fleste tilfeller blir mye dyrere å bygge som AIS enn GIS, noe som har ført til at Nettselskap 4 nå bygger fire nye GIS-anlegg de kommende årene.

Ved reinvestering der det er plass til nytt AIS-anlegg, blir dette bygget dersom det er lønnsomt. I tettbygde strøk og eksisterende bygg, er GIS betraktet som den beste løsningen. Utviklingen framover og kostnadsnivået på komponenter, tjenester og bygge/tømte/grunnarbeid, forventes å gå i favør av kompakte anlegg med GIS-løsning. Forventningen til bedre GIS-anlegg med lengre og enklere vedlikehold samt alternativ til SF-gass, gjør at Nettselskap 4 mener kompakte gassisolert anlegg vil overta større markedsandeler.

Nettselskap 5

Kostnadsvurdering

Nettselskap 5 har ett GIS-anlegg fra 1984 og bygger nå ett til i bysentrum hovedsakelig pga. plassbegrensninger. Etter Nettselskap 5 sin vurdering er GIS billigere i bystrøk, men der tomteprisene ikke er så høye er AIS sannsynligvis billigere. Det er riktignok vanskelig å vurdere da GIS ikke nødvendigvis er så dyrt i innkjøp, men vedlikehold, dyre reservedeler, lang reparasjonstid og dyre revisjoner, kan gjøre GIS dyrere over levetiden. Usikkerhet knyttet til disse kostnadene gjør det krevende å regne på disse kostnadene. Nettselskap 5 betalte 1,5 MNOK for en liten revisjon av sitt eksisterende anlegg og 5 MNOK for en 30-års revisjon, noe som ville vært langt billigere i et AIS- anlegg.

Generell policy

Nettselskap 5 forsøker å unngå å bygge GIS-anlegg pga. utslipp av SF samt beredskapshensyn. Selv om utslippene av SF i normale situasjoner skal være veldig liten, samt at sannsynligheten for feil på anlegget er mindre, kan store utslipp og langvarige feil oppstå.

C. Bedriftsbesøk logg

1. Skagerak energi
2. Eidsiva
3. ABB
4. Norconsult

1. Besøk ved Skagerak energi i Åbjøra kraftstasjon 14. februar 2019.

Jeg har besøkt Åbjøra kraftstasjon samt Tisleidammen kraftstasjon. Dette for å få en oversikt over hvor i stasjonen det er plassert SF6 gass. Da effektbryterne sitter inne i skap er det begrenset hvor mye man kan se annet en måler som sitter i døren. Det ga uansett en praktisk tilnærming og noe å knytte kunnskapen til. Vi demonterte også en skillebryter for å se hvordan denne fungerer.

Personellet ved stasjonen hadde lite kunnskap til SF6 gass, og sa de hadde hatt få problemer knyttet til denne.

2. Besøk hos Stein Kotheim i Eidsiva 28. mars 2019.

Vi hadde først en gjennomgang av oppgaven og dens innhold, og jeg fikk noen tips til hva som kunne være fint og ha med. Stein delte flere kontakter jeg kunne ta kontakt med for å få mer informasjon. Samt at han skulle ta kontakt med noen flere for å hente inn mer informasjon som kunne være aktuelt. Han delte det han hadde som kunne være interessant for meg og lese og bruke i oppgaven min.

3. Besøk hos Brede Slåtten i ABB 10. april 2019.

Begynt med foredrag om bedriften hvor jeg fikk et innblikk i deres systemer og oppbygning. Videre fikk jeg en grundig innføring i SF6 gass og ABB sine tekniske erstatninger for denne. Vi var også på verksted avdelingen til ABB i Drammen der vi så reparasjon av utstyr med SF6 og snakket med de ansatte der om deres tanker rundt bruken av SF6. Brede delte også mye aktuell informasjon fra brukergruppen sine møter.

4. Besøk Hos Norconsult der ABB holdt foredrag 25. april 2019.

ABB holdt lunsjforedrag for Norconsult der de viste frem deres nye tekniske løsninger for SF6 gass. Og hvordan disse kan settes inn i eksisterende anlegg som en erstatning.

