

ČEPS, ČEZDis- tribuce, E.ON CZ, E.ONDistribuce, PREdistribuce, ZSE	Vysokonapět'ová spínací a řídicí zařízení - Manipulace s fluoridem sírovým (SF₆) a jeho použití ve vysokonapět'ových spínacích a řídicích zařízeních	PNE 35 1634 Druhé vydání
<p>Odsouhlasení normy</p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky odsouhlasily tyto organizace, ČEPS, a.s., ČEZDistribuce, a.s., E.ON Česká republika, E.ONDistribuce, PREdistribuce, a.s. a ZSE, a.s.</p> <p>Vymezení platnosti normy</p> <p>Tato norma je překladem IEC/TR 62271-303 a byla na základě platné legislativy týkající se životního prostředí upravena pro potřeby ČEPS a rozvodných energetických společností. Norma platí pro provoz a bezpečnost při manipulaci s SF₆ ve spínacích a řídicích zařízeních distribuční a přenosové soustavy držitelů autorizace pro výrobu a rozvod elektrické energie.</p> <p>Změny oproti předchozímu vydání</p> <p>V nové normě byly kapitoly 4 "Skladování a přeprava SF₆", kapitoly 5 "Bezpečnost a první pomoc", kapitoly 6 "Školení a certifikace", kapitoly 7 "Manipulace s SF₆ při instalaci a přejímkách", kapitoly 8 "Manipulace s SF₆ během provozní doby", kapitoly 9 "Regenerace a opětné získávání SF₆ během údržby", kapitoly 10 "Demontáž elektrického výkonového zařízení SF₆ a ukončení života" a kapitoly 11 "Popis manipulačního zařízení s SF₆" převzaty z příručky CIGRE a upraveny. Původní části normy 2, 3, 4, 5 a 8 byly výše uvedenými kapitolami nahrazeny.</p>		
Nahrazuje: PNE 35 1634 z 1.1.2001 Návaznost: IEC TR 62271-303 :2008	Účinnost od: 2010-01-01	

Předmluva

Souvisící normy

ČSN IEC 50(441) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 441: Spínací a řídicí zařízení a pojistky (33 0050)

ČSN IEC 61634 Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Manipulace s fluoridem sírovým (SF₆) a jeho použití ve vysokonapěťových spínacích a řídicích zařízeních (35 4206)

ČSN EN 62271-100 (35 4220) Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Část 100 Vypínače pro napětí nad 1 000 V AC

ČSN EN 62271-200 Kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí od 1 kV do 52 kV včetně (35 7181)

ČSN EN 62271-203 Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Plynem izolované kovově kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 52 kV a větší – (35 7191)

ČSN EN 60695-7-1 ed.2 Zkoušení požárního nebezpečí. Část 7-1: Toxicita zplodin hoření – Všeobecný návod (34 5615)

Souvisící právní předpisy

Nařízení Komise (ES) č.305/2008, kterým se podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 842/2006 stanoví minimální požadavky na certifikaci pracovníků provádějících znovuzískávání některých fluorovaných skleníkových plynů z vysokonapěťových spínacích zařízení

Zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů

Vypracování normy

Zpracovatel: ÚJV Řež, a.s. divize Energoprojekt Praha, Ing. Jaroslav Bárta, Ing. Ivan Hála

Obsah

	Strana
1 Předmět normy	8
2 Normativní odkazy	8
3 Definice	8
4 Skladování a přeprava SF ₆	11
4.1 Skladování kontejnerů naplněných SF ₆	11
4.2 Přeprava kontejnerů naplněných SF ₆	13
4.3 Skladování a přeprava elektrického silnoproudého zařízení obsahujícího SF ₆	14
4.4 Odpovědnosti	14
5 Bezpečnost a první pomoc	15
5.1 Všeobecná bezpečnostní doporučení	15
5.1.1 Ochrana osob	16
5.1.2 Manipulace s kontaminovaným bezpečnostním zařízením a nástroji.....	17
5.1.3 Tlaková zařízení a nástroje nebo měřicí přístroje	17
5.1.4 Vybavení pro osobní ochranu a ochranné zařízení	17
5.1.5 Zařízení a služby	18
5.2 Dodatečná bezpečnostní opatření pro případ mimořádného úniku SF ₆ vlivem vnějšího požáru nebo vnitřního obloukového zkratu.....	18
5.3 Vybavení pro první pomoc.....	19
5.3.1 Podráždění kůže.....	19
5.3.2 Podráždění očí	19
5.3.3 Dýchací potíže.....	20
6 Školení a certifikace	20
6.1 Všeobecně	20
6.23 Certifikace	20
7 Manipulace s SF ₆ během instalace a přejímek.....	21
7.1 Evakuace, plnění a kontrola kvality SF ₆ po naplnění	21
7.2 Doplnování SF ₆ předplněných oddílů na jmenovitý tlak/hustotu	23
7.3 Plnění hermeticky uzavřených soustav	25
8 Manipulace s SF ₆ v průběhu normální životnosti.....	25
8.1 Znovunaplnění SF ₆ na jmenovitý tlak/hustotu	25
8.2 Kontrola kvality SF ₆	26
8.2.1 Měření kvality SF ₆ přenosným zařízením	26
8.2.2 Vzorkování a a doprava SF ₆ pro analýzu mimo místo montáže	27
9 Opětné získání a regenerace a v průběhu údržby.....	28
9.1 Opětné získání a regenerace SF ₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF ₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF ₆ normálně rozložený elektrickým obloukem.....	28
9.2 Opětné získání a regenerace SF ₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF ₆ silně rozložený elektrickým obloukem	30
10 Demontáž silnoproudého elektrického zařízení SF ₆ na konci životnosti zařízení	32
10.1 Konec životnosti řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav	33
10.2 Konec životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav.....	33

10.3	..... Opětné získání a regenerace SF ₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav	34
10.4	..... Demontáž elektrického silnoproudého zařízení na konci jeho životnosti.....	36
10.5	..... Produkty rozkladu na konci životnosti zařízení	37
11	..... Popis manipulačního zařízení SF ₆	38
11.1	..... Regenerační zařízení	38
11.1.1	... Vnější a vnitřní vstupní filtry	39
11.1.2	... Filtry	39
11.1.3	... Vakuové čerpadlo	40
11.1.4	... Hlavní a pomocný kompresor	41
11.1.5	... Vnější a vnitřní zásobníky plynu.....	41
11.1.6	... Odpařovač a topná tělesa zásobníku plynu	41
11.1.7	... Plynové potrubí a spojky potrubí	41
11.1.8	... Kontrolní přístroje.....	41
11.1.9	... Bezpečnostní ventily	41
11.2	..... Ohebné hadicové spoje	41
11.3	..... Přenosné přístroje pro měření charakteristik plynu	42
11.3.1	... Přístroj pro měření rosného bodu.....	42
11.3.2	... Přístroj pro měření procentního obsahu SF ₆	42
11.3.3	... Reakční trubice citlivé na SO ₂	43
11.3.4	... Přenosné detektory SF ₆	43
11.3.5	... Výstražné detektory SF ₆	43
11.4	..... Vzorkovací láhve.....	43
	Příloha A (informativní) Fluorid sírový	44
A.1	..... Úvod.....	44
A.2	..... Chemické vlastnosti	44
A.3	..... Fyzikální vlastnosti	44
A.4	..... Elektrické vlastnosti.....	45
A.5	..... Manipulace, rizika a zdravotní charakteristiky.....	46
	Příloha B (informativní) Účinky SF ₆ na životní prostředí.....	47
B.1	..... Úvod.....	47
B.2	..... Ekotoxikologie	47
B.3	..... Ochuzení ozónu	47
B.4	..... Globální oteplování/klimatické změny (skleníkového efekt)	47
B.5	..... Produkty rozkladu	48
B.6	..... Nakládání s SF ₆ slučitelné s životním prostředím	48
	Příloha C (informativní) Produkty rozkladu SF ₆	49
C.1	..... Rozklad SF ₆	49
C.1.1	.... Chování SF ₆ v elektrickém oblouku.....	49
C.1.2	.... Rozklad SF ₆ při výbojích při malém proudu.....	50
C.1.3	.... Katalytický rozklad SF ₆ (chování při vysoké teplotě)	50
C.2	..... Korozivní chování SF ₆ a jeho produktů rozkladu.....	50
C.3	..... Opatření pro odstranění produktů rozkladu SF ₆	51
C.4	..... Fyziologické charakteristiky produktů rozkladu SF ₆	51

Příloha D (informativní) Potenciální zdravotní účinky produktů rozkladu SF ₆	52
D.1 Úvod	52
D.2 Všeobecně	52
D.3 Tvoření produktů rozkladu SF ₆ a jejich vlivy na zdraví.....	52
D.3.1 Tvoření produktů rozkladu SF ₆	52
D.3.2 Vlivy produktů rozkladu SF ₆ na zdraví	53
D.4 Výpočet koncentrací produktu rozkladu.....	54
D.4.1 Výpočtová kritéria.....	54
D.4.2 Hodnocení rizika.....	54
D.4.3 Výpočtové meze pro případy vnitřní poruchy	55
D.4.4 Zkoumané stavy	56
D.4.5 Určení koncentrací způsobených únikem SOF ₂ z vypínačů	56
D.4.6 Určení koncentrací způsobených únikem S ₂ F ₁₀	58
D.4.7 Určení koncentrace způsobené vnitřní poruchou	61
D.5 Posouzení výsledků.....	64
D.5.1 Stav úniku.....	64
D.5.2 Vnitřní porucha	64
D.5.3 Venkovní instalace	64
D.6 Závěry	64
D.7 Data pro výpočty	65
D.7.1 Objem prostoru rozvodny (typické hodnoty).....	65
D.7.2 Objem spínacích a řídicích zařízení a tlak plnění	65
D.7.3 Charakteristiky hoření oblouku	65
D.7.4 Hodnoty produkce SOF ₂	66
D.7.5 Množství vznikajícího SOF ₂	66
D.7.6 Hodnoty úniku	67
D.7.7 Hodnoty úniku SOF ₂ (s použitím údajů z D.7.5 a D.7.6).....	67
D.8 Meze expozice	67
D.8.1 Prahová hodnota TLV.....	68
D.8.2 IDLH - Okamžité ohrožení života a zdraví	68
Příloha E (informativní) Literatura.....	69
Obrázek 1 - Přejímka nebo opětná přejímka oddílu SF ₆	22
Obrázek 2 - Doplnění SF ₆ předplněných oddílů na jmenovitý tlak/hustotu	24
Obrázek 3 - Doplnění SF ₆ na jmenovitý tlak/hustotu	26
Obrázek 4 - Kontrola kvality SF ₆ na místě montáže	27
Obrázek 5 - Vzorkování SF ₆ a přeprava	28
Obrázek 6 - Opětné získání a regenerace SF ₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF ₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF ₆ normálně rozložený elektrickým obloukem	29
Obrázek 7 - Opětné získání a regenerace SF ₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF ₆ silně rozložený elektrickým obloukem	31
Obrázek 8 - Konec životnosti řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav	33
Obrázek 9 - Konec životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav	34

Obrázek 10 - Opětné získání a regenerace SF ₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav....	35
Obrázek 11 - Demontáž elektrického silnoproudého zařízení	37
Obrázek 12 - Regenerační zařízení pro všeobecné použití	39
Tabulka 1 - Způsoby skladování SF ₆	12
Tabulka 2 - Druhy kontejnerů a značení štítky požadované pro skladování a přepravu SF ₆	13
Tabulka 3 - Mezinárodní předpisy pro přepravu SF ₆	14
Tabulka 4 - Opatření pro práci na elektrickém silnoproudém zařízení SF ₆	15
Tabulka 5 - Bezpečnostní opatření při otevírání a/nebo vstupu do plynových oddílů.....	16
Tabulka 6 - Neutralizační roztoky	17
Tabulka 7 - Dodatečná bezpečnostní opatření.....	19
Tabulka 8 - Přejímka nebo opětná přejímka oddílů SF ₆	23
Tabulka 9 - Doplnění SF ₆ předplněných oddílů na jmenovitý tlak/hustotu	25
Tabulka 10 - Doplnění SF ₆ na jmenovitý tlak/hustotu.....	26
Tabulka 11 - Kontrola kvality SF ₆ na místě montáže.....	27
Tabulka 12 - Vzorkování SF ₆ a přeprava	28
Tabulka 13 - Opětné získání a regenerace SF ₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF ₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF ₆ normálně rozložený elektrickým obloukem	30
Tabulka 14 - Opětné získání a regenerace SF ₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF ₆ silně rozložený elektrickým obloukem	32
Tabulka 15 - Opětné získání a regenerace SF ₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav	36
Tabulka 16 - Očekávané charakteristiky SF ₆ a množství produktů rozkladu	38
Tabulka 17 - Typické druhy filtrů pro regeneraci SF ₆	40
Tabulka 18 - Přístroje pro měření charakteristik plynu	42

Úvod

Plyn SF₆ se v elektrických spínacích a řídicích zařízeních používá déle než 30 let. Hlavní oblast jeho použití je v zařízeních pro napětí nad 1 kV až do nejvyšších napětí, pro která jsou spínací a řídicí zařízení vyráběna. Odhaduje se, že v současnosti je v provozu několik milionů různých typů jednotek, ve kterých je použit plyn SF₆.

Podle IEC 62271-1 existují tři technicky dostupné metody uchování plynu:

- řízená tlaková soustava:

POZNÁMKA 1 Vzhledem k nepřijatelné hodnotě úniku se řízené tlakové soustavy již pro nové zařízení nepoužívají (viz IEC 62271-203);

- uzavřená tlaková soustava: moderní silnoproudá zařízení velmi vysokého napětí. Normalizované hodnoty úniku jsou 0,5 % a 1 % za rok na plynem izolovaný oddíl;
- hermeticky uzavřená tlaková soustava: moderní silnoproudá zařízení vysokého napětí. Těsnost hermeticky uzavřených tlakových soustav je předepsána jejich předpokládanou dobou života. Předpokládaná životnost s ohledem na hodnotu úniků je předepsána výrobcem. Doporučené hodnoty jsou 20, 30 a 40 roků.

POZNÁMKA 2 Pro splnění požadavku na předpokládanou životnost se u hermeticky uzavřených tlakových soustav pro SF₆ uvažuje s hodnotou úniku nižší než 0,1 % za rok.

Dlouhodobé zkušenosti s SF₆ v elektrických spínacích a řídicích zařízeních prokázaly, že pro dosažení přínosů v oblasti pracovní, bezpečnostní a životního prostředí je třeba dodržování určitých zásad a postupů, jako jsou:

- bezpečný provoz zařízení;
- optimalizace požadovaných zdrojů a nástrojů;
- minimalizace výpadků zařízení;
- standardní školení obsluhy manipulující s SF₆;
- snížení množství unikajícího plynu při manipulaci na co nejnižší reálné hodnoty;
- zabránění úmyslným únikům, na příklad vypouštěním do atmosféry;
- snížení ztrát SF₆ a emisí při přejímce, údržbě, provozu a zpracování na konci životnosti na minimum.

V současné době byla poslední praktická doporučení pro užití techniky SF₆ ve spínacích a řídicích zařízeních vydána pracovní skupinou WG B3.02 studijní komise CIGRE B3 [1]¹. Tyto informace byly použity pro revizi IEC 61634 v této technické zprávě.

¹ Čísla v hranatých závorkách odkazují na přílohu E "Literatura".

1 Předmět normy

Cílem této normy je popsat postupy pro bezpečnou a k okolnímu prostředí šetrnou manipulaci s SF₆ při montáži, přejímkách normálních a mimořádných činnostech a likvidaci na konci života vysokonapěťových spínačích a řídicích zařízení. Tato norma platí i pro skladování a přepravu SF₆.

Tyto postupy by měly být považovány za nezbytné pro zajištění bezpečné manipulace s SF₆ a pro minimalizaci emisí SF₆ do okolního prostředí.

Tato norma platí všeobecně také pro směsi plynu obsahujícího SF₆.

POZNÁMKA 1 Pro účely této technické zprávy je termín vysoké napětí (viz IEC 601-01-28) používán pro distribuční sítě o napětích nad 1 kV do 52 kV včetně. Termín velmi vysoké napětí je používán pro napětí vyšší než 52 kV.

POZNÁMKA 2 V této technické zprávě se místo termínu „spínací a/nebo řídicí zařízení vysokého a velmi vysokého napětí“ používá termín „elektrické silnoproudé zařízení“.

2 Normativní odkazy

Pro použití tohoto dokumentu jsou nezbytné následující dokumenty, na které jsou v textu odkazy. Pro datované odkazy platí pouze citované vydání. Pro nedatované odkazy platí poslední vydání dokumentu (včetně změn).

IEC 60050-441 International electrotechnical vocabulary (IEV) - Part 441: Switchgear, controlgear and fuses

(Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 441: Spínací a řídicí zařízení a pojistky)

IEC 60376 Specification of technical grade sulfur hexafluoride (SF₆) for use in electrical equipment
(Specifikace fluoridu sírového (SF₆) technického stupně čistoty pro použití v elektrických zařízeních)

IEC 60480 Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use

(Metodický pokyn pro kontrolu a úpravu fluoridu sírového (SF₆) získaného z elektrických zařízení a specifikace pro jeho opětovné použití)

IEC 62271-1 High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specification

(Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 1: Společná ustanovení)

IEC 62271-100 High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers

(Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Část 100: Vypínače střídavého proudu na napětí nad 1 000 V)

3 Definice

Existuje velké množství druhů spínacích a řídicích zařízení, která používají plyn SF₆ jako izolační a/nebo zhášecí médium. Pro tuto technickou zprávu platí tyto definice:

3.1

mimořádný únik fluoridu sírového (*abnormal release of sulphur hexafluoride (SF₆)*)

únik ze zařízení v provozu vlivem poruchy tlakové soustavy

POZNÁMKA Mimořádný únik SF₆ je obvykle nežádoucí a trvalý únik plynu. Jakmile je mimořádný únik SF₆ zjištěn, měla by být okamžitě zajištěna vhodná opatření k lokalizaci a eliminaci úniku.

3.2

manipulace s SF₆ (*handling of sulphur hexafluoride (SF₆)*)

jakýkoliv proces, který může vyžadovat přemístění SF₆

3.3

evakuace (*evacuation*)

přemístění plynu jiného než SF₆ (např. vzduchu nebo N₂) z plynového oddílu do atmosféry. Tato činnost se provádí s využitím vakuového čerpadla

3.4**opětné získání fluoridu sírového (SF₆)** (*recovery of sulphur hexafluoride (SF₆)*)

přemístění SF₆ z plynového oddílu do regeneračního zařízení nebo zásobníků. Tato činnost se provádí s využitím regeneračního čerpadla

3.5**doplňování fluoridu sírového (SF₆)** (*topping-up with sulphur hexafluoride (SF₆)*)

plnění plynem SF₆ předem naplněných oddílů na jmenovitý tlak plnění SF₆

3.6**regenerace fluoridu sírového (SF₆)** (*reclaim of sulphur hexafluoride (SF₆)*)

sled manipulací s SF₆ včetně opětného získání a čištění SF₆, jako je filtrace nečistot, produktů rozkladu, vlhkosti, oleje atd.

POZNÁMKA 1 Standardní regenerační zařízení je popsáno v 11.1.

3.7**kovově krytý rozváděč** (*metal enclosed switchgear and controlgear*)

úplná sestava rozváděče s vnějším kovovým krytem určeným k uzemnění, s výjimkou vnějšího připojení

[IEV 441-12-04]

3.8**izolačně krytý rozváděč** (*insulation-enclosed switchgear and controlgear*)

rozdávěč s vnějším izolačním krytem, úplně sestavený, s výjimkou vnějšího připojení

POZNÁMKA Vnější izolační kryt může být opatřen (polo)vodivou vrstvou.

[IEV 441-12-06, modifikováno]

3.9**plynem izolovaný kovově krytý rozváděč** (*gas-insulated metal-enclosed switchgear*)

kovově krytý rozváděč, jehož izolaci tvoří, alespoň částečně, plyn jiný než vzduch o atmosférickém tlaku

POZNÁMKA 1 Tento výraz se obecně používá pro rozváděče na jmenovitá napětí nad 1 000 V.

[IEV 441-12-05]

3.10**plynem izolovaný oddíl** (*gas-filled compartment*)

oddíl spínacího a řídicího zařízení v němž je tlak (přetlak) plynu udržován jedním z těchto způsobů:

- řízenou tlakovou soustavou;
- uzavřenou tlakovou soustavou;
- hermeticky uzavřenou tlakovou soustavou.

POZNÁMKA 1 Některé plynem izolované oddíly mohou být trvale propojeny, takže tvoří společnou plynem izolovanou soustavu.

POZNÁMKA 2 Tato definice je identická s definicí v 3.6.6.1 z IEC 62271-1.

3.11**řízená tlaková soustava pro plyn** (*controlled pressure system for gas*)

objem, který se automaticky doplňuje z vnějšího nebo vnitřního zdroje plynu

POZNÁMKA 1 Příkladem řízených tlakových soustav jsou tlakovzdušné vypínače nebo pneumaticky ovládané mechanismy.

POZNÁMKA 2 Objem může sestávat z několika trvale propojených plynem izolovaných oddílů.

POZNÁMKA 3 Tato definice je identická s definicí 3.6.6.2 z IEC 62271-1.

3.12

uzavřená tlaková soustava pro plyn (*closed pressure system for gas*)

objem, který je doplňován pouze občasné ručním napojením na vnější zdroj plynu

POZNÁMKA 1 Příkladem uzavřených tlakových soustav jsou jednotlakové vypínače SF₆.

POZNÁMKA 2 Tato definice je identická s definicí 3.6.6.3 z IEC 62271-1.

3.13

hermeticky uzavřená tlaková soustava (*sealed pressure system for gas*)

objem, u něhož není zapotřebí další obsluhy během celé předpokládané životnosti

POZNÁMKA 1 Příkladem hermeticky uzavřených tlakových soustav jsou zhašedla vakuových vypínačů nebo některé vypínače SF₆.

POZNÁMKA 2 Hermeticky uzavřené soustavy jsou úplně smontovány a vyzkoušeny ve výrobním podniku.

POZNÁMKA 2 Tato definice je identická s definicí 3.6.6.4 z IEC 62271-1.

3.14

technický fluorid sírový (SF₆) (*technical grade sulphur hexafluoride (SF₆)*)

SF₆, který má nízkou hladinu nečistot podle IEC 60376

3.15

použitý fluorid sírový (SF₆) (*used sulphur hexafluoride (SF₆)*)

plyn odebraný z elektrického zařízení, které bylo původně naplněno SF₆ podle IEC 60376 nebo IEC 60480. Pokud bude plyn po naplnění zařízení z jakéhokoliv důvodu během jeho životnosti odebrán (např. z důvodu opravy, údržby) a bude přemístěn, považuje se za použitý plyn

POZNÁMKA V příloze C jsou uvedeny informace týkající se produktů rozkladu použitého SF₆, které mohou být plynné nebo pevné.

3.16

použitý fluorid sírový (SF₆) vhodný pro opětné použití na místě montáže (*used sulphur hexafluoride (SF₆) suitable for reuse on site*)

použitý SF₆, který z hlediska maximálního přípustného množství nečistot odpovídá IEC 60480

POZNÁMKA Pokud je to nutné, měly by být použity provozní jednotky s vhodnými filtry a adsorpčními materiály.

3.17

použitý fluorid sírový (SF₆) vhodný pro opětné použití u výrobce plynu (*used sulphur hexafluoride (SF₆) suitable for reuse at the gas manufacturer*)

použitý SF₆ překračující maximální přípustné množství nečistot podle IEC 60480, ale odpovídající specifikaci pro opětné použití u výrobce plynu

POZNÁMKA Pokud je to pro splnění specifikace nutné, měly by být použity provozní jednotky s vhodnými filtry a adsorpčními materiály.

3.18

použitý fluorid sírový (SF₆) nevhodný pro opětné použití (*used sulphur hexafluoride (SF₆) not suitable for reuse*)

plyn odpovídající článku 3.15, neodpovídající však článkům 3.16 a/nebo 3.17

POZNÁMKA Použitý fluorid sírový nevhodný pro opětné použití je likvidován podle místních nebo mezinárodních předpisů o odpadech.

3.19

fluorid sírový (SF₆) nerozložený elektrickým obloukem (*non-arced sulphur hexafluoride (SF₆)*)

použitý fluorid sírový (SF₆), který obsahuje méně než 0,1 % (objemových) plynných produktů rozkladu

POZNÁMKA Typickým příkladem fluoridu sírového nerozloženého elektrickým obloukem je plyn použitý v libovolném oddílu po naplnění před uvedením pod napětí a/nebo po izolační zkoušce a/nebo plyn použitý v oddílu, ve kterém nikdy nedošlo ke vzniku oblouku.

3.20**fluorid sírový (SF₆) normálně rozložený elektrickým obloukem** (*normally arced sulphur hexafluoride (SF₆)*)

použitý fluorid sírový (SF₆), který obsahuje přibližně 0,1 % až přibližně 5 % (objemových) plynných produktů rozkladu

POZNÁMKA 1 Za fluorid sírový normálně rozložený elektrickým obloukem se běžně považuje plyn ve vypínačích a spínačích po normálních funkcích (při zatěžovacím nebo zkratovém proudu).

POZNÁMKA 2 Také může být obsaženo malé množství pevných produktů rozkladu, hlavně kovových fluoridů a fluoridů wolframu.

3.21**fluorid sírový (SF₆) silně rozložený elektrickým obloukem** (*heavily arced sulphur hexafluoride (SF₆)*)

použitý fluorid sírový (SF₆), který obsahuje více než 5 % (objemových) plynných produktů rozkladu

POZNÁMKA 1 Typickým výskytem fluoidu sírového silně rozloženého elektrickým obloukem je případ plynových oddílů po výskytu vnitřního oblouku a/nebo případ vypínačů/spínačů po jejich poruše při vypínání a/nebo vypínačů po úspěšném vypnutí několika zkratů o vysoké proudové hodnotě v porovnání s jejich jmenovitými hodnotami.

POZNÁMKA 2 Také se očekává velké množství pevných produktů rozkladu, hlavně kovových fluoridů a fluoridů wolframu.

4 Skladování a přeprava SF₆

Skladování a přeprava SF₆ buďto v kontejnerech nebo v silnoproudém elektrickém zařízení musí být vždy prováděna podle místních nebo mezinárodních předpisů.

POZNÁMKA Prázdná nádoba na SF₆ může stále obsahovat zbytky SF₆. Měla by být skladována a přepravována stejným způsobem jako plná nádoba.

4.1 Skladování kontejnerů naplněných SF₆

Všeobecně může být SF₆ skladován dvěma způsoby, buďto jako plyn o tlaku menším než 2 MPa nebo jako kapalina o tlaku do 5 MPa. Skladování v plynné formě má výhodu v dobách opětného získání a plnění, ale vyžaduje větší skladovací objemy a je proto všeobecně omezeno na malé objemy zařízení nebo na použití v pevných manipulačních zařízeních pro práci s plynem. Skladování v kapalně formě umožňuje snížit skladovací objemy a hospodárně přepravovat velká množství SF₆.

S kontejnery se musí manipulovat opatrně a musí být skladovány v chladných, suchých, dobře větraných prostorách při zachování odstupových vzdáleností od hořlavých nebo výbušných materiálů. Musí být chráněné před přímým slunečním zářením, nemají se dotýkat mokré podlahy a mají být zajištěné před převrácením. Ventily mají být opatřeny zvláštní ochranou pro zabránění jejich vlastního poškození.

Kontejnery musí mít možnost opětného plnění (jiné kontejnery nejsou povoleny) a musí být zřetelně označeny pro identifikaci jejich obsahu; kontejnery obsahující technický plyn SF₆ a použitý plyn SF₆ vhodný pro opětné použití na místě montáže mají být fyzicky odděleny od kontejnerů obsahujících použitý plyn SF₆ pro opětné použití u výrobce plynu a použitý plyn SF₆ nevhodný pro opětné použití.

V tabulce 1 je uveden přehled všech možných způsobů skladování kontejnerů.

Tabulka 1 - Způsoby skladování SF₆

Způsob	Požadavky	Charakteristiky
Plynný	Typický tlak plynu je nižší než 2 MPa. SF ₆ zůstává v plynném stavu.	Vyžaduje poměrně malý regenerační tlakový poměr (typicky 100 : 1), ale potřebuje velké skladovací objemy. Plyn nemůže být v přepravních kontejnerech zkapalněn. Proto je omezen na malá množství (typicky 200 kg) a stacionární použití.
Kapalný - s chlazením	Typický tlak se rovná 3 MPa. Využívá dodatečnou chladicí soustavu pro chlazení SF ₆ po jeho stlačení, což umožňuje skladování SF ₆ v tekutém stavu.	Vyžaduje poměrně malý regenerační tlakový poměr (typicky 700 : 1), ale potřebuje chladicí agregát. Výkonnost chladicího agregátu může ovlivnit rychlost zpracování. Další požadavky na údržbu. Omezený skladovací objem a všeobecně nevhodné pro přepravu.
Kapalný - s pouhým působením tlaku	Typický tlak rovný 5 MPa. SF ₆ stlačený na 5 MPa přechází do kapalného stavu pouze působením tlaku.	Vyžaduje regenerační tlakový poměr typicky 1000 : 1, nepotřebuje však žádné další agregáty. Může být použit s jakoukoliv skladovací nádobou na jmenovitý tlak 5 MPa nebo vyšší.

Při skladování použitého SF₆ na místě montáže musí zásobníky odpovídat místním nebo mezinárodním předpisům na tlakové nádoby. Také značení kontejnerů štítky musí odpovídat místním nebo mezinárodním předpisům.

POZNÁMKA Mezinárodní předpisy jsou vydávány a pravidelně revidovány expertní komisí pro Transport of Dangerous Goods (TDG) (Přeprava nebezpečných látek) a pro Globally Harmonized System of Classification and Labeling (GHS) (Globální harmonizovaný systém klasifikace, balení a označování látek a směsí) patřících pod hospodářskou komisi pro Evropu OSN.

V tabulce 2 je uveden přehled druhů kontejnerů a požadovaného značení štítky. Z praktických důvodů se tam, kde je to možné, doporučuje přednostně používat transportovatelné zásobníky.

Tabulka 2 - Druhy kontejnerů a značení štítky požadované pro skladování a přepravu SF₆

Plyn	Charakteristika	Typ kontejneru	Označení kontejneru štítkem
Technický SF ₆	Zkapalněný inertní plyn	Vhodný pro zkapalněný plyn do tlaku 7 MPa. POZNÁMKA: Činitel plnění pro technický SF ₆ je do 1,04 kg/l. Doporučení: Kontejnery by měly být označeny zeleným štítkem nebo by měly být natřeny zelenou barvou podle EN 1089-3	Na kontejneru nápis: UN 1080, fluorid sírový Výstražný štítek 2.2
Použitý SF ₆ vhodný pro opětovné použití na místě montáže	Zkapalněný inertní plyn	Vhodný pro zkapalněný plyn do tlaku 7 MPa. POZNÁMKA: S ohledem na obsah inertního plynu (např. N ₂ , O ₂) je činitel plnění menší než 0,8 kg/l (viz POZNÁMKA 1). Doporučení: Kontejnery by měly být speciálně označeny pro zabránění záměny mezi použitým a technickým SF ₆ (doporučuje se oranžový pruh v horní třetině kontejneru).	Na kontejneru nápis: UN 3163, fluorid sírový, fluorid uhličitý nebo vzduch nebo dusík (viz POZNÁMKA 2). Výstražný štítek 2.2
Použitý SF ₆ vhodný pro opětovné použití u výrobce plynu a/nebo použitý SF ₆ nevhodný pro opětovné použití	Zkapalněný inertní plyn	Druh kontejneru a štítek je stejný jako pro použitý SF ₆ vhodný pro opětovné použití na místě montáže	
	Zkapalněný plyn obsahující toxické plynné produkty rozkladu (viz POZNÁMKA 3)	Stejně jako pro použitý SF ₆ vhodný pro opětovné použití na místě montáže	Na kontejneru nápis: UN 3162, fluorid sírový, fluorovodík, thionylfluorid (viz POZNÁMKA 2). Výstražný štítek 2.3
	Zkapalněný plyn obsahující jak toxické, tak i korozivní plynné produkty rozkladu (viz POZNÁMKA 4)	Zvláštní kontejnery schválené pro skladování a přepravu korozivních plynů (jako je kyselina fluorovodíková HF) s ventilem odolným proti korozi a adaptérem	Na kontejneru nápis: UN 3308, fluorid sírový, fluorovodík, thionylfluorid Výstražný štítek 2.3 + 8
<p>POZNÁMKA 1 Činitel plnění je podíl hmotnosti SF₆ v kontejneru a objemu kontejneru a je obvykle vyjadřován v kg/l.</p> <p>POZNÁMKA 2 Musí být specifikovány pouze dvě hlavní znečišťující látky.</p> <p>POZNÁMKA 3 Pro odstranění toxických plynných produktů rozkladu a pro umožnění snadnější přepravy může být na místě montáže regenerován jakýkoliv použitý SF₆ obsahující toxické plynné produkty rozkladu.</p> <p>POZNÁMKA 4 Pro odstranění toxických a korozivních plynných produktů rozkladu a pro umožnění snadnější přepravy může být na místě montáže regenerován jakýkoliv použitý SF₆ obsahující toxické a korozivní plynné produkty rozkladu SF₆.</p>			

4.2 Přeprava kontejnerů naplněných SF₆

Pro přepravu elektrického silnoproudého zařízení obsahujícího SF₆ a/nebo pro přepravu kontejnerů platí mezinárodní předpisy, a to pro silniční přepravu (ADR), pro železniční přepravu (RID), pro lodní přepravu (MDG kód) a pro leteckou přepravu (IATA - DGR). Tyto předpisy se neliší co do číselného značení UN, klasifikace, výstražných značek, konečné klasifikace a přepravní dokumentace. Oficiální jazyky jsou však

odlišné:

- ADR: němčina, francouzština, angličtina;
- RID: angličtina;
- IMDG kód: angličtina;
- IATA - DGR: angličtina

Mezinárodní předpisy pro přepravu SF₆ jsou shrnuty v tabulce 4.

Tabulka 3 - Mezinárodní předpisy pro přepravu SF₆

Plyn	Charakteristika	Třída	Konečná klasifikace	Přepavní dokument
Technický SF ₆ (viz POZNÁMKA 1)	Zkapalněný inertní plyn	2A	UN 1080 zkapalněný plyn, n.o.s. 2.2	UN 1080 zkapalněný plyn, n.o.s. (fluorid sírový) 2.2
Použitý SF ₆ vhodný pro opětné použití na místě montáže	Zkapalněný inertní plyn	Přepavní třída a výstražní štítek jsou stejné jako pro technický SF ₆	UN 3163 zkapalněný plyn, n.o.s. 2.2	UN 3163 zkapalněný plyn, n.o.s. (fluorid sírový a vzduch nebo dusík nebo fluorid uhličitý) 2.2
Použitý SF ₆ vhodný pro opětné použití u výrobce plynu a/nebo použitý SF ₆ nevhodný pro opětné použití	Zkapalněný inertní plyn	Číselné značení UN, přepavní třída, výstražná značka, konečná klasifikace a přepavní dokumentace jsou stejné jako pro použitý SF ₆ vhodný pro opětné použití na místě montáže		
	Zkapalněný plyn obsahující toxické plynné produkty rozkladu (viz POZNÁMKA 2)	2T	UN 3162 zkapalněný toxický plyn, n.o.s. 2.3	UN 3162 zkapalněný plyn, toxický, n.o.s., (fluorid sírový, fluorovodík, thionylfluorid) 2.3
	Zkapalněný plyn obsahující jak toxické, tak i korozivní plynné produkty rozkladu (viz POZNÁMKA 3)	2TC	UN 3308 zkapalněný toxický a korozivní plyn, n.o.s. 2.3 + 8	UN 3308 zkapalněný plyn, toxický, korozivní, n.o.s. (fluorid sírový, fluorovodík, thionylfluorid) 2.3 + 8
<p>POZNÁMKA 1 Zabránit jakémukoliv znečištění kontejnerů určených pro technický SF₆.</p> <p>POZNÁMKA 2 Pro odstranění toxických plynných produktů rozkladu a pro umožnění snadnější přepravy může být na místě montáže regenerován jakýkoliv použitý SF₆ obsahující toxické plynné produkty rozkladu.</p> <p>POZNÁMKA 3 Pro odstranění toxických a korozivních plynných produktů rozkladu a pro umožnění snadnější přepravy může být na místě montáže regenerován jakýkoliv použitý SF₆ obsahující toxické a korozivní plynné produkty rozkladu SF₆.</p>				

4.3 Skladování a přeprava elektrického silnoproudého zařízení obsahujícího SF₆

Elektrické silnoproudé zařízení naplněné SF₆ se skladuje a přepravuje podle místních nebo mezinárodních předpisů.

4.4 Odpovědnosti

Vlastník elektrického silnoproudého zařízení využívajícího SF₆ je odpovědný za správné užívání, přepravu a likvidaci zařízení a plynu. Je také odpovědný za uchování záznamů týkajících se SF₆ uloženého v zařízení a/nebo skladovaného v kontejnerech a za roční hodnotu úniků. K tomu jsou základní informace obsaženy v příručkách vypracovaných původním výrobcem zařízení a dodavatelem plynu v souladu s IEC 62271-1.

5 Bezpečnost a první pomoc

5.1 Všeobecná bezpečnostní doporučení

Před započítím údržby/servisu elektrického silnoproudého zařízení je třeba důkladně ověřit stav/podmínky zařízení a vypracovat podrobnou zprávu. Kromě splnění požadavků místních předpisů by měla být splněna alespoň následující všeobecná bezpečnostní doporučení:

- Vypnout a odpojit;
- Zajistit před opětovným zapnutím;
- Ověřit, že je zařízení vypnuto;
- Uzemnit a zkratovat zařízení;
- Zakrýt nebo ohradit okolní živé části.

Písemná dokumentace povolující práci na elektrickém silnoproudém zařízení by měla být schválena a podepsána jak vlastníkem / provozovatelem zařízení, tak servisní organizací.

V tabulce 4 jsou uvedeny hlavní zásady pro práci na elektrickém silnoproudém zařízení SF₆.

Tabulka 4 - Opatření pro práci na elektrickém silnoproudém zařízení SF₆

Položka	Práce v blízkosti zařízení (obsluha zařízení, vizuální prohlídka, úklid místnosti)	Plnění, opětovné získání, evakuace plynových oddílů	Otevření plynových oddílů, práce na otevřených oddílech
Materiálový bezpečnostní list/pracovní příručky	Nepožadují se	Požadují se	Požadují se
Školení	Požaduje se (viz POZNÁMKA)	Požaduje se	Požaduje se
Zařízení pro manipulaci s SF ₆	Nepožaduje se	Požaduje se	Požaduje se
Zařízení pro čištění/neutralizaci	Nepožaduje se	Nepožaduje se	Požaduje se
Zařízení pro ochranu osob	Nepožaduje se	Nepožaduje se	Požaduje se
POZNÁMKA Všeobecné informace se mají specifikovat podle typu práce a instalace podle místních bezpečnostních předpisů.			

Při manipulaci s SF₆ mají být všude vyvěšeny bezpečnostní nápisy stanovující, že je zakázáno používání otevřeného ohně, kouření, ohřev na více než 200 °C a svařování bez zvláštních bezpečnostních opatření a tabulky s pokyny pro první pomoc (viz 5.3)

Při otevření plynového oddílu, potom, co elektrické silnoproudé zařízení bylo v provozu by měla obsluha, pro zabránění kontaktu s jemnými pevnými produkty rozkladu, jejichž možnost nelze vyloučit, mít vhodný ochranný oděv. Zvláštní pozornost by měla být věnována ochraně očí a dýchacích cest. Osoby pracující v otevřeném plynovém oddílu, nebo v jeho blízkosti, který obsahoval SF₆ normálně rozložený elektrickým obloukem a/nebo SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem, mají:

- používat vhodné nástroje a vhodná zařízení;
- dodržovat zásady osobní hygieny;
- před odchodem z pracoviště očistit sebe a své vybavení s použitím jednoúčelových materiálů;
- po opuštění pracovního prostoru odstranit ochranný oděv a řádně se umýt, jakmile je to možné;
- zajistit, aby oděv, nářadí a součásti, které se dostaly do styku s produkty rozkladu, byly bezpečně zabaleny v hermeticky uzavřených vácích nebo jiných kontejnerech a následně zpracovány pomocí neutralizace všech zbytků.

5.1.1 Ochrana osob

S SF₆ smí manipulovat jen kvalifikovaná osoba. V závislosti na druhu prováděné práce na elektrickém silnoproudém zařízení je možné použít různé školicí moduly (viz kapitola 6).

Osoby otevírající a/nebo vstupující do plynových oddílů musí prodělat zvláštní školení týkající se opětného získávání použitého SF₆ z plynového oddílu. Je třeba přísně dodržovat provozní manuál zařízení dodaný původním výrobcem zařízení (OEM).

V tabulce 5 je uveden přehled možných rizik, bezpečnostních opatření a bezpečnostních zařízení požadovaných při otevírání a/nebo vstupu do plynového oddílu. Když obsluha otevírá a/nebo vstupuje do oddílu, neexistuje podstatný rozdíl mezi vnitřními nebo venkovními podmínkami.

Tabulka 5 - Bezpečnostní opatření při otevírání a/nebo vstupu do plynových oddílů

Položka	Jakýkoliv oddíl, který obsahoval SF ₆ normálně nebo silně rozložený elektrickým obloukem	Jakýkoliv oddíl, který obsahoval SF ₆ nerozložený elektrickým obloukem
Možné riziko	Páry z čisticích prostředků Nedostatek O ₂ Zbytky použitého SF ₆ Zbytkové reaktivní plynné produkty rozkladu Pevné produkty rozkladu a adsorpční materiály	Páry z čisticích prostředků Nedostatek O ₂ Zbytky použitého SF ₆ nebo jiného plynu z výrobního procesu
Bezpečnostní opatření	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorpčních materiálů Ventilace Měření koncentrace O ₂ při vstupu Použití osobních ochranných pomůcek Zabránění hydrolyze pevných produktů rozkladu	Ventilace Měření koncentrace O ₂ při vstupu
Bezpečnostní zařízení a nástroje	Sací ventilátor nebo vysavač Měřidlo koncentrace O ₂ Ochranná pracovní kombinéza na jedno použití, ochranná obuv, čepice Ochranné rukavice odolné vůči působením kyselin Obličejová maska (doporučeno) nebo alespoň čtvrtmaska Ochranné brýle Ochrana proti působení deště a větru (pouze venku)	Sací ventilátor nebo vysavač Měřidlo koncentrace O ₂

Jako u všech plynů, kromě kyslíku, je koncentrace SF₆ vyšší než 19 % objemových ve vzduchu považována za možné riziko udušení. A to z toho důvodu, že snižuje koncentraci kyslíku na 16 % objemových, což je obvykle považováno za hranici udušení. V důsledku toho se před vstupem doporučuje měření obsahu kyslíku v plynovém oddílu. Kromě toho se při práci v uzavřených prostorech může měřit obsah kyslíku v okolním prostředí.

Při vstupu nebo otevírání plynového oddílu je zakázáno jíst, pít a kouřit. Po ukončení práce se pro zabránění možného nebezpečí podráždění nebo popálení doporučuje převlečení oděvu a omytí pokožky.

5.1.2 Manipulace s kontaminovaným bezpečnostním zařízením a nástroji

Zařízení a nástroje, které byly v kontaktu s pevnými produkty rozkladu a/nebo adsorpčními materiály se považují za kontaminovaná. Zařízení a nástroje se potom shromáždí a umístí do plastových pytlů. Plastové pytle se neprodyšně uzavřou páskou a označí štítkem. Likvidace se provede podle místních předpisů.

Zařízení a/nebo nástroje pro opětné použití by měly být omyty a neutralizovány v roztoku voda/soda s 10 % váhovým podílem tekuté sody (nebo ekvivalentu) a potom opláchnuty čistou vodou. Příklady neutralizačních roztoků jsou uvedeny v tabulce 6.

Likvidace roztoku voda/soda a oplachovací vody se provádí podle místních předpisů.

Tabulka 6 - Neutralizační roztoky

Aktivní činidlo	Vzorec	Koncentrace kg/100 l	T ₁ (viz POZNÁMKA 1) hodin	T ₂ (viz POZNÁMKA 2) hodin	Odkaz
Váпно	Ca(OH) ₂	Nasycený	Neplatí	24	[2]
Uhličitan sodný (omývací soda)	Na ₂ CO ₃	1.1 3 10 (POZNÁMKA 3) 10-14 (POZNÁMKA 3) 3	Neplatí Omytí Neplatí 1 Neplatí	24 Neplatí 0,25 48 Neplatí	[3] [2] [4] [5] [6]
Hydrogenuhlíčan sodný	NaHCO ₃	1 (POZNÁMKA 4)	Neplatí	Neplatí -	[4]

POZNÁMKA 1 Bezpečnostní zařízení pro opětné použití, nástroje, plynové oddíly a vnitřní části oddílů, které obsahovaly SF₆ normálně rozložený elektrickým obloukem, by měly být, tam, kde je to možné, ošetřeny neutralizačním roztokem po dobu T₁. Potom by měly být opláchnuty čistou vodou.

POZNÁMKA 2 Bezpečnostní zařízení pro opětné použití, nástroje, plynové oddíly a vnitřní části oddílů, které obsahovaly SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem, by měly být, tam, kde je to možné, ošetřeny neutralizačním roztokem po dobu T₂. Potom by měly být opláchnuty čistou vodou.

POZNÁMKA 3 Při použití alkalických roztoků při tak vysokých koncentracích je třeba zabránit kontaktů s pokožkou nebo očima.

POZNÁMKA 4 Doporučeno pro omývání pokožky.

5.1.3 Tlaková zařízení a nástroje nebo měřicí přístroje

Jako u všech stlačených plynů platí, že náhlé rozpínání objemu vede k místnímu poklesu teploty a může způsobit omrznutí. Při práci na vysokotlakém potrubí, ventilech nebo armaturách by měly být během plnění použity vhodné rukavice a ochranné brýle.

Všechna zařízení a nástroje použité při manipulaci s SF₆ mohou obsahovat plyný nebo kapalný SF₆ o vysokém tlaku. Je třeba s nimi manipulovat obezřetně.

5.1.4 Vybavení pro osobní ochranu a ochranné zařízení

Použití prostředků osobní ochrany a ochranných zařízení se nevztahuje k vlastnímu elektrickému silno-proudému zařízení SF₆. Standardní ochranná obuv, přilba a ochranné brýle mohou být předepsány místními předpisy pro práci v blízkosti rozváděčů.

V případě mimořádného uniku SF₆ vlivem vnějšího požáru nebo vnitřního obloukového zkratu platí dodatečné bezpečnostní předpisy pro vstup do rozvodny podle 5.2.

V závislosti na druhu prováděné práce na místě montáže a podle tabulky 5 jsou pracovníci manipulující s SF₆ vybaveni následujícími prostředky osobní ochrany a ochrannými zařízeními:

- Ochranné rukavice: kyselině odolné rukavice vyrobené např. z neoprenu, PVC, pryže. Kromě ochranných rukavic se doporučuje použití ochranného krému;
- Ochranné brýle: průmyslové ochranné brýle, typ pro chemii podle místních předpisů (např. evropské normy EN 166);
- Úplná ochranná maska: pro krátkodobé prohlídky nebo pro práci, kde může být zajištěno větrání, ale

kde může koncentrace produktů rozkladu překročit přiměřenou maximální úroveň, se doporučuje ochranná maska s vložkou filtru podle místních předpisů (např. evropské normy EN 140, EN 141 a EN 143 specifikují masky a příslušné plynové filtry a filtry částic. Jsou k dispozici kombinované filtry typu ABE1/P3 případně A2/B2/E2/K2/P3 (v kombinaci s celoobličejovou maskou) vyráběné podle těchto norem, schopné poskytnout ochranu proti plyným a pevným produktům rozkladu včetně částic větších než průměr 1 μm);

- Jednorázová ochranná kombinéza: prachotěsný ochranný oděv na jedno použití oblečený na normální oděv, návleky na obuv, čepice. Kombinézy pro průmyslové použití bez kapes, s kapucí, neprodyšné (např. z netkaného polypropylenu) s elastickými sponami kotníků a zápěstí a překrývající boty a rukavice;
- Měřicí přístroj koncentrace O_2 pro trvalé monitorování obsahu O_2 v okolním prostředí;
- Ochrana před účinky venkovního prostředí: dočasný přístřešek pro zabránění vniknutí deště a větru, který by mohl rozptýlit pevné produkty rozkladu (pokud existují) při otevření plynového oddílu;
- Vysavač: vysavač s vysokou účinností, vybavený filtrem schopným zachytit částice řádově 1 μm a nekovovou hubicí odpovídající místním předpisům (např. stroj typu H podle britské normy BS 5415. Dodatek č. 1, 1986);
- Sací ventilátor: zařízení s nucenou ventilací uzavřených prostor a jiných nepřístupných oblastí. Toto zařízení může být v závislosti na velikosti instalace přenosné nebo pevné.

5.1.5 Zařízení a služby

Tam, kde se musí vyprázdnit a otevřít kryt obsahující použitý plyn SF_6 , je vhodné, aby bylo pro osoby k dispozici odpovídající mycí zařízení a dále může být požadována dodávka vody pro přípravu čisticích roztoků.

5.2 Dodatečná bezpečnostní opatření pro případ mimořádného úniku SF_6 vlivem vnějšího požáru nebo vnitřního obloukového zkratu

Všeobecná bezpečnostní doporučení pro práci s SF_6 na místě montáže jsou uvedena v 5.1. Tento článek popisuje dodatečná bezpečnostní opatření pro případ mimořádného úniku SF_6 vlivem vnějšího požáru nebo vnitřního obloukového zkratu.

Za těchto okolností smí osoby školené v modulech C1 nebo C2 (viz 6.2.4 a 6.2.5) vstupovat do rozvodny a provádět tam čisticí práce nebo smí vstoupit do elektrického silnoprůdého zařízení. V tabulce 7 je uveden přehled možných rizik, bezpečnostních opatření a požadovaných bezpečnostních zařízení a nástrojů.

POZNÁMKA Požární jednotky smí vstupovat do rozvodny v souladu s místními předpisy.

Tabulka 7 - Dodatečná bezpečnostní opatření

Položka	Mimořádný únik SF ₆ silně rozloženého elektrickým obloukem	Mimořádný únik SF ₆ nerozloženého elektrickým obloukem
Možné riziko	Páry z čisticích prostředků Nedostatek O ₂ Mimořádně uniklý SF ₆ Zbytkové reaktivní plynné produkty rozkladu Pevné produkty rozkladu	Páry z čisticích prostředků Nedostatek O ₂ Mimořádně uniklý SF ₆
Bezpečnostní opatření	Odstranění pevných produktů rozkladu Ventilace Měření koncentrace O ₂ při vstupu Použití osobních ochranných pomůcek	Ventilace Měření koncentrace O ₂ při vstupu
Bezpečnostní zařízení a nástroje	Sací ventilátor nebo vysavač Měřidlo koncentrace O ₂ Ochranná pracovní kombinéza na jedno použití, ochranná obuv, čepice Ochranné rukavice odolné vůči působením kyselin Obličejová maska (doporučeno) nebo alespoň čtvrtmaska a ochranné brýle	Sací ventilátor nebo vysavač Měřidlo koncentrace O ₂

Stejná pravidla platí pro oblasti s nižší hladinou koncentrace, než je koncentrace v prostoru úniku plynu, pro špatně větrané nebo nevětrané prostory (např. kabelové kanály, kontrolní šachty, kanalizace). U zařízení venkovního provedení je třeba zajistit standardní opatření pro venkovní podmínky (např. ochrana proti dešti, ochrana proti větru). Pro zabránění nedostatku O₂ obvykle postačí přirozené větrání.

Při vstupu do prostoru, kde by mohla být nižší koncentrace kyslíku má být přítomna druhá osoba v trvalém vizuálním a akustickém dosahu.

5.3 Vybavení pro první pomoc

Vybavením pro první pomoc se rozumí:

- Normální vybavení pro poskytnutí první pomoci pro průmysl včetně vybavení pro výplach očí obsahující fyziologický roztok;
- Prostředky pro kontakt s pohotovostní službou;
- Pokyny pro lékaře.

Dodržování všeobecných bezpečnostních pravidel (viz 5.1) by mělo minimalizovat pravděpodobnost nehody. V případě nehody by měla být poskytnuta první pomoc podle článků 5.3.1 až 5.3.3.

5.3.1 Podráždění kůže

Jestliže se vyskytnou příznaky podráždění kůže, má osoba opustit prostor a omývat napadenou část tekoucí studenou vodou. Jestliže podráždění pokračuje, má se vyhledat lékařská pomoc.

5.3.2 Podráždění očí

Jestliže se projeví příznaky silného podráždění, má osoba opustit prostor. Má se provádět okamžitě vyplachování oka nebo očí tak dlouho, dokud lékař nebo pracovník dozoru nedoporučí ukončení této čin-

nosti.

5.3.3 Dýchací potíže

Postižená osoba se má přemístit co nejrychleji na čerstvý vzduch. Znečištěný oděv se má odstranit a pacient se má zakrýt příkrývkou a má být ponechán v klidu při sledování. Pohotovostní lékařská služba se má volat bez prodlení. Při selhání dýchání, se má dávat umělé dýchání školenou a kvalifikovanou osobou.

6 Školení a certifikace

6.1 Všeobecně

Z povahy techniky použité v elektrických silnoproudých zařízeních využívajících SF₆ vyplývá, že provozní bezpečnost a environmentální hlediska jsou spolu vnitřně těsně svázána, a proto musí být řešena zároveň.

Následující články jsou zaměřeny na školení prováděné pro zajištění toho, aby u elektrických silnoproudých zařízení využívajících SF₆ byly splněny požadavky na provozní bezpečnost a na environmentální hlediska.

Práce na elektrickém silnoproudém zařízení vyžadující manipulaci s plynem (např. vývoj, výroba, zkoušení, stavba, přejímky, údržba, servis a demontáž po skončení životnosti) jsou prováděny buďto certifikovanou oprávněnou osobou nebo pod dohledem certifikované oprávněné osoby. Pracovníci pracující pod dohledem certifikované osoby musí projít školením. Školení může být provedeno v různých lokalitách (např. ve zvláštním školicím středisku u uživatele, v závodě nebo na místě montáže při stavbě, přejímce a údržbě instalovaného zařízení). Pracovníci, kteří dosud nemají certifikaci, ale jsou zapsáni do školicího kurzu za účelem získání certifikátu, by měli mít možnost vykonávat po omezenou dobu činnosti, pro které se taková certifikace vyžaduje, aby získali praktické dovednosti potřebné pro složení zkoušky a tím, že budou pod dohledem certifikovaných pracovníků.

S ohledem na specifickou povahu elektrotechnického průmyslu a zařízení se klade velký důraz na bezpečnost a nepřerušenosť provozu. Cíl školení dán konkrétní problematikou (např. vypínače velmi vysokého napětí, rozváděče vysokého napětí, vysokonapěťové plynem izolované rozváděče), to znamená, že různá problematika vyžaduje různé certifikované školicí přístupy.

Úspěšné školení musí být založeno na platné legislativě, místních předpisech provozních manuálech zařízení, mezinárodních normách a aktuálních technických zprávách. a musí být zakončeno " zkouškou a potvrzeno certifikátem.

POZNÁMKA Pro certifikaci platí článek 4 odst. 4 nařízení Komise (ES) č.305/2008, kterým se podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 842/2006 stanoví minimální požadavky na certifikaci pracovníků provádějících znovuzískávání některých fluorovaných skleníkových plynů z vysokonapěťových spínacích zařízení. V České republice platí zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů, který řeší vydávání certifikátů v §31 odst. 2.

6.2 Certifikace

Certifikáty jsou vydávány podle odst. 1 §31 zákona č. 86/2002 Sb. O ochraně ovzduší ve znění pozdějších předpisů na činnosti:

- a) u kterých to stanoví přímo použitelné předpisy EU 1b
- b) spočívající v servisu zařízení obsahujícího regulované látky
- c) spočívající v kontrole těsnosti chladicích a klimatizačních zařízení obsahujících regulované látky
- d) spočívající v kontrole těsnosti systémů požární ochrany obsahujících regulované látky
- e) spočívající ve znovuzískání regulovaných látek při recyklaci výrobků nebo
- f) spočívající ve zneškodňování regulovaných látek

Úspěšné školení je zakončeno podnikovým certifikátem, kde „podnikový certifikát“ znamená certifikát o kvalifikaci nebo jiné písemné potvrzení vydané zaměstnavatelem těm svým zaměstnancům nebo externím osobám, které úspěšně ukončili školicí kurs vztahující se k příslušné činnosti. Pro ověření dovedností a získaných schopností se provede teoretické a praktické přezkoušení.

Záznamy musí být uloženy, aby bylo možné:

- Určit obsah školení;
- Určit, pro který úkol a které zařízení byla osoba certifikována (např. opětné získání SF₆);
- Přiřadit činnost (např. opětné získání SF₆ pro určité zařízení) k osobě, která byla certifikována;
- Udržet vysokou úroveň odbornosti.

Zaměstnanci mohou podle zákona č. 86/2002 Sb manipulovat s SF₆ bez certifikátu nejpozději do 4.7.2010. Metodické pokyny pro certifikaci jsou vypracovány MŽP ČR.

POZNÁMKA Podnikové školení pouze umožňuje, aby pracovníci, kteří dosud nemají certifikaci, ale jsou zapsáni do školícího kurzu za účelem získání certifikátu, měli možnost vykonávat po omezenou dobu činnosti, pro které se taková certifikace vyžaduje, aby získali praktické dovednosti potřebné pro složení zkoušky.

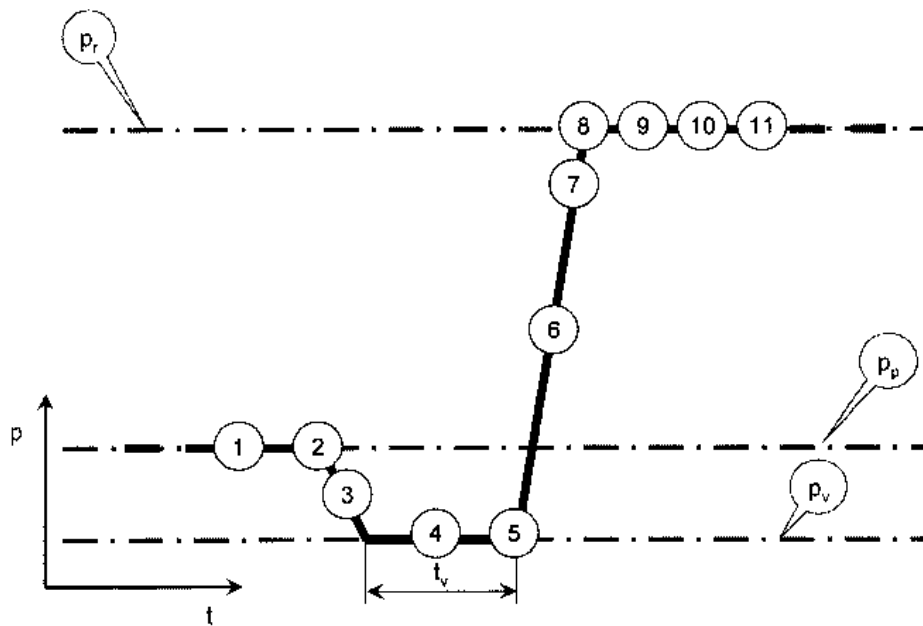
7 Manipulace s SF₆ během instalace a převínek

V této kapitole jsou uvedeny pokyny pro práci s technickým SF₆ podle IEC 60376 nebo použitým SF₆ vhodným pro opětné použití podle IEC 60480, tzn., je-li plynový oddíl plněn po instalaci spínacího a/nebo řídicího zařízení na místě montáže.

7.1 Evakuace, plnění a kontrola kvality SF₆ po naplnění

Tento článek platí pro oddíly rozváděče o tlakových soustavách, které v dané době obsahují jiný plyn než SF₆ (typicky vzduch nebo N₂) při okolním tlaku nebo při tlaku mírně vyšším (typicky 0,1 až 0,15 MPa).

Pokud není původním výrobcem zařízení stanoveno jinak v návodu k použití, provede se při evakuaci vzduchu/N₂ a plnění SF₆ v každém oddílu následující sled činností podle obrázku 1. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 7. Základní opatření spočívá ve splnění čl. 3 odstavce 3 opatření Nařízení evropského parlamentu a rady ES č. 842/2006.



Legenda

1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	9	Kontrola těsnosti
2	Instalace adsorbentů	10	Kontrola kvality SF ₆
3	Evakuace	11	Dokumentace
4	Zbytkový obsah vzduchu a/nebo vlhkosti	p_r	Jmenovitý tlak plnění SF ₆
5	Dokumentace	p_p	Původní tlak v plynovém oddílu
6	Plnění SF ₆	p_v	Evakuační tlak < 2kPa
7	Dokumentace	t_v	Doba evakuace ≥ 30 min
8	Kontrola čidla tlaku/hustoty		

Obrázek 1 - Přejímka nebo opětná přejímka oddílů SF₆

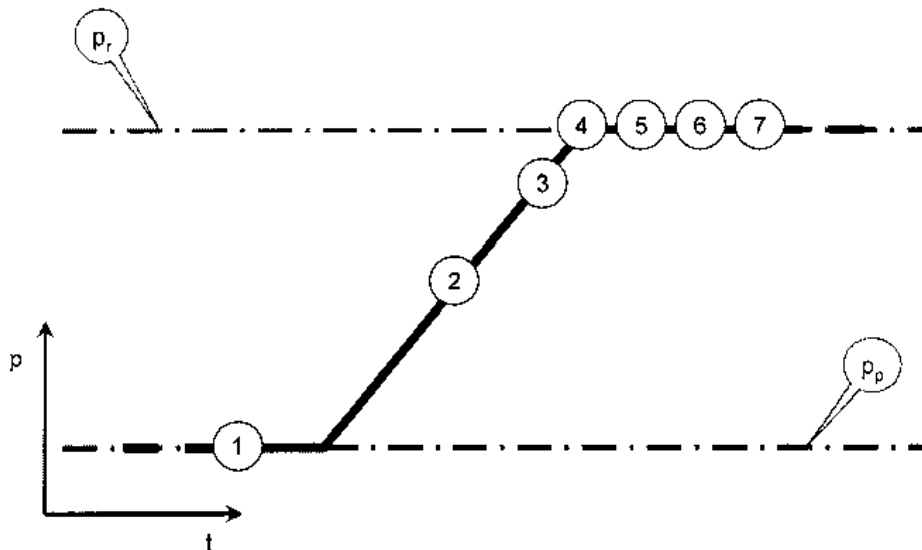
Tabulka 8 - Přejímka nebo opětná přejímka oddílů SF₆

1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	Zkontrolujte, že regenerační zařízení pracuje dobře a že pro zabránění kontaminace jsou plynové přípojky čisté a suché. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů.
2	Instalace adsorbentů	Do oddílu rychle vložte adsorpční materiály. Ihned potom spusťte evakuaci.
3	Evakuace	Připojte vakuové čerpadlo a ponechte je v chodu alespoň po dobu 30 min potom, co bylo v plynovém oddílu dosaženo evakuačního tlaku nižšího než 2 kPa.
4	Zbytkový obsah vzduchu a/nebo vlhkosti	Vypněte vakuové čerpadlo a odečtěte hodnotu tlaku. Evakuační tlak má zůstat pod 2 kPa.
5	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikaci plynového oddílu, evakuační tlak (t.j. zbytkový obsah vzduchu), teplotu okolí a datum.
6	Plnění SF ₆	Připojte kontejner SF ₆ a naplňujte oddíl až do dosažení jmenovitého plnicího tlaku. Pro zabránění přeplnění použijte bezpečnostní ventil a kalibrovaný tlakoměr (viz POZNÁMKY 1 a 2).
7	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikaci plynového oddílu, konečný tlak plnění, teplotu okolí a datum.
8	Kontrola čidla tlaku/hustoty	Zkontrolujte činnost čidla tlaku/hustoty. Tato kontrola může být provedena v průběhu plnění.
9	Kontrola těsnosti	Zkontrolujte těsnost alespoň všech pevných přípojek vytvořených na místě montáže podle předpisů původního výrobce zařízení uvedených v návodu k obsluze.
10	Kontrola kvality SF ₆	Měření obsahu vlhkosti a procentního obsahu SF ₆ provádějte až po uplynutí doby předepsané původním výrobcem zařízení uvedené v návodu k obsluze.
11	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikaci plynového oddílu, činnost čidla tlaku/hustoty, obsah vlhkosti, obsah SF ₆ , teplotu okolí a datum.
<p>POZNÁMKA 1 SF₆, kterým má být plněn oddíl by měl být technický SF₆, nebo použitý SF₆ vhodný pro opětné použití na místě montáže.</p> <p>POZNÁMKA 2 Pokud je plyn dodáván dodavatelem v hermeticky uzavřených kontejnerech nebo pokud je plyn skladován v hermeticky uzavřených kontejnerech s odpovídajícím štítkem nebo certifikátem zaručujícím, že plyn je vhodný pro opětné použití, nevyžaduje se kontrola SF₆. Kontrola kvality SF₆ zahrnuje kontrolu obsahu vlhkosti, procentního obsahu SF₆ a zbytkového obsahu acidity.</p> <p>POZNÁMKA 3 Pokud má plynový oddíl malý objem, může být před opětovným plněním vyžadována kontrola kvality SF₆.</p>		

7.2 Doplnování SF₆ předplněných oddílů na jmenovitý tlak/hustotu

Tento článek platí pro oddíly tlakových soustav předplněných před expedicí v továrně. Obsahují SF₆ o tlaku vyšším, než je atmosférický tlak (typicky 0,12 až 0,15 MPa) umožňující rychlejší a snadnější přejímku na místě montáže.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu k použití předepsáno jinak, je podrobný postup doplňování SF₆ v těchto předplněných oddílech uveden na obrázku 2. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 9.



Legenda

- | | | | |
|---|---|-------|---|
| 1 | Příprava manipulačního zařízení s SF ₆ | 6 | Kontrola kvality SF ₆ |
| 2 | Doplňování SF ₆ | 7 | Dokumentace |
| 3 | Dokumentace | p_r | jmenovitý tlak plnění SF ₆ |
| 4 | Kontrola čidla tlaku/hustoty | p_p | Počáteční tlak SF ₆ v plynu plněném oddílu |
| 5 | Kontrola těsnosti | | |

Obrázek 2 - Doplnění SF₆ předplněných oddílů na jmenovitý tlak/hustotu

Tabulka 9 - Doplnování SF₆ předplněných oddílů na jmenovitý tlak/hustotu

Krok		Postup
1	Příprava manipulačního zařízení s SF ₆	Zkontrolujte, zda jsou pro zabránění znečištění plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů.
2	Doplňování SF ₆	Připojte kontejner SF ₆ a doplňujte oddíl, dokud není dosaženo jmenovitého tlaku plnění. Pro zabránění přeplnění používejte bezpečnostní ventil a kalibrovaný tlakoměr (viz POZNÁMKY 1 a 2).
3	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, konečný tlak plnění, teplotu okolí a datum.
4	Kontrola čidla tlaku/hustoty	Zkontrolujte funkci čidla tlaku/hustoty. Tato činnost může být provedena při plnění.
5	Kontrola těsnosti	Zkontrolujte těsnost alespoň u trvalých spojů vytvořených na místě montáže, jak je požadováno v návodu k použití původním výrobcem zařízení.
6	Kontrola kvality SF ₆	Před měřením obsahu vlhkosti a procentního obsahu SF ₆ vyčkejte po dobu předepsanou v návodu k použití původním výrobcem zařízení (viz POZNÁMKA 3).
7	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, funkci čidla tlaku/vlhkosti, obsah vlhkosti, obsah SF ₆ , teplotu okolí a datum.
<p>POZNÁMKA 1 SF₆, kterým má být plněn plynový oddíl musí být buďto technický SF₆ nebo SF₆ vhodný pro opětné použití na místě montáže.</p> <p>POZNÁMKA 2 Pokud je plyn dodáván dodavatelem v hermeticky uzavřených kontejnerech nebo pokud je plyn skladován v hermeticky uzavřených kontejnerech s odpovídajícím štítkem nebo certifikátem zaručujícím, že plyn je vhodný pro opětné použití, nevyžaduje se kontrola SF₆. Kontrola kvality SF₆ zahrnuje kontrolu obsahu vlhkosti, procentního obsahu SF₆ a zbytkového obsahu acidity.</p> <p>POZNÁMKA 3 V případě plynového oddílu o malém objemu může být po kontrole kvality SF₆ požadováno opětné plnění.</p>		

7.3 Plnění hermeticky uzavřených soustav

Většina spínacích a/nebo řídicích zařízení vysokého napětí je tvořena hermeticky uzavřenými soustavami podle 3.13. Typicky jsou tato zařízení plněna SF₆ v továrně a během požadované životnosti není požadována žádná manipulace s SF₆.

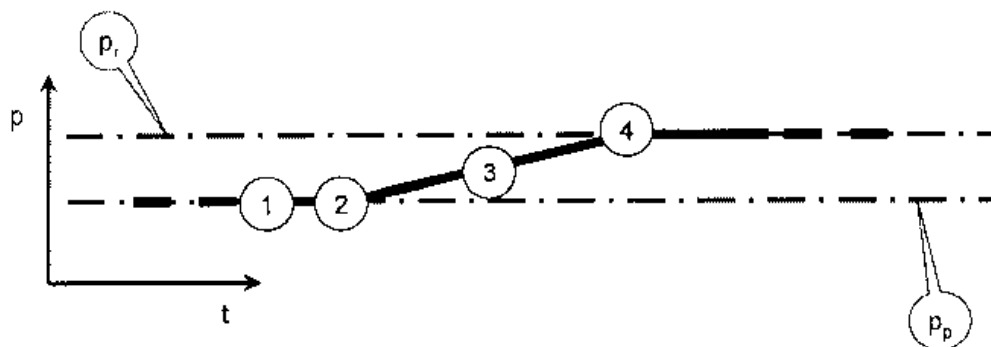
POZNÁMKA V případě mimořádných okolností (např. v případě poškození) by mohlo být požadováno opětné plnění nebo nová přejímka zařízení na místě montáže. V tomto případě by měl být kontaktován původní výrobce zařízení.

8 Manipulace s SF₆ v průběhu normální životnosti

8.1 Znovunaplnění SF₆ na jmenovitý tlak/hustotu

Tento článek platí pro oddíly (obvykle charakterizované monitorováním první výstrahy/indikace tlaku/hustoty) uzavřených tlakových soustav pro zajištění nepřerušovanosti provozu. V případě mimořádného úniku se okamžitě spustí vhodná korekční opatření pro lokalizaci a eliminaci úniku.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu k použití předepsáno jinak, je podrobný postup znovunaplňování SF₆ v každém oddílu uveden na obrázku 3. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 10.



Legenda

1	Identifikace povahy úniku	4	Dokumentace
2	Příprava manipulačního zařízení s SF ₆	p_r	jmenovitý tlak plnění SF ₆
3	Znovunaplnění SF ₆	p_p	Počáteční tlak SF ₆ v plynem plněném oddílu

Obrázek 3 - Doplnění SF₆ na jmenovitý tlak/hustotu

Tabulka 10 - Doplnění SF₆ na jmenovitý tlak/hustotu

Krok		Postup
1	Identifikace povahy úniku	Zkontrolujte poslední doplňování plynového oddílu, aby se zjistilo, zda se jedná o mimořádný únik.
2	Příprava manipulačního zařízení s SF ₆	Zkontrolujte, zda jsou, pro zabránění znečištění, plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda na se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů.
3	Znovunaplnění SF ₆	Připojte kontejner SF ₆ a plňte oddíl, dokud není dosaženo jmenovitého tlaku plnění. Pro zabránění přeplnění používejte bezpečnostní ventil a kalibrovaný tlakoměr (viz POZNÁMKY 1 a 2).
4	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, konečný tlak plnění, teplotu okolí a datum.

POZNÁMKA 1 SF₆, kterým má být plněn plynový oddíl, musí být buďto technický SF₆ nebo SF₆ vhodný pro opětovné použití na místě montáže.

POZNÁMKA 3 Vzhledem k tomu, že množství SF₆ potřebné pro znovunaplnění je velmi malé v porovnání s množstvím SF₆ v daném oddílu, není nutná kontrola kvality SF₆ po doplnění.

8.2 Kontrola kvality SF₆

Měření kvality SF₆ se obvykle provádí na místě montáže při použití přenosného zařízení. Pro ověření neúspěšných výsledků měření na místě montáže se může výjimečně provést kontrola mimo místa montáže pomocí vzorkování a odeslání vzorků do akreditované chemické laboratoře.

Typická kontrola kvality SF₆ podle IEC 60480 se týká obsahu vlhkosti (např. obsahu vody v mg/kg), procentního obsahu SF₆ (např. obsahu vzduchu a/nebo CF₄ v objemových %), a celkového obsahu reaktivních plynů rozkladu (např. celkové množství reaktivních plynů v µl/l).

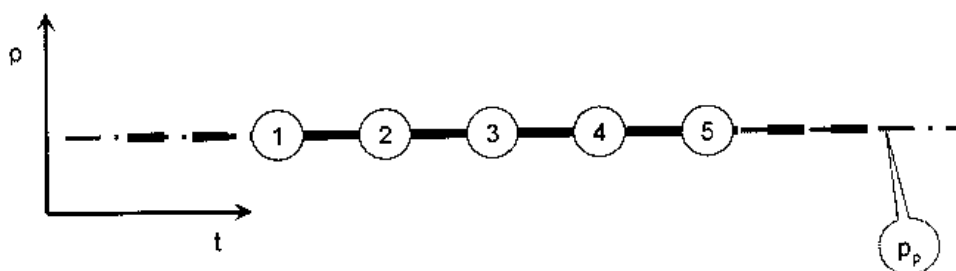
Pokud historie plynem plněného oddílu není známá, nebo pokud plynem plněný oddíl obsahuje SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem, kontroluje se, pro zabránění poškození ostatních přenosných zařízení, celkový obsah reaktivních plynů rozkladu jako první.

8.2.1 Měření kvality SF₆ přenosným zařízením

Tento článek platí pro kontrolu kvality plynu přenosným zařízením u oddílů plněných SF₆ u řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav nebo u kontejnerů plněných SF₆.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu k použití předepsáno jinak, je podrobný postup kontroly kvality SF₆ na místě montáže uveden na obrázku 4. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 11.

Charakteristiky přenosných zařízení jsou popsány v kapitole 10.



Legenda

1	Příprava přenosného zařízení	4	Odpojení přenosného zařízení
2	Připojení přenosného zařízení	5	Dokumentace
3	Odečtení údajů přenosného zařízení	p_p	Počáteční tlak SF ₆ v plynu plněném oddílu

Obrázek 4 - Kontrola kvality SF₆ na místě montáže

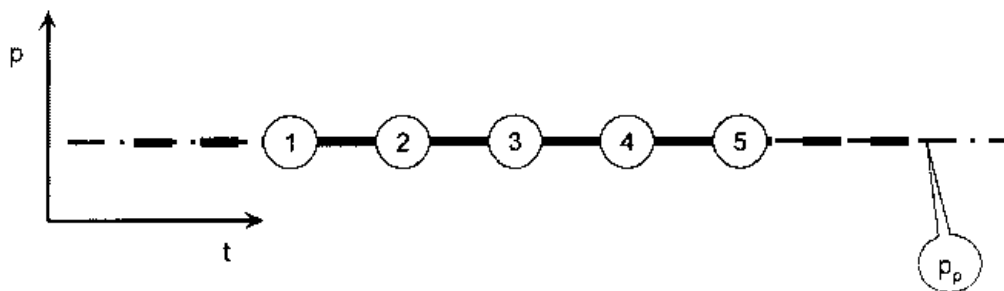
Tabulka 11 - Kontrola kvality SF₆ na místě montáže

Krok		Postup
1	Příprava přenosného zařízení	Zkontrolujte správnou činnost přenosného zařízení a zda jsou, pro zabránění chybného měření, plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů. Pro minimalizaci úniku SF ₆ používejte krátké přípojky.
2	Připojení přenosného zařízení	Připojte přenosné zařízení. Utěsněte přípojky a zaveďte proud plynu.
3	Odečtení údajů přenosného zařízení	Viz návod k použití dodaný výrobcem přenosného zařízení.
4	Odpojení přenosného zařízení	Uzavřete průtok plynu a odpojte přenosné zařízení (Viz POZNÁMKA).
5	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, odečtené údaje a datum.
POZNÁMKA V případě plynového oddílu o malém objemu může být po kontrole kvality SF ₆ požadováno znovunaplnění.		

8.2.2 Vzorkování a doprava SF₆ pro analýzu mimo místo montáže

Tento článek platí pro ověření neúspěšných výsledků měření na místě montáže u oddílů plněných SF₆ u řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav nebo u kontejnerů plněných SF₆.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu k použití předepsáno jinak, je podrobný postup vzorkování a přepravy SF₆ uveden na obrázku 5. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 12.



Legenda

- | | | | |
|---|--|-------|---|
| 1 | Příprava vzorkovacího zařízení SF ₆ | 4 | Odpojení vzorkovacího zařízení |
| 2 | Dokumentace | 5 | Přeprava |
| 3 | Připojení vzorkovací láhve | p_p | Tlak SF ₆ v plynu plněném oddílu |

Obrázek 5 - Vzorkování SF₆ a přeprava

Tabulka 12 - Vzorkování SF₆ a přeprava

Krok		Postup
1	Příprava vzorkovacího zařízení SF ₆	Evakuujte vzorkovací láhev (viz POZNÁMKA 1). Zkontrolujte, zda jsou, pro zabránění znečištění vzorku, plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti a pro minimalizaci úniku SF ₆ použijte krátké přípojky.
2	Dokumentace	Označte vzorkovací láhev štítkem s alespoň těmito údaji: název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, datum, tlak a teplota okolí.
3	Připojení vzorkovací láhve	Připojte vzorkovací láhev. Utěsněte přípojky a zaveďte proud plynu.
4	Odpojení vzorkovací láhve	Uzavřete průtok plynu a odpojte vzorkovací láhev (viz POZNÁMKA 2).
5	Přeprava	Přeprava do laboratoře se provádí podle místních a mezinárodních předpisů, jak je popsáno v 4.2.
POZNÁMKA 1 Vzorkovací láhev - viz 11.4. POZNÁMKA 2 V případě plynového oddílu o malém objemu může být po kontrole kvality SF ₆ požadováno znovuplnění.		

9 Opětné získání a regenerace v průběhu údržby

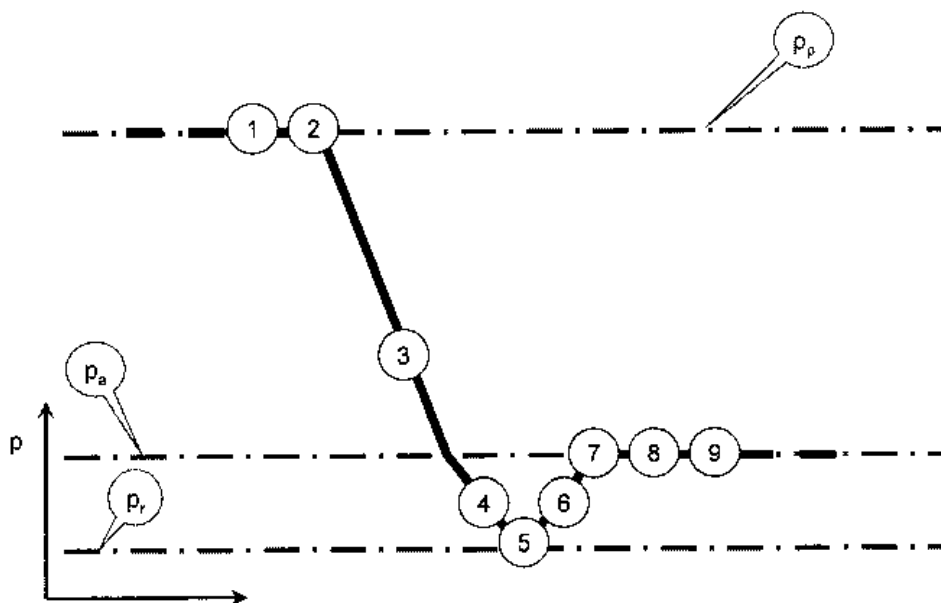
Tato kapitola obsahuje postupy pro opětné získání a regeneraci SF₆ z oddílů plněných plynem v průběhu údržby.

9.1 Opětné získání a regenerace SF₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF₆ normálně rozložený elektrickým obloukem

Tento článek platí pro oddíly plněné SF₆ u řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav obsahujících SF₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF₆ normálně rozložený elektrickým obloukem, pokud je opětně získáván při údržbě.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu k použití předepsáno jinak, je podrobný postup opětného získávání SF₆ z každého oddílu uveden na obrázku 6. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 13.

Je třeba striktně dodržovat bezpečnostní předpisy uvedené v 5.1.



Legenda

1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	7	Otevření plynového oddílu
2	Připojení filtrů	8	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorbentů, pokud existují
3	Opětné získání SF ₆	9	Neutralizace, pokud je požadována
4	Minimalizace obsahu zbytkového SF ₆	p_p	Tlak SF ₆ v oddílu naplněném plynem
5	Dokumentace	p_a	Atmosférický tlak
6	Zaplnění vzduchem	p_r	Zbytkový tlak SF ₆ < 2 kPa

Obrázek 6 - Opětné získání a regenerace SF₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF₆ normálně rozložený elektrickým obloukem

Tabulka 13 - Opětné získání a regenerace SF₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF₆ nerozložený elektrickým obloukem a /nebo SF₆ normálně rozložený elektrickým obloukem

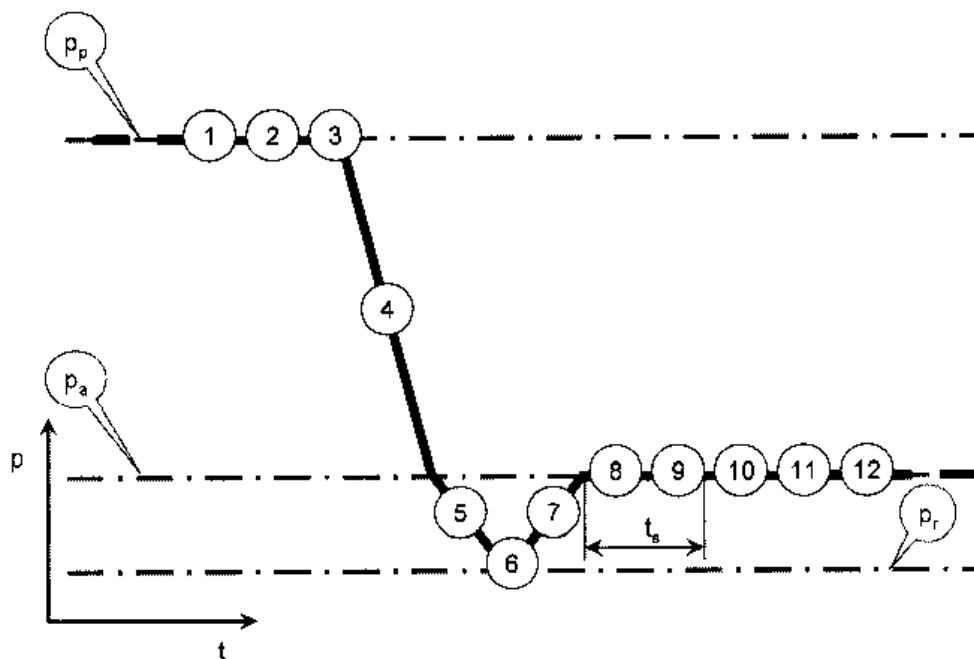
Krok		Postup
1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	Zkontrolujte správnou činnost regeneračního zařízení, zda jsou filtry stále aktivní a zda jsou pro zabránění znečištění plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů.
2	Připojení filtrů	Zkontrolujte filtr mezi oddílem naplněným plynem a kompresorem a filtr mezi kompresorem a zásobníkem.
3	Opětné získání SF ₆	Připojte oddíl naplněný plynem. Jakmile se začne zbytkový tlak SF ₆ v oddílu blížit tlaku zásobníku, použijte hlavní kompresor. Pro zabránění přeplnění zásobníku použijte bezpečnostní ventil a kalibrovaný tlakoměr (viz POZNÁMKA).
4	Minimalizace obsahu zbytkového SF ₆	Jakmile se začne zbytkový tlak SF ₆ v oddílu blížit 100 kPa zapněte pomocný kompresor a ponechtejte ho v chodu tak dlouho, až je dosaženo nižšího tlaku než 2 kPa.
5	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, odečtené údaje a datum.
6	Zaplnění vzduchem	Odpojte kompresor a nechte vzduch pomalu vnikat do plynového oddílu.
7	Otevření plynového oddílu	Opatrně otevřete plynový oddíl. Dodržujte bezpečnostní opatření podle 5.1.
8	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorbentů, pokud existují	Pevné produkty rozkladu, pokud existují, odstraňte okamžitě vysavačem nebo měkkým hadrem. Adsorpční materiály umístěte do plastového pytle. Plastový pytel zavažte těsně páskou a opatřete jej visačkou.
9	Neutralizace, pokud je požadována	Pokud byly odstraněny produkty rozkladu, omyjte a neutralizujte všechny části 10 % roztokem sody a potom je omyjte čistou vodou podle tabulky 6.
<p>POZNÁMKA V případě skladování kapalin se pro zabránění přeplnění kontroluje hmotnost zásobníku. Z bezpečnostních důvodů je činitel plnění nižší než 0,8 kg/l.</p>		

9.2 Opětné získání a regenerace SF₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem

Tento článek platí pro oddíly plněné SF₆ u řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav obsahujících SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem, pokud je opětně získáván při údržbě.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu k použití předepsáno jinak, je podrobný postup opět-ného získávání SF₆ z každého oddílu uveden na obrázku 7. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 14.

Je třeba striktně dodržovat bezpečnostní předpisy uvedené v kapitole 5.



Legenda

1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	9	Otevření plynového oddílu
2	Připojení filtrů	10	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorbentů, pokud existují
3	Připojení dodatečného filtru	11	Neutralizace, pokud je požadována
4	Opětné získání SF ₆	12	Dokumentace
5	Minimalizace obsahu zbytkového SF ₆	p _p	Tlak SF ₆ v oddílu naplněném plynem
6	Dokumentace	p _a	Atmosférický tlak
7	Zaplnění vzduchem	p _r	Zbytkový tlak SF ₆ < 2 kPa
8	Usazení pevných produktů rozkladu	t _s	Doba usazování ≥ 1 h

Obrázek 7 - Opětné získání a regenerace SF₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem

Tabulka 14 - Opětné získání a regenerace SF₆ z oddílu řízené a/nebo uzavřené tlakové soustavy obsahující SF₆ silně rozložený elektrickým obloukem

Krok		Postup
1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	Zkontrolujte správnou činnost regeneračního zařízení, zda jsou filtry stále aktivní a zda jsou, pro zabránění znečištění, plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů.
2	Připojení filtrů	Zkontrolujte filtr mezi oddílem naplněným plynem a kompresorem a filtr mezi kompresorem a zásobníkem.
3	Připojení dodatečného filtru	Na vstup regeneračního zařízení SF ₆ připojte dodatečný filtr.
4	Opětné získání SF ₆	Připojte oddíl naplněný plynem. Jakmile se začne zbytkový tlak SF ₆ v oddílu blížit tlaku zásobníku, použijte hlavní kompresor. Pro zabránění přeplnění zásobníku použijte bezpečnostní ventil a kalibrovaný tlakoměr (viz POZNÁMKA 1).
5	Minimalizace obsahu zbytkového SF ₆	Jakmile se začne zbytkový tlak SF ₆ v oddílu blížit 100 kPa zapněte pomocný kompresor a ponechte ho v chodu tak dlouho, až je dosaženo nižšího tlaku než 2 kPa.
6	Dokumentace	Pro příští potřebu zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení plynového oddílu, odečtené údaje a datum.
7	Zaplnění vzduchem	Odpojte kompresor a nechte vzduch pomalu vnikat do plynového oddílu.
8	Usazení pevných produktů rozkladu	Vyčkejte pod dobu 1 h, než se v plynovém oddílu usadí zbývající pevné produkty.
9	Otevření plynového oddílu	Opatrně otevřete plynový oddíl. Dodržujte bezpečnostní opatření podle kapitoly 5.
10	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorbentů, pokud existují	Pevné produkty rozkladu, pokud existují, odstraňte okamžitě vysavačem nebo měkkým hadrem. Adsorpční materiály umístěte do plastového pytle. Plastový pytel zavažte těsně páskou a opatřete jej visačkou.
11	Neutralizace, pokud je požadována	Pokud byly odstraněny produkty rozkladu, omyjte a neutralizujte všechny části 10 % roztokem sody a potom je omyjte čistou vodou podle tabulky 6.
12	Dokumentace	Zaznamenejte všechny údaje týkající se vnitřního zkratu. Připojte obrázky.
<p>POZNÁMKA 1 V případě skladování kapalin se, pro zabránění přeplnění, kontroluje hmotnost zásobníku. Z bezpečnostních důvodů je činitel plnění nižší než 0,8 kg/l.</p> <p>POZNÁMKA 2 V případě, že je plynový oddíl otevřen do atmosféry, měl by se postup opakovat od kroku 9.</p>		

10 Demontáž silnoproudého elektrického zařízení SF₆ na konci životnosti zařízení

Tento článek popisuje různé fáze prováděné při demontáži elektrického silnoproudého zařízení po skončení jeho životnosti. Z hlediska vlivu na životní prostředí se jedná o důležitou etapu životního cyklu výrobku.

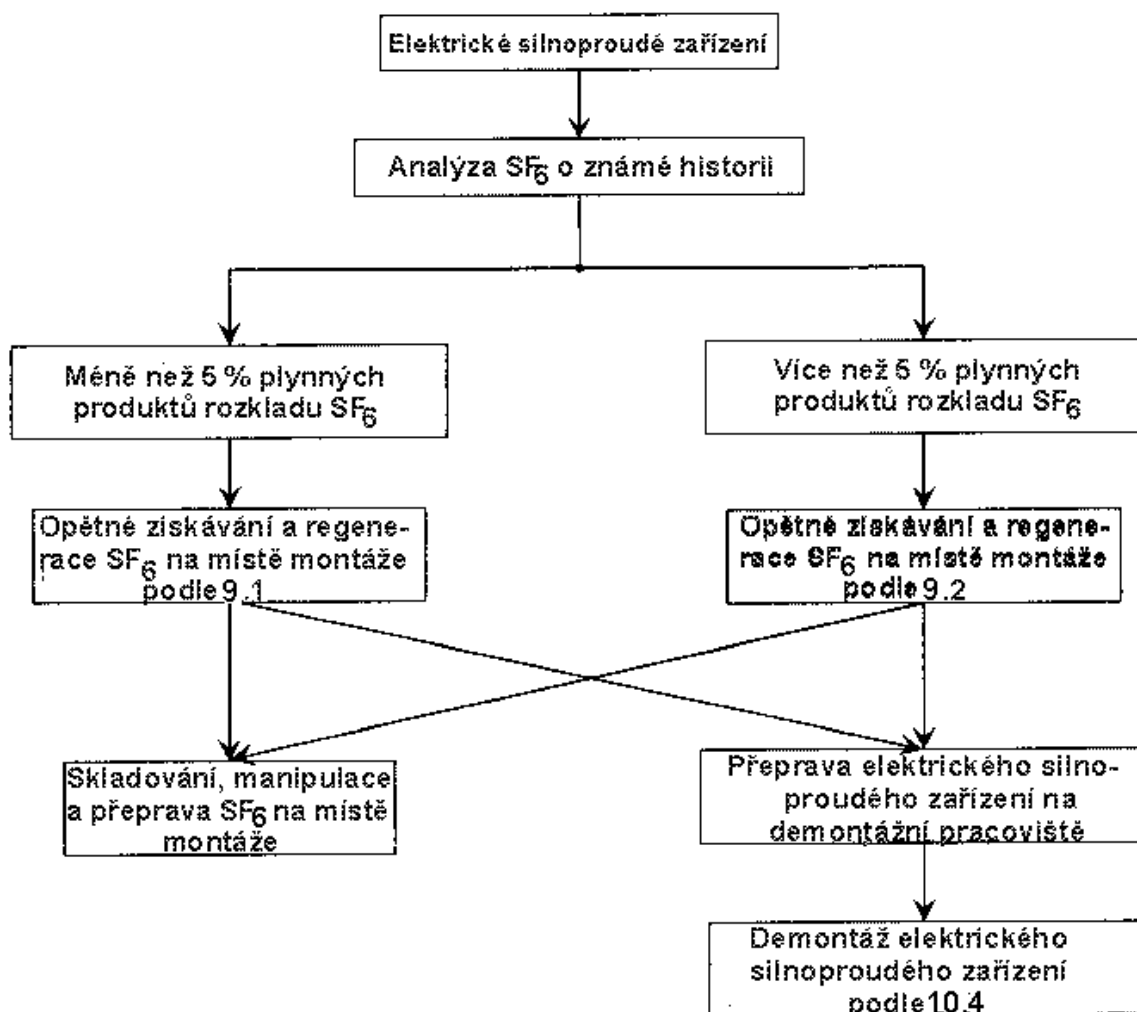
Demontáž po skončení životnosti zařízení se provádí podle místních předpisů. Za demontáž je odpovědný vlastník/provozovatel s podporou původního výrobce zařízení, protože jeho znalosti a zkušenosti jsou důležité. Třetí strana, jako např. kvalifikovaná servisní organizace, se také může na demontáži na konci života zařízení podílet. Konec životnosti elektrického zařízení se stanovuje v kosntrukční etapě zařízení.

POZNÁMKA Postup popsany v této kapitole může být také použit při údržbě a generální údržbě.

Demontáž elektrického silnoproudého zařízení a s tím spojené nakládání s použitým SF₆, plynovými oddíly, prachem, adsorpčními materiály a odpadními vodami se provádí s patřičným dodržováním pravidel osobní bezpečnosti a s ohledem na životní prostředí, jak je popsáno v kapitole 5.

10.1 Konec životnosti řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav

Na obrázku 8 je znázorněn typický postup prováděný na konci životnosti řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav.

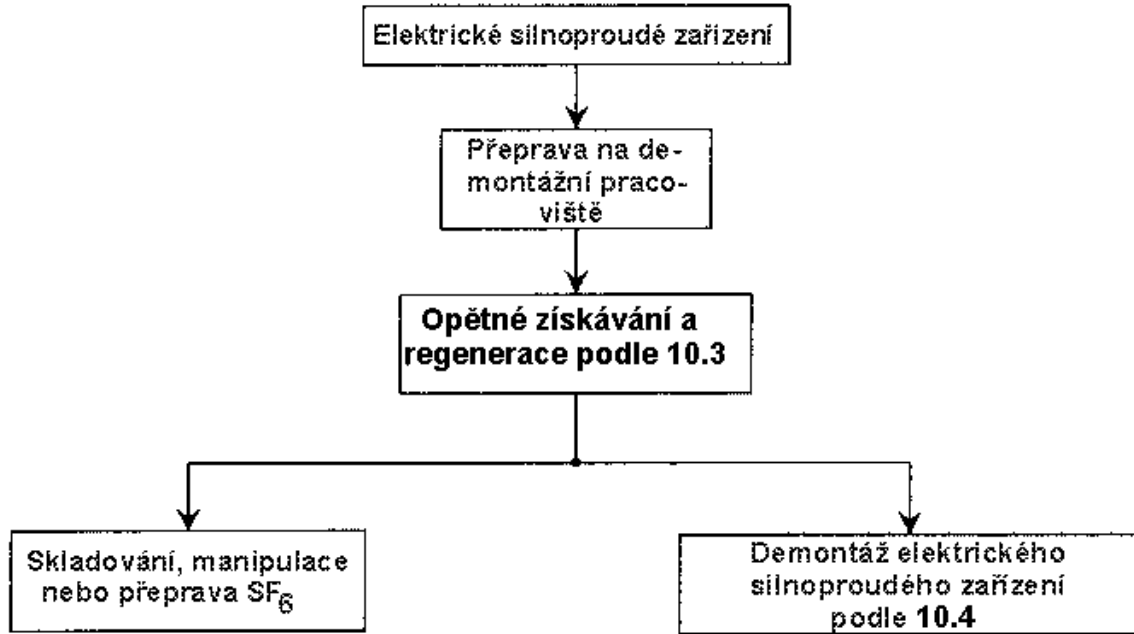


Obrázek 8 - Konec životnosti řízených a/nebo uzavřených tlakových soustav

Pokud není známa historie oddílu plněného plynem, je plyn analyzován a manipuluje se s ním v bezpečných podmínkách podle kapitoly 9. Pokud byl SF₆ opětne získán a regenerován, může být znovu použit na místě montáže nebo skladován nebo přepraven mimo místo montáže pro další opětne použití podle kapitoly 4. Elektrické silnoproudé zařízení může být demontováno buďto na místě montáže nebo dopraveno na demontážní pracoviště.

10.2 Konec životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav

Hermeticky uzavřené tlakové soustavy jsou převážně dopravovány na demontážní pracoviště, jak je znázorněno na obrázku 9. Pokud je požadováno, může být opětne získání SF₆ a další demontáž provedena na místě montáže. Postup opětneho získání SF₆ zůstává stejný, jak je popsáno v 10.3.



Obrázek 9 - Konec životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav

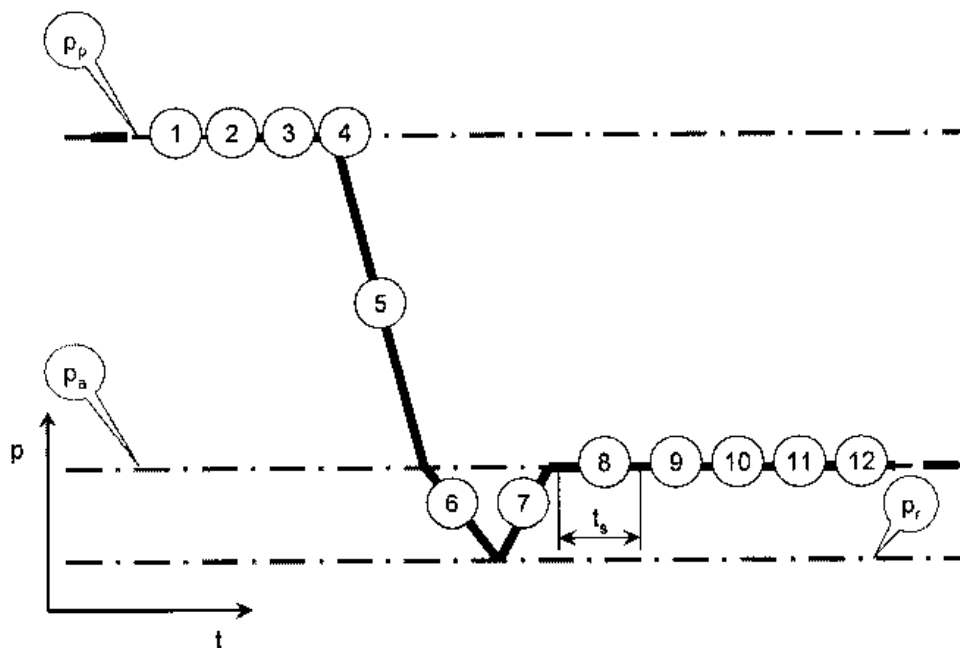
Uzavřené tlakové soustavy by měly být dopraveny na demontážní pracoviště před odstraněním SF₆; tuto činnost vykonávají hlavně servisní organizace. Tyto organizace disponují potřebnými manipulačními a skladovacími prostředky vhodnými pro zabránění nárazů, které by mohly způsobit prasknutí nebo rozbití krytu, a to zvláště krytu vyrobeného z pryskyřic. Zkušenosti ukazují, že, pokud jsou dodržovány pokyny vydané původním výrobcem zařízení, je riziko úniku SF₆ do ovzduší během manipulace a přepravy mimořádně nízké.

10.3 Opětné získání a regenerace SF₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav

Opětné získání a regenerace SF₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav by mělo být prováděno na demontážním pracovišti. Pokud jsou hermeticky uzavřené tlakové soustavy vybaveny připojovacími armaturami, měly by být pro opětné získávání SF₆ použity jednoúčelové nástroje podle návodu výrobce. Pokud tomu tak není, měla by být použita technika neprodyšného vrtání.

Pokud není původním výrobcem zařízení v návodu předepsáno jinak, postupuje se při opětném získávání a regeneraci SF₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav podle obrázku 10. Další podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 15.

Je třeba důsledně dodržovat pravidla uvedená v kapitole 5.



Legenda

1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	9	Otevření plynového oddílu
2	Připojení filtrů	10	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorbentů, pokud existují
3	Připojení dodatečného filtru	11	Neutralizace, pokud je požadována
4	Připojení oddílu SF ₆	12	Dokumentace
5	Opětné získávání SF ₆	p_p	Tlak SF ₆ v oddílu naplněném plynem
6	Minimalizace obsahu zbytkového SF ₆	p_a	Atmosférický tlak
7	Zaplnění vzduchem	p_r	Zbytkový tlak SF ₆ < 2 kPa
8	Usazení pevných produktů rozkladu	t_s	Doba usazování ≥ 1 h

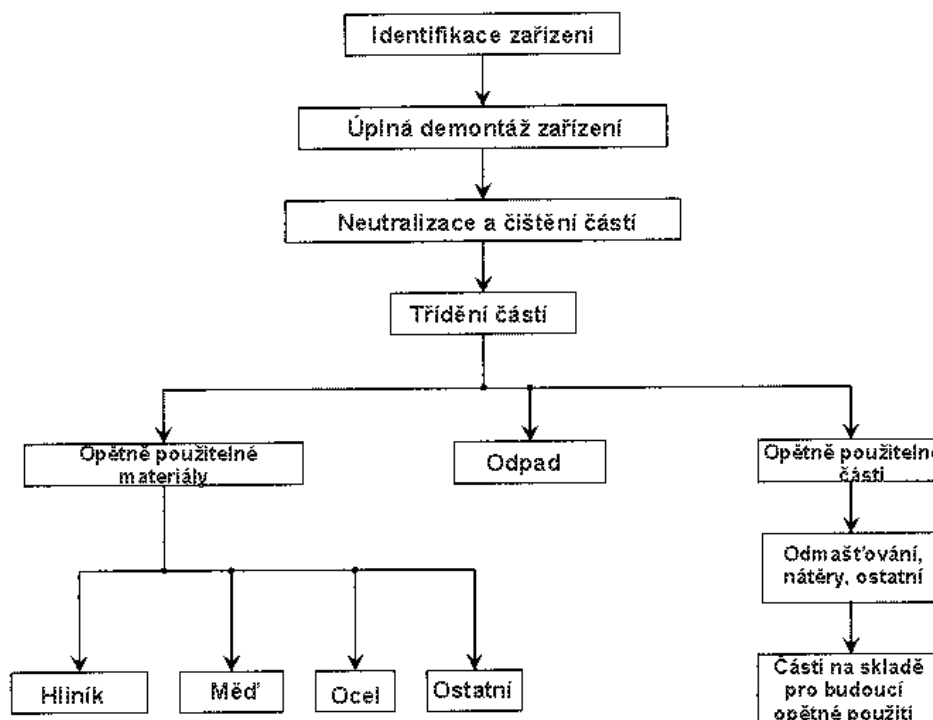
Obrázek 10 - Opětné získání a regenerace SF₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav

Tabulka 15 - Opětné získání a regenerace SF₆ na konci životnosti hermeticky uzavřených tlakových soustav

Krok		Postup
1	Příprava manipulačního zařízení SF ₆	Zkontrolujte správnou činnost regeneračního zařízení, zda jsou filtry stále aktivní a zda jsou, pro zabránění znečištění, í plynové přípojky suché a čisté, zda jsou hadice evakuované a zda se na armaturách přípojek nevyskytují netěsnosti. Zkontrolujte platnost kalibrace kalibrovaných přístrojů.
2	Připojení filtrů	Zkontrolujte filtr mezi oddílem naplněným plynem a kompresorem a filtr mezi kompresorem a zásobníkem.
3	Připojení dodatečného filtru	Na vstup regeneračního zařízení SF ₆ připojte dodatečný filtr.
4	Připojení oddílu SF ₆	Použijte jednoúčelové nástroje a pro připojení oddílu SF ₆ postupujte podle instrukcí původního výrobce zařízení. V ostatních případech použijte techniku neprodyšného vtání.
5	Opětné získání SF ₆	Pro přenos plynu do zásobníku použijte hlavní kompresor. Použijte bezpečnostní ventil a kalibrovaný manometr. Použijte vhodný vnější zásobník a zabraňte jeho přeplnění (viz POZNÁMKA).
6	Minimalizace obsahu zbytkového SF ₆	Připojte pomocný kompresor a ponechte jej v chodu tak dlouho, až je dosaženo nižšího tlaku než 2 kPa.
7	Zaplnění vzduchem	Odpojte kompresor a nechte vzduch pomalu vnikat do plynového oddílu.
8	Usazení pevných produktů rozkladu	Vyčkejte pod dobu 1 h, než se v plynovém oddílu usadí zbývající pevné produkty.
9	Otevření plynového oddílu	Opatrně otevřete plynový oddíl. Dodržujte bezpečnostní opatření podle kapitoly 5.
10	Odstranění pevných produktů rozkladu a adsorbentů, pokud existují	Pevné produkty rozkladu, pokud existují, odstraňte okamžitě vysavačem nebo měkkým hadrem. Adsorpční materiály umístěte do plastového pytle. Plastový pytel zavažte těsně páskou a opatřete jej visačkou.
11	Neutralizace, pokud je požadována	Pokud byly odstraněny pevné produkty rozkladu, omyjte a neutralizujte všechny části 10 % roztokem sody a potom je omyjte čistou vodou podle tabulky 6.
12	Dokumentace	Zaznamenejte alespoň název výrobce a výrobní číslo a/nebo identifikační označení zařízení. datum demontáže a množství opětně získaného SF ₆ v kg.
<p>POZNÁMKA 1 V případě skladování kapalin se pro zabránění přeplnění kontroluje hmotnost zásobníku. Z bezpečnostních důvodů je činitel plnění nižší než 0,8 kg/l.</p>		

10.4 Demontáž elektrického silnoproudého zařízení na konci jeho životnosti

Na obrázku 11 je znázorněn typický postup demontáže elektrického silnoproudého zařízení na konci jeho životnosti.



Obrázek 11 - Demontáž elektrického silnoproudého zařízení

Prvním krokem je identifikace každé sestavy nebo podsestavy přicházející na demontážní pracoviště. Požaduje se identifikační seznam obsahující všechny informace potřebné pro daný výrobek.

Plynové oddíly a vnitřní části mohou obsahovat plynné produkty rozkladu, které jsou neutralizovány a očištěny pro umožnění manipulace, recyklace nebo likvidace podle místních předpisů nebo mezinárodních norem. Postupy neutralizace a čištění jsou jednoduché a vyžadují pouze dostupné materiály uvedené v tabulce 6.

Ve fázi demontáže by měly technici znát výrobky. Měly by být k dispozici potřebné nástroje a výkresy.

Typické elektrické silnoproudé zařízení sestává z následujících materiálů poměrně váhově zastoupených:

- Železné a neželezné kovy: 75 % až 90 %
- Izolační materiály: 10 % až 25 %

SF₆ tvoří jen velmi malou část celkové hmotnosti a jeho přítomnost nevyvolá větší obtíže při přípravě zařízení k opětovnému získávání, opětovnému použití nebo likvidaci. Větší část hmotnosti izolačních materiálů tvoří pevné izolanty (např. epoxidové pryskyřice, plasty, keramika). Většinu materiálu pro opětovné použití tvoří kovy.

10.5 Produkty rozkladu na konci životnosti zařízení

Množství produktů rozkladu v elektrickém silnoproudém zařízení závisí na kumulativní energii oblouku ve vztahu k množství SF₆ a na druhu adsorbentů. To závisí na funkci a provozní historii sledovaného zařízení. Odpínač bude pravděpodobně obsahovat mnohem menší množství vedlejších produktů než vypínač s vysokou vypínací schopností s častým vypínáním zkratů.

Praktické příklady výpočtu množství produktů rozkladu jsou uvedeny v příloze D. Ve většině případů je stupeň rozkladu i u vypínačů malý.

Příčinou toho je:

- V průměru dochází v provozu k velmi malému počtu vypínání vysokého proudu;
- V plynových oddílech jsou umístěny adsorpční materiály.

Očekávané charakteristiky SF₆ a množství produktů rozkladu pro různé druhy elektrických silnoproudých

zařazení jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16 - Očekávané charakteristiky SF₆ a množství produktů rozkladu

Konstrukce	Charakteristiky SF ₆	Očekávané množství produktů rozkladu
Přípojnice GIS, kabelový oddíl, oddíl vakuového vypínače (SF ₆ jako izolační médium)	SF ₆ nerozložený elektrickým obloukem	Od nuly do několika desetin procenta objemových
GIS uzemňovač a odpojovač	SF ₆ normálně rozložený elektrickým obloukem	Lehký nános prachu
Odpínač vysokého napětí a distribuční rozváděč		Lehký nános prachu
Vypínač vn a vvn		Do několika procent objemových, lehké nánosy prachu
Všechny plynem plněné oddíly po vnitřním obloukovém zkratu	SF ₆ silně rozložený elektrickým obloukem	Může překračovat 5 % objemových, střední až silné nánosy prachu

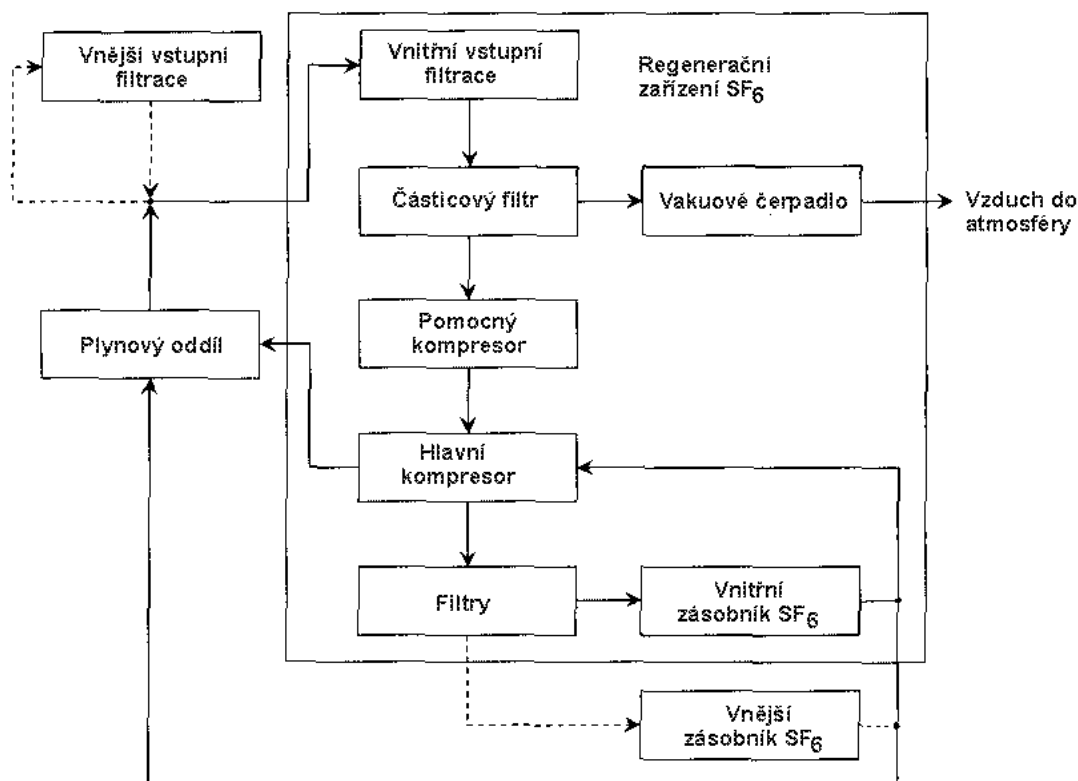
11 Popis manipulačního zařízení s SF₆

Tato kapitola obsahuje pokyny pro specifikaci manipulačního zařízení SF₆ a určitých součástí, minimální požadavky na jejich funkci a provozní kritéria.

11.1 Regenerační zařízení

Vhodný typ a velikost regeneračního zařízení by se měl volit podle množství SF₆, se kterým se bude manipulovat. Na obrázku 12 je znázorněno základní funkční schéma regeneračního zařízení pro všeobecné použití. Typické funkce standardního regeneračního zařízení jsou tyto:

- Evakuace vzduchu z plynového oddílu;
- Plnění plynového oddílu SF₆;
- Opětné získání SF₆ z plynem naplněného oddílu;
- Skladování a filtrace SF₆;
- Zaplnění plynového oddílu okolním vzduchem.



Obrázek 12 - Regenerační zařízení pro všeobecné použití

11.1.1 Vnější a vnitřní vstupní filtry

Vnější nebo vnitřní vstupní filtr je požadován při opětovném získávání použitého SF₆. Reaktivní plynné produkty rozkladu jsou kyselé sloučeniny a mohly by poškodit regenerační zařízení nebo zásobník plynu. Požadavky kladené na jednotku vstupního filtru jsou v podstatě stejné jako požadavky kladené na filtrační jednotky instalované v regeneračním zařízení pro všeobecné použití; výkonnost vstupní filtrace by však mohla být značně vyšší.

Doporučené hlavní charakteristiky jsou:

- Velikost póru menší než 10 μm (malý průtokový odpor);
- Zbytková vlhkost menší než 200 ppmv^{*)};
- Zbytkový podíl reaktivních plynných produktů rozkladu menší než 200 ppmv.

11.1.2 Filtry

Filtry slouží pro odstranění reaktivních plynných produktů rozkladu před jejich uložením - tím se umožní opětovné použití SF₆. Tyto filtry jsou umístěny v regeneračním zařízení.

V tabulce 17 jsou uvedeny typické druhy filtrů pro regeneraci SF₆.

^{*)} POZNÁMKA ppmv je zkratka pro „Parts Per Million By Volume“.

Tabulka 17 - Typické druhy filtrů pro regeneraci SF₆

Druh filtru	Účel	Hlavní charakteristiky
Částicový filtr	Odstraňuje pevné produkty rozkladu a ostatní částice na vstupu regeneračního zařízení	Velikost pórů menší než 1 μm.
Suchý filtr	Odstraňuje reaktivní plynné produkty rozkladu a vlhkost.	Zbytková vlhkost nižší než 100 ppmv. Zbytkový obsah SO ₂ +SOF ₂ nižší než 12 ppmv. Schopnost zachycení částic.
Olejový filtr	Odstraňuje olej, pokud je požadováno	Speciální filtr využívající aktivní dřevěné uhlí.

11.1.2.1 Částicový filtr

Některé produkty rozkladu vznikající při spínání jsou tvořeny jemnými pevnými částicemi (např. kovovými částicemi, pevnými produkty rozkladu). Vnitřní strana částicového filtru je tvořena papírem nebo vrstvenou tkaninou schopnou zachycovat částice o velikosti větší než 1 μm. Běžně je částicový filtr instalován na vstupu regeneračního zařízení a před jeho výstupem tak, aby chránil části regeneračního zařízení a také zásobník plynu.

11.1.2.2 Suchý filtr

Vhodné filtry mohou adsorbovat vlhkost a reaktivní plynné produkty rozkladu. Používají se hlavně v kombinaci s částicovým filtrem. Používá se molekulární síto s velikostí pórů menší než 0,5 nm. V případě, že se použije větší velikost pórů, může za určitých podmínek dojít termodynamické exotermické reakci vedoucí ke značnému přehřátí filtru.

Natronové vápno (NaCO₃) by se nemělo použít jako filtrační materiál pro SF₆, protože při styku s určitými reaktivními plynnými produkty rozkladu vzniká CO₂, který se těžko z SF₆ odstraňuje.

11.1.2.3 Olejový filtr

Pokud je u silnoproudého elektrického zařízení použit olejem mazaný stroj nebo olejem izolovaná elektrická součást, měl by být do cyklu SF₆ vložen odlučovač oleje. Aby se zamezilo difúzi oleje, provádí se odstranění oleje v několika krocích.

POZNÁMKA Pro minimalizaci rizika znečištění olejem se nedoporučuje použití olejem mazaného zařízení. Ze zkušeností vyplývá, že údržba a neúčinnost filtrů na odlučování oleje zvyšuje neúměrně u těchto zařízení riziko znečištění olejem.

11.1.3 Vakuové čerpadlo

Vakuové čerpadlo se používá pro vyčerpání plynu, jiného než SF₆ (hlavně vzduchu nebo N₂), z plynového oddílu/kontejneru/vzorkovací lahve pro zabránění smísení SF₆ s jinými plyny.

Vakuum na vstupu vakuového čerpadla by mělo být nižší než 100 Pa. Pro urychlení evakuace plynových oddílů se doporučuje použití vakuových čerpadel s vakuem na vstupu nižším než 10 Pa.

Vakuové čerpadlo je vybaveno manometrem. Rozlišovací schopnost manometru by měla být alespoň 1 kPa (doporučená hodnota je nižší než 10 Pa). Všeobecně se doporučují manometry nezávislé na druhu plynu. Tepelná vakuová čidla jsou závislá na druhu plynu a nejsou doporučena, protože různě reagují s párami SF₆ a dávají tak chybné údaje o vakuu.

Pro přerušení přípojky mezi plynovým oddílem a vakuovým čerpadle se doporučuje použití ventilu. Pro zabránění pronikání oleje do plynového oddílu po vypnutí vakuového čerpadla by mělo být možno ventil uzavřít alespoň ručně (doporučuje se automatické uzavírání).

Výkonnost vakuového čerpadla by měla odpovídat objemu plynového oddílu a době evakuace. Velkou důležitost má i přípojovací průměr. Pro plynové oddíly o objemu 1 000 l se doporučuje přípojovací průměr 20 mm nebo ¾ palce. Při použití menšího průměru se postup evakuace značně prodlouží a použití vaku-

ového čerpadla s vyšší výkonností nemá význam.

11.1.4 Hlavní a pomocný kompresor

Pokud je tlak SF₆ v plynu naplněném oddílu vyšší než tlak v zásobníku, je rychlejší umožnit přímou expanzi plynu. Ve všech ostatních případech se doporučuje pro opětné získání plynu použít kompresor. Vzhledem k tomu, že se tlak v plynu naplněném oddílu může v širokých mezích měnit, měl by se použít systém se dvěma kompresory:

- Hlavní komprese, obvykle prováděná pístovým kompresorem, který pracuje v rozmezí vstupního tlaku plynu asi 100 kPa (většinou tlak vyšší než 50 kPa) a tlaku v zásobníku plynu;
- Pomocná komprese, zapojená v sérii, pokud je nutná, pracuje v rozmezí tlaku v plynu naplněném oddílu a tlaku na vstupu hlavního kompresoru.

POZNÁMKA 1 Je možné použít prakticky všechny druhy kompresorů. Pro zabránění možných úniků SF₆ a znečištění olejem se však doporučuje použití bezolejových hermeticky uzavřených kompresorů. Moderní kompresory mohou dosáhnou vstupního tlaku 100 Pa.

POZNÁMKA 2 Pro skladování SF₆ v plynném stavu je postačující jmenovitý výstupní tlak kompresoru 2,5 MPa (doporučuje se tlak 5 MPa). Pro urychlení opětného získání SF₆ může být použito dodatečného chlazení.

11.1.5 Vnější a vnitřní zásobníky plynu

Jako zásobníky plynu pro použitý SF₆ jsou k dispozici běžné tlakové nádoby nebo speciální zásobníky. Jsou mobilní, nepojízdné nebo jsou zabudované v regeneračním zařízení. Pro skladování a/nebo přepravu použitého SF₆ je povoleno používat pouze k tomuto účelu schválené zásobníky. Maximální tlak zásobníku by měl odpovídat konečnému tlaku kompresoru. Je třeba dodržovat místní předpisy pro provoz tlakových nádob. Pro zásobníky určené pro skladování kapalného SF₆ se používá jmenovitý tlak 5 MPa.

11.1.6 Odpařovač a topná tělesa zásobníku plynu

Pokud je SF₆ skladován v tekutém stavu a používán jako plyn, použije se při rychlé manipulaci s velkým množstvím plynu podchlazování. Do odpařovače, který je konstruován tak, aby se do plynového oddílu nedostala žádná kapalina, je dodáván ze zásobníku tekutý SF₆.

Topná tělesa zásobníku plynu jsou navržena tak, aby bylo zabráněno náhodnému přehřátí a aby teplota plynu nepřekročila hodnotu 60 °C.

11.1.7 Plynové potrubí a spojky potrubí

Plynové potrubí a spojky potrubí by měly být navrženy tak, aby bylo zabráněno únikům a korozi. K tomuto účelu může být použita měď a bronz nebo nekorozivní ocel. Konstrukce potrubí a spojek by měla počítat s vibracemi tak, aby nebyly vyžadovány pravidelné činnosti, jako je opětné dotahování armatur.

11.1.8 Kontrolní přístroje

Pro indikaci tlaku plynu v plynu naplněném oddílu, pro indikace hladiny vakua, teploty plynu atd. by měly být zajištěny měřicí přístroje. Měly by být umístěny tak, aby byly viditelné při spouštění regeneračního zařízení všeobecného použití. Přesnost a rozlišovací schopnost těchto přístrojů by měla být taková, aby bylo umožněno dodržení bezpečných pracovních podmínek.

11.1.9 Bezpečnostní ventily

Bezpečnostní ventily slouží pro uvolnění přetlaku. Je třeba dodržovat místní bezpečnostní předpisy. Měly by se použít bezpečnostní ventily, které neuvolňují SF₆ přímo do atmosféry.

11.2 Ohebné hadicové spoje

Regenerační zařízení, zásobník plynu a plynový oddíl jsou propojeny ohebnými hadicemi. Pro snížení možnosti znečištění plynu by se měla věnovat zvláštní pozornost zabránění přítomnosti vzduchu nebo jiných směsí v hadicích. Z toho důvodu se požadují hadicové spoje vybavené samočinně uzavíratelnými a vakuově těsnými spojkami. Vyžaduje se použití vhodných nepropustných hadic odolávajících vakuu vyrobených z PTFE (polytetrafluoretylén nebo teflon) a nebo ohebné ocelové hadice odolné proti korozi.

11.3 Přenosné přístroje pro měření charakteristik plynu

V tabulce 18 je uveden přehled měřicích přístrojů na měření charakteristik plynu včetně doporučené měřicího rozsahu a minimální přesnosti.

Tabulka 18 - Přístroje pro měření charakteristik plynu

Přístroj	Měření	Rozsah	Minimální přesnost
Měření rosného bodu	Vlhkost	Rosný bod: -50 až 0 °C	±2 °C
Měření procentního obsahu SF ₆	Procentní obsah SF ₆ , SF ₆ /N ₂ nebo SF ₆ /vzduch	0 až 100 % objemových	±1 % objemových
Analyzátor reaktivních plyných produktů rozkladu	Produkty rozkladu, jako např. SO ₂ Olejová mlha	1 až 25 ppmv 0,16 až 1,6 ppmv	±15 % z celkového rozsahu
Měření tlaku SF ₆	Tlak	0 až 1 MPa	±10 kPa
Teploměr	Teplota	-25 až 70 °C	±1 °C

Teplota plynu by se měla vztahovat k referenční teplotě 20 °C.

Měření kvality plynu může být provedeno v laboratorních podmínkách na místě montáže. V dalších článkách jsou popsány nejběžnější přenosné přístroje používané pro měření na místě montáže:

- Obsah vlhkosti v plynu;
- Procentní obsah SF₆/množství inertních plynů;
- Zbytkové množství reaktivních plyných produktů rozkladu/zbytkový obsah acidity.

Na trhu však existují některé jiné moderní přístroje, které umožňují kombinované měření charakteristik plynu.

11.3.1 Přístroj pro měření rosného bodu

Obsah vlhkosti je možné měřit různými měřicími metodami a měřicími přístroji. Nejběžnějším přenosným přístrojem používaným k tomuto účelu je však přístroj pro měření rosného bodu. Tento přístroj měří rosný bod plynu vyjádřený ve °C a může jej konvertovat na poměrnou hmotnostní koncentraci vyjádřenou v mg/kg.

Požadované charakteristiky jsou tyto:

- Čidlo odolné proti působení oleje a korozivních plynů;
- Nepropustné spojovací potrubí se samočinně uzavíratelnými spojkami;
- Kalibrovaný přístroj nebo přístroj schopný kalibrace na místě;
- Žádné úniky SF₆ do vnějšího prostředí (např. malý kompresor pro znovunaplnění plynem);
- Méně než 6 g plynu použitého pro měření;
- Průměrná doba získání odečtených výsledků měření menší než 5 minut.

11.3.2 Přístroj pro měření procentního obsahu SF₆

Pro měření procentního obsahu SF₆ se používají přístroje porovnávající rychlost zvuku nebo tepelnou vodivost směsi plynu SF₆ a čistým SF₆. Systémy založené na měření rychlosti zvuku jsou rychlé (doba odezvy do 1 min) s přesností do ±1 % objemového, nevyžadují opětovnou kalibraci a využívají pouze minimální množství plynu. Odečítá se koncentrace SF₆ vyjádřena v objemových procentech, většinou jsou kalibrovány pro směsi SF₆ a dusíku a/nebo vzduchu.

Požadované charakteristiky jsou tyto:

- Žádné úniky SF₆ do vnějšího prostředí (např. malý kompresor pro opětovné plnění plynem);
- Méně než 3 g plynu použitého pro měření.

Přístroje měřící koncentraci nereaktivních plynů (jako jsou čidla kyslíku) a potom provádějící výpočet objemových % SF₆ by se neměly používat, a to z toho důvodu, že mohou být přítomny jiné neaktivní plyny, jako je dusík nebo CF₄.

11.3.3 Reakční trubice citlivé na SO₂

Reakční trubice mění svou původní barvu, pokud jimi prochází SF₆ obsahující SO₂. Reakční trubice citlivé na SO₂ jsou také citlivé na SOF₂. Je potřebné malé množství SF₆ ze zařízení (~ 6 g). Při měření prochází vzorek plynu reakční trubicí. Hodnota je vyjádřena v µl/l. Doporučuje se měřicí rozsah 0 až 25 ppmv.

Požadované charakteristiky jsou tyto:

- Kalibrace pro SO₂ a SOF₂;
- Spojovací potrubí odolné vůči reaktivním plynným produktům rozkladu a využívající připojení pomocí samočinně uzavíratelných ventilů;
- Žádné úniky SF₆ do vnějšího prostředí (např. malý kompresor pro opětné plnění plynu);
- Méně než ~ 6 g plynu použitého pro měření.

Nemají se používat reakční trubice citlivé na HF, protože tento plyn rychle reaguje se všemi kovy při vzniku fluoridů kovů.

11.3.4 Přenosné detektory SF₆

Přenosné detektory SF₆ jsou hlavně dvou typů:

Detektor zachycující elektrony využívající k ionizaci načerpaného vzorku zdroj β-částic. Měří se iontový proud mezi elektrodami. Často je použit inertní nosný plyn. Tento typ je podstatně dražší a problematičtější přenosný než typ b). Může být dosaženo citlivosti do 0,1 ppmv SF₆ ve vzduchu.

Korónová komora na vysoké napětí (1 kV až 2 kV) ve tvaru hrot - rovina. Měří se proud výboje. Tento typ se používá v mnoha variantách jako snadno přenosné, z baterie napájené jednotky s poměrně nízkou cenou. Dosahuje se citlivosti do 10 ppmv, ne však u všech dostupných jednotek [7].

Detektory prvního typu se všeobecně používají pro zjišťování místa úniku a kvantifikaci.

Detektory druhého typu, pokud jsou dostatečně citlivé, by mohly být vhodné pro vyhodnocení, zda je v dané oblasti přítomen SF₆ a mohou být vhodné pro detekci úniku.

11.3.5 Výstražné detektory SF₆

Výstražné systémy vyžadují detektory s vysokou stálou stabilitou. U většiny detektorů je principem infračervená absorpce SF₆ [8]. Pro zahřátí vzorku plynu se v diferenčním přístroji na měření tlaku s citlivým kapacitním převodníkem používá infračervený zdroj. Měří se nárůst tlaku.

Je možné dosáhnout citlivosti do 10 ppmv. Je možné zabudovat automatické kalibrační zařízení. U některých systémů jsou vzorky vzduchu odebírány z různých míst a přiváděny do centrálního detektoru. Spuštění výstrahy může být nastaveno automaticky nebo ručně.

Výstražné systémy s integrovanými detektory SF₆ se všeobecně používají pouze u velkých objemů SF₆ v zařízení vnitřního provedení, jako jsou rozváděče GIS velmi vysokého napětí.

11.4 Vzorkovací láhve

Doporučuje se použití lahví z nekorozivní oceli o objemu menším než 1 litr. Množství plynu by nemělo být menší než 6 g. Plyn by měl být odebírán přímo z kontejneru (např. z plynem izolovaného oddílu, zásobníku regeneračního zařízení) s použitím vhodných armatur. Pokud tlak v kontejneru SF₆ překračuje maximální dovolený tlak láhve, použije se regulátor tlaku a manometr.

Příloha A (informativní)

Fluorid sírový

A.1 Úvod

Fluorid sírový SF₆ je syntetický plyn tvořený 6 atomy fluoru uspořádanými kolem atomu síry. Chemická vazba mezi fluorem a sírou patří mezi nejstabilnější existující atomové vazby. Molekula má velmi vysokou chemickou a tepelnou stálost.

SF₆ je silně elektronegativní (tzn., že má tendenci vázat volné elektrony). Má jedinečnou kombinaci fyzikálních vlastností: vysokou dielektrickou pevnost (cca 3násobek vzduchu) vysokou tepelnou vypínací schopnost (asi 10násobek vzduchu) a vysoký koeficient přestupu tepla (asi dvojnásobek vzduchu).

Z těchto důvodů byl SF₆ od šedesátých let 20. století úspěšně používán v elektrotechnickém průmyslu v silnoproudých zařízeních pro přenos a distribuci elektrické energie (např. v rozváděčích vn a vvn, plynem izolovaných rozváděčích, distribučních rozváděčích, vypínačích, transformátorech, kabelech).

Mezi další neelektrotechnické aplikace patří: výroba hliníku, lití hořčíku, výroba polovodičů, výroba plochých obrazovek, nukleární palivový cyklus, protihluková okna, pneumatiky, vysoce výkonný radar, indikační plyn pro meteorologická měření a potrubí elektráren a vojenské aplikace.

A.2 Chemické vlastnosti

SF₆ je velmi stabilní a inertní plyn, bezbarvý, bez zápachu, netoxický, nehořlavý. Jeho rozpustnost ve vodě je 4krát nižší než vzduchu. Jeho kompatibilita s ostatními materiály používanými v elektrotechnice je obdobná jako u dusíku do teplot asi 180 °C.

V tabulce A.1 jsou uvedeny hlavní chemické parametry.

Tabulka A.1 - Hlavní chemické parametry SF₆

Vzorec	SF ₆
Registrační číslo CAS	2551-62-4
Molekulová hmotnost	146,05 g/mol
Obsah síry	21,95 %
Obsah fluoru	78,05 %
Struktura molekuly	Osmistěnná s atomy fluoru v šesti rozích
Vazba	Kovalentní
Účinný průřez pro srážku	0,477 mm
Teplota rozkladu	500 °C

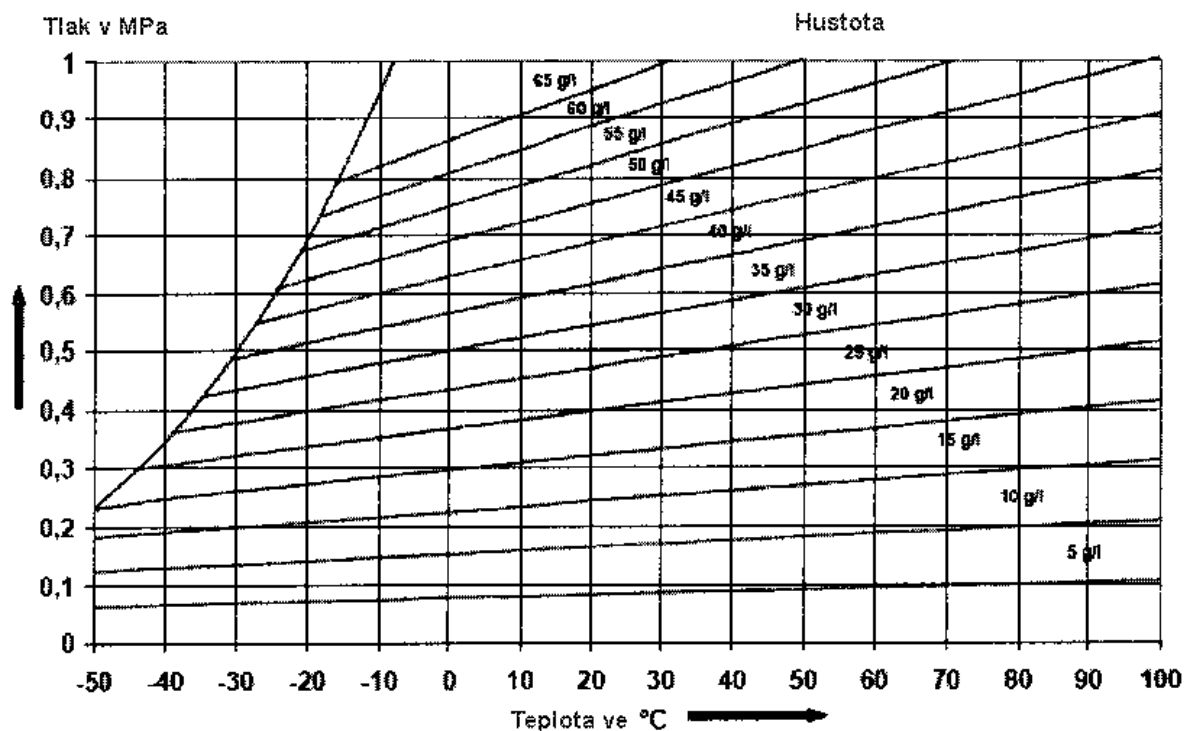
A.3 Fyzikální vlastnosti

SF₆ je jeden z nejtěžších známých plynů: za normálních podmínek je asi pětikrát těžší než vzduch.

Mísení se vzduchem prouděním a difúzí je pomalé, ale u jednou vytvořené směsi nedojde znovu k jejímu oddělení.

I když je tepelná vodivost SF₆ nižší než tepelná vodivost vzduchu, jsou celkové schopnosti přenosu tepla dvakrát až pětikrát lepší z důvodu jeho nižší viskozity a vyšší hustoty.

V zařízeních pro přenos a distribuci elektrické energie se normální rozsah tlaku SF₆ pohybuje mezi 0,1 MPa a 0,9 MPa absolutních. Charakteristiky tlak/teplota/hustota plynu jsou uvedeny na obrázku A.1.

Obrázek A.1 - Charakteristiky tlak/teplot/hustot SF₆ [9]

V tabulce A.2 je uveden přehled hlavních fyzikálních charakteristik

Tabulka A.2 - Hlavní fyzikální charakteristiky SF₆ [9]

Hustota při 20 °C 100 kPa	6,07 kg m ⁻³
Tepelná vodivost při 25 °C 100 kPa	0,013 W / (m . K)
Kritická teplota	45,58 °C
Kritický tlak	740 kg/ m ³
Kritická hustota	3,759 MPa
Rozpustnost ve vodě při 20 °C	6,31 cm ³ SF ₆ /kg H ₂ O
Rychlost šíření zvuku při 0 °C 100 kPa	129,06 m/s
Index lomu	1,000783
Formační teplo	-1221,58 ±1,0 kJ /mol
Entropie reakce	-349,01 J / (mol . K)
Měrné teplo při konstantním tlaku	96,60 J / (mol . K)
Stavová rovnice	Viz obrázek A.1

A.4 Elektrické vlastnosti

Vynikající dielektrické vlastnosti SF₆ jsou způsobené elektronegativním charakterem jeho molekuly. Má jasnou tendenci vázat volné elektrony tvořením těžkých iontů s nízkou pohyblivostí, což činí vytvoření elektronových lavin velmi obtížné.

Elektrická pevnost SF₆ je asi 3krát vyšší než elektrická pevnost vzduchu za stejných podmínek.

Pro jeho nízkou disociační teplotu a vysokou disociační energii je SF₆ vynikající plyn pro zhasení oblouku.

Jestliže je elektrický oblouk chlazen plynem SF₆, zůstává vodivý do relativně nízké teploty, tím se minima-

lizuje možnost utržení proudu před průchodem nulou a zabraňuje se velkým přepětím.

V tabulce A.3 jsou uvedeny hlavní elektrické charakteristiky SF₆.

Tabulka A.3 - Hlavní elektrické charakteristiky SF₆ [9]

Kritické průrazné pole vztažené na tlak	89 V / (m . Pa)
Relativní dielektrická konstanta při 25 °C a 0,1 MPa absolutních	1,00204
Činitel ztrát (tag δ) při 25 °C a 0,1 MPa absolutních	<2 x 10 ⁻⁷
Efektivní ionizační koeficient	$\frac{\alpha}{p} = A \frac{E}{p} - B$ <p> α: m⁻¹ E: V / m p: Pa A: 2,8 x 10⁻² /V B: 89 V / (m . Pa) </p>

A.5 Manipulace, rizika a zdravotní charakteristiky

SF₆ nepodporuje hoření. Vzhledem k tomu, že plyn je mnohem těžší než vzduch, má plyn, pokud je nedostatečně smísen se vzduchem, tendenci akumulace v níže položených místech. Prostory nacházející se pod úrovní země, nedostatečně větrané nebo nevětrané prostory (např. kabelové kanály, příkopy, inspekční jámy, odvodňovací soustavy) se mohou naplnit SF₆. V těchto místech by si měly být osoby vědomy nebezpečí zadušení. Do zařízení obsahujících SF₆ by se nemělo vstupovat bez odpovídající ventilace a bez osobních ochranných pomůcek.

SF₆ není toxický a z biologického hlediska je inertní. Podle organizace „American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) je prahový limit (TLV) vyjádřený jako časově vážený průměr (TWA) 1 000 ppmv (6 100 mg/m³). Tento limit je určen pro pracoviště, na kterých je obsluha do 8 h denně, 5 dní v týdnu [10]. Tato hodnota TLV se běžně volí pro všechny neškodné plyny nevyskytující se v atmosféře.

SF₆ přímo nepoškozuje životní prostředí (je však zařazen mezi sledované látky), způsobuje však značný a trvalý skleníkový efekt, jak je popsáno v příloze B.

Při manipulaci s SF₆ je proto nutné používat postupy, které udržují plyn v uzavřeném cyklu zabraňujícím jakémukoliv úmyslnému uvolnění do okolního prostředí.

Technický SF₆ je komerčně dodáván podle IEC 60376.

Použitý SF₆ může být znovu použit na místě montáže podle IEC 60480.

Použitý SF₆ může být znovu použit u výrobce plynu podle jeho specifikace. Pokud plyn nevyhovuje specifikaci, nakládá se s ním podle místních nebo mezinárodních předpisů pro nakládání s odpadem.

Příloha B (informativní)

Účinky SF₆ na životní prostředí

B.1 Úvod

Každá lidská činnost má vliv na životní prostředí; dopad konkrétní činnosti závisí na jejím rozsahu a na použitém materiálu. Činnosti, kde se vyrábějí nebo používají plyny mohou způsobit znečištění atmosféry. V úvahu přicházejí tři hlavní hlediska

- Ekotoxikologie: toxické materiály a plyny s účinky na životní prostředí a všechny formy života;
- Ochuzení stratosférického ozónu: zvětšení rozměrů ozónové díry ve stratosféře;
- Globální oteplování/klimatické změny: zvětšování skleníkového efektu.

B.2 Ekotoxikologie

SF₆ není toxický a nebyly zaznamenány případy akutní nebo chronické ekotoxicity. Vzhledem k jeho malé rozpustnosti ve vodě nepředstavuje žádné nebezpečí pro povrchové nebo podzemní vody nebo pro půdu. Nedochází k jeho biologické akumulaci v potravinovém řetězci. Z toho důvodu nemá SF₆ škodlivý vliv na ekosystém. SF₆ je:

- nekarcinogenní: nezpůsobuje rakovinu;
- nemutagenní: nezpůsobuje změny genetické informace;
- nenitrifikační: žádné ovlivnění potravinového řetězce;
- málo rozpustný ve vodě.

B.3 Ochuzení ozónu

SF₆ ani jeho produkty rozkladu vznikající v elektrických silnoproudých zařízeních nepřispívají k destrukci stratosférické ozónové vrstvy [9], protože neobsahují ani chlór ani brom.

B.4 Globální oteplování/klimatické změny (skleníkového efekt)

Průměrná celosvětová teplota země vyplývá z rovnováhy mezi účinky ohřevu slunečním zářením a chlazením souvisejícím s infračerveným zářením ze země. Část infračerveného záření se odráží zpět k povrchu země a skleníkový efekt je přirozený jev, který přispívá k udržení života na zemi.

Je to způsobeno přirozenými skleníkovými plyny (hlavně vlhkostí, oxidem uhličitým, metanem), kterými prochází záření ze slunce, ale které absorbují infračervené záření odrážené zpět od země.

Bez působení skleníkových plynů by se teplo ze slunce odráželo zpět do prostoru a teplota země by byla mnohem menší.

Přítomnost skleníkových plynů zachycuje určitou část sluneční energie v atmosféře. Důsledkem toho je vyšší průměrná teplota planety v porovnání s teplotou, která by převládala bez existence skleníkového efektu. Vědecké odhady hovoří o zvýšení až o 33 °C (od -18 °C po skutečných 15 °C) [11].

Dnes značně převládá přírodní jev, přičemž lidské činnosti přispívají pouze malým dílem k celkovému skleníkovému efektu. Avšak vzhledem ke stále rostoucímu lidskému podílu, je dnes tato problematika středem pozornosti. Podle několika studií způsobí tento trend, pokud nedojde k jeho zvratu, značné zvýšení průměrné teploty planety: dojde ke změně globálního klimatu.

Ke skleníkovému efektu přispívají jak umělé, tak přírodní skleníkové plyny. Kjótský protokol [13] je mezinárodní dohoda o kontrole emisí umělých plynů.

Koš skleníkových plynů, které mají být sledovány podle Kjótského protokolu je tvořen Oxidem uhličitým (CO₂), metanem (CH₄), oxidem dusným (N₂O), fluorovanými uhlovodíky (HFC), perfluorovanými uhlovodíky (PFC) a fluoridem sírovým (SF₆). Poslední tři z nich jsou fluorované skleníkové plyny (nebo F-plyny).

Koncentrace různých plynů vztahujících se k životnímu prostředí včetně těch uvedených v Kjótském protokolu jsou pravidelně monitorovány několika vědeckými orgány. Zvláště Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) připravuje na základě různých hypotetických emisních trendů periodické hodnotící zprávy aktualizující stávající informace týkající se emisí a hodnotící jejich možný budoucí dopad na životní prostředí. Jako poslední byla v říjnu 2001 [11] publikována zpráva Third Assessment Report (TAR).

Zpráva Fourth Assessment Report má být vydána na konci roku 2007. IPCC byla ustanovena organizací World Meteorological Organization (WMO) a United Nations Environmental Programme (UNEP) v roce 1988. Vzhledem k velkému vlivu na globální oteplování jsou F-plyny porovnávány s CO_2 jako hlavnímu původci účinku globálního oteplování a přispívají přibližně 1,5 % k celkovému účinku skleníkových plynů. Vysoká absorpce infračerveného spektra SF_6 a jeho dlouhá doba života v okolním prostředí jsou důvodem pro jeho vysoký potenciál způsobovat globální oteplování (GWP), který je podle Third Assessment Report 22 200 krát vyšší než CO_2 . GWP se počítá jako potenciál 1 kg plynu způsobovat globální oteplování po dobu 100 let a vztahuje se k potenciálu 1 kg CO_2 . Jeho celkový podíl na celkový skleníkový efekt ze všech aplikací činí asi 0,2 %.

Na měření vlivu elektrického silnoproudého zařízení založeného na technice SF_6 na životní prostředí však není GWP SF_6 samo o sobě postačující. Měl by se vyhodnotit vliv na životní prostředí pro každou konkrétní aplikaci a/nebo by se mělo použít přístupu posuzování životního cyklu (LCA), který je popsán v ISO 14040 [14].

Elektrotechnický průmysl používá SF_6 v uzavřeném cyklu a uzavírá jej např. v plynech izolovaných rozváděčích (GIS), plynových vypínačích vn a vvn (GCB), plynech izolovaných přenosových vedeních (GIL), plynech izolovaných transformátorech napětí (GVT). V Asii se také značné množství plynu používá s plynech izolovaných silnoproudých transformátorech (GIT).

Navzdory zprávám o tom, že je elektrotechnický průmysl nejdůležitějším uživatelem SF_6 , elektrotechnický průmysl přispívá jen malým podílem ke globálním emisím SF_6 , mnohem méně než jiná průmyslová odvětví nebo uživatelé s „otevřeným cyklem“ SF_6 . Jeho závažnost jakožto zdroje značně kolísá mezi regiony a zeměmi v závislosti na přijatých postupech manipulace s SF_6 , na těsnosti elektrického silnoproudého zařízení a na množství plynu uloženém v elektrickém zařízení.

Regionální průměrná míra emisí se v současné době pohybuje mezi hodnotami mnohem nižšími než 1 % a hodnotami vyššími než 10 %. Všeobecně míra emisí značně poklesla od roku 1995. Cílené aktivity průmyslu snížily v Evropě [15], Asii [16] a severní Americe [17] a [18] emise o 50 až 90 %. Mezi tyto aktivity patří:

- konstrukce zařízení s menším množstvím SF_6 a větší těsností;
- zlepšení manipulačních postupů a manipulačního zařízení pro všechny stupně cyklu SF_6 podle této technické zprávy.

B.5 Produkty rozkladu

Jak vyplývá ze záznamů za posledních 40 let, vyskytují se velké poruchy, při kterých dochází k úniku plynu velmi málo. A opět, uniklé množství je v těchto mimořádných případech velmi omezené díky tomu, že normalizovaná zařízení jsou dělena na oddíly, které omezují poruchu na místo vzniku. Dané množství plynu tvoří následně malý zlomek celkového množství plynu v elektrické stanici.

V příloze C je ukázáno, že produkty rozkladu mohou být bez obtíží převedeny na neutrální produkty slučitelné s přírodou. Postupy jejich zpracování, manipulace a likvidace zajišťují, že mají zanedbatelný dopad na životní prostředí.

B.6 Nakládání s SF_6 slučitelné s životním prostředím

Manipulace s SF_6 by měla, pro zabránění úmyslného úniku do okolního prostředí, probíhat v uzavřeném cyklu. Kromě ostatních dobrovolných iniciativ má opětné získávání a regenerace plynu nejvyšší prioritu.

V některých zemích byly podepsány dobrovolné úmluvy [19] zavazující výrobce a uživatele ke kontrole a snížení emisí SF_6 z elektrického silnoproudého zařízení. Všeobecně je v těchto úmluvách z hlediska environmentální politiky stanoveno, že se při vývoji, výrobě, instalaci, provozu, údržbě a likvidaci elektrického silnoproudého zařízení využívajícího SF_6 na konci životnosti budou využívat moderní technologie a postupy pro minimalizaci emisí SF_6 .

Příloha C (informativní)

Produkty rozkladu SF₆

C.1 Rozklad SF₆

Jestliže v SF₆ dojde při normálním spínání nebo vypnutí zkratu, nebo v nepravděpodobném případě vnitřního obloukového zkratu ke vzniku oblouku, vytvářejí se v SF₆ v rozdílných množstvích současně různé produkty rozkladu [5] a [9]. Pokud je molekula SF₆ namáhána tepelně, zářením nebo elektrickým výbojem, nastává oddělení atomů fluoru a v závislosti na typu buzení a přiváděném množství energie se vytváří celá řada radikálů, iontů, nebo neutrálních molekul podle:



Jestliže přivádění energie ΔE ustane, rekombinuje se většina atomů a vytvoří SF₆, zatímco ostatní atomy se sloučí s různými látkami v systému a vytvoří rozdílné stabilní konečné produkty. Takové látky zahrnují zvláště kyslík a vodu a také materiály použité v konstrukci zařízení.

Tyto produkty rozkladu jsou zde posuzovány ve vztahu k energii dodané SF₆.

C.1.1 Chování SF₆ v elektrickém oblouku

Hoření oblouku při velkém proudu nastává normálně během spínání vypínače a vypínání zkratu a výjimečně během vnitřního obloukového zkratu.

Od teplot 500 °C se začíná plyn SF₆ rozkládat na jeho základní složky, přičemž stupeň rozkladu je přímo úměrný množství přeměněné energie. V procesu disociace, definovaném v rovnici (C.1), se molekuly SF₆ rozpadnou na atomy síry a fluoru při asi 3 000 °C.

Velké množství tepla pohlceného během tohoto procesu se rozptýlí ze zóny oblouku prouděním a difúzí. Pod teplotou asi 1 000 °C, se atomy rekombinují nebo reagují s jinými látkami, jako je odpařený materiál elektrod, stěny nádoby, plasty nebo nečistoty. Mohou vzniknout plynné nebo pevné produkty rozkladu včetně fluoridů kovů a fluoridů síry, z nichž nejdůležitější jsou CuF₂, AlF₃, WF₆, CF₄, SF₄.

Tyto produkty, všeobecně známé jako primární produkty rozkladu, se vytvářejí během výboje nebo krátce po výboji v čase kratším než jedna sekunda. Prachové nánosy, které se mohou objevit na izolátorech během normální funkce nemají žádný škodlivý vliv na jejich dielektrické provozní vlastnosti.

Některé z produktů rozkladu jsou chemicky stabilní; jiné jsou velmi nestabilní zvláště v přítomnosti vody.

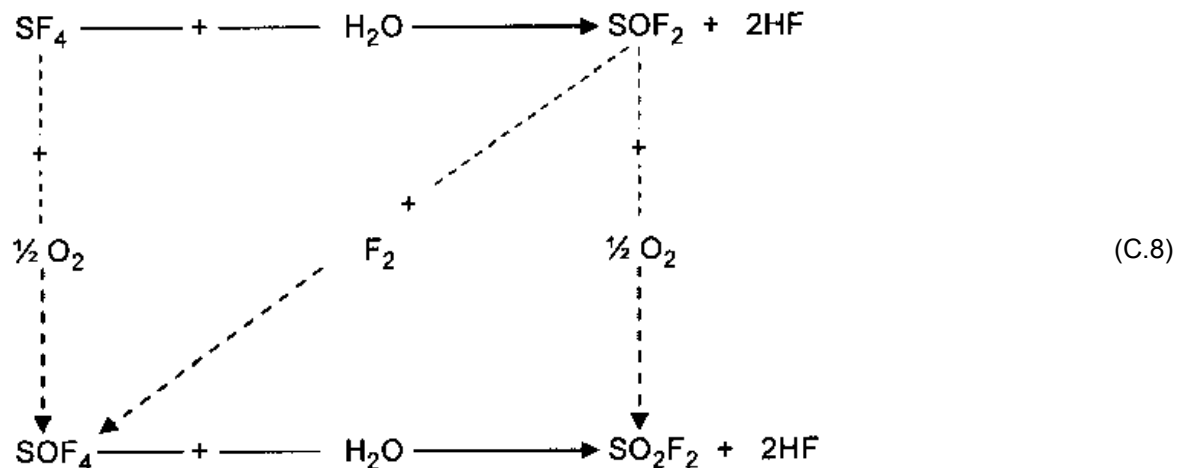
V přítomnosti kyslíku mohou vznikat produkty rozkladu takto:



Kyslík podílející se na reakcích (C.2), (C.3) (C.4) a (C.5) může existovat jako zbytek evakuačního procesu nebo může být uvolněný z materiálu elektrod během hoření oblouku. SOF₂ je hlavním produktem rozkladu.

V přítomnosti vodní páry nastávají následující reakce:

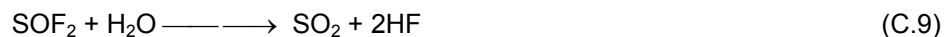




Přerušované čáry v rovnici (C.8) označují reakce, které nastávají během rozkladu SF₆ v oblouku jen v omezené míře. Ačkoliv reakce rovnice (C.8) zahrnují tvoření významného množství HF, nebyla podána zpráva o výskytu velkého množství tohoto produktu jako následku hoření oblouku ve spínacích a řídicích zařízeních. To je pravděpodobně proto, že tvoření produktu rozkladu se děje hlavně podle rovnic (C.2), (C.3), a (C.4). Je také možné, že HF vytvořený reakcemi rovnice (C.8), dále reaguje s kovovými párami a vytváří fluoridy kovů.

SF₄ je vytvářen ve významném množství, ale hydrolyzuje rychle (rovnice C.8) v přítomnosti vlhkosti.

Při trvající přítomnosti vody nastává další hydrolyza vedoucí k:



V literatuře byly uvedeny jiné reakce; mohou se tvořit dodatečné produkty rozkladu hořením oblouku, jako S₂F₁₀. Avšak množství S₂F₁₀ vytvořeného za podmínek hoření oblouku je velmi nízké, protože radikál SF₅ vytvářený za vysokých teplot, tvoří S₂F₁₀ jen tehdy, když je velmi rychle chlazen, což je nepravděpodobná podmínka při hoření oblouku [20].

C.1.2 Rozklad SF₆ při výbojích při malém proudu

Dokud je zařízení obsahující SF₆ připojeno na provozní napětí, nelze vyloučit možnost výbojů při malém proudu, jako je korona, jiskrový výboj a částečné výboje. Avšak koncentrace produktů rozkladu vyplývajících z takových výbojů jsou pravděpodobně velmi nízké. Pokud je SF₆ rozloženo při jiskrovém výboji, budou převládat reakce znázorněné přerušovanou čarou v rovnici (C.8) [20].

C.1.3 Katalytický rozklad SF₆ (chování při vysoké teplotě)

SF₆ se může zahřívát do 500 °C v křemenných nádobách, aniž dojde k jeho rozkladu. Do teplot asi 150 °C jsou všechny běžně použité materiály jako kovy, sklo, keramika, pryž a polyesterová pryskyřice plně odolné proti působení SF₆. Pouze při teplotách nad 200 °C začínají mít některé kovy rozkladné vlivy na plyn, ale v případě kovů a slitin normálně používaných není tento vliv do dosažení teplot 400 °C až 600 °C, výrazný [9].

Vzhledem k tomu, že maximální provozní teploty uvnitř spínacích a řídicích zařízení bez hoření oblouku jsou výrazně nižší než tyto hodnoty, nelze během provozu očekávat rozklad SF₆ tohoto druhu.

C.2 Korozivní chování SF₆ a jeho produktů rozkladu

SF₆ je za normálních podmínek zcela nereaktivní plyn. Proto není možné, aby koroze byla způsobena přímo samotným SF₆. Avšak primární a sekundární produkty rozkladu SF₆ při styku s vlhkostí mohou tvořit korozivní elektrolyty, které mohou způsobit poškození některých materiálů použitých uvnitř zařízení.

Kovy obvykle používané, jako je hliník, ocel, měď a mosaz, nejsou prakticky vůbec napadány, ale materiály jako sklo, porcelán, izolační papír a podobně jsou více náchylné k poškození, v závislosti na koncentraci příslušné korozivní látky. Jiné izolační materiály, jako epoxidová pryskyřice, polyester, polyethylen,

oxid polymethylenu, PTFE, PVC atd. nejsou významně napadány.

Je důležité provést taková konstrukční opatření, aby se vzaly v úvahu korozivní vlastnosti produktů rozkladu. Korozí je možno zabránit úplným vyloučením vlhkosti a použitím vhodných materiálů.

C.3 Opatření pro odstranění produktů rozkladu SF₆

Vlhkost a produkty rozkladu SF₆ uvnitř zařízení v provozu se mohou redukovat na přijatelnou hodnotu adsorpcí. Pro tento účel jsou vhodné materiály jako oxid hlinitý, natronové vápno, molekulová síta nebo jejich kombinace. Velmi efektivně a prakticky nevratně pohlcují kyselé produkty a současně zajišťují, aby si plyn udržel nízkou teplotu rosného bodu [9].

Likvidace produktů rozkladu odstraněných ze zařízení je snadná. Kyselé komponenty (kyselina sírová a fluorovodík) se odbourají pomocí alkalických sloučenin.

Většina pevných reakčních produktů není rozpustná ve vodě, nebo se může rozpustit jen obtížně, ale určité fluoridy kovů mohou reagovat s vodou na kyselinu fluorovodíkovou. Je proto nutné zpracovat pevné reakční produkty pomocí hydroxidu vápenatého (vápno), např. proto, aby se neutralizovaly kyselé komponenty. Výsledný kal může být potom likvidován podle místních předpisů.

C.4 Fyziologické charakteristiky produktů rozkladu SF₆

Produkty rozkladu SF₆ mohou způsobit podráždění kůže, očí a sliznic, jako např. v dýchacím ústrojí a ve velkých koncentracích a při dostatečné době expozice mohou způsobit plicní edém.

SF₆ obsahující produkty rozkladu mají nepříjemný ostrý zápach, který je sám spojen s dráždivým účinkem. Čichové prahové hodnoty, zvláště pro SOF₂, SO₂, a HF jsou stejného řádu jako hodnoty TLV. Vzhledem k těmto charakteristikám může i malé množství plynných produktů rozkladu během několika sekund, dříve než vznikne nebezpečí otravy, signalizovat jejich výskyt [5].

Příloha D (informativní)

Potenciální zdravotní účinky produktů rozkladu SF₆

D.1 Úvod

Tato příloha zkoumá zdravotní rizika způsobená uvolněním SF₆ do místní atmosféry, které je způsobeno unikem během normálního provozu a při vnitřním obloukovém zkratu.

Během normálního provozu zůstává SF₆ uvnitř spínacích a řídicích zařízení a vytvořené produkty rozkladu se neutralizují v molekulových sítích a rovněž přirozenými rekombinačními procesy. SF₆ se může objevit v atmosféře z důvodu úniku, nebo při poruše krytu plynem izolovaného zařízení v nepravděpodobném případě vnitřního obloukového zkratu. Při hodnocení zdravotních rizik je nutné jasně rozlišovat mezi stavy normálního úniku a stavy vnitřní poruchy vedoucími k náhlému uvolnění SF₆.

V případě úniku je nutné zvážit účinky dlouhodobé expozice plynným produktům rozkladu SF₆. Koncentrace těchto produktů ve vzduchu musí zůstat dostatečně nízká, aby nepředstavovala žádná rizika pro nechráněné osoby během normální pracovní doby např. 8 h.

V případě náhlého uvolnění SF₆ způsobeného vnitřní poruchou dojde při povinném vyklizení prostorů a jejich vyvětrání ke krátkodobé expozici. Pokud je doba expozice značně redukována, mohou být tolerovány koncentrace vyšších úrovní, než jsou dovolené hodnoty např. pro 8 h. V každém případě se mají v tomto případě vzít v úvahu všechny možné zdroje toxického vylučování, což vyžaduje podrobnou znalost použitých materiálů v zařízení. V tomto případě se musí uvážit podíly od kovových par, spálených plastů, izolace kabelů, barev atd. spolu s podíly připisovanými SF₆.

POZNÁMKA Např. ve srovnání dlouhodobých mezi expozice jsou páry mědi z odpařených elektrod asi čtyřikrát jedovatější než obloukem rozložené SF₆ (SOF₂), zatímco páry hliníku jsou asi čtyřikrát méně jedovaté. V každém případě mohou tyto páry vznikat ve velkém množství tam, kde dochází k hoření elektrického oblouku, bez ohledu na použité izolační médium a mohou vytvářet velké zdravotní riziko (viz D.4.7.2). Značný význam má také podíl zplodin ze spalování plastů (viz D.4.7.3).

Hlavním cílem této přílohy je stanovit základní pokyny pro hodnocení toxických produktů rozkladu SF₆ ve vzduchu, do kterého bylo SF₆ uvolněno. Kromě toho jsou uvažovány účinky jiných potencionálně toxických látek uvolněných za poruchových stavů.

V dalších článcích jsou popsány metody výpočtu rizik spojených s přítomností vedlejších produktů v atmosféře vlivem úniku a vnitřního zkratu a zásady pro provádění těchto výpočtů.

D.2 Všeobecně

Jsou předloženy metody pro výpočet rizik souvisejících s přítomností produktů rozkladu SF₆ v atmosféře vlivem úniku a vnitřní poruchy. Zásady přijaté pro provádění výpočtů jsou uvedeny v následujících kapitolách.

D.3 Tvoření produktů rozkladu SF₆ a jejich vlivy na zdraví

D.3.1 Tvoření produktů rozkladu SF₆

Během hoření oblouku vysoké energie v SF₆ dosahuje jádro oblouku teploty řádově 10 000 K. Při těchto teplotách se molekuly zcela rozpadnou na jejich základní atomy, síru a fluor (viz C.1.1). Všechny přítomné nečistoty, jako např. vzduch, vodní pára se štěpí podobným způsobem. Výsledkem toho je lokalizovaná oblast obsahující jen jednotlivé atomy síry, fluoru, vodíku, dusíku, kyslíku a různé ionty. Ohřev elektrod patou oblouku přidává do této atmosféry páry mědi, wolframu, grafitu a/nebo hliníku.

Po uhasnutí oblouku, nebo v oblastech, kde začíná chlazení, se začínají tyto atomy znovu slučovat a vytvoří opět většinou SF₆. Dochází však k chemickým reakcím s přítomnými nečistotami a zvláště s vodní párou, což způsobuje vznik takzvaných produktů rozkladu v oblouku, (viz příloha C). Tvořená množství souvisejí přímo s energií elektrického výboje.

Nejčastější produkty rozkladu jsou: SOF₂, SO₂, HF a také CF₄, SF₄ a SO₂F₂ [21]. Existence těchto produktů rozkladu je důležitá jen tehdy, jestliže uniknou do místní atmosféry. Jejich koncentrace uvnitř spí-

nacích a řídicích zařízení nemají žádný přímý význam zvláště proto, že přítomnost adsorbentů [např. molekulových sítí] bude mít tendenci čistit plyn.

Dříve byl rozšířen názor, že vysoce toxický plynný produkt rozkladu S_2F_{10} by mohl být hlavním činitelem toxicity SF_6 , ve kterém nastalo hoření oblouku. Avšak pokusy v posledních pěti letech prokázaly, že tento názor není opodstatněný [22]. Nyní se jeví, že se S_2F_{10} tvoří během hoření oblouku v tak neparných množstvích, že přispívá zanedbatelně k celkové toxicitě SF_6 .

Je také známo, že se S_2F_{10} tvoří v SF_6 elektrickými výboji nízké energie a že za těchto stavů dochází k vyšším hodnotám tvoření S_2F_{10} [23], než během hoření oblouku. Vysoká jedovatost této sloučeniny v koncentracích, které až donedávna bylo obtížné detekovat, podnítila značné investice do výzkumu potenciálních rizik související s jeho přítomností [20]. S_2F_{10} se však rozkládá za přítomnosti vlhkosti [23] a při teplotách překračujících 200 °C a při pokojové teplotě katalytickým rozkladem při působení rozkladných vlivů materiálu stěny. Poslední mechanismus je tak účinný, že S_2F_{10} vytvářený v zařízení se redukuje na zanedbatelná množství [24].

D.3.2 Vlivy produktů rozkladu SF_6 na zdraví

Pokud SF_6 , které bylo vystaveno hoření oblouku nebo výbojům nízké energie, je vyfukováno na pracoviště, budou potenciální zdravotní rizika záviset na koncentraci každého produktu rozkladu ve vzduchu, a proto na objemu místnosti, ve které je umístěno spínací a řídicí zařízení. Odhad toxicity má vzít v úvahu koncentraci každé přítomné složky ve smyslu dovolené koncentrace pro přiměřené doby expozice.

D.3.2.1 Vliv SF_6 rozloženého obloukem na zdraví

Pro vícesložkovou směs, definují toxikologové tři základní případy:

- každá složka působí jiným způsobem, nebo na jiné cílové orgány; účinky nejsou proto kumulativní a o každé složce je pojednáno odděleně.
- složky působí podobným způsobem na stejné cílové orgány; jejich účinek je tak kumulativní a při výpočtu se tato skutečnost vezme v úvahu.
- působení jedné složky značně převažuje nad ostatními složkami; celkový toxický účinek může být hodnocen studiem koncentrace jenom této složky.

Souhrn většiny prací o rozkladu SF_6 obloukem velké energie provedených za posledních několik desetiletí [21] a [25] dovoluje učinit tento závěr: v toxicitě SF_6 rozloženého obloukem zpočátku převládá jedna konkrétní složka, plyn thionylfluorid SOF_2 .

Toto opravňuje přijmout následující závěr: celkové zdravotní riziko osob způsobené SF_6 rozloženým obloukem se má odhadnout podle vzniklé koncentrace SOF_2 .

V této zprávě je použit produkt rozkladu SOF_2 jako indikátor celkového toxického účinku SF_6 rozloženého obloukem. To umožňuje odhad zdravotního rizika v různých stavech spolu s hledisky bezpečnostních opatření.

Hydrolyza SOF_2 může nastat v přítomnosti značné koncentrace vodních par, přičemž vzniká SO_2 a HF (viz C.1.1). Rizika expozice takovým směsím, při zanedbání toho že HF pravděpodobně nezůstane v atmosféře delší dobu vzhledem k jeho reaktivitě, jsou poněkud vyšší než pro SOF_2 , jak je podrobně uvedeno v D.4.5.1. Toto je vzato v úvahu při odhadování rizik způsobených únikem, kde může uplynout dostatečná doba, aby mohla nastat reakce hydrolyzy, buď uvnitř zařízení nebo v atmosféře. Hydrolyzu SOF_2 je možno zanedbat pro situace vnitřní poruchy, kde je doba mezi poruchou a následným větráním a zajištěním opravy krátká.

D.3.2.2 Vlivy SF_6 rozloženého výboji s nízkou energií na zdraví

Během výbojů s nízkou energií se může tvořit produkt rozkladu S_2F_{10} , i když ve velmi malých množstvích. Jedná se o nejvíce toxický produkt rozkladu SF_6 , který je známý; z toho důvodu je také vzat v úvahu při odhadování rizik způsobených únikem ze zařízení velmi vysokého napětí. Podíly toxicity ostatních produktů rozkladu, jako např. SOF_2 , SO_2 , jsou v SF_6 , které bylo rozloženo výboji s nízkou energií, zanedbatelné, takže tyto produkty nejsou vzaty v úvahu.

D.3.2.3 Doba expozice a rozptýlení ve vzduchu

Dva klíčové termíny podstatné pro hodnocení zdravotních rizik způsobených toxickými látkami jsou:

- Rozptýlení v okolním objemu;
- Doba trvání expozice.

První termín je požadován pro umožnění přepočtu koncentrace produktů rozkladu vytvořených uvnitř spínacích a řídicích zařízení na úroveň koncentrace v atmosféře pracoviště.

POZNÁMKA Např. poněkud alarmující koncentrace produktu rozkladu 1 000 ppmv, vytvořená v pokusné komoře o objemu 1 l, povede k velmi nízké hodnotě 0,04 ppmv při uvolnění do prostoru o rozměrech 3 m x 3 m x 2,5 m.

Druhý termín bude určovat metodu hodnocení potencionálních zdravotních rizik, použitelných buď za normálních podmínek (základní únik) nebo za zvláštních podmínek (vnitřní obloukový zkrat).

Za normálních podmínek se má použít koncentrace TLV (prahový limit), definovaná jako mezní hodnota 8 h průměrné expozice (viz D.8.1). Tím je zajištěna bezpečnost osob, které pracují po celou pracovní dobu v blízkosti spínacích a řídicích zařízení plněných SF₆.

Za zvláštních podmínek opustí obsluha prostor spínacích a řídicích zařízení během několika minut a expozice je proto krátkodobá. Pro tento typ expozice je možno tolerovat mnohem vyšší koncentrace než hodnoty TLV (viz D.4.2).

D.4 Výpočet koncentrací produktu rozkladu

Dále jsou uvedeny metody a výsledky výpočtů koncentrací plyných produktů rozkladu v prostoru rozvodny pro různé typy zařízení. Rovněž byly hodnoceny podíly ostatních zdrojů rizika, které vznikají během vnitřní poruchy, jako např. kouř, výpary a páry.

Pro případ úniku jsou posuzována množství SOF₂ a S₂F₁₀ za 24 h. Předpokládá se, že z prostoru rozvodny neunikne žádný plyn. Berou se v úvahu účinky hydrolyzy SOF₂.

Pro stavy vnitřního obloukového zkratu se předpokládá, že všechny vytvořené SOF₂ rychle emituje do okolní atmosféry, a že je stabilní po sledované časové období.

Pokyny pro případ údržby spínacích a řídicích zařízení, zvláště zařízení velmi vysokého napětí jsou uvedeny v kapitole 9. V těchto stavech je v pracovních postupech vyžadováno opětné získání veškerého SF₆ před otevřením spínacích a řídicích zařízení.

D.4.1 Výpočtová kritéria

V dále uvedeném postupu byla použita následující kritéria, jak pro únik, tak i pro stavy vnitřního obloukového zkratu:

- Předpokládá se, že prostor rozvodny je zcela uzavřen a že během sledovaného časového období je větrání vyřazeno z provozu.
- Předpokládá se, že adsorbenty produktů rozkladu oblouku instalované ve spínacích a řídicích zařízeních jsou vyřazeny z provozu.
- Předpokládá se, že se emitovaný plyn v prostoru rozvodny v krátké době (v porovnání s pracovní dobou nebo dobou expozice) stejnoměrně smísí se vzduchem.

D.4.2 Hodnocení rizika

D.4.2.1 Stavy úniku

Výsledky příkladů výpočtů udávají koncentrace C pro SOF₂ (viz D.4.5) a S₂F₁₀ (viz D.4.6) ve vzduchu v prostoru rozvodny. Každá hodnota C se má srovnat s koncentrací povolenou pro normální pracovní dobu, (TLV), (viz D.8.1). Konečný výsledek každého výpočtu je vyjádřen jako poměr C/TLV; tento poměr musí mít hodnotu menší než jedna, aby nedošlo k významnému riziku a byla povolena práce v normální pracovní době.

Pro případ hydrolyzy SOF₂ (viz D.4.5.1) se vypočítají koncentrace SO₂ a HF. Předpokládá se, že HF a SO₂ mají kumulativní účinek na lidský organismus a pro takovou vícesložkovou směs má být součet jednotlivých poměrů koncentrací R_{tot} vzhledem k TLV menší než jedna.

$$R_{\text{tot}} = \frac{\text{koncentrace SO}_2}{\text{TLV (SO}_2)} + \frac{\text{koncentrace HF}}{\text{TLV (HF)}} \leq 1$$

POZNÁMKA Toto je předpoklad, který vede k maximální povolené koncentraci každé složky menší než je její TLV. Je zde zaveden proto, aby byl vzat v úvahu nejnepríznivější případ.

TLV pro čtyři sledované sloučeniny SOF₂, SO₂, HF a S₂F₁₀ jsou uvedeny v tabulce D.1 [10]:

Tabulka C.1 - TLV pro SOF₂, SO₂, HF a S₂F₁₀

	SOF ₂	SO ₂	HF	S ₂ F ₁₀
TLV (ppmv)	1,6	2	3	0,01

D.4.2.2 Stav vnitřního obloukového zkratu

Pro tyto zvláštní případy jsou koncentrace SOF₂ mnohem vyšší než pro únik, protože veškeré SF₆ se uvolní v krátkém časovém intervalu. Standardní postupy ukládají vyklizení prostoru rozvodny a jeho vyvětrání. Expozice SF₆ rozloženému obloukem má proto být krátkodobá. Z toho důvodu není již vhodné srovnání vypočtené koncentrace SOF₂ s hodnotou TLV (viz D.8.1).

Pro krátkodobé expozice se všeobecně používá hodnota IDLH (okamžité ohrožení života nebo zdraví) (viz D.8.2). Hodnota IDLH pro SOF₂ však není publikována. Pro získání referenční hodnoty pro neopakovanou krátkodobou expozici (C_m) je proto nutné použít údaje z výsledků toxilogických výzkumů.

$$C_m = 500 \text{ ppmv}$$

POZNÁMKA Toxilogické údaje existují pro expozici pokusných zvířat v atmosférách obsahujících SOF₂ [26] a [27] a zahrnují účinky 1 h expozice tří odlišných druhů savců koncentracím až do několika tisíc ppmv SOF₂. Výsledky ukazují, že při expozici koncentracím až do 100 ppmv (myši a krysy) a 500 ppmv (králíci), vykazují všechna zvířata po 24 h době expozice normální celkový stav.

Pro hodnocení zdravotních rizik způsobených produkty rozloženého SF₆ během vnitřní poruchy nebo po vnitřní poruše se vypočtené koncentrace SOF₂ porovnají s C_m. Při hodnocení rizika a při posuzování bezpečnostních postupů se musí vzít v úvahu ostatní významnější faktory (viz D.4.7.2 a D.4.7.3).

Pro expozici lidí by se mohly tolerovat vyšší koncentrace než 500 ppmv pro 1 h, protože větší organismy jsou všeobecně méně citlivé na toxické vlivy. Je proto možno usuzovat, že je přijatelné použití krátkodobé meze expozice C_m 500 ppmv jako referenční hodnoty pro srovnání s vypočítanými koncentracemi.

D.4.3 Výpočtové meze pro případy vnitřního obloukového zkratu

D.4.3.1 Velmi malé objemy prostoru

V těchto stavech, jako je např. vnitřní obloukový zkrat v transformovně vn/nn, není hlavní zdravotní riziko způsobeno produkty rozkladu SF₆ rozloženého obloukem. Samotný oblouk, náhlý únik horkého plynu, kouř, výpary ze spálených barev, plastů nebo kovové páry a konečně rázová vlna, pravděpodobně vytváří hlavní rizika (viz D.4.7.2 a D.4.7.3).

Extrapolace na objemy prostoru mnohem menší než asi 50 m³ je proto pravděpodobně nevhodným postupem pro hodnocení zdravotních rizik. Aby bylo možno hodnotit podíl SOF₂ na celkové toxicitě, byl přesto zahrnut příklad výpočtu pro menší objem prostoru než 50 m³.

D.4.3.2 Velmi dlouhé doby hoření oblouku

Pro všechny výpočty vnitřního obloukového zkratu se předpokládá stabilní hoření oblouku, vedoucí ke konstantní hodnotě vývinu SOF₂ během doby hoření oblouku 100 ms (viz D.7.3.2). Jak je dále vysvětleno, nebude konstantní hodnota vývinu SOF₂ téměř jistě platit pro doby hoření oblouku nad asi 100 ms:

Vnitřní obloukový zkrat ve vypínačích vn a vvn a v distribučních rozváděcích (RMU)

V těchto případech dojde pomocí bezpečnostního ventilu k otevření krytu do atmosféry. Vysoký nárůst tlaku vyvolaný obloukem bude mít tendenci vyprázdnit většinu SF₆ ve zlomku sekundy, ale oblouk zůstane hořet hlavně v kovových parách tvořených odpařováním elektrod. Pouze zlomek celkové energie se podílí na tvoření produktů rozkladu SF₆. Je proto nutné provádět experimentální výzkum, aby byla možná extrapolace nad 100 ms.

Vnitřní obloukový zkrat v plynu izolovaném rozváděči (GIS vvn)

V těchto stavech se tvoří významné množství kovových par a nastává exotermická reakce mezi SF₆ a

hliníkovými elektrodami. Prostředí hoření oblouku bude značně modifikováno a použití konstantní hodnoty vývinu produktů rozkladu nemůže platit.

D.4.4 Zkoumané stavy

Bylo zkoumáno těchto deset reprezentativních stavů:

- Únik z vypínače vysokého napětí po třech následných vypnutích třífázového zkratového proudu 31,5 kA (viz IEC 62271-100, zkušební sled T100).
- Únik z vypínače velmi vysokého napětí po třech následných vypnutích třífázového zkratového proudu 31,5 kA (viz IEC 62271-100, zkušební sled T100).
- Únik z krytu velmi vysokého napětí, ve kterém nastaly částečné výboje v průběhu 30 roků.
- Únik z krytu velmi vysokého napětí, ve kterém nastala koróna v průběhu 30 roků.
- Únik z odpínače velmi vysokého napětí, ve kterém nastal jiskrový výboj 200krát za rok v průběhu 30 roků.
- Vnitřní obloukový zkrat vedoucí k uvolnění přetlaku nebo propálení oddílu přípojníc rozváděče GIS 245 kV při 40 kA (jednofázový zkrat).
- Vnitřní obloukový zkrat vedoucí k uvolnění přetlaku nebo propálení oddílu přípojníc rozváděče GIS 145 kV při 31,5 kA (zkrat zahrnující dva mezifázové oblouky).
- Vnitřní obloukový zkrat vedoucí k uvolnění přetlaku nebo propálení u rozváděče GIS vysokého napětí při 25 kA (jednofázový zkrat).
- Vnitřní obloukový zkrat vedoucí k uvolnění přetlaku ve vypínači vn při 25 kA (jednofázový zkrat).
- Vnitřní obloukový zkrat vedoucí k uvolnění přetlaku v distribučním rozváděči (RMU) při 16 kA (zkrat zahrnující dva mezifázové oblouky).

D.4.5 Určení koncentrací způsobených únikem SO_2 z vypínačů

V tomto případě se uvažuje jen únik z vypínačů, protože stupeň rozkladu SF_6 ve vypínačích je vyšší než v jiných typech zařízení.

Koncentrace referenčního plynného produktu rozkladu SO_2 se v prostoru rozvodny vypočítá pro případ vypínače, který právě vypnul třífázový zkratový proud následně třikrát po sobě (jak se vyžaduje pro zkušební sled T100 podle IEC 62271-100), a proto z něho uniká SF_6 obsahující produkty rozkladu v oblouku. Vypočítá se množství SO_2 uniklé v průběhu doby 24 h a posoudí se vzhledem k objemu prostoru, aby se stanovila koncentrace.

Postup výpočtu koncentrací produktů rozkladu je následující. Údaje a mezivýsledky výpočtu jsou pro každou etapu uvedeny v kapitole D.7.

- Vypočte se celková energie oblouku v kilojoulech ($E = I \times U \times t \times n \times m$), kde n je počet fází a m je počet vypnutí (údaje viz D.7.3.1).
- Vypočte se množství SO_2 vytvořeného v litrech (z hodnoty produkce, r v l/kJ, viz D.7.4 a D.7.5).

POZNÁMKA 1 Oblouk hoří mezi kontakty měď - wolfram.

- Vypočte se objemový poměr SO_2/SF_6 uvnitř vypínače (přitom se vezme v úvahu tlak plnění, viz D.7.7)
- Určí se hodnota úniku L v litrech za den (z údajů výrobce, viz D.7.6).
- Vypočte se množství SO_2 unikajícího do prostoru rozvodny (viz D.7.7).
- Vypočte se množství SO_2 nahromaděného během doby 24 h (v litrech, viz D.7.7).
- Vypočte se poměr nahromaděného SO_2 k objemu vzduchu prostoru rozvodny (v ppmv, údaje viz D.7.1).
- Tato koncentrace se srovná s TLV (viz D.8.1) a výsledek se vyjádří jako poměr $R = C/\text{TLV}$. Jestliže je hodnota $R < 1$, není nutné očekávat zdravotní riziko.

Rovnice pro výpočet koncentrace C pro SO_2 v ppmv v prostoru rozvodny pro dobu 24 h tedy je:

$$C = \frac{r \times E \times L \times 10^6}{V \times v \times p_f}$$

kde r je hodnota produkce (vývinu) v litrech/kilojouly;

E energie oblouku v kilojoulech;

L hodnota úniku v litrech za den;

V objem prostoru rozvodny v litrech;

v objem spínacího a řídicího zařízení v litrech;

P_f poměr tlaku plnění SF₆ (MPa absolutních) k atmosférickému tlaku.

Výsledky výpočtů pro stavy úniku (údaje viz kapitola D.7) jsou uvedeny v tabulce D.2:

Tabulka D.2 - Výsledky výpočtů pro stavy úniku

Vypínač	V_1 uniklý SOF ₂ l	V Objem prostoru l	C Koncentrace SOF ₂ ppmv	TLV pro SOF ₂ (viz poznámka 2) ppmv	R
vn	$1,3 \times 10^{-6}$	120×10^3	11×10^{-6}	1,6	$6,8 \times 10^{-6}$
vvn	108×10^{-6}	700×10^3	154×10^{-6}	1,6	96×10^{-6}

POZNÁMKA 2 TLV: Prahová hodnota: hodnoty expozice založené na opakované 8 h expozici [28] (viz D.8.1).

V_1 je množství uniklé do atmosféry za 24 h (viz D.7.5, D.7.6 a D.7.7). Koncentrace C jsou mnohem menší než TLV, jak ukazuje hodnota poměru R.

POZNÁMKA Extrapolace pro delší doby hromadění vyžaduje podrobné údaje týkající se hodnoty výměny vzduchu způsobené větráním.

D.4.5.1 Dodatečný výpočet pro zahrnutí účinků hydrolyzy SOF₂

V C.1.1 popisuje rovnice [9] hydrolyzu SOF₂, při které se tvoří SO₂ a HF. Tento stav může nastat, když SOF₂ zůstává v přítomnosti vlhkosti po dlouhé časové období buď uvnitř krytu spínacích a řídicích zařízení nebo v atmosféře rozvodny. Adsorbenty mají však udržet uvnitř krytu nízkou vlhkost a omezit stupeň hydrolyzy před únikem. Normální větrání má zabránit hromadění SOF₂ v atmosféře.

Za předpokladu, že nedostatečné větrání dovolí hromadění SOF₂, je nutné vzít v úvahu konečné produkty při hodnocení každého zdravotního rizika.

Každá molekula SOF₂ zahrnutá do reakce hydrolyzy způsobí vznik jedné molekuly SO₂ a dvou molekul HF. Tak každý mol SOF₂ způsobí vznik jednoho molu SO₂ a dvou molů HF, každý mol zabere molární objem. Proto daný objem SOF₂ produkuje stejný objem SO₂ a dvojnásobek tohoto objemu HF a koncentrace v daném prostoru jsou v podobném poměru. Avšak HF je vysoce reaktivní a je nepravděpodobné, že zůstane v atmosféře dostatečně dlouho tak, aby došlo ke vzniku vysokých koncentrací.

Předpokládá se, že HF a SO₂ mají podobný účinek na lidský organismus a pro takovou vícesložkovou směs nemá součet jednotlivých poměrů R_{tot} vzhledem k TLV překročit hodnotu jedna.

$$R_{tot} = \frac{\text{koncentrace SO}_2}{\text{TLV (SO}_2)} + \frac{\text{koncentrace HF}}{\text{TLV (HF)}} \leq 1$$

POZNÁMKA 1 Toto je předpoklad, který vede k maximální povolené koncentraci každé složky menší než je její TLV. Je zde zaveden proto, aby byl vzat v úvahu nejnepríznivější případ.

Za předpokladu že veškerý SOF₂ projde hydrolyzou a že veškeré výsledné SO₂ a HF zůstane v atmosféře, dávají výsledky D.4.5 následující hodnoty R_{tot} . Velmi nízké hodnoty R_{tot} (a jednotlivých poměrů koncentrace k TLV) svědčí o zanedbatelném riziku.

Tabulka D.3 - Výsledky pro stavy úniku beroucí v úvahu hydrolyzu SF₂

Vypínač	SOF ₂	SO ₂		HF		R _{tot}
	Koncentrace ppmv	TLV ppmv (viz poznámka 2)	Koncentrace ppmv	TLV ppmv (viz poznámka 2)	Koncentrace ppmv	
vn	11 x 10 ⁻⁶	2,0	11 x 10 ⁻⁶	3,0	22 x 10 ⁻⁶	12,6 x 10 ⁻⁶
vvn	154 x 10 ⁻⁶	2,0	154 x 10 ⁻⁶	3,0	308 x 10 ⁻⁶	180 x 10 ⁻⁶

POZNÁMKA 2 Jako referenční jsou uvedeny hodnoty TLV pro SO₂ a HF.

D.4.6 Určení koncentrací způsobených únikem S₂F₁₀

Hodnoty rozkladu SF₆ při působení výbojů nízké energie se pro normální provozní podmínky všeobecně pokládají za velmi nízké a způsobují zanedbatelné zdravotní riziko. Pro částečné výboje (PD) a působení koróny je tato skutečnost dána hlavně tím, že zahrnuté energie jsou velmi malé; významný rozklad by mohl nastat jen tehdy, jestliže by výboje byly aktivní během delší doby (týdny nebo měsíce). Kromě toho:

- Působení částečných výbojů uvnitř tuhých izolátorů nemůže mít vliv na plyn;
- U elektrických silnoproudých zařízení plněných SF₆ všeobecně nedochází ke vzniku koróny a jakékoliv korónové výboje obvykle vznikají vně zařízení, např. na průchodkách atd.;
- Standardní zkušební postupy měření částečných výbojů a rádiového rušení zjistí tento typ výbojů.

Jiskrový výboj u odpojovačů velmi vysokého napětí má omezený vliv, a to především proto, že celková energie při funkci je nízká a dále proto, že doba mezi funkcemi přístroje je za typických provozních podmínek velmi dlouhá a konečně proto, že vrcholová hodnota proudu jiskrového výboje je vysoká.

Bez ohledu na výše uvedené skutečnosti soustředil se však zájem na možnou existenci S₂F₁₀ ve spínacích a řídicích zařízeních s ohledem na jejich vysokou relativní toxicitu [22], i když je známo, že se v praxi rychle rozkládají [23].

Pro ilustraci velmi nízkého zdravotního rizika v souvislosti s S₂F₁₀ v praktických stavech spínacích a řídicích zařízení, jsou dále předloženy odhady pro tři výše uvedené případy. Pro každý stav byl přijat přísný postup.

Přesné hodnoty energie výbojů mohou být zvětšeny o několik řádů bez významného ovlivnění závěrů. Tím je zajištěno značné rozpětí bezpečnosti, aby bylo možno vzít v úvahu zvláště vysoké úrovně výbojů.

Metoda výpočtů je pro každý případ podobná:

- Předpokládá se, že působením výbojů se tvoří výhradně stabilní S₂F₁₀, který se hromadí po dobu 30 let uvnitř spínacích a řídicích zařízení vn (viz poznámka);
- Tento plyn potom uniká do prostoru rozvodny (700 m³) při standardní hodnotě 1 % ročně (27 x 10⁻⁶ za den);
- Potom se odhadne množství vytvořené za 24 h a zjištěná koncentrace C se porovná s TLV, (0,01 ppmv) [28], aby se získal poměr R;
- Poměry R mnohem menší než jedna znamená, že by zdravotní riziko bylo zanedbatelné.

POZNÁMKA Rychlost poklesu převzatá z citovaných odkazů vede ke koncentracím S₂F₁₀ asi 100násobně nižším než jsou zde odhadované koncentrace.

Ve zkoumaných třech případech jsou vypočítané maximální vytvořené koncentrace v oblasti stotisíckrát menší než TLV. Tento výsledek znamená, že v praxi za podmínek výbojů nízké energie této povahy neexistuje zdravotní riziko způsobené S₂F₁₀ produkovaným v elektrických silnoproudých zařízeních. Rozkladem S₂F₁₀ v praktických situacích by mělo dojít ke zmenšení nahromaděného množství a tím ke zvýraznění předchozího závěru. Kromě toho je ve výpočtech zanedbána jakákoliv redukce hodnoty vzniku S₂F₁₀ způsobená přítomností vlhkosti.

D.4.6.1 Stav částečných výbojů

Jsou stanoveny tyto předpoklady:

- Hodnota částečných výbojů v plynu je 5 pC.

POZNÁMKA 1 Jedná se typickou maximální hodnotu použitou při přejímací zkoušce GIS.

- Počet výbojů na jednu periodu je vysoký;

POZNÁMKA 2 Všechny výboje mají identické amplitudy a předpokládá se jejich rovnoměrné rozdělení na napětové vlně.

- Jmenovité napětí je 245 kV při 50 Hz;
- Rychlost vytváření S₂F₁₀ je 0,2 x 10⁻⁹ mol/J;

POZNÁMKA 3 Hodnoty rychlosti vytváření S₂F₁₀ pro částečné výboje při buzení střídavým proudem nejsou v literatuře k dispozici. Tento výpočet je proto založen na extrapolaci výsledků měření jiskrových výbojů.

- Výboje probíhají trvale po dobu 30 let a tvořený S₂F₁₀ se nerozkládá.

Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce. Množství S₂F₁₀ uniklé během doby 24 h by bylo velmi malé (88,3 x 10⁻⁹ l), vytvořená koncentrace by byla C = 126 x 10⁻⁹ ppmv a poměr R = C/TLV by byl 12,6 x 10⁻⁶.

Tabulka D.4 - Vzorový výpočet koncentrace S₂F₁₀ pro částečné výboje

Náboj přenesený výbojem	Q	5 až 10 ⁻¹² C
Počet výbojů za cyklus	N	20
Výboj přenesený za cyklus	Q = q x n	0,1 x 10 ⁻⁹ C
Jmenovité napětí	U _n	245 kV
Energie uvolněná na cyklus	E = Q x U _n / √3	14,1 x 10 ⁻⁶ J
Energie uvolněná za sekundu	E _s = 50 x E	0,707 x 10 ⁻³ J
Energie uvolněná za rok	E _y = 31,5 x 10 ⁶ x E _s	22,3 x 10 ³ J
Hodnota produkce S ₂ F ₁₀	R	0,2 x 10 ⁻⁹ mol/J
Hodnota produkce S ₂ F ₁₀ za rok	P = r x E _y	4,46 x 10 ⁻⁶ mol
Objem S ₂ F ₁₀ v litrech (za rok)	V = 24,45 x P	109 x 10 ⁻⁶ l
S ₂ F ₁₀ nahromaděný za 30 roků	U = 30 x V	3,27 x 10 ⁻³ l
S ₂ F ₁₀ uniklý za 24 h	v = 27 x 10 ⁻⁶ x U	88,3 x 10 ⁻⁹ l
Koncentrace (prostor 700 m ³)	C = v/(700 x 10 ³)	126 x 10 ⁻⁹ ppmv
TLV pro S ₂ F ₁₀	TLV	0,01 ppmv
Poměr R	R = C/TLV	12,6 x 10 ⁻⁶

D.4.6.2 Stav koróny

Jsou stanoveny tyto předpoklady:

- Celkové korónové napětí (RIV) je 3 μV měřeno na odporu 300 Ω;
- Jmenovité napětí sítě je 245 kV;
- Množství vyvinutého S₂F₁₀ je 0,05 x 10⁻⁹ mol/J. S₂F₁₀ se nerozkládá.

Jak je patrné z následující tabulky, bylo by uniklé množství S₂F₁₀ během 24 h asi 45 x 10⁻⁹ l, koncentrace C by byla 64 x 10⁻⁹ ppmv a poměr R = C/TLV by byl 6,4 x 10⁻⁶.

Tabulka C.5 - Vzorový výpočet koncentrace S₂F₁₀ pro koronový výboj

Koronové napětí	V_c	$3 \times 10^{-6} \text{ V}$
Měřicí impedance	Z	300Ω
Koronový proud	$I = V_c/Z$	$10 \times 10^{-9} \text{ A}$
Jmenovité napětí	U_n	245 kV
Energie uvolněná za sekundu	$E_s = I \times U_n / \sqrt{3}$	$1,41 \times 10^{-3} \text{ J}$
Energie uvolněná za rok	$E_y = 31,5 \times 10^6 E_s$	$44,5 \times 10^3 \text{ J}$
Hodnota produkce S ₂ F ₁₀	R	$0,05 \times 10^{-9} \text{ mol/J}$
Hodnota produkce S ₂ F ₁₀ za rok	$P_v = r \times E_y$	$2,2 \times 10^{-6} \text{ mol}$
Objem S ₂ F ₁₀ v litrech (za rok)	$V = 24,45 \times P$	$54,4 \times 10^{-6} \text{ l}$
S ₂ F ₁₀ nahromaděný za 30 roků	$U = 30 \text{ V}$	$1,63 \times 10^{-3} \text{ l}$
S ₂ F ₁₀ uniklý za 24 h	$v = 27 \times 10^{-6} \times U$	$44,7 \times 10^{-9} \text{ l}$
Koncentrace (prostor 700 m ³)	$C = V/(700 \cdot 10^3)$	$68,3 \times 10^{-9} \text{ ppmv}$
TLV pro S ₂ F ₁₀	TLV	0,01 ppmv
Poměr R	$R = C/\text{TLV}$	$6,4 \times 10^{-6}$

D.4.6.3 Jiskrový výboj u odpojovače

Jsou stanoveny tyto předpoklady:

- Odpojovač spíná 200krát za rok. Energie pro funkci je 0,25 kJ;

POZNÁMKA 1 Průměrné použité hodnoty jsou: obloukové napětí 1 kV a kapacitní proud 0,25 A. Doba trvání oblouku je 1 s.

- Množství produkovaného S₂F₁₀ je 0,05 · 10⁻⁹ mol/J a vytvořený S₂F₁₀ se nerozkládá.

POZNÁMKA 2 Vrcholová hodnota proudu oblouku jiskrového výboje může být až 3 kA, ale trvá pouze několik desítek mikrosekund. Při nedostatku publikovaných údajů odráží toto produkované množství situaci ve spodní části rozsahu jiskrového výboje, což je ale 2 000krát vyšší hodnota než u oblouků s vysokou energií.

Jak ukazuje následující tabulka bylo by uniklé množství S₂F₁₀ během 24 h 50 × 10⁻⁹ l, vytvořená koncentrace by byla C = 72 × 10⁻⁹ ppmv a poměr R = C/TLV by byl 7,2 × 10⁻⁶. Tyto teoretické odhady byly potvrzeny jako realistické měřeními na skutečném odpínači za značně zrychlených provozních podmínek [23].

Tabulka D.6 - Vzorový výpočet koncentrace S₂F₁₀ pro jiskrový výboj odpojovače

Energie pro funkci	$E_0 = i \times u \times t$	0,25 kJ
Energie uvolněná za rok	$E_y = 200 E_0$	50 kJ
Hodnota produkce S ₂ F ₁₀	r	$0,05 \times 10^{-9}$ mol/J
Hodnota produkce S ₂ F ₁₀ za rok	$P_y = r \times E_y$	$2,5 \times 10^{-6}$ mol
Objem S ₂ F ₁₀ v litrech (za rok)	$V = 24,45 \times P_y$	61×10^{-6} l
S ₂ F ₁₀ nahromaděný za 30 roků	$U = 30 \times V$	$1,8 \times 10^{-3}$ l
S ₂ F ₁₀ uniklý za 24 h	$V = 27 \times 10^{-6} U$	50×10^{-9} l
Koncentrace (prostor 700 m ³)	$C = V/(700 \times 10^3)$	72×10^{-9} ppmv
TLV pro S ₂ F ₁₀	TLV	0,01 ppmv
Poměr R	$R = C/TLV$	$7,2 \times 10^{-6}$

D.4.7 Určení koncentrace způsobené vnitřním obloukovým zkratem

Vnitřní obloukový zkrat nemusí nutně způsobit uvolnění SF₆ (viz oddíl 5). Uvolnění nastane jen v těchto stavech:

- Při poruchách vyvolávajících zapůsobení zařízení na uvolnění přetlaku nebo otevření krytu;
- Při stavech vnitřní poruchy vyvolávajících propálení krytu.

Předpoklady pro tyto stavy, které doplňují předpoklad uvedené v D.4.1 jsou tyto:

- Všechny vytvořené produkty rozkladu jsou rychle vyfukovány do okolního vzduchu.
- Velmi silné konvekční a nárazové síly plynu vyvolají rychlé mísení emitovaného plynu se vzduchem v prostoru rozvodny.
- Předpokládá se, že vytvářený SOF₂ je během sledované doby stabilní.

Koncentrace SOF₂ ve vzduchu v prostoru rozvodny se vypočítá pro každý stav následovně. Pro každou etapu jsou údaje a mezivýsledky uvedeny v D.7:

- Vypočte se celková energie E oblouku v kilojoulech (viz D.7.3.2).
- Vypočte se množství V_f vytvořeného SOF₂ v litrech (z hodnoty produkce, r v litrech/kilojouly, viz D.7.4 a D.7.5).
- Vypočte se objem prostoru rozvodny V v litrech (viz D.7.1).
- Vypočte se poměr C objemu SOF₂/objemem prostoru rozvodny v ppmv.
- Tato koncentrace SOF₂ se porovná s krátkodobým limitem expozice C_m pro SOF₂. Základní rovnice pro koncentraci C produktu SOF₂ v prostoru v ppm objemových je tedy:

$$C = \frac{r \times E \times 10^6}{V}$$

Výsledky vzorových výpočtů pro stavy vnitřní poruchy (údaje viz článek. D.7) jsou uvedeny v tabulce D.7

Tabulka D.7 - Vzorový výpočet koncentrací SOF₂

Vnitřní porucha	V ₁	V	C	C _m (POZNÁMKA 1) pro SOF ₂ ppmv
	Vytvořený SOF ₂ litry	Objem místnosti litry	Koncentrace SOF ₂ ppmv	
GIS pro 245 kV	60	2000 x 10 ³	30	500
GIS pro 145 kV	95	700 x 10 ³	135	500
GIS vn	11,3	120 x 10 ³	94	500
Vypínač vn	1,9	120 x 10 ³	15	500
Distribuční rozváděč (RMU) vn (POZNÁMKA 2]	3,0	30 x 10 ³	100	500
POZNÁMKA 1 C _m : viz D.4.2.2				
POZNÁMKA 2 V tomto případě je objem místnosti malý: viz D.4.3.1				

D.4.7.1 Odhad relativních podílů produktů rozkladu SF₆

SF₆ rozložený obloukem je vícesložkový produkt. Relativní podíl každé složky na riziku expozice se má hodnotit dělením koncentrace C této složky příslušnou přípustnou úrovní (TLV, IDLH, atd.) [39]. Čím je menší zjištěný poměr, tím je menší podíl na celkové toxicitě. Srovnání získaných poměrů různých složek indikuje jejich relativní důležitost. Toto je patrné z výsledků získaných pro dobře známé produkty rozkladu SF₆, SOF₂, SO₂F₂, S₂F₁₀, pro které jsou k dispozici spolehlivé údaje [22], [26] a [28].

POZNÁMKA 1 Použité hodnoty produkce jsou: SOF₂: 3,7 ml/kJ; SO₂F₂: 0,06ml/kJ; S₂F₁₀: 2,4 · 10⁻⁶ ml/kJ. Hodnoty TLV jsou: SOF₂: 1,6 ppmv; SO₂F₂: 5 ppmv a S₂F₁₀: 0,01 ppmv. Pro krátkodobé expozice je C_m pro SOF₂ 500 ppmv; hodnoty IDLH jsou pro SO₂F₂: 1 000 ppmv a pro S₂F₁₀: 1,0 ppmv [26].

POZNÁMKA 2 Použité pokusné podmínky pro získání údajů hodnot produkce se mezi výzkumnými pracovišti liší. Pro účel těchto odhadů se přesto řádové hodnoty pokládají za srovnatelné.

Použití metody uvedené v článku D.4.7 pro příklad vypínače vysokého napětí dává tyto poměry C/TLV:

$$\text{SOF}_2 = 9,3$$

$$\text{SO}_2\text{F}_2 = 0,05$$

$$\text{S}_2\text{F}_{10} = 0,001$$

Pro krátkodobé expozice (viz poznámky 1 a 2), se vypočítají níže uvedené poměry jako C/C_m pro SOF₂ a jako C/IDLH pro ostatní produkty rozkladu:

$$\text{SOF}_2 = 3,0 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{SO}_2\text{F}_2 = 2,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{S}_2\text{F}_{10} = 4,0 \cdot 10^{-5}$$

Oba případy ukazují zanedbatelný podíl S₂F₁₀ a především převládající podíl SOF₂.

Dokonce i odchylka o dvě řádové hodnoty v hodnotě produkce S₂F₁₀ nemá na tento závěr vliv. I když S₂F₁₀ může existovat v SF₆ rozloženém obloukem, je jeho vysoká toxicita značně kompenzována velmi malým množstvím, které se tvoří. Pokud jde o celkovou toxicitu, může tak být jeho přítomnost zanedbána.

D.4.7.2 Podíl kovových par

Během hoření oblouku při poruše s velkou energií dochází v každém médiu vlivem energie uvolněné na elektrodách patou oblouku k tavení a odpařování velkého množství kovu. V případě vnitřní poruchy vedoucí k otevření plynem naplněného oddílu, bude většina vytvořených par vyfouknuta do rozvodny a bude vytvářet podíl na celkové toxicitě.

Jako první přiblížení pro stanovení horní meze tohoto podílu se může předpokládat, že veškerá energie uvolněná z pat oblouků způsobí ohřev, tavení a následně odpaření kovu, který je potom vyfouknut do prostoru rozvodny. Výsledky je možné srovnat s experimentálně získanými údaji o obloukové erozi.

Z důvodu silné exotermické reakce, která nastává mezi parami hliníku a SF₆ a která dále zvyšuje produkci par však tento postup neplatí pro stavy propálení krytu u zařízení velmi vysokého napětí. Pokud by tato skutečnost nebyla vzata v úvahu, došlo by k hrubému podcenění produkovaného množství kovových par

pro danou energii oblouku.

Pro tyto výpočty platí tyto poznámky:

- Pro vnitřní poruchy nemusí být SF₆ rozložené obloukem posuzováno automaticky jako dominující v celkové toxicitě atmosféry. Bez ohledu na přibližný charakter tohoto výpočtu pro oba stavy týkající se zařízení vysokého napětí uvedené v D.4.4 vyplývá, že páry mědi mohou být v celkové toxicitě dominující.
- Tento závěr platí, i když se jen 10 % energie uvolněné na patách oblouku podílí na tvoření par, nebo jestliže 90 % vytvořených par kondenzuje nebo se transformuje uvnitř spínacích a řídicích zařízení.
- Podobná bezpečnostní opatření se mají proto aplikovat pro všechna spínací a řídicí zařízení bez ohledu na izolační médium. Je možno docela dobře doporučit, aby tato bezpečnostní opatření vycházela ze solidního studia tvoření par kovu, spíše než z hodnot rozkladu SF₆.

Tento postup nebere v úvahu vznik chemických reakcí mezi parami kovu a izolačním plynem.

Při nedostatku spolehlivějších metod vyplývá z následujícího přibližného postupu, co je hlavním potenciálnějším činitelem celkové toxicity při vnitřní poruše u jakéhokoliv typu spínacího a řídicího zařízení.

Dále je uveden postup pro odhad absolutního maximálního podílu par mědi na toxicitě; předpokládá, že se veškerá energie uvolněná patami oblouku podílí na tvoření par kovu:

- Celkový anodový a katodový úbytek napětí se uvažuje kolem 30 V. Pro vypínač a distribuční rozváděč (RMU) vysokého napětí pro případy uvedené v bodech i) a j) článku D.4.4 tak dostáváme energii přiváděnou do elektrod 75 kJ a 96 kJ.
- Energie požadovaná pro přeměnu jednoho molu mědi z pokojové teploty na páry byla vypočítána na 390 kJ.
- Ze srovnání výše uvedených hodnot vyplývají horní meze množství vytvořených par, a to 0,19 mol pro vypínač vysokého napětí a 0,25 mol pro RMU.
- Na základě molekulové hmoty mědi 64 g/mol odpovídají tyto hodnoty 12 g a 15,8 g odpařeného kovu.
- Tyto hodnoty představují erozi asi 1,4 cm³ a 1,8 cm³ kovu, což odpovídá působícím energiím oblouku.
- Tyto hodnoty jsou asi o 40 % vyšší než hodnoty extrapolované z experimentálních údajů získaných při zkouškách proudem 4 kA, které dávají hodnoty eroze mezi 2,5 a 4,5 mg/A/s u měděných elektrod.
- Pro objemy prostorů rozvodu uvedené v D.7.1, a to 120 m³ a 30 m³, vyplývají konečné koncentrace asi 100 mg/m³ a 520 mg/m³.
- Tyto koncentrace se porovnají s hodnotou TLV mědi 0,2 mg/m³ [28].

POZNÁMKA Tyto výsledky odvozené z přibližných dat a postupů, byly získány teoreticky a nebyly ověřeny prakticky.

D.4.7.3 Podíl způsobený spalováním plastů

Tato problematika nespadá do předmětu této zprávy. Z hlediska významného potenciálního podílu toxicity těchto prvků je nutné jejich vliv brát v úvahu. Při hoření plastů, jako jsou izolace vodičů, po vnitřní poruše bude vznikat množství toxických výparů, a to nezávisle na technologii spínacích a řídicích zařízení.

Jako příklad se uvažuje pouzdro z polyvinylchloridu (PVC). Hodnota TLV pro polyvinylchlorid je 1 ppmv = 2,6 mg/m³ [28]. To znamená, že úplné odpaření jen 8 g vyvolá koncentraci v atmosféře prostoru 30 m³ rovnou 100 násobku TLV. Pro prostor 120 m³ dá stejný výsledek 32 g PVC. To představuje izolaci 1,2 m standardního vodiče o průměru 1 mm.

Normální prostor rozvodny vysokého napětí může obsahovat několik kilometrů vodičů tohoto rozměru, kde připadá 7 kg PVC na kilometr vodiče.

Takové odhady se mohou provést pro každý z plastů snadno podléhajících hoření během vnitřní poruchy. Předcházející pozorování ukazují, že podíl výparů způsobených spalováním plastů se nemá ignorovat a že expozice takovým výparům má být omezena tak, jak je rozumně proveditelné.

Závěrem se konstatuje, že přítomnost SF₆ ve spínacích a řídicích zařízeních zvyšuje nepatrně toxicitu

atmosféry při vnitřní poruše. To byl hlavní závěr studie z roku 1987 [6].

Postupy a předpisy nemají proto obsahovat pokyny pro zvláštní zacházení se spínacími a řídicími zařízeními používajícími SF₆.

POZNÁMKA Výpary PVC reagují s jinými produkty v atmosféře a vznikají tak méně toxické produkty rozkladu. Výše uvedené závěry proto představují nejnepříznivější stav.

D.5 Posouzení výsledků

D.5.1 Stav úniku

Produkty rozkladu SF₆, tvořené hořením oblouku a výboji s nízkou energií, uvolněné z důvodu úniku ze zařízení plněného SF₆, dosahují zanedbatelné koncentrace v atmosféře pracoviště. V nejhorší případě jsou koncentrace zjištěné jak pro případy zařízení vysokého napětí tak i velmi vysokého napětí řádově deset tisíckrát nižší než hodnoty TLV.

Není důvod k obavám a nejsou zapotřebí jiná opatření, než normální praxe větrání níže položených prostorů. Tento závěr je zdůrazněn při uvážení počátečních zjednodušujících předpokladů provedených v D.4.1.

I v případě situací nadměrného úniku (hodnota úniku je např. o 3 řády vyšší než normální hodnota), se tyto závěry nemění.

D.5.2 Vnitřní obloukový zkrat

Pro ilustraci těchto případů bylo vybráno pět typických (ne příliš často se vyskytujících) stavů zahrnujících zařízení vysokého a velmi vysokého napětí. V nejnepříznivějším z těchto stavů jsou koncentrace SOF₂ v prostoru rozvodny nižší než krátkodobá mezní koncentrace C_m (viz D.4.2).

V každém případě obsahují základní bezpečnostní postupy pokyny pro evakuaci zajišťující, aby pracovníci nebyli vystaveni vyfukovaným materiálům po dobu delší než několik minut. Kromě toho zajišťuje nucená ventilace a /nebo větrání během několika minut redukcí hladin koncentrace na mnohem nižší hodnoty. Míra bezpečnosti při dodržení těchto opatření je dostatečná.

Proto jednoduché bezpečnostní postupy zajistí, že expozice bude v praxi krátkodobá a že zdraví osob nebude ohroženo.

D.5.3 Venkovní instalace

Jak pro únik, tak pro případy poruchy se výpočty provádějí stejným způsobem, jak je uvedeno výše, ale v tomto případě je objem vzduchu, do kterého uniká SF₆ rozložený obloukem, větší; může být považován za nekonečný. Převládající větry a velká vyfukovací rychlost také urychluje rozptýlení. Je zřejmé, že v případech úniku bude získaná koncentrace nekonečně malá. Pro případy vnitřní poruchy se koncentrace sníží během několika sekund pod hodnoty TLV.

Závěrem lze konstatovat, že emise toxických rozložených produktů SF₆ u venkovních spínacích a řídicích zařízení by neměla způsobit žádné zdravotní riziko.

D.6 Závěry

Výsledky vzorových výpočtů prokazují, že při stavech úniku nenastává žádné zdravotní riziko způsobené expozicí produktům rozkladu.

Výsledky také prokazují, že v nepravděpodobném případě vnitřního obloukového zkratu vedoucího k uvolnění SF₆, mohou vzniknout významné koncentrace produktů rozkladu SF₆ v prostoru rozvodny. Avšak vypočítané koncentrace nepřekročí odůvodněnou mez pro krátkodobou expozici.

Závěrem je možné konstatovat, že pokud jsou dodržovány normální bezpečnostní postupy, existuje minimální riziko konkrétně související s použitím SF₆ ve spínacích a řídicích zařízeních.

Rovněž bylo zdůrazněno, že při každé vnitřní poruše dochází ke vzniku korozivních a/nebo toxických par, nezávisle na přítomnosti SF₆. V případech, kdy tyto výpary vniknou do atmosféry rozvodny bylo prokázáno, že žádné z produktů hoření oblouku související s SF₆ nelze pravděpodobně pokládat za dominantní činitele celkové toxicity. Toto zjištění dále podporuje názor, že použití SF₆ nezvyšuje významně rizika

související s vnitřní poruchou.

D.7 Data pro výpočty

D.7.1 Objem prostoru rozvodny (typické hodnoty)

245 kV hala GIS (7 polí): 25 m x 12 m x 6,5 m = 2000 m³

145 kV hala GIS (7 polí): 12,5 m x 8 m x 7 m = 700 m³

Distribuční rozvodna vysokého napětí (s vypínači SF₆ a plynem izolovanými rozváděči vysokého napětí (15 polí s vypínači):

10 m x 4 m x 3 m % 120 m³

Prostor pro distribuční rozváděč RMU vysokého napětí (1 distribuční rozváděč) (viz také D.4.3.1):
4 m x 3 m x 2,5 m = 30 m³

D.7.2 Objem spínacích a řídicích zařízení a tlak plnění

Tabulka D.8 - Objem spínacích a řídicích zařízení a tlak plnění

	Objem litry	Tlak (absolutní) MPa
Vypínač vn	45	0,3
Distribuční rozváděč (RMU) vn	200	0,1
Plynem izolovaný rozváděč (GIS) vn	1 000	0,1
Vypínač vvn	500	0,5
Přípojnice GIS	2 000	0,3

D.7.3 Charakteristiky hoření oblouku

D.7.3.1 Vypnutí zkratového proudu/stav úniku

Energie oblouku je dána součtem tří vypnutí třífázového zkratového proudu, tzn. že je rovna devítinásobku hodnoty pro jedno jednofázové vypnutí.

Tabulka D.9 - Energie oblouku při vypínání

	I kA	U_{arc} V	t_{arc} ms	$9 \times E_{arc}$ kJ
Vypínač vn	31,5	200	15	851
Vypínač vvn	31,5	500	15	2 126

D.7.3.2 Vnitřní obloukový zkrat/stav vyfukování

Hodnoty energie oblouku platí pro N současných oblouků. Počet oblouků byl zvolen pro znázornění nejpravděpodobnějšího stavu vnitřní poruchy.

Tabulka D.10 - Energie oblouku při vnitřní poruše

	I kA	U_{arc} V	t_{arc} ms	N	E_{arc} kJ
GIS pro 245 kV	40	1 000	100	1	4 000
GIS pro 145 kV	31,5	1 000	100	2	6 300
GIS vn	25	300	100	1	750
Vypínač vn	25	200	100	1	500
Distribuční rozváděč (RMU) vn	16	250	100	2	800

Hodnoty doby hoření oblouku představují kompromis mezi skutečnými dobami hoření oblouku, funkcí pojistné membrány, propálením krytu, stabilitou oblouku a rychlosti produkce plynu. Při lineární extrapolaci nad asi dvojnásobek těchto hodnot tak dochází k velkému nadhodnocení výsledků (viz D.4.3.2).

D.7.4 Hodnoty produkce SO_2

Množství plynu tvořeného během elektrických výbojů se běžně uvádí v poměru na joule uvolněné energie (hodnota produkce r).

Pokusně určené hodnoty produkce SO_2 závisejí na materiálu použitých elektrod a typu uvažovaného výboje. Exotermické reakce, které nastávají u hliníkových elektrod, pravděpodobně zvyšují hodnotu produkce.

Výsledky pokusů jsou běžně uváděny v molech/joule, ale ve většině praktických případů je mnohem výhodnější převést tyto hodnoty na litry/kilojoule. Tento převod se provede s využitím skutečnosti, že jeden mol jakéhokoliv plynu zaplní při 25 °C a při atmosférickém tlaku objem 24,45 l.

Použité hodnoty jsou průměrem dostupných údajů zjištěných v literatuře [21] a [25].

Tabulka D.11 - Hodnoty produkce SO_2

Materiál elektrod	Hodnota produkce SO_2 (r)	
	Mol/joule	Litr/kJ
Cu, Fe, WCu	$150 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Al	$600 \cdot 10^{-9}$	$15 \cdot 10^{-3}$
POZNÁMKA Hliníkové elektrody se uvažují jen u přípojnic GIS.		

D.7.5 Množství vznikajícího SO_2

Množství vznikajícího SO_2 se zjistí z energie oblouku a hodnot rychlosti produkce.

Tabulka D.12 - Množství tvořeného SOF₂

	Vysoké napětí		Velmi vysoké napětí	
	mol	litry při 0,1 MPa	mol	litry při 0,1 MPa
Únik	0,13	3,15	0,319	7,87
Vnitřní porucha				
GIS pro 245 kV			2,4	60
GIS pro 145 kV			3,8	95
GIS vn	0,45	11,25		
Vypínač vn	0,075	1,9		
Distribuční rozváděč (RMU) vn	0,12	3,0		

D.7.6 Hodnoty úniku

Hodnoty úniku pro hermeticky uzavřená spínací a řídicí zařízení po dobu životnosti se udávají jako ztráta objemu SF₆ za sekundu vztážená na přetlak plnění v barech.

Pro doplňovatelná spínací a řídicí zařízení je hodnota úniku uváděna v procentech z celkové ztráty plynu za rok.

Dále jsou uvedeny typické hodnoty pro třífázové vypínače s převodem na celkové ztráty SF₆ za den (24 h) a pro případ zařízení vysokého napětí vztážené na přetlak plnění v barech.

Tabulka D.13 - Hodnoty úniku SF₆

	Vypínač vn	Vypínač vvn
Základní hodnota	3×10^{-6} cm ³ /s/MPa přetlaku	0,5 % celkového objemu SF ₆ l/rok
Denní hodnota	27×10^{-5} l/den/MPa přetlaku	$13,7 \times 10^{-6}$ x (objem SF ₆) l/den

D.7.7 Hodnoty úniku SOF₂ (s použití údajů z D.7.5 a D.7.6)

Tabulka D.14 - Hodnoty úniku SOF₂

	Vypínače vn	Vypínače vvn
Objem vyprodukovaného SOF ₂ (litry při 0,1 MPa absolutních)	3,15	7,87
Celkový objem SF ₆ (litry při 0,1 MPa absolutních)	135	2 500
Poměr SOF ₂ /SF ₆ uvnitř vypínače	2,33 %	0,31 %
Tlak plnění (MPa absolutních)	0,3	0,5
Únik SOF ₂ (litrů za den) (viz POZNÁMKA)	$1,26 \times 10^{-6}$	$107,8 \times 10^{-6}$
POZNÁMKA Toto je množství SOF ₂ nahromaděné po 24 h úniku v nevětraném prostoru.		

D.8 Meze expozice

Termíny použité pro definování přípustných mezí je možno rozdělit to dvou skupin:

- termíny určené pro specifikování podmínek, za kterých může trvale pracovat osoba bez ochranného vybavení, např. prahová mezní hodnota (TLV);
- termíny určené pro specifikování zvláštních stavů pro krátkodobou expozici, za kterých musí osoba

opustit prostor, např. okamžité ohrožení života a zdraví (IDLH).

D.8.1 Prahová hodnota TLV

Prahová hodnota (TLV) je výraz zavedený American Conference of Industrial Hygenists (ACGIH) (Americká sdružení průmyslových hygieniků). Vztahuje se na maximální koncentraci prvku nebo látky, považovanou fyziologicky a fyzikálně za přijatelnou během specifikované doby expozice.

Střední prahová hodnota vztažená k času (TLV-TWA), je střední hodnota koncentrace vztažená k času, při které může osoba pracovat 8 h denně, 40 h v týdnu bez nepříznivých zdravotních účinků. Zavedení střední hodnoty dovoluje, aby okamžité hodnoty koncentrace mohly být několika násobně vyšší než TLV-TWA. V této zprávě se TLV-TWA uvádí zjednodušeně jako TLV a všechny odkazy na TLV se mají rozumět, že znamenají TLV-TWA.

D.8.1.1 Hodnota TLV pro SOF₂

Oficiální dovolená koncentrace SOF₂ na pracovišti pro zaměstnání s normální pracovní dobou (TLV) je vyjádřena pomocí jeho obsahu fluoru [27] a [28]: TLV = 2,5 mg fluoru F/m³ vzduchu při 25°C a atmosférickém tlaku.

To odpovídá 5,66 mg/m³ SOF₂ ve vzduchu při 25 °C a atmosférickém tlaku.

Vyjádřeno v poměrných objemových jednotkách atmosférické koncentrace SOF₂: TLV = 1,6 ppmv.

POZNÁMKA 1 Hodnota TLV pro SOF₂ byla uváděna v určitých publikacích jako 0,65 ppmv. Zdá se, že tato hodnota byla odvozena s použitím molekulové hmotnosti SOF₂ (86,1) místo molekulové hmotnosti obsahu fluoru (2 x 19).

POZNÁMKA 2 Převod se získá výpočtem hmotnosti SOF₂ (na kubický metr vzduchu), která odpovídá hodnotě TLV vyjádřené jako 2,5 mg fluoru F/m³ vzduchu. Poměr molekulové hmotnosti SOF₂ k jeho obsahu fluoru je $86,1/(2 \times 19) = 2,266$; hmotnost SOF₂ v 1 m³ vzduchu při TLV je tak: $2,5 \times 2,266 = 5,66 \text{ mg SOF}_2/\text{m}^3$.

POZNÁMKA 3 Převod z mg/m³ na ppm objemové se provádí násobením molárním objemem (24,45 l při 25 °C) a dělením molekulovou hmotností (86,1 g/mol) [28].

D.8.2 IDLH - Okamžité ohrožení života a zdraví

Tato hodnota koncentrace je koncentrace, ze které může osoba uniknout bez nevratných zdravotních účinků, pokud expozice nepřekročí 30 min [28].

Příloha E (informativní)

Literatura

- [1] CIGRE WG 83.02 TF SF6' Guide for the preparation of customised "Practical SF6 handling instructions", CIGRE brochure N. 276, 2005
- [2] KEMA, SF₆ Safety Regulations, internal document for use in laboratories, 1982
- [3] The Electricity Association, Engineering Recommendation G69, UK, 1988
- [4] Standards Association of Australia, Recommendations for the handling of contaminated SF₆ gas and associated arc by-products in or from electrical equipment, AS-2791, 1989
- [5] G. Mauthe, K. Pettersson, et al., Handling of SF6 and its by-products in gas insulated switchgear (GIS), *Electra* No 136, June 1991, pp 69-89 and No. 137, August 1991, pp 81-108, 1991
- [6] KEMA, Het gebruik van middenspanning installaties met SF₆ als isolatie en/of blusmedium, report No. 00067-020 87-1002, 17 February 1987 (in English).
- [7] J.A.J. Pettinga, Gaslekzoekapparatuur toegepast voor het meten van SF₆ concentraties in lucht. *Electrotechniek* 68, 1990.
- [8] J.A.J. Pettinga, Studie naar de mogelijkheid van ruimtebewaking in onderstations waarin SF₆ schakel-materiaal is opgesteld, n.v. KEMA report, 1986.
- [9] Sulphur Hexafluoride brochure (Solvay Fluor, 2006).
- [10] R. J. Lewis Sr., *Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials*, 11th edition, John Wiley and Sons Inc., Hoboken NJ, United States, 2004
- [11] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Third Assessment Report: Climate Change 2001, edited by R. T. Watson and the Core Writing Team (Eds.), <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, 2001.
- [12] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, 2006.
- [13] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, edited by J. T. Houghton et al. (Cambridge University Press, Cambridge, 1996).
- [14] ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2006.
- [15] S. Wartmann and J. Harnisch, Reductions of SF₆ emissions from high and medium voltage electrical equipment in Europe, Ecofys GmbH, Nurnberg, Germany, 2005.
- [16] K. Yokotsu, Y. Ichikawa et al., Recent practice for huge reduction of SF₆ gas emission from GIS & GC8 in Japan, CIGRE SC A3 & 83 Joint Colloquium and Tutorial in Japan, 26th - 28th Sep 2005, Tokyo, Japan, 2005
- [17] United States Environmental Protection Agency (EPA), Global Anthropogenic Non-CO₂
- [18] United States Environmental Protection Agency (EPA), Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases, Washington DC, United States, 2006
- [19] CIGRE WG B3-02, Template for Voluntary agreement on the use of SF₆ and on measures for SF₆ emission reduction in the national, regional electric industry, 2003
- [20] CRADA, Cooperative Research and Development Agreement, Investigation of S₂F₁₀ production and mitigation in compressed SF₆ insulated power system, Technical Note No.1, 22, December 1992.
- [21] F.Y. Chu, SF₆ Decomposition in gas insulated equipment, *IEEE Trans, on Elec. Insul.*, EL-21, No.5, October 1986.
- [22] R.J. Van Brunt, J.K. Olthoff, et al., Production of S₂F₁₀ by electrical discharge in SF₆. *I.H.S.* 1992, Swansea, U.K., Vol. 1, p. 418, 1992
- [23] H.D. Morrison, V.P. Cronin, et al. Production and decay of S₂F₁₀ in a disconnect switch, 7th Int.

Sym. Gaseous Dielectrics, Knoxville, TE, USA, 1994.

- [24] L. Niemeyer, S₂F₁₀ in SF₆ insulated equipment, 7th Intern. Sympos. on Gaseous Dielectrics, Knoxville TE, USA, 1994.
- [25] B. Belmadani, et al., SF₆ decomposition under power arcs, physical aspects, IEEE Trans. on Elec. Ins., Vol. 26, No.6, 1991.
- [26] R. Truhault, C. Boudeme, et al., Toxicite de quelques derives gazeux fluor et oxyfluors du soufre, Archives des maladies professionnelles de Medecine du Travail et de la Securite Sociale (Paris), T34, No.1 0-11, October-November (pp 581-591), Translation available, 1973.
- [27] Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices, 5th ed. Cincinnati, OH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., 1986, 5: 272, 1986.
- [28] NIOSH pocket guide to chemical hazards, U.S. Department of Health and Human Services Publications Dissemination. DSDTT National Institute for Occupational Safety and Health, 4676 Colombia Parkway, Cincinnati, Ohio 45226, USA.
- [29] IEC 60050-601 International Electrotechnical Vocabulary: Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity - General
- [30] IEC 60695-7-1 Fire hazard testing - Part 7-1: Toxicity of fire effluent - General guidance
- [31] IEC 62271-200 High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
- [32] IEC 62271-201 High-voltage switchgear and controlgear - Part 201: AC insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
- [33] IEC 62271-203 High-voltage switchgear and controlgear - Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV