

Posouzení využitelnosti alternativních izolačních plynů pro rozvodná zařízení v energetice za účelem snižování dopadů na životní prostředí

Vladimír Vajnar

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

vajnar@kee.zcu.cz

The Assessment of Alternative Insulating Gases Usage for HV Distributional Equipment with the Aim on Lowering the Environmental Impacts

Abstract – The presented paper deals with the various possibilities of insulating gases designed as an insulating blend for high voltage distributional switchgear and equipment. The technical superiority of sulfur-hexafluoride is discussed with its environmental disadvantages and limitations. Alternative gases as SF₆ replacement are introduced and their usage is discussed. The paper concludes with the system operator's best-practices with the alternatively insulated equipment.

Keywords – Carbon Dioxide; Circuit Breakers; Environmental Impacts; Gas Insulated Switchgear; Insulating Gases; Sulfur Hexafluoride.

I. ÚVOD

V minulém století, kdy probíhala masivní elektrifikace, došlo k realizaci většiny rozvodných zařízení. V jeho druhé polovině pak byl objeven a pro elektrotechnické aplikace zdokonalen fluorid sírový (SF₆). Tento plyn, který vyniká svými fyzikálními vlastnostmi (zejména dielektrickými a termodynamickými) tak poskytl široké možnosti využití. Vznikl tak nový směr v konstrukci plynem izolovaných rozvodů a v principu vypínání a zhašení spínacího oblouku. Z technických hledisek té doby, lze plyn SF₆ nazývat jako ideální pro elektroenergetiku. V důsledku klimatických dějů ale bylo posléze odhaleno, že patří mezi skleníkové plyny, které silně přispívají ke globálnímu oteplování. V souladu s aktuálním trendem globální klimatické politiky tak došlo ke zpřísnění pravidel v nakládání a využívání SF₆. Proto v uplynulé dekádě proběhlo množství investic s cílem objevení vhodného izolačního plynu, který by měl za udržení ekvivalentních dielektrických a termodynamických vlastností podstatně menší vliv na globální oteplování. Cílem tohoto příspěvku je tak zhodnotit současnou situaci v oblasti izolačních plynů používaných pro elektroenergetické přístroje a zařízení.

II. POPIS POŽADAVKŮ NA PLYNNÉ IZOLANTY

Zásadním předpokladem pro vzduchem izolované rozvodné zařízení je zajistit izolační vzdálenost mezi živými a neživými (resp. uzemněnými) částmi a to jak pro běžné provozní jmenovité podmínky, tak i pro nestandardní stavy, jako např. přepětové atmosférické i spínací vlnové děje v síti. Při překročení určité hodnoty napětí dojde ke snížení izolačních vlastností plynu a dojde k přeskoku, což se projeví jednak velkým svodovým poruchovým proudem a zhroucením napětím na izolátoru. Proces, při němž

se elektrony osvobozují z molekuly plynu se současnou produkcí kladného iontu, se nazývá *ionizace*. Je-li splněna podmínka ionizace (daná ionizačním napětím), je nastartován lavinový efekt. Ten je popsán Townsendovou teorií či Townsendovým kritériem přeskoku. Toto kritérium je možné vyjádřit jako funkci přeskokového napětí:

$$U_b = \frac{Bpd}{\ln \frac{Apd}{\ln(\gamma^{-1} + 1)}} \quad (1)$$

kde A a B jsou experimentálně zjištěné konstanty typické pro každý plyn, p je tlak a d je vzdálenost elektrodového uspořádání. Obecně pak lze vztah vyjádřit jako funkci:

$$U_b = f(p \cdot d) \quad (2)$$

Tuto závislost obecně nazýváme Paschenovým zákonem či Paschenovou křivkou. Z fyzikálních vlastností plynů a jejich chování dle teorie elektrického výboje lze provést zhodnocení některých plynů. To je uvedeno v následující tabulce.

TABULKA I. VLASTNOSTI NĚKTERÝCH IZOLAČNÍCH PLYNŮ PŘI TEPLOTĚ 20°C A ATMOSFÉRICKÉM TLAKU

	Hustota (g/dm)	Ionizační napětí (V)	Elektrická pevnost (kV/mm)
Air	1,21	15,20	3,20
CO₂	1,84	13,70	2,90
H₂	0,08	15,40	1,90
He	0,17	24,60	1,00
SF₆	6,6	15,90	8,90
O₂	1,33	12,80	2,90

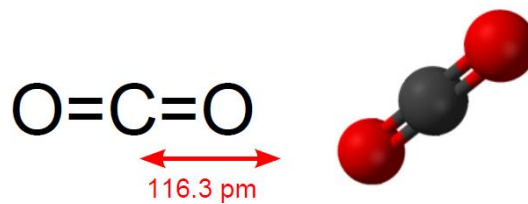
Pro získání přehledu o tom, jak emise jednotlivých plynů přispívají ke skleníkovému jevu z pohledu množství uvolněného do atmosféry, je jejich vliv vyjádřen potenciálem globálního oteplování **GWP** (Global Warming Potential), který účinek daného plynu vyjadřuje jakožto násobek odpovídajícímu účinku plynu CO₂. Důvodem využití plynu CO₂ jako vztažné jednotky je zejména jeho množství v atmosféře a s tím související prokazatelný vliv na globální oteplování. GWP udává míru toho, kolik tepla udrží jednotka daného plynu v atmosféře vzhledem k jednotce CO₂. Z následující tabulky je patrný tlak na sektor elektroenergetiky a omezení množství plynu SF₆. [1, 4]

TABULKA II. GLOBÁLNÍ OTEPLOVACÍ POTENCIÁL GWP PRO NĚKTERÉ SKLENÍKOVÉ PLYNY

Plyn	GWP
N ₂	~ 0
CO ₂	1
N ₂ O	310
SF ₆	~ 23.000
HFC (fluorované uhlovodíky)	10.000 – 12.000
PFC (perfluoruhlovodíky)	6.000 – 10.000
CF ₄ (tetrafluormetan)	6.500

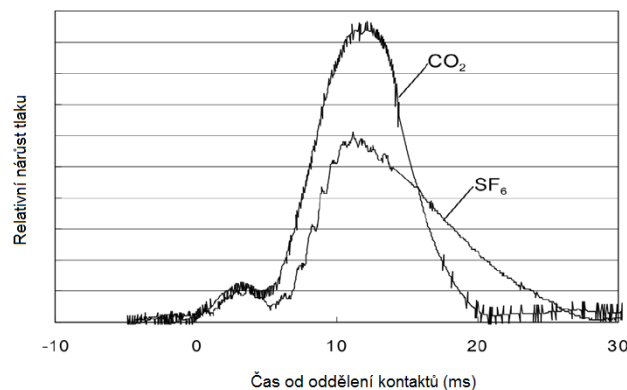
III. MOŽNOSTI POUŽITÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Možné alternativy pro nahrazení plynu SF₆ ve vypínačích a zapouzdřených rozvodnách jsou primárně vymezeny vlastnostmi jako je žádná či minimální toxicita, minimální GWP a ODP (ozone destruction potential) a zachování plynného skupenství i při nízkých teplotách, čemuž odpovídá velké množství ze spektra plynů. Přidáním dalších kritérií jako jsou dostatečné izolační a zhasací vlastnosti, chemická stabilita, nevybušnost a nehořlavost se však výběr evidentně zužuje na variace založené na plynech N₂, O₂ a CO₂. Plyn CO₂ má zhruba třetinovou elektrickou pevnost oproti SF₆, a srovnatelnou se samotným vzduchem (N₂). Další poměrně příznivou vlastností je, že plyn CO₂ setrvává v plynném skupenství při teplotách pod -40°C i při tlacích okolo 1 MPa. Oxid uhličitý tak tvoří vhodnou alternativu k fluoridu sírovému. [1, 4, 5]



Obrázek I. Molekula oxidu uhličitého CO₂ – zobrazení 2D a 3D

Jako alternativu ke konvenčním self-blast vypínačům s SF₆ vyvinula společnost ABB vypínač s označením LTA, který pracuje s plynnou směsí CO₂ + O₂. Navrzení probíhalo tak, aby mělo srovnatelné komponenty a vlastnosti s konvenčními vypínači, označenými jako LTB. Pro úspěšné uhašení elektrického oblouku uvnitř vypínačů je nutné navrhnout zhasací komoru tak, aby v okamžiku průchodu proudu nulovou hodnotou bylo zajištěno maximální ofukování plynem. Protože je však zhasací schopnost plynu CO₂ nižší, je nutné zajistit v případě jeho použití výraznější ofuk. Na následujícím obrázku je zachycen průběh tlaku ve zhasací komoře při vypínání. [1, 2]



Obrázek II. Průběh nárůstu tlaku plynů SF₆ a CO₂ ve zhasací komoře vypínače v průběhu vypínací operace

Strmý nárůst u plynu CO₂ je možné vysvětlit nižší tepelnou kapacitou a vyššímu úbytku napětí na obloukovém sloupci. To znamená kladnou zpětnou vazbu a vlivem vyšších Jouleových ztrát v oblouku zrychluje průběh natlakování. Vyšší napětí je též dobrou vlastností k docílení kratší doby trvání oblouku. Významnou nevýhodou ale tvoří krátké trvání maximálního tlaku a jeho strmý pokles. Uživatelské zkušenosti DSO pilotních nasazení těchto vypínačů ukazují srovnatelné zhasací vlastnosti a provoz téměř bez rozdílů od řady LTB. Zásadním rozdílem je fakt, že pro udržení dostatečné zhasací schopnosti LTA je nutné použití pohonu ústrojí s podstatně větší energií. [2]

IV. G³ – GREEN GAS FOR GRID

Pod obchodním označením g³ (green gas for grid) vstoupil na trh v roce 2015 produkt společnosti Alstom (nyní součást General Electric) tvořený směsí plynů CO₂, N₂, O₂ a produktů s obchodním označením 3MTM a NovecTM 4710. Ty zajišťují homogenitu směsi i pro dlouhé časové období a širší interval okolních teplot. Právě tato teplotní a tlaková závislost, výhodnější pro plyn CO₂, umožňuje zvyšovat hodnotu provozního tlaku u GIS zařízení až na téměř čtyřnásobek atmosférického tlaku (0,4 MPa). Po provedení prototypových a typových zkoušek u výrobce je uvedeno následující: dielektrické vlastnosti jsou na úrovni 85-100% vlastností SF₆, dle okolní provozní teploty, snížení GWP o 98% s širokou možností použití pro zařízení GIS, GIL i zapouzdřené odpojovače. Předpokládá se i využití plynu g³ jako zhášecí technologie pro výkonové self-blast vypínače. V této aplikaci budiž výhodou, že i po tepelném působení oblouku nedochází k rozkladu plynu na toxické nižší molekuly. [3, 4]

Za zásadní technickou „nevýhodu“ lze považovat fakt, že přesné chemické složení plynu g³ tvoří ceněné know-how společnosti a detailní analýza zvenčí je tak velmi obtížná. Podpůrným materiálem ve studiu tedy budiž dostupné obchodní materiály a vědecké příspěvky publikované výrobcem na mezinárodních vědeckých sympoziích.

V. ZÁVĚR

Pro dodržení bezpečnostních požadavků venkovních i vnitřních rozvodných zařízení izolovaných plynem bylo vždy nutné zajistit dostatečnou a bezpečnou izolační vzdálenost. Závěrem je tedy možné říci, že plynem SF₆ nadále zůstává téměř monopolní postavení v energetických aplikacích, zejména díky již zcela propracované metodice nakládání s plynem a v rámci standardizace údržby a diagnostiky osvojené principy. Registrované a v tomto článku zmíněné trendy u některých výrobců však svědčí o mírném posunu priorit. Výsledkem těchto trendů budiž širší portfolio nabízených služeb a určité ztraktivnění energetického mixu i na poli používaných technologií rozvodných zařízení. Pro další studium jednotlivých kapitol či technologií doporučuji nahlédnutí do pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl s přispěním projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-031.

LITERATURA

- [1] STOLLER, P., SEEGER, M., IORDANIDIS, A., NAIDIS, G., *CO₂ as an Arc Interruption Medium in Gas Circuit Breakers*. IEEE Transactions on Plasma Science. Vol. 41, No. 8., 2013.
- [2] PRCHLÍK, M., *Vypínače VVN se zhášecím plynem CO₂*. Příspěvek na konferenci ČK CIRED. Tábor, 2014.
- [3] KIEFFEL, Y., BIQUEZ, F., PONCHON, P., *Alternative Gas To SF₆ For Use In High Voltage Switchgears: g₃*, 23rd International Conference on Electricity Distribution CIRED 2015, Lyon, 2015.
- [4] HOPF, A., BRITTON, J., ROSSNER, M., BERGER, F., *Dielectric strength of SF₆ substitutes, alternative insulation gases and PFC-gas-mixtures*, IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), Baltimore, USA, 2017.
- [5] LAURENC, J., *Přednášky předmětu KEE/TVN*, FEL ZČU v Plzni, 2014.