

ANALÝZA VLASTNOSTÍ SF₆ V ZAPUZDRENÝCH ZARIADENIACH A JEHO OPTIMÁLNE VYUŽITIE S KOMBINÁCIOU CO₂

ANALYSE OF SF₆ PROPERTIES IN ENCAPSULATED EQUIPMENTS AND ITS OPTIMAL UTILIZATION WITH COMBINATION CO₂

*Jozef KÚDELČÍK, **Miroslav GUTTEN

*Katedra fyzikálnych vied, Fakulta prírodných vied, Žilinská univerzita v Žiline, Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: jozef.kudelicik@fpv.utc.sk

**Katedra teoretickej a aplikovanej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Veľký diel, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: gutten@fel.utc.sk

SUMMARY

Because of Sulfur Hexafluoride's excellent physical properties and unparalleled dielectric capabilities it has become the single choice for the electrical utility industry worldwide. This inert, non-toxic gas has excellent cooling, insulating, and arc quenching capabilities in potentially high temperature applications such as electrical breakers.

Sulphur Hexafluoride is wide used in high voltage apparatus because of its excellent dielectric and heat-transfer properties. It is known that the insulation performance of SF₆ is limited, not by its uniform dielectric strength, but by the effects of local field enhancement leading to the formation of corona discharge. For practical requirement, the research is aimed at an SF₆-based gas mixture under the non-uniform field conditions associated usually with the presence of corona formation. It is clear then that the understanding of the mechanism of corona discharge formation in SF₆/buffer gas mixture is fundamental for design of improved gaseous dielectrics. We presented the fundamental characteristics and properties of SF₆ mixtures with N₂ and CO₂.

The present paper describes an experimental investigation into the nature of physical processes leading to negative corona current pulse in SF₆ mixture with CO₂ buffer gas. Current waveforms of initial stages of negative corona discharge formation in a short negative point-to-plane gap have been measured with nanosecond time resolution in the mixtures CO₂+SF₆ at the pressures 50 kPa and for various contents of SF₆ and overvoltages. From the conclusion of this article is evident, that current pulses in this mixture with low concentration of SF₆ are described using the streamer-based theory.

Keywords: diagnosis, streamer, leader, breakdown

1. ÚVOD

Posledné polstoročie prinieslo v chémii mnoho prevratných technológií, ktoré tak učinili dostupnými látky skôr považované len za vedeckú zaujímavosť. Nie inak je tomu i v prípade hexafluoridu síry, či fluoridu sírového, SF₆. Ullmanova Encyklopédia technickej chémie, vydaná v päťdesiatych rokoch, sa o tejto látke zmieňuje jedinou vetou a zaoberá sa len toxicitou ďalších fluoridov a oxid-fluoridom síry. Avšak zakrátko na to sa táto látka dočkala výroby i uplatnenia v technike vysokého napätia pre jej významné chemické a elektrické vlastnosti.

V súčasnosti sa výroba SF₆ odhaduje zhruba na 6000 ton ročne a okrem využitia vo vysokonapäťovej technike sa používa pri leptaní polovodičov, v metalurgii, pri výrobe niektorých plastov, ako náplň pre pneumatiky lietadiel a závodných áut a pod.

Ako konkrétny príklad využitia fluoridu sírového je vhodné spomenúť výrobu zapuzdreného rozvádzača 123 kV s izoláciou SF₆ od Brnenskej firmy IVEP, a.s. (obr. 1) [1].

Jeho malé rozmery a možnosť pripojenia káblom alebo zapuzdreným vedením ho predurčujú pre použitie v elektrických staniciach budovaných priamo vo veľkých priemyslových podnikoch a vo vnútri veľkých mestských aglomerácií. Rozvádzač je riešený ako stavebnicová sústava prvkov (prístrojové

transformátory, káblové koncovky, spojovacie diely, prípojnice,...) umiestnených v hliníkových puzdách.



Obr. 1 Príklad zapuzdreného rozvádzača 123 kV s izoláciou SF₆

Fig. 1 Example of gas insulated switchgear 123 kV

Pre správnu funkciu zariadenia sú rozhodujúce hustota a tlak plynu. Keďže tlak plynu sa mení s teplotou, všetky oddelené plynové priestory sú vybavené teplotne kompenzovaným snímačom tlaku. Nárast tlaku plynu SF₆ v zapuzdrení je obme-

dzený deštruktívnymi poistkami a naopak, pokles tlaku je signalizovaný dvoma bezpečnostnými stupňami.

2. ANALÝZA VLASTNOSTÍ SF₆ V ZAPUZDRENÝCH ZARIADENIACH

Zistilo sa, že uvedená látka má niekoľkonásobne lepšie izolačné vlastnosti než vzduch. To umožňuje podstatne znížiť vzdialenosti medzi vodičmi i ich zakriveniami, a tým zmenšiť celkové rozmery zapuzdrených elektrických zariadení. V princípe ide o náplne stacionárnych zariadení (rozvodné skrine a transformátory), alebo o pracovné náplne výkonných vypínačov.

V zariadeniach prvého typu nie je fluorid síry v štandardnom režime vystavený výbojom a jeho emisia do okolia môže byť spôsobená len druhotne, a to zničením zariadenia v dôsledku havárie na strane odberateľa energie. Naproti tomu, v spínačoch sa priamo využívajú dobré schopnosti SF₆ zhasť iskrové a oblúkové výboje, čo je však sprevádzané vznikom vedľajších škodlivých produktov.

Nevýhodami použitia tejto látky v zapuzdrených zariadeniach ostáva jej vysoká cena a vplyv na živé organizmy a životné prostredie.

Fluorid síry je síce nejedovatý, avšak nepodporuje dýchanie. Jeho nebezpečie spočíva vo vysokej hustote, v dôsledku čoho sa ľahko zhromažďuje pri podlahe v nebezpečnej koncentrácii [2]. Pri jeho štiepení v elektrických výbojoch je nielen korozívny, ale i veľmi toxický. Možnosť havárie výkonných vypínačov obsahujúcich tento plyn preto vzbudzuje isté, i keď trochu nadsadené obavy u ich užívateľov.

Celková cena vysokonapäťových zariadení naplnená týmto plynom je podstatne vyššia ako pri bežných vzduchových či olejových zariadeniach. Taktiež prevádzky zariadení naplnených plynom SF₆ je potrebné sledovať snímačmi kvôli vplyvu na ľudský organizmus a vplyvu na ozónovú vrstvu, či vytváraní skleníkového efektu.

Uvedené nevýhody je možné **eliminovať pridaním niektorých prímiesí**, ktoré umožnia znížiť nielen cenu izolačnej látky, ale aj zvýšiť jej izolačné schopnosti.

Nastáva však problém, v akom pomere je potrebné optimálne zvýšiť percentuálne zastúpenie týchto prímiesí v plyne SF₆ pre použitie v zapuzdrených zariadeniach. Je preto potrebné vykonať detailné experimentálne merania tvaru prierazného napätia pri rôznych prímiesiach, ktoré by tento problém odstránili.

3. CHARAKTERISTIKA PRIERAZU A PROBLEMATIKA PRIDÁVANIA PRÍMESÍ DO SF₆

3.1. Charakteristika prierazu

Elektrický prieraz - prepojenie krátkého medzielektródového priestoru plynným vodivým kanálom – leaderom nastáva v niekoľkých fázach.

Počiatkové štádiá rozvoja výboja sú dané streamerovským mechanizmom [3]. Základným predpokladom streamerovho mechanizmu je vznik dostatočne veľkej elektrónovej lavíny (rádu 10⁸), v ktorej existujú značné priestorové náboje – zárodočná plazma. V miestach na okrajoch zárodočnej oblasti plazmy, kde je vysoká intenzita poľa, vzniká lavínová ionizácia, v dôsledku čoho sa okraje plazmovej oblasti začnú šíriť smerom k elektródam ako ionizačné vlny s rýchlosťou rádu až 10⁶ m.s⁻¹ a oblasť plazmy nadobúda tvar úzkeho kanála (primárneho streameru). Ionizačné procesy počas šírenia streameru nie sú viazané na "pomalú" emisii sekundárnych elektrónov z katódy, ale na existenciu nízkej koncentrácie "predionizačných" elektrónov v objeme plynu tesne pred čelom streamera. S približovaním streameru ku katóde pole pred jeho hlavou silne rastie, čo sa prejavuje nárastom prúdu a v momente kontaktu streameru s katódou sa pole stáva takým silným, že počet elektrónov vyrazených z katódy extrémne narastie a pozorujeme prúdové maximum [4, 5].

V ďalšej fáze po dopade primárneho streameru štartuje z katódy v opačnom smere k anóde sekundárny streamer - leader, kanál silne ionizovanej plazmy. Stupeň ionizácie jeho kanálu je o niekoľko rádov vyšší ako kanálu primárneho streameru. Vysoký stupeň ionizácie je spojený s dostatočnou vodivosťou kanálu na prenos potenciálu katódy sekundárnym streamerom, čo má za následok existenciu silného gradientu poľa v jeho hlave. Po kontakte leaderu s anódou nastáva prieraz za pretekania veľkých prúdov a následného prehrievania kanálu za vzniku iskry, ak je zdroj napätia dostatočne tvrdý.

3.2. Problematika pridávania prímiesí do SF₆

V súčasnosti je snaha za účelom minimalizácie rozmerov vysokonapäťových zariadení nahradiť vzduch ako izolačné médium inými plynmi s vyššou dielektrickou pevnosťou. Medzi takéto plynné dielektriká s vhodnými vlastnosťami, vyšším prierazným napätím (3 násobné oproti vzduchu pri normálnych podmienkach) a s vysokým účinným záchytným voľných elektrónov patrí predovšetkým SF₆. Elektróny s nízkou energiou sú zachytávané veľmi efektívne v SF₆ aj pri izbovej teplote (300 K) za vzniku SF₆⁻, prípadne iných fragmentov ako SF₅⁻ a F₅⁻.

Zlepšené dielektrické vlastnosti majú zmesi SF₆ s iným nosným ("buffer") plynom, ako N₂, O₂ a CO₂. Spomenuté binárne zmesi sú veľmi dobrým izolačným médium, kde nosný plyn primárne znižuje energiu voľných elektrónov a druhý plyn SF₆ zachytáva tieto elektróny elektrónovým záchytným. Tieto zmesi si vďaka vynikajúcim dielektrickým a zhasiacim vlastnostiam nachádzajú dôležité uplatnenie v technike vysokých napätí. Z praktického hľadiska má zmes SF₆ so spomenutými nosnými plynmi aj iné vhodné vlastnosti: Po prvé, pre daný prevádzkový tlak môžu

byť znížené celkové náklady zariadenia v závislosti od ceny použitého nosného plynu a po druhé, menší obsah plynu SF₆ ako jedného zo "skleníkových plynov". Pre ďalšie zhodnotenie využitia spomenutých dielektrických zmesí sa zameriame len na porovnanie zmesí: N₂+SF₆ a CO₂+SF₆.

Prierazové charakteristiky zmesí SF₆ s N₂ a CO₂ sú veľmi citlivé na percentuálnu prímies SF₆ v danom plyne. Hodnoty záporného pierazného napätia (ZPN) pre zmes N₂+SF₆ s nízkou hodnotou prímiesi (<1% SF₆) sú nižšie ako v čistom dusíku pri rovnakých experimentálnych podmienkach [6]. Tento efekt je v krátkych medzielektródových vzdialenostiach tlakovo závislý a evidentný len pri tlakoch väčších ako je atmosferický. V prípade veľkých vzdialeností elektród pokles ZPN pozorujeme už pri atmosferickom tlaku. So zvyšovaním prímiesi do 5 % SF₆ je hodnota pierazného napätia konštantná, alebo mierne klesá. Ďalším zvyšovaním prímiesi SF₆ v nosnom plyne hodnota ZPN už len systematicky rastie po hodnotu ZPN pre čistý SF₆.

V zmesi CO₂+SF₆ pozorujeme iný efekt. Pri tlakoch do 0,1 MPa rastie hodnota ZPN s narastajúcou hodnotou prímiesi SF₆ v danej zmesi. Pri subatmosferických tlakoch so zvyšovaním prímiesi SF₆ do 10% hodnota ZPN rýchlo narastá. Pre prípad 10 % - 20% SF₆ je hodnota pierazného napätia dokonca väčšia ako pre čisté SF₆ pri tých istých experimentálnych podmienkach [6]. S ďalším zvyšovaním prímiesi SF₆ do 70 % v CO₂ hodnota ZPN mierne klesá a ďalším nárastom prímiesi potom stúpa k hodnote ZPN rovnakej ako má SF₆.

Charakteristika pierazu v zmesi N₂+SF₆ je spojená so zvýšenou pravdepodobnosťou sformovania leaderu, ktorý nepozorujeme v čistom N₂. Formovanie leaderu v danej zmesi pre krátke medzielektródové vzdialenosti nastáva len pri vysokých tlakoch. Pri väčších vzdialenostiach elektród môžeme tento efekt pozorovať aj pri nižšom tlaku. Na druhej strane, leaderov pieraz bol pozorovaný aj v čistom CO₂. Pridanie SF₆ do tohto plynu nemá potom taký vplyv na formovanie a šírenie sa leaderu ako v dusíku.

E/N [Td]	$\bar{\alpha}/N$ (N ₂ +10% SF ₆)	$\bar{\alpha}/N$ (CO ₂ +10%SF ₆)
180	-1 x 10 ⁻²¹ m ²	0
235	0	1 x 10 ⁻²¹ m ²
300	1.15 x 10 ⁻²¹ m ²	1.75 x 10 ⁻²¹ m ²

Tab. 1 Efektívny ionizačný koeficient ($\bar{\alpha}/N$) daných zmesí pre niektoré hodnoty redukovaného elektrického poľa (E/N) [1 Td = 10⁻¹⁷ V cm²]

Tab. 1 Effective ionization coefficients ($\bar{\alpha}/N$) of given mixtures for some values of the density-reduced field strength (E/N) [1 Td = 10⁻¹⁷ V cm²]

Z porovnania v literatúre [7, 8] pre efektívne ionizačné koeficienty $\bar{\alpha}/N$ (rozdiel koeficientu ionizácie a záchytu) ako funkcie redukovaného elektrického poľa E/N pre rôzne percentuálne

prímiesi SF₆ v N₂ a CO₂ vyplýva, že hodnoty $\bar{\alpha}/N$ pre zmes N₂+SF₆ sú nižšie ako pre zmes CO₂+SF₆ pri rovnakej hodnote E/N. Tab. 1 nám poskytuje názornejší prehľad hodnôt $\bar{\alpha}/N$ pri daných hodnotách redukovaného elektrického poľa. Pozorovaný rozdiel je spôsobený hlavne tým, že ionizačná energia pre N₂ je väčšia oproti CO₂ asi o 1.81 eV.

Vplyv prímiesi SF₆ v CO₂ a N₂ na pieraz je rozdielny a v podstatnej miere závislý na ionizačnej energii a pohyblivosti daných plynov. Energia potrebná na ionizáciu CO₂ (≈ 13.77 eV) je menšia ako v prípade SF₆ (≈ 15.32 eV). Pridanie SF₆ do CO₂ nemá výrazný vplyv na energetické elektróny ionizujúce CO₂, keďže ich energia nie je dostatočná na ionizáciu SF₆. Hlavný vplyv SF₆ spočíva v silnom záchyte nízkoenergetických elektrónov za vzniku záporného priestorového náboja, čo celkovo vplyva na celý proces ionizácie a rozvoja výboja. Taktiež záporné ióny SF₆ majú väčšiu molovú hmotnosť aj polomer oproti kladným iónom CO₂, čiže pomalšie driftujú a difundujú. Toto má za následok pokles priemeru korónového výboja, dĺžky streameru, a tým poklesu jeho dĺžkovej hustoty. Výsledný efekt týchto spomenutých procesov má za následok zvýšenie ZPN. Pri určitých koncentráciách CO₂ prevládne počet ionizovaných molekúl a vďaka ich väčšej pohyblivosti zas rastie aj dĺžková hustota streameru, čo nepriamoúmerne spôsobuje pokles ZPN [9]. To vysvetľuje, prečo existuje optimálny pomer zmesí, pri ktorom je ZPN SF₆ menšie ako v zmesi CO₂+SF₆ (50/50) [9]. Pri N₂, ktorého ionizačná energia (≈ 15.58 eV) je väčšia ako SF₆, nepozorujeme optimálny pomer zmesí, pri ktorom by bolo ZPN SF₆ menšie ako pre určitú zmes N₂+SF₆. Zo spomenutých faktov vyplýva, že efekt N₂ na pierazné napätie v zmesi s SF₆ je menší ako vplyv CO₂. CO₂ má dva faktory ovplyvňujúce hodnotu pierazného napätia, a to pohyblivosť a ionizačnú energiu. V prípade dusíka je to len jeden efektívny faktor, a to pohyblivosť.

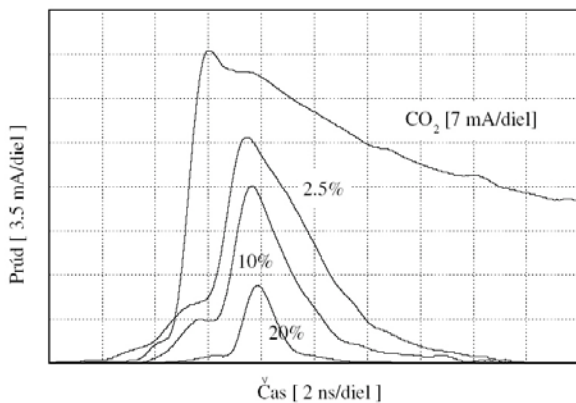
Pre väčšie využívanie CO₂ v aplikáciách a jeho lepšie vlastnosti sme sa v experimente zamerali len na jeho zmes s prímiesou SF₆. Základy fyzikálneho pochopenia výboja, pierazu, je najvýhodnejšie prebrať si v hrotovo – rovinnom elektródovom systéme, pretože táto konfigurácia najlepšie charakterizuje vzniknuté nehomogenity elektrického poľa vo vysokonapäťových zariadeniach, ktoré sú hlavnou príčinou rozvoja elektrického výboja. Keďže je známe, že kritické javy sú na katóde, zamerali sme sa na pochopenie mechanizmu zápornej koróny.

4. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY A DISKUSIA

Použitý elektródový systém bol v konfigurácii hrot - rovina (polomer krivosti hrotu $r_0 = 0,1$ mm, vzdialenosť elektród $S = 12$ mm). Elektródový systém bol umiestnený v duralovej vákuovej nádobe pripojenej na vákuovú aparaturu. Výbojový prúd a priebeh aplikovaného vysokého napätia boli merané digitálnym osciloskopom s rýchlosťou vzorko-

vania 2 GSa/s. Merania časového priebehu prúdu výboja a napätia na elektródach sme uskutočnili v statickom režime (t.j. bez prietoku plynu) v plynoch s čistotou 99,9 percenta. Podrobný popis experimentálneho zariadenia a metodiky merania možno nájsť v [4, 10].

Na obr. 2 sú zobrazené časové priebehy prvého prúdového impulzu pri tlaku 50 kPa a rovnakom napätí $U = 6$ kV v závislosti od prímеси SF₆ v nosnom plyne CO₂. Z obrázku vyplýva, že narastajúca prímесь SF₆ má za následok výrazný pokles maxima impulzu a skrátenie šírky prúdového impulzu. Pre 2,5 až 10 % prímеси SF₆ pozorujeme formovanie schodu pred prúdovým maximom. Vo všeobecnosti si prúdový impulz zachováva so zvyšovaním prímеси svoj tvar, t.j. rýchly nárast prúdu do maxima a rýchly pokles. Nepozorujeme vznik dvoch prúdových maximí ako pre zmes N₂+SF₆ [10]. Zápalné napätie pre čisté CO₂ je 4 kV, pre 2,5 % prímеси SF₆ (10 %, 20%) je 4,5 kV (4,8 kV, 5 kV).



Obr. 2 Tvary prúdových impulzov v závislosti od prímеси SF₆ k základnému plynu – CO₂ pri napätí 6 kV a tlaku 50 kPa

Fig. 2 Development of current pulses in dependence on addition SF₆ in buffer gas CO₂ at the voltage 6 kV and the pressure 50 kPa

Základné charakteristiky prvých prúdových impulzov v CO₂ majú podobné črty s prúdovými impulzmi v N₂ [10]. Na základe prác Černáka [3, 11] a podobných vlastností spomenutých plynov môžeme tvrdiť, že tvar prvého prúdového impulzu v zmesi CO₂ sa dá popísať pomocou streamerovho mechanizmu.

Prúdový impulz v čistom CO₂ (obr. 2) má jednoduchý tvar. Rýchly rast prúdu do maximálnej hodnoty je spôsobený šírením streameru ku katóde. Po kontakte streameru s katódou pozorujeme prúdové maximum a po ňom nasleduje pomalý pokles prúdu spôsobený neskorším príchodom kladných iónov na katódu. Pridaním elektronegatívnej prímеси SF₆ do CO₂ sa znižuje amplitúda prúdového impulzu a výrazne sa skraca jeho šírka. Prímесь SF₆ vedie k tvorbe záporného priestorového náboja, čo má negatívny vplyv na rozvoj streameru a jeho náboj (pokles jeho dĺžkovej hustoty). Pokles indukovaného prúdu

od menej energetického streameru je spojený so znížením amplitúdy maxima prúdového impulzu. Tento proces zvyrazňuje vplyv fotoemisie a formuje sa schod na nábehovej hrane impulzu (obr. 2). Skutočnosť, že sa jedná o vplyv fotoemisie, dokazuje zmena výšky schodu na nábehovej hrane vplyvom zmeny povrchu katódy [10]. Pre merané zmesi nárast prímеси SF₆ zvyšuje prierné napätie, no počiatočné štádiá rozvoja výboja sa naďalej riadia podľa streamerovského mechanizmu.

5. ZÁVER

Tvory prúdových impulzov záporného korónového výboja pre merané prímеси SF₆ v zmesiach CO₂+SF₆ pri danom napätí možno popísať pomocou streamerovho mechanizmu.

Prímесь elektro-negatívneho plynu SF₆ v CO₂ spôsobuje nárast zápalného napätia a vo výraznej miere ovplyvňuje amplitúdu prúdových impulzov. Vplýva na rozvoj a šírenie sa streameru silným záchytnom elektrónov za vzniku záporného priestorového náboja. Hodnoty maxima prúdového impulzu spôsobené kontaktom streameru s katódou sú potom nižšie v dôsledku zníženia náboja streameru.

Z experimentálnej štúdie počiatočného štádia výboja vyplýva, že sa izolačná hladina zmesi CO₂+SF₆ so zvyšovaním prímеси SF₆ zlepšuje (obr. 2). Hodnoty výbojového prúdu sú nižšie, čiže možný vzniknutý výboj má menší vplyv na poškodenie vysokonapäťového zariadenia a aj regenerácia izolačného média do pôvodného stavu je rýchlejšia.

Pri zvyšovaní prímеси SF₆ v CO₂ pri konštantnom napätí je možno stále popísať rozvoj výboja streamerovským mechanizmom. Pri určitej hladine prímеси SF₆ má daná zmes lepšie prierné vlastnosti ako čisté SF₆. V praxi to znamená, že na dosiahnutie kvalitnej izolačnej zmesi vo VN zariadeniach by stačilo len určité % plynu SF₆ z celkovej náplne a ostatné by mohlo pokryť lacné CO₂.

LITERATÚRA

- [1] http://www.ivep.cz/_pdf/_ZRNG.pdf
- [2] Vondrák, J., Sedlaříková, M., Liedermann, K.: Fluorid sírový, jeho vlastnosti a použití, Chemické listy 95, 791-795, Praha 2001
- [3] Černák, M., Hosokawa, T., Odobina, I.: Experimental confirmation of positive-streamer-like mechanism for negative corona current pulse rise, J. Phys. D 26, 607-618, (1993)
- [4] Kúdělčík, J., Zahoranová, A., Choma, K., Černák, M.: Negative Corona Current Pulses in SF₆ – Air Mixtures, Contrib. Plasma Phys. 42, 546-555 (2002)
- [5] Zahoranová, A., Černák, M., Dindošová, D.:

- Negative corona discharge in oxygen, Hakone VII, Nemecko 2000
- [6] Safar, Y.A., Malik, N.H., Qureshi, A.H.: Impulse breakdown of negative rod-plane gaps in SF₆-N₂, SF₆-air, and SF₆-CO₂ mixtures, IEEE Trans. on Electr. Insul. 17, 441-450 (1982)
- [7] Hernández, J.L., Basurto, E., Urquijo, J.: Elektron transport and swarm parameters in CO₂ and its mixture with SF₆, J. Phys. D: Appl. Phys. 35, 2264-2269, (2002)
- [8] Hernández, J.L., Urquijo, J.: Pulsed Townsend measurement of elektron transport and ionization in SF₆-N₂ mixtures, J. Phys. D: Appl. Phys. 36, L51-L54, (2003)
- [9] Qiu, Q., Chalmers, D.I., Coverty, P.: A study of alternative insulating gases to SF₆, J. Phys. D: Appl. Phys. 32, 2918 – 2922, (1999)
- [10] Kúdelčík, J.: Mechanizmus záporného korónového výboja v zmesiach SF₆ pri tlakoch blízkych atmosférickému, PhD. práca, Bratislava 2003
- [11] Černák, M., Hosokawa, T.: Negative corona current pulses and cathode sheath instabilities in short point-plane gap in CO₂, Austral. J. Phys. 45, 193-219, (1992)

BIOGRAPHY

Jozef Kúdelčík was born on 31.1.1975. In 1998 he graduated (Mgr.) at the department of Plasma physics of the Faculty of Mathematic and Physics at Komenius University in Bratislava. He defended his PhD. in the field of first stage of breakdown at near atmospheric pressure in 2003; his thesis title was "Mechanism of negative corona discharge in the mixtures with SF₆ near atmospheric pressure". Since 1998 he has been working as a teacher at the Department of Physic at University of Žilina. His scientific research is focuses on discharge mechanism and now he is focusing on discharge in dielectric, as water or oil.

Miroslav Gutten was born on 03.02.1972. In 1997 he graduated (Ing.) with distinction at the department of Electric Traction and Power Engineering of the Faculty of Electrical Engineering at University of Žilina. In 2002 he defended his PhD. in the field of short-circuits currents in the electric traction; his thesis title was "The dimensioning of electric equipment in the traction feed stations concerning the effects of short-circuit currents". Since 1999 he has been working as a assistant lecture at the Department of Theoretical and Applied Electrical Engineering at University of Žilina.