

Jaroslav Džmura, Jaroslav Briančin, Jaroslav Petráš

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

## Skúmanie tuhých exhalátov zachytených v letnom a zimnom období

**Abstrakt.** Tento príspevok sa zaoberá inovatívnym testovaním tuhých exhalátov, ktoré ovplyvňujú elektrickú pevnosť izolačných systémov a tým znižujú spoľahlivosť prevádzky elektrických zariadení. Analýza chemických vlastností exhalátov odhalí ich vplyv na izolačné systémy, čo umožní návrh inovatívnych izolačných systémov s vylepšenými vlastnosťami s cieľom zvýšiť životnosť a spoľahlivosť elektrotechnických zariadení. Analýzou sa dokáže, že spády zozbierané v letnom a zimnom období majú rôzne vlastnosti. Príspevok popisuje metodiku zberu exhalátov, meranie ich zloženia a chemický rozbor.

**Kľúčové slová:** tuhé exhaláty; metodika zberu tuhých exhalátov; analýza chemického zloženia.

**Abstract.** This paper deals with innovative testing of solid fumes that affect the electrical strength of insulation systems and thus reduce the reliability of electrical equipment operation. Analysis of the chemical properties of the exhales will reveal their impact on insulation systems, allowing the design of innovative insulation systems with improved properties to enhance the life and reliability of electrical equipment. The analysis shows that the fumes collected in summer and winter have different properties. The paper describes the methodology of collecting pollutants, measuring their composition and chemical analysis. **(Investigation of solid fumes captured in summer and winter)**

**Keywords:** solid air pollutants; methodology of collecting pollutants; chemical analysis.

### Úvod

Vonkajší izolačný systém sa má navrhovať tak, aby neboli potrebné ďalšie prevádzkovo technické opatrenia a aby nebolo potrebné vypínať elektrické zariadenia častejšie, ako si vyžaduje bežná údržba [1, 2]. Pre závesné izolátory vonkajších vedení sa nepredpokladá čistenie počas celej doby riešenia. Pre prístrojové izolácie sa predpokladá čistenie 1-krát ročne, 1-krát za 5 rokov alebo vôbec. Pri vonkajších vedeniach sa používa ako trvalé opatrenie pred elektrickým prierazom preizolovanie, to znamená, že izolačný systém je navrhnutý na vyššie napätia, ako v skutočnosti budú použité [3].

Izolačné systémy vonkajších elektrických zariadení sa môžu nachádzať v oblastiach s rôznym stupňom znečistenia. Existujú dva základné typy znečistenia povrchu izolátorov:

- Typ A – na povrchu izolátora sa usadzuje pevné znečistenie, ktoré obsahuje rozpustnú a nerozpustnú zložku.
- Typ B – na povrchu izolátora sa usadzuje tekutý elektrolyt s veľmi malým množstvom nerozpustných zložiek.

Pri návrhu vonkajších izolačných systémov je potrebné vedieť v akej oblasti znečistenia bude izolačný systém umiestnený a je vhodné vedieť aj o aké znečistenie sa jedná [4]. To znamená je vhodné vedieť chemické a elektrické vlastnosti znečisťujúcich látok.

V ďalších častiach príspevku sa budeme venovať zberu a analýze znečisťujúcich látok z ovzdušia.

### Metodiky zberu pevných exhalátov z ovzdušia

Zber pevných exhalátov v ovzduší sa realizuje na základe normy PNE 33 0405-1 [5].

### Metodika vyhodnotenia spádu

Princíp tejto metódy je nasledovný. Prašný spád sa zachytáva do nádoby z polyetylénu s objemom cca 1 liter. Horný vnútorný priemer nádoby je 100 mm. Sedimentačné nádoby sa umiestňujú v staniciach alebo v niektorých dôležitých bodoch vedenia. Každé meracie miesto je osadené 2 až 3 sedimentačnými nádobami, ktoré sa umiestňujú vo výške 2 m nad zemou do držiakov a nechajú sa vo vyšetrovanom prostredí po dobu minimálne 4 týždne.

Pri ich umiestnení je potrebné brať do úvahy to, aby sa do nádob nedostalo znečistenie spláchnuté dažďom z konštrukcií, v blízkosti ktorých sú nádoby umiestnené.

Obsah všetkých sedimentačných nádob z meraného miesta sa kvantitatívne prevedie do jednej alebo viacej predom odvážených odparovacích sklenených misiek a suší sa v sušičke pri teplote 40°C do úplného vysušenia. Po vychladnutí sa misky so spádom zväžia a po odčítaní hmotností prázdnych misiek sa získa celkové množstvo spádu  $S_c$  (mg/cm<sup>2</sup>deň).

Filtráciou sa oddelia nerozpustné látky od rozpustných. Na filtráciu sa používa papierový filter, ktorý sa predom namočí v destilovanej vode, vysuší sa pri teplote 40°C, nechá sa v sušičke schladiť na konštantnú hmotnosť a zväžia sa. Po filtrácii zostanú na filtri nerozpustné látky. Filter s nerozpustnými látkami sa suší pri teplote 40°C, nechá sa schladiť na konštantnú hmotnosť a zväžia sa. Odčítaním hmotnosti filtra pred filtráciou dostaneme celkové množstvo nerozpustných látok v sedimente. Hmotnosť rozpustných látok  $S_r$  (mg/cm<sup>2</sup>deň) sa stanoví odčítaním hmotnosti nerozpustných látok od celkového množstva spádu.

Získaný filtrát rozpustných látok sa nechá vysušiť pri teplote 40°C a zo sušiny sa pripraví 0,2% roztok v destilovanej vode a zmeria sa jeho merná elektrická vodivosť a teplota.

Získaná hodnota vodivosti sa prepočíta na mernú elektrickú vodivosť pri teplote 20°C podľa vzťahu:

$$(1) \quad \sigma_{0,2\%}(20) = \sigma_{0,2\%}(\theta) \cdot [1 - b \cdot (\theta - 20)]$$

Kde

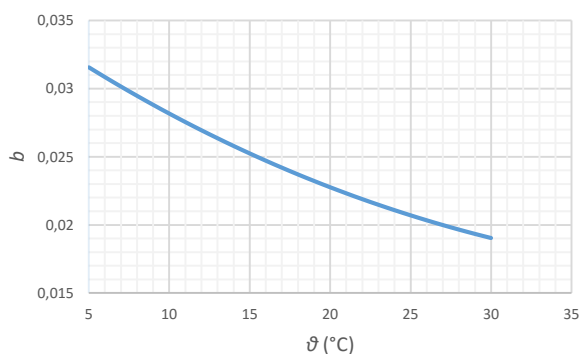
$\sigma_{0,2\%}(\theta)$  merná elektrická vodivosť 0,2% roztoku rozpustných látok pri teplote  $\theta$ °C ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

$\sigma_{0,2\%}(20)$  merná elektrická vodivosť 0,2% roztoku rozpustných látok pri teplote 20°C ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

$\theta$  teplota roztoku v °C

$b$  činiteľ, ktorý závisí od teploty  $\theta$ , a získa sa zo vzťahu (2), prípadne z grafu na obrázku 1.

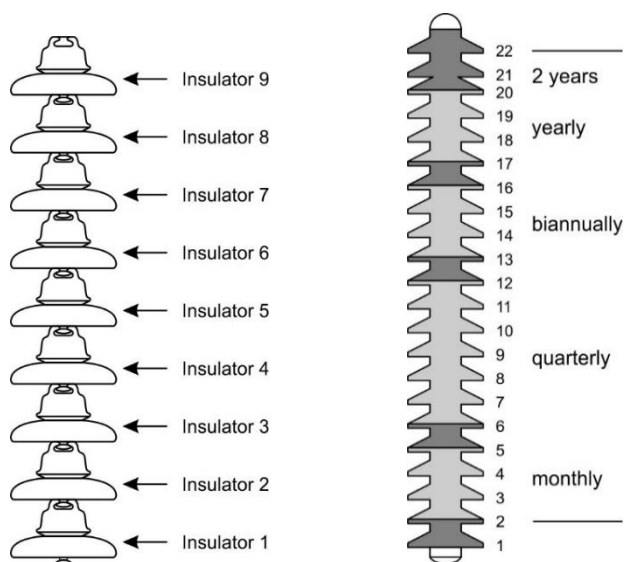
$$(2) \quad b = -3,200 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^3 + 1,032 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 - 8,272 \cdot 10^{-4} \cdot \theta + 3,544 \cdot 10^{-2}$$



Obr.1. Korekcia rozpustnosti vzhľadom na teplotu

### Metodika podľa IEC 60815-1

Stupeň znečistenia je možné určiť na základe merania ESDD (ekvivalentná hustota nánosov solí) a NSDD (hustota nánosov nerozpustných látok), ktorá sa vykoná na referenčnom izolátore pochádzajúcom z prevádzky alebo zo skúšobného stanovišťa.



Obr.2. Rozdelenie povrchu izolátorov na meranie znečistenia

Naviac správna voľba izolátora, na ktorom sa vykonáva meranie ESDD a NSDD umožňuje získať informácie pre priame stanovenie požiadaviek na povrchovú dráhu izolátora. Niekedy je užitočné urobiť chemický rozbor nečistôt.

Na určenie stupňa znečistenia daného stanovišťa sa zvyčajne používa reťazec 7 referenčných izolátorov (palička-panvička) alebo na potlačenie okrajových efektov 9 referenčných izolátorov, prípadne tyčový izolátor s minimálne 14 strieškami. Izolátor, ktorý nie je pod napätím, je vhodné umiestniť čo najbližšie k pozíciám izolátorov pod napätím, ktoré sú na vedení alebo v elektrickej stanici.

Každý izolátorový disk (sklenený) alebo strieška (porcelánový) by mali byť monitorované v pravidelných intervaloch. Ako príklad je na obrázku 2 uvedený postup monitorovania závesu s tanierovými izolátormi a tyčový izolátor s 22 strieškami.

### Zber pevných exhalátov z ovzdušia

Na zber spádov boli zvolené tri lokality s najväčším znečistením V každej zvolenej lokalite boli umiestnené tri sedimentačné nádoby. Jednalo sa o polyetylénové nádoby s objemom 1,5 l a priemerom 17 cm. Všetky nádoby boli umiestnené v elektrických staniách aby bolo predídene

nepovolennej manipulácii s nádobami alebo ich prípadnému poškodeniu, či zničeniu. Nádoby v ES taktiež bolo potrebné vhodne umiestniť, aby nebránili obsluhu pri práci. Taktiež je potrebné aby zberné nádoby neboli v blízkosti objektov ako sú budovy, elektrické stožiare alebo jednotlivé vodiče, pretože by mohlo dôjsť k znehodnoteniu merania vplyvom rôznych nečistôt, ktoré sa zachytávajú na tieto miesta a v dôsledku počasia by sa mohli dostať do jednotlivých nádob. Preto sa jednotlivé nádoby zachytávajú pomocou objímok a oddialené od danej konštrukcie sú pomocou závitovej tyče.



Obr.3. Umiestnenie zbernej nádoby v ES

### Analýza zozbieraných vzoriek

Obsah, ktorý bol zachytený v jednotlivých nádobách bol následne meraný v laboratóriu. Postup merania je spracovaný v nasledujúcich krokoch a je spoločný pre letný a zimný zber:

Meranie začalo sušením obsahu jednotlivých nádob v peci pri teplote 40°C. Do vysušených vzoriek spádov v nádobách bola naliata destilovaná voda, aby došlo k lúhovaniu vysušenej vzorky. Pomer destilovanej vody bol zvolený tak, aby sa rozpustili všetky rozpustné časti danej vzorky. Vzorka sa nechala lúhovať približne 60 minút.

Po vylúhovaní nasledovala filtrácia. Po odfiltrovaní boli filtračné papieriky s nerozpustnou časťou vzorky a misky s rozpustnou časťou vzorky opäť vysušené v peci. Po vysušení rozpustnej a nerozpustnej časti vzorky boli jednotlivé zložky zvážené a vypočítané hmotnosti rozpustnej a nerozpustnej časti vzorky.

Pridaním potrebného množstva destilovanej vody bol pripravený 0,2% roztok rozpustných látok. Následne prebehlo meranie vodivosti takto pripraveného roztoku. Výsledky z merania sú v tabuľke 1 a tabuľke 2.

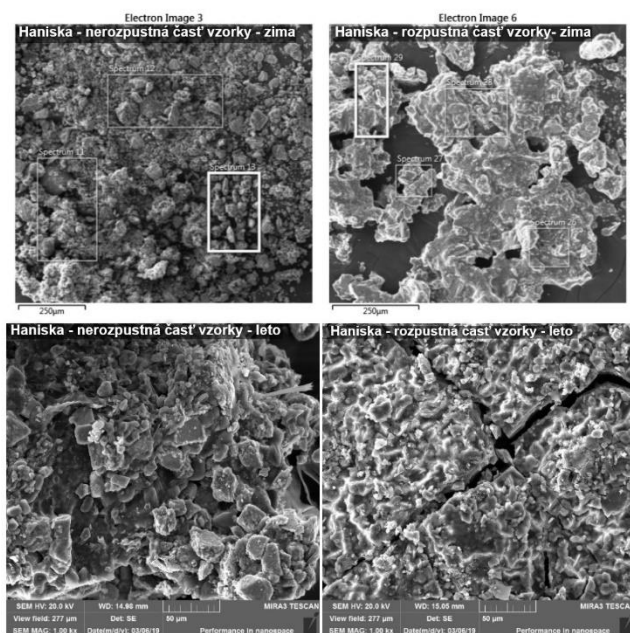
Tabuľka 1. Vodivosti roztokov – zimný zber [6]

	Moldava	Vranov nad Topľou	Haniska
Doba zberu	101 dní	101 dní	101 dní
Celkové množstvo zachyteného spádu [g]	0,130	0,190	0,796
Množstvo rozpustných látok [g]	0,058	0,055	0,214
$\sigma_{0,2\%}$ [ $\mu\text{S/cm}$ ]	2003	2090	2277

Tabuľka 2. Vodivosti roztokov – letný zber [6]

	Moldava	Vranov nad Topľou	Haniska
Doba zberu	176 dní	176 dní	176 dní
Celkové množstvo zachyteného spádu [g]	2,532	1,682	1,231
Množstvo rozpustných látok [g]	0,146	0,119	0,109
$\sigma_{0,2\%}$ [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	913	1035	1276

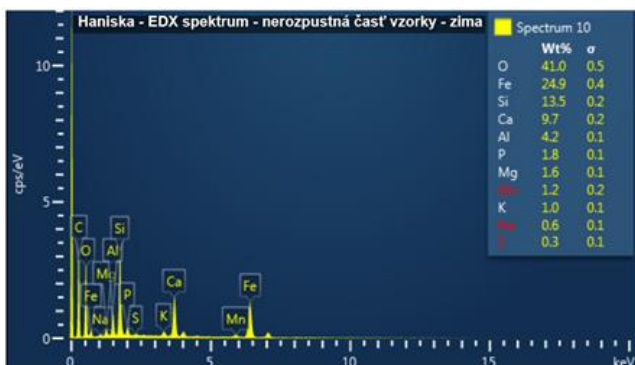
Všetky vzorky boli potom analyzované rastrovacím elektrónovým mikroskopom TESCAN MIRA 3 FE s EDX detektorom. Príklad vzoriek zobrazených elektrónovým mikroskopom je na obrázku 4.



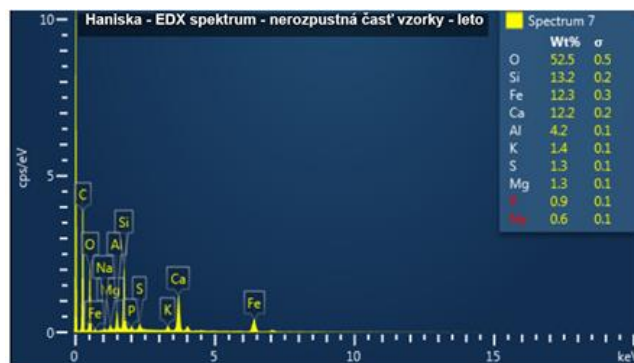
Obr.4. Pohľad na jednotlivé vzorky spádov z elektrónového mikroskopu [6]

Zo záberov z mikroskopu vidieť, že nerozpustné exhaláty sú tvorené organickými aj anorganickými časťami. Nachádzajú sa tam rôzne časti rastlín, hmyzu ale aj nečistôt z priemyselných prevádzok.

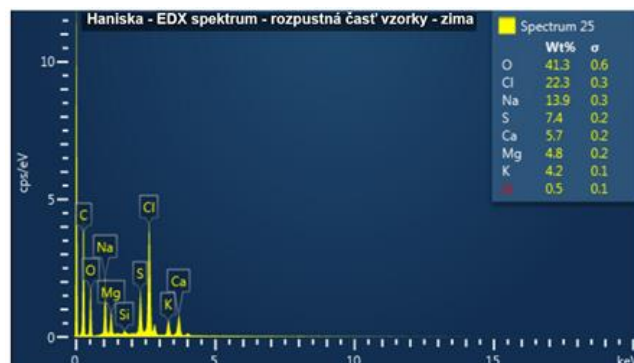
Všetky vzorky boli ďalej podrobené prvkovej analýze, ktorá zobrazí chemické zloženie jednotlivých vzoriek.



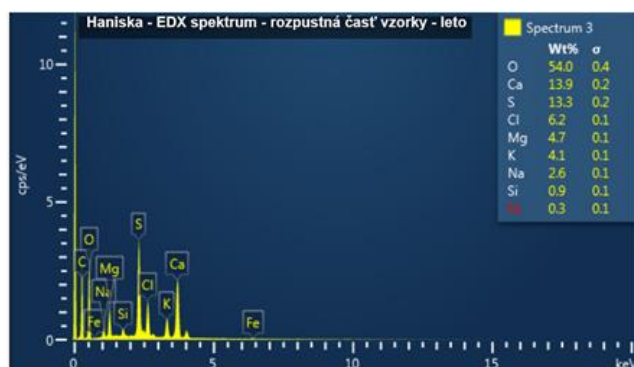
Obr.5. Prvková analýza spádu nerozpustných častí – zimný zber [6]



Obr.6. Prvková analýza spádu nerozpustných častí – letný zber [6]



Obr.7. Prvková analýza spádu rozpustných častí – zimný zber [6]



Obr.8. Prvková analýza spádu rozpustných častí – letný zber [6]

V jednotlivých oblastiach bol zistený približne rovnaký počet chemických prvkov. V grafe EDX analýzy na predošlých obrázkoch môžeme pre oblasť Haniska vidieť pri nerozpustných častiach (zima a leto) približne rovnaké zastúpenie chemických prvkov, ktoré sa vyskytujú na analyzovanej vzorke. Konkrétne sa jedná o prvky ako kremík, vápnik, železo, či hliník. Tieto prvky s najväčšou pravdepodobnosťou predstavujú zlúčeniny ako sú oxidy kremíka ( $\text{SiO}_2$ ), oxidy železa ( $\text{FeO}$ ), oxidy hliníka ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Pri rozpustnej časti (zimný zber) majú najväčšie zastúpenie prvky ako sodík, kyslík, chlór, síra, draslík či horčík, ktoré môžu predstavovať chemické zlúčeniny v podobe solí ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ), oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ). Pre letný zber rozpustných látok v tejto oblasti sú dominantné zlúčeniny ako oxid vápenatý ( $\text{CaO}$ ), oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ) a mierne taktiež soli ( $\text{KCl}$ ).

### Záver

Hodnoty vodivosti jednotlivých vzoriek počas letných mesiacov boli na nižšej úrovni, ako počas mesiacov zimných. Maximálna hodnota vodivosti počas letných mesiacov bola nameraná v Haniske (1276  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), následne vo Vranove nad Topľou (1035  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a najnižšia hodnota vodivosti bola

nameraná vzorke pariacej z Moldavy nad Bodvou (913  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Maximálne hodnoty počas zimných mesiacov však boli vyššie. Najvyššiu hodnotu sme zaznamenali na vzorke z Hanisky (2277  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), stredná hodnota bola nameraná pre oblasť Vranova nad Topľou (2090  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a najnižšia hodnota bola nameraná pre oblasť Moldavy nad Bodvou (2003  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Z týchto výsledkov je zreteľné, že najvyššia nameraná hodnota elektrickej vodivosti počas obidvoch zberov bola pre lokalitu Haniska. Naopak najnižšia hodnota počas obidvoch zberov bola zistená v Moldave nad Bodvou. Zvýšený výskyt solí (NaCl, KCl) v ovzduší počas zimných mesiacov má za následok zvýšenie elektrickej vodivosti. Taktiež môže dôjsť k zhoršeniu izolačných vlastností a následne k preskoku po vonkajšom izolátore umiestnenom na elektrickom vedení.

#### Literatúra

- [1] J. Džmura, „Inovatívne skúmanie tuhých exhalátov ovplyvňujúcich spoľahlivosť izolátorov“ In: Starnutie elektroizolačných systémov. Roč. 14, č. 2 (2019), s. 21-23. - ISSN 1337-0103
- [2] J. Petráš, J. Džmura, M. Oliinyk, „Aspects of Ash Pollution Measurement for Electrical Parameters“ In: Proceedings of the IEEE 2nd International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering. - New York (USA) : Institute of Electrical and Electronics Engineers s. 213-216. - ISBN 978-1-7281-4358-3.

- [3] M. Pavlík, L. Kruželák, L. Lisoň, M. Mikita, S. Bucko, M. Špes, M. Ivančák, B. Dolník, J. Zbojovský, „The mapping of electromagnetic fields in the environment“. In: Acta Technica Corviniensis: Bulletin of Engineering. Vol. 10, no. 2 (2017), p. 107-110. - ISSN 2067-3809.
- [4] J. Zbojovský, M. Pavlík, „The propagation of electromagnetic fields through the various materials“. In: Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. Roč. 4, č. 6A (2016), s. 107-109. - ISSN 1338-9432.
- [5] PNE 33 0405-1:2014 Navrhování venkovní izolace podle stupně znečistení – Část 1: Porcelánové a sklenené izolátory pro sítě se střídavým napětím.
- [6] M. Mašša, „Analýza tuhých exhalátov z nazbieraných spádov“. Bakalárska práca, 2020.

*Túto prácu podporili MŠVVaŠ v rámci projektu VEGA 1/0340/18, 2/0141/16 a 2/0011/20 a Slovenská agentúra pre výskum a vývoj na základe zmlúv č. APVV-18-0160 a APVV-15-0438..*

**Autori:** Jaroslav Džmura, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.dzmura@tuke.sk  
Jaroslav Briančin, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 040 01 Košice, E-mail: briančin@saske.sk  
Jaroslav Petráš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.petrás@tuke.sk