

Ing. Terézia Janúšková Skoršepová

Autoreferát dizertačnej práce

**DEGRADAČNÉ PROCESY V KÁBLOVÝCH SYSTÉMOCH SPÔSOBENÉ
KOMBINOVANÝM NAMÁHANÍM**

na získanie akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: **Elektroenergetika**

v študijnom odbore 5.2.30 elektroenergetika

Miesto a dátum: Bratislava, 13.07.2015

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Ing. Terézia Janúšková Skoršepová

Autoreferát dizertačnej práce

DEGRADAČNÉ PROCESY V KÁBLOVÝCH SYSTÉMOCH SPÔSOBENÉ
KOMBINOVANÝM NAMÁHANÍM

na získanie akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe:Elektroenergetika

Miesto a dátum: Bratislava, 13.07.2015

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia

Na Ústave elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave

Predkladateľ: Ing. Terézia Janúšková Skoršepová
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: doc. Ing. Michal Váry, PhD.
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti: prof. Ing. Iraida Kolcunová, PhD.
Katedra elektroenergetiky
Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky
Mäsiarska 74
041 20 Košice

Ing. Vladimír Ondrejka, PhD.
Slovenské elektrárne, a. s., člen skupiny Enel
závod Atómové elektrárne Mochovce
935 39 Mochovce
Slovenská republika

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná: 26. 08. 2015 o 11:00 h.

Na Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave, Ilkovičova 3, miestnosť

Obsah

1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	4
2	CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE	5
3	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ DIZERTAČNEJ PRÁCE	6
3.1	EXPERIMENTÁLNE KÁBLOVÉ VZORKY 6-AYKCYM 3x240	6
3.2	MERANIE TEPLOTNÝCH ZÁVISLOSTI IZOLAČNÉHO ODPORU	7
3.3	MERANIE TEPLOTNÝCH ZÁVISLOSTI STRATOVÉHO ČINITĚLA A KAPACITY	8
3.4	MERANIE DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ METÓDOU VLF	8
3.4.1	<i>Meranie dielektrických spektier systémom Solartron Analytical ModuLab MTS</i>	<i>9</i>
3.5	MERANIE STRATOVÉHO ČINITĚLA VO FREKVENČNOM SPEKTRE 0,1-0,02 Hz	11
3.6	EXPERIMENTÁLNE MERANIA VZORIEK N2XH J 3x1,5; CXHKE-R J 3x1,5 A CHKE-R J 3x1,5	12
3.6.1	<i>Meranie zmeny elektrických parametrov vplyvom dlhodobého pôsobenia vody na izoláciu predložených vzoriek</i>	<i>12</i>
3.7	VPLYV OZÓNU NA VYBRANÉ DRUHY KÁBLOV	13
3.7.1	<i>Meranie zmeny mechanických parametrov vzoriek vplyvom pôsobenia vysokej koncentrácie ozónu</i>	<i>13</i>
3.8	NOVÉ MOŽNOSTI DIAGNOSTIKY PORÚCH IZOLAČNÉHO SYSTÉMU	15
4	DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A PRÍNOSY PRÁCE	16
5	ZÁVER	18
	PUBLIKAČNÁ ČINNOSŤ AUTORA	20
	PODANÉ ČLÁNKY NA ODPUBLIKOVANIE	21

1 Úvod do problematiky

V oblasti elektroenergetiky a silnoprúdových zariadení je jednou z neodmysliteľných súčastí izolačný systém, pričom elektrické zariadenie chápeme ako sériový spoľahlivostný reťazec jeho jednotlivých podsystémov a prvkov. Z tohto dôvodu je pre jeho spoľahlivosť rozhodujúci najcitlivejší článok reťazca, ktorý je v tomto prípade chápaný ako dielektrický podsystém s jeho prvkami. Vplyvom degradačných činiteľov pôsobiacich na tento systém dochádza k zmene jeho vlastností, čo komplexne môžeme nazvať starnutie. Všeobecne je starnutie fenoménom v reálnej praxi prakticky pri všetkých zariadeniach bez ohľadu na to, či je alebo nie je ich súčasťou elektroizolačný systém. V posledných desaťročiach je charakteristickou črtou pokroku stále vzrastajúci význam vývoja nových materiálov s čoraz lepšími vlastnosťami a neustále sa zvyšujúci záujem o nové technológie. Vzrastajúca náročnosť pritom podmienila prechod od empirických postupov k využívaniu teoretických poznatkov a ich aplikácie vo vzťahu medzi štruktúrou materiálu a jeho vlastnosťami. Vývoj nových materiálov a technológií je jednou z najnáročnejších oblastí vývoja systému ako celku.

Starnutie elektroizolačných systémov je a stále bude aktuálnou problematikou. V tejto oblasti sa neustále stretávame s veľkým počtom parametrov a neznámych, ktoré starnutie komplexne popisujú. Diskutovanou problematikou úzko súvisiacou so starnutím elektroizolačných systémov je ich životnosť. Životnosť je ovplyvňovaná veľkým množstvom parametrov. Jedným z najvýznamnejších je voľba použitých materiálov s čím úzko súvisí technológia ich výroby a zároveň prevádzkové podmienky daného systému. Tu sa otvára diskusia, riešená odbornou verejnosťou, orientujúca sa na dosiahnutie čo najvyššej spoľahlivosti a bezpečnosti elektrických zariadení s novými elektroizolačnými materiálmi vykazujúcimi veľmi dobré elektroizolačné vlastnosti a zároveň, čo najodolnejšie voči širokému spektru degradačných faktorov. Ako reakcia na túto diskusiu, dochádzalo za posledné obdobie k významnému posunu v oblasti vývoja nových materiálov a technológií. Ale v tomto bode sa stretávame s ďalším problémom, znížiť náklady spojené s výrobou a údržbou pri zachovaní čo najvyššej spoľahlivosti a najlepších parametrov elektrických zariadení. Ak sa na to pozrieme z ekonomického hľadiska, musíme hľadať prienik medzi zodpovedajúcou cenou a zároveň čo najlepšimi vlastnosťami materiálu, pri relatívne nízkych nákladoch na výrobu. Práve v hľadaní tohto prieniku by mohli byť stavovými premennými fyzikálne vlastnosti materiálov, ich spoľahlivosť, životnosť či schopnosť odolávať multifaktorovému namáhaniu. Nakoľko sa jedná o komplexný problém, je potrebné pristupovať k určitým zjednodušeniam, ktoré spájajú čo najoptimálnejšie vlastnosti predkladaného systému ale za cenu preferovania jedných parametrov pred druhými.

Dizertačná práca je zameraná na použitie rôznych metód diagnostiky rôznych typov vzoriek podrobených viacerým typom starnutia, pričom ako základný problémový EIS sme sa s ohľadom na veľké množstvo požiadaviek z praxe zamerali na izolácie na báze PVC. Práca sa zameriava na porovnanie výsledkov vzoriek podrobených zrýchlenému starnutiu vyhodnocovaných pomocou novej metodiky merania veľmi nízkych frekvencií (VLF) dielektrickej spektroskopie v rámci teplotnej a časovej závislosti. Tu poznamenávame, že VLF metodika je primárne určená pre diagnostiku XLPE káblov. Zamerali sme sa na využitie VLF metódy pri vysokých napätiach, ale aj metódy VLF v širokom rozsahu frekvencií od 0,01Hz do 1MHz pri nízkych napätiach. Pri meraniach sme okrem týchto metód využívali aj „klasické“ metódy merania.

2 Ciele dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce je spracovanie problematiky degradácie izolačných systémov vplyvom rôznych druhov degradačných činiteľov pôsobiacich na elektroizolačný systém vybraných káblových vzoriek.

Hlavným cieľom dizertačnej práce je výskum diagnostických metód na zistenie vplyvu kombinovaného namáhania najmä na izolačné systémy káblov na báze PVC izolácie. S ohľadom na množstvo receptúr používaných na EIS na báze PVC je stanovenie jednoznačných kritérií zostarnutia problematické. Dokazuje to aj relatívne malé množstvo publikácií v oblasti diagnostiky vysokonapäťových PVC káblov v porovnaní s EIS na báze XLPE. Vhodnou voľbou diagnostických metód pre analýzu vybraných parametrov káblovej izolácie sme mali za cieľ poukázať na potenciálne využitie týchto metód pri stanovení stupňa zostarnutia káblov. V rámci cieľov dizertačnej práce sme sa zamerali aj na analýzu degradačných zmien parametrov elektroizolačného káblového systému spôsobených kombinovaným namáhaním s využitím konvenčných a nekonvenčných metód. Následne na základe dosiahnutých výsledkov sme sa pokúsili o zovšeobecnenie získaných poznatkov pre zabezpečenie vyššej spoľahlivosti týchto druhov káblov a vodičov v energetike.

Pre dosiahnutie hlavného cieľa dizertačnej práce bol stanovený postup riešenia podľa nasledovných téz dizertačnej práce:

1. Analýza degradačných zmien parametrov elektroizolačného káblového systému spôsobených kombinovaným namáhaním pomocou nekonvenčných a konvenčných metód.
2. Výskum vplyvu kombinovaného namáhania na rôzne druhy izolačných systémov káblov a voľba vhodných metód diagnostiky parametrov izolácie.
3. Zovšeobecnenie získaných poznatkov pre zabezpečenie vyššej spoľahlivosti silových káblov a vodičov v energetike.

3 Experimentálna časť dizertačnej práce

Experimentálna časť práce je venovaná diagnostike stavu vybraných typov káblov. Pričom sme sa z veľkej časti zamerali na EIS na báze PVC, ktoré boli podrobené vybraným druhom namáhania. Práca je zameraná na degradačné procesy v káblových systémoch, skúmané vzorky boli preto vystavené rôznym druhom namáhania. Zamerali sme sa na vzorky káblov z prevádzky, ale aj na vybrané nové nepoužívané káblové vzorky.

Veľká časť experimentálnej práce je venovaná analýze zmeny stavu dlhodobo používaných káblových vzoriek typu 6 – AYKCYm 3x240. Tieto boli podrobené teplotnému namáhaniu s následnou diagnostikou zmeny stavu ich dielektrických parametrov. Postup bol zvolený z dôvodu možnosti porovnania výpovede schopnosti konvenčných, ako aj nekonvenčných diagnostických metód pre stanovenie stupňa degradácie a rizika poruchy skúmaných káblov.

Ďalšia časť experimentu je venovaná diagnostike zostarnutia káblových systémov s izoláciou z termoplastického materiálu so zvýšenou odolnosťou voči ohňu tzv. LSZH materiálov. Materiály tohto typu pri požiari zabraňujú rozšíreniu plameňov a minimálne uvoľňujú dym a zároveň neuvolňujú korózne a toxické plyny. Dané EIS vyžaduje európsky trh, ktorý požaduje, aby káble, napríklad siete LAN, WAN, rôzne typy silových káblov, spĺňali podmienky pre umiestnenie do prostredí s nebezpečenstvom požiaru a umiestnením na horľavý podklad. Káble s LSZH materiálov sú spravidla drahšia alternatíva a niektoré typy sú menej flexibilné ako k nim ekvivalentné káble s PVC izoláciou. Aj z dôvodu, že tieto typy káblov sú čoraz viac požadované, v experimentálnej časti tejto práce sme sa na ne zamerali z hľadiska analýzy vybraných elektrických parametrov po pôsobení vybraných typov degradačných mechanizmov.

V poslednej fáze experimentu sme sa zamerali na vplyv vysokej koncentrácie ozónu na rôzne druhy káblových vzoriek. Vybrané typy káblových vzoriek boli podrobené namáhaniu vplyvom vysokej koncentrácie ozónu v profesionálnej ozónovej komore.

Zvolené typy káblových vzoriek boli vybrané vzhľadom na aktuálnosť problematiky degradácie izolačných systémov v reálnej prevádzke vplyvom pôsobenia rôznych druhov namáhania. V súčasnej dobe sa v reálnych prevádzkových podmienkach používa široké spektrum izolačných materiálov, pri ktorých sa stretávame s rôznou reakciou na rôzne druhy degradačných faktorov. Z tohto dôvodu sme sa v experimentálnej časti práce zamerali na systematické monitorovanie zmeny elektrických vlastností vybranej štatistickej skupiny káblových vzoriek komerčne distribuovaných káblov počas dlhodobej expozície vybraných degradačných faktorov a zameraniu sa na voľbu vhodnej diagnostickej metódy.

3.1 Experimentálne káblové vzorky 6-AYKCYm 3x240

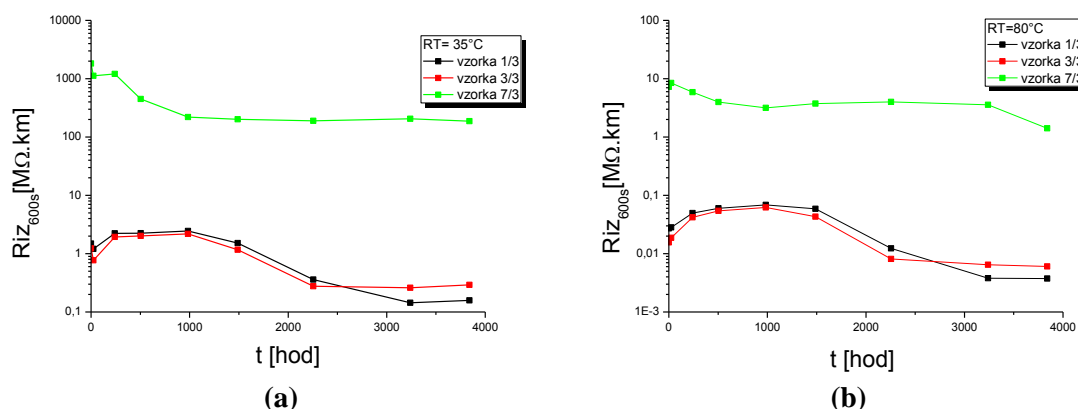
Aj vzhľadom na to, že sme sa v experimentálnej časti práce zamerali na viaceré druhy káblových vzoriek, veľký dôraz v experimente sme venovali pozorovaniu zmien izolačných stavov a dielektrických parametrov vzoriek 6 kV káblov typu 6 – AYKCYm 3x240a 6 – AYKCY 3x240. Zároveň sme sa zamerali na voľbu vhodných diagnostických metód, ktoré sa radia medzi konvenčné metódy, ale zároveň sme sa zamerali aj nameranie jednotlivých dielektrických parametrov pomocou meracieho zariadenia využívaného výhradne v laboratórnych podmienkach.

Voľba experimentálnych vzoriek súvisí so zameraním sa na elektroenergetiku, kde práve veľká časť 6 kV používaných káblov sú káble s PVC izoláciou. Pre účely nášho experimentu boli vybrané káble typu 6-AYKCYm 3x240 už používané v reálnej prevádzke, pričom už pri dodanom stave vyššie spomenuté vzorky vykazovali hraničné hodnoty izolačných a dielektrických parametrov. Cieľom tohto výberu bola práve analýza káblových systémov používaných v reálnej prevádzke, ktoré už boli vystavené sérii degradačných faktorov, ktorých súbor tvorí kombinované namáhanie izolácií zvolených káblových vzoriek. V experimente boli použité dve vzorky káblov 6 – AYKCYm 3x240 vyrobené v roku 1997 a jeden kus vzorky 6 – AYKCY 3x240 taktiež vyrobenej v roku 1997, ktorá bola použitá ako referenčná vzorka. Jedná sa o tri druhy vzoriek trojžilových 6 kV káblov o dĺžkach v rozmedzí 2,93m – 3,33m so sektorovým, lanovaným hliníkovým jadrom 3x240 mm², PVC izoláciou. Vzorky obsahujú výplň a ovinutie žíl PET fóliou. Vnútornej plášť je tvorený PVC s Cu tinením, drôtovým s páskovou protišpirálou. Ovinutie je tvorené plastovou páskou a plášť kábla je z PVC.

Na kvantitatívne a kvalitatívne zhodnotenie postupnej zmeny elektrických vlastností predkladaných vzoriek boli zvolené viaceré diagnostické metódy. Všetky metódy boli volené ako nedeštruktívne. Meranie pozostávalo z merania teplotných závislostí minútového a desaťminútového izolačného odporu, kapacity a stratového činiteľa. Meranie kapacity a stratového činiteľa bolo vykonávané aj v rámci frekvenčnej závislosti a to pomocou dielektrickej spektroskopie pri veľmi nízkych frekvenciách (VLF metóda) pri napätí 1000 V v rozsahu frekvencií 0,1 – 0,02 Hz a pri napätí 6V vo frekvenčnom spektre 0,01 – 10⁶ Hz. Táto diagnostická metóda bola zvolená ako potenciálna nová.

3.2 Meranie teplotných závislostí izolačného odporu

Na meranie izolačného odporu bol použitý programovateľný merací prístroj Keithly 617. Meranie bolo realizované meraním pri meracom napätí 100 V. V našom prípade nás zaujímala hodnota izolačného odporu po 15 sekundách od spustenia merania, hodnota po 1 minúte a po 10 minútach pri zapojení jednej žily proti všetkým žilám a tieneniu. Tento postup merania bol opakovaný pri každom diagnostickom cykle pre všetky vzorky pri teplotách 20°C, 35°C, 50°C, 65°C, 80°C a 100°C, pričom teplota v termostate bola stabilizovaná v rozmedzí ±1°C. Napätie (100 V DC) sme pripájali medzi spojené jadrá žíl s tienením a meracia svorka sa pripájala na žilu. Vzorky sme s ohľadom na ich tepelnú kapacitu nechali temperovať v termostate pre každú teplotu minimálne 2,5 hodiny. V nasledujúcich grafoch uvádzame porovnanie vývoja zmeny hodnôt izolačného odporu jednotlivých analyzovaných vzoriek vplyvom pôsobenia tepelného starnutia v rámci teplotnej charakteristiky pre teploty 35°C a 80°C.



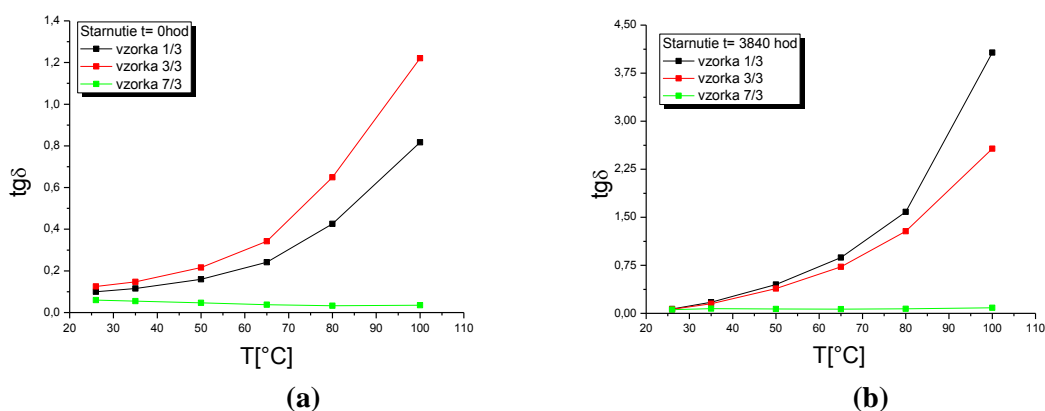
Obr. 1 Časová závislosť zmeny izolačného odporu počas pôsobenia tepelného starnutia pre vzorky 1/3,3/3 a 7/3 pre konštantné teploty 35°C (a) a 80°C (b)

Môžeme teda skonštatovať, že pri meraní izolačného odporu a následnom prepočítaní na kilometer dĺžky boli na káblových vzorkách 1/3 a 3/3 v celom intervale teplôt zaznamenané hodnoty izolačného odporu o dva rády nižšie v prípade nižších teplôt dokonca o tri rády nižšie hodnoty ako v prípade referenčnej vzorky 7/3. Tento jav poukazuje na to, že izolačný odpor vzoriek 1/3 a 3/3 v porovnaní so vzorkou 7/3 vykazuje veľmi nízke hodnoty.

Koncept merania izolačného odporu, konvenčnej diagnostickej metódy, je založený na meraní teplotnej závislosti. Kde z fyzikálnej podstaty meranej veličiny vyplýva, že pri vyšších teplotách je izolačný odpor ovplyvnený jednosmernou vodivosťou systému. Dá sa predpokladať, že relaxačné časy polarizačných procesov sú pri vyšších teplotách krátke, a preto s vysokou pravdepodobnosťou už prebehli. Táto metóda merania bola použitá v rámci využitia konvenčných metód merania, nakoľko pri meraní stratového činiteľa a kapacity sa zameriame podrobnejšie na metódy založené na princípe VLF.

3.3 Meranie teplotných závislostí stratového činiteľa a kapacity

Meranie teplotných závislostí stratového činiteľa patrí ku klasickým metódam diagnostiky. Jedná sa zväčša o samostatné diagnostické meranie alebo je možné vykonať ho ako doplnkové meranie k meraniu izolačného odporu. V našom experimente bol na meranie teplotnej závislosti kapacity a stratového činiteľa predložených vzoriek použitý Scheringerov mostík TETTEX typ 2821/RZAG ZURICH pri frekvenciách harmonického napätia 50 Hz a amplitúde napätia 500 V. Merania tak ako v prípade meraní izolačného odporu prebehli v rámci každého diagnostického cyklu a aj v dodanom stave vzoriek. Zo zapojenia Scheringového mostíka vyplýva, že jeho vyrovnaním dostaneme hodnotu kapacity C_4 [μF], z ktorej následne prepočtom získame skutočnú kapacitu meranej vzorky C [pF]. Meranie bolo realizované po každom diagnostickom cykle pre všetky vzorky pri teplotách 26°C, 35°C, 50°C, 65°C, 80°C a 100°C, pričom teplota v termostate bola stabilizovaná v rozmedzí $\pm 1^\circ C$. Na nasledujúcich grafoch sú vynesené teplotné závislosti stratového činiteľa vzoriek káblov v dodanom stave a po tepelnom starnutí 3840 hodín.



Obr. 2 Teplotná závislosť zmeny stratového činiteľa v dodanom stave (a) a po pôsobení tepelného starnutia 3840 hodín (b) pre vzorky 1/3, 3/3 a 7/3

Z nameraných teplotných závislostí stratového činiteľa na vzorkách káblov znázornených na Obr. 2 v dodanom stave a po pôsobení tepelného starnutia 3840 hodín môžeme vidieť najnebezpečnejší rozdiel v správaní sa vzoriek káblov 1/3 a 3/3 v porovnaní so vzorkou kábla 7/3. Stratový činiteľ vzoriek 1/3 a 3/3 v rámci teplotnej závislosti v rozmedzí izbovej teploty do 100 °C takmer exponenciálne rastie, stratový činiteľ vzorky kábla 7/3 v celom meranom intervale teplôt klesá. Rovnaké správanie vzoriek 1/3 a 3/3 pozorujeme aj po 3840 hodinách starnutia, kde je nárast stratového činiteľa taktiež takmer exponenciálny v porovnaní so vzorkou 7/3, kde je oproti týmto vzorka teplotná závislosť takmer nepozorovateľná. Toto správanie sa vzoriek 1/3 a 3/3 znamená, že v prípade ak dôjde k lokálnemu prehriatiu kábla, môže na kábli vzniknúť porucha (elektrotepelný prieraz). K poruche môže dôjsť napríklad pri prúdovom preťažení alebo lokálnom prehriatí, ktoré vznikne pôsobením externého zdroja tepla. Nebezpečenstvo prierazu hrozí aj v oblastiach, kde je znížený odvod tepla.

3.4 Meranie dielektrických vlastností metódou VLF

V našom experimente sme sa zamerali na VLF metódu s využitím profesionálneho zariadenia VLF-34E 34 kV VLF Tester a meracou sondou TD-34E VLF-TD CABLE DIAGNOSTIC TESTING. Jedná sa o zariadenie vhodné na použitie v prevádzke, nakoľko je prenosné. V našom prípade sme toto zariadenie využili v laboratórnych podmienkach pri meraní hodnôt stratového činiteľa v rámci teplotnej závislosti pri všetkých diagnostických cykloch na predložených vzorkách.

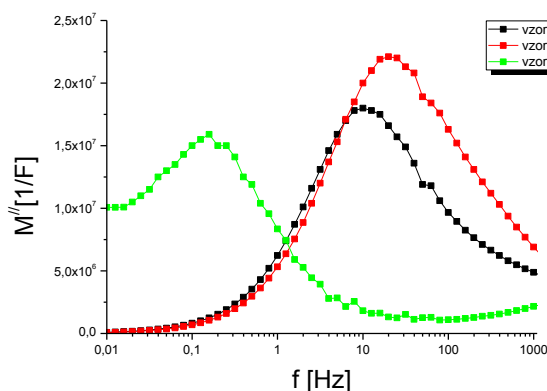
V prípade tohto zariadenia výrobca nepredpokladá, že by sa primárne využívalo v laboratórnych podmienkach ale meranie teplotnej závislosti je možné len v týchto podmienkach. Druhým zariadením využitým v našom experimente v rámci dielektrickej spektroskopie je meracie zariadenie Solartron Analytical ModuLab MTS System. Jedná sa o zariadenie určené na laboratórne merania. V našom

experimente sme toto zariadenie použili na meranie frekvenčných spektier predložených vzoriek od diagnostického cyklu 1488 hodín vrátane. Cieľom experimentálnych meraní touto metódou je ich porovnanie v oboch prípadoch a vyhodnotenie zmeny káblových vzoriek z hľadiska zmeny dielektrických spektier.

3.4.1 Meranie dielektrických spektier systémom Solartron Analytical ModuLab MTS

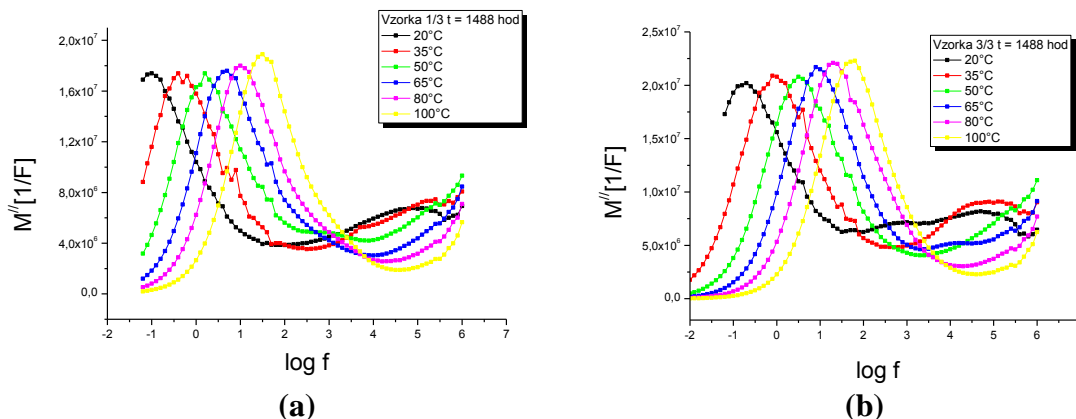
V rámci experimentálnych meraní sme sa zamerali na analýzu zmeny a správania sa káblových vzoriek 1/3, 3/3 a 7/3 pre teplotné, časové a frekvenčné charakteristiky zmeny stratového činiteľa a analýzu polarizačných procesov vplyvom tepelného starnutia pomocou laboratórneho zariadenia Solartron Analytical ModuLab MTS. Cieľom týchto meraní je využitie nekonvenčnej metódy analýzy stratového činiteľa a komplexnej kapacity resp. permitivity vzoriek.

Frekvencie skúšobného sínusového napätia s efektívnou hodnotou 6V boli zvolené v rozsahu 0,01 Hz až 1 MHz. Meranie pomocou tohto systému bolo realizované na vzorkách od diagnostického cyklu 1488 hodín (62 dní) až po posledný diagnostický cyklus 3840 hodín v rámci teplotnej charakteristiky v teplotnom rozsahu od izbovej teploty po 100°C.



Obr. 3 Polarizačné maximá imaginárnej časti komplexného modulu vzoriek získané meraním frekvenčnej závislosti po 1488 hodinách starnutia, pri teplote 80°C

Komplexný modul je charakteristický pre Cole - Coleho model polarizácií v dielektrikách. V prípade takéhoto zobrazenia môžeme pozorovať vzniknuté lokálne maximá pre vodivostný pík a polarizačný pík. Aplikáciou nájdenia polarizačného maxima imaginárnej zložky komplexného modulu pre všetky vzorky a následného výpočtu relaxačných časov τ_p prislúchajúcim nízkofrekvenčnému polarizačnému procesu sme overili prítomnosť nízkofrekvenčných polarizačných procesov vo všetkých troch vzorkách. Na kvantitatívne zhodnotenie nízkofrekvenčných polarizačných dejov prebiehajúcich v predložených vzorkách nám výrazne pomôžu výsledky namerané pri teplotnej charakteristike v rámci merania polarizačných spektier.

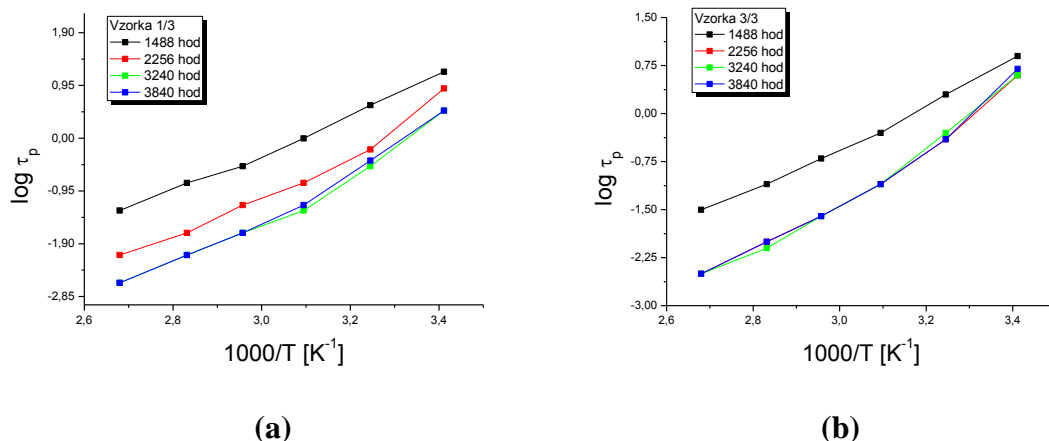


Obr. 4 VLF dielektrické spektrá zobrazené v imaginárnej časti komplexného modulu pre vzorky 1/3(a) a 3/3(b) pre teplotnú charakteristiku po vystavení zrýchlenému tepelnému starnutiu 1488 hodín

Zo získaných priebehov v zobrazení imaginárnej časti komplexného modulu sme ďalej určili a vypočítali hodnoty relaxačných časov τ_p pre teplotnú závislosť. Hodnoty relaxačných časov sme získali výpočtom z polarizačného spektra jednotlivých vzoriek podľa vzťahu:

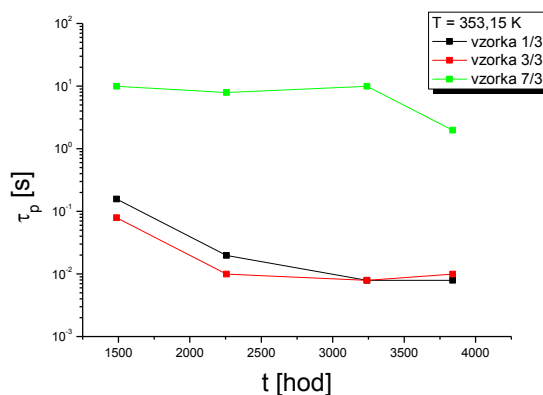
$$\tau_p = \frac{1}{2\pi f_{max}} \text{ [s]} \quad (1)$$

kde f_{max} predstavuje frekvenciu, pri ktorej sa prejavilo polarizačné maximum. Výsledky závislosti relaxačných časov uvádzame v zobrazení $\log \tau_p = f\left(\frac{1000}{T}\right)$ kde T je absolútna teplota v K .



Obr. 5 Teplotná závislosť relaxačného času τ_p pre vzorky 1/3 (a), 3/3 (b) parametrom je čas starnutia

V nasledujúcom zobrazení uvádzame zmenu relaxačnej konštanty vplyvom tepelného starnutia jednotlivých vzoriek pri konštantnej teplote $80^\circ C$.



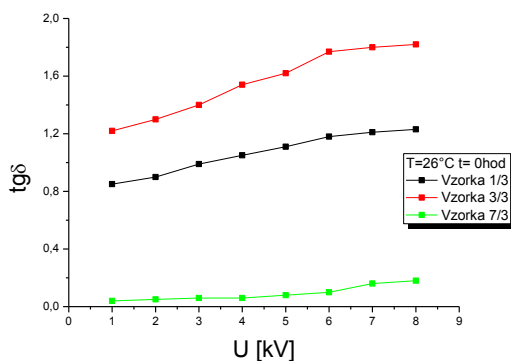
Obr. 6 Zmena relaxačnej konštanty polarizačných procesov vplyvom tepelného starnutia pre jednotlivé vzorky pri konštantnej teplote $353,15 K$

Z vyššie uvedených výsledkov merania s využitím metódy dielektrickej spektroskopie môžeme konštatovať vplyv zrýchleného tepelného starnutia na polarizačné procesy prebiehajúce v káblových vzorkách s izoláciou tvorenou PVC. V prípade frekvenčných závislostí imaginárnej časti komplexného modulu môžeme konštatovať posun polarizačných maxím smerom k vyšším frekvenciám po pôsobení degradačného faktora a výrazný vplyv tepelného starnutia na parametre izolácie vzoriek. Na frekvenčných priebehoch je vidieť posun polarizačných maxím a tým spôsobenú zmenu relaxačných časov v dôsledku starnutia izolácie. Tiež môžeme konštatovať, že pri všetkých káblových vzorkách sme identifikovali nízkofrekvenčné polarizačné maximá.

Zmeny boli pozorované pri všetkých vzorkách, ktorých relaxačné píky sa posúvali smerom k vyšším frekvenciám, čo je v zhode s výsledkami zaznamenanými pri meraní izolačného odporu a stratového činiteľa opísaných v predchádzajúcej kapitole kde došlo k znižovaniu hodnôt izolačného odporu v rámci teplotnej charakteristiky a naopak k zvyšovaniu hodnôt stratového činiteľa taktiež v rámci teplotnej charakteristiky.

3.5 Meranie stratového činiteľa vo frekvenčnom spektre 0,1-0,02 Hz

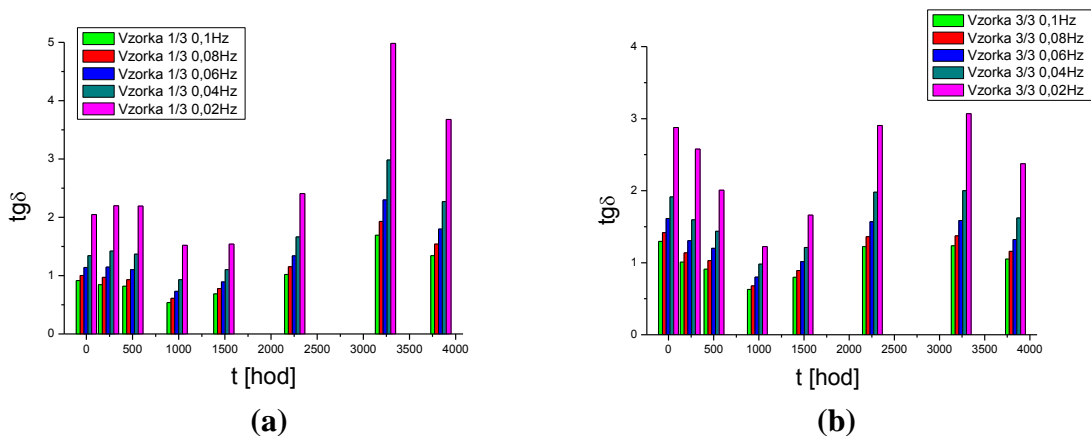
V rámci meraní závislosti stratového činiteľa v dodanom stave bolo vykonané aj meranie napät'ovej závislosti pri frekvencii 0,1 Hz a izbovej teplote. Meranie prebiehalo v napät'ovom rozsahu 1 – 8 kV. Výsledky merania sú graficky znázornené v nasledujúcej závislosti

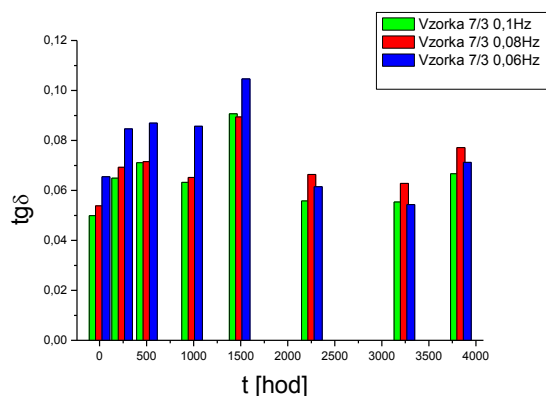


Obr. 7 Napät'ová závislosť stratového činiteľa vzoriek káblov 1/3, 3/3 a 7/3 meraná pri 0,1 Hz a izbovej teplote okolia.

Zvýšené hodnoty stratového činiteľa vzoriek káblov 1/3 a 3/3 oproti kábla 7/3 sa prejavili aj na meraniach stratového činiteľa pri veľmi nízkych frekvenciách, v našom prípade pri meracej frekvencii 0,1 Hz. Tu je opäť pozorovateľný väčší nárast stratového činiteľa od napätia vzorky kábla 3/3 a 1/3 akobol nameraný pri kábli 7/3. Výsledky meraní vykazujú väčšie hodnoty stratového činiteľa pre vzorky 1/3 a 3/3 po 13 rokoch prevádzky v celom napät'ovom rozsahu.

V nasledujúcich porovnaníach uvádzame zmeny stratového činiteľa v priebehu tepelného starnutia jednotlivých vzoriek vo frekvenčnom rozsahu 0,1 – 0,02 Hz pre vzorky 1/3 a 3/3 a v rozsahu 0,1 – 0,04 Hz pre referenčnú vzorku 7/3.





(c)

Obr. 8 Časový vývoj priebehu stratového činiteľa káblových vzoriek 1/3 (a), 3/3 (b), 7/3(c) vzoriek v priebehu starnutia, merané pri 1 kV vo frekvenčnom rozsahu 0,02 - 0,1 Hz a teplote 26 ° C.

Vyššie uvedené grafy (Obr.8) zobrazujú časový vývoj priebehu stratového činiteľa meraného pri izbovej teplote. Ako z priebehov vidieť, najvyššie hodnoty stratového činiteľa vykazujú vzorka 1/3, ktorá sa javí ako najhoršia. Hodnoty stratového činiteľa so znižujúcou sa frekvenciou rastú a v prípade vzorky 1/3 táto hodnota dosahuje pri frekvencii 0,02 Hz hodnotu 4,93, pričom ak sa pozrieme na hodnoty stratového činiteľa pre referenčnú vzorku 7/3 tieto hodnoty sa pohybujú v intervale 0,05 – 0,1. V prípade referenčnej vzorky 7/3 pri frekvenciách pod 0,04 Hz nedokázalo meracie zariadenie hodnotu zaznamenať.

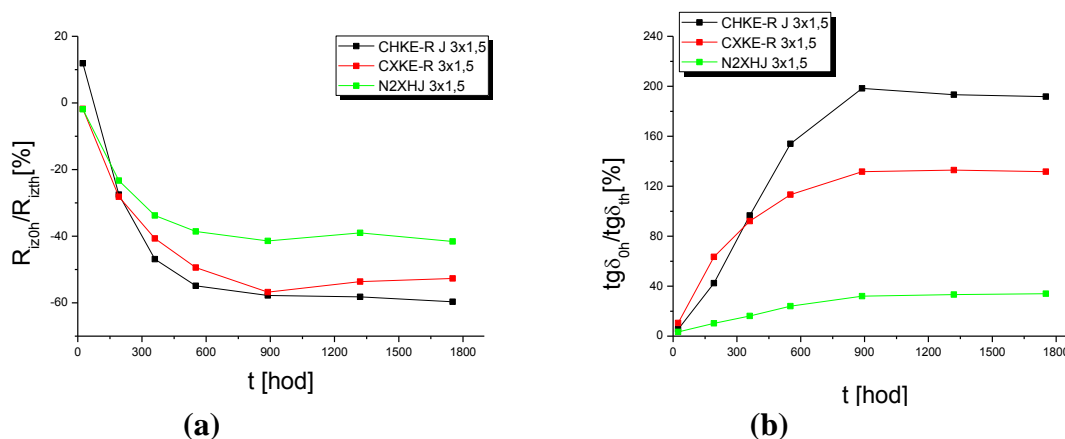
Experimentálne merania na predložených káblových vzorkách uvedené v predchádzajúcich kapitolách preukázali dobrú zhodu výsledkov merania v rámci VLF dielektrickej spektroskopie a meraniu teplotných závislosti stratového činiteľa, kapacity a izolačného odporu pomocou konvenčných diagnostických metód pri prevádzkovej frekvencii 50Hz káblových vzoriek používaných v reálnej prevádzke po 13 rokoch prevádzky v porovnaní s referenčnou vzorkou.

3.6 Experimentálne merania vzoriek N2XH J 3x1,5; CXHKE-R J 3x1,5 a CHKE-R J 3x1,5

Druhý experiment realizovaný v experimentálnej časti tejto práce je venovaný diagnostike zostarnutia káblových systémov troch druhov káblových vzoriek s izoláciou na báze silanom sieťovaných polyolefínov. Táto oblasť bola zvolená z hľadiska aktuálnosti problematiky káblov s izoláciou z termoplastického materiálu so zvýšenou odolnosťou voči ohňu tzv. LSZH materiálov. Tieto typy materiálov pri požiari zabraňujú rozšíreniu plameňov a minimálne uvoľňujú dym a zároveň neuvolňujú korozívne a toxické plyny. Pri experimente boli analyzovaní tri druhy vzoriek. Išlo o káble typu CHKE-R J 3x1,5 (Vz.1), CXHKE-R J 3x1,5 (Vz.2) a N2XH J 3x1,5 (Vz. 3). Pričom vzorka typu CXHKE-R J 3x1,5 je prototypom kábla a mala by vykazovať lepšie elektrické vlastnosti v porovnaní so vzorkou CHKE-R J 3x1,5.

3.6.1 Meranie zmeny elektrických parametrov vplyvom dlhodobého pôsobenia vody na izoláciu predložených vzoriek

Vzorky boli umiestnené vo vode počas merania, ktoré bolo vykonané meraním časovej závislosti nabíjacieho prúdu po dobu 1 minúty pri meraní jednosmerným napätím 100 V. Proces merania sa opakoval v každom diagnostickom cykle pre všetky vzorky. V tomto prípade nás zaujímala hodnota izolačného odporu po 15 sekundách od spustenia merania a hodnota po 1 minúte pri zapojení jednej žily proti všetkým žilám a zapojeniu všetkých žíl voči vode. Tento postup merania bol opakovaný pri každom diagnostickom cykle pre všetky vzorky. Pri každej vzorke sa merala každá žila samostatne. Nakoľko sa výsledky meraní jednotlivých žíl od seba líšia minimálne ďalej uvádzame pre každú vzorku meranie na jednej žile.



Obr. 9 Závislosť relatívnej zmeny izolačného odporu a stratového činiteľa vzhľadom na dobu starnutia pre jednotlivé vzorky

Na Obr.9 je znázornená závislosť relatívnej zmeny izolačného odporu a stratového činiteľa vzoriek. Zo závislosti môžeme konštatovať, že zmeny izolačného odporu vplyvom pôsobenia vody na káblovú izoláciu vzoriek a následné vypočítanie hodnoty relatívnej zmeny mali tendenciu postupného poklesu. Najväčšia relatívna zmena sa prejavila pri vzorke CHKE-R J 3x1,5 a to o pokles 59,7 % v porovnaní s nameranou hodnotou izolačného odporu v dodanom stave. Hodnoty relatívnej zmeny jednotlivých vzoriek sa výrazne nelíšili a pohybovali sa v intervale $-1,9 \%$ a $-59,7 \%$. Relatívna zmena izolačného odporu, výpočet zmeny izolačného odporu v priebehu starnutia je vzťahnutá na počiatočnú hodnotu nameranú v dodanom stave jednotlivých vzoriek.

Z analýzy zmeny elektroizolačných parametrov vplyvom starnutia spôsobeného extrémnou vlhkosťou, môžeme konštatovať, že zmena izolačného odporu bola spôsobená postupným navlhčením izolácie, kde hodnoty izolačného odporu postupne klesali. Maximálna relatívna zmena bola zaznamenaná pri vzorke CHKE-R J 3x1,5 a to o 59,7%. Najmenšia zmena izolačného odporu bola zaznamenaná pri vzorke N2XHJ 3x1,5 a to o 41,6%. Vzorka CXKE-R 3x1,5 za 73 dní pôsobenia vlhkosti na vzorku vykazovalaneustále vyššie hodnoty izolačného odporu ako vzorka CHKE-R J 3x1,5. V tomto prípade je teda nutné konštatovať, že vzorka CXKE-R 3x1,5 mala v dodanom stave vyššie hodnoty izolačného odporu ako vzorka CXKE-R 3x1,5.

3.7 Vplyv ozónu na vybrané druhy káblov

Vplyv pôsobenia ozónu na izolácie káblov resp. plášte káblov je vhodné brať do úvahy aj z dôvodu vývoja nových polymérnych materiálov, ktoré sú v prípade VN zariadení vystavované jeho účinku. Ozón je podstatným faktorom pri poškodení prostredníctvom prirodzeného poveternostného prostredia. Vyskytuje sa však aj v uzavretých priestoroch, obzvlášť v oblastiach s elektrickými výbojmi a zdrojmi ultrafialového žiarenia. Pri tom sú výsledky závislé predovšetkým na koncentrácii ozónu a napnutí materiálu. K tomu sa pridávajú vplyvy teploty, vlhkosti vzduchu, pôsobenia slnečného žiarenia, znečistenie vzduchu a zrážky.

Pre účely nášho experimentu boli vybrané káble 9 rôznych typov. Cieľom tohto výberu je analýza rôznych druhov káblov a reakcia elektrických a mechanických parametrov na intenzívne pôsobenie ozónu po dobu 192 hodín. Všetky káblové vzorky pochádzajú priamo z výroby a nikdy neboli vystavené namáhaniu v reálnej prevádzke.

3.7.1 Meranie zmeny mechanických parametrov vzoriek vplyvom pôsobenia vysokej koncentrácie ozónu

Merania mechanických parametrov vzoriek prebiehalo len pre vybrané vzorky zo zvolených vzoriek podrobených účinkom vysokej koncentrácie ozónu. Dôvodom tohto postupu boli konštrukčné predispozície vzoriek a problémy pri odstraňovaní izolácie a plášťov jednotlivých vzoriek. Vzorky určené k deštrukčným skúškam boli odobrané v tvare izolačných rúrok, čomu predchádzalo opatrné

odstránenie jadra, tak aby nedošlo k lokálnemu poškodeniu izolácie, čo by sa prejavilo na mechanických parametroch. Okrem izolácie sme deštruktívnym skúškam podrobili aj plášte vzoriek. Vzhľadom na čas starnutia predpokladáme, že ak dôjde k mechanickým zmenám parametrov prejaví sa skôr na plášti ako na ich izolácii.

Meranie ťažnosti jednotlivých vzoriek bolo vykonané na trhačke, plne automatizované. Všeobecne môžeme definovať ťažnosť nasledovne:

$$\varepsilon = 100 \times \left(\frac{l}{l_0} - 1 \right) [\%, mm, mm] \quad (2)$$

kde ε je ťažnosť, vypočítaná z dĺžky l v okamihu jej pretrhnutia, keď dĺžka vzorky v nezaťaženom stave je l_0 . Na kvantitatívne vyhodnotenie meraní sme zahrnuli aj výpočet relatívnej zmeny ťažnosti vzťahujúci sa na hodnotu merania po 192 hodinách starnutia v porovnaní s hodnotou v dodanom stave, určený nasledovným vzťahom:

$$\text{Rel.zmena} = 100 \times \left(\frac{\varepsilon_{192\text{hod}}}{\varepsilon_{0\text{hod}}} - 1 \right) [\%] \quad (3)$$

V nasledujúcej tabuľke uvádzame merania ťažnosti vzoriek. Výsledky merania sú štatisticky určené pre každý cyklus starnutia pre jednotlivé vzorky

Tab. 1 Zmena ťažnosti vplyvom starnutia vybraných typov vzoriek

Vzorka 3						
	$\varepsilon_{0\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{48\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{96\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{144\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{192\text{hod}} [\%]$	Rel.zmena[%]
plášť	148,38	171,93	157,00	143,65	157,68	6,27
modrá	203,55	116,53	197,33	153,78	195,67	-3,87
čierna	160,93	146,58	152,65	193,68	193,50	20,24
hnedá	180,17	192,70	184,48	149,98	141,17	-21,65
sivá	237,33	233,20	252,00	218,43	247,17	4,15
Vzorka 5						
	$\varepsilon_{0\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{48\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{96\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{144\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{192\text{hod}} [\%]$	Rel.zmena[%]
plášť	269,70	175,30	292,70	283,90	279,13	3,50
Vzorka 6						
	$\varepsilon_{0\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{48\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{96\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{144\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{192\text{hod}} [\%]$	Rel.zmena[%]
plášť	239,12	235,27	227,52	219,07	237,67	-0,61
Vzorka 7						
	$\varepsilon_{0\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{48\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{96\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{144\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{192\text{hod}} [\%]$	Rel.zmena[%]
plášť	152,08	141,20	130,03	160,13	135,17	-11,12
hnedá	133,97	121,50	114,10	126,87	76,00	-43,27
modrá	115,27	119,97	122,20	122,07	112,80	-2,14
zelenožltá	121,00	125,57	123,75	121,07	112,40	-7,11
Vzorka 8						
	$\varepsilon_{0\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{48\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{96\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{144\text{hod}} [\%]$	$\varepsilon_{192\text{hod}} [\%]$	Rel.zmena[%]
čierna	226,53	195,57	215,04	179,70	194,20	-14,27
zelenožltá	168,93	212,05	182,08	192,93	170,98	1,21

Hodnoty merania ťažnosti plášťov jednotlivých vzoriek sa pohybovali v intervale od 141,2 %, v prípade plášťa Vzorky 7 po pôsobení starnutia 48 hodín, po hodnotu 269,70%, v prípade Vzorky 5 v dodanom stave. Pri pôsobení ozónu na plášte predložených vzoriek môžeme konštatovať, že najvýraznejšia relatívna zmena sa prejavila pri Vzorky 7 a to -11,12%, teda došlo k poklesu ťažnosti a

relatívne zhoršeniu vlastností. Ale ak sa na výsledky pozrieme komplexne, relatívne zmeny hodnôt ťažnosti plášťov jednotlivých vzoriek sa pohybujú v intervale $-11,12\%$ až $6,27\%$. Z nameraných výsledkov vplyvu ozónu na plášť môžeme konštatovať, že relatívne zmeny sú len minimálne a môžeme ich považovať za chybu merania, nakoľko sa jedná o štatisticky vyhodnocované údaje. Z tohto dôvodu môžeme teda konštatovať, že vplyv ozónu po dobu 192 hodín za vyššie spomenutých podmienok nemal vplyv na mechanické vlastnosti plášťov predložených vzoriek.

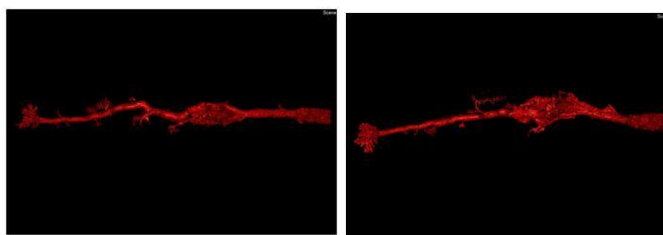
V prípade vyhodnotenia mechanických zmien vzniknutých vplyvom pôsobenia ozónu na izolácie káblových vzoriek sa najvýraznejšie zmeny prejavili pri Vzorke 7, kde relatívna zmena ťažnosti predstavovala $-43,24\%$ vzhľadom na dodaný stav. Nakoľko ale v prípade plášťov došlo len k malým zmenám ťažnosti počas starnutia môžeme predpokladať, že tento výsledok je výrazne skreslený, pretože ostatné žily káblovej vzorky mali pokles ťažnosti o $-2,14\%$ a $-7,11\%$. Predpokladáme, že chyba mohla nastať napríklad pri odstraňovaní izolácie z jadra, kde došlo k ich mechanickému poškodeniu. Z nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že pôsobenie vysokej koncentrácie ozónu a to 200 ppm pri vlhkosti 50-55% a teplote 40°C nemalo výrazný vplyv na ich mechanické vlastnosti.

3.8 Nové možnosti diagnostiky porúch izolačného systému

Z hľadiska komplexného zhodnotenia príčin poruchy vznikajúcej na káblových vysokonapäťových koncovkách je výhodné zistiť primárnu príčinu vzniku poruchy. Napr. pri poruche VN koncovky je vo veľkej väčšine prípadov vplyvom skratového prúdu celá časť miesta poruchy úplne zničená. V rámci komplexného určenia porúch sme sa pokúsili o nájdenie nejakej nekonvenčnej metódy, pomocou ktorej by sa dalo analýzou nezničenej časti koncovky, alebo analýzou susedných koncoviek určiť pravdepodobnú príčinu poruchy. Pokúsili sme sa o aplikáciu počítačovej tomografie – microCT.

Technológia CT je v priemyselných aplikáciách nová a software na spracovanie dát je prakticky priamo prenesený zo zariadení microCT používaných v medicínskej praxi. V rámci možnosti analýzy izolácie VN kábla touto metódou po vystavení vzorky elektrickému namáhaniu, sme využili túto metódu na zobrazenie vzniknutých porúch v izolácii kábla. Ide o použitie microCT v oblasti, v ktorej nie je použitie tejto metódy bežné resp. vôbec sa nepoužíva. Cieľom bolo overenie možnosti zariadenia v rámci zobrazenia vzniknutých dutín v izolácii. Izolácia vzorky VN kábla bola úmyselne napichaná ihlami, tým sa porušilo rozloženie elektrického poľa vo vnútri VN kábla, vzorka následne bola napojená na zdroj VN, kde došlo k prierazu.

Jednou z možností využitia tejto zobrazovacej techniky je zobrazovanie vytvorených elektrických stromčekov v káblovej izolácii.



Obr. 10 Príklad zobrazenia elektrického stromčeka vo VN kábli pomocou techniky MicroCT

Vyššie uvedené obrázky vznikli za účelom overenia možnosti zobrazenia kábla resp. vzniknutých stromčekov touto metódou, ktorá sa javí ako vhodná nová a nekonvenčná metóda analýzy, napríklad takéhoto druhu poškodenia izolácie. Poškodenie VN kábla bolo vytvorené v laboratóriu OMAT a diagnostika metódou MicroCT bola urobená v laboratóriu Fakulty strojného inžinierstva VUT v Brne. Môžeme zhodnotiť, že metóda sa v tomto prípade javila ako vhodná. MicroCT sa zdá byť veľmi cennou nedeštruktívnou metódou využiteľnou vo vysokonapäťovej technike. Touto metódou by bolo možné odhaliť rôzne závady vzniknuté v izoláciách káblov resp. v iných VN zariadeniach. Metóda MicroCT sa javí ako vhodná nová diagnostická metóda využiteľná pri skúmaní vybraných typov degradácie izolačných systémov káblov [46-50]

4 Dosiahnuté výsledky a prínosy práce

Neoddeliteľnou súčasťou elektroenergetiky a silnoprúdových zariadení je elektroizolačný systém, ktorého spoľahlivosť hrá dôležitú úlohu pri spoľahlivej prevádzke elektroenergetických zariadení. Spoľahlivosť je rozhodujúcim článkom reťazca bezproblémovej prevádzky. Vplyvom degradačných činiteľov ale dochádza k zmenovlastnostiam izolačného systému, čo výrazne ovplyvňuje zariadenie ako celok a má výrazný dopad na jeho prevádzku. Preto sú informácie o stave izolačného systému dôležité na odhad rizika vzniku poruchy. Monitorovanie parametrov izolačného systému je dôležitým aspektom a neodmysliteľnou súčasťou pre zabezpečenie požadovanej spoľahlivosti káblov a káblových systémov. V rámci tohto monitoringu, on-line alebo off-line metódou, je dôležitá správna voľba diagnostických metód. Ukázalo sa, že využívanie klasických metód monitoringu je síce potrebné a čiastočne postačujúce, ale pre komplexné hodnotenie stavu dielektrických parametrov je nutné monitorovať ho podrobnejšie.

Hlavným cieľom dizertačnej práce bol výskum vplyvu viacerých druhov namáhania na rôzne druhy izolačných systémov káblových vzoriek a analýza voľby vhodných diagnostických metód.

V dizertačnej práci sú komplexne spracované vplyvy degradačných činiteľov na elektroizolačný systém káblových vzoriek a metódy diagnostiky zmeny týchto parametrov elektroizolačného systému. V práci sme sa podrobne zamerali na laboratórnu diagnostiku 6 kV káblových vzoriek vystavených kombinovanému namáhaniu v reálnej prevádzke, pomocou viacerých diagnostických metód. Cieľom bolo porovnanie a vyhodnotenie vhodnosti využitia konvenčných metód s použitím nekonvenčnej VLF metódy a následnému vysloveniu záveru jej vhodnosti resp. nevhodnosti využitia v praxi pri silových resp. VN kábloch s PVC izoláciou, nakoľko VLF metóda je pre káble s PVC izoláciou využívaná minimálne.

V prípade využitia VLF metódy sme použili dve zariadenia. Prvým je laboratórne zariadenie určené na analýzu dielektrických a izolačných vlastností materiálov vo frekvenčnom rozsahu 1 mHz – 1 MHz. Toto zariadenie sme využili na komplexnú analýzu zmeny dielektrických spektier elektroizolačného systému káblových vzoriek v porovnaní s druhým prístupom, a to s využitím profesionálneho VLF zariadenia určeného na diagnostiku v reálnej prevádzke, pri hodnotách meracieho napätia do 34 kV, avšak v užšom frekvenčnom intervale 0,01 – 0,1 Hz.

Návrh metodiky a porovnania výsledkov s konvenčnými metódami prispel ku komplexnejšiemu pohľadu na zmenu stavu elektroizolačných vlastností a súvis ich zmeny so zmenou polarizačných spektier a relaxačných časov izolačného materiálu počas starnutia.

Cieľom zvoleného postupu merania je porovnanie získaných výsledkov pomocou VLF dielektrickej spektroskopie s výsledkami získanými klasickými diagnostickými metódami, v rámci merania teplotných závislostí analyzovaných vzoriek a ich následné kvalitatívne a kvantitatívne zhodnotenie. Hlavným prínosom takto navrhutej metodiky je využitie VLF dielektrickej spektroskopie na analýzu zmeny elektrických parametrov silových káblov v rámci teplotnej závislosti pomocou laboratórneho zariadenia a profesionálneho VLF zariadenia a súčasne identifikácia nízkofrekvenčných polarizačných procesov pre všetky analyzované vzorky 6 kV káblov, kvantitatívne a kvalitatívne vyhodnotenie zmien týchto procesov počas starnutia vzoriek a poukázanie na zmenu hodnôt stratového činiteľa pri prevádzkovej frekvencii a v oblasti širokého spektra frekvencií. Dôsledkom analýzy dosiahnutých výsledkov je vhodnosť aplikácie VLF dielektrickej spektroskopie v rámci komplexného hodnotenia zmeny elektroizolačných vlastností káblových vzoriek počas starnutia. Je potrebné podotknúť, že síce konvenčné metódy analýzy zmeny elektroizolačných materiálov nám ponúkajú dobré výsledky, ale v rámci bezproblémovej prevádzky káblových systémov je potrebné poznať komplexný pohľad na stav a zmenu nielen elektroizolačných parametrov ale aj zmenu relaxačných časov a dielektrických spektier jednotlivých vzoriek, ktoré poukazujú na vznik zmeny práve elektroizolačných parametrov. Práve z vyššie uvedených dôvodov odporúčame zaradenie takéhoto druhu analýzy zmeny dielektrických parametrov elektroizolačného systému káblov využívať v reálnej prevádzke nakoľko komplexnejší pohľad a možnosti odhadu blížiacich sa zmien elektroizolačných parametrov prinášajú potenciálnu možnosť nápravy resp. prijatia potrebných opatrení na zabránenie degradácie káblov a vzniku potenciálnej poruchy. Nakoľko sme sa v cieľoch dizertačnej práce zamerali na rôzne druhy izolačných systémov, jednou z troch častí experimentu dizertačnej práce je poukázanie na vhodnosť využitia

nových izolácií na báze silanom sietených LSZH materiálov. V tomto prípade bolo cieľom porovnanie káblových vzoriek s klasickou izoláciou a súčasne overenie vlastností prototypu kábla CXHKE-R-J 3,5x1,5 s izoláciou tvorenou silanom zosieteným LSZH materiálom a s plášťom z termoplastického LSZH. V súčasnosti sa kladie dôraz na bezpečnosť a spoľahlivosť nie len silových káblov a práve kombinácia plášťa a izolácie tvorenej LSZH materiálmi predstavuje vhodné riešenie tohto problému. Cieľom analýzy prototypu kábla s izoláciou tvorenou silanom zosieteným LSZH materiálom bolo poukázanie na zmenu parametrov v porovnaní s klasickým káblom. Výsledkom tejto analýzy je poukázanie na vyššiu odolnosť voči degradačným činiteľom a menšiu zmenu elektroizolačných vlastností v porovnaní s klasickým káblom. Je ale potrebné uviesť, že prototyp kábla vykazoval už v dodanom stave lepšie vlastnosti. Z analýzy nameraných výsledkov môžeme teda konštatovať, že nové materiály na báze silanom sietených LSZH materiálov sú vhodnou alternatívou využitia v reálnej prevádzke ako silové káble a to s ohľadom na zvýšenú protipožiarnu bezpečnosť.

Záverečnú časť dizertačnej práce tvorí analýza zmeny elektroizolačných a mechanických parametrov viacerých druhov káblových vzoriek podrobených starnutiu vplyvom vysokej koncentrácie ozónu. Táto problematika bola zvolená v rámci komplexného hodnotenia rôznych druhov káblových vzoriek za účelom dosiahnutia komplexného pohľadu na rôzne druhy degradačných činiteľov.

Vplyv pôsobenia ozónu na izolácie káblov resp. plášte káblov je vhodné brať do úvahy aj z dôvodu vývoja nových polymérnych materiálov, ktoré sú v prípade VN zariadení vystavované jeho účinku, k tomu sa pridávajú vplyvy teploty, vlhkosti vzduchu, pôsobenia slnečného žiarenia, znečistenie vzduchu a zrážky. Cieľom tohto experimentu bolo poukázať na vplyv vysokej koncentrácie ozónu, ktorá sa vo zvýšenej miere nachádza v okolí každého VN zariadenia a tak úzko súvisí s degradáciou elektroizolačného systému, v prípade káblov s poškodením vonkajšieho plášťa, čo následne vedie k zhoršovaniu vlastností izolácie, nielen mechanických ale aj elektrických.

V rámci experimentu sme poukázali na skutočnosť, že v reálnej prevádzke by bolo potrebné dlhodobé pôsobenie vysokej koncentrácie ozónu na káble, aby boli zaznamenané signifikantné zmeny vlastností. Ako vyplynulo z výsledkov nášho experimentu, nové vzorky káblov pri koncentrácii ozónu niekoľkokrát prevyšujúcej koncentrácie nachádzajúcej sa v reálnej prevádzke, nevykazovali žiadne zmeny mechanických resp. elektrických parametrov. Pri tomto experimentálnom meraní sme poukázali taktiež na nevhodnosť analýzy mechanických parametrov nových vzoriek podrobených starnutiu v úvodnej fáze starnutia a taktiež na dôležitosť voľby vhodnej dĺžky vzoriek, úrovne meracieho napätia a podmienok starnutia analyzovaných káblových vzoriek.

Pri analýze a výbere vhodnej diagnostickej metódy sme sa zamerali na možnosť využitia zariadenia MicroCT na analýzu degradačných zmien v štruktúre izolačného materiálu, ako sú elektrické stromčeky vytvárajúce sa v izoláciách silových káblov a káblových koncoviek a možnosť ich presnej lokalizácie a reálneho zobrazenia. V tomto prípade vidíme potenciálnu vhodnú diagnostickú metódu na analýzu a presnú lokalizáciu napr. vytvorených elektrických stromčekov. Touto metódou by bolo možné odhaliť rôzne závady vzniknuté v izoláciách káblov resp. v iných VN zariadeniach. Metóda microCT sa javí ako vhodná nová diagnostická metóda využiteľná pri skúmaní vybraných typov degradácie izolačných systémov káblov.

V dizertačnej práci sme sa zamerali na viaceré problémy a metódy hodnotenia zmien dielektrických a elektroizolačných parametrov viacerých káblových vzoriek. Hlavným cieľom práce bolo poukázanie na dôležitosť komplexného hodnotenia elektroizolačných systémov v rámci elektroenergetických zariadení a poukázanie na dôležitosť aplikácie nielen konvenčných ale aj nekonvenčných metód hodnotenia stavu elektroizolačných systémov v elektroenergetike. Zo získaných poznatkov môžeme konštatovať, že zabezpečenie vyššej spoľahlivosti prevádzky elektroenergetických zariadení s dôrazom na káblové systémy úzko závisí nielen na monitorovaní zmien klasickými metódami diagnostiky, ale je potrebné uvažovať o zavedení nekonvenčných metód, ako je VLF dielektrická spektroskopia do reťazca diagnostiky a monitorovania zmeny parametrov elektroizolačného systému, ako článok zabezpečujúci komplexný pohľad na zmenu dielektrických parametrov, napr. polarizačných spektier, či relaxačných časov. Táto zavedená metodika nám výrazne pomôže pri predpokladaní potenciálnej poruchy a včasnom zavedení potrebných opatrení. Taktiež dôležitým prínosom je komplexný pohľad na jednotlivé degradačné faktory a nutnosť ich eliminácie resp. nutnosť pravidelného monitoringu stavu zariadení.

5 Záver

V úvode tejto práce sme sa zamerali na všeobecný prehľad problematiky káblov a ich izolačných systémov a to nie len z hľadiska ich diagnostiky ale aj výroby a výskumu nových materiálov a ich vhodnosť použitia nielen z pohľadu elektrických vlastností ale aj ekonomickej výhodnosti.

Pri všeobecnom pohľade na problematiku káblových systémov je potrebné poznať aj správanie sa dielektrík a izolantov z hľadiska prebiehajúcich fyzikálnych dejov. Preto sme prvú kapitolu tejto práce venovali hlbšej analýze týchto procesov a to z hľadiska zhrnutia súčasného stavu poznania fyziky dielektrík, ktorá pojednáva o fyzikálnych vlastnostiach dielektrických materiálov, polarizačných procesov, dielektrickej odozvy a taktiež teplotnej závislosti v dielektrikách. Spomenuté poznatky vysvetľujú princípy aplikovaných metód, ale slúžia aj ako základ pre správne interpretovanie získaných experimentálnych výsledkov.

V prípade diagnostiky stavu zostarnutia izolačných systémov je potrebné poznať aj pracovné podmienky daných systémov ale aj rýchlosť a priebeh starnutia vo zvolených podmienkach ako aj mechanizmy porúch vyvolaných pôsobiacimi degradačnými faktormi. Preto sme jednu kapitolu práce venovali degradačným procesom v elektroizolačných systémoch, pričom sme sa bližšie zamerali na tepelné starnutie v daných podmienkach, ktoré považujeme za dominantný degradačný faktor v prípade silových káblov. Okrem tepelného starnutia sme sa v krátkosti venovali aj iným druhom degradačných faktorov, ako sú vplyvy elektrického namáhania, namáhania vplyvom vlhkosti ale spomenuli sme aj jednotlivé modely starnutia. Keďže degradačné faktory pôsobia na každý druh izolačného materiálu rôzne, jednu podkapitolu práce sme venovali prehľadu rôznych druhov izolačných systémov používaných v súčasnosti.

Metódy hodnotenia zmien v izolačných systémoch uvedené v Kapitole 4 nám slúžia ako základ posudzovania stavu zostarnutia izolačných systémov. V tejto kapitole sú uvedené teoretické podklady a popis metodiky, nami aplikovaných ale aj ďalších skúšobných metód, ktoré v experimentálnej časti práce neboli použité.

V práci je kladený dôraz na nedeštruktívne metódy hodnotenia elektrických parametrov predložených vzoriek v časovej ale aj frekvenčnej oblasti. Ako sme vyššie spomenuli, analýza a monitorovanie zmien elektrických parametrov vzoriek, bolo realizované pomocou VLF metódy, kde sme sa zamerali aj na interpretáciu formalizmu dielektrického modulu v oblasti VLF, čo nie je bežná metóda hodnotenia stavu izolačných systémov silových káblov.

Ťažisko predloženej práce je experimentálna časť. V tejto časti sme sa zamerali na analýzu zmeny elektrických parametrov vzoriek vystavených rôznym druhom degradačných faktorov. Najväčšia časť experimentu je venovaná analýze zmeny elektrických parametrov káblových 6 kV vzoriek typu 6 – AYKCYm 3x240, už používaných v reálnej prevádzke, pričom už pri dodanom stave vzorky vykazovali hraničné hodnoty izolačných a dielektrických parametrov. Cieľom tohto výberu bola práve analýza káblových systémov používaných v reálnej prevádzke, ktoré už boli vystavené sérii degradačných faktorov, ktorých súbor tvorí kombinované namáhanie izolácií zvolených káblových vzoriek. Následne boli tieto vzorky podrobené tepelnému starnutiu v diagnostických cykloch pri teplote 100°C po dobu 3480 hodín, pričom v pravidelných intervaloch boli vykonávané diagnostické merania. Takto zvolené podmienky zrýchleného starnutia simulujú namáhanie káblových systémov v pracovných podmienkach, kde dominantným mechanizmom degradácie je práve tepelná degradácia.

Ďalej sme sa zamerali aj na analýzu zmeny elektrických a mechanických parametrov vzoriek, ktoré boli nové a nikdy neboli vystavené žiadnym degradačným faktorom. Tieto vzorky sme podrobili tepelnému starnutiu, starnutiu vplyvom vysokej vlhkosti a vplyvom pôsobenia vysokej koncentrácie ozónu. Na experiment bolo vybraných viacero druhov káblových vzoriek. V prípade starnutia vplyvom vysokej vlhkosti a tepelného starnutia sme analyzovali vzorky s plášťami z LSZH materiálov, ktoré sme porovnávali s prototypom vzorky s izoláciou na báze silanom zosieteným LSZH materiálom. Analýzou 9 typov vzoriek sme pozorovali zmeny mechanických a elektrických parametrov spôsobených vysokou koncentráciou ozónu.

V jednotlivých kapitolách sú uvedené výsledky meraní teplotných závislosti izolačného odporu, stratového činiteľa a kapacity jednotlivých káblových vzoriek. Merania boli zamerané na využitie diagnostických metód pri frekvencii 50 Hz, kde tieto metódy sú považované zatiaľ klasické. Okrem

týchto metód sme v jednotlivých diagnostických cykloch realizovali merania metódou VLF dielektrickej spektroskopie. Jednalo sa o merania kapacity a stratového činiteľa, pričom v rámci vyhodnocovania výsledkov sme využili model komplexného modulu na určenie polarizačných maxím a následne relaxačných časov pre jednotlivé vzorky. V prípade meraní vzoriek z LSZH materiálov tvorených plášťov a izolácie silanom sietených LSZH materiálov boli použité klasické diagnostické metódy a to metóda merania izolačného odporu, merania stratového činiteľa a kapacity pomocou Sheringerovho mostíka. V prípade merania zmeny parametrov vzoriek podrobených pôsobeniu vysokej koncentrácie ozónu bola využitá aj deštrukčná diagnostická metóda merania ťažnosti a pevnosti v ťahu vybraných vzoriek.

Výsledky aplikácie vybraných diagnostických metód na vzorky vystavené dlhodobému teplotnému starnutiu, ale aj starnutiu vplyvom pôsobenia vlhkosti a vysokej koncentrácie ozónu, sú uvedené pre jednotlivé merania v experimentálnej časti práce. Z hľadiska aplikácie navrhnutého postupu merania zmeny elektroizolačných vlastností predložených vzoriek môžeme konštatovať, že navrhnutý postup merania a aplikácia VLF dielektrickej spektroskopie pri analýze 6 kV káblov je z hľadiska aplikácie v elektroenergetike veľmi vhodnou metódou na získanie komplexného obrazu analyzovanej vzorky. Zavedenie metódy dielektrickej spektroskopie ku konvenčným meraniam elektroizolačného stavu káblov a súčasne identifikácia nízkofrekvenčných polarizačných procesov vedie ku kvantitatívnemu a kvalitatívnemu vyhodnoteniu zmien týchto procesov počas starnutia vzoriek a poukázanie na zmenu hodnôt stratového činiteľa pri prevádzkovej frekvencii a v oblasti širokého spektra frekvencií.

Stanovené ciele práce sa nám podarilo naplniť. V dizertačnej práci poskytujeme ucelený pohľad na problematiku diagnostiky káblových izolačných systémov, ktoré sú podrobené rôznym druhom degradačných faktorov a s využitím rôznych diagnostických metód, pričom niektoré z nich nie sú priamo používané v rámci diagnostiky v oblasti elektroenergetiky. Výsledky získané z predloženej práce dopomáhajú k určeniu správnej voľby diagnostických metód a poukazujú na možnosť využitia aj menej resp. vôbec využívaných postupov na analýzu zmeny parametrov izolačných systémov káblov a tým presnejšie určenie životnosti a vývoja zmeny spomínaných elektrických a mechanických parametrov.

Výsledky dosiahnuté v dizertačnej práci môžu byť využité ako základ ďalšieho aplikovaného výskumu, nakoľko problematika starnutia elektroizolačného systému káblov ale aj iných zariadení je natoľko široká, že rozsah dizertačnej práce neumožňuje aplikovať všetky dostupné metódy skúmania.

Publikačná činnosť autora

- [1] ADE01 SKORŠEPOVÁ, Terézia. Design of a Sensor System with Surface Plasmon Polaritons Utilization Using a Polarimeter. In *Jemná mechanika a optika*. Roč. 58, č. 10 (2013), s.277-281. ISSN 0447-6441.
- [2] ADF01 LELÁK, Jaroslav - FIRICKÝ, Eduard - VÁRY, Michal - PACKA, Juraj - SKORŠEPOVÁ, Terézia. The Effect of Temperature and Temperature Rise Test of Distribution Transformers. In *Materials Science and Technology [elektronický zdroj]*. Roč. 13, č. 2 (2013), s.online, s. 26-33. ISSN 1335-9053.
- [3] AFC01 LELÁK, Jaroslav - SKORŠEPOVÁ, Terézia - VÁRY, Michal - FIRICKÝ, Eduard - SMITKOVÁ, Miroslava. Water and temperature influence on polyolefin silane cross-linkined cable insulation. In *Electric Power Engineering 2014 : 15th International scientific conference on Electric power engineering (EPE); Brno, Czech Republic, May 12-14, 2014*. 1. vydanie. Brno : Brno University of Technology, 2014, s. 431-435. ISBN 978-1-4799-3806-3.
- [4] AFC02 VÁRY, Michal - SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav - RUHNKE, Thorsten - KUBINEC, Peter. HV very low frequency method for evaluation of 6kV cable type 6-AYKCY 3x240 parameters changes during the thermal aging. In *Electric power engineering 2015 : 16th International scientific conference on electric power engineering (EPE). Kouty nad Desnou, Czech Republic. May 20-22, 2015*. Ostrava : VSB - Technical University of Ostrava, 2015, S. 369-372. ISBN 978-1-4673-6787-5.
- [5] AFD01 FIRICKÝ, Eduard - SKORŠEPOVÁ, Terézia - VÁRY, Michal. Comparison of solar energy availability based on real and simulated irradiation data. In *Power Engineering 2014. Renewable Energy Sources 2014 : Proceedings of 5th International scientific conference OZE 2014. Tatranské Matliare, Slovakia, May 20-22, 2014*. 1.vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2014, s. 161-165. ISBN 978-80-89402-73-1.
- [6] AFD02 JANÍČEK, František - TELEK, Peter - SKORŠEPOVÁ, Terézia - SMITKOVÁ, Miroslava - KUBICA, Juraj. SERPENTE - presentation of the best experiences obtained within project SERPENTE. In *Power Engineering 2014. Renewable Energy Sources 2014 : Proceedings of 5th International scientific conference OZE 2014. Tatranské Matliare, Slovakia, May 20-22, 2014*. 1.vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2014, USB, [3] s. ISBN 978-80-89402-73-1.
- [7] AFD03 SKORŠEPOVÁ, Terézia - CHLPÍK, Juraj. Spectroscopic Ellipsometer as a Sensor Based on Surface Plasmon Polaritons. In *APCOM 2012. Applied Physics of Condensed Matter : Proceedings of the 18th International Conference. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 20-22, 2012*. 1. vyd. Bratislava : STU v Bratislave, 2012, s.276-279. ISBN 978-80-227-3720-3.
- [8] AFD04 SKORŠEPOVÁ, Terézia. Povrchové elektromagnetické vlny. In *ŠVOČ 2010 : Zborník vybraných prác. Bratislava, Slovak Republic, 21.4.2010*. Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2010, s.CD-Rom. ISBN 978-80-227-3286-4.
- [9] AFD05 SKORŠEPOVÁ, Terézia - CHLPÍK, Juraj. Konštrukcia senzorového systému na báze povrchových elektromagnetických vln. In *Česko-slovenská študentská vedecká konferencia vo fyzike : Košice, 19.-20.5.2011*. Košice : Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, 2012, s.170-173. ISBN 978-80-7097-930-3.
- [10] AFD06 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Water and Electrical Trees in Cable Insulation. In *ELITECH'13 [elektronický zdroj] : 15th Conference of Doctoral Students; Bratislava, Slovakia, 5 June 2013*. 1. vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2013, s.CD-ROM, [4] s. ISBN 978-80-227-3947-4.
- [11] AFD07 SKORŠEPOVÁ, Terézia - CHLPÍK, Juraj. Využitie polarimetra ako senzora na báze povrchových plazmónov. In *ŠVOČ 2012 [elektronický zdroj] : Zborník vybraných prác, Bratislava, 25. apríl 2012*. Bratislava : FEI STU, 2012, s.CD-ROM, s. 179-184. ISBN 978-80-227-3697-8.
- [12] AFD08 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. History of Cable's Insulation System and High Voltage Cables. In *EE časopis pre elektrotechniku, elektroenergetiku, informačné a komunikačné technológie : konferencia ELOSYS, Trenčín, 15.-18.10.2013*. Roč. 19, mimoriadne č (2013), s.190-193. ISSN 1335-2547.
- [13] AFD09 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Deffect of the Optical Ground Wire. In *Zvyšovanie energetickej bezpečnosti Slovenskej republiky 2013 : zborník z vedeckej konferencie. Modra-Harmónia, Slovenská republika, 28.11.2013*. 1.vyd. Trnava : VUJE, 2013, s.67-70. ISBN 978-80-89402-66-3.
- [14] AFD10 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Hydropower Potential and Hydro Power Plant. In *Renewable Energy Sources 2013 : 4th International Scientific Conference OZE 2013. Tatranské Matliare, Slovakia, May 21-23, 2013*. 1.vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2013, s.513-518. ISBN 978-80-89402-64-9.

- [15] AFD11 SKORŠEPOVÁ, Terézia - FIRICKÝ, Eduard - VÁRY, Michal. Report on PV efficiency and producers. In *Power Engineering 2014. Renewable Energy Sources 2014 : Proceedings of 5th International scientific conference OZE 2014. Tatranské Matliare, Slovakia, May 20-22, 2014*. 1.vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2014, s. 209-213. ISBN 978-80-89402-73-1.
- [16] AFD12 SKORŠEPOVÁ, Terézia. Vodné a elektrické stromčeky v izoláciách vysokonapäťových káblov. In *EE časopis pre elektrotechniku, elektroenergetiku, informačné a komunikačné technológie : konferencia ELOSYS, Trenčín, 15.-18.10.2013*. Roč. 19, mimoriadne č (2013), s.194-196. ISSN 1335-2547.
- [17] AFD13 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Formation of partial discharges in insulation systems of cables and their diagnostic. In *EE časopis pre elektrotechniku, elektroenergetiku, informačné a komunikačné technológie : Zborník ku konferencii s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika, Informatika a Telekomunikácie 2014, ELOSYS*. Roč. 20, mimoriadne číslo (2014), CD-ROM, s. 235-237. ISSN 1335-2547.
- [18] AFD14 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Superconductivity cables in real operation. In *ELITECH'14 [elektronický zdroj] : 16th Conference of Doctoral Students; Bratislava, Slovakia, 4 June 2014*. 1.vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2014, [5] s. ISBN 978-80-227-4171-2.
- [19] AFD15 SKORŠEPOVÁ, Terézia - VÁRY, Michal - LELÁK, Jaroslav. The dielectric properties analysis of 6-AYKCYM 3x240 PVC cable insulation. In *ELITECH'15 [elektronický zdroj] : 17th Conference of doctoral students. Bratislava, Slovak Republic, May 25, 2015*. 1. vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2015, CD-ROM, [5] s. ISBN 978-80-227-4358-7.
- [20] BDF01 SKORŠEPOVÁ, Terézia. Surface Plasmon Polaritons as Sensor System. In *Posterus [elektronický zdroj]*. Roč. 5, č. 11 (2012), s.online [9] s. ISSN 1338-0087.
- [21] BDF02 SKORŠEPOVÁ, Terézia. The Growth of Water Trees in XLPE Cable's Insulation. In *Posterus [elektronický zdroj]*. Roč. 6, č. 9 (2013), s.online [6] s. ISSN 1338-0087.
- [22] BDF03 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Poruchy na kombinovanom zemnom lane. In *Posterus [elektronický zdroj]*. Roč. 6, č. 12 (2013), s.online, [5] s. ISSN 1338-0087.
- [23] BEF01 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Hydropotenciál krajín patriacich do OECD so zameraním na Nórsko. In *Elektrotechnológia 2013 : medzinárodná konferencia. Terchová, 5.-7.6.2013*. Žilina : Žilinská univerzita, 2013, s.26-32. ISBN 978-80-89072-65-1.
- [24] BEF02 SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav. Supravodivé káble v reálnej prevádzke. In *Zborník k odbornému semináru Životnosť silových káblov a vodičov, degradačné procesy a moderné diagnostické metódy*. 1.vyd. Bratislava : ÚEAE FEI STU, 2014, s. 12-17. ISBN 978-80-227-4282-5.
- [25] FAI01 VÁRY, Michal (ed.) - SKORŠEPOVÁ, Terézia (ed.). *Zborník k odbornému semináru Životnosť silových káblov a vodičov, degradačné procesy a moderné diagnostické metódy*. 1.vyd. Bratislava ÚEAE FEI STU 2014. 47 s. ISBN 978-80-227-4282-5.

Podané články na odpublikovanie

- [26] VÁRY, Michal - JANÚŠKOVÁ SKORŠEPOVÁ, Terézia - LELÁK, Jaroslav, PERNÝ, Milan.
Evaluation of dielectric and electrical properties of 6-AYKCY 3x240 PVC insulated cables during the thermal ageing by means of unconventional and conventional diagnostic methods.
 Transaction on electrical engineering, ISSN 1805-3386
- [27] JANÚŠKOVÁ SKORŠEPOVÁ, Terézia - VÁRY, Michal - LELÁK, Jaroslav The dielectric properties analysis of 6-AYKCYm 3x240 PVC cable insulation by means of unconventional methods of measurement.
Elektroenergetika 2015 International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, Stará Lesná Slovakia, September 16-18, 2015