

Lukáš Révés, Juraj Kurimský, Roman Cimbala

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

## Zmena kapacity PP kondenzátora počas urýchleného starnutia

**Abstrakt.** Nasledujúci text opisuje experiment zaoberajúci sa porovnaním kapacity PP kondenzátorov, ktorých dielektrikum tvorí polypropylénová fólia. Ako dielektrikum boli použité nové i zostaruté vzorky PP fólií s rôznou štruktúrou. Proces urýchleného starnutia bol realizovaný kombinovaným namáhaním v 3 etapách s maximálnym časom 667 hodín. Na experimentálne meranie bolo pripravených 22 ks vzoriek tvaru štvorca pre každú etapu starnutia. Dosažené výsledky poukazujú na zmenu kapacity PP kondenzátora vplyvom starnutia a štruktúry materiálu.

**Kľúčové slová:** starnutie, tepelné starnutie, polypropylén, PP kondenzátor

**Abstract** The following text describes an experiment following up comparison with dielectric capacitance of PP capacitors, whose dielectric consists of polypropylene film. New and aged samples of PP films with different structures were used as dielectric. The process of accelerated aging was conducted with combined stress in three stages. For each stage of aging were prepared 22 pieces of square shaped samples for experimental measurement. Achieved results indicate a change in dielectric capacitance of PP capacitors due to aging and material structure. (**PP capacitor capacity change during accelerated aging**)

**Keywords:** aging, accelerated aging, polypropylene, PP capacitor

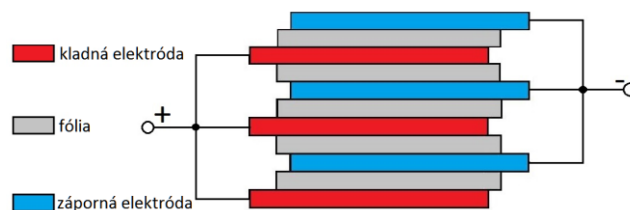
### Úvod

Po zistení, že polypropylén (PP) disponuje vynikajúcimi elektrickými vlastnosťami a veľmi dobrou chemickou i mechanickou odolnosťou, začal sa vo zvýšenej miere používať v rôznych priemyselných odvetviach [1]. V elektrotechnike sa využíva najmä ako izolačný materiál vo forme polypropylénových fólií, práve vďaka vynikajúcim elektrickým vlastnostiam. Medzi najdôležitejšie patria: nízke dielektrické straty, vysoký izolačný odpor, vysoká dielektrická pevnosť, nízka dielektrická absorpcia, výborná elektrická pevnosť, stabilné teplotné a frekvenčné charakteristiky, odolnosť proti vlhkosti a hlavne dlhá životnosť a stabilita pri zmenách teploty. Vďaka týmto vlastnostiam si našli veľké uplatnenie pri výrobe PP kondenzátorov, v ktorých plnia funkciu dielektrika. Výhodou týchto kondenzátorov je hlavne ich presnosť, určená nízkou kapacitnou toleranciou  $\pm 1\%$  pre štandardné kondenzátory. Ide o jeden z najmenších rozptylových faktorov spomedzi všetkých dielektrík [2].

Pri neustále sa zvyšujúcich nárokoch na stále efektívnejšie, kvalitnejšie a kompaktnější prístroje, súčiastky a zariadenia, je veľký dôraz kladený najmä na ich životnosť [3]. Na životnosť väčšiny materiálov používaných v elektrotechnike má najväčší vplyv napätie a teplota, pri ktorej pracujú, resp. na ktorú sa zahrievajú. Z tohto dôvodu sa na testovanie životnosti využíva najmä tepelné, elektrické alebo kombinované namáhanie [4]. Nasledujúci text popisuje zmeny kapacity PP kondenzátorov vplyvom urýchleného starnutia pri rôznych frekvenciách.

### Charakterizácia materiálu

Materiál, určený na experimentálne meranie bol poskytnutý priamo výrobcem a pozostával z dvoch typov špecializovaných fólií, vyrábaných z biaxiálne orientovaného polypropylénu (BOPP). Fólie boli rôzneho zloženia, s hrúbkou  $6,5\ \mu\text{m}$  ( $\pm 3\%$ ). Jednotlivé typy boli označené ako S1 a S2, kde hlavný rozdiel medzi poskytnutými vzorkami bol v štruktúre materiálu. Štruktúra vzorky S1 bola kryštalickejšia. Z oboch typov vzoriek boli spolu s hliníkovou fóliou vytvorené 4 šarže doskových kondenzátorov. Každý pozostával z 1 ks PP vzorky tvaru štvorca s rozmermi 70 mm x 70 mm vložené medzi dve hliníkové elektródy, vytvorené z hliníkovej fólie. Jednotlivé šarže pozostávali z 22 ks doskových kondenzátorov umiestnených na seba. Príklad usporiadania doskových kondenzátorov pre experiment je na obr. 1.



Obr. 1 Usporiadanie kondenzátorov pre experiment

### Urýchlené starnutie vzoriek

V praxi sa takmer všetky dielektrické materiály stretávajú so zvýšenou teplotou a elektrickou energiou. Týmto faktorom, ktoré priamo vplyvajú na životnosť dielektrika je preto nevyhnutné venovať zvýšenú pozornosť. Najideálnejšou voľbou je preto vystaviť materiál kombinovanému starnutiu [5].

Pri tomto experimente bolo urýchlené starnutie prevedené kombinovaným elektrotepelným namáhaním v teplovzdušnej peci s privedeným jednosmerným napätím. Starnutie bolo rozdelené do 3 etáp s časovými intervalmi uvedenými v tabuľke 1. Práve z dôvodu starnutia vzoriek pod napätím sa zo vzoriek vytvárali doskové kondenzátory. Všetky vzorky začali proces starnutia naraz, kde každej etape prislúchala jedna šarža doskových kondenzátorov z oboch testovaných vzoriek. Po ukončení jednotlivých etáp sa vzorky odobrali a starnutie pokračovalo. Z oboch vzoriek bola ponechaná 1 šarža ako referenčná (nová).

Tab. 1 Etapy starnutia s časovými intervalmi

Etapa	Časový interval starnutia
1.	167 hodín
2.	335 hodín
3.	667 hodín

### Meranie kapacity

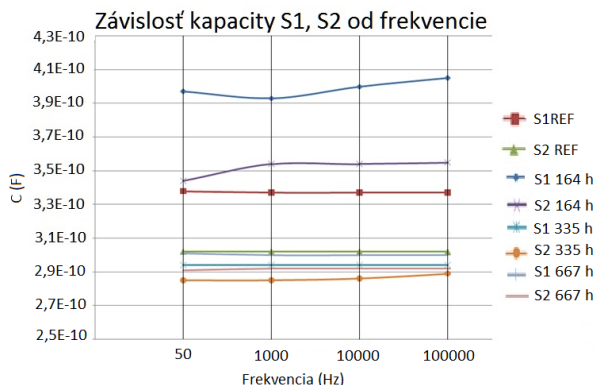
Jednou z najdôležitejších vlastností, ktoré pri dielektrikách určujeme je kapacita. Pomocou nej dokážeme určiť množstvo energie, ktoré dokážeme uskladniť napríklad v kondenzátore istých rozmerov, pokiaľ ako dielektrikum použijeme vybraný materiál. Využitie nájde i pri prepočtoch na iné veličiny, ktorými určujeme kvalitu dielektrík [6].

Pri tomto experimente bolo meranie kapacity vykonávané na všetkých šaržách vystavených starnutiu ako i na referenčných šaržách pomocou LCR mostíka a

paralelného elektródového systému pri frekvenciách 50 Hz, 1 kHz, 10 kHz a 100 kHz. Meranie bolo uskutočnené pri striedavom napätí 1 V.

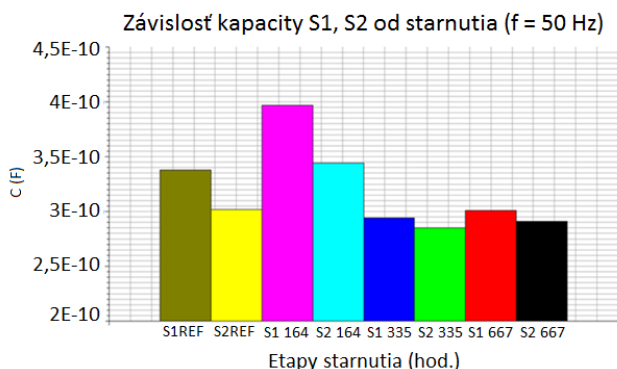
### Výsledky a diskusia

Počet testovaných vzoriek PP fólie použitých v kondenzátoroch pre každú šaržu bol 22 ks, pre minimalizovanie chýb pri meraní. Z dôvodu veľkého množstva nameraných hodnôt bolo potrebné na vyhodnotenie použiť štatistickú analýzu. Z výsledkov kapacity pre jednotlivé etapy boli vypočítané priemerné hodnoty, z ktorých boli vytvorené nasledujúce grafické závislosti.



Obr. 2 Porovnanie kapacity kondenzátorov pri S1 a S2

Na obr. 2 sa nachádza frekvenčná závislosť kapacity kondenzátorov so vzorkami S1 a S2. Môžeme si všimnúť, že hodnota ich kapacity sa v rozpätí 50 Hz - 100 kHz výrazne nemení. Najvyššie hodnoty kapacity dosahujú kondenzátory so vzorkami po 1. etape starnutia. Rozdiel medzi kondenzátormi s referenčnými vzorkami S1 a S2, v porovnaní s kondenzátormi so vzorkami po 1. etape je približne 50 pF až 60 pF.



Obr. 3 Závislosť kapacity vzoriek S1 a S2 od starnutia

Na obr. 3 je pre sieťovú frekvenciu 50 Hz detailnejšie znázornený rozdiel kapacity medzi kondenzátormi so vzorkami S1 a S2 počas jednotlivých etáp starnutia. Najvyššie hodnoty kapacity dosahujú kondenzátory so vzorkami po 1. etape starnutia. Na prvý pohľad je možné pozorovať rozdiel kapacity medzi vzorkami S1 a S2, kde hodnoty kapacity kondenzátora so vzorkou S1 dosahuje vyššie hodnoty pri referenčných vzorkách i všetkých etapách starnutia. Tento jav je spôsobený kryštalickejšou štruktúrou materiálu použitého pri výrobe vzoriek S1. Za kolísajúcou zmenou kapacity medzi jednotlivými etapami stojí vplyv umelého starnutia, kde po 1. etape starnutia možno pozorovať zvýšenú hodnotu kapacity oproti referenčným vzorkám, čo je spôsobené tzv. dozretím

materiálu, ktorý sa po 1. etape v peci presuší, vytvrdí a ešte vylepší svoje vlastnosti. Po ďalšom namáhaní už začína mierna degradácia materiálu, kde po 2. etape starnutia, je vidieť pokles kapacity oproti referenčným vzorkám i vzorkám po 1. etape starnutia. Hodnoty kapacity kondenzátorov so vzorkami po 2. etape starnutia majú najnižšiu hodnotu a postupne dochádza opäť k miernemu zvýšeniu hodnoty. Dôvodom opätovného zvýšenia je ustálenie vlastností materiálu po poslednej etape starnutia.

### Záver

Experimentálne merania vykonané na PP kondenzátoroch poukázali a potvrdili špecifické vlastnosti materiálov na báze polymérov. Materiály tejto štruktúry totiž nedosahujú najlepšie dielektrické vlastnosti ihneď po ich výrobe, ale získavajú ich až po krátkodobom tepelnom, prípadne elektrickom namáhaní. Výsledky experimentu dokazujú, že krátke vystavenie materiálu zvýšenej teplote v teplovzdušnej peci mierne vylepšuje dielektrické vlastnosti materiálu. Tento jav je spôsobený dozretím a presušením nedávno vyrobeného materiálu. Opakované vystavovanie vplyvom starnutia však jeho vlastnosti zhoršuje následkom degradácie materiálu. Meraním sa poukázalo i na značný vplyv štruktúry dielektrika na hodnotu kapacity PP kondenzátorov, kde kryštalickejšia štruktúra materiálu môže vykazovať priaznivejší vplyv na stabilitu vlastností PP kondenzátora.

### Podakovanie

Túto prácu podporili: Vedecká grantová agentúra MŠVVaŠ SR a SAV projektami VEGA č. 1/0311/15, VEGA č. 2/0141/16.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438

### Literatúra

- [1] Maddah, H. L.: Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. In: American Journal of Polymer Science. 2016, roč. 6, č.1, s. 1-11. ISSN 2163-1352
- [2] Qi, L., Petersson, L., Liu, T.: Review of recent Activities on Dielectric Films for Capacitor Applications. In: Journal of international Council on Electrical Engineering. 2014, roč.4, č. 1, s. 1-6. ISSN 2234-8972.
- [3] Gutten, M., Šimko, M., Chupáč, M.: Prehľad diagnostiky transformátorov v teréne vzhľadom na analýzu ich vlhkosti a nadprúdov. In: Elektro. 2009, č.6, s. 6-9.
- [4] Ritamaki, M.: Effects of Thermal Aging on Polymer Thin Film Insulations for Capacitor Applications [online]. 2014. [cit. 2016-5-24], dostupné na internete: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22603/ritamaki.pdf?sequence=1>.
- [5] Trnka, P.: Elektrické a kombinované stárnutie izolačných materiálov [online]. Katedra technológií a merení, ZČU v Plzni. [cit. 2016-4-25], dostupné na internete: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/394/r0c1c2.pdf?sequence=1>.
- [6] Menczel, D. J., Prime, R. B.: Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications. Wiley, 2009, 696s. ISBN 978-0-471-76917-0.

### Autori:

Lukáš Révész, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [lukas.reves@student.tuke.sk](mailto:lukas.reves@student.tuke.sk)

Roman Cimbala, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [roman.cimbala@tuke.sk](mailto:roman.cimbala@tuke.sk)

Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [juraj.kurimsky@tuke.sk](mailto:juraj.kurimsky@tuke.sk)