



Oponentský posudek disertační práce

Analýza dějů provázejících tepelný rozklad kabelové izolace

Autor: Ing. Martina Polanská, ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření

Recenzent: doc. Ing. Pavel Mach, CSc., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie

Dizertační práce je zaměřena na studium modifikací zkoušky funkční schopnosti kabelu při požáru (ČSN IEC 60331-21) s cílem zvýšení její vypovídací schopnosti o odolnosti jednotlivých izolačních vrstev odolávat přímému působení plamene. Důležitým cílem práce je vytvoření znalostní databáze, která by usnadnila případné nasazení modifikované metody do praxe.

Sledovanou problematiku považuji za zcela aktuální, protože jakékoli zlepšení kvality diagnostiky umožní výrobu kabelů s vyšší odolností proti ohni, a tím snížení pravděpodobnosti jejich zahoření.

Práce má 92 stran základního textu a 13 stran příloh. Je členěna do 9 kapitol včetně úvodu a závěru.

Počátek práce je věnován popisu současného stavu problematiky. Jsou zde uvedeny různé typy retardérů hoření a dále názvosloví a normy, které se problematikou požárních zkoušek kabelů zabývají. Dále jsou uvedeny cíle práce. Autorka si klade za cíl modifikaci zkoušky funkční schopnosti kabelu při požáru, vývoj a realizaci nových měřících postupů, verifikaci těchto postupů na nejčastěji používaných konstrukcích kabelů odolných proti ohni a v neposlední řadě analýzu dějů, které při požáru kabelu probíhají a vytvoření již výše zmíněné znalostní databáze uvedených dějů.

V další části práce autorka uvádí teoretický základ měřených veličin a dějů spojených s tepelným rozkladem. Podrobněji jsou popsány tepelná dekompozice polymerů při hoření a elektrická vodivost ionizovaných plynů. Touto kapitolou končí kompilační část práce. Mohu konstatovat, že je provedena pečlivě s dostatečnou frekvencí citace literatury.

Počínaje následující kapitolou doktorandka prezentuje své experimenty, které prováděla na dvou druzích kabelů: na silovém pětižilovém kabelu s označením 1-CXKE-V 5x1.5 a na kabelu 1-CSKE-V 4x1.5. Měřící obvod byl, na rozdíl od obvodu doporučeného normou, upraven tak, aby bylo možné, po celou dobu zkoušky odečítat kontinuálně odpor mezi žilami. Kabel nebyl zatížen, ale v zařízení pro měření odporu mezi žilami bylo užito napětí 1500 V. Při zkoušce odolnosti proti ohni bylo užito propan-butanového hořáku s minimální teplotou plamene 750 °C.

Doktorandkou testované typy kabelů považuji za správný výběr, protože jsou typickými představiteli dvou různých skupin kabelů. Předpokládám, že v budoucnosti, pokud se bude v tomto směru pokračovat, by portfolio kabelů bylo rozšířeno.



Provedené termické analýzy a měření izolačního odporu poskytly dostatečný základ pro hlubší analýzy změn v kabelech způsobené hořením. Domnívám se, že doktorandka tuto možnost plně využila.

K obhajobě práce mám tyto dotazy

- 1) Při zkoušce odolnosti proti ohni bylo užito propan-butanového hořáku s teplotou plamene minimálně 750 °C. Jak by se změnily děje vyvolané plamenem při použití plamene s vyšší teplotou hoření? Mohly by se objevit jiné mechanismy degradace?
- 2) Pro kabel se skloslídovou páskou: TGA křivka FR pásky je poměrně plochá (obr. 24). V textu uvádíte, že rozklad akrylové pryskyřice probíhá v několika krocích v rozsahu teplot 200 – 600 °C. Demonstrujte uvedené tvrzení na TGA křivce FR pásky.
- 3) Pro kabel se skloslídovou páskou: termooxidační rozklad XLPE je spojen nejprve s velmi mírným nárůstem hmotnosti vzorku, který se objevuje bezprostředně před počátkem samotné degradace, a poté prudkým úbytkem hmotnosti ve druhé fázi degradace. Vysvětlete zmíněný nárůst hmotnosti.
- 4) Jak vysvětlujete rychlejší nárůst teploty u kabelu izolovaného silikonovým kaučukem ve srovnání s kabelem izolovaným skloslídovou páskou (obr. 40)?
- 5) Jaký je podíl vlastností izolace a ionizace způsobené plamenem na měřené hodnotě izolačního odporu?

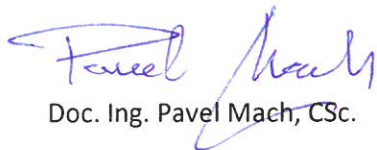
Závěr

Práce je poměrně rozsáhlá, je psána dobrým jazykem s minimem chyb a má kvalitní grafickou úpravu. V práci je velmi dobře zpracována rešeršní část postavená na značném objemu citované literatury i kvalitní experimentální část. Získané experimentální výsledky jsou velmi dobře teoreticky zpracovány. Přístup s paralelním měřením izolačního odporu a teploty snímané termočlánky uvnitř kabelu a na jeho povrchu umožnily získání nových poznatků. Doktorandka vykonala značný objem experimentální práce a prokázala, že je schopna úspěšně aplikovat teorii na výsledky experimentální činnosti. Počet publikací uvedené práce je nadprůměrný.

Disertace splnila stanovené cíle, doktorandka prokázala schopnost práce s literaturou, teoretickou erudici i experimentální zručnost. Výsledky, které získala, jsou nové a budou přínosné pro praxi.

Předloženou doktorskou disertační práci proto

doporučuji k obhajobě.



Doc. Ing. Pavel Mach, CSc.

V Praze dne 11. listopadu 2015

Oponentní posudek k dizertační práci M. Polanské – „Analýza dějů provázejících tepelný rozklad kabelové izolace“

Dizertační práce je zaměřená na problematiku kabelů se zvýšenou požární odolností - LFHC, speciálně na problematiku zkoušení jejich funkčních vlastností při vystavení ohni. Rozšíření poznání o děje probíhající při expozici kabelu pod napětím plamenem s možností využití získaných výsledků pro praktické využití považuji za přínosné a důležité.

Studentka projevila značnou invenci při řešení zadaného úkolu, kdy navrhla modifikaci normovaného zkušební postupu. Experimenty s modifikovanou měřicí metodou jsou popsány detailně a srozumitelně. Rovněž pro potvrzení svých domněnek a pro lepší interpretaci výsledků používá dalších zkušebních metod z oblasti testování polymerních materiálů a zkušeně interpretuje výsledky z nich získané. Použité zkušební metody se ukazují jako vhodné k popisu a porozumění výsledku experimentů a tak ke splnění cíle práce. Studentka rovněž projevila dobré znalosti z oboru polymerní chemie, fyziky a fyzikální chemie a rovněž z charakterizace polymerních materiálů.

Zde bych měl poznamku. V přehledu zkoušek používaných k hodnocení materiálů – kapitola 5.2. je na str.46 uvedeno použití stanovení LOI jako jednoho ze základních kritérií hodnocení polymerních materiálů použitých pro LFHC. Ve výsledcích experimentu však výsledky měření LOI u jednotlivých materiálu uvedeny nejsou. Přičemž hodnota LOI bude mít vliv na zapalitelnost jednotlivých komponent a tedy na průběhy zkoušky. Rovněž hodnota LOI ukazuje v systémech LDPE/EVA/ATH/MDH na množství plniva a tedy na soudržnost zbytku popele na kabelu vystaveném ohni.

Předložená práce je rozhodně původní svým obsahem i přínosem. Opírá se detailně popsané zkušební metody a navrhovaná modifikace zkoušky podle ČSN IEC 60331-21 může mít uplatnění ve vývoji a optimalizaci parametru LFHC kabelů.

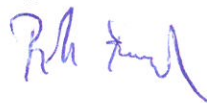
Práce je členěna přehledně a srozumitelně do kapitol, kde autorka popisuje postupně aktuální stav problematiky kabelů se zvýšenou požární odolností z hlediska zkušebních norem a používaných materiálů, s jasným vytyčením cíle práce v rozsahu dostatečném pro dizertační práce, následovaným popisem technik a zařízení používaných k získání experimentálních výsledků a zakončeným jejich rozborem a vyhodnocením. Práce je velmi dobře formálně upravena, přiměřeného rozsahu, s dostatečným množstvím obrazové dokumentace, která usnadňuje porozumění, stejně jako přehledný seznam použitých zkratk. Na vysoké úrovni je rovněž jazyková úprava.

Výsledky práce byly publikovány v impaktovaných zahraničních časopisech a prezentovány na konferencích jak v tuzemsku, tak v zahraničí. Studentka tak prokázala schopnost prezentovat výsledky své práce odborné veřejnosti, což považuji za důležitou podmínku k úspěšné obhajobě dizertační práce.

Předloženou dizertační práci **doporučuji** k obhajobě.

Ve Štúrově 10.11.2015

Ing. Pavel Ritz, Ph.D.



OPONENTSKÝ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor: Ing. Martina POLANSKÁ
Název: Analýza dějů provázejících tepelný rozklad kabelové izolace
Studijní program: Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektrotechnika
Oponent: Prof.Ing. V. Švorčík, DrSc., VŠCHT Praha

Problematika této práce spadá do oblasti elektrotechniky, požární bezpečnosti a i do oblasti ochrany životního prostředí. Požární ochrana si klade za úkol ochranu zdraví lidí a zvířat, zařízení a budov před vznikem požáru. Oblast elektrotechnická, která se stará o bezpečnost lidí a zvířat před úrazem elektrickým proudem a klade si za cíl zajistit funkčnost přístrojů a zařízení i v případě požáru. Předložená disertační práce je důkazem toho, že i po mnoho let používané a všeobecně uznávané měřicí postupy lze nadále vylepšovat a zvyšovat tak jejich vypovídací schopnost.

Posudek mám vypracovat, podle „doporučeného schématu“ a proto se budu vyjadřovat zejména k těmto bodům:

- **význam disertační práce pro obor**

Aktuálnost práce pro obor Elektrotechnika je doložena tím, že normy popisující zkoušení speciálních ohniodolných kabelů jsou v práci porovnávány s technickými omezeními nejrozšířenější požární zkoušky používané k testování funkčnosti ohniodolných kabelů při požáru. Navržená metoda testování kabelů podle této práce je vhodná ke sledování a porovnání funkční schopnosti ohniodolných kabelů při požáru.

- **postup řešení problému, použité metody a splnění určeného cíle**

Práce se zabývá studiem izolačního odporu kabelů během standardního požárního testu a vyhodnocováním dějů, které se při požáru v izolaci kabelu odehrávají. V úvodních kapitolách se práce zaměřuje na stručný popis způsobů, jakými lze dosáhnout retardace hoření kabelové izolace, zabývá se názvoslovím i skupinou norem týkajících se zkoušení speciálních ohniodolných kabelů. Základ práce spočívá v navržení technické úpravy stávající měřicí metody založené na monitorování aktuálního stavu izolace během požárního testu i aktuální teploty uvnitř a vně testovaného kabelu. Vhodnost navržené úpravy metodiky je demonstrována sérií zkoušek provedených na dvou nejčastěji používaných typech izolace kabelové konstrukce. Dosažené výsledky potvrzují dostačující citlivost měření izolačního odporu a tedy vhodnost navržené úpravy metodiky sledování ohniodolnosti kabelů. Na základě získaných a zobecněných poznatků práce lze považovat cíle doktorské práce za splněné.

- **výsledky disertační práce a původní konkrétní přínos předkladatele práce**

Z výsledků práce je patrné, že získané záznamy měření jsou schopny popisovat děje, které se odehrávají během tepelného rozkladu jednotlivých částí izolace kabelu. Bylo potvrzeno, že navržená metoda je vhodná ke sledování a porovnání funkční schopnosti různých konstrukčních uspořádání ohniodolných kabelů při požáru. Z toho vyplývá možnost následné optimalizace jejich konstrukce a výroby. Pracovní hypotézy byly podpořeny provedením termických analýz, které jsou vhodné ke studování mechanismů tepelného rozkladu materiálů, které tvoří izolaci kabelů.

- **systematika, přehlednost, formální úprava a jazyková úroveň práce**

Práce má standardní členění, které se používá pro doktorské práce. V kapitole Současný stav problematiky bylo ukázáno, že orientace v normách určených pro protipožární kabely je značně složitá. V kapitole Cíle práce jsou její záměry jednoznačně deklarovány. Jsou popsány všechny experimentální postupy. V kapitole Výsledky jsou shrnuty a obsírně diskutovány naměřené výsledky a porovnány s výsledky publikovanými. V Závěru je shrnuto, že pro detailní interpretaci a

pochopení jednotlivých dějů odehrávajících se během hoření izolačních vrstev kabelu bylo měření izolačního odporu doplněno termickou analýzou. Tento postup dobře popisuje děje odehrávající se během tepelného rozkladu jednotlivých použitých materiálů. Práce je sepsána velmi přehledně s velmi dobrou formální úpravou a jazykovou úrovní. Použitá literatura byla jednotně citována.

- **publikace studenta**

Doložená publikační aktivita studentky je bohatá a dostatečná. Nejzajímavější výsledky práce byly publikovány v řadě časopiseckých prací, ve sbornících zahraničních a tuzemských konferencí. Doktorandka uvádí, že je autorkou/spoluautorkou 3 článků v impaktovaných časopisech, ale pokud jsem na Web of Science dobře hledal, tak z těchto 3 prací jsou impaktovány pouze dvě.

- **k práci mám několik následujících připomínek**

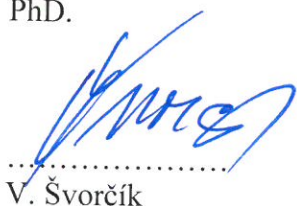
- ✓ zkratky: EVA Kopolymer Etylen vinylacetát – lépe by bylo asi PEVA, když je to kopolymer, možná bych nespisoval chemické prvky a SI jednotky,
- ✓ úplně bych nesouhlasil s „definicí“ (str. 17) tepelná degradace (dochází odpařování některých aditiv) vs. tepelná dekompozice (tepelný rozklad) i když se doktorandka odkazuje na literaturu, str. 23, „...oxidy kovů (např. *křemene*, titanu, oxidu hlinitého)“,
- ✓ popisy obrázků, např. obr. 19 a další (chybí popis jednotlivých „žil“, v porovnání např. s obr. 14) - popis obr. by měl být samonosný, aby čtenář nemusel listovat v textu,
- ✓ literatura např. [41]–[44], [52], [53] lépe psát [41-44], [52, 53],
- ✓ str. 44: „...zatímco reaktoplasty mají pouze strukturu amorfni“, reaktoplasty jsou polymery zesíťované, takže nemá cenu diskutovat strukturu amorfni/krytalickou,
- ✓ lépe by bylo používat stejnou terminologii v celé práci, např. „zesíťovaná vs. zesíťovaná“ struktura,
- ✓ drobné nepřesnosti, např. str 59 „...nárůst hmotnosti vzorku je pravděpodobně způsoben vytvořením malého množství oxidu z daného polymeru“, autorka myslela „oxidovaných struktur“,
- ✓ „rozklad čistého PDMS“, „jemný bílý prášek čistého oxidu křemičitého“, co znamená „čistý“? asi nikdo nepoužívá „špinavé chemikálie“, autorka myslí bez aditiv,
- ✓ někdy autorka používá dost těžké obraty, např. str. 63 „...Jak již bylo řečeno, všechny dále popisované experimenty byly prováděny s četností měření tři.“
- ✓ obr. 27 a další, nestandardní popis vodorovné osy, „Čas [h:mm]“ - mm jsou min?

- **k práci mám několik následujících dotazů**

- ✓ „silikon karbid nebo oxykarbid“, str. 62, můžete uvést vzorec,
- ✓ proč se neměřilo pod zatížením? Odhadnete, jaké by byly výsledky vašeho měření, když by byly testované kabely v průběhu zkoušky pod zatížením?
- ✓ str. 59“... primární degradací PE je jeho náhodné štěpení. Na druhou stranu, degradace může vést také k rozvětvení polymerního řetězce.“ Můžete vysvětlit?
- ✓ „...teplota 400°C odpovídá teplotě vznícení mnoha karboxylových kyselin, které dominují pozdějším fázím degradace XLPE“, i když odkaz, nevím, zda jediné produkty, můžete vysvětlit?

Na závěr svého posudku konstatuji, že i přes uvedené připomínky doktorská práce Ing. M. Polanské splňuje požadavky kladené vysokoškolským zákonem č.111/98Sb. na disertační práci a je v souladu se Studijním a zkušebním řádem Fakulty elektrotechnické Západočeské university v Plzni.

Práci **doporučuji** k obhajobě a po úspěšné obhajobě doporučuji udělení akademického titulu PhD.



V. Švorčík

V Praze dne 26.10.2015