

**Ročná správa o riešení projektu
za rok 2012**

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV –0703–10**Analýza a diagnostické merania výkonových transformátorov metódou SFRA (Sweep Frequency Response Analysis)**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ján Michalík, PhD.**Príjemca **KMAE Elektrotechnická fakulta ŽU v Žiline**Začiatok riešenia projektu **05/11**Koniec riešenia projektu **10/14****ROZBOR RIEŠENIA PROJEKTU (max. 10 strán)**

Uvedte podľa nasledujúcej záväznej osnovy:

- 1. Postup prác pri riešení projektu u príjemcu, ako aj spolupríjemcu podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**
- 2. Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele**
- 3. Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok** – uvedte v prílohe – formulár Výstupy a prínosy projektu za rok/obdobie (priložte kópie deklarovaných výstupov)
- 4. Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok**

↓↓

1. Harmonogram riešenia projektu – etapa č. 1: Praktické merania a analýza transformátorov.

V kalendárnom roku 2012 bola uskutočnená jedna administratívna zmena v riešiteľskom kolektíve, ktorá nebude mať v roku 2013 žiadny vplyv na možné zníženie kvality výskumných výstupov a zámerov predkladaných v žiadosti o pridelenie grantu. Vzhľadom na stanovené ciele pre druhý rok riešenia projektu, kde sme zamýšľali odmerať niekoľko desiatok transformátorov 110/23 kV, prípadne 110/6 kV alebo 22/0,4 kV môžeme konštatovať, že sme stanovený cieľ naplnili. V rámci plánu vypínania transformátorov určeného spoločnosťou SSE a.s. Žilina pre kalendárny rok 2012 bolo odmeraných 37 výkonových transformátorov. Tieto sme podrobili analýze metódou SFRA podľa stanovenej metodiky merania, podľa ktorej je potrebné transformátory merať. Niektoré transformátory sú odmerané už druhýkrát. Na základe daných meraní tých istých transformátorov už dokážeme sledovať zmeny v mechanickom stave vinutí

a jadra, ktoré môžu nastať počas ich prevádzky. Záznamy z meraní boli vyhotovené a odovzdané spoločnosti SSE a.s. V dňoch 8. – 9. februára bola zorganizovaná konferencia DESAM 2012, ktorá bola podporená v rámci riešenia projektu agentúrou APVV. Boli na nej prezentované zámery a ciele riešenia projektu APVV-0703-10, dosiahnuté výsledky za kalendárny rok 2011, ako aj výsledky výskumu zameraného na diagnostiku výkonových transformátorov. Konferencie sa zúčastnili zástupcovia z praxe z domáceho, ale aj českého priemyslu. Ďalej sa zúčastnili zástupcovia z univerzitného prostredia zo Slovenska, Českej republiky a Poľska. Zápisnicu a kópiu prezenčnej listiny z usporiadania konferencie prikladáme v prílohe. Dňa 14. 3. 2012 nám bol zo spoločnosti SSE a.s. (podľa dohody s koordinačnej porady zo dňa 25. 11. 2011) dovezený distribučný 3-fázový transformátor 100 kVA (menovitý prevod 22/0,4 kV) za účelom skúmania možných typov porúch vznikajúcich počas prevádzky transformátorov ako sú medzizávitové skraty, posuv vinutí v axiálnom a radiálnom smere, zhoršovanie izolačných vlastností a starnutie izolačného systému olejového transformátora. 16. 3. 2012 bolo zorganizované v kooperácii zo zástupcami odboru diagnostika spoločnosti SSE a.s. meranie referenčných hodnôt a parametrov transformátora. Na základe získaných údajov sme dospeli k záveru, že transformátor je trvale poškodený a nie je vhodný pre našu analýzu. Takže následne bol transformátor opätovne vrátený spoločnosti SSE a.s. a dňa 27. 4. 2012 nám bol dovezený náhradný transformátor po repasácii. Typ transformátora je aTO 294/22, výkon 100 kVA, menovitý prevod 22/0,4 kV. Dňa 4. 5. 2012 bolo znovu zorganizované referenčné meranie hodnôt parametrov transformátora v kooperácii z členmi odboru diagnostika spoločnosti SSE a.s. Vzhľadom k prebiehajúcej výučbe v letnom semestri v laboratóriu NJ 514, kde je transformátor umiestnený, museli byť pozastavené práce spojené z demontážou transformátora a ďalšie činnosti zamerané na mechanické zásahy do transformátora za účelom simulácie rôznych typov porúch vznikajúcich počas prevádzky transformátorov. V rámci riešenia projektu bolo navrhnuté a skonštruované zdvíhacie zariadenie potrebné k zodvihnutiu veka a jadra transformátora tak, aby sme mohli robiť mechanické zásahy do vinutí a jadra transformátora. Vzhľadom k tomu, že výroba a poskladanie danej konštrukcie sa realizovala až počas mesiaca október 2012 (pracovná vyťaženosť zamestnancov servisného centra EF), následne bol vytypovaný a kúpený zdvíhací mechanizmus, ktorý bol dodaný 26. 11. 2012. Práce na rozoberaní transformátora boli z časového hľadiska opätovne začaté až 30. 11. 2012. V uvedenom termíne nám bol na dlhodobé merania zapožičaný od spoločnosti SSE a.s. merací mostík TETTEX na meranie kapacity a stratového činiteľa. Taktiež nám bola dodaná od spoločnosti Vinuta a.s. nádoba pod transformátor, ktorá slúži na zachytávanie transformátorového oleja. Merania na tomto transformátore a výsledky sú popísané v bode č. 2 tejto správy.

Pre vytvorenie parametrického modelu transformátora bol vybraný a vytypovaný transformátor T-101 nachádzajúci sa v rozvodni Handlová. Na základe meraní SFRA charakteristík, činných odporov vinutí a kapacít boli priebežne počas celého kalendárneho roka 2012 vytvárané simulačné modely v programovom prostredí OPERA pomocou metódy konečných

prvkov. Od výrobcu transformátora spoločnosti ETD a.s. Plzeň (bývalá ŠKODA Plzeň) nám boli poskytnuté výrobné údaje daného transformátora, avšak ich zverejnenie nie je možné. Na základe výrobných údajov sme overili výsledky zo simulácií 3D FEM.

Priebežne počas celého roku 2012 bol v prevádzke experimentálny 3-fázový olejový distribučný transformátor 30 kVA Yzn1, ktorý je trvalo umiestnený v skúšobnom laboratóriu NJ514, kde je nasadený monitorovací systém so sledovaním vývoja plynov rozpustených v oleji pomocou sondy HYDRAN M2. Vývoj plynov v transformátore bol monitorovaný väčšinou pre stav naprázdno, prípadne pri 10 % zaťažení (vzhľadom na súčasné možnosti zaťažovania transformátora).

Merania a výskumnú činnosť zameranú na prototyp trakčného vozidlového transformátora TVT R361, ktorú sme plánovali pre rok 2012 podľa ročnej správy za rok 2011, sa nepodarilo naplniť z dôvodu neprístupnosti transformátora, ktorý je dlhodobo v prevádzke rýchlikového rušňa. Podľa rokovaní so zástupcami ŽSR a EVPÚ a.s. Nová Dubnica sú plánované kontrolné merania TVT na druhý štvrťrok 2013. Merania iných typov trakčných transformátorov nám spoločnosťou ŽOS Vrútky a.s. nebolo umožnené.

Paralelne z realizáciou etapy č. 1 bola v mesiaci jún podľa plánu začatá realizácia **etapy č. 2 – vytvorenie databáz nameraných údajov transformátorov**. Dňa 5. 6. 2012 bolo zrealizované pracovné stretnutie z členmi riešiteľského kolektívu pánom doc. Karolom Grondžákom, Ing. Seewaldom, Ing. Brandtom a prof. Michálkom, kde sa dohodol presný postup pri realizácii tejto etapy. Doc. Grondžák navrhol riešenia pre vytvorenie databázy meraných transformátorov s tým, že formát, ako bude databáza vyzeráť odprezentuje do konca mesiaca september 2012. Prvé výsledky realizácie etapy č. 2 sú popísané v bode č. 2 tejto správy.

Keďže riešiteľský kolektív je zložený z malého počtu riešiteľov, ktorý sa denne stretávajú a riešia danú problematiku, nebola v roku 2012 uskutočnená koordinačná porada. Pracovné porady pod vedením prof. Ing. Jána Michálka, PhD. však boli pravidelné počas celého roka. To malo vplyv aj na dosiahnutie výsledkov, ktoré boli kvalitne prezentované na medzinárodných zahraničných konferenciách v Európe.

2. Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele

Pre podrobnejší rozbor riešenia prvej etapy projektu je v nasledujúcej tabuľke uvedený zoznam transformátorov podrobených meraniam a analýze metódou SFRA za rok 2012 v rozvodniach pod správou SSE a.s.

Tab. 1: Tabuľka odmeraných transformátorov za rok 2012.

Dátum a počet meraní	Miesto rozvodne	Typ transformátora	Menovité napätia [kV]	Menovitý výkon [MVA]	Rok výroby
13.03.12 2x	Detva	8 ERH 31M-0	110/23/6,3	25/25/8	1991
19.03.12 2x	Teplička nad Váhom	ER 33M	110/23/6,3	40/40/12,5	1978
29.03.12 2x	Tepláreň Žilina	5 ER 33M	110/23/6,6	40/40/12,5	1977
03.04.12 2x	Tepláreň Žilina	5 ER 33M	110/23/6,3	40/40/12,5	1980

04.04.12	2x	Hričov	8 ERH 31M-0	110/23/6,3	25/25/8	1982
11.04.12	2x	Tepláreň Martin	5 ER 33M	110/23/6,3	40/40/12,5	1977
12.04.12	1x	Tepláreň Martin	TNARE 40000/110PNT	110/23/6,3	40/40/12,5	2002
16.04.12	1x	Lieskovec	81 ERH 33M-0	110/23/6,3	43/43/13,5	1990
18.04.12	1x	Slovenská Lupča	6 ERH 29M-0	110/6,3	16/16	1985
23.04.12	2x	B. Bystrica (Bánoš)	ER 34M-0	110/23/6,3	50/50/15,6	1982
24.04.12	1x	Vlkanová	6 ERH 29M-0	110/23/6,3	16/16/5	1982
09.05.12	1x	Brezno	5 ER 33M	110/23/6,3	40/40/12,5	1980
15.05.12	2x	Detva	8 ERH 31M-0	110/23/6,3	25/25/8	1991
16.05.12	1x	Martin Košúty	8 ERH 33M-0	110/23/6,3	40/40/12,5	1984
23.05.12	1x	Kremnica	5 ER 33M	110/23/6,3	40/40/12,5	1978
04.06.12	2x	Handlová	ER 31M-0	110/23/6,3	25/25/8	2001
18.06.12	1x	Prievidza	6 ERH 33M-0	110/12/6,3	40/40/12,5	1981
20.6.2012	1x	Ružomberok (Mondi SCP)	1TBP 25000-12	11/6,3	25/25	1998
25.06.12	1x	Žarnovica	5 ER 33M	110/23/6,3	40/40/12,5	1972
26.06.12	1x	Čadca	ER 34M	110/23/6,3	50/50/15,6	1981
27.06.12	1x	Dolné Vestenice	6 ERH 29M-0	110/23/6,3	16/16/5	1984
07.08.12	2x	Lučenec	8 ERH 33M-8	110/23/6,3	40/40/12,5	1985
10.08.12	1x	B. Bystrica (Fončorda)	a10492/35	22/6,3	10	1976
23.8.2012	1x	Ružomberok (Mondi SCP)	2TBP 33000-12	11/3,6	33/33	1998
4.9.2012	1x	Ružomberok (Mondi SCP)	1TRP33000-123	110/11	33/33	1998
05.09.12	1x	Teplička nad Váhom	TOHn 338/22	22/0,4	0,25	2005
10.09.12	2x	Kysucké Nové Mesto	RT40000-110	110/23/6,3	40/40/12,5	2006
11.09.12	1x	Čadca	RT50000-110	110/23/6,3	50/50/15	2008
12.09.12	1x	Mokrad'	8 ERH 33M-8	110/23/6,3	40/40/12,5	1992
25.09.12	1x	Žilina (Rajčanka)	T101	110/23/6,3	40/40/13,3	1998
26.09.12	1x	Žilina (Rajčanka)	T102	110/23/6,3	40/40/13,3	1998
31.10.12	1x	Závadka nad Hronom	TNARD 25000/110PNT	110/23/6,3	25/25/8,33	1997
07.11.12	1x	Nižná	5 ER 31M	110/23/6,3	25/25/8	1979
08.11.12	1x	B. Bystrica (Fončorda)	8 ERH 33M-8	110/23/6,3	40/40/12,5	1992
13.11.12	1x	Hričov	8 ERH 31M-0	110/23/6,3	25/25/8	1982
14.11.12	1x	Kysucké Nové Mesto	TNARE 40000/110PNT	110/23/6,3	40/40/12,5	2003
26.11.2012	1x	Pravenec	5-ER31M	110/23/6,3	25/25/8,3	2003

Každý transformátor bol podrobený meraniam pomocou systému DOBLE M5100, taktiež diagnostickým meraniam: meranie izolačných odporov, meranie stratového činiteľa $\tan \delta$, meranie kapacity, meranie odporu vinutí ako aj meranie prevodu transformátora. Tieto merania boli uskutočnené zamestnancami odboru Diagnostiky spoločnosti SSE a.s. Výsledky z týchto meraní sú riešiteľom projektu k dispozícii za účelom podrobnejších rozborov v prípade odhalenia novej poruchy na transformátore pomocou metódy SFRA.

Keďže niektoré transformátory sme počas tohto roka odmerali už druhý krát, bolo možné podrobiť namerané SFRA charakteristiky podrobnejšej analýze pomocou Cross korelačných koeficientov (CCFs) – cross korelačné koeficienty sú použité priamo v softvérovom programe spoločnosti Doble a sú potrebné k presnej interpretácii nameraných priebehov s prihliadnutím na definované hodnoty týchto koeficientov podľa tab. 2.

Tab. 2. Vysvetlenie príkladov CCFs

	CCF
Dobrá zhoda	0,95 – 1,0
Hraničná zhoda	0,90 – 0,94
Zlá zhoda	< 0,89
Nezhoda	<= 0,0

CCF sú často používané v priemysle a telekomunikáciách, a tam kde je dôležitá presná analýza signálov. Použitie Crossovej korelácie v metóde SFRA má význam pri analýze dvoch priebehov. Ak sú vypočítané hodnoty koeficientov 1,0 je to absolútna korelácia a ak je hodnota 0,0 ide o absolútnu nekoreláciu. Záporné korelačné koeficienty pri hodnotení metódou SFRA nemajú význam.

Analýza vychádza z porovnávania priebehov charakteristík pre jednotlivé testovacie zapojenia (rovnaká metodika merania) toho istého transformátora medzi prvým (referenčným) priebehom a ďalším, ktorý bol odmeraný z odstupom času. Pokiaľ sa jednotlivé priebehy úplne zhodujú transformátor je v poriadku. Ak však porovnaním odhalíme rozdielnosť v tvare kriviek je možné, že sme odhalili vnútornú poruchu na transformátore. Podľa jednotlivých frekvenčných pásiem, v ktorých sa vyskytujú rozdiely a hodnoty Cross korelačných koeficientov sú mimo stanovený rozsah (tab. 2) je veľmi dôležité, ktoré priebehy porovnávame. Na nasledovnom obrázku je zobrazené korelačné porovnanie dvoch meraní transformátora T 102 v rozvodni Detva pre metodiku merania nakrátko A-N (obr. 1.):



Obr. 1. Názorný príklad porovnania dvoch priebehov pomocou Cross korelačných koeficientov pre meranie A-N rovnakého transformátora.

Z porovnania a výpočtu korelačných koeficientov vychádza úplná zhoda priebehov. Ak sú po porovnaní všetky priebehy rovnako zhodné, transformátor je v poriadku. V prípade ak by nastala zmena vo frekvenčnom pásme do 1 kHz je potrebné analyzovať priebehy pre metodiku naprázdno a nakrátko, aby sme vylúčili poruchu na jadre transformátora. Väčšinou sa v praxi stáva, že priebehy odmerané metodikou naprázdno sa po porovnaní z referenčnými od seba líšia práve do frekvencie 1 kHz. Avšak pre metodiku nakrátko, keď neuvažujeme vplyv jadra, meriame samotné vinutie a po porovnaní výsledkov je úplná zhoda. Vo väčšine prípadov je rozdiel priebehov pre metodiku naprázdno spôsobený remanentným magnetizmom. Preto, aby nedošlo k chybnéj interpretácii výsledkov, sme uskutočnili merania na demagnetizovanom a zmagnetizovanom jadre 3-fázového laboratórneho transformátora (prvé merania sme začali koncom roku 2011). Následne bol vytypovaný transformátor v Detve, ktorý bol 4 roky odstavený – odmerali sme SFRA charakteristiky a asi po mesiaci zaťaženia na plný výkon sme charakteristiky odmerali znovu. Dosiahnuté výsledky boli publikované v článku **Influence of Remanent Magnetization on the Diagnostic of Distribution 25MVA Transformer by SFRA Method** na konferencii ELEKTRO 2012.

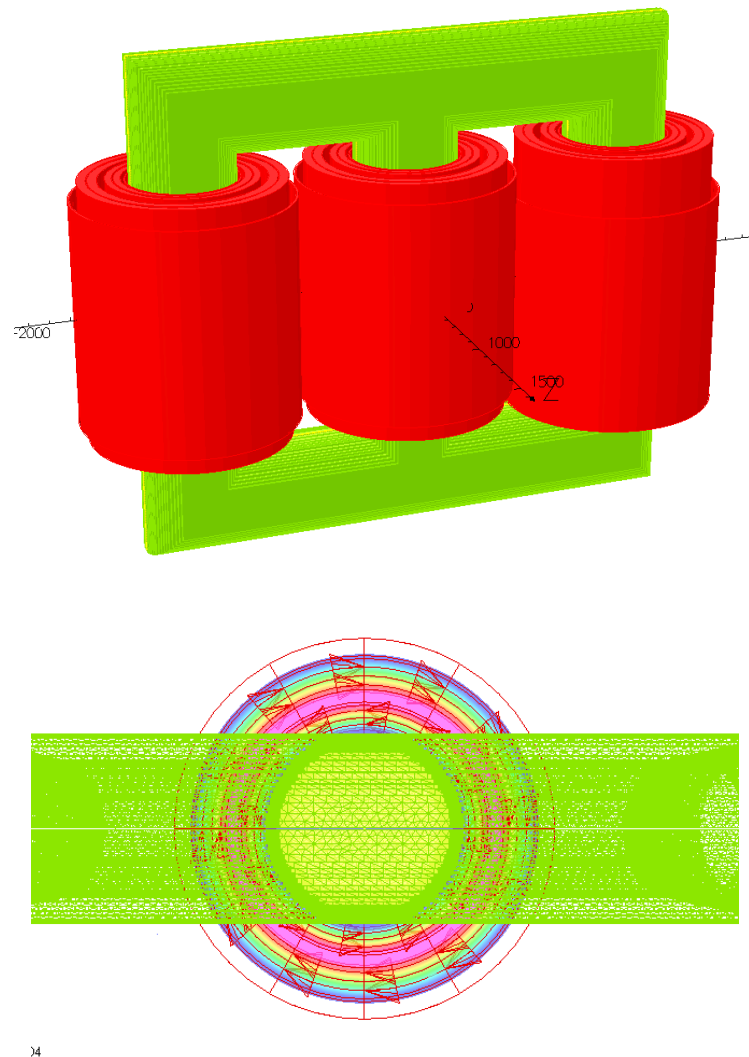
Analýze pomocou Cross korelačných koeficientov sme podrobili všetky transformátory, ktoré sme podľa tabuľky 1 merali už po druhý krát.

Výskumné práce sme zamerali aj na vytvorenie parametrického modelu transformátora, ktorého autorom je študent 5. ročníka – Adrián Peniak (člen riešiteľského kolektívu – ostatní) pomocou metódy konečných prvkov (MKP) v simulačnom programe Opera 3D. Ako predmet nášho výskumu sme vytypovali a určili transformátor T 101 z rozvodne Handlová, ktorý sme už minulý rok podrobnejšie diagnostikovali, a na ktorom sme odhalili poruchu radiálneho posuvu vinutia na fáze C. Pre vytvorenie parametrického modelu sme však potrebovali celú technickú dokumentáciu o transformátore. Oslovili sme výrobcu transformátora, ktorý nám poskytol dokumentáciu pod príslubom, že nezverejníme konštrukčné a technické detaily transformátora.

Parametrický model (program) pracuje v programe Opera 3D na serveri, ktorý má k dispozícii 32 jadier a 80GB RAM. Cieľom je vytvorenie plne samostatného programu, ktorý za pomoci úvodného wizard-a bude môcť obsluhovať aj laik. Program využíva 2 typy skriptov - Linux, COMI. Využíva plný multitasking, kde na jeho riadenie dozerá SPECTATOR. Celý chod programu sa podrobne zapisuje, navyše aktívne komunikuje z databázou čo umožňuje zmenu programu aj počas jeho činnosti. Je konštruovaný zo zásuvných modulov, čo sú moduly na vykreslenie geometrie (jadro, rôzne typy vinutí, nádoba) a moduly porúch na transformátore (deformácie vinutí, medzi závitové skraty, atď.). Program robí analýzy:

- magnetostatickú analýzu - simuláciu merania naprázdno a nakrátko,
- elektrosatickú analýzu - pre výpočet parazitných kapacít TR.

Kde simulácia merania naprázdno nám hovorí o stave jadra transformátora, simulácia merania nakrátko o medzizávitových skratoch a výpočet parazitných kapacít nám hovorí o vzájomných polohách vinutí a jadra.



Obr. 2. Model transformátora T 101 Handlová vytvorený MKP v programe Opera 3D.

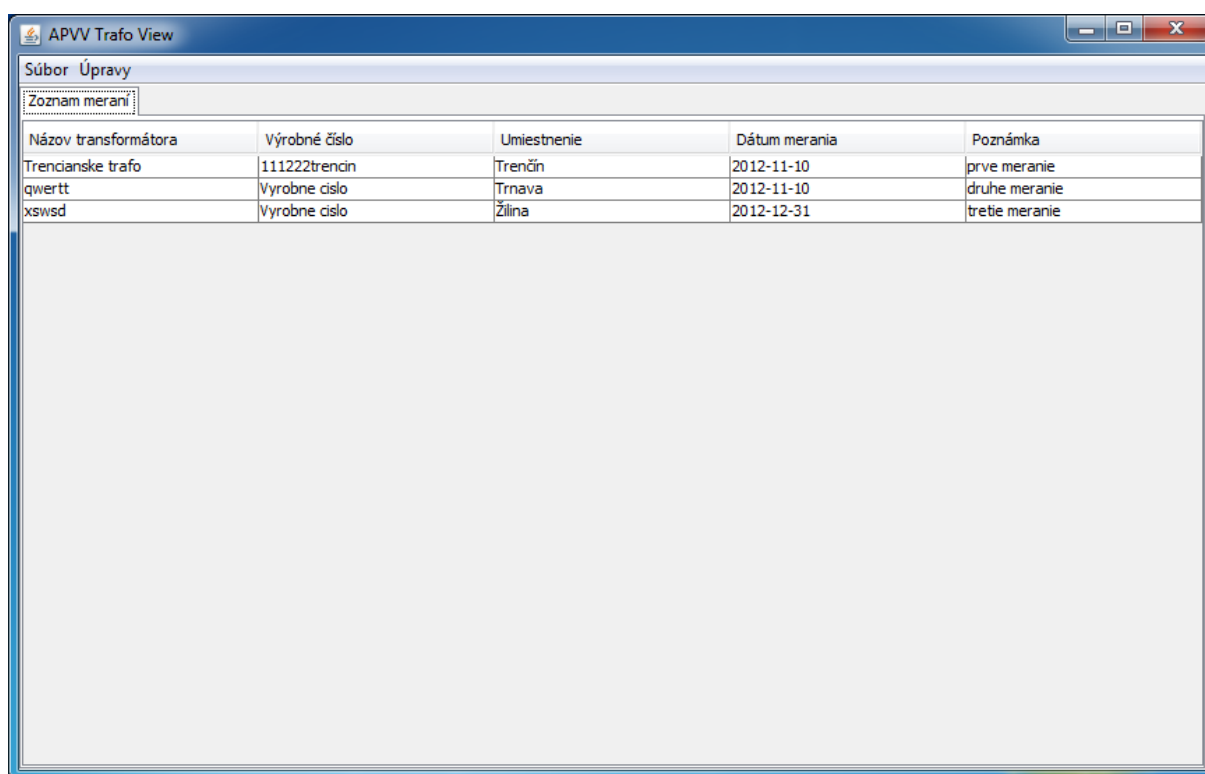
Výsledky získané zo simulácií parametrického modelu transformátora, meraní kapacít a SFRA charakteristík sme zverejnili a publikovali v dvoch článkoch na konferenciách SPEEDAM 2012 - **Diagnostics System of Power Transformers Supported by Finite Element Analysis**, a na konferencii MECHATRONIKA 2012 - **Parametrical Model of Power Transformers used for Diagnostics Systems**.

Realizáciu etapy č. 2 – vytvorenie databáz nameraných údajov transformátorov sme začali podľa stanoveného plánu. Prvé vízie, ako by mala databáza nameraných údajov vyzerieť, čo všetko má obsahovať a ako do nej vkladať údaje boli náplňou úloh pre rok 2012. Databázu sme nazvali APVV Trafo View.

Aplikácia slúži na archiváciu a zobrazovanie údajov o meraní transformátorov. Hlavné okno aplikácie zobrazuje zoznam všetkých doposiaľ vykonaných meraní (Obr. 3.).

Aplikácia umožňuje:

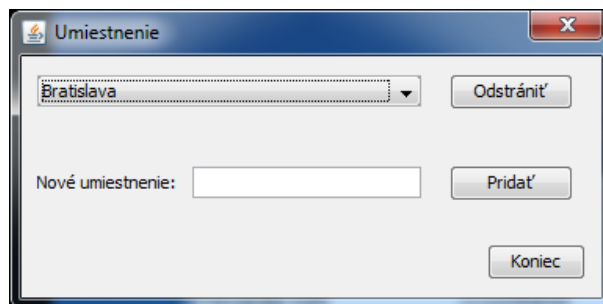
- Spravovať umiestnenia meraných transformátorov (Obr. 4.)
- Spravovať zoznam transformátorov, zadáním štítkových údajov (Obr. 5.)
- Spravovať zoznam meraní transformátora (Obr. 6.)
- Importovať údaje o meraní zo súboru vo formáte CSV (Obr. 7.)
- Zobrazovať namerané údaje
- Analyzovať a porovnávať namerané údaje



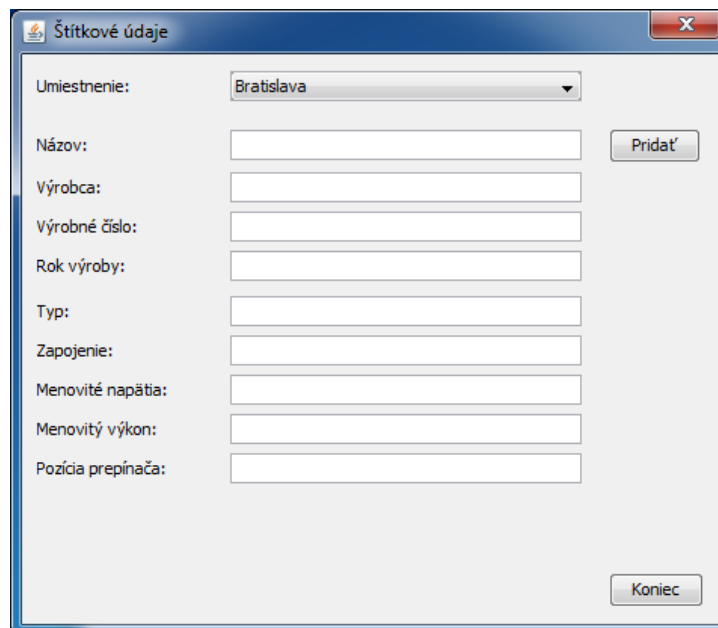
Názov transformátora	Výrobné číslo	Umiestnenie	Dátum merania	Poznámka
Trencianske trafo	111222trencin	Trenčín	2012-11-10	prve meranie
qwertt	Vyrobne cislo	Trnava	2012-11-10	druhe meranie
xswsd	Vyrobne cislo	Žilina	2012-12-31	trete meranie

Obr. 3. Hlavné okno aplikácie APVV Trafo View.

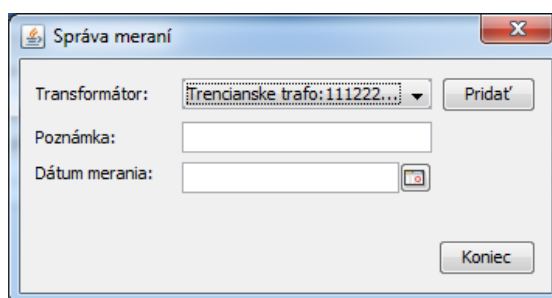
Architektúra aplikácie - na základe analýzy požiadaviek na aplikáciu boli stanovené jednotlivé činnosti, vykonávané používateľom aplikácie. Vzhľadom na objem uchovávaných údajov a na požiadavku prístupu k údajom z viacerých pracovísk súčasne, bola pre vytvorenie aplikácie navrhnutá architektúra klient-server (Obr. 8). Serverovská časť slúži na uchovávanie údajov vo forme relačnej databázy. Klientská časť je používateľská aplikácia, sprístupňujúce údaje uložené na serveri. Vzhľadom na zvolenú architektúru klient-server je možné obe časti realizovať nezávisle. V súčasnosti je serverovská časť realizovaná pomocou voľne šíriteľného relačného databázového systému PostgreSQL. Klientská časť je implementovaná v prostredí Java, prostredníctvom technológie Java 2 Standard Edition.



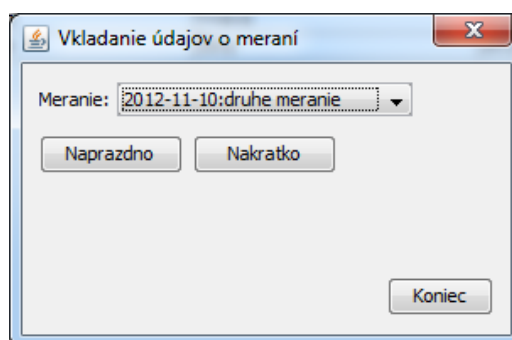
Obr.4. Okno úpravy umiestnení transformátorov.



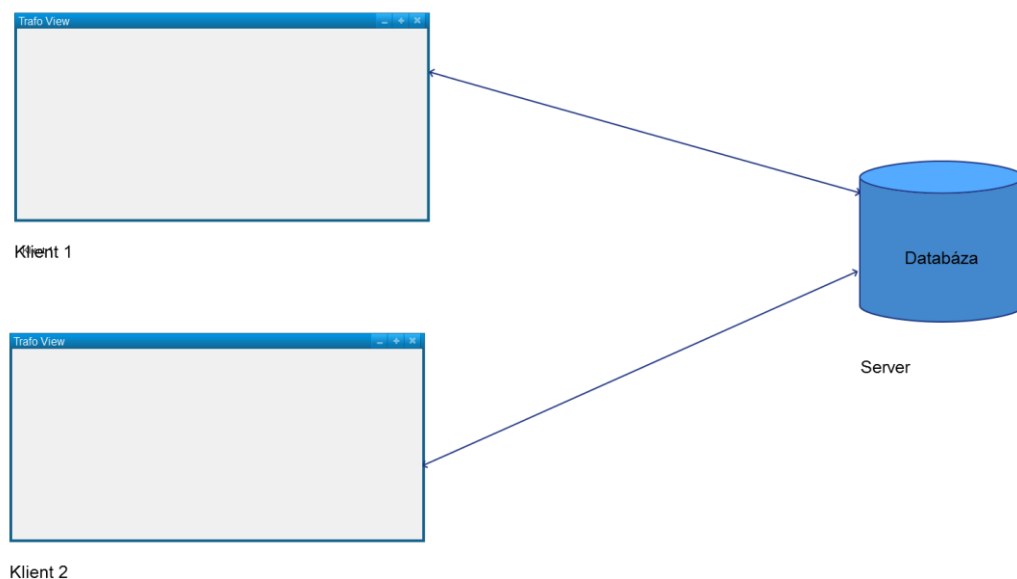
Obr.5. Okno úprav štítkových údajov transformátora.



Obr.6. Okno zadávania údajov o meraní.

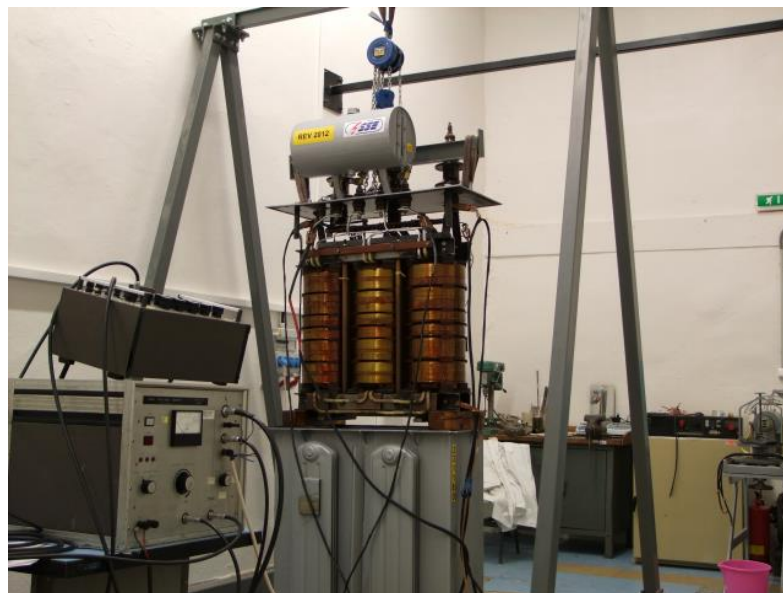


Obr.7. Okno importu údajov merania z formátu .csv z programu Doble.



Obr.8. Architektúra aplikácie.

Ďalšie práce zamerané na výskum a meranie rôznych typov porúch vznikajúcich počas prevádzky transformátorov, sme začali realizovať v priestoroch laboratória NJ514 Elektrotechnickej fakulty ŽU v Žiline na distribučnom 3-fázovom transformátore BEZ aTO 294/22 – Yzn1. Otvorenie transformátora a vybratie vinutia a jadra z nádoby sa realizovalo pomocou skonštruovaného zdvíhacieho zariadenia. Bola vyrobená nádoba pod transformátor, do ktorej sa uložilo jadro po jeho vybratí. Zrealizovaný výsledok prác je na nasledujúcom obrázku (obr. 9.):



Obr. 9. Zdvíhacia konštrukcia transformátora – vyberanie jadra transformátora BEZ aTO 294/22.

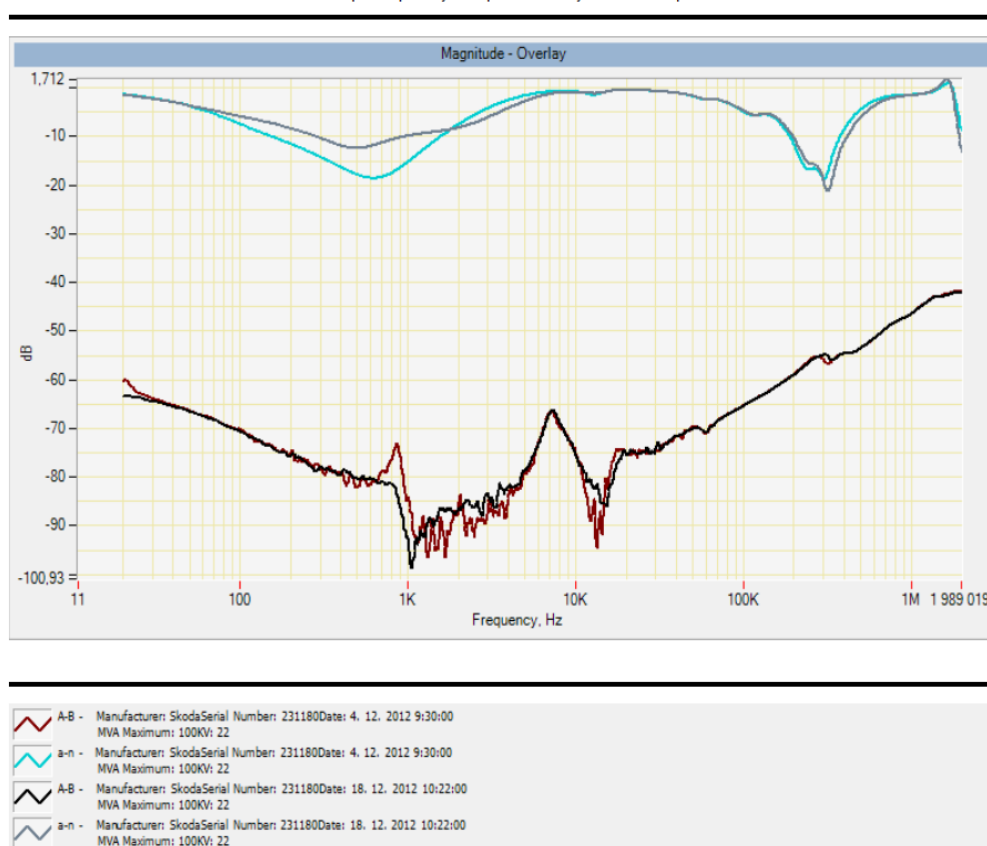
Počas mesiaca december, sme vykonávali merania SFRA, kapacít a činných odporov pre mechanicky vytvárané medzizávitové skraty v axiálnom a radiálnom smere na primárnom vinutí

fázy A a B. Medzizávitové skraty sme vytvárali postupne od spojenia dvoch závitov v axiálnom smere až po spojenie viacerých častí v radiálnom smere. Skraty sme vytvárali pomocou spájky na vodičoch vinutia, ktoré sme mechanicky zbavili izolačného laku a pomocou acetónu očistili od oleja. Po vytvorení skratu boli odmerané kapacity, stratový činiteľ, činné odpory primárneho vinutia a charakteristiky SFRA. Metodika meraní SFRA, ktorú sme rozšírili, je podľa nasledujúcej tabuľky:

Tab. 3. Metodika merania SFRA testovacieho transformátora.

1. Meranie naprázdno (<i>Open Circuit Tests</i>)								
22 kV			0,4 kV					
Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9
A - B	B - C	C - A	a - n	b - n	c - n	A - a	B - b	C - c
2. Meranie nakrátko (<i>Short Circuit Tests</i>)								
Skratované a - b - c			Skratované A - B - C			Naprázdno – vyvedené N		
Test 10	Test 11	Test 12	Test 13	Test 14	Test 15	Test 16	Test 17	Test 18
A - B	B - C	C - A	a - n	b - n	c - n	A - N	B - N	C - N

Sweep Frequency Response Analyzer Test Report



Obr. 10. SFRA charakteristiky pre metodiku naprázdno merania A-B, a-n (referenčné – bordová, tyrkysová) a po vytvorení axiálneho medzizávitového skratu na fáze A medzi tromi závitmi (čierna a sivá).

Všetky odmerané výsledky hodnôt kapacít, činných odporov vinutí a SFRA charakteristík budú spracované priebežne v mesiacoch január – marec 2013.

Počas diagnostických meraní v priestoroch spoločnosti SSE a.s. sme na jednom distribučnom transformátore, ktorý mal byť nasadený do prevádzky odhalili pomocou SFRA charakteristík medzizávitový skrat. Keďže mal transformátor nepatrné, ale rozdielne hodnoty činných odporov a zakalený transformátorový olej. Rozhodli sme sa transformátor demontovať. Po jeho kompletnom rozobratí sme našli miesto rozsiahleho medzizávitového skratu (obr. 11). Danú časť vinutia sme zobrali na ďalšie vyšetovanie príčin vzniku tejto deštruktívnej poruchy.



Obr. 11. Časť vinutia primárnej cievky poškodenej medzizávitovým skratom.

Prvé výsledky z analýzy rozboru materiálu poukazujú na zostarnutie izolačného laku, ktorý bol vystavený mechanickému namáhaniu cievky a následne bol porušený. Toto mohlo mať za príčinu vzniku vodivých kanálikov v izolačnom materiály, následne vznikali čiastočné výboje, ktoré z časového hľadiska a pôsobenia narastajúcej teploty zväčšovali výboje, tavili materiál (ten bol stále vodivý) a to malo za následok vznik tejto rozsiahlej poruchy. V prípade, keby daný transformátor nebol podľa plánu stiahnutý z prevádzky došlo by k deštruktívnemu výbuchu transformátora a ku materiálnym a ekologickým škodám. Prvé výsledky z rozboru odobratého zhoreného materiálu sú publikované v článku s názvom Identifikácia poruchy a analýza transformátora 22/04 kV metódou SFRA s rozborom materiállovej štruktúry vzniknutej pri poruche transformátora. Tento článok bol napísaný v decembri 2012 a odoslaný do časopisu MEMI Journal, kde je v recenznom konaní.

3. Zoznam výstupov a prínosov za posledný rok

V rámci riešenia projektu boli počas roku 2012 publikované nasledujúce príspevky týkajúce sa diagnostických meraní výkonových transformátorov metódou SFRA:

Publikácie z medzinárodnej konferencie DESAM 2012:

[1] Brandt, M., Michalík, J., Faktorová, D.: Analysis of turn-to-turn fault in 3-phase transformer by SFRA method, GEORG , ISBN 978-80-89401-69-7

[2] Sedlák, J., Seewald, R.: Influence of remanent magnetization on the diagnostic of transformer by SFRA method, GEORG , ISBN 978-80-89401-69-7

Publikácia z medzinárodnej konferencie SPEEDAM 2012:

[3] Brandt, M., Rafajdus, P., Peniak, A., Michalík, J.: Diagnostics System of Power Transformers Supported by Finite Element Analysis, ISBN: 978-1-4673-1300-1

Publikácia z medzinárodnej konferencie ELEKTRO 2012

[4] Sedlák, J., Brandt, M., Seewald, R.: Influence of Remanent Magnetization on the Diagnostic of Distribution 25MVA Transformer by SFRA Method, ISBN: 978-1-4673-1178-6

Publikácia z medzinárodnej konferencie CESDS 2012

[5] Isteníková, K., Faktorová, D., Brandt, M.: A new approach to determination of solid materials complex permittivity, ISBN 978-83-7351-507-9

Publikácia z medzinárodnej konferencie MECHATRONIKA 2012

[6] Rafajdus, P., Peniak, A., Brandt, M.: Parametrical Model of Power Transformers used for Diagnostics Systems, ISBN: 978-80-01-04985-3

Počet priebežných protokolov z meraní transformátorov metódou SFRA odovzdaných spoločnosti SSE a.s. za účelom internej archivácie: 37

4. Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok

V nasledujúcom kalendárnom roku 2013 budeme pokračovať v riešení projektu v nasledovných krokoch:

- merať transformátory metódou SFRA podľa vypínacieho plánu transformátorov stanoveného spoločnosťou SSE a.s., namerané výsledky budeme analyzovať a vzájomne porovnávať z výsledkami nameranými profylaktickými metódami.
- Transformátor (aTO 294/22, výkon 100 kVA, menovitý prevod 22/0,4 kV), ktorý nám spoločnosť SSE a.s. darovala v roku 2012 na výskumné účely podrobíme ďalším diagnostickým meraniam – dokončíme merania na vytvorených medzizávitových skratoch v rôznych častiach transformátora, vyhodnotíme všetky namerané údaje v závislosti od zmien SFRA charakteristík v porovnaní z referenčnými priebehmi, kapacitami a činnými odpormi vinutí. Vytvoríme deštruktívne poruchy na vinutiach – posuvy vinutí (axiálne aj radiálne), budeme uvoľňovať jadro transformátora a nakoniec vytvoríme medzizávitový skrat roztavením celej sekcie cievky primárneho vinutia.
- Výskumné úlohy budú pokračovať aj v oblasti sledovania vývoja plynov v transformátorovom oleji pomocou sondy Hydran M2 na experimentálnom transformátore BEZ kTO 253/22 30 kVA Yzn1 v prevádzke laboratória NJ 514, ktorý bude priebežne zaťažovaný rôznymi typmi

spotrebičov s rôznymi výkonmi (simulácia bežnej prevádzky distribučného transformátora). Pre pripájanie rôznych spotrebičov bude dodatočne navrhnutá rozvodná skriňa s potrebnými ochrannými zariadeniami.

- V 2. Štvrťroku sa zúčastníme rokovaní so zástupcami spoločnosti EVPÚ a.s. a ŽSR a.s. za účelom naplánovania merania prototypu trakčného vozidlového transformátora TVT R361, ktorý je prevádzkovaný v rýchlikovom rušni.

- Databáza meraných transformátorov bude postupne a priebežne dopĺňaná dátami SFRA charakteristík, bude rozpracovaná metodika predbežnej predikcie a zhodnocovania stavu meraných transformátorov uložených v databáze APVV Trafo View.

- Práce budú zamerané aj na vylepšenie (spresnenie) geometrie parametrického modelu transformátora, dokončenie úvodného wizard-a, pridanie nových typov porúch, implementovanie prvkov umelej inteligencie pri riadení chodu programu, automatické opravovanie chýb spôsobených zadaním nevhodných parametrov, implementácia schopnosti "zabiť" multitaskingové vetvy ohrozujúce stabilitu programu a ich následné opätovné spúšťanie, diagnostika vlastností oleja a izolačných materiálov (papiera) TR, doplnenie ďalších zásuvných modulov.

- Počas celého kalendárneho roku budú členovia riešiteľského kolektívu pracovať na publicite projektu a jeho výsledky riešenia zverejnia na vedeckých konferenciách a v odborných časopisoch podľa naplánovaných výstupov.

Potvrdzujeme, že údaje uvedené v správe a jej prílohách sú pravdivé a úplné.

Zodpovedný riešiteľ

prof. Ing. Ján Michalík, PhD.

V Žiline 23.01.2013

Štatutárny zástupca príjemcu

prof. Ing. Tatiana Čorejová, PhD.

V Žiline 23.01.2013

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu