

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace hodnocení stavu distribučních transformátorů

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na porovnání stavu distribučních transformátorů v návaznosti na diagnostické zkoušky provedené v rámci jejich údržby a profylaxe, porovnání ztrát s novými požadavky.

Klíčová slova

Transformátor, elektrický netočivý stroj, vinutí, izolační odpor, ztráty naprázdno, ztráty nakrátko, diagnostika, konzervátor

Abstract

The bachelor paper focuses on contrasting the state of distributive transformers from consecutive diagnostic tests conducted during their maintenance and prophylaxis, comparing electricity loss to the new recognition.

Key words

Transformer, Three-phase, rotating magnetic field, electromagmetic coil, insulating resistance, electricity loss over long distances, electricity loss over short distances, diagnosis, energy conservation

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V České Lípě dne 1. 6. 2016

Petr Prokeš

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Svobodovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

V České Lípě dne 1. 6. 2016

Petr Prokeš

Obsah

OBSAH.....	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
ÚVOD.....	9
1 TRANSFORMÁTORY.....	10
1.1 KONSTRUKCE TRANSFORMÁTORU	10
1.2 ROZDĚLENÍ TRANSFORMÁTORŮ.....	11
1.3 DISTRIBUČNÍ TRANSFORMÁTORY	12
1.4 DRUHY ZKOUŠEK TRANSFORMÁTORŮ.....	13
2 PROVOZ A ÚDRŽBA DISTRIBUČNÍCH TRANSFORMÁTORŮ DO 35KV	16
2.1 PERIODICKÁ ÚDRŽBA TRANSFORMÁTORU A TRAFOSTANICE.....	18
2.2 REVIZE TRANSFORMÁTORU.....	20
3 POSTUP MĚŘENÍ VE ZKUŠEBNĚ OMEXOM GA ENERGO - SOBĚDRUHY	23
4 POSTUPY PŘI OPRAVÁCH TRANSFORMÁTORŮ V DÍLNĚ SOBĚDRUHY	29
5 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ NOVÉHO A NÁSLEDNĚ OPRAVENÉHO TRANSFORMÁTORU	35
5.1 POROVNÁNÍ IZOLAČNÍCH ODPORŮ	37
5.2 POROVNÁNÍ ZTRÁT NAKRÁTKO.....	38
5.3 POROVNÁNÍ ZTRÁT NAPRÁZDNO	39
ZÁVĚR.....	42
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	43
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratk

$L1, L2, L3$ (U,V,W) ..	fázové vodiče napájecí soustavy
N	střední pracovní vodič napájecí soustavy
$1f, 3f$	počet fází
mn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
ČSN.....	česká technická norma
PCB.....	Polychlorovaný bifenylyl – chemická látka
ČEZ Distribuce	největší distribuční společnost v České republice
EON Distribuce.....	distribuční společnost v České republice
PRE Distribuce	distribuční společnost v Praze
TS.....	trafostanice
TR	transformátor
Min.....	minimum
Max.	maximum
ED	ekodesign

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na porovnání stavu distribučních transformátorů v návaznosti na diagnostické zkoušky provedené v rámci jejich údržby a profylaxe, porovnání ztrát s novými požadavky.

Text je rozdělen do šesti částí. První část se věnuje teorii, definuji transformátor, základní rozdělení transformátorů a druhy zkoušek. V druhé části je popsán provoz, údržba a revize distribučních transformátorů, v další části se věnuji postupu měření ve zkušebně naší společnosti Omexom GA Energo s.r.o – Sobědruhy. Ve čtvrté části je popsán postup malé a velké opravy transformátoru v naší společnosti a v páté části porovnávám použitých opravených transformátorů s parametry, když byly nové. Poslední část je závěr.

1 Transformátory



Obr. 1.1 Repasovaný transformátor společnosti Omexom GA Energo s.r.o.

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který umožňuje přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do jiného pomocí vzájemné elektromagnetické indukce. Používá se pro přeměnu střídavého napětí (např. z nízkého napětí na vysoké) nebo pro galvanické oddělení obvodů. Transformátor dle definice uvedené v použité literatuře: „*Transformátory jsou indukční měniče elektrické energie (výkonové transformátory), přenášejí také sdělovací signály (sdělovací či telefonní transformátory) nebo měřicí signály (napěťové nebo proudové měřicí transformátory).*“ [1]

1.1 Konstrukce transformátoru

Konstrukce transformátoru se liší na přenášeném výkonu, výkon může být několik mVA u malých transformátorů pájených do desek plošných spojů, desítky až stovky wattů u síťových zdrojů elektronických spotřebičů, nebo až 1000 MVA u transformátorů využívaných v energetice. Jádru může být tvořeno z izolovaných elektro plechů nebo z feritů v případě vyšších kmitočtů. Při konstrukci je snahou dosáhnout omezení vířivých proudů. Pro jádro transformátoru se navrhuje takové materiály, které jsou dobře magneticky vodivé a špatně vodivé elektricky. Konstruktoři se snaží potlačit vířivé proudy u všech dílů transformátorů. [1]

Rozptylové toky se udržují v přijatelných mezích vhodným návrhem vinutí transformátoru. Rozptylové toky ovlivňuje vzdálenost vstupního a výstupního vinutí. Pokud jsou vzdálenější, tak se to projeví třeba zvětšeným úbytkem napětí na transformátoru při zatížení. Vstupní a výstupní vinutí bývají soustředná, na jednom sloupku bývá umístěn primár i sekundár. [2]

Jako silové označujeme transformátory zahrnované mezi elektrické stroje. Transformátory například mění střídavý elektrický proud jiné intenzity a také napětí. Silové transformátory se dále mohou dělit na malé a velké dle jejich výkonu. [3]

Konstrukčně je transformátor nejjednodušší ze všech střídavých strojů. Nemá mechanické ztráty oproti točivým elektrickým strojům a má také jednodušší magnetický obvod. Tento obvod je složený z plechů s menšími ztrátami. Z těchto důvodů má transformátor větší účinnost než další elektrické stroje. [4]

1.2 Rozdělení transformátorů

Podle počtu fází

- Jednofázový
- Trojfázový
- Speciální (dvě nebo více fází, měniče počtu fází)

Podle konstrukce magnetického obvodu

- Plášťový
- Jádrový
- Toroidní

Podle použití

- Energetický transformátor Energetické: blokový (generátor elektrárny na vedení vvn),
- Distribuční (z vedení vvn/vn, vn/nn ke spotřebiteli)
- Napájecí (pro transformaci nízkého napětí na malé napětí)
- Bezpečnostní (jako napájecí, ale zajištěná izolační pevnost - pro napájení obvodů ve zdravotnictví, v hračkách a v spotřebičích ve třídě III)
- Rozptylový (s magnetickým bočником, pro svařování, napájení výbojek a speciální aplikace)
- Regulační (autotransformátory, ferorezonanční stabilizátory,...)
- Měřicí (napěťové, proudové, kombinované)

Podle počtu vinutí

- Dvojvinut'ový (primár, sekundár)
- Trojvinut'ový (primár, sekundár, terciár)
- Vícevinut'ový

1.3 Distribuční transformátory

V České republice se pro distribuci elektrické energie využívá napěťová hladina 110kV, která je v rozvodnách transformována na hladinu VN 35kV, 22kV, 10kV. Pro tuto transformaci se využívají olejové atmosférické transformátory s kompenzátorem - expanzní nádobou na olej. Pro distribuci elektrické energie z hladiny VN do hladiny NN se také využívají olejové transformátory. Starší typy jsou atmosférické s konzervátorem, nové jsou hermetizované, bez konzervátoru.

Hlavní části výkonového olejového transformátoru jsou:

- a) magnetický obvod,
- b) vinutí,
- c) přepínač odboček
- d) zařízení zajišťující chlazení,
- e) mechanické, konstrukční a izolační součásti.

Magnetický obvod se skládá z elektrotechnických plechů, které jsou skládány tak, aby byl vždy uzavřen magnetický tok. Na sloupcích magnetického obvodu je izolovaně umístěno vinutí nižšího a vyššího napětí. Nejdříve je zde umístěno vinutí nižšího napětí a pak na něm vinutí vyššího napětí. Transformátor je poté vložen do nádoby s olejem. Olej dobře odvádí teplo a plní funkci izolace mezi vinutími. Na nádobě transformátoru jsou umístěné radiátory, které slouží pro chlazení oleje.

Porcelánové průchodky na víku nádoby jsou tu pro vyvedení konců vinutí, dále je na víku přepínač odboček a u atmosférických transformátorů je zde konzervátor spojený trubkou s olejovou náplní. Konzervátor je zde z důvodu, že olej zvětšuje svůj objem při zahřívání.

Hermetizované transformátory nemají konzervátor, jsou hermeticky uzavřené a pro zvýšení objemu oleje vlivem teploty slouží dilatující chladicí vlny na nádobě, které reagují na zvýšený tlak oleje v případě jeho ohřátí. [4]



Obr. 1.2 Demontované jádro transformátoru s vinutím

1.4 Druhy zkoušek transformátorů

Izolace a vinutí jsou velmi důležitými faktory pro správnou funkci transformátoru. Materiály, ze kterých je izolace vyrobena, musí odolávat teplotám, mechanickému namáhání, vlhkosti, působení agresivních látek a vodivého prachu. Vinutí musí být provedeno kvalitně, z ostatních podsystémů je nutné se zaměřit na průchodky a přepínače odboček. [5]

Tab. 1.1 Zkoušky transformátorů a jejich rozdělení do skupin (převzato z [5])

Název zkoušky nebo měření	zkouška		
	typová	kusová	zvláštní
Měření izolačního odporu	+	+	-
Měření odporu vinutí za studena stejnosměrným proudem	+	+	-
Měření převodu napětí naprázdno na všech odbočkách	+	+	-
Kontrola natočení fází	+	+	-
Zkouška přiloženým napětím z cihého zdroje	+	+	-
Zkouška indukovaným napětím	+	+	-
Měření ztrát naprázdno a proudu naprázdno	+	+	-
Měření charakteristiky naprázdno	+	+	-
Měření ztrát nakrátko a napětí nakrátko	+	+	-
Oteplovací zkouška	+	-	-
Zkouška elektrické pevnosti izolace atmosférickým impulzem:			
a) na vinutí se jmenovitým napětím do 132 kV	+	-	-
b) na vinutí se jmenovitým napětím nad 132 kV	+	+	-
Měření ztrátového činitele a kapacity vinutí na transformátoru			
a) se jmenovitým napětím menším než 110 kV	-	-	+
b) se jmenovitým napětím 110 kV a vyšším	+	+	-
Zkratová zkouška	+	-	-
Měření nulové složky reaktance na transformátoru			
a) se jmenovitým napětím menším než 110 kV	-	-	+
b) se jmenovitým napětím 110 kV a vyšším	-	-	*)
Měření hluku na transformátorech			
a) s výkonem do 1600 kVA včetně	+	-	-
b) s výkonem nad 1600 kVA	-	-	+
Zkouška přepínače odboček	+	+	-
Zkouška el. pevnosti izolace spínacími impulzy	-	-	+
Měření částečných výbojů	-	-	+
Měření ochrany rádiového příjmu před rušením	-	-	+
Zkouška oleje pro transformátory s olejovou náplní			
a) zkouška průrazného napětí oleje	+	+	-
b) měření obsahu vody v oleji transformátorů se jmenovitým napětím 110 kV a vyšším	+	+	-
c) měření $\text{tg}\delta$, R_0 , ϵ , oleje transformátorů se jmenovitým výkonem 110 kV a vyšším	+	+	-
+ vykonává se; - nevykonává se			
*) Pro transformátory určené pro energetiku - typová zkouška			

Bylo vyvinuto mnoho zkoušek pro kontrolu provedení jednotlivých podsystémů. Tyto zkoušky jsou důležité pro odhalení slabých míst nebo stupně stárnutí stroje a jeho částí. Stojíme můžeme sledovat buď při zkouškách bez napětí, nebo za provozu pro nepřetržité sledování transformátoru. [5]

Zkouší se, zda stroj vyhovuje požadavkům kladeným na jakost materiálu, konstrukci, rozměry, elektrické vlastnosti a také vhodnost pro dané použití.

Rozdělení zkoušek

Zkoušky transformátoru lze dělit podle:

- rozsahu
- účelu
- počtu opakování

Druhy zkoušek

Zkoušením transformátoru se ověřuje, zda splňuje předem známé kritérium. Zkoušky se provádějí a vyhodnocují:

- měřením - naměřená číselná hodnota se porovnává s předepsanou hodnotou,
- ověřením - rovnou konstatování ano/ne, například u sledu fází, kde jsou jasně dané diskrétní hodnoty.

Především teplotní zkoušky jsou časově náročné.

Prováděná měření

- převodu napětí
- izolačního odporu
- odporu vinutí za studena
- ztrát naprázdno
- charakteristiky naprázdno
- netočivé impedance
- kapacity vinutí

- ztrát nakrátko
- hluku
- elektrické pevnosti oleje

Prováděné prověrky

- kontrola fází
- zkouška přiloženým napětím
- zkouška indukovaným napětím
- oteplovací
- nárazovým napětím plnou vlnou
- zkratová odolnost
- nárazovým napětím kusou vlnou
- mechanické (přepínače odboček)

2 Provoz a údržba distribučních transformátorů do 35kV

Každý majitel nebo provozovatel distribučního transformátoru má zájem o to, aby mu jeho transformátor pracoval po co nejdélší dobu bez poruchy. Proto je nutné věnovat transformátoru během provozu alespoň nejnětější péči a dodržovat nejdůležitější zásady, které jsou dále popsány. Pokud je některá z těchto zásad porušena, dochází ke snížení odolnosti transformátoru vůči nestandardním stavům v síti a k větší náchylnosti k poruchám. V krajním případě může dojít i k ohrožení zdraví nebo života osob a zvířat.

V současné době se v sítích provozovatelů vyskytují transformátory otevřené atmosférické a transformátory uzavřené hermetizované. Každý z těchto druhů má odlišný způsob konstrukce. Atmosférické transformátory do 35kV byly vyráběny v minulých dobách a v současné době se již nevyrábí. Postupem úplně vymizí a budou nahrazeny hermetizovanými transformátory. Hermetizované transformátory nejsou nijak náchylné na pronikání vzdušné vlhkosti do oleje. Oba druhy transformátorů vyžadují podle způsobu provozování po určité době revizní činnost. Potřeba revizní činnosti vzniká u obou druhů tehdy, když kvalita oleje poklesne pod určité mezní hodnoty nebo nevyhovuje izolační stav změřený při periodické údržbě transformátoru. Pokud se jedná o distribuční transformátor, jedná se o transformátor o výkonu od 50 kVA do výkonu 1,6 MVA a napětí od 1 kV do 35 kV. Společnosti ČEZ Distribuce, EON Distribuce a

PRE Distribuce využívají unifikovanou výkonovou řadu 50kVA, 100kVA, 250kVA, 400kVA, 630kVA. V případě potřeby větších výkonů využívají v trafostanicích paralelní zapojení stejných transformátorů z této výkonové řady.

Stárnutí transformátoru je přirozený proces, na který má vliv mnoho parametrů. Nejdůležitější parametr je teplota, kde zvýšení teploty znamená snížení životnosti transformátoru. Další parametr ovlivňující životnost transformátoru je obsah kyslíku v oleji. Při stejné teplotě je při velmi nízkém obsahu kyslíku v oleji životnost větší než při jeho vysokém obsahu. Obdobný vliv na stárnutí má i obsah vody v oleji. Pokud je obsah vody v oleji pod 0,5 %, je rozklad celulózy v izolaci vinutí téměř zanedbatelný. Pokud obsah vody v oleji vzroste nad 3 %, rapidně se zvětšuje i tento rozklad.

Na stárnutí má rovněž vliv rovnoměrnost zatížení, úroveň zatížení, chvění a účinnost chlazení.

Transformátor v provozu, který je připojen na napětí se zahřívá vlivem ztrát naprázdno a nakrátko ve vinutí. Pokud je stroj nezatížen popřípadě na sekundární straně odpojen zahřívá se výhradně proudem naprázdno. S rostoucí zátěží roste podíl ztrát nakrátko. Vlivem těchto ztrát se stroj zahřívá. Vznikající teplo je z vinutí a jádra odváděno přes olej a povrch nádoby do atmosféry. V běžném provozu pracují transformátory s oteplením 5 až 85° C. To odpovídá teplotám vinutí transformátoru až 105° C. Oteplení stroje má pro transformátor některé důsledky pozitivní jiné negativní. Hlavním pozitivním důsledkem oteplení transformátorů je, že se do oleje a izolace vinutí z atmosféry přes vysoušeč dostává podstatně menší množství vodních par ze vzduchu, než když je stroj zcela odpojen. Negativním důsledkem oteplení je tepelně oxidační stárnutí olejové náplně, které vede k růstu kyselosti oleje a tvorbě usazenin a kalů. Usazeniny a kaly jsou tvořeny malými pevnými částicemi, na které se snadno navazují různé polární uhlovodíky, mýdly vyšších mastných kyselin a zoxidované aromatické uhlovodíky. Tyto jsou poměrně dobře rozpustné v oleji a snadno vážou vodu. Vznik pevných částic je dán především chvěním a stárnutím pevných komponentů, zejména rozkladem celulózy.

Pronikání vodních par z atmosférického vzduchu do oleje a izolace se děje celkem spontánně, tak jak se v průběhu provozu mění zatížení stroje. Olej v transformátoru se změnou teploty mění svůj objem, což vede k nasávání nebo vytlačování přebytečného vzduchu nad hladinou oleje z anebo do konzervátoru. I silikagel ve vysoušeči, pokud ho transformátor má, tento jev pouze zmírňuje a to tehdy pokud je pravidelně měněn. Toto „dýchání“ transformátoru vede v průběhu let provozu k růstu vázané vodní páry v oleji a izolaci. V konečném důsledku to způsobuje pokles průrazné pevnosti oleje a růst kyselosti oleje. Kyselost oleje způsobuje

degradaci izolace a vede ke ztrátě její pružnosti a dochází k depolymeraci papíru. Nejméně vhodný stav pro transformátor je, když je stroj odpojen od napětí. Pronikání vodní páry do oleje a izolace je v tomto případě největší. Dá se konstatovat, že pokud je stroj více než půl roku odpojen od napětí, dojde u něj k takovému průniku vodních par do oleje a izolace vinutí že je nutno pro další dlouhodobý bezporuchový provoz tyto vysušit.

Pevné částice, polarizované složky izolačního oleje a voda jsou v důsledku nehomogenního elektrického pole uvnitř transformátoru taženy do míst s větším gradientem, tedy směrem k vinutí. Dochází k ukládání těchto složek jednak přímo na exponovaných částech vinutí a jednak v důsledku proudění oleje při chlazení v kapsách vytvořených izolační stavbou vinutí. Části pokryté usazeninami se obvykle více ohřívají a dochází k dalším polymeračním reakcím. Usazeniny a kaly jsou tímto pochodem přeměňovány na částečně polymerovaný gel, který již v běžném elektroizolačním oleji není rozpustný ani při zvýšené teplotě. Usazeniny a kaly vyloučené na vinutí ve formě slizu je možno odstranit proudem čistého oleje.

Z výše popsaných skutečností, které přirozeně nastávají při provozu distribučních transformátorů, plynou zásady jejich periodické údržby a revize.

2.1 Periodická údržba transformátoru a trafostanice

Periodickou údržbu transformátoru a trafostanice níže uvedeného rozsahu je pro bezporuchový a bezpečný provoz nutno provést s periodou dvou let. Transformátor při této údržbě zůstává ve stanici a odpojuje se od sítě pouze na dobu měření.

Periodická údržba transformátoru a trafostanice (dále TS)

1. Vyčištění celé TS včetně okolí a případné chemické ošetření porostů.
2. Kontrola vybavení TS plakátem „První pomoc při úrazu el. proudem“ a bezpečnostními tabulkami.
3. Promazání pantů a zámků vstupních dveří, rozvaděče NN a dveří kobek VN.
4. Kontrola uzemnění včetně barevného označení a jeho oprava.
5. Změření uzemnění TS
6. Kontrola zděné části, střechy, hromosvodu, zatékání do TS, žaluzií.
7. Kontrola antikorozičního nátěru kovových částí TS vč. rozvaděče NN.

8. Kontrola a případná výměna výstražných tabulek.
9. Kontrola odpínačů.
10. Kontrola kabelových koncovek VN a dolítí oleje do dolévacích koncovek.
11. Kontrola popisů kobek VN.
12. Kontrola těsnosti transformátoru popř. dotažení mokvajících spojů.
13. Kontrola úplnosti dřevěných zábran vč. jejich barevného značení (žluté).
14. Dotažení a konzervace všech proudových spojů NN a VN a spojů na uzemňovací soustavě vč. svorníků transformátorů.
15. Kontrola uzemnění nulové svorky a nádoby transformátoru – případné provedení na svorky k tomu určené
16. Kontrola přípojnic VN, podpěrných izolátorů VN, spojovacího vedení VN, spojovacího vedení NN, průchodek atd.
17. Kontrola jištění transformátoru na straně VN – správnost hodnoty
18. Kontrola jištění transformátoru na straně NN – deion odpovídající výkonu TR
19. Vyčištění rozvaděče NN, kontrola mechanického stavu, krytí atd.
20. Kontrola pojistkových spodků NN.
21. Kontrola proudové hodnoty osazených pojistek NN vč. jejich případné výměny za max. dovolenou hodnotu
22. Kontrola elektro instalace v trafostanici popř. oprava, změření impedance, izolačního stavu.
23. Kontrola, případně obnova popisů vývodů NN a trafokobek.
24. Změření izolačního stavu transformátoru a TS.
25. Kontrola oleje v transformátoru – izolační stav, čírost, barva.
26. Kontrola ochran proti atmosférickému přepětí.
27. Kontrola kondenzátorů vč. změření proudu.
28. Kontrola zajištění transformátoru proti posunutí
29. Označit konce kabelů v rozvaděči NN štítky.
30. Zkontrolovat, zda před odpínači je zábrana proti úrazu při vytažení oblouku – plech
31. Označit příslušnost deionu k transformátorům (T1, T2,....)
32. O provedené kontrole provést zápis do deníku TS.

Tab. 2.1 Jištění transformátoru

Jištění na straně VN v A				
Výkon kVA	10 kV	22 kV	35 kV	Deion NN
100	10	10	6	144
160	16	10	6	231
250	30	16	10	361
400	40	20	16	577
630	63	30	20	909
1000	2x63	40	30	1443

Pokud není prováděna prokazatelně na trafostanici pravidelná periodická údržba, nemůže majitel trafostanice zajistit její bezpečný a spolehlivý provoz. Vystavuje se nebezpečí, že může dojít při provozu trafostanice k úrazu elektrickým proudem osob nebo zvířat nebo k výpadku trafostanice a následným provozním škodám z přerušení dodávky el. energie.

2.2 Revize transformátoru

Revizi transformátoru je nutno provést pokud se ukazatele izolačního oleje přiblíží k níže uvedeným mezním hodnotám.

Průrazné napětí	min. 45	kV / 2,5 mm
Ztrátový činitel při 90° C	max. 0,100	
Číslo kyselosti	max. 0,1	mg KOH / g
Povrchové napětí	min. 33	mN / m
Obsah vody	max. 25	mg / kg

U běžně provozovaných transformátorů nutnost revize nastává po 15 ti až 20 ti letech provozu transformátoru nebo při jeho odpojení od napětí na dobu delší než půl roku. Revizi lze provést pouze dílenským způsobem. Je tedy nutná demontáž a odvoz transformátoru. Je vhodné společně s revizí transformátoru provést periodickou údržbu celé trafostanice.

Revize transformátoru

1. Očištění a mytí nádoby před revizí
2. Elektrický nález, přezkoušení, měření
3. Odpuštění oleje pod víko
4. Vytažení jádra z nádoby
5. Vizuální nález
6. Přetěsnění víka a vypuštění oleje
7. Umytí jádra olejem
8. Kontrola spojů vinutí a izolace magnetického obvodu
9. Sušení jádra v sušičce
10. Zámečnické práce na nádobě
11. Revize a oprava příslušenství
12. Regenerace a sušení oleje
13. Potopení jádra do nádoby a naplnění olejem
14. Odmaštění a očištění transformátoru
15. Konečná zkouška a technická kontrola
16. Povrchová úprava nátěrem
17. Odborně technická kontrola

Hlavním úkolem revize transformátoru je vysušení jádra s vinutím a regenerace a vysušení oleje. Při revizi transformátoru je nutno provést vstupní měření, které má za úkol zjistit, zda nejsou porušeny aktivní části vinutí. Po vytažení jádra z nádoby a jeho vizuální prohlídce následuje mytí jádra olejem od nánosů kalů. Po kontrole spojů vinutí a izolace magnetického obvodu se jádro transformátoru suší v sušičce po dobu minimálně 16 hodin při periodickém odvádění vlhkosti ze sušičky. Současně s touto činností probíhá regenerace a sušení oleje, při které se jeho parametry dostávají minimálně na tyto hodnoty:

Průrazné napětí	min. 70	kV / 2,5 mm
Ztrátový činitel při 90° C	max. 0,003	
Rezistivita	min. 60	Gohm.m
Číslo kyselosti	max. 0,03	mg KOH / g

Povrchové napětí	min. 50	mN / m
Obsah vody	max. 10	mg / kg
Obsah inhibitoru	0,3 –0,5	%

Takto regenerovaný a sušený olej má parametry srovnatelné s novým olejem. Dále probíhají zámečnické práce, při kterých se odstraní veškeré netěsnosti na kovových částech nádoby a oprava příslušenství ke kterému patří vysoušeč, teploměr a Buchholzovo relé. Vysušené jádro se vloží do nádoby a potopí se do sušeného regenerovaného oleje. Stroj se odvzdušní a zalije po konzervátor. Na závěr revize probíhá kusová zkouška transformátoru dle ČSN 35 1080 a povrchová úprava nátěrem. Revize je zakončena odborně technickou kontrolou.

Z uvedeného postupu vyplývá, že pokud nejsou provedeny všechny body technologického postupu, revize neplní svůj účel. Například při prosté výměně oleje bez mytí a sušení jádra zůstávají v transformátoru kaly a vlhkost, které se následně dostanou i do oleje. Takto provedená výměna nijak nezlepší stav transformátoru.

Pokud není provedena dílenská revize transformátoru při poklesu na mezní parametry oleje, tak se neděje relativně nic. Transformátor může bezporuchově pracovat několik let, i když jsou překročeny doporučené mezní ukazatele transformátorového oleje. Dochází však k degradaci izolace vinutí. Kyselé a vlhké prostředí způsobuje depolymeraci papíru .

Depolymerovaný papír je podstatně méně odolný proti nestandardním stavům v síti, jako jsou zkraty nebo spínací a atmosférická přepětí. Při silových účincích těchto stavů na vinutí dochází k porušení izolace a následnému hoření oblouku v nádobě se všemi důsledky. Pro uvedení transformátoru do provozuschopného stavu je nutno potom provést kromě již popsané revize ještě opravu vinutí stroje což je podstatně dražší než samotná revize.

3 Postup měření ve zkušebně Omexom GA Energo - Sobědruhy

Postup k provádění kusových zkoušek transformátorů do výkonu 16 000 kVA a do napětí 35 kV.



Obr. 3.1 Ovládací pult zkušebny Sobědruhy společnosti Omexom GA Energo s.r.o.

Kusová zkouška se provádí v tomto pořadí:

1. Zkouška průrazného napětí oleje
2. Měření izolačního stavu stroje
3. Měření činných odporů vinutí za studena stejnosměrným proudem
4. Elektrická odolnost – zkouška přiloženým napětím z cizího zdroje 50 Hz
5. Měření ztrát a proudu naprázdno
6. Měření převodu napětí
7. Kontrola natočení fází
8. Měření ztrát a napětí nakrátko

Postupy:

1. Zkouška průrazného napětí oleje

Odebrání vzorku oleje pro jeho změření se provede z výpustního ventilu umístěném na nádobě transformátoru laminárním průtokem oleje (bez tvorby bublinek) do zkušební nádoby vypláchnuté zkoušeným olejem. Zkouška se započte po 5 minutách po naplnění nebo vyplavení poslední viditelné bublinky z oleje a dále pokud se teplota vzorku neliší od okolní teploty o víc jak o 5 °C. Zkouška spočívá z 6 průrazů v kV, ze kterých se vypočítá výběrový průměr. Zkouší se na zkoušečce oleje fy Baur typu Dieltest DTA 100. Tato zkoušečka pracuje automaticky (v paměti má uložen celý proces dle ČSN) a vytiskne záznam o zkoušení. Provede 6 průrazů a spočítá aritmetický průměr průrazného napětí \bar{U}_p v kV, směrodatnou odchylku s v kV a variační koeficient V v %.



Obr. 3.2 Zkoušečka oleje Baur Dieltest TDA 100

Do protokolu se zapisují další údaje o oleji, kterým byl transformátor naplněn. Jedná se o povrchové napětí mN/m, ztrátový činitel tg 1, číslo kyselosti mg KOH/g a obsah látek PCB mg/kg.

2. Měření izolačního stavu stroje

- a) Stupeň zvlhnutí izolace měřením kapacit ve F vinutí $VN = I; SN = III; NN = II$ a kostra = k při frekvenci 50 a 2 Hz. Před měřením se na transformátor umístí sonda teploměru do polovice výšky nádoby pro měření teploty stroje, který má ustálenou teplotu. Ustálená teplota je po 20 hodinách od posledního provozování nebo od vytažení z pece.

Přístroj se zapne a nechá se 5 minut stabilizovat. Po tu dobu se svorky transformátoru N,U,V,W (VN) zkratují stejně jako n,u,v,w (NN), případně mN,mU,mV,mW (SN) a na 3 minuty se spojí s kastrou (k), která je zemněna.

Po stabilizaci přístroje se na něj na jednu svorku připojí svorky jednoho vinutí a na druhou svorku se připojí k a zbylá vinutí a provede se měření podle návodu. Měří se:

$$I/II + III + k, \quad II/I + III + k, \quad III/I + II + k, \quad III/I + II + k, \quad I + II/III + k, \quad I + II + III/k$$

Před následujícím měřením se na 3 minuty vinutí a kostra zkratují a následně se provede další měření.

Po změření se pro každé měření spočítá vztah:

$$\frac{C_2}{C_{50}} = \frac{C_2 - C_{50}}{C_{50}} + 1 \quad (3.1)$$

kde je: C_2/C_{50} výsledek (bezrozměrné číslo), C_{50} kapacita při 50 Hz (F), $C_2 - C_{50}$ ekvivalentní rozdíl kapacit (F). Výsledky se přehodnotí na referenční teplotu 20 C dle diagramu č. 1 přílohyč.1

- b) Měření izolačního odporu vinutí se měří měřičem izolačního odporu (v našem případě TeraOhm 5 kV) v při 5 000 V=. Svorky transformátoru N,U,V,W (VN) zkratují stejně jako n,u,v,w (NN), případně mN,mU,mV,mW (SN) a na 3 minuty se spojí s kastrou (k), která je uzemněna. Po uplynutí 3 minut se měří tak, že + pól se připojí na vinutí I a – pól na k, která je spojena s ostatními vinutími a spustí se měření. Přístroj sám odečte měření po 15 a 60 sekundách. Po měření se zase vše na 3 minuty zkratuje. Měří se:

$$I/II + III + k, \quad II/I + III + k, \quad III/I + II + k, \quad I + II/III + k, \quad I + II + III/k.$$

Po měření se odečte teplota. Z výsledků se spočítá činitel absorpce K_{ab} , uváděný též jako polarizační index p_i dle vzorce:

$$K_{ab}(P_i) = \frac{R_{60}}{R_{15}}; R_{60} \quad (3.2)$$

se přehodnotí na referenční teplotu Θ 20 °C pomocí diagramu č. 2 přílohy č.1. Odečte se koeficient K z křivky R_{60} . Spočítají se hodnoty dle následujících vztahů:

$$R_{60\Theta} = \frac{R_{60(\text{menší než } 20^{\circ}\text{C})}}{K}; (M\Omega) \quad \text{a} \quad R_{60\Theta} = R_{60(\text{menší než } 20^{\circ}\text{C})} \cdot K; (M\Omega) \quad (3.3)$$

c) Vyhodnocení C_2/C_{50} a R_{60}/R_{15} se provede na diagramu č. 3 přílohy č.1 při referenční teplotě.

3. Měření činných odporů vinutí Měření se provádí Ohmovou metodou mezi fázovými svorkami všech vinutí a na všech odbočkách. Minimální proud pro měření je $2\sqrt{2} \cdot I_0$, maximální proud je $0,2 I_n$. Pro měření, které netrvá déle než 60 s se proud může pohybovat od $0,2$ do $0,5 I_n$. Měřené hodnoty se čtou při ustálených údajích přístrojů. Za ustálený údaj se považuje hodnota, která se nemění o více než 1% své velikosti po dobu 30 s. Po měření jednotlivých vinutí se zaznamenává teplota stroje. Při měření se zaznamenávají konstanty a hodnoty přístrojů.

Odpor se spočítá ze vztahu:

$$R = \frac{U}{I} \quad (\Omega; V; A) \quad (3.4)$$

Měření postupuje od vinutí s nejmenším I_n k vinutí s největším I_n .

4. Elektrická odolnost

a) Zkouška přiloženým napětím se začíná od vinutí s nejmenším napětím až k vinutí s největším napětím. Zkouška začíná připnutím napětí o průmyslové frekvenci (50 Hz) ne větším než $1/3$ zkušebního napětí, napětí se zvyšuje tak rychle, jak je přípustné z hlediska měření. Po 60 s na konci zkoušky se napětí musí rychle snížit na hodnotu menší než $1/3$ zkušebního napětí a pak lze vypnout. Zkouška je úspěšná, nevnikne-li žádný pokles zkušebního napětí.

Všechny svorky zkoušeného vinutí se připojí na jeden vývod zkušebního zdroje. Na jeho druhý vývod se připojí kostra transformátoru a všechny svorky ostatních vinutí.

b) Zkouška indukovaným napětím se provádí při frekvenci 100Hz připojením na svorky NN transformátoru. Zkouška začíná připnutím napětí ne větším než $1/3$ zkušebního napětí, napětí se zvyšuje tak rychle, jak to měření dovolí. Po 60 s na

konci zkoušky se napětí musí rychle snížit na hodnotu menší než 1/3 zkušební napětí a pak lze vypnout. Zkouška je úspěšná, nevnikne-li žádný pokles zkušební napětí. Při zkoušce se kontrolují napájecí proudy.

- c) Opravované transformátory s původním vinutím se zkouší 80% zkušební napětí. Při opakované zkoušce na přání zákazníka se zkouší 100% ze skutečného zkušební napětí.

5. Měření ztrát a proudu naprázdno

Na transformátor se připojí kabely zpravidla na stranu NN a měří se při jmenovitém napětí (střední aritmetická hodnota sdružených napětí), které je jmenovitého kmitočtu prakticky sinusového tvaru a souměrné, a jmenovité odbočce vinutí strany NN proudy a výkony. Jmenovité napětí se dosáhne postupným zvyšováním. Měření se doplňkově provádí též při nízkém napětí. Vinutí zapojené do trojúhelníka musí být uzavřeno. Proud naprázdno se počítá ze vztahu:

$$I_0 = \frac{I_U + I_V + I_W}{3} \cdot 100 (\%) \quad (3.5)$$

Hodnoty výkonů se sečtou. Jestliže nelze dodržet frekvenci je dovoleno měřit při kmitočtu $\pm 3 \%$ od jmenovitého.

Pak se napájecí napětí určí vztahem:

$$U' = \frac{U_n}{f_n} \cdot f' (V; V; Hz; Hz) \quad (3.6)$$

Pak je nutné přepočítat ztráty dle vztahu:

$$P_0 = \frac{P_0'}{P_1 \frac{f'}{f_n} + P_1 \left(\frac{f'}{f_n}\right)}, \quad (3.7)$$

kde poměrné ztráty hysterezi $p_1 = 0,5$ a poměrné ztráty vířivými proudy $p_2 = 0,5$ pro transformátorové plechy válcované za studena při magnetické indukci v magnetickém obvodu větší než 1,2 T.

Sinusový tvar křivky napájecího napětí se zkontroluje současným měřením střední a efektivní hodnoty napětí. Křivka se považuje za sinusovou, jestliže poměr efektivní a

střední hodnoty se neliší od 1,11 o více než o $\pm 2\%$. Korekce nesinusového tvaru se provede tak, že se z U_n efektivní transformátoru dělením 1,11 spočítá U_n střední, které se pomocí voltmetrů středních hodnot nastaví v napájení a přitom se změří proudy I'_o a výkony P'_o a efektivní napětí U_o . Dále se změří proudy I''_o při U_n efektivní.

Souměrnost sdružených napětí je, jestliže se každé sdružené napětí neliší od jejich střední aritmetické hodnoty o více než o 4,5%.

6. Měření převodu napětí naprázdno

Měří se dvěma voltmetry na stejnojmenných svorkách obou vinutí, všech odbočkách a ve všech fázích při sníženém napětí. Snížené napětí je maximálně 1039 V a připojí se na stranu VN.

Na zdroj je připojena strana VN se 3 voltmetry a na straně NN jsou 3 voltmetry. Všechny voltmetry měří sdružená napětí.

7. Kontrola natočení fází

Transformátor se napájí nízkým napětím (100 V) do strany VN a svorky U-u se vodičově propojí. Napětí se najíždí, měří na svorkách U-V (kontroluje na U-V-W) a dále se měří napětí na svorkách V-v, V-w, W-w, W-v a dle potřeby u-v. Hodnocení se provede dle V2 normy. U jednofázových transformátorů se musí ověřovat polarita svorek. Je-li převod transformátoru tak nízký, že při napájení transformátoru se nedosáhne hodnoty 100 V a některý z voltmetrů už ukazuje 120 V, musí se transformátor napájet tímto napětím a nebo nižším. Doporučuje se napájecí napětí zaokrouhlit na desítky voltů.

8. Měření ztrát a napětí nakrátko

Toto měření se provádí na dvojici vinutí tak, že jedno vinutí, zpravidla vyššího napětí z dvojice, je napájeno proudem se jmenovitou frekvencí ($\pm 1\%$) a druhé vinutí se zkratuje včetně nulové svorky. Není-li to možné, napájí se vinutí nižšího napětí. Při stanovení I_n se bere zřetel na vinutí o menším výkonu. Měří se při I_n , nebo $0,5 \cdot I_n$. Měřící proud nesmí být menší než $0,25 \cdot I_n$.

Je-li hodnota některého měřeného proudu větší než $0,4 \cdot I_n$, je omezena doba do přečtení údajů. Doba je dána v sekundách a je to 240 pro Al vinutí nebo 480 pro Cu vinutí dělené součinem proudových hustot a v měřených vinutích. Není-li možné tuto dobu dodržet, měří se při proudu menším než $0,4 \cdot I_n$.

Měření se provádí pro všechny možné dvojice vinutí vždy na jmenovité odbočce a u říditelných transformátor též na krajních odbočkách.

Měří se tři napětí, tři proudy a tři výkony. Pro napětí a proudy se počítají střední aritmetické hodnoty a výkony se sečtou. Po měření se zaznamená teplota transformátoru.

Neumožní-li zdroj napájení dodržet frekvenci, je dovoleno měřit při frekvenci max. $\pm 3\%$.

4 Postupy při opravách transformátorů v dílně Sobědruhy

Opravy dělíme na velké a malé.

Velké opravy se týkají transformátorů, kde je poškozeno vinutí, které se musí zdemontovat a opět navinout. Dále jsou postupy a činnosti stejné, jako u malých oprav, které spočívají v přetěsnění víka, ventilů a průchodek, vysušení vinutí, regeneraci oleje, měření ve zkušebně a nástřik transformátoru.

Postup velké opravy – víme, že na transformátoru je poškozené vinutí:

- Z transformátoru se vypustí olej a v rámci olejového hospodářství se zregeneruje pro další použití.



Obr. 4.1 Regenerace oleje



Obr. 4.2 Nádrže na olej, rozvaděč olejového hospodářství

- Zdemontuje se vrchní víko od nádoby transformátoru a stroj s víkem se vytáhne z nádoby ven. Vinutí, jádro a nádoba se ostříká olejem od kalů, které se v transformátoru nashromáždily.



Obr. 4.3 Demontáž jádra transformátoru

- Dále pokračuje demontáž veškerého příslušenství, které je připevněno k jádru s vinutím, jako jsou průchodky, expanzní nádoba, víko, přepínač vinutí. Jako poslední se demontuje magnetický obvod složený z plechů, který je sevřen svorníky. Po demontáži plechů je možné vysunout kostry s navinutými cívkami.
- Porušené cívky se v rámci velké opravy převíjejí.



Obr. 4.4 Převíjení cívek

- Navinuté cívky se opět nasadí na kostry, zafixují a vysuší. Poté jsou impregnovány v izolačním laku a zapečeny v předepsané teplotě. Vysušené naimpregnované cívky s kostrou se opět nasadí na jádro transformátoru, složí se magnetický obvod z plechů a stáhne svorníky.



Obr. 4.5 Skládání magnetického jádra

- Cívky vinutí se zapojí dle specifikace uvedené na štítku transformátoru a jádro s vinutím se vloží do pece na vysušení.



Obr. 4.6 Zapojování cívek

- Poté se transformátor zkompletuje, vloží do vany s přetěsněným vypustním ventilem a řádně se utěsní víko transformátoru s vanou. Transformátor se napustí regenerovaným olejem a putuje do zkušebny, kde jsou na něm provedeny všechny zde uvedené zkoušky.
- Po kladně vyhotovené diagnostice následuje příprava transformátoru na finální nástřik barvou.



Obr. 4.7 Příprava na lakování



Obr. 4.8 Lakování transformátoru

5 Porovnání parametrů nového a následně opraveného transformátoru

Cílem praktické části je vyhodnotit rentabilitu oprav starých transformátorů, porovnání jejich parametrů po opravě s parametry uvedenými u nového stroje, vyhodnotit jejich ekonomiku provozu v návaznosti na nařízení komise (EU) č.548/2014. V tabulce Tab. 5.1 jsou uvedeny požadavky ekodesignu na nové třífázové střední výkonové transformátory s jmenovitým výkonem do 3150 kVA včetně.

Tab. 5.1 Nařízení komise č.548/2014 Ekodesign - Maximální ztráty pod zatížením i při chodu naprázdno (W) v případě třífázových středních výkonových transformátorů ponořených do kapaliny s jedním vinutím o $U_m \leq 24$ kV a druhým vinutím o $U_m \leq 1,1$ kV.

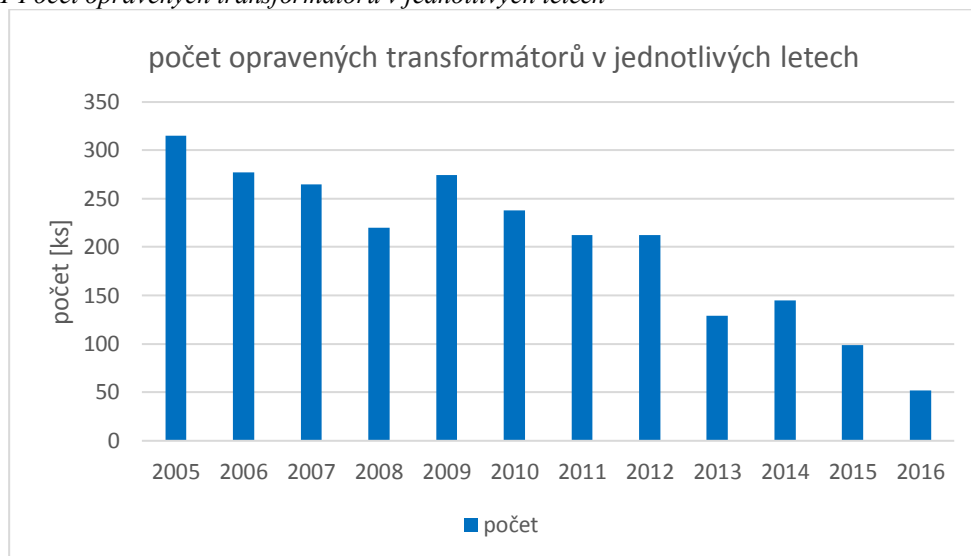
Jmenovitý výkon (kVA)	Stupeň 1 (od 1. července 2015)		Stupeň 2 (od 1. července 2021)	
	Maximální ztráty pod zatížením P_k (W) (*)	Maximální ztráty při chodu naprázdno P_o (W) (*)	Maximální ztráty pod zatížením P_k (W) (*)	Maximální ztráty při chodu naprázdno P_o (W) (*)
≤ 25	C_k (900)	A_o (700)	A_k (600)	$A_o - 10 \%$ (63)
50	C_k (1 100)	A_o (90)	A_k (750)	$A_o - 10 \%$ (81)
100	C_k (1 750)	A_o (145)	A_k (1 250)	$A_o - 10 \%$ (130)
160	C_k (2 350)	A_o (210)	A_k (1 750)	$A_o - 10 \%$ (189)
250	C_k (3 250)	A_o (300)	A_k (2 350)	$A_o - 10 \%$ (270)
315	C_k (3 900)	A_o (360)	A_k (2 800)	$A_o - 10 \%$ (324)
400	C_k (4 600)	A_o (430)	A_k (3 250)	$A_o - 10 \%$ (387)
500	C_k (5 500)	A_o (510)	A_k (3 900)	$A_o - 10 \%$ (459)
630	C_k (6 300)	A_o (600)	A_k (4 600)	$A_o - 10 \%$ (540)
800	C_k (8 400)	A_o (650)	A_k (6 000)	$A_o - 10 \%$ (585)
1 000	C_k (10 500)	A_o (770)	A_k (7 600)	$A_o - 10 \%$ (693)
1 250	B_k (11 000)	A_o (950)	A_k (9 500)	$A_o - 10 \%$ (855)
1 600	B_k (14 000)	A_o (1 200)	A_k (12 000)	$A_o - 10 \%$ (1 080)
2 000	B_k (18 000)	A_o (1 450)	A_k (15 000)	$A_o - 10 \%$ (1 305)
2 500	B_k (22 000)	A_o (1 750)	A_k (18 500)	$A_o - 10 \%$ (1 575)
3 150	B_k (27 500)	A_o (2 200)	A_k (23 000)	$A_o - 10 \%$ (1 980)
(*) Maximální ztráty pro hodnoty výkonu v kVA, které leží mezi výkony uvedenými v tabulce I.1, se získají lineární interpolací.				

V tabulce Tab. 5.2 a grafu Graf 5.1 je znázorněn počet oprav transformátorů v dílně Sobědruhy v jednotlivých letech.

Tab. 5.2 Počet oprav transformátorů v dílně Sobědruhy

rok	počet
2005	315
2006	277
2007	265
2008	220
2009	274
2010	238
2011	212
2012	212
2013	129
2014	145
2015	99
2016	52

Graf 5.1 Počet opravených transformátorů v jednotlivých letech



Pokles počtu oprav je ovlivněn několika aspekty:

- rozhodnutí distributora, že transformátory starší 30 let se již nebudou opravovat, zrecyklují se a nahradí novými hermetizovanými transformátory.
- v roce 2015 se do konce června musely do provozu nainstalovat všechny

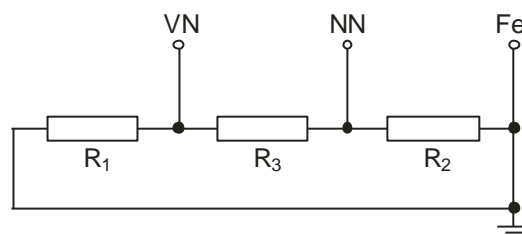
nakoupené transformátory, které nesplňovali parametry ekodesign dle již zmiňované nařízení EU.

- díky plánovaným rekonstrukcím se již přes deset let nové trafostanice osazují novými hermetizovanými transformátory, které zatím nevyžadují dílenskou revizi. V distribuční síti přibývají nové kioskové trafostanice, kde vzhledem k jejich kompaktním rozměrům nelze použít atmosférický transformátor s expanzní nádobou. Z tohoto důvodu musejí být na pohotovostních skladech drženy i nové hermetizované transformátory pro potřeby poruchové služby.

Pouze u 55 ks opravených transformátorů byly dohledány protokoly o zkoušce transformátoru, když byly dodány, jako nové. V příloze č.8 a v příloze č.9 je znázorněn původní protokol dodaný k novému transformátoru. V příloze č. 10 je protokol o kusové zkoušce transformátoru vystavený zkušebnou Sobědruhy. V příloze č.2 – č.7 jsou použita data z původních protokolů a z kusových zkoušek u opravených transformátorů. Údaje se týkají transformátorů vyrobených v letech 1990 – 1999.

5.1 Porovnání izolačních odporů

U nového transformátoru byly měřeny izolační odpory dle následujícího schématu uvedeného na obrázku Obr. 5.1 a to přímou metodou.



Obr. 5.1 Schéma zapojení izolačních odporů

Hodnota izolačního odporu VN/FE přibližně odpovídá odporu R_1 , hodnota NN/FE odpovídá odporu R_2 a hodnota VN/NN odporu R_3

V měřicích protokolech u opravených transformátorů je použita nepřímá metoda, která kombinuje paralelní zapojení izolačních odporů podle vztahu:

$$\frac{VN}{NN+FE} \cong X; \frac{NN}{VN+FE} \cong Y; \frac{VN+NN}{Fe} = Z \quad (5.1)$$

Hodnoty izolačních odporů R_1 , R_2 a R_3 získáme ze vztahu:

$$R_1 = \frac{2}{A}; R_2 = \frac{2}{B}; R_3 = \frac{2}{C}, \quad (5.2)$$

kde pro A,B,C platí :

$$A = \frac{1}{X} - \frac{1}{Y} + \frac{1}{Z}; \quad B = \frac{1}{Y} - \frac{1}{X} + \frac{1}{Z}; \quad C = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y} - \frac{1}{Z} \quad (5.3)$$

V porovnávací tabulce v příloze č.2 je vidět, že přepočítané izolační odpory jsou většinou několikanásobně větší, než tomu bylo u nového transformátoru. K výpočtu byl použit R_{60} přepočten na referenční teplotu uvedenou u nového transformátoru. Velké rozdíly mohou být způsobeny měřením pomocí přímé metody u nového transformátoru, kde měření může být ovlivněno zbytkovým nábojem, nemusel být použit měřicí přístroj se stínícím vývodem, který nám přivede stejný potenciál na přilehlý izolační odpor druhé větve, což nám zajistí, že tímto odporem nepoteče žádný proud. Dále může být měření ovlivněno použitím kvalitnějšího oleje s větším průrazným napětím. Hodnoty průrazných napětí olejů, směrodatná odchylka a variační koeficient jsou uvedeny v příloze č. 7.

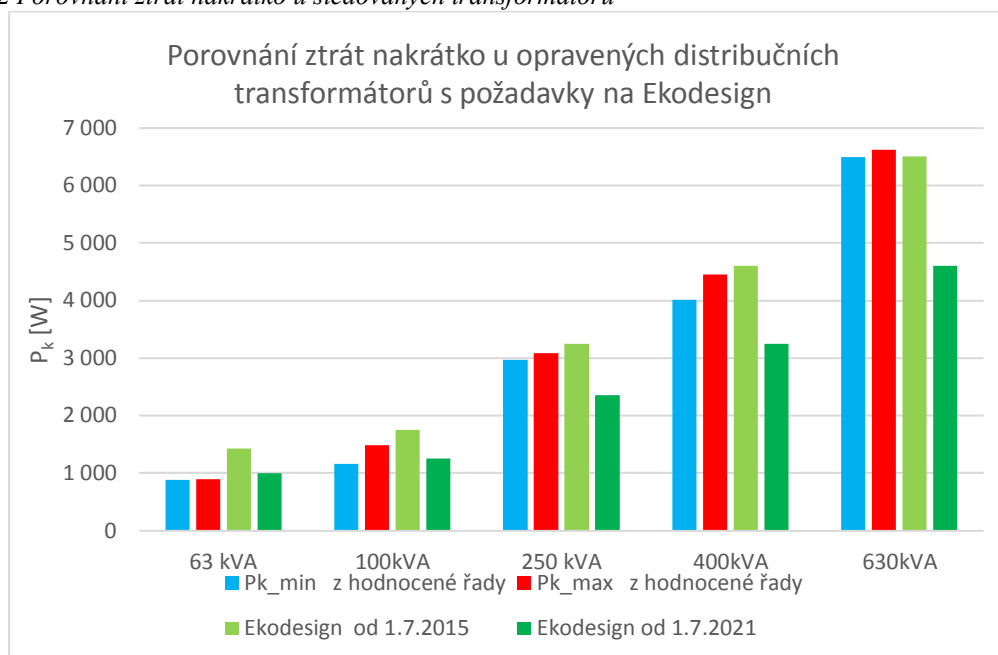
5.2 Porovnání ztrát nakrátko

V tabulce v příloze č. 3 jsou data pro porovnání ztrát nakrátko u nového stroje a u opraveného stroje při teplotě 20°C . Z této tabulky je vždy vybrán transformátor od daného výkonu s nejlepšími a nejhoršími ztrátami a hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.3 společně s hodnotami z požadavku na ekodesignu. Všechny hodnoty jsou dále zobrazeny v grafu Graf 5.2 .

Tab. 5.3 Ztráty nakrátko u sledovaných transformátorů

výkon transformátoru	P_{k_min} z hodnocené řady	P_{k_max} z hodnocené řady	Ekodesign od 1.7.2015	Ekodesign od 1.7.2021
63 kVA	884 [W]	891 [W]	1425 [W]	1000 [W]
100kVA	1164 [W]	1488 [W]	1750 [W]	1250 [W]
250 kVA	2973 [W]	3088 [W]	3250 [W]	2350 [W]
400kVA	4010 [W]	4458 [W]	4600 [W]	3250 [W]
630kVA	6492 [W]	6618 [W]	6500 [W]	4600 [W]

Graf 5.2 Porovnání ztrát nakrátko u sledovaných transformátorů



Z uvedeného grafu je patrné, že požadavky na snížení ztrát nakrátko nejsou v rámci 1.stupně ekodesignu nijak náročné a transformátory starší dvaceti let splňují tyto parametry. Z testovaných transformátorů jich devět splňuje i druhý stupeň ekodesignu. Jedná se o transformátory ve spodní výkonové řadě.

Obdobně, jako u tabulky z přílohy č.3 jsou v tabulce příloha č.4 uvedeny k porovnání ztráty nakrátko při 75°C a v tabulce příloha č.5 jsou ostatní údaje z měření ztrát nakrátko u opravených transformátorů.

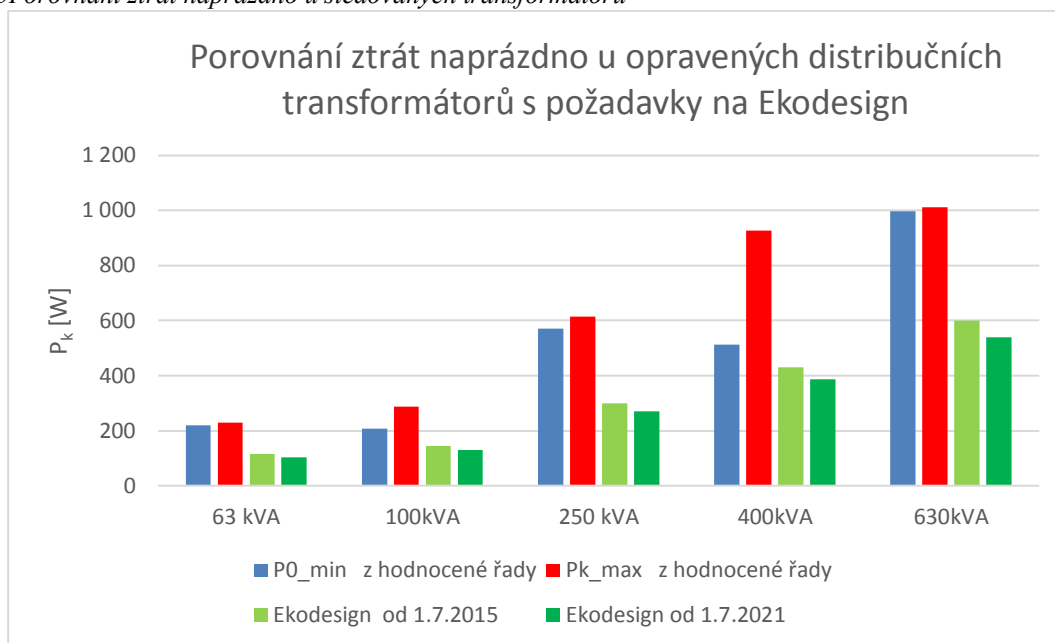
5.3 Porovnání ztrát naprázdno

V tabulce v příloze č.6 jsou data pro porovnání ztrát naprázdno, když byl transformátor nový a u následně opraveného stroje po několika letech. Z této tabulky je vždy vybrán transformátor od daného výkonu s nejlepšími a nejhoršími ztrátami a obdobně, jako u ztrát nakrátko jsou tyto hodnoty přeneseny do tabulky Tab. 5.4, doplněny o hodnoty ekodesignu a znázorněny v grafu Graf 5.3.

Tab. 5.4 Ztráty naprázdno u sledovaných transformátorů

výkon transformátoru	P_{0_min} z hodnocené řady	P_{k_max} z hodnocené řady	Ekodesign od 1.7.2015	Ekodesign od 1.7.2021
63 kVA	221 [W]	229 [W]	115 [W]	104 [W]
100kVA	207 [W]	288 [W]	145 [W]	131 [W]
250 kVA	570 [W]	614 [W]	300 [W]	270 [W]
400kVA	512 [W]	927 [W]	430 [W]	387 [W]
630kVA	998 [W]	1011 [W]	600 [W]	540 [W]

Graf 5.3 Porovnání ztrát naprázdno u sledovaných transformátorů



Z grafu 5.3 je patrné, že ztráty naprázdno u starých transformátorů nevyhovují novým požadavkům na ekodesign, v některých případech jsou i dvounásobné. V tabulce Tab. 5.5 máme spočítanou spotřebovanou energii ze ztrát naprázdno za 20 let provozu.

Tab. 5.5 Spotřebovaná energie ze ztrát naprázdno

výkon transformátoru	Wh_{min}	Wh_{max}	$Wh_{ekodesign}$	Rozdíl Wh_{min}	Rozdíl Wh_{max}
63kVA	38,7 [MWh]	40,1 [MWh]	20,1 [MWh]	18,6 [MWh]	20,0 [MWh]
100kVA	36,3 [MWh]	50,5 [MWh]	25,4 [MWh]	10,9 [MWh]	25,1 [MWh]
250kVA	99,9 [MWh]	107,6 [MWh]	52,6 [MWh]	47,3 [MWh]	55,0 [MWh]
400kVA	89,7 [MWh]	162,4 [MWh]	75,3 [MWh]	14,4 [MWh]	87,1 [MWh]
630kVA	174,8 [MWh]	177,1 [MWh]	105,1 [MWh]	69,7 [MWh]	72,0 [MWh]

Sloupec Wh_{\min} je spotřeba energie u transformátoru v dané řadě s nejmenšími ztrátami naprázdno, sloupec Wh_{\max} je spotřeba energie u transformátoru v dané řadě s největšími ztrátami naprázdno, sloupec $Wh_{\text{ekodesign}}$ je spotřeba energie, kterou by spotřeboval transformátor v řadě ekodesign, stupeň 1. Ve sloupcích rozdíl jsou uvedené spotřeby sledovaných transformátorů oproti požadavkům na ekodesign. Z ekonomického hlediska je třeba posoudit, použití transformátoru. Pokud jsou využívány jako distribuční, což je tento případ, lze předpokládat, že cena silové energie pro distributora je maximálně 1000,-Kč za MWh, V tomto případě se vyplatí transformátor opravit, zrevidovat a použít dalších 20 let. V tabulce Tab. 5.6 jsou uvedené přibližné ceny nových transformátorů a ceny oprav použitých transformátorů.

Tab. 5.6 Ceny nových transformátorů a ceny oprav použitých transformátorů

Výkon transformátoru	Nový transformátor ED stupeň.1	Cena opravy a diagnostiky
50kVA	140 tis.Kč	20 tis.Kč
100kVA	155 tis.Kč	22 tis.Kč
250kVA	230 tis.Kč	27 tis.Kč
400kVA	290 tis.Kč	35 tis.Kč
630kVA	350 tis.Kč	40 tis.Kč

Sečtením ceny za opravu použitého transformátoru a ceny za navýšené ztráty se dostaneme přibližně na třetinovou cenu nového transformátoru, což je stále výhodné. Opačný případ nastává při použití transformátoru např. u velkých FVE elektráren s měřením na VN straně. Zde může být výkupní cena z FVE za 1 MWh 14000,- Kč a energii, kterou spotřebuje transformátor ve ztrátách naprázdno již výrobce neprodá. Navýšené ztráty pak představují za 20 let trojnásobek ceny nového transformátoru, což je ekonomicky nerentabilní.

Závěr

Včasná revize transformátorů, která zahrnuje všechny dílenské kroky malé opravy, dodá starému transformátoru opět parametry nového transformátoru. Nejvíce se na tom podílí kvalita regenerovaného oleje, kde průměrná hodnota průrazného napětí u zde měřených transformátorů je 83kV/2,5mm. Když byly transformátory nové, byl zde použit olej s průrazným napětím 60kV/2,5mm.

Dnešním trendem je nahrazovat distribuční transformátory s konzervátorem novými hermetizovanými transformátory bez konzervátoru a distribuční transformátory starší třiceti let jsou vyřazeny z provozu. Následně jsou rozebírány a tříděny na olej, železo, barevné kovy a zbylý odpad.

Cílem této práce bylo prokázat, že ne všechny transformátory staršího data výroby se mají recyklovat. Posuzování transformátorů by mělo být prováděno individuálně, kus od kusu, například na základě polymerizačního testu u izolačního papíru a ne globálně dle stáří. Jako distribuční transformátor je stále ekonomicky výhodné použít opravený starý transformátor, než pořizovat nový.

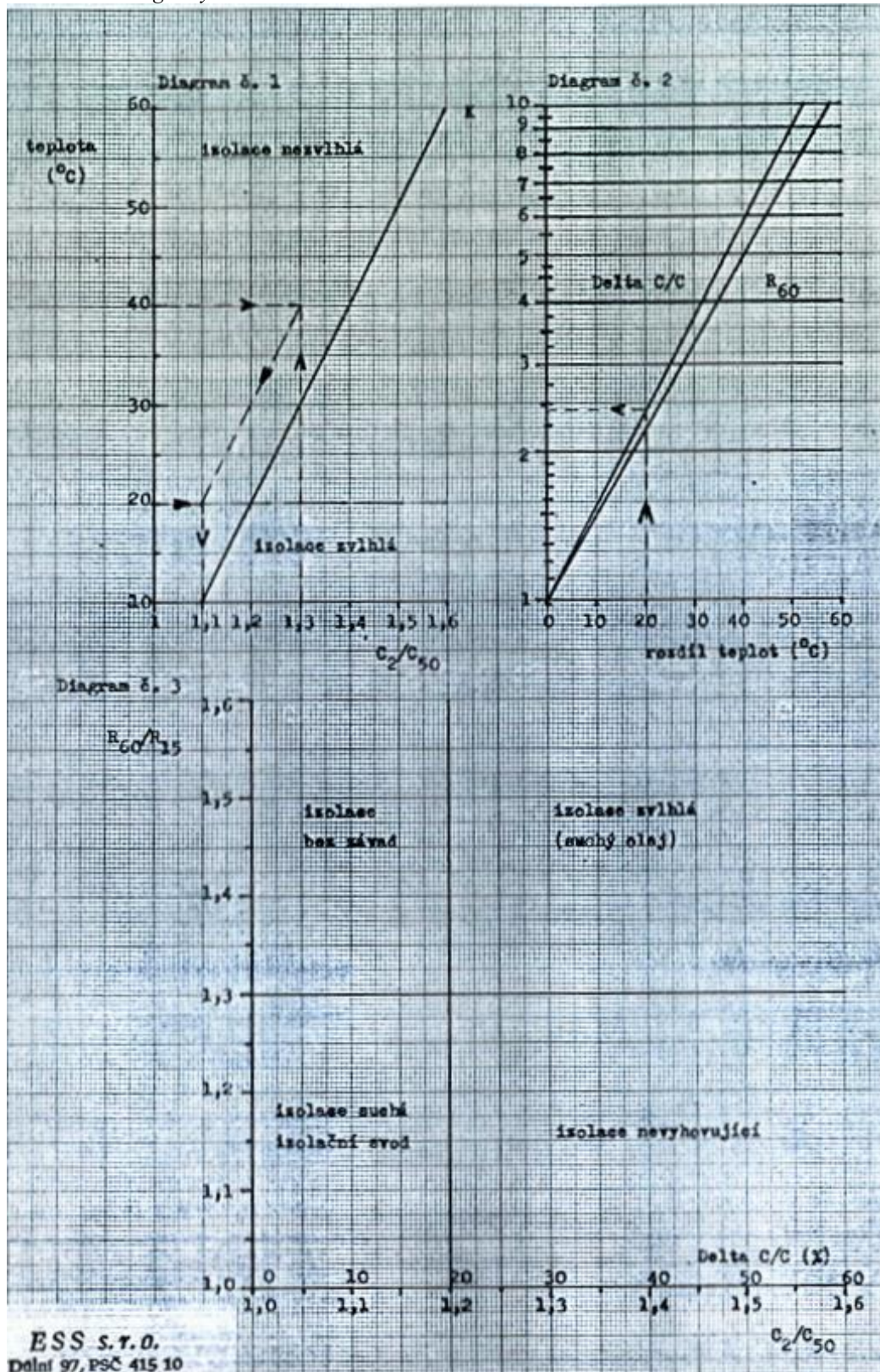
Jak již bylo v této práci popsáno, že hermetizované transformátory mají v distribuci své místo a u nových instalací je jejich použití nezbytné, tak u starých stožárových trafostanic jejich instalace přináší problémy a vícenáklady na úpravu nosné konstrukce. Problém je v rozměrech hermetizovaného transformátoru, především v menší vzdálenosti konců svorníků u vn průchodek od spodní hrany transformátoru. Tyto transformátory jsou nižší, než atmosférické transformátory a musí se pod ně používat speciální podstavec, aby byla dodržena předepsaná vzdálenost živých částí od země. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější měnit například v případě poruchy atmosférický transformátor opět za atmosférický.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HÄBERLE, Heinz, a kolektiv. *Průmyslová elektrotechnika a informační technologie*. Praha: EUROPA – SOBTÁLES cz., 2003.
- [2] UHLÍŘ, I., a kolektiv. *Elektrické stroje a pohony*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007.
- [3] TKOTZ, K. a kolektiv. *Příručka pro elektrotechniky*. Vyd. 2. Praha: EUROPA - SOBOTÁLES, 2006.
- [4] ŘÍHA, Josef. *Elektrické stroje a přístroje*. Praha: SNTL, 1990.
- [5] MENTLÍK, V.; PIHERA, J.; POLANSKÝ, R.; PROSR, P.; TRNKA, P. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN - Technická literatura, 2008.
- [6] LIPTÁK, J.; SEDLÁČEK, J. *Úvod do elektrotechnických materiálů*. Praha: ČVUT, 2008.
- [7] VOŽENÍLEK, P.; JANOUŠEK, J. *Základy silnoproudé elektrotechniky*. Praha: ČVUT, 2008.
- [8] PETROV, G.N. *Elektrické stroje 2*. Praha: Academia, 1982.
- [9] KRATOCHVÍL, M. a kolektiv. *Elektrotechnická měření II*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1988.
- [10] FAJT, V a kolektiv. *Elektrická měření*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [11] SAJNER, J. *Práce na elektrických zařízeních a jejich obsluha*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [12] JEZIERSKI, E. *Transformátory*. Praha: Academia, 1973.
- [13] FOIT, J.; HUDEC, L. *Základy elektroniky*. Praha: ČVUT, 2009.
- [14] BUĽ, B.K. a kolektiv. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [15] ROUBÍČEK, O. *Elektrické motory a pohony*. Praha: BEN – Technická literatura, 2004.
- [16] KREJČÍŘÍK, A; BURIAN. Z. *.Simuluj!*. Praha: BEN – Technická literatura, 2001.
- [17] SCHIEBLOVÁ, J.; VESELÝ, M.; BRANČÍK, L. *Teoretická elektrotechnika I.*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1996.

Přílohy

Příloha č. 1 Diagramy ke zkušebně



Příloha č. 2 Porovnání izolačních odporů z protokolu od nového transformátoru s přepočtenými hodnotami z následného měření při opravě

Hodnoty z protokolu o zkoušce					Izolační odpory				Zkoušeno dne	Přepočítané izolační odpory		
č.	Rok výroby	Typ	Výkon [kVA]	Napětí VN [V]	teplota [°C]	VN/FE [GΩ]	VN/NN [GΩ]	NN/FE [GΩ]		R ₁ VN/FE [GΩ]	R ₃ VN/NN [GΩ]	R ₂ NN/FE [GΩ]
1	1991	KTO 270/22	63	22 000	21,0	5,0	9,0	4,0	18.5.2005	36,5	109,9	72,7
2	1991	KTO 270/22	63	22 000	20,0	3,0	6,0	2,5	20.4.2009	51,3	94,1	104,0
3	1990	TO 296/22	100	22 000	17,0	4,0	7,0	3,0	28.8.2009	100,6	54,6	41,8
4	1991	TO 296/22	100	22 000	21,0	3,0	5,0	2,5	16.8.2013	73,4	39,1	29,1
5	1991	TO 296/22	100	22 000	20,0	5,0	6,0	4,0	17.3.2015	18,7	22,9	17,4
6	1991	TO 296/22	100	22 000	21,0	3,0	5,0	2,0	22.10.2007	29,5	29,5	29,5
7	1991	TO 296/22	100	22 000	19,0	3,0	7,0	2,5	16.10.2005	2,7	-3,0	2,5
8	1991	TO 296/22	100	22 000	21,0	4,0	8,0	3,0	5.6.2008	19,5	33,5	29,7
9	1991	TO 296/22	100	22 000	21,0	4,0	8,0	3,0	17.8.2007	34,8	25,8	19,4
10	1999	TOHn 298/22	100	22 000	28,0	4,9	10,0	4,4	12.11.2013	39,8	32,2	22,4
11	1991	ATO 334/22	250	22 000	17,0	4,0	7,0	3,0	30.9.2013	19,8	15,5	13,6
12	1991	ATO 334/22	250	22 000	17,0	4,0	8,0	3,0	16.8.2005	83,2	44,1	13,8
13	1991	ATO 334/22	250	22 000	17,0	4,0	8,0	3,0	23.5.2012	55,8	37,1	28,3
14	1991	ATO 334/22	250	22 000	16,0	4,0	7,0	3,0	19.10.2010	63,7	55,1	37,9
15	1991	ATO 334/22	250	22 000	16,0	6,0	7,0	5,0	27.3.2012	65,5	46,0	41,2
16	1991	ATO 334/22	250	22 000	16,0	6,0	7,0	4,0	14.11.2007	11,0	20,9	13,3
17	1991	ATO 334/22	250	22 000	16,0	6,0	7,0	5,0	30.8.2011	47,2	34,8	29,6
18	1991	ATO 334/22	250	22 000	16,0	6,0	7,0	5,0	19.10.2005	89,6	116,3	60,8
19	1991	ATO 334/22	250	22 000	17,0	4,0	6,0	3,0	26.9.2009	83,3	46,4	39,0
20	1990	ATO 354/22	400	10 000	19,0	5,0	10,0	3,0	21.1.2016	58,1	29,0	32,0
21	1990	ATO 354/22	400	10 000	20,0	5,0	8,0	3,0	10.3.2006	45,7	51,1	60,0
22	1991	ATO 354/22	400	10 000	21,0	3,0	7,0	2,5	25.11.2013	104,2	46,6	51,8
23	1992	ATO 354/22	400	10 000	20,0	5,0	10,0	5,0	11.9.2012	70,6	54,3	45,1
24	1993	aTO 354/22	400	10 000	18,0	7,0	7,5	5,0	30.3.2005	76,6	101,0	61,0
34	1990	ATO 354/22	400	22 000	18,0	6,0	8,0	4,0	15.12.2009	34,1	46,0	16,5
35	1992	ATO 354/22	400	22 000	19,0	3,0	5,0	2,5	5.4.2011	34,6	70,9	64,9
36	1992	ATO 354/22	400	22 000	19,0	4,0	5,0	2,5	1.3.2011	42,4	57,9	72,2
37	1992	ATO354/22	400	22 000	22,0	7,5	15,0	7,5	21.10.2009	106,5	47,7	45,3
38	1992	ATO354/22	400	22 000	24,0	6,0	8,0	5,0	10.12.2010	48,1	23,0	27,5
39	1992	ATO354/22	400	22 000	20,0	5,0	10,0	5,0	23.2.2010	56,0	98,2	130,5
40	1992	ATO354/22	400	22 000	21,0	8,0	25,0	8,0	21.1.2013	30,1	31,0	37,4
41	1992	ATO354/22	400	22 000	21,0	8,0	25,0	8,0	19.11.2009	34,1	56,3	34,3
42	1992	ATO354/22	400	22 000	22,0	8,0	10,0	8,0	20.5.2005	17,0	31,0	30,3
43	1992	ATO354/22	400	22 000	22,0	7,0	10,0	7,0	2.5.2011	28,5	55,4	69,2
44	1992	ATO354/22	400	22 000	20,0	5,0	8,0	4,0	13.2.2014	34,6	49,9	57,2
45	1992	ATO354/22	400	22 000	20,0	5,0	10,0	5,0	23.1.2015	29,2	30,0	27,7
46	1992	ATO354/22	400	22 000	21,0	9,0	14,0	4,0	26.9.2009	37,9	84,8	74,3
47	1992	ATO354/22	400	22 000	21,0	5,0	8,0	4,0	18.8.2010	25,6	49,7	40,8
48	1992	ATO354/22	400	22 000	21,0	5,0	7,0	4,0	19.11.2013	36,9	71,9	71,1
49	1992	ATO354/22	400	22 000	21,0	5,0	7,0	4,0	28.4.2011	30,3	57,2	59,7
50	1992	ATO354/22	400	22 000	22,0	5,0	7,5	5,0	24.10.2014	23,4	29,4	30,3
51	1992	ATO354/22	400	22 000	24,0	5,0	8,0	4,0	16.2.2011	33,1	43,4	38,7
52	1992	ATO354/22	400	22 000	24,0	5,0	7,0	5,0	28.8.2007	17,1	28,1	37,6
53	1993	KTO 354/22	400	22 000	19,0	4,0	8,0	3,0	27.4.2011	27,1	53,3	60,2
25	1998	TOHn 358/10	400	10 000	21,0	2,7	15,0	2,7	29.3.2016	8,8	14,0	10,5
26	1998	TOHn 358/10	400	10 000	23,0	2,5	12,0	2,5	10.12.2014	8,8	15,3	10,8
27	1999	TOHn 358/10	400	10 000	25,0	5,0	15,0	5,0	11.3.2011	21,9	7,5	4,1
28	1999	TOHn 358/10	400	10 000	20,0	6,0	15,0	6,0	7.2.2011	3,5	17,3	4,8
29	1999	TOHn 358/10	400	10 000	20,0	7,0	15,0	6,0	14.3.2016	2,2	13,5	2,9
30	1999	TOHn 358/10	400	10 000	21,0	4,5	15,0	4,0	10.12.2014	5,9	14,8	6,4
31	1999	TOHn 358/10	400	10 000	27,0	4,5	15,0	3,5	26.11.2014	14,0	14,1	15,9
32	1999	TOHn 358/10	400	10 000	27,0	4,5	20,0	3,5	26.9.2008	37,3	27,5	44,5
33	1999	TOHn 358/10	400	10 000	29,0	1,8	15,0	2,5	13.11.2007	19,8	19,6	23,7
54	1993	aTO 374/22	630	10 000	17,0	6,0	6,0	2,5	4.3.2005	94,0	91,7	57,1
55	1993	ATO374/22	630	22 000	18,0	5,0	10,0	3,5	16.12.2011	26,6	21,1	20,5

Příloha č. 3 Porovnání ztrát nakrátko z protokolu od nového transformátoru s hodnotami z následného měření po opravě transformátoru při teplotě 20°C

Hodnoty z protokolu o zkoušce					Ztráty nakrátko při 20°C				Měření ztrát nakrátko					
č.	Rok výroby	Typ	Výkon [kVA]	Napětí VN [V]	U _k [V]	I _k [A]	P _k [W]	U _k [%]	Zkoušeno dne	Teplota měření	u _{gk} [%]	P _{gk} [W]	u _{gk} [%] při 20°C	P _{gk} [W] při 20°C
1	1991	KTO 270/22	63	22 000	824,84	1,65	891,33	3,75	18.5.2005	21,9	3,66	829,89	3,66	812,53
2	1991	KTO 270/22	63	22 000	819,24	1,65	884,21	3,72	20.4.2009	15,0	3,67	1 000,67	3,67	1 017,95
3	1990	TO 296/22	100	22 000	845,27	2,62	1 167,61	3,84	28.8.2009	22,1	3,84	1 120,23	3,84	1 108,10
4	1991	TO 296/22	100	22 000	856,00	2,62	1 164,45	3,89	16.8.2013	19,5	3,88	1 110,14	3,88	1 112,83
5	1991	TO 296/22	100	22 000	832,89	2,62	1 187,14	3,79	17.3.2015	18,0	3,75	1 086,16	3,75	1 097,50
6	1991	TO 296/22	100	22 000	812,11	2,62	1 165,05	3,69	22.10.2007	19,0	3,63	1 073,10	3,63	1 077,64
7	1991	TO 296/22	100	22 000	798,68	2,62	1 170,79	3,63	16.10.2005	22,0	3,57	1 249,32	3,57	1 240,26
8	1991	TO 296/22	100	22 000	820,02	2,62	1 179,06	3,73	5.6.2008	22,9	3,71	1 125,93	3,71	1 112,96
9	1991	TO 296/22	100	22 000	811,83	2,62	1 177,35	3,69	17.8.2007	21,5	3,68	1 131,78	3,68	1 125,03
10	1999	TOHn 298/22	100	22 000	836,03	2,62	1 488,32	3,80	12.11.2013	21,8	3,78	1 452,43	3,78	1 440,05
11	1991	ATO 334/22	250	22 000	876,32	6,56	3 088,46	3,98	30.9.2013	16,7	4,02	3 147,08	4,02	3 184,63
12	1991	ATO 334/22	250	22 000	876,79	6,56	3 044,08	3,99	16.8.2005	20,6	4,34	3 981,73	4,34	3 969,82
13	1991	ATO 334/22	250	22 000	877,78	6,56	3 005,81	3,99	23.5.2012	24,0	4,02	3 027,64	4,02	2 959,95
14	1991	ATO 334/22	250	22 000	877,50	6,56	3 033,06	3,99	19.10.2010	20,6	4,04	3 070,24	4,04	3 059,25
15	1991	ATO 334/22	250	22 000	861,30	6,56	3 013,68	3,92	27.3.2012	19,9	3,95	2 955,16	3,95	2 957,10
16	1991	ATO 334/22	250	22 000	870,49	6,56	3 051,77	3,96	14.11.2007	19,4	3,97	2 917,01	3,97	2 923,73
17	1991	ATO 334/22	250	22 000	863,76	6,56	3 009,48	3,93	30.8.2011	21,0	3,97	2 949,04	3,97	2 925,15
18	1991	ATO 334/22	250	22 000	882,44	6,56	3 031,86	4,01	19.10.2005	23,0	4,04	3 167,27	4,04	3 137,02
19	1991	ATO 334/22	250	22 000	860,55	6,56	2 972,56	3,91	26.9.2009	21,4	3,93	2 929,00	3,93	2 895,14
20	1990	ATO 354/22	400	10 000	581,40	23,09	4 256,60	5,81	21.1.2016	13,1	5,89	4 631,38	5,89	4 760,11
21	1990	ATO 354/22	400	10 000	590,40	23,09	4 264,73	5,90	10.3.2006	20,0	5,94	4 133,64	5,94	4 133,64
22	1991	ATO 354/22	400	10 000	580,88	23,09	4 225,78	5,81	25.11.2013	17,9	5,87	4 511,92	5,87	4 545,91
23	1992	ATO 354/22	400	10 000	580,87	23,09	4 208,04	5,81	11.9.2012	22,5	5,85	4 072,99	5,85	4 034,37
24	1993	aTO 354/22	400	10 000	575,41	23,09	4 218,38	5,75	30.3.2005	19,8	5,79	4 225,36	5,79	4 228,60
25	1998	TOHn 358/10	400	10 000	637,59	23,09	4 082,76	6,38	29.3.2016	15,8	6,46	4 394,70	6,46	4 465,08
26	1998	TOHn 358/10	400	10 000	631,85	23,09	4 070,55	6,32	10.12.2014	16,4	6,38	4 424,22	6,38	4 486,22
27	1999	TOHn 358/10	400	10 000	621,96	23,09	4 009,53	6,22	11.3.2011	22,2	6,30	4 261,69	6,30	4 194,49
28	1999	TOHn 358/10	400	10 000	621,72	23,09	4 038,27	6,22	7.2.2011	22,1	6,31	4 236,40	6,31	4 168,71
29	1999	TOHn 358/10	400	10 000	619,99	23,09	4 009,99	6,20	14.3.2016	15,3	6,30	4 366,81	6,30	4 452,80
30	1999	TOHn 358/10	400	10 000	632,79	23,09	4 025,76	6,33	10.12.2014	19,2	6,42	4 561,04	6,42	4 575,55
31	1999	TOHn 358/10	400	10 000	617,47	23,09	4 014,98	6,18	26.11.2014	22,3	6,28	4 514,05	6,28	4 469,90
32	1999	TOHn 358/10	400	10 000	622,50	23,09	4 020,71	6,22	26.9.2008	18,3	6,30	3 965,16	6,30	4 000,17
33	1999	TOHn 358/10	400	10 000	622,30	23,09	4 009,85	6,22	13.11.2007	20,0	6,32	4 199,18	6,32	4 198,55
34	1990	ATO 354/22	400	22 000	1 304,30	10,50	4 457,68	5,93	15.12.2009	18,5	5,75	5 852,47	5,75	5 903,64
35	1992	ATO 354/22	400	22 000	1 329,10	10,50	4 152,38	6,04	5.4.2011	18,9	6,13	4 583,35	6,13	4 624,08
36	1992	ATO 354/22	400	22 000	1 287,13	10,50	4 204,54	5,85	1.3.2011	19,5	5,88	3 987,96	5,88	4 002,14
37	1992	ATO354/22	400	22 000	1 304,30	10,50	4 404,96	5,93	21.10.2009	18,7	5,92	3 998,03	5,92	4 044,75
38	1992	ATO354/22	400	22 000	1 302,49	10,50	4 255,96	5,92	10.12.2010	16,8	5,94	3 937,16	5,94	4 052,21
39	1992	ATO354/22	400	22 000	1 289,01	10,50	4 239,82	5,86	23.2.2010	17,5	5,88	3 954,80	5,88	4 007,62
40	1992	ATO354/22	400	22 000	1 285,20	10,50	4 296,74	5,84	21.1.2013	18,0	5,86	3 989,47	5,86	4 021,34
41	1992	ATO354/22	400	22 000	1 294,70	10,50	4 291,50	5,89	19.11.2009	20,0	5,91	4 033,78	5,91	4 033,78
42	1992	ATO354/22	400	22 000	1 273,81	10,50	4 319,94	5,79	20.5.2005	20,1	6,08	5 984,87	6,08	5 980,97
43	1992	ATO354/22	400	22 000	1 274,78	10,50	4 328,04	5,79	2.5.2011	19,0	5,81	4 054,13	5,81	4 093,27
44	1992	ATO354/22	400	22 000	1 285,04	10,50	4 262,03	5,84	13.2.2014	19,0	5,89	4 042,25	5,89	4 062,33
45	1992	ATO354/22	400	22 000	1 287,42	10,50	4 241,48	5,85	23.1.2015	14,1	5,93	4 611,06	5,93	4 705,04
46	1992	ATO354/22	400	22 000	1 287,99	10,50	4 315,33	5,85	26.9.2009	21,5	5,86	4 014,06	5,86	3 963,85
47	1992	ATO354/22	400	22 000	1 287,26	10,50	4 332,88	5,85	18.8.2010	21,8	5,98	4 419,41	5,98	4 352,84
48	1992	ATO354/22	400	22 000	1 292,70	10,50	4 293,73	5,88	19.11.2013	20,1	5,94	4 547,89	5,94	4 546,11
49	1992	ATO354/22	400	22 000	1 284,63	10,50	4 245,83	5,84	28.4.2011	20,7	5,87	4 017,79	5,87	3 997,75
50	1992	ATO354/22	400	22 000	1 290,80	10,50	4 344,36	5,87	24.10.2014	17,5	5,88	4 040,79	5,88	4 092,50
51	1992	ATO354/22	400	22 000	1 294,71	10,50	4 322,36	5,89	16.2.2011	17,6	6,10	5 340,30	6,10	5 408,46
52	1992	ATO354/22	400	22 000	1 274,19	10,50	4 248,18	5,79	28.8.2007	21,0	5,81	4 032,73	5,81	4 017,89
53	1993	KTO 354/22	400	22 000	1 271,44	10,50	4 256,12	5,78	27.4.2011	19,3	5,89	4 685,23	5,89	4 698,51
54	1993	aTO 374/22	630	10 000	610,39	36,37	6 618,20	6,10	4.3.2005	13,2	6,15	6 303,95	6,15	6 486,21
55	1993	ATO374/22	630	22 000	1 300,69	16,53	6 491,61	5,91	16.12.2011	16,5	6,51	8 294,23	6,51	8 446,30

Příloha č. 4 Porovnání ztrát nakrátko z protokolu od nového transformátoru s hodnotami z následného měření po opravě transformátoru při přepočtené teplotě 75°C

č.	Hodnoty z protokolu o zkoušce				Ztráty nakrátko při 75°C				Zkoušeno dne	Měření ztrát nakrátko				
	Rok výroby	Typ	Výkon [kVA]	Napětí VN [V]	U _k [V]	I _k [A]	P _k [W]	U _k [%]		Teplota měření	u _{gk} [%]	P _{gk} [W]	u _{gk} [%] při 75°C	P _{gk} [W] při 75°C
1	1991	KTO 270/22	63	22 000	852,79	1,65	1 085,83	3,88	18.5.2005	21,9	3,66	829,89	3,66	1 290,71
2	1991	KTO 270/22	63	22 000	847,56	1,65	1 081,19	3,85	20.4.2009	15,0	3,67	1 000,67	3,67	1 211,37
3	1990	TO 296/22	100	22 000	862,35	2,62	1 402,15	3,92	28.8.2009	22,1	3,84	1 120,23	3,84	1 419,11
4	1991	TO 296/22	100	22 000	872,90	2,62	1 399,98	3,97	16.8.2013	19,5	3,88	1 110,14	3,88	1 403,70
5	1991	TO 296/22	100	22 000	851,08	2,62	1 429,12	3,87	17.3.2015	18,0	3,75	1 086,16	3,75	1 402,30
6	1991	TO 296/22	100	22 000	830,73	2,62	1 410,43	3,78	22.10.2007	19,0	3,63	1 073,10	3,63	1 336,97
7	1991	TO 296/22	100	22 000	816,72	2,62	1 404,50	3,71	16.10.2005	22,0	3,57	1 249,32	3,57	1 491,05
8	1991	TO 296/22	100	22 000	837,71	2,62	1 412,77	3,81	5.6.2008	22,9	3,71	1 125,93	3,71	1 358,52
9	1991	TO 296/22	100	22 000	829,43	2,62	1 408,23	3,77	17.8.2007	21,5	3,68	1 131,78	3,68	1 371,94
10	1999	TOHn 298/22	100	22 000	866,03	2,62	1 792,12	3,94	12.11.2013	21,8	3,78	1 452,43	3,78	1 812,53
11	1991	ATO 334/22	250	22 000	893,76	6,56	3 677,88	4,06	30.9.2013	16,7	4,02	3 147,08	4,02	3 819,08
12	1991	ATO 334/22	250	22 000	893,25	6,56	3 609,75	4,06	16.8.2005	20,6	4,34	3 981,73	4,34	5 070,83
13	1991	ATO 334/22	250	22 000	894,34	6,56	3 581,33	4,07	23.5.2012	24,0	4,02	3 027,64	4,03	3 868,24
14	1991	ATO 334/22	250	22 000	892,69	6,56	3 559,73	4,06	19.10.2010	20,6	4,04	3 070,24	4,04	4 037,18
15	1991	ATO 334/22	250	22 000	878,08	6,56	3 584,62	3,99	27.3.2012	19,9	3,95	2 955,16	3,95	3 983,98
16	1991	ATO 334/22	250	22 000	887,25	6,56	3 621,76	4,03	14.11.2007	19,4	3,97	2 917,01	3,97	3 543,83
17	1991	ATO 334/22	250	22 000	880,39	6,56	3 577,98	4,00	30.8.2011	21,0	3,97	2 949,04	3,97	4 180,31
18	1991	ATO 334/22	250	22 000	899,08	6,56	3 608,35	4,09	19.10.2005	23,0	4,04	3 167,27	4,04	3 704,53
19	1991	ATO 334/22	250	22 000	877,08	6,56	3 541,92	3,99	26.9.2009	21,4	3,93	2 929,00	3,93	4 164,46
20	1990	ATO 354/22	400	10 000	585,07	23,09	4 995,78	5,85	21.1.2016	13,1	5,89	4 631,38	5,89	5 790,68
21	1990	ATO 354/22	400	10 000	593,85	23,09	4 973,53	5,94	10.3.2006	20,0	5,94	4 133,64	5,94	4 929,43
22	1991	ATO 354/22	400	10 000	584,55	23,09	4 970,19	5,85	25.11.2013	17,9	5,87	4 511,92	5,87	5 448,64
23	1992	ATO 354/22	400	10 000	584,74	23,09	4 992,03	5,85	11.9.2012	22,5	5,85	4 072,99	5,85	4 888,85
24	1993	aTO 354/22	400	10 000	580,23	23,09	4 957,52	5,80	30.3.2005	19,8	5,79	4 225,36	5,79	5 015,66
25	1998	TOHn 358/10	400	10 000	641,47	23,09	4 823,01	6,42	29.3.2016	15,8	6,46	4 394,70	6,46	5 390,61
26	1998	TOHn 358/10	400	10 000	635,74	23,09	4 809,90	6,36	10.12.2014	16,4	6,38	4 424,22	6,38	5 435,47
27	1999	TOHn 358/10	400	10 000	625,79	23,09	4 743,56	6,26	11.3.2011	22,2	6,30	4 261,69	6,30	5 808,69
28	1999	TOHn 358/10	400	10 000	625,62	23,09	4 774,31	6,26	7.2.2011	22,1	6,31	4 236,40	6,31	5 867,25
29	1999	TOHn 358/10	400	10 000	623,85	23,09	4 749,64	6,24	14.3.2016	15,3	6,30	4 366,81	6,30	5 454,62
30	1999	TOHn 358/10	400	10 000	636,59	23,09	4 753,44	6,37	10.12.2014	19,2	6,42	4 561,04	6,42	5 572,15
31	1999	TOHn 358/10	400	10 000	621,32	23,09	4 758,51	6,21	26.11.2014	22,3	6,28	4 514,05	6,28	5 517,95
32	1999	TOHn 358/10	400	10 000	626,33	23,09	4 760,02	6,26	26.9.2008	18,3	6,30	3 965,16	6,30	5 113,97
33	1999	TOHn 358/10	400	10 000	626,11	23,09	4 757,69	6,26	13.11.2007	20,0	6,32	4 199,18	6,32	5 025,69
34	1990	ATO 354/22	400	22 000	1 312,26	10,50	5 171,87	5,96	15.12.2009	18,5	5,75	5 852,47	5,75	7 819,95
35	1992	ATO 354/22	400	22 000	1 336,89	10,50	4 900,11	6,08	5.4.2011	18,9	6,13	4 583,35	6,13	6 566,67
36	1992	ATO 354/22	400	22 000	1 295,12	10,50	4 950,09	5,89	1.3.2011	19,5	5,88	3 987,96	5,88	5 500,82
37	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 312,38	10,50	5 137,82	5,97	11.10.2009	18,7	5,92	3 998,03	5,93	5 920,76
38	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 309,94	10,50	4 955,27	5,95	10.12.2010	16,8	5,94	3 937,16	5,94	5 925,46
39	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 297,13	10,50	4 991,68	5,90	23.2.2010	17,5	5,88	3 954,80	5,88	5 144,27
40	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 293,54	10,50	5 056,84	5,88	21.1.2013	18,0	5,86	3 989,47	5,86	4 900,27
41	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 302,78	10,50	5 035,29	5,92	19.11.2009	20,0	5,91	4 033,78	5,91	5 804,00
42	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 282,03	10,50	5 060,44	5,83	20.5.2005	20,1	6,08	5 984,87	6,08	7 513,78
43	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 283,14	10,50	5 079,07	5,83	2.5.2011	19,0	5,81	4 054,13	5,81	6 130,37
44	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 293,19	10,50	5 010,88	5,88	13.2.2014	19,0	5,89	4 042,25	5,89	5 148,60
45	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 295,50	10,50	4 989,05	5,89	23.1.2015	14,1	5,93	4 611,06	5,93	5 599,65
46	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 296,03	10,50	5 048,41	5,89	26.9.2009	21,5	5,86	4 014,06	5,86	5 720,16
47	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 295,46	10,50	5 076,51	5,89	18.8.2010	21,8	5,98	4 419,41	5,98	6 293,67
48	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 300,77	10,50	5 035,88	5,91	19.11.2013	20,1	5,94	4 547,89	5,94	5 528,41
49	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 292,69	10,50	4 988,85	5,88	28.4.2011	20,7	5,87	4 017,79	5,87	5 511,18
50	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 298,91	10,50	5 080,76	5,90	24.10.2014	17,5	5,88	4 040,79	5,88	5 209,03
51	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 302,80	10,50	5 062,28	5,92	16.2.2011	17,6	6,10	5 340,30	6,10	6 937,05
52	1992	ATOV354/22	400	22 000	1 282,35	10,50	4 994,16	5,83	28.8.2007	21,0	5,81	4 032,73	5,81	4 852,80
53	1993	kTO 354/22	400	22 000	1 281,98	10,50	5 044,35	5,82	27.4.2011	19,3	5,89	4 685,23	5,89	5 742,82
54	1993	aTO 374/22	630	10 000	614,93	36,37	7 622,72	6,15	4.3.2005	13,2	6,15	6 303,95	6,15	7 966,51
55	1993	ATOV 374/22	630	22 000	1 310,57	16,53	7 499,86	5,96	16.12.2011	16,5	6,51	8 294,23	6,51	10 787,54

Příloha č. 5 Další údaje z měření ztrát nakrátko po opravě transformátoru

Hodnoty z protokolu o zkoušce					Měření ztrát nakrátko									
č.	Rok výroby	Typ	Výkon [kVA]	Napětí VN [V]	Teplota měření	Koef.T T ₁ [°C]	Koef.T T ₂ [°C]	U _{A-B-C} [V]	I _A [A]	I _B [A]	I _C [A]	P _k [W]	u _{gk} [%]	P _{gk} [W]
1	1991	KTO 270/22	63	22 000	21,9	235	225	295,24	0,6065	0,6044	0,6035	111,5	3,66	829,89
2	1991	KTO 270/22	63	22 000	15,0	235	225	286,00	0,5880	0,5750	0,5900	125,5	3,67	1 000,67
3	1990	TO 296/22	100	22 000	22,1	235	235	422,75	1,3333	1,3020	1,3013	281,0	3,84	1 120,23
4	1991	TO 296/22	100	22 000	19,5	235	235	435,65	1,3504	1,3335	1,3327	289,9	3,88	1 110,14
5	1991	TO 296/22	100	22 000	18,0	235	235	444,19	1,4200	1,4056	1,4079	315,1	3,75	1 086,16
6	1991	TO 296/22	100	22 000	19,0	235	235	392,31	1,3077	1,2745	1,2748	258,4	3,63	1 073,10
7	1991	TO 296/22	100	22 000	22,0	235	235	300,00	1,0000	1,0000	1,0000	182,0	3,57	1 249,32
8	1991	TO 296/22	100	22 000	22,9	235	235	398,94	1,3089	1,2703	1,2591	268,5	3,71	1 125,93
9	1991	TO 296/22	100	22 000	21,5	235	235	402,80	1,3288	1,2933	1,2853	279,7	3,68	1 131,78
10	1999	TOHn 298/22	100	22 000	21,8	235	235	430,39	1,3587	1,3464	1,3357	389,8	3,78	1 452,43
11	1991	ATO 334/22	250	22 000	16,7	225	225	495,17	3,7070	3,7150	3,5914	985,6	4,02	3 147,08
12	1991	ATO 334/22	250	22 000	20,6	235	225	372,64	2,6134	2,5436	2,5225	606,3	4,34	3 981,73
13	1991	ATO 334/22	250	22 000	24,0	225	225	447,36	3,3109	3,3540	3,2785	772,9	4,02	3 027,64
14	1991	ATO 334/22	250	22 000	20,6	225	225	449,43	3,3704	3,3322	3,2511	785,4	4,04	3 070,24
15	1991	ATO 334/22	250	22 000	19,9	225	225	444,97	3,3727	3,3746	3,3368	775,9	3,95	2 955,16
16	1991	ATO 334/22	250	22 000	19,4	225	225	440,47	3,3002	3,3812	3,2362	740,8	3,97	2 917,01
17	1991	ATO 334/22	250	22 000	21,0	225	225	444,76	3,3723	3,3298	3,3200	764,8	3,97	2 949,04
18	1991	ATO 334/22	250	22 000	23,0	225	225	338,67	2,5000	2,6000	2,4000	460,0	4,04	3 167,27
19	1991	ATO 334/22	250	22 000	21,4	225	225	444,92	3,3584	3,4141	3,3461	774,3	3,93	2 929,00
20	1990	ATO 354/22	400	10 000	13,1	225	225	296,91	11,8370	11,5870	11,5070	1 176,7	5,89	4 631,38
21	1990	ATO 354/22	400	10 000	20,0	225	225	236,87	9,2550	9,1760	9,1970	657,0	5,94	4 133,64
22	1991	ATO 354/22	400	10 000	17,9	225	225	415,62	16,5720	16,3460	16,1880	2 265,5	5,87	4 511,92
23	1992	ATO 354/22	400	10 000	22,5	225	225	303,41	12,0130	12,0280	11,9240	1 097,0	5,85	4 072,99
24	1993	aTO 354/22	400	10 000	19,8	225	225	230,14	9,2350	9,1310	9,1480	667,5	5,79	4 225,36
25	1998	TOHn 358/10	400	10 000	15,8	235	235	330,26	11,9270	11,8090	11,6710	1 148,2	6,46	4 394,70
26	1998	TOHn 358/10	400	10 000	16,4	235	235	353,90	12,9560	12,7990	12,6550	1 360,3	6,38	4 424,22
27	1999	TOHn 358/10	400	10 000	22,2	235	235	318,47	11,7480	11,6240	11,6200	1 087,5	6,30	4 261,69
28	1999	TOHn 358/10	400	10 000	22,1	235	235	345,68	12,7530	12,5980	12,5760	1 270,0	6,31	4 236,40
29	1999	TOHn 358/10	400	10 000	15,3	235	235	332,32	12,3430	12,1080	12,0740	1 214,1	6,30	4 366,81
30	1999	TOHn 358/10	400	10 000	19,2	235	235	340,77	12,2970	12,1590	12,3230	1 285,8	6,42	4 561,04
31	1999	TOHn 358/10	400	10 000	22,3	235	235	340,21	12,6740	12,4530	12,3810	1 323,5	6,28	4 514,05
32	1999	TOHn 358/10	400	10 000	18,3	235	235	317,89	11,6700	11,6320	11,6410	1 009,0	6,30	3 965,16
33	1999	TOHn 358/10	400	10 000	20,0	235	235	339,23	12,4300	12,3380	12,4390	1 211,5	6,32	4 199,18
34	1990	ATO 354/22	400	22 000	18,5	235	225	650,10	5,3450	5,4430	5,4140	1 548,3	5,75	5 852,47
35	1992	ATO 354/22	400	22 000	18,9	225	225	673,60	5,3640	5,2880	5,0888	1 144,5	6,13	4 583,35
36	1992	ATO 354/22	400	22 000	19,5	225	225	675,57	5,5460	5,4620	5,4550	1 089,3	5,88	3 987,96
37	1992	ATOV354/22	400	22 000	18,7	225	225	661,36	5,3450	5,3010	5,3370	1 029,3	5,92	3 998,03
38	1992	ATOV354/22	400	22 000	16,8	225	225	668,20	5,4070	5,3460	5,3570	1 029,8	5,94	3 937,16
39	1992	ATOV354/22	400	22 000	17,5	225	225	659,30	5,3480	5,3620	5,3570	1 028,9	5,88	3 954,80
40	1992	ATOV354/22	400	22 000	18,0	225	225	680,90	5,5350	5,5650	5,5320	1 112,2	5,86	3 989,47
41	1992	ATOV354/22	400	22 000	20,0	225	225	664,63	5,3550	5,3790	5,3640	1 053,5	5,91	4 033,78
42	1992	ATOV354/22	400	22 000	20,1	235	225	529,03	4,2235	4,1364	4,0920	935,2	6,08	5 984,87
43	1992	ATOV354/22	400	22 000	19,0	225	225	672,87	5,5300	5,5240	5,5240	1 122,9	5,81	4 054,13
44	1992	ATOV354/22	400	22 000	19,0	225	225	693,00	5,5710	5,6510	5,6320	1 157,2	5,89	4 042,25
45	1992	ATOV354/22	400	22 000	14,1	225	225	734,70	6,0500	5,9100	5,7820	1 462,8	5,93	4 611,06
46	1992	ATOV354/22	400	22 000	21,5	225	225	677,93	5,5560	5,4780	5,5540	1 111,8	5,86	4 014,06
47	1992	ATOV354/22	400	22 000	21,8	225	225	651,23	5,2670	5,1880	5,1291	1 081,7	5,98	4 419,41
48	1992	ATOV354/22	400	22 000	20,1	225	225	689,03	5,6200	5,5090	5,4690	1 262,7	5,94	4 547,89
49	1992	ATOV354/22	400	22 000	20,7	225	225	648,03	5,2980	5,2680	5,2470	1 012,5	5,87	4 017,79
50	1992	ATOV354/22	400	22 000	17,5	225	225	708,57	5,7160	5,7640	5,7730	1 212,2	5,88	4 040,79
51	1992	ATOV354/22	400	22 000	17,6	225	225	705,13	5,5070	5,5010	5,5350	1 472,9	6,10	5 340,30
52	1992	ATOV354/22	400	22 000	21,0	225	225	637,63	5,2240	5,2410	5,2570	1 004,6	5,81	4 032,73
53	1993	kTO 354/22	400	22 000	19,3	225	225	664,80	5,4710	5,3780	5,3170	1 234,0	5,89	4 685,23
54	1993	aTO 374/22	630	10 000	13,2	225	225	235,40	14,0730	13,8010	13,9220	923,5	6,15	6 303,95
55	1993	ATOV 374/22	630	22 000	16,5	225	225	669,10	8,6320	8,6400	8,6760	1 813,0	6,51	8 294,23

Příloha č. 6 Porovnání ztrát naprázdno z protokolu od nového transformátoru s hodnotami z následného měření po opravě transformátoru

Hodnoty z protokolu o zkoušce					Ztráty naprázdno							Měření ztrát a proudu naprázdno					
č.	Rok výroby	Typ	Výkon [kVA]	Napětí VN [V]	Proud naprázdno [A]	%	U [V]	I _a [A]	I _b [A]	I _c [A]	P ₀ [W]	Zkoušeno dne	I _a [A]	I _b [A]	I _c [A]	I ₀ [%]	P ₀ [W]
1	1991	KTO 270/22	63	22 000	0,518	0,570	400	0,640	0,456	0,460	228,7	18.5.2005	0,810	0,516	0,606	0,708	229,1
2	1991	KTO 270/22	63	22 000	0,481	0,529	400	0,562	0,421	0,461	220,9	20.4.2009	0,580	0,440	0,490	0,554	244,0
3	1990	TO 296/22	100	22 000	0,559	0,387	400	0,653	0,513	0,513	263,1	28.8.2009	0,725	0,506	0,546	0,410	297,9
4	1991	TO 296/22	100	22 000	0,680	0,471	400	0,782	0,652	0,605	287,9	16.8.2013	0,834	0,628	0,640	0,487	286,0
5	1991	TO 296/22	100	22 000	0,638	0,442	400	0,730	0,608	0,575	286,4	17.3.2015	0,872	0,647	0,679	0,507	294,9
6	1991	TO 296/22	100	22 000	0,566	0,392	400	0,654	0,525	0,519	276,2	22.10.2007	0,737	0,510	0,605	0,428	285,4
7	1991	TO 296/22	100	22 000	0,591	0,409	400	0,698	0,550	0,525	283,7	16.10.2005	0,759	0,557	0,588	0,441	281,6
8	1991	TO 296/22	100	22 000	0,598	0,414	400	0,697	0,565	0,532	282,5	5.6.2008	0,773	0,574	0,555	0,439	273,8
9	1991	TO 296/22	100	22 000	0,601	0,416	400	0,691	0,571	0,540	282,8	17.8.2007	0,755	0,576	0,579	0,441	274,2
10	1999	TOHn 298/22	100	22 000	0,468	0,324	400	0,543	0,442	0,419	207,0	12.11.2013	0,635	0,467	0,521	0,376	202,0
11	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,429	0,396	400	1,650	1,325	1,313	613,4	30.9.2013	1,751	1,323	1,399	0,413	584,9
12	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,491	0,413	400	1,729	1,363	1,381	607,0	16.8.2005	2,706	2,248	1,974	0,640	630,4
13	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,565	0,434	400	1,798	1,438	1,460	613,0	23.5.2012	1,828	1,414	1,462	0,434	592,1
14	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,375	0,381	400	1,614	1,236	1,275	586,0	19.10.2010	1,586	1,181	1,244	0,370	563,4
15	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,387	0,384	400	1,613	1,245	1,303	591,2	27.3.2012	1,644	1,212	1,295	0,383	562,6
16	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,450	0,402	400	1,678	1,360	1,313	612,6	14.11.2007	1,773	1,363	1,392	0,418	585,1
17	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,479	0,410	400	1,710	1,353	1,374	609,2	30.8.2011	1,831	1,384	1,457	0,431	588,7
18	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,509	0,418	400	1,748	1,341	1,439	613,7	19.10.2005	1,833	1,359	1,446	0,428	587,0
19	1991	ATO 334/22	250	22 000	1,314	0,364	400	1,494	1,198	1,250	569,1	26.9.2009	1,525	1,155	1,275	0,365	558,4
20	1990	ATO 354/22	400	10 000	5,765	0,999	400	6,365	4,660	6,270	921,2	21.1.2016	6,517	4,741	6,381	1,019	897,2
21	1990	ATO 354/22	400	10 000	5,925	1,026	400	6,425	5,150	6,200	927,2	10.3.2006	6,581	5,159	6,315	1,043	819,0
22	1991	ATO 354/22	400	10 000	2,002	0,347	400	2,203	1,653	2,150	760,7	25.11.2013	2,272	1,671	2,203	0,355	750,1
23	1992	ATO 354/22	400	10 000	1,843	0,319	400	1,995	1,538	1,998	765,2	11.9.2012	2,049	1,541	1,997	0,323	762,1
24	1993	ATO 354/22	400	10 000	1,778	0,308	400	1,970	1,509	1,856	755,9	30.3.2005	2,013	1,459	1,849	0,307	748,2
25	1998	TOHn 358/10	400	10 000	2,673	0,463	400	2,925	2,225	2,870	593,0	29.3.2016	3,397	2,480	3,331	0,532	598,4
26	1998	TOHn 358/10	400	10 000	2,051	0,355	400	2,279	1,670	2,205	587,0	10.12.2014	2,451	1,812	2,460	0,402	589,7
27	1999	TOHn 358/10	400	10 000	2,320	0,402	400	2,531	1,961	2,466	594,9	11.3.2011	2,617	1,950	2,550	0,411	584,6
28	1999	TOHn 358/10	400	10 000	2,272	0,394	400	2,487	1,940	2,390	589,2	7.2.2011	2,629	1,987	2,539	0,413	578,2
29	1999	TOHn 358/10	400	10 000	2,260	0,391	400	2,525	1,879	2,375	594,1	14.3.2016	2,725	1,937	2,516	0,415	590,4
30	1999	TOHn 358/10	400	10 000	2,409	0,417	400	2,643	2,042	2,542	600,5	10.12.2014	2,773	2,063	2,641	0,432	591,7
31	1999	TOHn 358/10	400	10 000	2,050	0,355	400	2,255	1,720	2,175	512,0	26.11.2014	2,371	1,735	2,258	0,367	507,9
32	1999	TOHn 358/10	400	10 000	1,932	0,335	400	2,119	1,600	2,076	547,6	26.9.2008	2,174	1,593	2,129	0,340	537,1
33	1999	TOHn 358/10	400	10 000	1,962	0,340	400	2,147	1,653	2,088	547,2	13.11.2007	2,165	1,640	2,103	0,341	532,4
34	1990	ATO 354/22	400	22 000	5,388	0,933	400	5,805	4,500	5,860	915,2	15.12.2009	5,963	4,608	6,066	0,961	877,3
35	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,751	0,303	400	1,925	1,465	1,863	776,1	5.4.2011	1,939	1,421	1,847	0,301	750,4
36	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,690	0,293	400	1,873	1,356	1,840	754,4	1.3.2011	1,896	1,314	1,849	0,292	747,1
37	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,703	0,295	400	1,854	1,383	1,873	764,5	21.10.2009	1,935	1,383	1,917	0,302	765,4
38	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,710	0,296	400	1,885	1,388	1,859	761,1	10.12.2010	2,005	1,427	1,955	0,311	776,7
39	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,814	0,314	400	1,993	1,471	1,978	782,5	23.2.2010	2,093	1,489	2,057	0,326	783,8
40	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,898	0,329	400	2,076	1,569	2,050	789,2	21.1.2013	2,127	1,527	2,058	0,330	882,1
41	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,780	0,308	400	1,949	1,473	1,919	770,5	19.11.2009	1,958	1,444	1,901	0,306	762,7
42	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,747	0,303	400	1,905	1,430	1,905	777,2	20.5.2005	6,467	5,952	6,404	1,087	925,7
43	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,647	0,285	400	1,804	1,348	1,790	762,6	2.5.2011	1,848	1,315	1,821	0,288	759,1
44	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,670	0,289	400	1,809	1,363	1,838	760,7	13.2.2014	1,847	1,320	1,822	0,288	757,4
45	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,711	0,296	400	1,893	1,375	1,865	781,4	23.1.2015	2,015	1,388	1,953	0,309	784,6
46	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,744	0,302	400	1,925	1,425	1,883	784,7	26.9.2009	2,039	1,445	1,951	0,314	791,8
47	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,792	0,310	400	1,941	1,488	1,949	791,9	18.8.2010	2,094	1,484	2,001	0,322	795,7
48	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,826	0,316	400	2,040	1,450	1,989	790,0	19.11.2013	2,025	1,397	1,954	0,311	781,6
49	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,755	0,304	400	1,933	1,403	1,929	785,1	28.4.2011	1,988	1,364	1,946	0,306	775,8
50	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,623	0,281	400	1,800	1,313	1,758	771,2	24.10.2014	1,893	1,325	1,804	0,290	771,5
51	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,693	0,293	400	1,840	1,390	1,850	779,1	16.2.2011	3,554	2,529	3,261	0,540	864,1
52	1992	ATO 354/22	400	22 000	1,658	0,287	400	1,840	1,350	1,785	768,6	28.8.2007	1,895	1,334	1,792	0,290	761,8
53	1993	KTO 354/22	400	22 000	1,744	0,302	400	1,934	1,400	1,897	767,1	27.4.2011	1,977	1,364	1,909	0,303	757,8
54	1993	ATO 374/22	630	10 000	2,265	0,249	400	2,495	1,875	2,425	1 010,5	4.3.2005	2,603	1,877	2,466	0,254	1 015,7
55	1993	ATO 374/22	630	22 000	2,083	0,229	400	2,280	1,700	2,270	998,5	16.12.2011	2,292	1,648	2,242	0,226	989,0

Příloha č. 7 Zkouška průrazného napětí oleje u opraveného transformátoru

Hodnoty z protokolu o zkoušce								Zkouška oleje				
č.	Rok výroby	Typ	Výkon [kVA]	Napětí VN [V]	Proud VN [A]	Proud NN [A]	Zkoušeno dne	Při teplotě [°C]	Průměrné průrazné napětí [kV]	Směrod. odchylka [kV]	Variační koeficient [%]	mezipovrchové napětí [mN/m ²]
1	1991	KTO 270/22	63	22 000	1,65	90,93	18.5.2005	21	82,30	4,5638	5,5453	
2	1991	KTO 270/22	63	22 000	1,65	90,93	20.4.2009		60,30	2,4000	4,0000	50
3	1990	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	28.8.2009	25	84,30	8,5851	10,1840	50
4	1991	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	16.8.2013	24	74,95	7,8635	10,4917	55
5	1991	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	17.3.2015	18	76,93	9,1235	11,8590	57
6	1991	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	22.10.2007	23	98,82	2,8986	2,9333	50
7	1991	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	16.10.2005	30	91,27	5,4592	5,9816	
8	1991	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	5.6.2008	20	88,47	3,0494	3,4469	54
9	1991	TO 296/22	100	22 000	2,62	144,34	17.8.2007	25	81,32	6,9075	8,4946	52
10	1999	TOHn 298/22	100	22 000	2,60	144,00	12.11.2013	22	67,27	7,3691	10,9952	
11	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	30.9.2013	21	71,40	12,3081	17,2382	54
12	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	16.8.2005	27	95,45	2,9932	3,1358	
13	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	23.5.2012	21	92,12	8,0681	8,7585	55
14	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	19.10.2010	22	84,83	10,7999	12,7308	52
15	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	27.3.2012	20	89,90	6,6600	7,4083	55
16	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	14.11.2007	23	98,82	2,8986	2,9333	50
17	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	30.8.2011	25	92,22	7,4017	8,0265	50
18	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	19.10.2005	24	97,10	4,8539	4,9988	
19	1991	ATO 334/22	250	22 000	6,56	360,84	26.9.2009	25	82,73	12,1418	14,6758	52
20	1990	ATO 354/22	400	10 000	23,09	577,35	21.1.2016	22	86,25	10,5701	12,2552	55
21	1990	ATO 354/22	400	10 000	23,09	577,35	10.3.2006	16	85,88	10,6477	12,3979	
22	1991	ATO 354/22	400	10 000	23,09	577,35	25.11.2013	22	67,27	7,3961	10,9952	52
23	1992	ATO 354/22	400	10 000	23,09	577,35	11.9.2012	23	77,58	7,7445	9,9822	52
24	1993	aTO 354/22	400	10 000	23,10	577,00	30.3.2005	22	83,65	11,8025	14,1094	
25	1998	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	29.3.2016	17	75,20	8,4695	11,2626	50
26	1998	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	10.12.2014	20	75,27	12,5379	16,6580	55
27	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	11.3.2011	20	67,22	8,6730	12,9031	50
28	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	7.2.2011	20	90,45	6,2545	6,9149	55
29	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	14.3.2016	17	75,20	8,4695	11,2626	50
30	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	10.12.2014	20	75,27	12,5379	16,6580	55
31	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	26.11.2014	20	75,27	12,5379	16,6580	55
32	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	26.9.2008	25	89,18	8,7103	9,7668	53
33	1999	TOHn 358/10	400	10 000	23,09	577,40	13.11.2007	23	98,82	2,8986	2,9333	50
34	1990	ATO 354/22	400	22 000	10,50	577,35	15.12.2009	25	81,53	13,0552	16,0121	55
35	1992	ATO 354/22	400	22 000	10,50	577,35	5.4.2011	20	84,38	6,8753	8,1477	50
36	1992	ATO 354/22	400	22 000	10,50	577,35	1.3.2011	20	90,45	6,2545	6,9149	55
37	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	21.10.2009	25	83,62	9,7274	11,6333	53
38	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	10.12.2010	21	85,30	10,3147	12,0922	50
39	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	23.2.2010	20	89,00	8,0187	9,0098	52
40	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	21.1.2013	24	77,65	6,4936	8,3627	53
41	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	19.11.2009	25	83,62	9,7274	11,6333	53
42	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	20.5.2005	21	82,30	4,5638	5,5453	
43	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	2.5.2011	22	81,53	9,1178	11,1829	50
44	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	13.2.2014	20	91,23	6,6788	7,3206	53
45	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	23.1.2015	18	76,93	9,1235	11,8590	57
46	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	26.9.2009	25	84,30	8,5851	10,1840	50
47	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	18.8.2010	27	82,07	10,1825	12,4076	50
48	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	19.11.2013	22	67,27	7,3961	10,9952	
49	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	28.4.2011	22	81,53	9,1178	11,1829	50
50	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	24.10.2014	21	87,22	10,5486	12,0947	55
51	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	16.2.2011	20	90,45	6,2545	6,9149	55
52	1992	ATOV354/22	400	22 000	10,50	577,35	28.8.2007	25	81,32	6,9075	8,4946	52
53	1993	kTO 354/22	400	22 000	10,50	577,00	27.4.2011	22	81,53	9,1178	11,1829	50
54	1993	aTO 374/22	630	10 000	36,40	910,00	4.3.2005		66,40	3,8000	5,7000	50
55	1993	ATOV 374/22	630	22 000	16,50	910,00	16.12.2011	21	92,75	8,3402	8,9921	50

Příloha č. 8 Protokol o zkoušce transformátoru z roku 1990

závody silnoproudé elektrotechniky, koncern Praha

**BEZ BRATISLAVA**

KONCERNOVÝ PODNIK

NOSITEĽ RADU PRÁCE

BRATISLAVA

832 41 BRATISLAVA, Rybníčná ulica 40

301683

113

PROTOKOL O SKÚŠKE TRANSFORMÁTORA

TO 296/22		00192589			
Typ	: 100	Číslo protokolu	: 1421=4280		
Výkon	: 301683 kVA	Pracovné číslo:	: 3		
Číslo stroja	:	Počet fáz:	:		
NAPÄTIE		PRÚD			
VN	: 22000+2*2,5% V	VN	: 2,62 A		
NN	: 400/231 V	NN	: 144,34 A		
Zapojenie	: YZN1	Frekvencia	: 50 Hz		
Chladienie	: ONAN	Zaťaženie	: 31 N		
Izolácia	: A	Prevedenie	: 925		
Rok výroby	: 1990	Hmotnosť	: kg		
CSN 35-1100					
DRUH SKÚŠKY: Kusová podľa normy					
17,0					
1. IZOLAČNÉ ODPORY PRI		2. OHMICKÉ ODPORY VINUTIA PRI 20° C			
VN/Fe: 4 VN/NN: 7 NN/Fe: 3		VN: 58,78 Ω NN: 0,01653 Ω			
3. SKÚŠKA PRILOŽENÝM NAPÄTÍM V KV/mín.		4. SKÚŠKA INDUKOVANÝM NAPÄTÍM, ČAS SEC.			
VN-NN/Fe 50/1 NN-Fe 3/1		INDUKOVANÉ NA VN: 44000 V. 200 Hz			
5. KONTROLA ZAPOJENIA A PREVOD NAPRÁZDNO MERANÝ MOSTÍKOM W NŮ-100 SÚHLASÍ.					
Poloha prepínača	1.	2.	3.	4.	5.
Napätie	VN 20900 V	21450 V	22000 V	22550 V	23100 V
6. STRATY NAPRÁZDNO A PRÚD NAPRÁZDNO PRI 50 Hz. PRÚD NAPRÁZDNO:				0,559 A	0,387 %
U [V]	I _a [A]	I _b [A]	I _c [A]	P ₀ [W]	
400	0,653	0,513	0,513	263,1	
7. STRATY NAKRÁTKO A NAPÄTIE PRI 50 Hz					
20	U _k [V]	I _k [A]	P _k [W]	U _k [%]	
75	845,27	2,62	1167,61	3,84	
TEPLOTA °C	862,35	2,62	1402,15	3,92	
8. ÚČINNOSŤ TRANSFORMÁTORA					
ZAŤAŽENIE	50 %	75 %	100 %	125 %	
cos φ = 1	98,773	98,598	98,335	98,037	
cos φ = 0,8	98,466	98,247	97,918	97,546	
9. ÚBYTOK NAPÄTIA PRI PN = 100 %:					
cos φ = 1 Δ u = 1,47			cos φ = 0,8 Δ u = 3,39		
Výsledok: PLOMBOVANIE VYKONANÉ DNA TRANSFORMÁTOR PLNENÝ OLEJOM INH ITO 10					
Dátum:	2,1,1991		Bretisla... 5... ov 2 funkcia kontrola Transformátory		



Příloha č. 9 Protokol o zkoušce transformátoru z roku 1999

352


PROTOKOL O SKŮŠKE TRANSFORMÁTORA
TRANSFORMER TEST PROTOCOL

Typ Type	TOHn 358/10		Číslo protokolu Protokol No.	208832	
Číslo stroja Ser. No.	315729		Výrobný príkaz Working No.	1421-04136	
Napätie Voltage	VN HV	10000+-2x2.5%	Prúd Current	VN HV	23.09
	NN LV	400/231		NN LV	577.4
Výkon Power	400	kVA	Zaťaženie Load	S1	Frekvencia Frequency
Počet fáz Phase	3		Chladienie Cooling	ONAN	Vyhodenie Execution
Zapojenie Connection	Dyn1		Trieda izolácie Class insulation	A	Hmotnosť Mass
Druh skúšky: KUSOVÁ PODLA NORMY Test: ROUTINE ACCORDING TO STANDARD				STN 35 1100	Rok výroby Year of production
1. IZOLAČNÉ ODPORY PRI : INSULATION RESISTANCE:		20 °C [GΩ]	VN/Fe HV/EARTH	6	VN/NN HV/LV
2. OHMICKÉ ODPORY VINUTIA PRI: WINDING RESISTANCE AT		20 °C [Ω]	VN HV	2.3701883925	NN LV
3. SKŮŠKA PRILOŽENÝM NAPÄTÍM SEPARATE SOURCE VOLTAGE WITHSTAND TEST:		[kV/min]	VN-NN/Fe HV-LV/EARTH	28 /1	NN- Fe LV- EARTH
4. SKŮŠKA INDUKOVANÝM NAPÄTÍM, INDUKOVANÉ NA VN: INDUCED OVERVOLTAGE WITHSTAND TEST, ON HV IND.:				20000	V. 200 Hz. 30 s
5. SPOJENIE, FÁZOVÝ POSUN A PREVOD NAPÄTIA NAPRÁZDNO SÚHLASÍ. CHECK OF VOLTAGE VECTOR RELATIONSHIP AND VOLTAGE RATIO SUITABLE.					
Poloha prepájača Position of tapchanger		1.	2.	3.	4.
Napätie VN Voltage HV		[V]	9500	9750	10000
6. STRATY NAPRÁZDNO A PRŮD NAPRÁZDNO PRI 50 Hz. PRŮD NAPRÁZDNO: NO-LOAD LOSSES AND NO-LOAD CURRENT AT 50 Hz. NO-LOAD CURRENT:				2.272	A. 0.394 %
U [V]	I _a [A]	I _b [A]	I _c [A]	P ₀ [W]	
400.00	2.487	1.940	2.390	589.2	
7. STRATY NAKRÁTKO A NAPÄTIE NAKRÁTKO PRI 50 Hz. LOAD LOSSES AND IMPEDANCE VOLTAGE AT 50 Hz.					
Teplota Temperature	[°C]	U ₀ [V]	I ₀ [A]	P ₀ [W]	u ₀ [%]
20		621.72	23.09	4038.27	6.22
75		625.62	23.09	4774.31	6.26
120					
8. ÚČINNOSŤ TRANSFORMÁTORA TRANSFORMER EFFICIENCY					
Zaťaženie Load	50 %	75 %	100 %	125 %	
cos φ = 1	99.109	98.908	98.659	98.390	
cos φ = 0,8	98.886	98.635	98.324	97.988	
9. ÚBYTOK NAPÄTIA PRI PN = 100 %: VOLTAGE DROP AT 100 % LOAD :		cos φ = 1 Δu =	1.38	%; cos φ = 0,8 Δu =	4.73
10. PRIERAZNÉ NAPÄTIE OLEJA : BREAKDOWN VOLTAGE OF OIL:		ITO 100 min. 70 kV			
VÝSLEDKY SKŮŠKY: TEST RESULTS :		VYHOVEL		SCHVÁLIL : TESTED BY:	
DÁTUM: DATE :		8.2.1999		BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s. Výstupná kontrola Rybničná 40 835 54 Bratislava	

Příloha č. 10 Protokol o kusové zkoušce transformátoru z dílny Sobědruhy

		GA Energo technik			
Provozovna Teplice - Sobědruhy, Důlní 97			Tel / fax 417 562 914		List 1. ze 2
Člen Asociace zkušeben vysokého napětí - zkušebna E - 55					
Kusová zkouška transformátoru, protokol č.:				1	2016 T
Zákazník:	ČEZ DS	12856	Č.zakázky	2481	
Údaje štítku stroje:					
Transformátor:		3 ~	Typ:	aTO 354/22	Výr. číslo: 300036
Spojení:	Dyn1	Zatížení: S1	50 Hz	Tř.izol.: A	Výrobce: BEZ
Krytí:		Chlazení: ONAN	Vinutí:		Inhibovaný olej kg: 435
1 kVA:	400	V: 10000	A: 23,1		Celk. kg: 1895
				u _k 1 / 2 %: 5,85	Rok výr.: 1990
2 kVA:	400	V: 400	A: 577		ČSN:
Regulace:	± 2 x 2,5 %				
Zkušební napětí v kV:	28/3	Druh prostředí:			
Použité přístroje:					
1. Zkoušečka oleje Dieltest, typ DTA 100 E, v.č. 99 29 04 004, fa Baur, kalibrace v 1/2012					
2. Měřič povrchového napětí MPN - 3, e.č. 0305, fa Orgrez Praha, r.v. 2005					
3. Měřič izolačního odporu, typ TeraOhm5kV, v.č. 12061500, fa Metrel, kalibrace v 10/2012					
4. 4-kanálový wattmetr, typ LMG 450, v.č. 01930301, fa ZES ZIMMER, kalibrace v 10/2012					
5. Hallova proudová sonda, typ L45-Z28-Hall200, v.č. 0051, fa ZES ZIMMER, kalibrace v 10/2012					
6. Hallova proudová sonda, typ L45-Z28-Hall200, v.č. 0052, fa ZES ZIMMER, kalibrace v 10/2012					
7. Hallova proudová sonda, typ L45-Z28-Hall200, v.č. 0053, fa ZES ZIMMER, kalibrace v 10/2012					
8. Hallova proudová sonda, typ L45-Z28-Hall200, v.č. 0050, fy ZES ZIMMER, kalibrace v 9/2012					
9. Převodník napětí, typ MTU 115, v.č. 145 848 001, fa Metra Blansko, kalibrace v 10/2012					
10. Převodník napětí, typ MTU 115, v.č. 145 848 002, fa Metra Blansko, kalibrace v 10/2012					
11. Převodník napětí, typ MTU 115, v.č. 145 848 003, fa Metra Blansko, kalibrace v 10/2012					
12. Převodník napětí, typ MTU 115, v.č. 145 848 004, fa Metra Blansko, kalibrace v 10/2012					
13. Převodník teploty typ 5201 L50, v.č. 10023498, fy JSP, kalibrace v 10/2006					
14. Vstupní čidlo termočlánek, typ K, v.č. -, fy JSP, kalibrace v 10/2006					
15. Měřicí transformátor napětí, typ ET 123, v.č. 89/762651, fa VEB TRO, kalibrace v 6/2002					
16. Zkušební zdroj 0 - 4 kV, typ QA 071, v.č. 7023368, fa ČSPLO n.p. Děčín, kalibrace v 10/2012					
Pro jednotlivé zkoušky a měření jsou přístroje použity takto:					
Zkouška průrazného napětí oleje: 1.					
Měření mezipovrchového napětí oleje: 2.					
Měření izolačního stavu stroje: - měření izolačního odporu vinutí: 3., 4., 13., 14.					
Měření činných odporů: 4., 8., 13., 14.					
Zkouška elektrické odolnosti: - zkouška přiloženým napětím: 4., 12., 16., 15.					
- zkouška indukovaným napětím 100 Hz: 4., 5., 6., 7.					
Měření ztrát a proudu naprázdno: 4., 5., 6., 7.					
Měření převodu napětí naprázdno: 4., 9., 10., 11.					
Kontrola natočení fází: 4., 9., 10., 11., 12.					
Měření ztrát a napětí nakrátko: 4., 5., 6., 7., 13., 14.					
Z h o d n o c e n í :					
Zkoušeno dne: 21.01.16		Zkoušel: Kothera			
Transformátor vyhověl normě.					
Transformátor je schopen bezpečného a spolehlivého provozu.					
Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu zkušebny reprodukován jinak, než jako celek.					
Výsledky měření a zkošek se týkají pouze stroje, jehož štítkové údaje jsou výše uvedeny.					
Protokol nenahrazuje žádné jiné dokumenty např. státního odborného dozoru nebo správního charakteru.					
Razítka - podpis:					

Kusová zkouška transformátoru, protokol										
		č.:		1		2016 T		List 2. ze 2		
Výr. číslo:	300036	Plněno inhibovaným transformátorovým olejem ITO 100 (viz. přílohy).								
Výpis protokolu č.:	1	2006		O						
Zkouška průrazného napětí oleje dle ČSN EN 60156 a ZM - 04						Při teplotě oleje ve °C:				
Jednotlivé průrazy v pořadí 1. - 6. v kV:		89,8	69,3	80,2	100	86,2	92			
Průměrné průrazné napětí v kV:		86,25	Směrodat. odchyl. (kV):		10,5701	Variační koeficient (%):		12,25519		
Měření mezivrchového napětí oleje kapkovou metodou dle ZM - 16										
Mezivrchové napětí v mN / m:		55								
Posouzení izolačního stavu stroje dle ČSN EN 60076-1+A11, A12 a ZM 11										
ZM-11-2003-05-28 (izolační odpor vinutí)				Teplota stroje °C:		13,7	Referenční teplota °C:			20
Měřeno	C ₅₀ (pF)	C _{2-C50} (pF)	C _{2/C50} θ(1)	R ₁₅ θ(MΩ)	R ₆₀ (MΩ)	C _{2/C50} θ(1)	R _{60/R15} θ(1)	R ₆₀ θ(MΩ)		
1 / 2+k	0	0	#####	15000	23900	#####	1,593333	18595,22		
2 / 1+k	0	0	#####	8570	18800	#####	2,193699	14627,2		
1+2 / k	0	0	#####	18500	25500	#####	1,378378	19840,09		
Měření činných odporů vinutí za studena stejnosměrným proudem dle ČSN EN 60076-1+A11, A12, ČSN 35 1086										
	Vin.-odb.	A-B (Ω)	A-C (Ω)	B-C (Ω)	Vin.-odb.	A-B (Ω)	A-C (Ω)	B-C (Ω)		
Teplota vinutí	1 - 1	2,888073	2,859937	2,869558						
1 (°C):	1 - 2	2,941637	2,924746	2,928848						
	1 - 3	3,015169	2,998717	3,012907	2 - o	0,004358	0,004495	0,004572		
2 (°C):	1 - 4	3,091569	3,078344	3,079231						
	1 - 5	3,196814	3,192146	3,172459						
Zkouška elektrické odolnosti dle ČSN EN 60076-3 a ČSN 33 3201										
				Při:		80 % předeps. zkušební napětí po dobu 60 s.				
Přiložené nap. 50 Hz:	1 (kV):	22,4			2 (kV):	2,4				
Induk.nap. 100 Hz do vin. 2 (kV):	0,64	I _A (A):		2,3508	I _B (A):	1,5838	I _C (A):		2,2314	
Měření ztrát a proudu naprázdno dle ČSN EN 60076-1+A11, A12 a ČSN 35 1086										
	U _{A-B-C} (V)	I _A (A)	I _B (A)	I _C (A)		I ₀ (%)	P ₀ (W)	897,2		
Napáj. do vin. 2 (V):	400,01	6,517	4,7413	6,381		1,019024	P ₀ (W):	897,2		
Napáj. do vin. 2 (V):	0	0	0	0		0	P ₀ (W):	0		
Měření převodu napětí naprázdno dle ČSN EN 60076-1+A11, A12 a ČSN 35 1086										
	Vin.-odb.	A-B (V)	A-C (V)	B-C (V)	Vin.-odb.	A-B (V)	A-C (V)	B-C (V)		
	1 - 1	9560,875	9555,015	9550,754						
	1 - 2	9818,327	9817,128	9812,329						
	1 - 3	10020,99	10013	10014,86	2 - o	400	400	400		
	1 - 4	10320,76	10321,96	10310,77						
	1 - 5	10586,78	10596,5	10582,25						
Kontrola natočení fází dle ČSN EN 60076-1+A11, A12 a ČSN 35 1086										
		Spojení: Dyn1		A-B-C napájeno (V):		100	A-a spojeno.			
a-b (V):	0	B-b (V):	98	B-c (V):	100	C-c (V):	98	C-b (V):		98
Měření ztrát a napětí nakrátko dle ČSN EN 60076-1+A11, A12 a ČSN 35 1086										
				Teplota měření θ:		13,1 °C,	a referenční θ:			75 °C.
Koeficient T pro jednotlivá vinutí => T ₁ (°C):		225		T ₂ (°C):		225				
Přip.-zkr.	U _{A-B-C} (V)	I _A (A)	I _B (A)	I _C (A)	P _k (W)	u _{gk} (%)	P _{gk} (W)	u _{ek} (%)	P _{ek} (W)	
1 - 2	296,9067	11,837	11,587	11,507	1176,7	5,890364	4631,378	5,891033	5790,678	
Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu zkušební reprodukován jinak, než jako celek.										
Výsledky měření a zkoušek se týkají pouze stroje, jehož štitkové údaje jsou výše uvedeny.										
Protokol nenahrazuje žádné jiné dokumenty např. státního odborného dozoru nebo správního charakteru.										

Záznam měřených hodnot kusové zkoušky											
Zapsal, dne:		Kothena	21.01.16	Č. zakázky:	2481	Výr. číslo:	300036	1 2016 T		List 1. z 1	
Posouzení izolačního stavu stroje:				Teplota stroje ve °C:							
	Měřeno	C ₅₀		C ₂ - C ₅₀		R ₁₅		R ₆₀			
		Řád	F	Řád	F	Řád	Ω	Řád	Ω		
	1 / 2+k										
	2 / 1+k										
	1+2 / k										
Měření činných odporů vinutí:				Teplota vinutí 1, 2, ve °C:						18,8	18,7
				A - B		A - C		B - C			
			Vin.-odb.	α _V	α _A	α _V	α _A	α _V	α _A		
C _{1V} =	1		1 - 1	13,299	4,6048	13,158	4,6008	13,208	4,6028		
C _{1A} =	1		1 - 2	13,533	4,6005	13,455	4,6004	13,485	4,6042		
			1 - 3	13,874	4,6014	13,795	4,6003	13,866	4,6022		
			1 - 4	14,224	4,6009	14,161	4,6002	14,166	4,6005		
C _{2V} =	1		1 - 5	14,729	4,6074	14,696	4,6038	14,606	4,604		
C _{2A} =	1		2 - o	0,4827	110,77	0,4963	110,42	0,5033	110,08		
Zkouška elektrické odolnosti:				Při: 80 % předeps. zkušební napětí po dobu 60 s.							
Přiložené nap. 50 Hz: 1 (kV):				22,4	2 (kV):		2,4				
Induk.nap. 100 Hz do vin. 2 (kV):				0,64	I _A (A):	2,3508	I _B (A):	1,5838	I _C (A):	2,2314	
Měření ztrát a proudu naprázdno:				Proudy						Ztráty	
C _A =	1	Napětí (V)		α _A	α _B	α _C	A _{A-B-C}	α _A	α _B	α _C	
C _W =	1	400,01		6,517	4,7413	6,381	5,879767	116,7	219,3	561,2	
C _A =	1						0				
C _W =	1										
Měření převodu napětí naprázdno:											
		1 - U _{AB}	1 - U _{AC}	1 - U _{BC}	2 - U _{ab}	2 - U _{ac}	2 - U _{bc}				
1 - 1		717,95	717,51	717,19	30,037	30,037	30,037				
1 - 2		736,62	736,53	736,17	30,01	30,01	30,01				
1 - 3		751,8	751,2	751,34	30,009	30,009	30,009				
1 - 4		774,47	774,56	773,72	30,016	30,016	30,016				
1 - 5		795,12	795,85	794,78	30,042	30,042	30,042				
		C _{1V}	C _{2V}								
		1	1								
Kontrola natočení fází:											
Spojení:		Dyn1		A-B napájeno (V):		100		A-a spojeno.			
a-b (V):		B-b (V):	98	B-c (V):	100	C-c (V):	98	C-b (V):	98		
Měření ztrát a napětí nakrátko:				T _{AI} = 225 °C						T _{Cu} = 235 °C	
Teplota měření 9:				13,1 °C,		a referenční θ:				75 °C.	
Koeficient T pro jednotlivá vinutí => T ₁ (°C):				225		T ₂ (°C):				225	
Vinutí		Napětí		Proudy			Ztráty				
Přip. - zkr.		α _{A-B}	α _{A-C}	α _{B-C}	α _A	α _B	α _C	α ₁	α ₂	α ₃	
1 - 2		296,09	297,32	297,31	11,837	11,587	11,507	409,5	356,3	410,9	
		C _{V 1-2} =		1		C _{W 1-2} =		1			
		C _{A 1-2} =		1							
Činné odpory: násobitel : pro Y a Z = 0,5 a pro D = 1,5				1 - - 2 :		1,5				0,5	
Činné ztráty: násobitel : pro Y a Z = 1 a pro D = √3 = 1,732051				1 - - 2 :		1,732051				1	

Výpočet hodnot kusové zkoušky protokolu						
		č.:	1	2016 T		
		Č. zakázky:	2481	Výr. číslo:	300036	List 1. z 1
Kontrola natočení fází: Výpočet.						
		Spojení:	Dyn1	A-B napájeno (V):	100	A-a spojeno. 1
a-b (V):	0	B-b (V):	98	B-c (V):	100	C-c (V): 98
Měření ztrát a napětí nakrátko:						
		1		2		
Průměrné hodnoty odporů:		4,513397	Ω	0,002237	Ω	
		1 - 2				
Průměrný změřený proud:		11,64367	A			
		1 - 2				
Napětí měření při teplotě ϑ_k a I_n :		589,0364	V			
		1		2		
Koeficient K pro přepočítání z ϑ_R na ϑ_k v (1):		0,97662		0,977021		
		1		2		
Přepočítání odporů na teplotu měření nakrátko ϑ_v v Ω :		4,407874		0,002186		
		1 - 2				
Koeficient K pro přepočítání z ϑ na Θ v (1):		1,259975				
		1 - 2				
Činné ztráty $\Sigma I^2 R$ při teplotě ϑ ve W:		4535,431				
		1 - 2				
Činné ztráty $\Sigma I^2 R$ při teplotě Θ ve W:		5714,529				
		1 - 2				
Přídavné ztráty P_a při teplotě ϑ ve W:		95,94673				
		1 - 2				
Přídavné ztráty P_a při teplotě Θ ve W:		76,14972				
		1 - 2				
Činná složka $u_{r\vartheta}$ napětí nakrátko při teplotě ϑ v %:		0,115784				
		1 - 2				
Induktivní složka $u_{x\vartheta}$ napětí nakrátko při teplotě ϑ v %:		5,889226				
		1 - 2				
Činná složka $u_{r\Theta}$ napětí nakrátko při teplotě Θ v %:		0,145885				