

K některým aspektům oddálené výměny výkonových transformátorů

Ing. Altmann

1. Úvod.

Současná situace ve výrobě a rozvodu elektrické energie je silně ovlivněna probíhající liberalizací energetického trhu. Tlak konkurence a výrobní náklady rostou a tím potenciálně klesá i zisk společností které na tomto trhu pohybují.

Tento tlak se nutně promítá i do jejich chování. Přirozená snaha udržet resp. zvýšit zisk i za těchto složitých podmínek se pak jak u výrobců tak u distributorů elektrické energie projevuje nejčastěji tlakem na snižování nákladů a omezování investic.

Současný provozovatel ať už distribučních nebo průmyslových transformátorů není v jednoduché situaci. Jeho transformátory jsou obvykle starší než 30 let a jejich štítková životnost je tedy buď již vyčerpána, nebo bude vyčerpána v relativně krátkém časovém údobí a měly by tedy být vyměněny, ale potřebné prostředky obvykle nemá k dispozici.

Do výčtu potenciálních rizik a okrajových podmínek se kterými musí uživatel vystárlých transformátorů pracovat je možno zahrnout :

- změny úrokové míry, ceny elektrické energie, způsobu zatěžování transformátoru atd.
- technické aspekty výpadku transformátorů
- ekonomické analýzy dopadu poruch a jejich prevence
- právní odpovědnost a pojišťovací problematiku
- ekologické aspekty případné havárie stroje

Okruh parametrů které musí uživatel posoudit při řešení problému, koupit nový transformátor nebo prodloužit životnost stávajícího transformátoru, je očividně velmi rozsáhlý a v některých případech i těžko objektivně postižitelný (jak lze například objektivně odhadnout úrokovou míru, cenu elektrické energie, nebo zátěž stroje která bude aktuální za 5 nebo 10 let ?).

Manažer který tento problém rámci svých povinností řešit **musí**, nutně celý problém především promítne do roviny **osobní** zodpovědnosti, protože je zřejmé, že pokud rostoucí problém nevyřeší dostatečně seriózně, vystaví se tím i případnému právnímu postihu za zanedbání svých povinností,

Pokud naopak problém zvýšeného rizika versus stáří stroje analyzuje (nebo nechá analyzovat) byť jen technicko-ekonomicky a následně realizuje vhodné řešení, které je objektivně **schopno** zabránit zhoršení stavu transformátoru, pak tím nejen minimalizuje riziko závažné havárie, ale i riziko velmi nepříjemného osobního postihu.

Ještě důležitější je samozřejmě rovina **firemní** zodpovědnosti manažera tj. maximalizace dosažitelného profitu firmy kterou manažer řídí.

Správná technicko-ekonomická analýza pak přesně sleduje firemní zájem – umožňuje nejen minimalizaci rizika, ale navíc principiálně dovoluje maximalizaci výnosu resp. úspory.

2. Technicko-ekonomická analýza výměny transformátoru

Typické zastoupení jednotlivých kategorií distribučních transformátorů v BRD uvádí například [L1], kde je v této souvislosti také proveden odhad skutečného trendu náhrady starších strojů. Současná hodnota reinvestic je přibližně 1% což znamená, že při tomto trendu bychom museli provozovat transformátory zhruba 100 let. Autor [L1] přitom vychází z předpokladu, že maximální hodnota životnosti dnešních distribučních transformátoru je 40 let a skutečná potřeba reinvestic by tedy měla být 2,5% nebo spíše vyšší.

V této souvislosti je vždy nutno získat co nejpřesnější odpověď na dvě základní otázky:

1. má vůbec z ekonomický smysl daný transformátor za stávajících podmínek dále provozovat nebo musí být vyměněn za nový stroj.
2. jaký průběh provozního rizika můžeme vystálého transformátoru očekávat a jakým způsobem můžeme toto riziko snížit a navíc ušetřit.

Například často používaná **hodnota zbytkové životnosti transformátoru** nám sice zdánlivě dobře umožňuje vypočítat potenciální úspory plynoucí z odložené výměny stroje, ale obvykle vůbec nepostihuje vývoj pravděpodobnosti poruchy v čase popsaný vanovou křivkou [L2]. Tato křivka nám totiž jednoznačně udává, že pravděpodobnost havárie transformátoru prudce roste na konci zbytkové životnosti **každého** stroje.

Pak je ovšem časté tvrzení ve výročních zprávách - **naše transformátory jsou v pořádku, protože průměrná míra jejich poruchovosti je 3% ročně** naprosto zavádějící.

Autor této zprávy totiž a-priory tvrdí, že stávající četnost poruch vycházející z minulosti, bude stejná v budoucnosti, přestože musí vědět, že tomu tak není a ani nemůže být [L2].

2. Koupit nebo oddálit nákup transformátoru

Rozhodovací problém manažera je možno popsat zhruba následovně:

má smysl koupit nový transformátor s lepšími technickými parametry nebo je výhodnější oddálit nákup s tím, že budeme investovat do technologií které zvýší spolehlivost a životnost stávajícího transformátoru

Aby mohl náš příkladný manažer odpovědně rozhodnout musí mít očividně k dispozici nejméně tři základní informace:

- míru úspory dosaženou tím, že odloží nákup nového transformátoru
- míru výnosu který by mu přinesl nový technicky dokonalejší transformátor v porovnání se stávajícím transformátorem
- míru nákladů které musí vynaložit abychom udržel stávající transformátor v bezchybném provozu

Základní absolutní úsporu oddáleným nákupem výkonového transformátoru o n let je možno popsat následující relací, která nám udává celkovou úsporu rovnou sumě úroku z vypůjčené sumy (PP) za n let o které oddálíme nákup nového transformátoru:

$$(1) \quad S = PP [(1 + IR)^n - 1]$$

kde:

S	....	úspora (Kč)
PP	.....	pořizovací cena transformátoru (Kč)
IR	.....	úroková míra (1)
n	.....	počet let o které oddálíme výměnu stroje (1)

Míru ztraceného výnosu vzniklou oddálením nákupu nového transformátoru, který musí mít vždy menší ztráty než náš stávající transformátor, je možno určit na porovnáním tzv. nevýkonových a výkonových ztrát stávajícího a nového stroje.

Nevýkonové ztráty, někdy také zvané ztráty v železe, (NLL) jsou přitom prakticky nezávislé na výkonu který je transformátorem přenášen:

$$(3) \quad ANLL = NLL \cdot OH \cdot EPS \quad [Kč]$$

kde:

ANLL	....	roční ztráta způsobená nevýkonovými ztrátami daného transformátoru (kWh/rok)
NLL	.....	nevýkonová ztráta (kW)
OH	.....	počet operačních hodin za rok (1)
EPS	.....	nákupní cena v transformátoru zmařené elektrické energie v (Kč / kWh)

Výkonové ztráty tzv. ztráty v mědi, jsou naopak ohmické povahy a jejich velikost tedy roste s přenášeným výkonem kvadraticky. Výrobce transformátoru uvádí tuto ztrátu za plného výkonu stroje (FLL)].

Průměrnou výkonovou ztrátu za rok pak můžeme vyjádřit výrazem:

$$(4) \quad ALL = FLL \cdot (LR / 100)^2 \cdot OH \cdot EPS \quad [Kč]$$

kde:

ALL	....	roční ztráta způsobená výkonovými ztrátami transformátoru (kWh/rok)
LR	....	průměrný koeficient zátěže transformátoru v (%)

Zde je nutno zdůraznit, že na rozdíl od základní úspory, která je ekvivalentní úroku z nákupní ceny transformátoru resp. z celkových nákladů na výměnu transformátoru, jsou finanční ztráty odpovídající rozdílu nevýkonových a výkonových ztrát starý-nový transformátor zcela odlišné povahy, protože jim odpovídající celková suma v čase stále roste a současně je ve zvoleném časovém intervalu n let zvyšována složeným úrokem.

Odpovídající relaci pak lze vyjádřit výrazem.

$$(5) \quad TL = (\Delta NLL + \Delta LL) \cdot ((1 + IR)^n - 1) / IR \quad [Kč]$$

kde:

TL	....	celkový ušlý výnos odpovídající rozdílovým ztrátám starý / nový transformátor za n roků (Kč)
ΔNLL	....	rozdílová ztráta v „železe“ (Kč) mezi starým a novým transformátorem
ΔLL	.....	rozdílová ztráta v „mědi“ (Kč) dtto

Stejně jednoduše je možno popsat náklady na technologie které mají zajistit bezporuchový provoz transformátoru po dobu (n) o kterou odložíme nákup nového transformátoru:

$$(6) \quad MC = MPP (1 + IR)^n + MOC \cdot ((1 + IR)^n - 1) / IR$$

kde:

MC	....	celkové náklady na údržbu transformátoru po dobu n roků (Kč)
MPP	....	nákupní cena potřebné technologie (Kč)
MOC	.....	provozní náklady zakoupené technologie (Kč/rok)

Předtím než začneme uvažovat o nákupu technologie která nám prodlouží životnost stávajícího transformátoru a případných nákladech které s tím budou spojeny, musíme nejdříve zjistit zda a kdy má v daném konkrétním případě oddálení nákupu nového transformátoru vůbec ekonomický smysl.

Jinak řečeno, musíme najít jednoduché kritérium ve kterém je úspora daná oddáleným nákupem (1) právě rovna ztrátě výnosu který bychom získali pokud bychom koupili nový transformátor (6) s menšími ztrátami:

$$(7) \quad PP [(1 + IR)^n - 1] = (\Delta NLL + \Delta LL) ((1 + IR)^n - 1) / rdl$$

a po úpravě dostaneme výraz pro relativní diferenční ztrátu **RDL** (Relative Differential Loss) pro daný transformátor

$$(8) \quad RDL = rdl/PP \text{ resp. } RDL = (\Delta NLL + \Delta LL) / PP$$

nebo můžeme přímo jak rozdílovou ztrátu v železe ΔNLL , tak v mědi ΔLL znormalizovat nákupní cenou transformátoru PP a dostáváme hodnotu **RDL** jako součet jeho obou rozdílových normalizovaných ztrát

$$RDL = \frac{\Delta NLL}{PP} + \frac{\Delta LL}{PP},$$

a naše základní rozhodovací kritérium je pak dáno porovnáním předpokládané hodnoty bankovního úroku **IR** s normalizovanou rozdílovou ztrátou **RDL**.

Je-li nyní :

IR > RDL ... je-li úrok **IR** který nám nabídla banka na nákup nového transformátoru větší než relativní rozdílová ztráta **RDL**, pak tím že oddálíme nákup (a necháme si obnos odpovídající bankovnímu úrokům které bychom museli jinak zaplatit bance) realizujeme úsporu resp. virtuální kladný výnos a oddálení nákupu má ekonomický smysl

a naopak pokud platí

IR < RDL ...je nutno koupit nový transformátor co nejdříve, protože provozem stávajícího stroje ztrácíme peníze

Základní relace které náš příkladný manažer musí mít k dispozici jsou tedy (za ustálených okrajových podmínek) kvalitativně i kvantitativně velmi dobře definovatelné.

Pokud platí **IR >> RDL** má oddálený nákup transformátoru vždy ekonomický smysl a můžeme tedy učinit další krok a detailněji prozkoumat jakých reálných úspor můžeme oddálením nákupu dosáhnout.

3. Určení zbytkové životnosti transformátoru

Zatím jsme ovšem nijak nevymezili **hodnotu zbytkové životnosti** tj. počet **n** (roků) po které můžeme stávající transformátor bezpečně provozovat až do jeho výměny za nový stroj a který nám současně udává časový interval ve kterém potenciální úsporu realizujeme.

A právě zde vzniká problém. Zatímco relace (1) až (8) vedou na objektivní závěry o míře úspory resp. ztráty, **hodnota zbytkové životnosti n nutně představuje kvalifikovaný odhad, který je značně subjektivní a může se tedy např. u různých analytických pracovišť výrazně lišit.**

Stejně tak nelze exaktně určit účinnost metod ošetření transformátoru na prodloužení jeho zbytkové životnosti.

Objektivně sice víme, že určitý způsob ošetření (odplynění nebo hermetizace transformátoru, regenerace nebo výměna oleje, vysušení celulozy resp. kombinace uvedených metod) může výrazně zpomalit procesy stárnutí a zvýšit tím potenciálně okamžitou i dlouhodobou spolehlivost transformátoru, ale nikdy nelze předem říci o kolik let tím prodloužíme životnost daného transformátoru **skutečně**.

Největší důraz je v této souvislosti pochopitelně kladen na účinné prodloužení dlouhodobé životnosti celulozových izolantů, protože v transformátoru je možno téměř všechno relativně snadno a bez velkých nákladů vyměnit nebo opravit, ale výměna celulozových izolantů se svojí nákladností vždy blíží ceně nového transformátoru.

V praxi je proto běžně používána metoda pružné odezvy. Po co neobjektivnějším posouzení stavu transformátoru, je vybrána metoda např. ošetření celulozových izolantů daného stroje kterou považujeme technicky a ekonomicky za přiměřenou a průběžně sledován její účinek. Podle dosažených výsledků je pak možno jednotlivé metody ošetření doplňovat resp. kombinovat tak, aby bylo možno dosáhnout požadované zbytkové životnosti n .

Náklady na různé typy ošetření transformátoru se pochopitelně liší a pokud tedy chceme dostatečně věrohodně odhadnout ekonomický účinek jeho oddálené výměny, musíme posoudit většinu variant tzv. scénářů možného prodloužení zbytkové životnosti které nám současná technika nabízí.

4. SINDRET - 1 rozhodovací krok : vyměnit nebo nevyměnit transformátor

Protože s nutností detailnějšího posouzení více scénářů roste časové náročnost i možnost chyb způsobených lidským faktorem, byl celý problém zpracován do formy jednoduchého programu **SINDRET** (**S**avings **I**nduced by **D**eferred **R**Eplacement of **T**ransformer) do kterého je možno jednoduše zadat veškerá nezbytná data a program nám vypočte a graficky zobrazí veškeré nezbytné parametry (včetně posouzení účinků jednotlivých typů ošetření transformátoru na prodloužení jeho zbytkové životnosti a odpovídajících ekonomických dopadů).

Příklad č.1

Předpokládejme, že chceme rozhodnout zda je výhodné nahradit stávající pecní transformátor s výkonem 22 MVA novým transformátorem, nebo nikoliv.

Pro porovnání použijeme free-ware SINDRET které stáhneme z www.ars-altmann.com/EconomicalGoals/Sindret.

K dispozici máme následující data (všechny ceny jsou pro obecnost uváděny v €) :

Cena nového transformátoru je PP (€) = 280 000.-, celkové náklady na výměnu jsou TRC = 300 000.-

		Stávající transformátor	Nový transformátor
Celkové ztráty v železe	NLL (kW)	38	30
Celkové ztráty v mědi	FLL (kW)	130	100
Počet operačních	(hod./ rok)	8700	dtto
Zatížení stroje (Loading Rate LR (%))		100	dtto
Cena elektrické energie (€ / kWh)		0.04	dtto

SINDRET - Saving INduced by Deferred REplacement of Transformer

Transformer Data

Transformer No.

Oil inventory (kg)

Power (MVA)

On-Line Treatment

Dehydration

Semi-continuous degassing

Detoxication

Continuous degassing

Hermetization

Hermetization + cont. degassing

ARS Altmann® Treatment

Purchase Price - total LEC (€)

Operational Cost (€ per year)

Residual Life Expectancy

High (10 years) Medium (5 years) Low (1.5 year)

Related Economical Factors

Transformer Purchase Price PP (€)

Total Replacement Costs TRC (€)

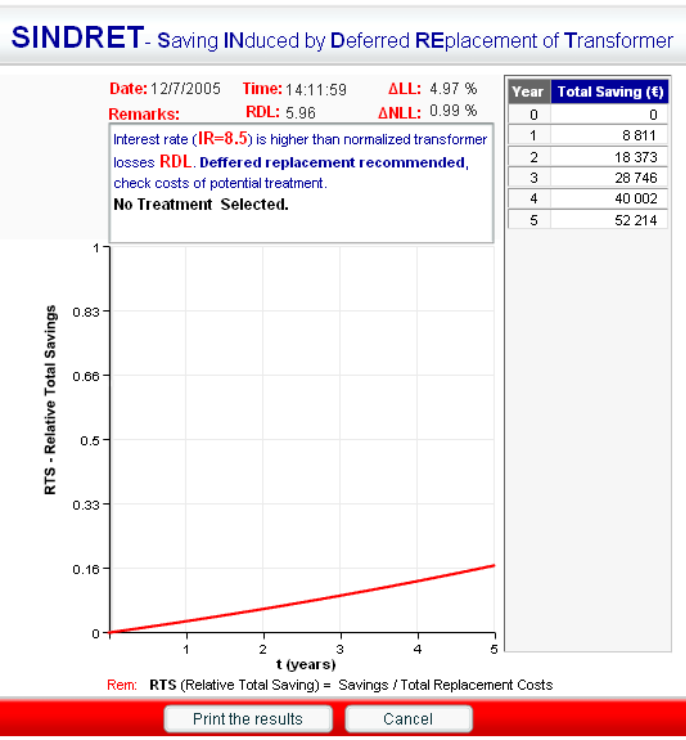
Interest Rate i (%)

Transformer	Current	New
No-Load Losses NLL (kW)	<input type="text" value="38"/>	<input type="text" value="30"/>
Full-Load Losses FLL (kW)	<input type="text" value="152"/>	<input type="text" value="112"/>
Operational hours (hr / year)	<input type="text" value="8700"/>	
Loading Rate (%)	<input type="text" value="100"/>	
Electricity Sale Price (€/kWh)	<input type="text" value="0.04"/>	

Aktuální úroková míra je $i = 8.5\%$, analytické pracoviště odhadlo zbytkovou životnost RLE (Residual Life Expectancy) na min. 5 let.

A tato data vložíme do vstupní tabulky SINDRET

A po stisku Perform SINDRET Calculation dostaneme základní odhad možných úspor v režimu No Treatment Selected – tj. bez nasazení technologií kterými prodlužujeme jeho zbytkovou životnost tj. zvyšujeme hodnotu n .



Z obrázku je patrné, že v tomto případě je i při relativně nízké úrokové míře $i = 8.5\%$, možno dosáhnout výrazných úspor.

Bod zlomu je dán

$$RDL = \Delta NLL + \Delta FLL$$

$$= 0.0497 + 0.0099 = 0.0596$$

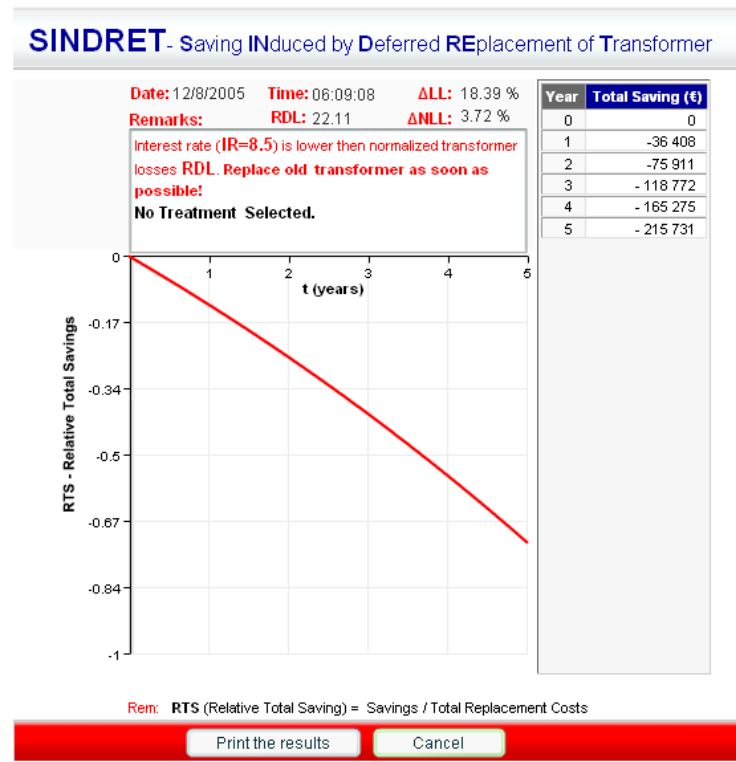
a skutečně tedy platí

$$IR > RDL$$

a odložený nákup transformátoru má tedy ekonomický smysl.

V grafu je pak zobrazen průběh relativní celkové úspory **RTS** – Relative Total Savings tj. skutečná úspora je zde normována nákupní cenou stroje) a v tabulce na pravé straně okna je ukázána výše skutečných úspor v €.

Ale pozor, k tomuto optimistickému závěru jsme dospěli za předpokladu, že jsme porovnali stávající a nový stroj které mají zhruba stejné ztráty a nezvažovali jsme jak se zhorší jeho spolehlivost v bodě $n=5$ let. Zmíněná relativně značná úspora může být skutečně dosažena, protože stávající stroj je starý cca 14 let a víme, že od doby kdy byl vyroben, nedošlo k žádnému zásadnímu snížení ztrát v železe a v mědi tj. hodnota **RDL** je relativně malá.



Pokud bychom ovšem stejným způsobem analyzovali skutečně starý stroj se značnými ztrátami jak v železe tak v mědi s dnešním strojem, jehož ztráty jsou podstatně nižší, situace se zcela obrátí.

Předpokládejme že náš transformátor je velmi starý, řekněme více než 40 – 50 let, a jeho ztráty v železe (neorientované plechy) a v mědi tomu odpovídají :

$$NLL = 60 \text{ kW}$$

$$FLL = 260 \text{ kW.}$$

Obrázek nám nyní ukazuje, pro původní hodnotu úrokové míry IR

= 8.5%, dosahuje značnou **zápornou úsporu**

tj, platí $RDL = 18.39 \% + 3.72\% = 22.11 \%$ a je tedy více než dvakrát větší než **IR**, neboli **IR << RDL**

V tomto případě jakýkoliv odklad nákupu nového transformátoru nemá smysl, protože hodnota **RDL** je velmi vysoká a pravděpodobnost že ji úroková míra **IR** v budoucnosti převyší je velmi malá - dalším provozem starého transformátoru očividně a značně proděláváme a budeme prodělávat i v budoucnu.

Obecně platí :

vysoký bankovní úrok a nízké rozdílové ztráty stávající / nový transformátor podporují záměr odloženého nákupu transformátoru

a naopak

nízký bankovní úrok a vysoké rozdílové ztráty podporují záměr nákupu nového stroje.

Již v této fázi tedy musíme předikovat – tj. zhruba určit jak se v budoucnosti změní vnější parametry tj. bankovní úrok a cena elektrické energie a naopak zda je možno ztráty transformátoru zmenšit například změnou jeho zátěže, způsobu provozu atd.

Právě proto je způsob porovnání různých scénářů velmi důležitý. Dovoluje nám totiž kvantitativně porovnat účinek změny **vnějších ekonomických podmínek**, které obvykle nejsme schopni ovlivnit a **vnitřních technických** podmínek, které jsme schopni ovlivnit, na **okamžitou i dlouhodobou ekonomii** provozu transformátoru.

5. SINDRET – 2. krok – jakou metodu použít pro prodloužení zbytkové životnosti

Jak jsme ukázali v předchozí kapitole „kvalita“ úspory oddálenou výměnou transformátoru je dána úrokovou mírou a rozdílovými ztrátami obou transformátorů. Pokud se úroková míra nebo ostatní okrajové podmínky nezmění, zůstává tato „kvalita“ po celou dobu zbytkové životnosti daného stroje v principu stálá.

Celkové zvýšení tj. „kvantitu“ nebo objem úspory pak můžeme dosáhnout pouze tím, že vhodným způsobem **bezpečně** prodloužíme zbytkovou životnost transformátoru (za pokud možno co nejnižších nákladů).

Pro zvýšení zbytkové životnosti máme celkem k dispozici čtyři základní metody ošetření transformátoru které můžeme navíc volně kombinovat.

Cílem je potlačit nežádoucí účinky kyslíku, vody a produktů stárnutí na kapalné a pevné izolanty.

V následující tabulce je pak ukázáno pomocí tzv. koeficientu potenciálního prodloužení životnosti C_{LE} , jaké výsledky nasazením těchto metod můžeme zhruba očekávat. Odhad nákladů jednotlivých metod je možno nalézt na www.ars-altmann.com /Economical Goals.

Metoda	C_{LE} (1)	Očekávaný účinek
Vysušení celulozových izolantů (dehydration)	1.2	Snížením obsahu vody v transformátoru, rychle zvýšíme jeho okamžitou spolehlivost a zvýšíme dlouhodobou spolehlivost*
Kontinuální odplynění oleje (degassification)	1.4	Snížením obsahu plynů v oleji zvýšíme okamžitou spolehlivost a potlačíme oxidační stárnutí
Regenerace oleje (Detoxication)	1.5	Regenerací oleje odstraníme z oleje produkty stárnutí akcelerující stárnutí
Hermetizace transformátoru	2	Snížením toku kyslíku do transformátoru

(hermetization)		výrazně snížíme oxidační stárnutí
-----------------	--	-----------------------------------

Všechny metody lze v podstatě volně kombinovat a SINDRET pracuje s předpokladem, že účinek kombinace několika metod se násobí, tj. celkové prodloužení zbytkové životnosti je dáno součinem původní zbytkové životnosti a koeficientů C_{LE} jednotlivých metod.

Příklad 2.

Příkladný pecní transformátor se zbytkovou životností vyšší než 5 let je silně kontaminován vodou a produkty stárnutí a jeho okamžitá spolehlivost je nízká ($U_p \sim 30 \text{ kV}/2.5\text{mm}$). Musíme tedy především co nejrychleji transformátor vysušit, protože jinak jej nemůžeme bezpečně provozovat.

SINDRET - Saving INduced by Deferred REplacement of Transformer

Transformer Data

Transformer No.
 Oil inventory (kg)
 Power (MVA)

Residual Life Expectancy

High **Medium** **Low**
 (10 years) (5 years) (1.5 year)

On-Line Treatment

- Dehydration
 Semi-continuous degassing
 Detoxication
 Continuous degassing
 Hermetization
 Hermetization + cont. degassing

Related Economical Factors

Transformer Purchase Price PP (€)
 Total Replacement Costs TRC (€)
 Interest Rate i (%)

ARS Altmann® Treatment Purchase Price - total LEC (€)

Operational Cost (€ per year)

Transformer	Current	New
No-Load Losses NLL (kW)	<input type="text" value="38"/>	<input type="text" value="30"/>
Full-Load Losses FLL (kW)	<input type="text" value="152"/>	<input type="text" value="112"/>
Operational hours (hr/year)	<input type="text" value="8700"/>	
Loading Rate (%)	<input type="text" value="100"/>	
Electricity Sale Price (€/kWh)	<input type="text" value="0.04"/>	

Perform SINDRET Calculation

Reset Values

SINDRET - Saving INduced by Deferred REplacement of Transformer

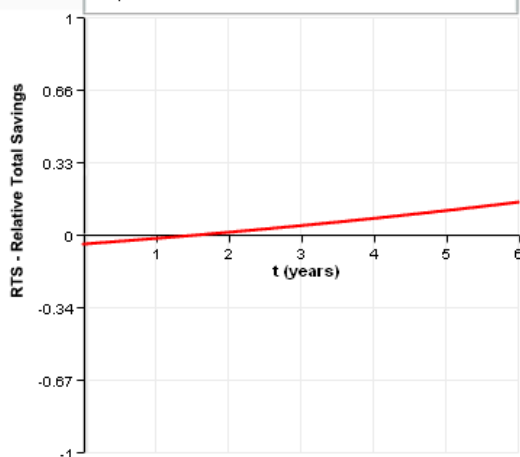
Date: 12/8/2005 Time: 06:16:53 ΔLL : 4.97 %

Remarks: RDL: 5.96 ΔNLL : 0.99 %

Interest rate (IR=8.5) is higher than normalized transformer losses RDL. **Deferred replacement recommended, check costs of potential treatment.**

Using the following ARS Altmann® technologies:
Dehydration

Year	Total Saving (€)
0	-12 000
1	-4 209
2	4 246
3	13 419
4	23 371
5	34 170
6	45 886



Rem: RTS (Relative Total Saving) = Savings / Total Replacement Costs

Print the results

Cancel

V tabulce zadání proto zvolíme metodu - dehydration.

Pro vysušení použijeme on-line metodu, vysoušeč si pronajmeme s náklady cca 1000.- € / měsíc a budeme sušit 12 měsíců.

Celkové náklady na sušení tedy jsou

Purchase Price – total LEC = € 12 000.-

Z výpočtu je zřejmé, že pouhé vysušení které trvá jeden rok je samo o sobě zdnlivě neekonomické – za rok vysušení jsme dostali ztrátu cca € 4 200.-.

Tento krok jsme ale udělat **museli**, abychom mohli náš transformátor vůbec provozovat – okamžitá spolehlivost stroje byla jednoduše příliš nízká, což znamená že:

- při případné havárii bychom riskovali právní postih
- pojišťovna by oprávněně mohla odmítnout pojistné plnění.

Po vysušení je již průrazné napětí oleje uspokojivé a sekundárně jsme vysušením zvýšili i dlouhodobou spolehlivost, protože zvýšené množství vody v systému nařezuje kyseliny obsažené ve vystálém oleji a tím je silně akcelerováno stárnutí celulozy [L3].

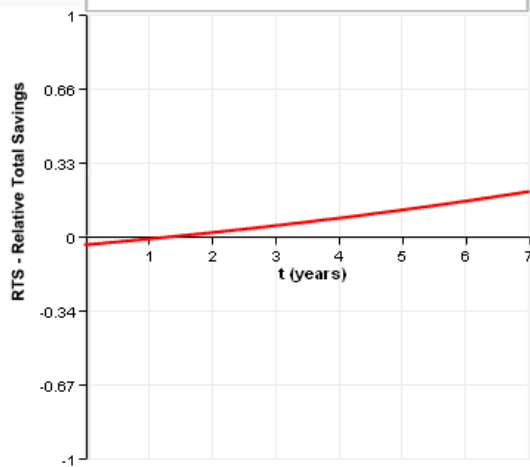
Olej v našem transformátoru je skutečně silně vystálý a produkty stárnutí v něm obsažené by tedy měly být odstraněny. Abychom získali představu jak se regenerace olejové náplně transformátoru (detoxikace) projeví ekonomicky, budeme v dalším scénáři zvažovat pouze „izolovaný“ účinek detoxikace.

SINDRET - Saving INduced by Deferred REplacement of Transformer

Date: 12/8/2005 Time: 06:20:54 Δ LL: 4.97 %
Remarks: RDL: 5.96 Δ NLL: 0.99 %

Interest rate (IR=8.5) is higher than normalized transformer losses RDL. Deferred replacement recommended, check costs of potential treatment.

Using the following ARS Altmann® technologies:
Detoxication



Year	Total Saving (€)
0	-10 200
1	-2 258
2	6 365
3	15 718
4	25 866
5	36 877
6	48 823
7	61 785

Rem: RTS (Relative Total Saving) = Savings / Total Replacement Costs

Print the results

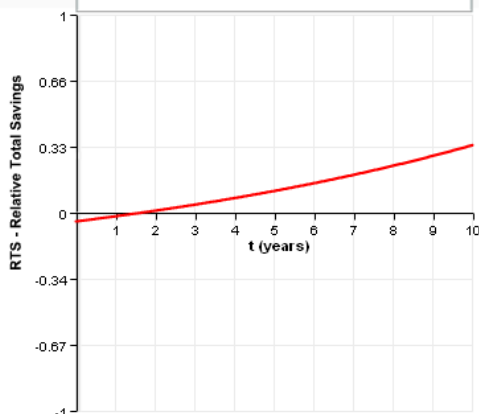
Cancel

SINDRET - Saving INduced by Deferred REplacement of Transformer

Date: 12/8/2005 Time: 06:22:36 Δ LL: 4.97 %
Remarks: RDL: 5.96 Δ NLL: 0.99 %

Interest rate (IR=8.5) is higher than normalized transformer losses RDL. Deferred replacement recommended, check costs of potential treatment.

Using the following ARS Altmann® technologies:
Hermetization



Year	Total Saving (€)
0	-12 000
1	-4 209
2	4 246
3	13 419
4	23 371
5	34 170
6	45 886
7	58 599
8	72 392
9	87 357
10	103 595

Rem: RTS (Relative Total Saving) = Savings / Total Replacement Costs

Print the results

Cancel

Objem olejové náplně je 12 000 l a dodavatel nám nabídl že olej zregeneruje za 0.85 € / l a celková investice do regenerace je tedy 12 000 . 0.85 = 10 200.-

Nejprve v zadávací tabulce zaškrtneme pouze Detoxication a do rubriky Purchase Price – total LEC zadáme náklady vlastní regenerace tj. € 10 200.- a provedeme výpočtový odhad tohoto izolovaného zásahu.

Z průběhu křivky úspory je patrné, že se naše náklady na detoxikaci vrátí cca za 1.5 roky, zbytková životnost transformátoru se prodlouží na cca 7 let a celková úspora ukázaná v tabulce je v sedmém roce již cca 62 000 €.

Stejný postup, kdy zvažujeme pouze izolovaný účinek dané konkrétní metody, použijeme i pro hermetizaci transformátoru resp. pro posouzení účinku kontinuálního odplynění, protože obě metody mají stejný cíl - snížením obsahu kyslíku v systému snížit oxidační stárnutí celulozy.

Zaškrtneme hermetization a náklady na úpravu transformátoru této velikosti a výkonu jsou cca € 12 000.- a tuto sumu zapíšeme do rubriky total-LEC.

V tomto případě již úspora za 10 let činí cca 33% dnešní ceny nového stroje a je tedy velmi zajímavá.

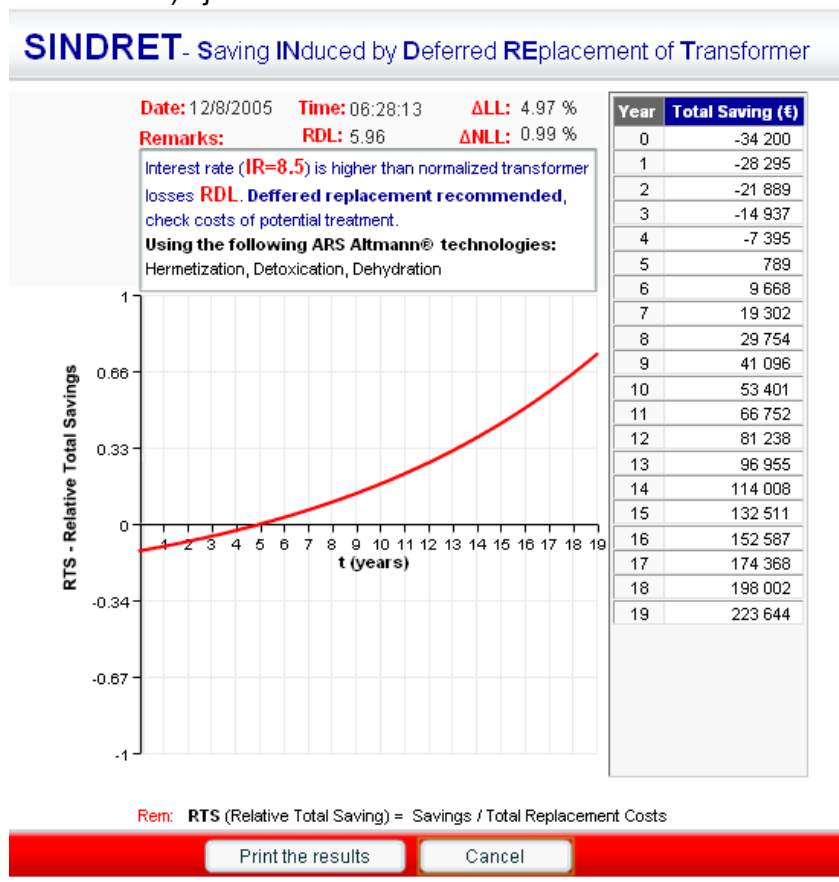
Celková úspora dosažitelná oddáleným nákupem transformátoru je pak dána dvěma faktory:

- o náklady na údržbu transformátoru (tj. sumou kterou jsme vynaložili na nákup potřebné technologie - **LEC** a operačními náklady na její provoz)
- o prodloužením zbytkové životnosti transformátoru nasazením vhodné metody údržby (vysušení, odplynění, regenerace oleje nebo hermetizace transformátoru) která se promítne do zvýšení hodnoty n

Ovšem pozor – zatím jsme účinek všech použitých metod ošetření transformátoru na prodloužení jeho zbytkové životnosti posuzovali odděleně, ačkoliv víme, že ve skutečnosti se jejich účinek násobí.

Tento **synergetický efekt** se pokusíme postihnout dalším výpočtem.

Do celkových nákladů na ošetření dáme sumu nákladů všech metod (sušení, detoxikace a hermetizace) tj. $LEC = 12\ 000 + 10\ 200 + 12\ 000 = €\ 34\ 200.-$



Do operačních nákladů můžeme, stejně jako ve všech předchozích případech, i v tomto případě dát 0 – všechny investice jsou v podstatě jednorázové a průběžné operační náklady tedy můžeme zanedbat.

Z výsledku našeho posledního výpočtu je zřejmé, že synergetický efekt všech účinků nasazených metod vede na velmi značné **prodloužení** zbytkové životnosti transformátoru – doba po kterou bychom mohli transformátor teoreticky provozovat je cca 19 let.

A tomu pak také odpovídá úspora cca € 224 000.- tj. cca 70% dnešní ceny nového stroje.

5. Závěr.

Z předložených příkladů je zřejmá základní podstata našich výpočtů a úvah kterými jsme se pokusili postihnout problematiku prodloužení provozu / výměny vystálých transformátorů.

Předložená práce ukazuje, že celý rozhodovací proces je možno rozdělit do dvou kroků.

Nejprve musíme objektivně zjistit co vlastně máme dělat - zda je pro nás výhodnější transformátor vyměnit nebo dále provozovat.

K tomu nám poslouží velmi jednoduché kriterium:

$IR \gg RDL$ úroková míra je podstatně **vyšší** než normalizované rozdílové ztráty → **prodluž životnost stávajícího transformátoru**

IR << RDL úroková míra je podstatně **nižší** než normalizované rozdílové ztráty → **vyměň transformátor**

A pokud platí **IR >> RDL** , musíme v druhém kroku nalézt pomocí SINDRET takovou kombinaci metod prodloužení životnosti která bude maximalizovat **objem úspor** .

Jak jsme se již zmínili v Úvodu, reálné okrajové podmínky za kterých bude ať už stávající nebo nový transformátor pracovat v budoucnosti samozřejmě neznáme a ani nemůžeme znát.

Naše rozhodování je tedy vždy zatíženo prvkem nejistoty, což vyžaduje vypracování celé řady alternativních scénářů, které musí být vzájemně kriticky zkoumány, a teprve potom lze nalézt uspokojivé řešení.

Nezbytný objem prací je ovšem značný, protože musí zahrnovat detailní znalosti jak o pravděpodobném vývoji úrokové míry, reálných rozdílových ztrátách stávajícího / nového transformátoru a stejně tak i o podstatě a účinku metod prodlužujících životnost transformátoru.

Manažer, jehož úkolem je co nejobjektivněji a nejrychleji rozhodnout i v celé řadě dalších věcí, ale na to prostě nemá čas.

Jako obvykle i zde existuje elegantní východisko jak tento problém zvládnout. Manažer v této pozici je vždy velmi žádoucí zákazník a může tedy **největší objem problém prací spojených s řešením svého problému přesunout na potenciální dodavatele**.

Jednoduše bude požadovat, aby tyto práce byly nedílnou součástí nabídky počínaje financováním jeho záměru, dodáním nového transformátoru a konče nabídkou technologie pro prodloužení životnosti jeho stávajícího transformátoru.

Pokud všichni „dodavatelé“ předloží svoji nabídku a jsou nuceni u kruhového stolu svoje nabídky obhájit, má manažer na stole nejen veškerou dokumentaci kterou potřebuje, ale získá velmi rychle i dobrý náhled do dané problematiky.

SINDTRET nebo podobný softwarový prostředek pak slouží jako pomůcka jejíž pomocí je schopen manažer rychle a objektivně posoudit předložená variantní řešení, následně objektivně rozhodnout a kdykoli správnost svého rozhodnutí doložit.

Literatura

- L1 Werle, Lohmeyer, Wohlfart
Moeglichkeiten zur Beurteilung und Werterhaltung des Isolationssystems von Leitungstransformatoren im Betrieb als Massnahme zur Lebensdauerveraengerung
 Micafil Symposium 2004
- L2 **Woodcock**
Risk-Based Reinvestment – Trends in Upgrading the Aged T&D System
 www.energypulse.net
- L3 Lungard at all
Aging of Oil-Impregnated Paper in Power Transformers
 IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL.,19. NO.1, JANUARY 2004