

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vliv čištění na stav izolačního systému elektrických
zařízení**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav HORNÁK**
Osobní číslo: **E12N0014P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Vliv čištění na stav izolačního systému elektrických zařízení**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte možnosti odstraňování provozního znečištění elektrických točivých strojů
2. Uveďte vhodné prostředky pro servisní čištění elektrických točivých strojů
3. Proveďte rozbor možností napadání povrchu izolačních systémů čistícími prostředky
4. Stanovte diagnostický systém pro ověření vlivu čistících prostředků na elektrické vlastnosti izolačních systémů



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


1. Mentlík, V.: Dielektrické prvky a systémy, BEN Praha 2006
2. Mentlík, V. et al: Diagnostika elektrických zařízení, BEN Praha 2008
3. Mentlík, V. et al: Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie, BEN Praha 2011

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku týkající se čištění povrchu vinutí elektrických točivých strojů. Jsou popsány izolační systémy a jejich možná znečištění. Podrobně jsou analyzovány metody čištění, čisticí prostředky a vlivy čisticích prostředků a aplikací na povrch izolačního materiálu. Následně je navržen diagnostický systém pro stanovení vlivů čisticích prostředků působících na elektrické vlastnosti izolačních systémů. Pro pět čisticích prostředků bylo provedeno hodnocení dlouhodobého působení na daný izolační systém a srovnány účinky pomocí sledování povrchové rezistivity.

Klíčová slova

Izolační systém, točivý stroj, čisticí metody, ultrazvukové čištění, CT technologie, suchý led, čisticí prostředek, napadání povrchu, vlhkost, výboje, povrchový odpor, povrchová rezistivita.

Abstract

The master thesis deals with issues relating to the cleaning of electrical rotating machines. It describes the insulation systems and their possible contamination and analyses cleaning method in detail, cleaning agents and detergents and their effects on the surface of the insulating material. There is designed the diagnostic system to determine the effects of cleaning agents on the electrical properties of insulating systems in this thesis. For five cleaning detergents was performed evaluation of long-term exposure on the insulation system and were compared their effects by monitoring of surface resistivity.

Key words

Insulation system, rotating machine, cleaning methods, ultrasonic cleaning, CT technology, dry ice, detergent, surface infestation, humidity, discharges, surface resistance, surface resistivity.

Prohlášení

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, který byl použit při řešení této diplomové práce, je v licenčním držení autora či v držení Fakulty Elektrotechnické, Západočeské univerzity v Plzni.

V Plzni dne 29.4.2014

Jaroslav Hornak

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Václavu Mentlíkovi, CSc., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále děkuji panu Ing. Petru Novákovi ze společnosti 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o. za poskytnutí čisticích prostředků, RNDr. Blance Šedivé, Ph.D., z Katedry matematiky za konzultace ohledně statistických výpočtů a v neposlední řadě panu Jaroslavu Bartoňovi za odbornou pomoc při měření.

Obsah

OBSAH.....	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
ÚVOD.....	10
1 IZOLAČNÍ SYSTÉM TOČIVÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ A JEHO ZNEČIŠTĚNÍ	11
1.1 NÍZKONAPĚŤOVÉ IZOLAČNÍ SYSTÉMY	11
1.2 VYSOKONAPĚŤOVÉ IZOLAČNÍ SYSTÉMY.....	12
1.3 MOŽNOSTI ZNEČIŠTĚNÍ ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ	13
2 PŘEHLED ČISTICÍCH METOD.....	15
2.1 MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ	15
2.2 ČIŠTĚNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM	15
2.3 TRYSKÁNÍ SUCHÝM LEDEM	16
2.4 OSTŘIKOVÁNÍ VODOU POD VYSOKÝM TLAKEM, PARNÍ ČIŠTĚNÍ	17
2.5 AIRLESS TLAKOVÉ ČIŠTĚNÍ – CT TECHNOLOGIE.....	18
2.6 ULTRAZVUKOVÉ ČIŠTĚNÍ	19
2.7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP ČIŠTĚNÍ GENERÁTORU.....	22
2.8 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ČISTICÍCH METOD	23
3 VHODNÉ PROSTŘEDKY PRO SERVISNÍ ČIŠTĚNÍ ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ .	24
3.1 LEGISLATIVNÍ USTANOVENÍ TÝKAJÍCÍ SE BEZPEČNOSTI PŘI MANIPULACI S ČISTICÍMI PROSTŘEDKY	24
3.2 KALTREINIGER 716.....	26
3.3 KEMPT II.....	27
3.4 NICRO 1065.....	28
3.5 COMPETENT	29
3.6 SPIRDANE D60	30
3.7 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ČISTICÍCH PROSTŘEDKŮ	31
4 ROZBOR MOŽNOSTÍ NAPADÁNÍ POVRCHU IZOLAČNÍHO SYSTÉMU VLIVEM SERVISNÍHO ČIŠTĚNÍ.....	32
4.1 ZVÝŠENÍ VODIVOSTI	33
4.2 VÝBOJOVÁ ČINNOST	33
4.3 CHEMICKÉ REAKCE.....	34
4.4 ODĚRKY	35
5 STANOVENÝ DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM.....	36
5.1 SLEDOVANÉ PARAMETRY	36
5.2 METODY MĚŘENÍ.....	38
5.3 SPECIFIKACE VZORKŮ	39
5.4 PŘÍPRAVA, POSTUP A PODMÍNKY MĚŘENÍ	40
5.5 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	40
ZÁVĚR.....	51
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	52
PŘÍLOHY	1
PŘÍLOHA 1: HODNOTY POVRCHOVÉHO PROUDU, ODPORU A REZISTIVITY	1
PŘÍLOHA 2: FOTODOKUMENTACE.....	16
PŘÍLOHA 3: PROGRAM PRO MATLAB	18

Seznam symbolů a zkratek

Symboly konstant		
Symbol	Základní jednotka	Význam
d	[m]	vzdálenost elektrod
E_P	[kV/mm]	elektrická pevnost
f	[Hz]	frekvence
I_P	[A]	povrchový proud
I_{P0}	[A]	povrchový proud v původním stavu
I_{P7}	[A]	povrchový proud po 7 dnech působení
I_{P25}	[A]	povrchový proud po 25 dnech působení
I_{P40}	[A]	povrchový proud po 40 dnech působení
I_{P50}	[A]	povrchový proud po 50 dnech působení
l_e	[m]	délka elektrody
p	[Pa]	tlak
R_P	[Ω]	povrchový odpor
R_{P0}	[Ω]	povrchový odpor v původním stavu
R_{P7}	[Ω]	povrchový odpor po 7 dnech působení
R_{P25}	[Ω]	povrchový odpor po 25 dnech působení
R_{P40}	[Ω]	povrchový odpor po 40 dnech působení
R_{P50}	[Ω]	povrchový odpor po 50 dnech působení
t	[s]	čas
$tg \delta$	[-]	ztrátový činitel
U	[V]	přiložené napětí
U_P	[V]	průrazné napětí
α	[%]	hladina významnosti
β	[-]	koeficient změny
γ_P	[S]	povrchová konduktivita
δ	[%]	intervalový odhad
$\delta\rho_P$	[%]	procentuální pokles povrchové rezistivity
$\delta\rho_{P7}$	[%]	procentuální pokles povrchové rezistivity po 7 dnech působení
$\delta\rho_{P25}$	[%]	procentuální pokles povrchové rezistivity po 25 dnech působení
$\delta\rho_{P40}$	[%]	procentuální pokles povrchové rezistivity po 40 dnech působení
$\delta\rho_{P50}$	[%]	procentuální pokles povrchové rezistivity po 50 dnech působení
ε	[-]	náhodná složka
$\hat{\rho}_P$	[%]	odhad nelineární regrese
ρ_P	[Ω]	povrchová rezistivita
ρ_{P0}	[Ω]	povrchová rezistivita v původním stavu

ρ_{P7}	[Ω]	povrchová rezistivita po 7 dnech působení
ρ_{P25}	[Ω]	povrchová rezistivita po 25 dnech působení
ρ_{P40}	[Ω]	povrchová rezistivita po 40 dnech působení
ρ_{P50}	[Ω]	povrchová rezistivita po 50 dnech působení

Statistické symboly	
---------------------	--

Symbol	Význam
n	počet hodnot
v_X	variační koeficient
\bar{x}_a	aritmetický průměr
\tilde{x}_a	medián
$\sigma(x)$	směrodatná odchylka

Anglické zkratky		
------------------	--	--

Zkratka	Původní znění	Český význam
CT	Cleaning Technology	Čisticí technologie
GHS	Globally Harmonized System	Globálně harmonizovaný systém
VPI	Vacuum Pressure Impregnation	Vakuově tlaková impregnace

Chemické názvosloví	
---------------------	--

Vzorec	Význam
CO_2	Oxid uhličitý
$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$	propylen glykol monomethyl ether
$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	cyklohexanon

Úvod

Čištění elektrických točivých strojů je jedním ze základních úkolů údržby, ač mu dříve nebyla věnována taková pozornost. Žádné, nedostatečné či špatně provedené čištění může mít pro stroj z hlediska jeho životnosti nevratné destruktivní následky. V současné době se provádí čištění několika způsoby. Metoda čištění se volí dle rozsahu znečištění a ekonomických nákladů na proces.

Předmětem této diplomové práce je analýza vlivů čištění na izolační stav elektrických zařízení, především se jedná o napadání povrchu a změnu elektrických vlastností. Práce vznikla ve spolupráci se společností 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., která se zabývá servisními službami pro energetiku. Společnost zadala k porovnání 5 chemických roztoků a k analyzování jejich vlivů stav izolačního systému.

Úvodní část práce je věnována problematice izolačních systémů a jejich možného znečištění. Následně jsou popsány jednotlivé způsoby servisního čištění a jejich základní principy. Další kapitola je přehledem chemických roztoků vhodných pro servisní čištění, které jsou doplněny o jejich fyzikální a chemické vlastnosti z bezpečnostních listů.

Stěžejní část práce je zaměřena na rozbor možností napadání povrchu izolačního systému vlivem servisního čištění a stanovení diagnostického systému, který je vhodný pro ověření změn elektrických vlastností izolačního systému. Dále pak na provedení vlastního měření a vyhodnocení získaných výsledků s následným porovnáním degradačních vlivů jednotlivých čisticích prostředků.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ZČU č. SGS-2012-026 „Materiálové a technologické systémy v elektrotechnice“

1 Izolační systém točivých elektrických strojů a jeho znečištění

Izolační systém točivých strojů je nedílnou součástí těchto elektrických zařízení. Slouží k nevodivému oddělení živých částí stroje. V současnosti izolační systémy dělíme podle pracovního napětí na nízkonapěťové izolační systémy, což je například izolace vodičů, anebo na vysokonapěťové izolační systémy, kde je využíváno technologií resin-rich a VPI.[1]

1.1 Nízkonapěťové izolační systémy

Nízkonapěťový izolační systém je tvořen izolací vodičů, vyložení drážek, které zde slouží proti poškození izolace vodičů, a impregnantem. Na první pohled se jedná o jednoduchý systém, je ale nutno brát v potaz, že zde dochází ke kombinaci několika různých materiálů a je tedy vyžadována jejich dobrá společná kompatibilita. [1,2]

Izolace vodiče je tvořena smaltem, opředěním a ovinutím bavlnou, skleněnými vlákny nebo dalšími izolačními materiály. Smalt je důležitou součástí izolace a jeho vlastnosti vychází z užití točivého stroje a jeho teplotní třídy. Vyložení drážky se provádí drážkovou lepenkou, kombinovanou drážkovou izolací nebo pružným laminátem. Ukázka drážkové izolace je na *Obr. 1*. Tato izolace je zde jako výztuž, aby nedošlo k poškození vinutí o ostré hrany nebo stěnu drážky. [1,2]

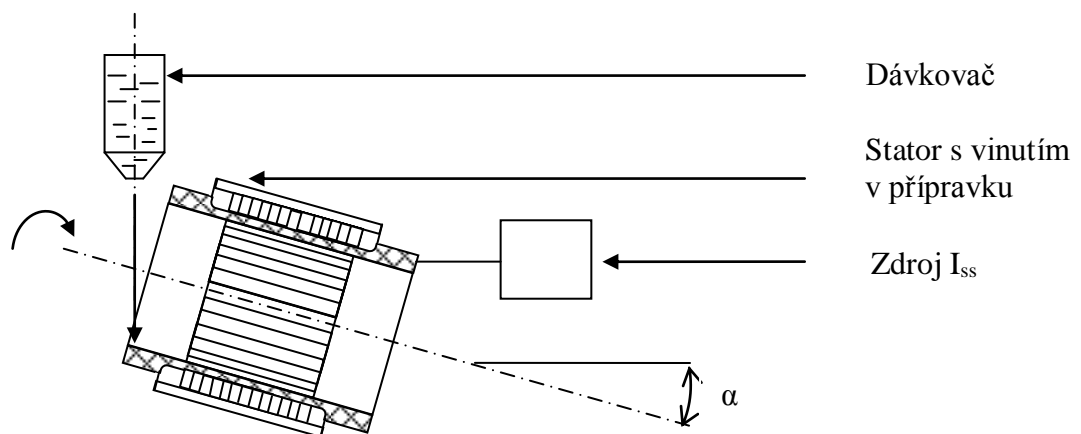


Obr. 1 Drážková izolace (převzato z: [2])

Další důležitou částí nízkonapěťového izolačního systému je impregnant. V současné době se používají jednosložkové polyesterové pryskyřice. Vzhledem k jejich nízké ceně, je jejich největším nedostatkem míra smrštění při vytvrzování (až 10 %), což může způsobit vznik trhlinek. Tato impregnace se provádí máčením za sucha. Dalším impregnantem můžou

být epoxidové pryskyřice, které jsou velmi mechanicky a chemicky stábe. Vřak v porovnání s ostatními mají větší viskozitu. Roztoky polyestermidové pryskyřice mají podobné chemické vlastnosti jako polyesterové pryskyřice. Vykazují ale lepší vlastnosti při vyšřích teplotách a jsou kompatibilnější se smalty na vodičích. [1,2,3]

Impregnace se provádí nejčastěji máčením, anebo zakapáváním. Proces impregnace volíme dle druhu impregnantu. U máčení se jedná o postup, při kterém jsou části motoru nebo cele motory máčeny za atmosférického tlaku, vakua nebo tlaku do impregnačního laku. Části, které nemají být impregnovány, jsou zakryty např. papírem s dobrou tepelnou odolností. Proces zakapáváním spočívá v tom, že se umístí část vinutí do přípravku, který zajistí jeho stálý sklon a konstantní otáčky. Na takto upevněné vinutí, které je navíc zahříváno zdrojem stejnosměrného proudu, je z dávkovače nanášen impregnační lak (*Obr. 2*). [1,4]



Obr. 2 Impregnace zakapáváním [4]

1.2 Vysokonapět'ové izolační systémy

Vysokonapět'ové izolační systémy se dají rozdělit na dvě hlavní kategorie. Tou první jsou systémy resin-rich, což v překladu znamená „bohatý na pryskyřici“. Jak již název napovídá, jedná se o tříložkový kompozit obsahující 30 – 40 % pojiva. Nosná složka je skleněná tkanina. Může jít buď o stlačená, nebo pletená vlákna. V současnosti se provádí rovnání vláken do roviny, čímž klesne jejich tlouřka. Jako plnivo zde slouží kalcinovaný slídový papír. Jako pojiva je možno využít novalacepoxidové pryskyřice s akcelerátorem. Izolační systém se vytvoří na vodivé části jako izolační trubka, a je i s částmi vinutí vkládán do drážek stroje. [1,5]

Druhou kategorií jsou VPI izolační systémy. Jedná se o proces vakuově tlakové impregnace. Základ tvoří savá slídová páska. Jako impregnant se zde využívají například

nenasyčené polyestery, nenasyčené polyesterimidy, epoxidové pryskyřice, nebo směsi epoxidu a polyesteru. Savá slídová páska je tříslůžkový kompozit, kde nosná část je velmi často polyimidová folie. U vakuově tlakové impregnace je zde jen 7 % pojiva. Jako plnivo se použije nekalcinovaná slída, která zajistí dobrou savost. Samotný impregnační proces je velmi složitý a je závislý na mnoha aspektech. Délka impregnace je přibližně 24 hodin, z čehož 20 hodin probíhá sušení k odstranění vlhkosti stroje, 1 hodinu trvá zaplavování ve vakuu, 1 hodinu se zavádí přetlak a zbytek času je věnován vypuštění laku a okapávání. Poté je systém přenesen do sušárny, kde je pod mírným podtlakem vysušen. Vytvrzování probíhá za atmosférického tlaku. Tento izolační systém najde uplatnění zejména u trakčních motorů, které kladou za požadavek vynikající impregnační systém. [1,5]

Při porovnání systémů resin-rich a vakuově tlakové impregnace nelze říci, který z těchto systémů je lepší. V neprospěch vakuově tlakové impregnace mluví vysoká cena technického zařízení. V případě poruchy je takřka nemožné komponent vyměnit či opravit. Při vakuově tlakové impregnaci vzniká homogenní izolační systém. U systému resin-rich dochází ke vzniku nehomogenit. Kládou vlastností systémů resin-rich je snadná opravitelnost, kdy je možno vadnou cívku snadno vyjmout a vyměnit. Nevýhodu oproti VPI představuje fakt, že nelze zkrátit délku cívek při zachování výkonu stroje. [1]

1.3 Možnosti znečištění elektrických točivých strojů

Znečištění vinutí může vést k několika problémům. Těmi nejzásadnějšími jsou zvýšení teplotní a chemické degradace, vznik vodivých cest či mechanické poškození izolačního systému. Vodivé cesty mohou vznikat při zanesení vzduchem chlazených generátorů, kdy se do útrobu stroje mohou dostat nečistoty, hmyz, či uhelný prach. Tyto nečistoty společně s vlhkostí nebo prachem mohou vytvořit na povrchu vinutí částečně vodivý povlak. Tím dochází k narušení izolačního systému, což je důvodem tepelného stárnutí. Z toho vyplývá zhoršení izolačních vlastností systému. Kovové nečistoty, které se mohou do stroje dostat, mají tendenci se posouvat do oblastí s vysokým proudem, kde by v případě vadné izolace mohlo dojít k průrazu izolačního systému a tím i ke zničení stroje. [6,7]

Mechanické poškození může vzniknout u strojů využívaných v těžkém průmyslu, kdy se do chladicího média dostanou malé, ale tvrdé částice, které mohou izolační systém poškrábat, nebo pořezat. Jedná se většinou o písek, popílek nebo skleněná vlákna. Vzhledem k jejich velikosti a rychlosti, kterou jsou unášeny v chladicím mediu, působí abrazivně na izolační systém. Tato poškození se ve většině případů nachází na koncích vinutí, ale v některých je možno nalézt oděrky i na izolačním systému v jádře statoru. [6]

Chemické znečištění ve většině případů nastává u strojů využívající jako chladicí médium olej. Tento problém by se mohl vyskytnout i při špatně zvoleném čisticím médiu při údržbě stroje. Všechny druhy statorového vinutí mohou být ohroženy tímto problémem. Přítomnost samotného oleje nemusí být tak velkým problémem u strojů s izolačním systémem VPI, kde jsou části stroje impregnovány nenasycenými polyestery nebo podobnými materiály. Zde dochází pouze k mírnému nabobtnání izolačního systému. Na druhou stranu vinutí s izolačním systémem resin-rich, které nejsou tak pevně spojeny se statorovým jádrem, mají v přítomnosti oleje sklony k pohybu uvnitř drážek. [6,7]

Vliv znečištění na izolační stav lze sledovat pomocí diagnostických měření v off-line režimu. Mezi nejjednodušší metody patří vizuální kontrola, díky níž je možno na první pohled odhalit případná poškození. Jako další metody vhodné pro tento typ diagnostiky lze uvést měření povrchového odporu, izolačního odporu nebo ztrátového činitele $tg \delta$. Nejčastější způsob měření ztrátového činitele je měření pomocí Scheringova můstku. Pro měření v provozních podmínkách je využíváno speciálních měřicích přístrojů, které mají vysokou přesnost a snadnou obsluhu. Přístroj vhodný pro diagnostiku v provozních podmínkách je mobilní jednotka MIDAS 2880 (Obr. 3), která umožňuje i okamžitou analýzu stavu izolačního systému. [8]



Obr. 3 Mobilní diagnostická jednotka MIDAS 2880 (převzato z: [9])

2 Přehled čisticích metod

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, u točivých strojů dochází ke znečištění, která je mohou vážně poškodit, či dokonce zničit. V současné době se využívají čisticí metody tzv. suchou a mokrou cestou. Čištění suchou cestou zahrnuje mechanické čištění, čištění stlačeným vzduchem nebo tryskání suchým ledem. Čištění mokrou cestou je například tlakové čištění, čištění ultrazvukem, či moderní čištění pomocí CT Technologie.

2.1 Mechanické čištění

Jedná se o nejzákladnější druh čištění. Ač je to manuálně nejnáročnější proces, z hlediska financí se jedná o nejlevnější variantu. Nevýhodou je možnost nametení některých částecek nečistot do míst, odkud nepůjdou již žádným způsobem dostat ven. Výhodou oproti tomu je, že není potřeba kvalifikovaného personálu a speciálního čisticího vybavení. Pro tento druh čištění postačí štětec se silikonovým vlasem. Tento proces čištění se využívá spíše doplňkově, jako předčišťovací nebo konečná fáze. Z hlediska bezpečnosti se jedná o bezpečné čištění, které nepodléhá žádnému legislativnímu nařízení. [7,10]

2.2 Čištění stlačeným vzduchem

Jde o další z tak zvaných doplňkových metod. Oproti mechanickému čištění má tato metoda vyšší účinnost. Je však časově náročnější. Zdrojem stlačeného vzduchu je kompresor nebo kompresorová stanice. Kompresor vhodný pro tento druh čištění je na *Obr. 4*. V koupi kompresoru také spočívá jediná počáteční investice, jelikož čisticím médiem je vzduch. Ten působí na nečistoty, které může taktéž zanést do míst, ze kterých se již nedostanou ven. Takto zanesené nečistoty by mohly způsobit vytvoření vodivé cesty. Ta by mohla mít pro stroj katastrofální účinky. [10,11]



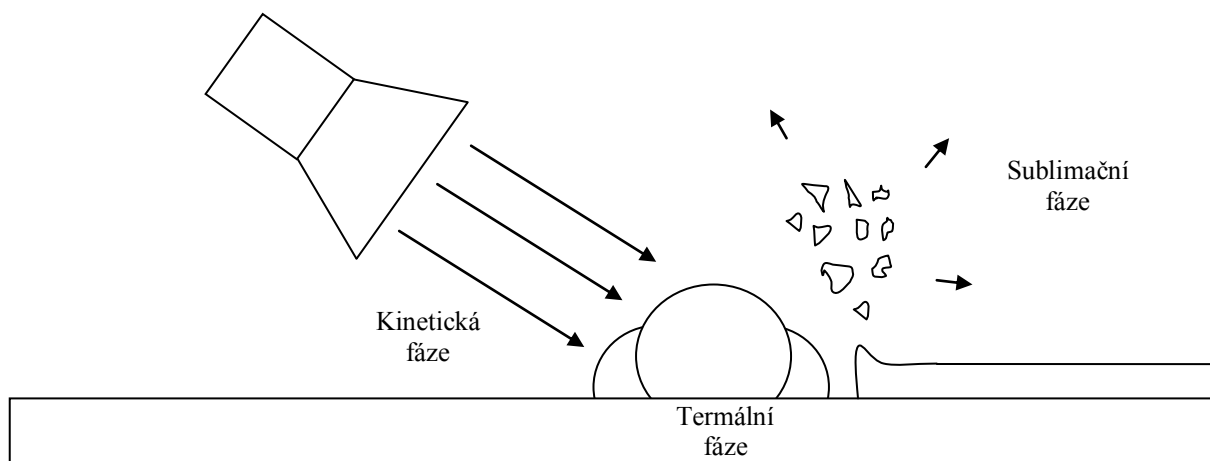
Obr. 4 Kompresor UNM – 50 – 60 (převzato z: [12])

Použití stlačeného vzduchu podléhá bezpečnostním předpisům, a je nutno vyškolit pracovníky. Další podmínkou je správné odvětrání místnosti, jelikož při tomto čištění dochází k unášení drobnějších částic do ovzduší. Při čištění velkých strojů je nutno zajistit aktivní odsávání. [10]

2.3 Tryskání suchým ledem

Jedná se o další z často využívaných metod. Dochází zde k tryskání částic CO_2 , které jsou unášeny stlačeným vzduchem na povrch vinutí. Pelety CO_2 jsou podchlazeny na hodnotu $-79\text{ }^\circ\text{C}$. [7] Oxid uhličitý je inertní plyn bez zápachu, kterého se vyskytuje v atmosféře přibližně 0,03 % a pro tento způsob čištění se využívá v pevném skupenství. Celý proces tryskání probíhá ve třech částech:

1. Kinetická fáze – pelety CO_2 dopadají rychlostí zvuku na povrch izolace, kde prvotně naruší a uvolní nečistoty,
2. Termická fáze – díky nízké teplotě CO_2 dojde k ochlazení nečistot tak, že se stanou křehké a lehce oddělitelné od povrchu izolace,
3. Sublimační fáze – pelety CO_2 sublimují, čímž až 800 krát zvětší svůj objem a způsobí explozivní efekt, který definitivně oddělí nečistotu od povrchu izolace. [13,14,15]



Obr. 5 Tryskání suchým ledem [16]

Tato metoda je velmi účinná. V praxi se využívá díky tomu, že nemá žádný negativní vliv na životní prostředí, jelikož se nepoužívají žádné toxické látky ani chemikálie. Toho lze zejména využít u vodních elektráren. V uzavřených prostorách je nutné odvětrávání či nejlépe aktivní odsávání. Pro tento způsob čištění se vyžaduje školení zaměstnanců, jelikož při nesprávné manipulaci by mohlo dojít k vážné ujmě na zdraví obsluhující osoby. V lepším

případě by při špatné obsluze mohlo dojít k dlouhodobému tryskání média na jedno místo izolace a tím k narušení izolační vrstvy. [7,10,13]

Vlastnosti:

- Neabrazivní metoda,
- nehořlavé a nevodivé médium,
- nevzniká sekundární odpad – CO₂ se odpaří a nečistoty se vyfoukají či vymetou,
- suchý proces – nezatéká do útrob stroje. [13,14]

Tento způsob čištění je nevhodný pro stroje využívající olejové hospodářství. Při aplikaci pelet je olej pouze rozmazáván a efektivita je v tomto případě znatelně menší. [7]

2.4 Ostřikování vodou pod vysokým tlakem, parní čištění

Jedná se o nejefektivnější metodu pro čištění vinutí, v případě, že máme možnost odstranění zbývající vlhkosti. Základem metody je ostřikování povrchu vinutí vodou pod vysokým tlakem nebo parním tlakem. Vlivem působení tlaku p [Pa] dojde k uvolňování nečistot z povrchu vinutí. Platí zde rovnice, čím větší tlak, tím větší čisticí efekt. V případě dlouhodobého nebo příliš silného tlakového namáhání, může ale dojít k poškození izolace. V praxi se však tato metoda osvědčila, a to díky převážné aplikaci na robustní izolační systémy velkých točivých strojů. [7,10]

Tato metoda je jednoznačně nejlevnější v kategorii mokrých metod, jelikož je zde jako čisticí médium využívána voda, popř. pára. Opět je největší investice v nákupu čisticího zařízení. Tato zařízení dokážou pracovat s tlakem 3 až 15 MPa. Pro toto čištění je nutno školeného personálu, což jsou další finanční náklady, ale v celkovém objemu nehrají tak velkou roli. [10]

Mezi nevýhody, tak jako u čištění stlačeným vzduchem, patří možnost zanesení nečistot do špatně dostupných míst. V tomto případě navíc přibývá možnost zůstatku vlhkosti uvnitř stroje. Jelikož molekuly vody disociují¹ na ionty, které způsobují pohyb elektrického náboje po povrchu izolačního systému, je nutno provést důkladné odvlhčení. Vysoušení je možno provádět několika způsoby. Jsou jimi:

- samovolné oschnutí na vzduchu,
- vysoušení stlačeným vzduchem,
- vysoušení ve speciálních pecích. [7,10,17]

¹ Disociace – proces, při kterém dochází ke štěpení molekul na menší složky. [18]

Samovolné oschnutí se v praxi neprovádí. Trvalo by několik dní a nikdy bychom neměli jistotu, že je stroj úplně vysušen. K vysušení menších vlhkostí využijeme stlačený vzduch, ale stále je to velmi časově náročné a neefektivní čištění. Nejčastěji se provádí čištění ve speciálních velkých pecích. V tomto případě musíme dávat pozor, aby nedošlo k překročení teploty 93 °C v průběhu prvních 6 hodin čištění, a zamezilo se vzniku par uvnitř vinutí, což by taktéž mohlo vést k poškození stroje. V neprospěch takového způsobu vysoušení mluví vysoká pořizovací cena pece. Můžeme však použít pec pro vytvrzování impregnantu. [7,10,17]

Z hlediska bezpečnosti jde o metodu, při které mohou vzniknout závažná poranění. Toto čištění proto musí provádět jen školení zaměstnanci a musí být zajištěno odvětrávání, aby nedošlo k rozdmýchání nečistot do ovzduší. Tato metoda se nedoporučuje aplikovat na staré izolační systémy obsahující asfaltové nebo šelakové mikafolium. [7,10]

2.5 Airless tlakové čištění – CT Technologie

Základem metody je tlakové čištění, kde je čisticím médiem speciální čisticí prostředek. Název CT Technologie pochází od brněnské firmy ct austria NICRO spol. s r.o., která se specializuje na aplikaci této metody. V současnosti dochází k stálému rozšiřování této metody, jelikož lze aplikovat i na špatně dostupná místa, jako jsou například čela vinutí. [10,19]

Základním vybavením pro tuto metodu jsou membránová tlaková čerpadla. Ta dovedou pracovat s tlakem až 22 MPa. [10] Princip tlakového čerpacího zařízení spočívá ve změně objemu prostoru uzavřené nádoby, do které je médium podtlakem nasáto a posléze vytlačeno. Nedochozí zde ke kontaktu média s vnějším prostředím. Lze tedy říci, že tato zařízení spadají do kategorie „airless“. [19,20] Čisticí médium je na bázi alkanů, což jsou nasycené uhlovodíky pouze s jednoduchou vazbou mezi atomy uhlíku. [21]

Tento způsob čištění lze aplikovat jak při provozu (do 1000V), tak při demontovaném motoru. Čisticí proces může být buď jednocestný, nebo dvoucestný. Jednocestný proces je využíván lokálně, tam kde není možná manipulace s točivým strojem. U dvoucestného způsobu je navíc využíváno funkce předčističe. Ten se aplikuje převážně u menších točivých strojů, které je možno umístit do vany, kterou za pomoci průtokového čerpadla protéká předčisticí prostředek. [10,19] Čisticím a předčisticím prostředkům je věnována celá třetí kapitola.

Z ekonomického hlediska se jedná o metodu celkem nákladnou v porovnání s ostatními metodami. Cena čištění je v řádech desítek tisíc korun. Cena čisticích prostředků

se pohybuje kolem 200 Kč za litr. Další položku představuje investice do školení zaměstnanců. Vysoká cena čisticího procesu je ale vykoupena jeho efektivností. [10]



Obr. 6 Kovový kryt před a po aplikaci CT Technologie (převzato z: [19])

Mezi výhody patří rychlost, kde jeden čisticí proces trvá přibližně 5 hodin. Dle náročnosti čištění se provádí 1 – 6 oplachů. Další z výhod je, že některé z čisticích prostředků vytlačují vlhkost z vinutí stroje, a tím zlepšují jeho izolační vlastnosti. Nevýhodou je cenová náročnost čištění a těkavost některých látek s nízkými zápalnými teplotami. [10]

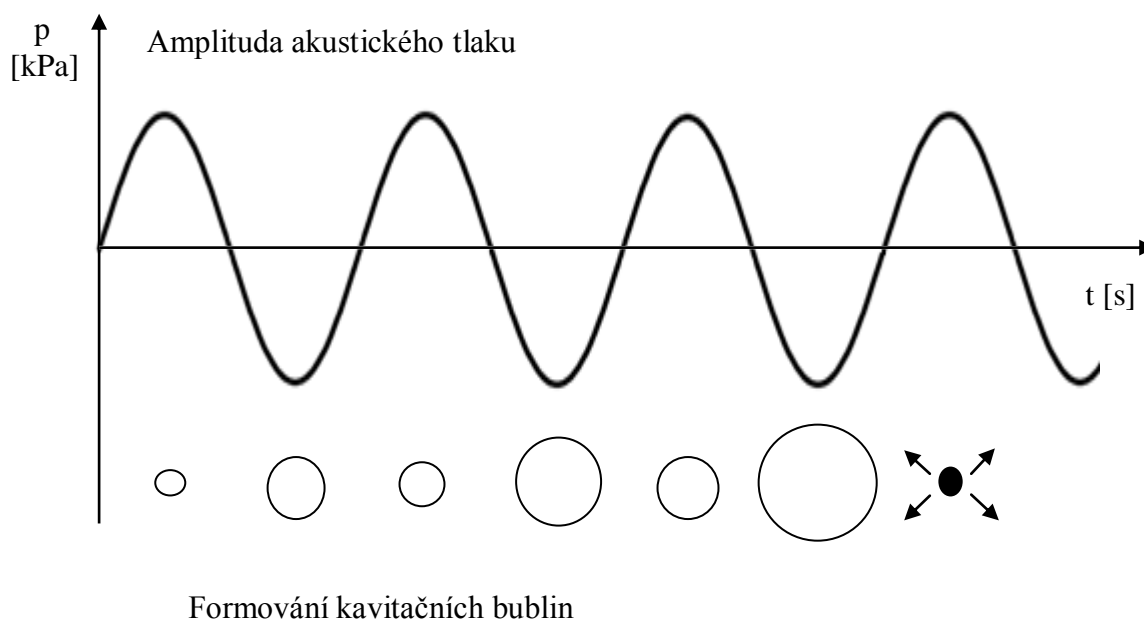
Z hlediska bezpečnosti se jedná o metodu náročnou na bezpečnostní opatření. Je nutno zajistit školení pracovníků a zabránit úniku čisticích prostředků do životního prostředí. Další opatření musí být provedena kvůli již zmíněné těkavosti některých látek.

2.6 Ultrazvukové čištění

Ultrazvukové čištění je technologie, kde se využívá zvukových vln vysokých frekvencí. Má různorodé použití. V technice se ale nejčastěji využívá k odstranění nečistot, jako je např. olej, mastnot a různé provozní znečištění, jako např. rez. Materiály, které se touto metodou dají vyčistit, jsou například kov, keramika či sklo. Uvádí se, že ultrazvukové čištění je dostatečně silné pro odstranění velkých nečistot, a zároveň tak jemné, že nenaruší čištěný povrch. V praxi se ukazuje, že je tato metoda velmi rychlá a účinná, avšak pro již ne tak dokonalé izolační systémy může způsobit poškození izolační vrstvy vinutí. Z hlediska bezpečnosti se však pro člověka jedná o metodu bezproblémovou. Ultrazvuková metoda umožňuje čistit pouze menší elektrické točivé stroje nebo jeho části, které je možno vyjmout a ponořit do vany. U větších zařízení je to nemožné, nebo příliš nákladné. [22,23,24]

Základním principem této čisticí metody je proces kavitace. Jedná se o jeden z vedlejších účinků, vznikající při ozáření média, které při amplitudě v řádech tisíců až desetin mm způsobuje rychlé kmitání pružného média a jeho velké zrychlení. Vakuové

bubliny miniaturních rozměrů vznikají a rostou díky střídání pozitivní a negativní tlakové vlny v roztoku, až do rezonančních rozměrů. To je možno vidět na *Obr. 7*. Když bubliny dále pokračují v nabývání jejich velikosti, dojde k uvolnění energie, která je v nich nashromážděna, tedy k implozi. Těchto jevů je během okamžiku velký počet, který sahá až k milionům, a tím dochází k čištění povrchu materiálu. [22,23,25]



Obr. 7 Velikost a chování kavitačních bublin v závislosti na akustickém tlaku [26]

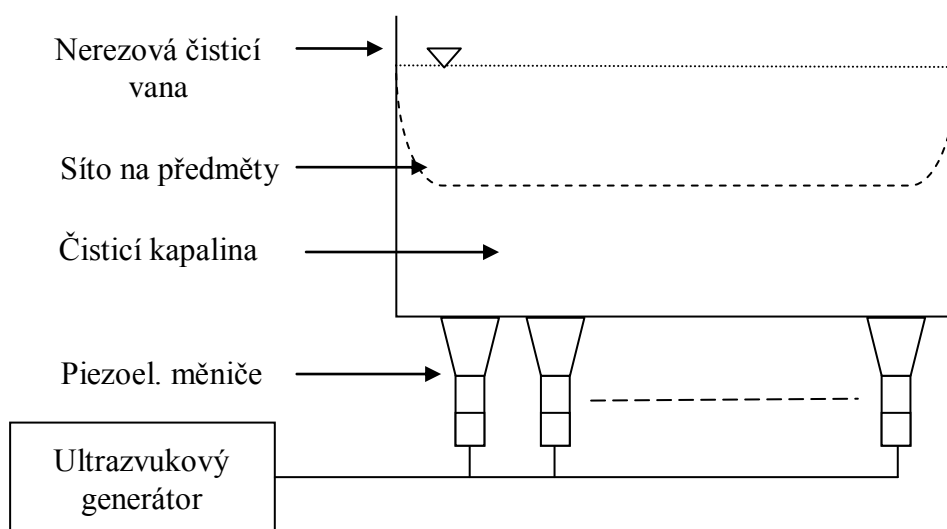
Vlivem tlaku dochází k roztržení nerozpustitelné špíny v těžko dostupných místech a i tam, kde jsou mezery ve vinutí motoru a umožní se tak v těchto mezerách proniknutí čistícího roztoku až na povrch. Tento tlak také umožní odstranění rzi a znečištění způsobené olejovým hospodářstvím. Na samotné čištění má vliv také teplota roztoku. Dá se říci, že větší teplota roztoku znamená větší intenzitu kavitace. Pro vodu je nejvhodnější teplota okolo 70 °C, pro některé roztoky, například louh, je nejvhodnější teplota přibližně 82 °C. U rozpouštědel je tato hodnota okolo 7 °C. Je nutno dbát na to, aby se teplota roztoku nepohybovala těsně pod bodem varu. Mohlo by dojít k tomu, že by roztok začal vařit, a tím by došlo k utlumení či úplnému zániku kavitačního jevu. [22,23]

Obecně se čistící zařízení skládá z čistící vany, měničů a ultrazvukového generátoru. Měniče mohou být buď piezoelektrické, nebo magnetostrikční a transformují vysokofrekvenční energii na akusticko-mechanické kmity. Piezoelektrický měnič je tvořen keramickým (nejčastěji titaničitanozirkoničitanem olovnatým) krystalem sendvičového

provedení. Při průchodu napětí dochází k posunutí krystalu. Toto posunutí je známo jako piezoelektrický jev. Při spojení s membránou je měnič schopen vytvořit tlakovou vlnu ve vodním roztoku. Mezi výhody těchto měničů patří jejich nízká materiálová nákladnost a nenákladná výroba. Jako nevýhodu lze považovat jejich nízkou životnost a náchylnost k eroznímu poškození membrány. [22,25]

Naproti tomu magnetostrikční měniče jsou robustní a odolné v průmyslových aplikacích. Skládají se z niklových lamel spojených s cívkami, které jsou umístěny v zásobníku. Při průchodu proudu cívkou dochází k vytvoření magnetického pole a zásobník vibruje na frekvenci proudu. Výhodou je, že poskytují stejný výkon po celou dobu života a povrch membrány je odolný vůči erozi. Magnetostrikční měniče mají ale menší účinnost než piezoelektrické. [22]

Ultrazvukový generátor mění klasickou frekvenci f o hodnotě 50 Hz na vysoké hodnoty frekvencí od 20 kHz do 80 kHz. Objemová hustota výkonu se udává přibližně 10-25 W/litr objemu vany. Moderní generátory jsou navrženy tak, aby odstranily tak zvané stojaté vlnění a tím eliminovaly problematická místa v nádrži. V praxi to znamená, že generátor navržený např. na 25 kHz pracuje s hodnotami 24 kHz až 26 kHz. [22,25]



Obr. 8 Ultrazvuková čistička [27]

Ultrazvukové vany jsou obvykle obdélníkového tvaru a není zde prakticky žádné omezení týkající se jejich velikosti. Jsou zde jen limity v podobě největšího možného čistěného předmětu. Ve většině případů jsou měniče umístěny ve spodní části vany. Méně často mohou být umístěny po stranách ultrazvukové vany. V některých případech mohou být vodotěsné měniče ponořeny přímo do vodního roztoku. Samotný materiál musí být jedine z antikorozičního materiálu. [22,25]

Jednou z nejdůležitějších součástí, která je potřebná k ultrazvukovému čištění, je čisticí roztok. Vhodnou volbou by mohl být vodný roztok. Je nehořlavý, netoxický a šetrný k životnímu prostředí. Může ale nastat problém s jeho vysokým povrchovým napětím a následným vysoušením stroje. Proto se volí roztoky chemické. Obecně by měl roztok splňovat podmínky, jimiž jsou: nízké povrchové napětí, malá viskozita a hustota podobná hustotě vody. Dále by měl chemicky působit na nečistoty a neměl by působit korozně na čištěný materiál. Roztoky a jejich použití podléhají legislativním ustanovením a předpisům. [22,25]

2.7 Technologický postup čištění generátoru

V následujících odstavcích bude popsán realizovaný čisticí proces z roku 2002, kdy došlo k zaplavení několika generátorů na Orlické přehradě. Velká voda způsobila zanesení a znečištění různého rozsahu. O čištění se tehdy postarala brněnská společnost LARS Chemie spol. s.r.o. Z produktového portfolia máme k dispozici pro testování vlivů na izolační systémy i jeden z jejích roztoků, a to KALTREINIGER 716. Pro společnost je čištění v současné době jen doplňkovou činností. Hlavní pole působnosti má v distribuci chemie pro většinu průmyslových odvětví. Dále se zabývá povrchovou úpravou, jako je např. stříbření nebo cínování. Celý technologický postup lze rozdělit do tří dílčích aktivit – přípravy, čištění a úklidu pracoviště. [10,28]

Příprava

Jedná se o proces prevence proti znečištění čisticími prostředky nebo částmi nečistot z generátoru. V prvním kroku došlo k zakrytí podlahy. Jako krycí materiál se využilo PVC a textilie. Dále musely být zakryty i demontované části generátoru, aby nedošlo k vniknutí tekutiny do jejich útrob. Po vyhodnocení situace ze strany investora, byla zařízení citlivá na vlhkost dodatečně zakryta. Z hlediska bezpečnosti práce museli být pracovníci provádějící čištění vybaveni ochrannými pomůckami, jako jsou helma, ochranná maska s respirátorem, reflexní vesta nebo ochranná sluchátka. [10]

Čištění

Hlavním a stěžejním bodem je samotné čištění. Jedná se o několikafázový proces. Nejdříve byl aplikován KALTREINIGER 715 pod tlakem 5 – 7 MPa. Jedná se o předčistič pro motory a generátory. Mezi jeho vlastnosti patří víceúčelovost. Odstraňuje veškeré druhy mastnot. Patří mezi ně vosky, tuky nebo dehet. Předčistič se nechal působit 5 – 10 minut, aby došlo k co nejlepšímu odstranění hrubých nečistot. [10,28]

Druhým krokem bylo tlakové omytí roztokem KALTREINIGER HF 180. Jedná se o čirý neředitelný roztok na bázi parafinických uhlovodíků, který má podobné odstraňovací schopnosti jako KALTREINIGER 715, jen má větší efektivitu odmašťování. Po aplikaci tato kapalina vytvoří na povrchu generátoru ochranný konzervační film. [10,28]

Po vyčištění bylo nutno provést vytěsnění vlhkosti ze stroje. K tomuto účelu byla dodána kapalina FEICHTIGKEITSSCHUTZ, která byla pod tlakem přibližně 5 MPa nanášena na vyčištěný povrch. Tento roztok má nadprůměrné vlastnosti vhodné pro vytěsnění vlhkosti nebo vody. Mezi jeho další přednosti patří také vysoká kapilarita, čehož lze využít při mazání těch nejjemnějších obrysů. [10,28]

Úklid pracoviště

Další doplňkovou, avšak nutnou činností, byl úklid pracoviště. Nejprve bylo pomocí průmyslového vysavače provedeno odsátí zbytků kapalin a nečistot z podlahy. Dále bylo nutno vyčistit a odebrat krycí materiál a dbát na to, aby při této manipulaci nevníkly nečistoty zpět do stroje. [10]

2.8 Srovnání jednotlivých čisticích metod

Pro přehlednost je v jednoduché tabulce (*Tab. 1*) uveden souhrn všech stěžejních informací, týkající se čisticích metod. Vzhledem k tomu, že některé způsoby čištění mají různé efektivnosti a rozdílné provozní náklady, je jejich užití otázkou konkrétního případu znečištění.

Tab. 1 Srovnání jednotlivých čisticích metod

Metoda	Čisticí zařízení	Čisticí médium	Efektivnost	Provozní náklady
Mechanické čištění	-	-	Velmi nízká	Velmi nízké
Čištění stlačeným vzduchem	Kompresor	Stlačený vzduch	Nízká	Velmi nízké
Vysokotlaké čištění	Vysokotlaké zařízení	Voda, pára	Vysoká	Nízké
CT technologie	Vysokotlaké zařízení	Chemický roztok	Velmi vysoká	Vysoké
Ultrazvukové čištění	Ultrazvukové čisticí stanice	Chemický roztok	Velmi vysoká	Velmi vysoké

3 Vhodné prostředky pro servisní čištění elektrických točivých strojů

Tato kapitola slouží jako přehled dostupných čisticích prostředků pro servisní čištění. V úvodu této kapitoly je zmíněna legislativa týkající se používání čisticích prostředků, a z ní vycházející grafické či písemné značení produktů. V podrobném rozboru jsou popsány vlastnosti pěti různých čisticích prostředků. Právě těchto pět roztoků jsme měli k dispozici pro laboratorní měření.

3.1 Legislativní ustanovení týkající se bezpečnosti při manipulaci s čisticími prostředky

Jak je již zvykem, většina věcí v našem okolí podléhá ustanovením nebo směrnicím. V chemicko-technologickém průmyslu to platí dvojnásob. Pracovník, který manipuluje s čisticím roztokem, musí být obeznámen tzv. „Bezpečnostním listem“. Formu a obsah bezpečnostního listu udává nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES).

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006

Toto nařízení obsahuje články týkající se chemických látek. Bezpečnostní listy se zhotovují proto, aby bylo možno přijmout veškerá opatření ohledně bezpečnosti pracovníků, bezpečnosti práce a životního prostředí. V příloze II tohoto nařízení je uvedeno, jaké body mají být v bezpečnostním listu obsaženy. Jedná se o:

1. Identifikace látky/přípravku a společnosti/podniku
2. Identifikace nebezpečnosti
3. Složení/informace o složkách
4. Pokyny pro první pomoc
5. Opatření pro hašení požáru
6. Opatření v případě náhodného úniku
7. Zacházení a skladování
8. Omezování expozice/osobní ochranné prostředky
9. Fyzikální a chemické vlastnosti
10. Stálost a reaktivita
11. Toxikologické informace
12. Ekologické informace
13. Pokyny pro odstraňování
14. Informace pro přepravu
15. Informace o předpisech
16. Další informace [29]

O samotné nebezpečnosti látky nebo směsi nás informuje druhý bod v bezpečnostním listu. Látky jsou klasifikovány v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady a podle chemického zákona č. 350/2011 Sb., který jej doplňuje. Tato značení musejí být uvedena i na etiketě balení chemické látky. Z hlediska bezpečnosti se jedná o hlavní identifikační prvek, který se nevyskytuje jen ve formě písemného, ale i grafického označení.

Klasifikace a označování v souladu s nařízením (ES) č. 1272/2008

Z tohoto nařízení vyplývá povinnost jednotného značení chemických látek, směsí nebo balení podle Globálně harmonizovaného systému klasifikace a označování chemikálií (GHS). Tímto nařízením si Evropský parlament a Rada zavdává příslib o zvýšení bezpečnosti lidského zdraví nebo životního prostředí, ale umožňuje i zlepšení obchodování s chemickými látkami a směsmi. V současnosti se využívá tzv. H-vět, které nahradily dříve užívané R-věty. Výstražné piktogramy mají kosočtvercový tvar a na první pohled evokují druh nebezpečí. Ukázka piktogramu je na *Obr. 9*. [30,31]



Obr. 9 Symbol GHS02 – plamen (převzato z: [31])

Příklad standardních vět o nebezpečnosti pro fyzikální nebezpečnost:

H200 Nestabilní výbušnina,

H226 Hořlavá kapalina a páry.

Příklad standardních vět o nebezpečnosti pro zdraví:

H331 Toxický při vdechování,

H304 Při požití a vniknutí do dýchacích cest může způsobit smrt.

Příklad standardních vět o nebezpečnosti pro životní prostředí:

H400 Vysoce toxický pro vodní organismy,

H413 Může vyvolat dlouhodobé škodlivé účinky pro vodní organismy. [32]

3.2 KALTREINIGER 716

KALTREINIGER 716 je neutrální, bezbarvá a vypařující se kapalina bez usazenin, na bázi alifatických uhlovodíků². Nejvhodnější je k rozpouštění a odplavování vosků, tuků, olejů nebo jiných mastných nečistot. Výrobce uvádí, že nepoškozuje železo, hliník, ocel nebo barevné kovy. U syntetických materiálů a měkké gumy je třeba provést testy vzhledem k jejich odolnosti. [33]

Fyzikálně – chemické vlastnosti

Skupenství:	tekutina,
barva:	bezbarvá,
teplota varu:	173 [°C],
bod vzplanutí:	56 [°C],
dolní mez výbušnosti:	0,7 [%],
horní mez výbušnosti:	6,5 [%],
tenze par při 20 °C:	200 [Pa],
hustota při 20 °C:	0,76 [g/cm ³],
viskozita:	2 [mm ² /s],
elektrická pevnost:	51 [kV/cm]. [34]

Základní chemické složky

Jelikož přesné chemické složení výrobci tají, lze zjistit obsah roztoku z bezpečnostního listu, a to velmi omezeně. Základní chemickou složkou roztoku KALTREINIGER 716 jsou alkany, konkrétně C9-12-iso-, které jsou v čisticím prostředku obsaženy v rozmezí 50 – 100 %. [34] Jedná se o soustavu alifatických uhlovodíků s 9 až 12 atomy uhlíku, které jsou zřetězeny jednoduchými vazbami. [35]

Aplikace a oblast použití

Aplikace roztoku je možná pomocí štětce, ponořením nebo nastříkáním pomocí tlakového zařízení. Tento prostředek je možno použít i u ultrazvukového čištění, jen je třeba dbát na to, aby teplota lázně nepřekročila 38 °C, což by mohlo způsobit utlumení či zánik kavitacevního jevu. Zbytkový film je možný odstranit teplým či studeným proudem vzduchu. [33]

² Alifatické uhlovodíky – sloučeniny obsahující vodík a uhlík v přímých nebo rozvětvených řetězcích. Mohou být nasycené nebo nenasycené. [36,37]

Tento čisticí prostředek se díky relativně rychlému vypařování hodí pro čištění všech běžných kovů, vinutí elektrických točivých a netočivých strojů, elektronických součástí nebo rozvodných skříní. Používá se pro čištění stroje v beznapěťovém stavu. Při extrémním znečištění je dobré použít předčistič, např. KALTREINIGER 715 G. [33]

Distribuce a cena

Na českém trhu jej distribuuje společnost LARS Chemie spol. s.r.o. a Falcon Czech s.r.o. a prodává se v desetilitrových, třicetilitrových a dvěstělitrových baleních. Ceny jednotlivých balení jsou 1 346 Kč, 4037 Kč a 26 910 Kč. [38]

3.3 Kempt II.

Kempt II. je čirý čisticí prostředek se specifickým zápachem. Je vhodný pro odstraňování všech druhů mastných usazenin, jako jsou například oleje, vosky ale i pro odstraňování zbytků barev nebo některých druhů lepidel. Nezanechává žádné usazeniny a je netečný vůči kovovým materiálům, lakům, izolacím nebo silným plastům. [39]

Fyzikálně – chemické vlastnosti

Skupenství:	tekutina,
barva:	bezbarvá,
bod vzplanutí:	25 [°C],
dolní mez výbušnosti:	1,2 [%],
horní mez výbušnosti:	9,3 [%],
tenze par při 50 °C:	110 [kPa],
hustota při 20 °C:	0,775 [g/cm ³],
viskozita:	7 [mm ² /s],
elektrická pevnost:	25 [kV/cm]. [39,40]

Základní chemické složky

Základní složkou je benzínová frakce, hydrogenovaná těžká, což je: „složitá směs uhlovodíků získaná hydrogenací ropné frakce v přítomnosti katalyzátoru³“. [41] Ta je obsažena v 50 až 100 procentech objemu roztoku. Další složkou je propylen glykol monomethyl ether (PGME), který má sumární vzorec C₄H₁₀O₂ a je obsažen v 10 až 25 procentech objemu roztoku. [42] Další složkou je cyklohexanon, který má sumární vzorec

³ Katalyzátor – látka sloužící k urychlení/zpomalení reakce, na jejímž výstupu je nezměněna. [43]

C₆H₁₀O a je obsažen v 2,5 až 5 procentech objemu čisticího prostředku. [41,44]

Aplikace a oblast použití

Prostředek Kempt II. je možno aplikovat všemi výše zmíněnými metodami. Má velmi vysokou rychlost vypařování, což znamená značné urychlení celého čisticího procesu. Upotřebením najde zejména u čištění elektromechanického vybavení, vinutích točivých a netočivých strojů, krytů nebo při povrchové úpravě kovů. [39]

Při manipulaci je třeba dbát na to, aby nedošlo k zahřátí roztoku. Vždy je nutno ho používat studený. Po vyčištění je důležité provést očištění nebo vysušení částí pomocí stlačeného vzduchu. [39]

Distribuce a cena

Tento výrobek na českém trhu distribuuje společnost NCH Czechoslovakia s.r.o., a jedná se o nejdražší z uvedených prostředků s cenou 300 Kč za litr.

3.4 NICRO 1065

Jedná se o čisticí prostředek určený speciálně pro čištění elektrických motorů, generátorů a transformátorů. Hodí se i na silné znečištění, odstraňuje a rozpouští olej, prach nebo zbytky spalin. Výrobce udává, že nenapadá ani nepoškozuje materiály používané v elektrotechnickém průmyslu. Jeho aplikace se doporučuje zejména při odmašťování statorových vinutí před aplikací izolačních laků. Není jedovatý ani karcinogenní. [45]

Fyzikálně – chemické vlastnosti

Skupenství:	tekutina,
barva:	bezbarvá,
teplota varu:	190 [°C],
bod vzplanutí:	63 [°C],
dolní mez výbušnosti:	0,6 [%],
horní mez výbušnosti:	6,9 [%],
tenze par při 20 °C:	100 [Pa],
hustota při 20 °C:	0,752 [g/cm ³],
viskozita:	1,2 [mm ² /s]. [45,46]

Základní chemické složky

Základní chemickou složkou jsou alkany C11-15-iso-. Jedná se o kombinaci alifatických uhlovodíků s 11 až 15 atomy uhlíku, které jsou zřetězeny pomocí jednoduchých vazeb. [35] Tyto látky tvoří maximálně 95 % objemu čisticího prostředku. Zbytek roztoku je tvořen netěkavými látkami. [46]

Aplikace a oblast použití

NICRO 1065 je možno aplikovat formou postřiku pomocí vysokotlakého čerpadla při tlaku od 5 do 20 MPa. Dále je možno jej nanášet i mechanicky pomocí textilie nebo štětce. Pro lepší efektivitu čištění je lepší nechat ho působit několik minut, a poté ho pomocí stlačeného vzduchu zcela vysušit. Pro mytí malých součástek je nejvhodnější způsob čištění ponor do kapaliny. [45]

Čisticí roztok NICRO 1065 je možno také využít pro čištění v mycích vanách s průtokovým štětcem nebo s cirkulací. Zde je nutno ho po vyjmutí stroje z lázně ofoukat stlačeným vzduchem. Pokud je značení provedeno podle normy, lze tento čisticí roztok používat i pro čištění rozvaděčů. [45]

Distribuce a cena

Společnost ct austria NICRO spol. s.r.o. ukončila distribuci výrobků společnosti NICRO. V současné době je možno produkt získat u společností MOTIP DUPLI s.r.o. a Falcon Czech s.r.o.. Nabízena je ve dvou variantách a to buď 50, nebo 200 litrů, přičemž ceny balení jsou 8 992 Kč a 30 250 Kč. [47]

3.5 Competent

Competent je univerzální průmyslový čisticí prostředek využívaný pro své dobré čisticí vlastnosti. Odstraňuje oleje, tuky, ložiska mastnoty a zbytky prachu. Jedná se o velmi rychle se odpařující látku s mírným zápachem bez obsahu chlóru. Dle výrobce nenapadá kovy, plasty, tvrdé gumy či laky. [48]

Fyzikálně – chemické vlastnosti

Skupenství:	tekutina,
barva:	bezbarvá,
teplota varu:	160 [°C],
bod vzplanutí:	40 [°C],
dolní mez výbušnosti:	0,6 [%],

horní mez výbušnosti:	7 [%],
tenze par při 20 °C:	>10 [Pa],
hustota při 20 °C:	0,75 [g/cm ³],
viskozita:	< 2 [mm ² /s],
elektrická pevnost:	25 [kV/cm]. [48,49]

Základní chemické složky

Základní složkou jsou alkany, C9-12-iso-, které jsou obsaženy v 50 až 100 procentech roztoku. Další složkou jsou alkany, C11-15-iso-, které jsou obsaženy v rozmezí 1 až 2,5 % objemu roztoku. [49] Výše zmíněné alkany jsou již popsány v kapitolách 3.2 a 3.4.

Aplikace a oblast použití

Přípravek Competent lze nanášet všemi zmíněnými způsoby čištění. Pro menší znečištění stačí použít textilie nebo štětec. U velkých znečištěných ploch je vhodné použít tlakové čištění při maximálním tlaku. [48]

Competent najde uplatnění především v technickém průmyslu. Je vhodný zejména pro čištění elektrotechnických zařízení, ale i strojních součástí či automobilových dílů. Aby nedošlo k požáru, je nutné dbát na teplotu okolního prostředí. [48]

Distribuce a cena

Tento výrobek na českém trhu distribuuje společnost NCH Czechoslovakia s.r.o., a cena za jeden litr čisticího roztoku je 144 Kč.

3.6 Spirdane D60

Spirdane D60 je jeden z produktů společnosti Total, který spadá do produkční řady „White Spirit“. Jedná se o čirou kapalinu s mírným zápachem a nízkou viskozitou. Spirdane D60 je nerozpustný ve vodě, nepůsobí agresivně na kovy využívané v technickém průmyslu, ale může reagovat se silnými oxidačními činidly⁴. [50]

Fyzikálně – chemické vlastnosti

Skupenství:	tekutina,
barva:	bezbarvá,
teplota varu:	220 [°C],

⁴ Oxidační činidlo – látka přijímající elektron od jiné látky při oxidačně-redoxní reakci. [51]

bod vzplanutí:	62 [°C],
dolní mez výbušnosti:	0,6 [%],
horní mez výbušnosti:	7 [%],
tenze par při 20 °C:	< 60 [Pa],
hustota při 15 °C:	0,785 [g/cm ³],
viskozita:	1,77 [mm ² /s]. [52]

Základní chemické složky

Spirdane D60 je složitou variací parafinických a cyklických uhlovodíků, kde je převážná část roztoku tvořena alkany, C10-13-iso-. [52] Tyto alkany jsou složeny z 10 až 13 atomů uhlíku tvořících řetězec pomocí jednoduchých vazeb. [35]

Aplikace a oblast použití

Jelikož se jedná o standardní průmyslové čisticí, lze Spirdane D60 aplikovat všemi základními čisticími metodami. Vždy závisí na rozsahu znečištění a finančních požadavcích na samotné čištění. Jako nejefektivnější je využití tlakového čištění.

Spirdane D60 sdružuje dobré rozpouštěcí vlastnosti a dostatečnou dobu odpařování. Nejvhodnější je pro čištění zbytků barev, mastnot a olejů používaných v technickém průmyslu. Roztok Spirdane D60 patří do kategorie ekotoxikologických prostředků, což je velký klad vzhledem k možnostem jeho využití. [50]

Distribuce a cena

O distribuci produktů Spirdane, tedy i o produkt Spirdane D60 z edice „White Spirit“, se stará společnost TOTAL ČESKÁ REPUBLIKA s.r.o. sídlící v Praze. Cena za litr roztoku je 44 Kč.

3.7 Srovnání jednotlivých čisticích prostředků

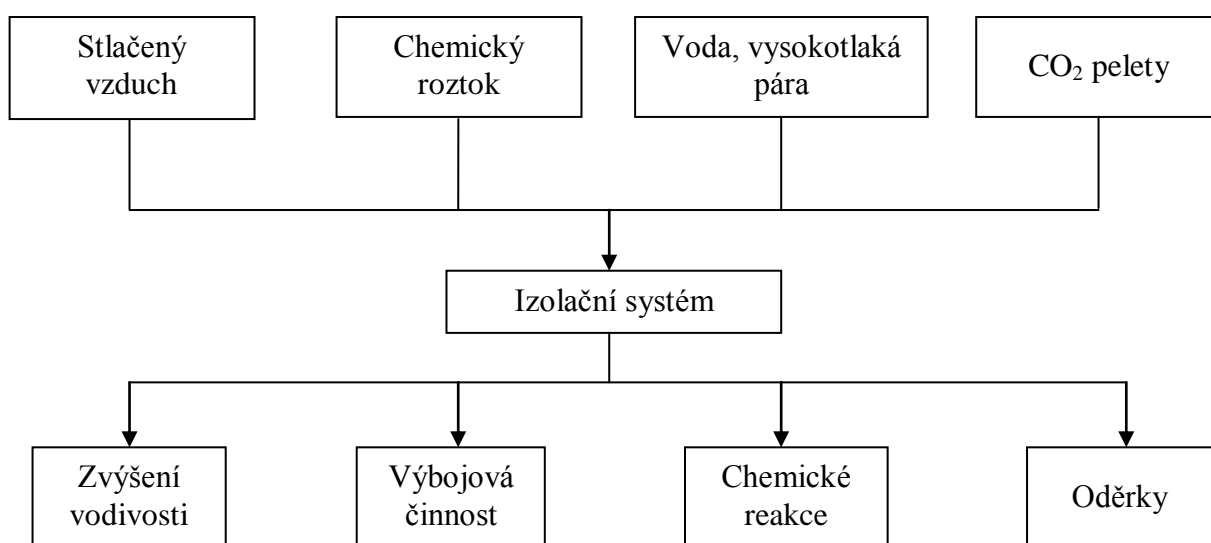
Tab. 2 Srovnání jednotlivých čisticích prostředků

Název	Distributor	Teplota varu [°C]	Bod vzplanutí [°C]	Hustota [g/cm ³]	Viskozita [mm ² /s]	Cena [Kč/l]
KALTREINIGER 716	Lars Chemie	173	56	0,76	2	135
Kempt II.	NCH Czechoslovakia	-	25	0,775	7	300
NICRO 1065	Motip Dupli	190	63	0,752	1,2	151
Competent	NCH Czechoslovakia	160	40	0,75	<2	144
Spirdane D60	Total	220	62	0,785 ⁵	1,77	44

⁵ Velikost hustoty při teplotě 15 °C, u ostatních prostředků se jedná o hodnotu při teplotě 20 °C

4 Rozbor možností napadání povrchu izolačního systému vlivem servisního čištění

Většina výrobců čisticích prostředků udává, že jejich produkty nemají vliv na změnu stavu izolačních systémů. Jelikož se ale jedná o chemické roztoky, a nemusí se jednat jen o ně, dochází zde k degradaci povrchu izolačního systému. Při špatně provedeném čištění, nedostatečném odstranění vlhkosti, či dlouhodobém působení čisticích prostředků, může dojít k fatálním následkům mající vliv na životnost stroje. V této kapitole bude popsáno, jaké příčiny a z nich vyplývající následky (Obr. 10) vedou k degradaci povrchu izolačního materiálu, a tím ke zhoršení jeho vlastností.



Obr. 10 Aspekty způsobující degradaci povrchu při servisním čištění

Jednou z hlavních příčin způsobující degradaci povrchu je již zmíněná vlhkost. Adsorbce vlhkosti je dána povrchovou strukturou daného izolačního materiálu. [53] Vlhkost ve stroji může zůstat jak po čištění vodou, tak po čištění speciálním chemickým roztokem. Pro stroj má několik negativních následků. Mezi nejzásadnější patří zvýšení elektrického namáhání a tepelného stárnutí. [54,55]

Další z degradačních příčin jsou chemické reakce probíhající mezi izolačním materiálem. Chemické reakce, když nepočítáme reakce mezi ionty vody a samotnou izolací, jsou způsobeny z valné většiny speciálními chemickými roztoky. To může mít za následek odlamování či delaminování izolace, což vede k dalším změnám charakteristických vlastností izolačního materiálu. [54]

4.1 Zvýšení vodivosti

V důsledku strukturálních změn na povrchu izolačního materiálu dochází ke zvýšení vodivosti izolačního systému. To má za následek nárůst teplotního zatížení izolace. Vlivem rostoucí teploty dochází ke změnám rozložení elektrického namáhání a k následnému elektrickému a tepelnému stárnutí. [54]

Tepelné stárnutí

Jedná se o proces, při němž dochází k degradaci dielektrického materiálu, což má za následek jeho možnou destrukci. Z hlediska spolehlivosti celého zařízení je teplotní odolnost jeden z nejslabších článků. Jelikož se jedná o dlouhodobý proces, dá se analyzovat pouze díky modelům zrychleného tepelného stárnutí. [56,57]

Tepelné stárnutí způsobuje např. křehnutí izolace, snížení mechanické pevnosti, snížení přilnavosti vrstev izolačního systému či delaminaci povrchu. Z vizuálního hlediska budou známky tepelného stárnutí závislé na druhu izolace. U termoplastických izolačních systémů dojde k nafouknutí izolace, která při poklepaní bude znít dutě. U reaktoplastických izolačních systémů k tomuto jevu dochází až při velkém tepelném poškození. [6]

4.2 Výbojová činnost

Při změně struktury izolačního systému, která je způsobena jednou z příčin znázorněných na *Obr. 10*, může následně docházet ke zvýšení výbojové činnosti. Mezi druhy výbojů, které jsou těmito změnami ovlivňovány, patří částečné výboje.

Částečné výboje

Jedná se o výboje, které vznikají jako důsledek soustředění lokálního elektrického namáhání v izolaci nebo na jejím povrchu, přičemž dochází k vytváření proudových nebo napěťových impulsů. Doba trvání těchto impulsů je mnohem menší než 1 μ s. Dá se tedy říci, že částečné výboje jsou lokalizované výboje. [58]

Částečné výboje dělíme dle místa jejich výskytu na vnější částečné výboje, vnitřní částečné výboje a povrchové částečné výboje. Jako příklad vnějších částečných výbojů lze uvést doutnavé a korónové výboje. Vnitřní částečné výboje jsou např. výboje v dutinkách pevného dielektrika. Mezi povrchové částečné výboje patří například klouzavé výboje na výstupu vinutí z drážky. [8]

Částečné výboje mají negativní vliv na spolehlivost a životnost izolačních systémů. Vlivem působení částečných výbojů na izolační systémy dochází k nezvratným změnám

souvisejících především s jejich elektrickými vlastnostmi. [8]

4.3 Chemické reakce

Chemické reakce mezi čisticími prostředky a povrchem izolačního materiálu jsou dalším podstatným degradačním činitelem působícím na stav izolačního systému. Ač výrobci uvádějí, že jejich čisticí roztoky nikterak nenapadají izolační materiály, bylo ověřeno, že při dlouhodobém působení dochází ke značným změnám struktury materiálu, a tím i ke změnám jeho elektrických i mechanických vlastností.

Na *Obr. 11* je ukázka toho, jak byl povrch izolačního systému napaden chemickým čisticím roztokem. Jedná se o porovnání původního stavu a stavu izolačního systému po 50 dnech působení čisticího prostředku Kempt II., který vyrábí společnost Chemsearch a na českém trhu distribuuje společnost NCH Czechoslovakia.



Obr. 11 Změna struktury povrchu izolačního systému při dlouhodobém působení čisticího prostředku Kempt II.

Při vizuální kontrole je na první pohled patrná změna stavu povrchu izolačního materiálu. Vlivem chemických reakcí izolačního systému a čisticího prostředku došlo ke zkřehnutí a následnému odlamování povrchové vrstvy izolace. Na první pohled je patrná i změna barvy povrchu izolačního systému. Při podrobnější analýze vzorku byla nalezena místa, kde došlo k odfouknutí povrchové vrstvy.

Změny elektrických veličin vlivem dlouhodobého působení chemických roztoků jsou popsány v kapitole 5.5.

4.4 Oděrky

Jelikož se při čištění využívá vysokých tlaků, mohou čisticí média při dopadu na povrch izolačního systému způsobit mechanické poškození. Výskyt tohoto druhu poškození se předpokládá spíše u starších izolačních systémů, které již nevykazují tak dobrou kondici. Vlivem nepřiměřeného působení vysokého tlaku na místo, kde se již vyskytoval nějaký druh mechanického poškození, může vést k delaminaci vrstev izolačního systému. Tento degradační jev může mít za následek pokles elektrické pevnosti a v některých případech může dojít i k následnému průrazu izolačního systému.

Elektrická pevnost

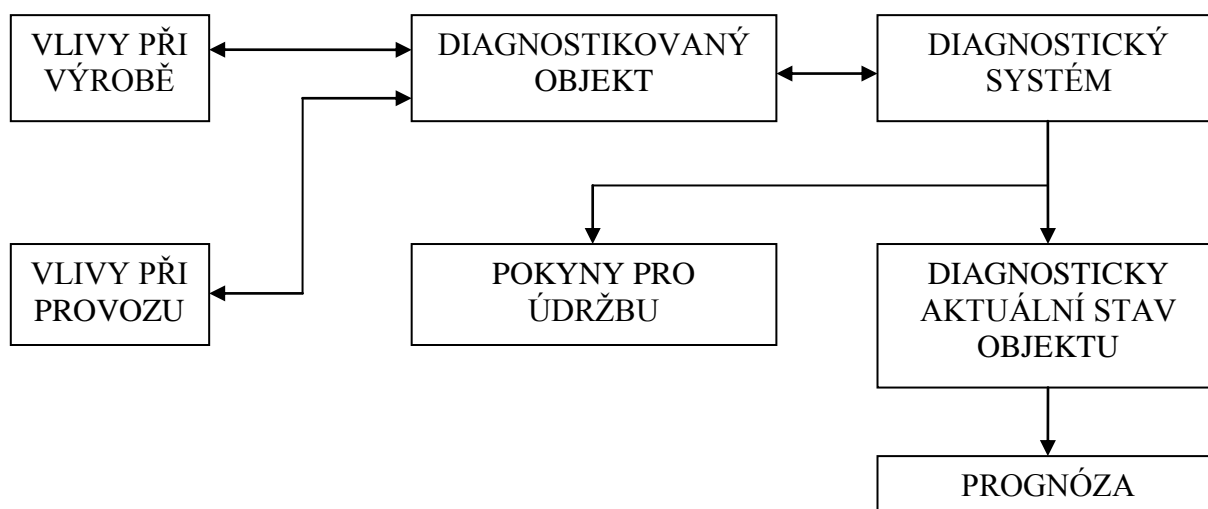
Elektrická pevnost E_P [kV/mm] je dána jako podíl průrazného napětí U_P a tloušťky dielektrika d v místě průrazu. [8] Z hlediska návrhu izolačního systému se jedná o stěžejní parametr. Při překročení meze, kterou udává elektrická pevnost, dochází k průrazu izolačního systému. Průraz je zahájen prudkým nárůstem koncentrace volných nosičů elektrického náboje a jejich pohyblivosti. To vede k poklesu rezistivity daného materiálu a ke snížení jeho izolačních vlastností. Průraz je dokončen, když dojde ke spojení míst s různým potenciálem dokonale vodivou cestou. U pevných izolačních materiálů rozpoznáváme tři druhy elektrického průrazu. Jedná se o čistě elektrický průraz, tepelný průraz a elektrochemický průraz. [1]

Všechny výše uvedené následky degradačních jevů působící na stav izolačního systému jsou mezi sebou úzce spjaty a ve většině případů k nim může docházet nejen vlivem jim nadřazených příčin, ale i jejich kombinací.

5 Stanovený diagnostický systém

Diagnostika má původ v řeckém slově *diagnosis*, což znamená rozpoznání nebo určení. Z obecného hlediska má technická diagnostika za úkol odhalovat skryté poruchy, identifikovat jejich místa a rozsah, odhalovat jejich příčiny a charakterizovat, jaké budou bezpečnostní, ekologické a ekonomické důsledky při dalším provozu bez opravy či obnovy. [8,59]

Základními elementy diagnostiky jsou diagnostikovaný objekt a diagnostický systém. Diagnostikovaný objekt je obecně soubor n prvků, na nějž působí množina vnějších podnětů, na které diagnostikovaný objekt reaguje množinou svých reakcí. Diagnostický systém nám umožňuje sledování a změření změn stavů diagnostikovaného objektu. Dochází k reprodukci prostoru stavů do oblasti prostoru signálů. [8]



Obr. 12 Základní souvislosti při diagnostice elektrických zařízení [8]

5.1 Sledované parametry

Diagnostický systém pro určení vlivů čisticích prostředků na elektrické vlastnosti izolačních systémů je založen na sledování změn povrchového odporu resp. měrného povrchového odporu (povrchové rezistivity) při dlouhodobém působení čisticích prostředků na povrch izolačních materiálů.

Povrchový odpor

Povrchový odpor R_p [Ω] je definován jako poměr stejnosměrného napětí, které je přivedeno mezi elektrody na povrchu zkušební vzorku a proudu tekoucím mezi elektrodami v daném čase přiložení napětí. Při snímání proudu tekoucího po povrchu zanedbáváme polarizační jevy v oblasti elektrod a předpokládáme, že je ovlivňován příměsí a nečistotami

na povrchu zkušební vzorku. Obvykle ho odečítáme po 60 sekundách od přiložení napětí. Pro měření povrchových odporů jsou doporučené napěťové hladiny: 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10000, 15000 V, z nichž jsou nejčastěji používány hodnoty 100, 500 a 1000 V. [1]

Povrchový odpor se vypočítá:

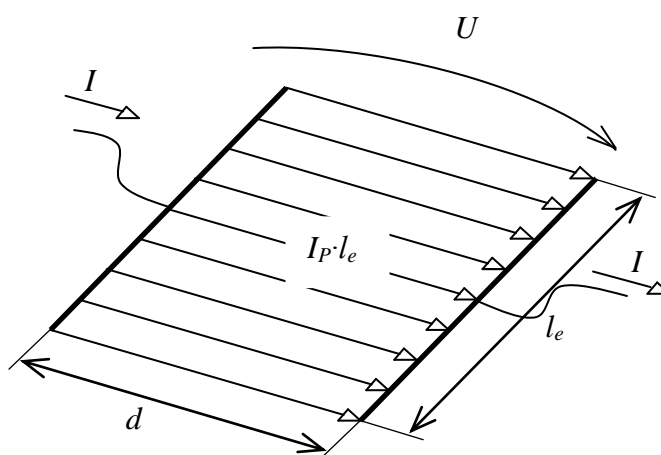
$$R_p = \frac{U}{I_p}, \quad (5.1.1)$$

kde U je připojené napětí [V]

I_p je proud tekoucí po povrchu vzorku [A]. [1]

Povrchová rezistivita

Povrchová rezistivita je dána jako poměr intenzity stejnosměrného pole a proudové hustoty v povrchové vrstvě izolačního materiálu. Pojem povrchové rezistivity úzce souvisí s povrchovou konduktivitou, čili měrnou povrchovou elektrickou vodivostí. [1]



Obr. 13 Proud tekoucí povrchem izolantu [1]

Povrchová vodivost izolačního systému je způsobena pohybem volných nosičů elektrického náboje. Za vznik volných nosičů může ve většině případů disociace molekul nečistot. Dalším parametrem, který ovlivňuje povrchovou vodivost, je relativní vlhkost okolí. V neposlední řadě je to taktéž struktura povrchu, na které je závislá míra adsorbce vlhkosti do povrchu materiálu.

Na Obr. 13 je zobrazeno prostorové uspořádání, ze kterého lze vyjádřit definiční vztah (5.1.2) pro povrchovou konduktivitu γ_p [S], a z něj je poté následnou úpravou odvozen

výpočet (5.1.3) povrchové rezistivity ρ_P [Ω]. [1]

$$\gamma_P = \frac{I}{U} \cdot \frac{d}{l_e}, \quad (5.1.2)$$

kde I je celkový proud tekoucí po povrchu [A]

U je přivedené napětí [V]

d je vzdálenost elektrod [m]

l_e je délka elektrod na povrchu izolantu [m]. [1]

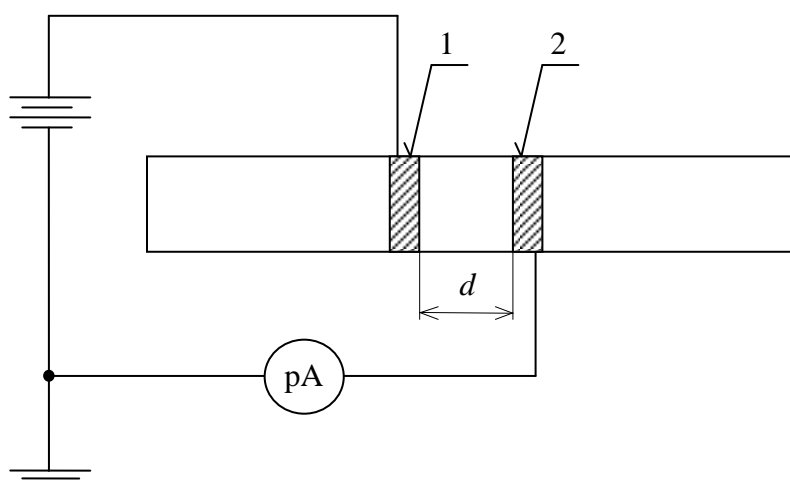
Jelikož je konduktivita převrácenou hodnotou rezistivity, získáme po mírné úpravě vzorec pro její výpočet:

$$\rho_P = R_P \cdot \frac{l_e}{d}, \quad (5.1.3)$$

kde R_P je povrchový odpor [Ω]. [1]

5.2 Metody měření

Pro diagnostiku povrchových odporů využijeme přímé metody. Ta je založena na měření stejnosměrného napětí, které je připojeno na neznámý odpor a současného měření proudu, který tímto odporem protéká. Nejpoužívanější přímou metodou je voltampérová metoda. Konkrétní schéma zapojení pro měření povrchového odporu, je zobrazeno na *Obr. 14*, kde je na elektrodu 1 přivedeno napětí o velikosti 500 V a na elektrodě 2 je snímán proud tekoucí po povrchu vzorku. [1]



Obr. 14 Schéma zapojení pro měření povrchového odporu – 1 napěťová elektroda, 2 měrná elektroda

5.3 Specifikace vzorků

Jako vzorky pro ověření vlivů čisticích prostředků na elektrické vlastnosti izolačního systému byla použita vyřazená čela vinutí. Na těchto čelech byly známky provozního opotřebení a znečištění. Jelikož čela neměla stejnou velikost, bylo na některých z nich možno vytvořit dva elektrodové systémy.

Elektrody byly umístěny v místě s nejmenším provozním opotřebením a vytvořeny pomocí měděné vodivé pásky. Vzdálenost elektrod d byla zvolena 3 cm a jejich obvod l_e 20 cm. Šířka elektrod byla 2,5 cm. Povrch čel vinutí byl v minulosti ošetřen polovodivým nátěrem, sloužícím jako ochrana proti koróně. To mělo za následek rozdílnou vodivost jednotlivých vzorků. S blížícím se umístěním k rovinné části vinutí docházelo ke zvýšení vodivosti.

Pro každý testovaný čisticí prostředek bylo vytvořeno pět vzorků (celkem 25), na nichž byla provedena měření. Každý čisticí prostředek byl jinak barevně odlišen a stejnou barvou byla označena i zkoušená čela vinutí (*Obr. 15*), aby se snížila možnost pochybení při aplikaci čisticího prostředku či následném měření.



Obr. 15 Čelo vinutí s vytvořenými elektrodovými systémy a barevným značením

5.4 Příprava, postup a podmínky měření

Již připravené vzorky byly podrobeny měření. V prvním případě probíhalo měření na neočištěných vzorcích, tedy v původním stavu bez jakéhokoliv chemického zásahu. Výsledná hodnota proudu byla zaznamenána po 60 s, při působení napětí o velikosti 500 V. Měřicím přístrojem byl zvolen KEITHLEY 6517A, který je vhodný pro měření proudů velmi nízkých hodnot. Pro potlačení rušení došlo k umístění vzorků do stínící komory, se kterou byl měřicí přístroj vodivě spojen a uzemněn.

Po výchozím měření byly vzorky očištěny čisticími prostředky. Ty byly na povrch vzorků nanесeny pomocí štětce a textilie. Pro to, aby došlo k co nejdelšímu působení, byly připraveny kusy látky, které se nechaly dostatečně nasáknout. Následoval ovin na povrch vzorků a pevná fixace k němu pomocí potravinářské folie. Folie sloužila také k tomu, aby nedošlo k předčasnému vyschnutí čisticího prostředku.

Celkem bylo provedeno 5 měření. V původním stavu, po 7, 25, 40 a 50 dnech. Před měřením byla vždy ze vzorků odstraněna fólie a textilní materiál. Následně byly vzorky vysušeny pomocí přenosného kompresoru, aby byl co nejvěrohodněji napodoben skutečný čisticí proces. Po samotném měření došlo vždy k opětovnému obalení vzorků nasáknutou textilií a potravinářskou fólií.

Tab. 3 Klimatické podmínky při jednotlivých měřeních

Číslo měření	Doba působení [den]	Teplota [°C]	Vlhkost vzduchu [%]	Laboratoř
1	0 – původní stav	22	49	EL 403
2	7	21	49	EL 403
3	25	21	47	EL 403
4	40	21	48	EL 403
5	50	20	40	EL 403

5.5 Výsledky a vyhodnocení měření

Nejnázornější přístup pro diagnostiku vlivů čisticích prostředků na elektrické vlastnosti izolačního systému je vyjádření průměrného procentuálního poklesu povrchové rezistivity pro jednotlivé čisticí prostředky. Výchozí naměřené a vypočtené hodnoty povrchového proudu I_p , povrchového odporu R_p a povrchové rezistivity ρ_p jsou uvedeny v příloze 1. Podmínky při měření a doby působení čisticích prostředků jsou uvedeny v *Tab. 3*.

Statistické ukazatele

K vyhodnocení naměřených výsledků je nutné použít nástrojů statistiky. Mezi ukazatele s největší vypovídající hodnotou pro tento příklad patří aritmetický průměr \bar{x}_a (5.5.4), což je průměr všech hodnot ve statistickém souboru. [60]

Aritmetický průměr je doplňován statistickým ukazatelem nazývaný medián \tilde{x}_a (5.5.5), což je prostřední hodnota statistického znaku v souboru, jehož výhodou je, že není ovlivněn extrémními hodnotami. [60]

Dalším ukazatelem je směrodatná odchylka $\sigma(x)$ (5.5.6), která udává, jak moc jsou hodnoty ve statistickém souboru od sebe odlišné. Čím menší je směrodatná odchylka, tím více jsou si jednotlivé prvky souboru podobné. [60]

Se směrodatnou odchylkou je úzce spjat variační koeficient v_x (5.5.7). Jedná se o jeden z nejdůležitějších ukazatelů z oblasti statistické analýzy. Čím menší je v_x , tím lepší je kvalita souboru dat. [60]

Příklad výpočtu elektrických veličin pro vzorek č. 1 v původním stavu

- **Povrchový odpor R_P :**

$$R_{P0} = \frac{U}{I_{S0}} = \frac{500}{2,36 \cdot 10^{-11}} = 2,11864 \cdot 10^{13} \Omega \quad (5.5.1)$$

- **Povrchová rezistivita ρ_P :**

$$\rho_{P0} = R_{P0} \cdot \frac{l_e}{d} = (2,11864 \cdot 10^{13}) \cdot \frac{0,2}{0,03} = 1,41243 \cdot 10^{14} \Omega \quad (5.5.2)$$

Příklad výpočtu procentuálního poklesu $\delta\rho_P$ pro vzorek č. 1 po 7 dnech působení

$$\delta\rho_{P7} = \frac{\rho_{P7}}{\rho_{P0}} \cdot 100 = \frac{1,31089 \cdot 10^{14}}{1,41243 \cdot 10^{14}} \cdot 100 = 92,81 \%, \quad (5.5.3)$$

kde ρ_{P7} je povrchová rezistivita po 7 dnech působení [Ω].

Příklad statistických výpočtů pro čisticí prostředek KALTREINIGER po 7 dnech působení

- **Aritmetický průměr \bar{x}_a :**

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{92,81 + 65,77 + 31,36 + 24,35 + 88,56}{5} = 60,57 \% \quad (5.5.4)$$

- **Medián \tilde{x}_a :**

$$x_1 = 92,81 \%; x_2 = 65,77 \%; x_3 = 31,36 \%; x_4 = 24,35 \%; x_5 = 88,56 \%$$

$$P(x \leq \tilde{x}) \geq 0,5 \text{ a zároveň } P(x \geq \tilde{x}) \geq 0,5 \quad (5.5.5)$$

$$\tilde{x} = 65,77 \%$$

- **Směrodatná odchylka $\sigma(x)$:**

$$\begin{aligned}\sigma(x) &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_a)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{(92,81 - 60,57)^2 + (65,77 - 60,57)^2 + (31,36 - 60,57)^2 + (24,35 - 60,57)^2 + (88,56 - 60,57)^2}{5}} = \\ &= 28,34 \text{ \%}\end{aligned}\quad (5.5.6)$$

- **Variační koeficient v_x :**

$$v_x = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}_a} \cdot 100 = \frac{28,34}{60,57} \cdot 100 = 46,79 \text{ \%}\quad (5.5.7)$$

Vyjádření procentuálního poklesu povrchové rezistivity

Při měření změn elektrických vlastností způsobených vlivem dlouhodobého působení čisticích roztoků, docházelo ke snižování povrchové rezistivity ρ_P jednotlivých vzorků. Tyto poklesy byly vyjádřeny početně (5.5.3) a následně zaznamenány do tabulek (Tab. 4 – 8) společně s aritmetickými průměry \bar{x}_a , směrodatnými odchylkami $\sigma(x)$, variačními koeficienty v_x a mediány \tilde{x}_a .

Vzhledem k malému počtu měření pro jednotlivé časy, byl nadále použit přístup vyhodnocení pomocí nelineárního regresního modelu (5.5.8). Tento model byl vytvořen pomocí programového prostředí Matlab a jeho celé znění je v příloze 3. [61]

$$\rho_P(t) = 100 \cdot e^{\beta t} + \varepsilon_t, \quad (5.5.8)$$

kde t je čas [den]
 β je změna logaritmu povrchové rezistivity za jednotku času, neboli koeficient změny [-]
 ε je náhodná složka [-]. [61]

Tento zvolený tvar nelineárního regresního modelu nám zaručoval, že v čase $t = 0$, bylo $\rho_P = 100 \text{ \%}$. Z grafického znázornění bylo poté možno odečíst hodnotu bodového a intervalového odhadu nelineární regrese (5.5.9) pro jednotlivé časové okamžiky. [61]

$$\hat{\rho}_P(t) = \rho_P(t) \pm \delta, \quad (5.5.9)$$

kde $\hat{\rho}_P$ je bodový odhad nelineární regrese v čase t [%]
 δ je intervalový odhad na hladině $\alpha = 5 \text{ \%}$ [%]. [61]

Tab. 4 Procentuální pokles povrchové rezistivity pro čisticí prostředek KALTREINIGER 716

Číslo vzorku	1. měření [%]	2. měření [%]	3. měření [%]	4. měření [%]	5. měření [%]
1	100,00	92,81	79,26	70,12	68,86
2	100,00	65,77	56,31	39,40	36,44
3	100,00	31,36	25,09	16,58	15,63
4	100,00	24,35	22,11	12,63	8,39
5	100,00	88,56	75,37	73,75	69,78
\bar{x}_a	100,00	60,57	51,63	42,50	39,82
\tilde{x}_a	100,00	65,77	56,31	39,40	36,44
$\sigma(x)$	0	28,34	24,19	25,74	25,79
v_X	0	46,79	46,85	60,57	64,76
$\hat{\rho}_P$	100,00	85,64	55,75	38,98	30,71
δ	± 0	$\pm 5,21$	$\pm 12,79$	$\pm 14,41$	$\pm 14,23$
β	- 0,0236 [-]				

Tab. 5 Procentuální pokles povrchové rezistivity pro čisticí prostředek Kempt II.

Číslo vzorku	1. měření [%]	2. měření [%]	3. měření [%]	4. měření [%]	5. měření [%]
6	100,00	42,18	39,71	23,31	7,15
7	100,00	89,88	83,75	83,75	81,39
8	100,00	59,62	53,94	40,34	21,29
9	100,00	75,53	75,42	70,58	45,85
10	100,00	25,09	18,03	16,36	11,13
\bar{x}_a	100,00	58,46	54,17	46,87	33,36
\tilde{x}_a	100,00	59,62	53,94	40,34	21,29
$\sigma(x)$	0	23,06	23,84	26,27	27,53
v_X	0	39,44	44,01	56,06	82,52
$\hat{\rho}_P$	100,00	85,57	55,57	38,78	30,51
δ	± 0	$\pm 5,16$	$\pm 12,62$	$\pm 14,20$	$\pm 13,99$
β	- 0,0237 [-]				

Tab. 6 Procentuální pokles povrchové rezistivity pro čisticí prostředek NICRO 1065

Číslo vzorku	1. měření [%]	2. měření [%]	3. měření [%]	4. měření [%]	5. měření [%]
11	100,00	62,86	47,47	29,54	21,01
12	100,00	65,72	29,18	23,99	22,84
13	100,00	13,94	13,62	12,14	8,86
14	100,00	63,62	53,10	45,94	39,44
15	100,00	38,21	36,79	32,63	25,82
\bar{x}_a	100,00	48,87	36,03	28,85	23,59
\tilde{x}_a	100,00	62,86	36,79	29,54	22,84
$\sigma(x)$	0	20,15	13,94	11,04	9,80
v_X	0	41,24	38,69	38,28	41,54
$\hat{\rho}_P$	100,00	76,59	36,60	19,78	13,13
δ	± 0	$\pm 5,97$	$\pm 10,76$	$\pm 9,37$	$\pm 7,79$
β	- 0,0406 [-]				

Tab. 7 Procentuální pokles povrchové rezistivity pro čisticí prostředek Competent

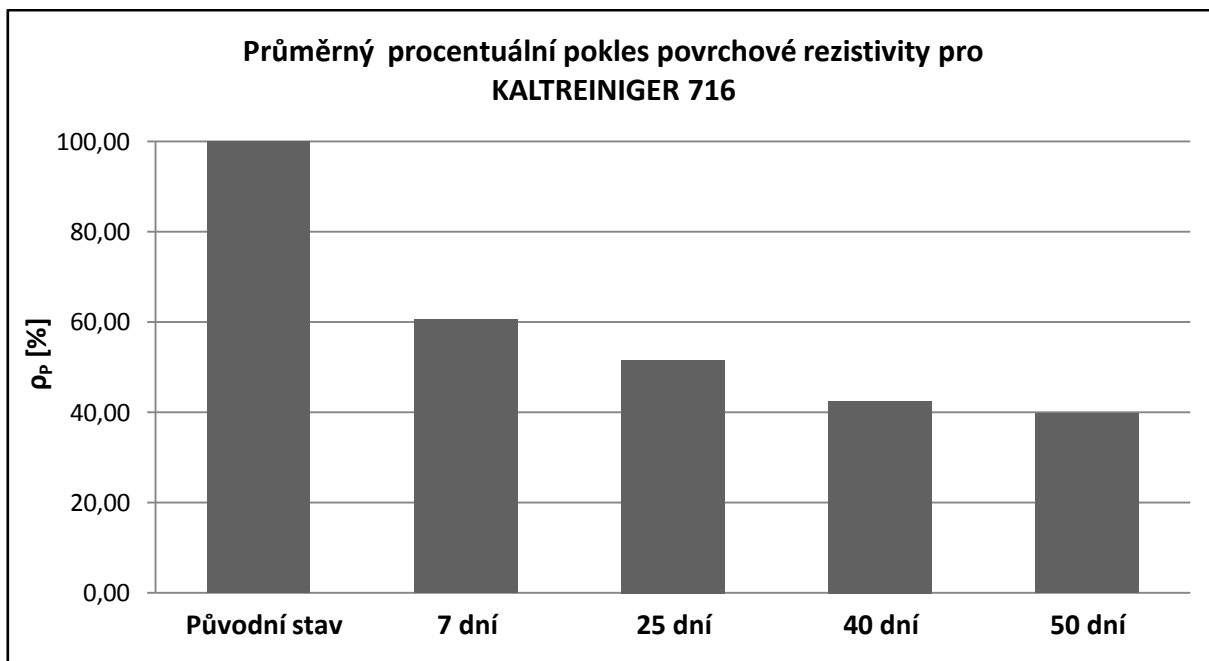
Číslo vzorku	1. měření [%]	2. měření [%]	3. měření [%]	4. měření [%]	5. měření [%]
16	100,00	91,02	89,16	81,85	69,18
17	100,00	88,81	88,21	81,09	79,64
18	100,00	40,66	23,29	21,95	13,46
19	100,00	35,28	31,58	30,57	27,51
20	100,00	22,50	22,08	18,87	18,73
\bar{x}_a	100,00	55,65	50,86	46,87	41,71
\tilde{x}_a	100,00	40,66	31,58	30,57	27,51
$\sigma(x)$	0	28,60	31,05	28,51	27,28
v_X	0	51,39	61,05	60,84	65,41
$\hat{\rho}_P$	100,00	86,15	57,01	40,41	32,13
δ	± 0	$\pm 5,75$	$\pm 14,33$	$\pm 16,38$	$\pm 16,32$
β	- 0,0227 [-]				

Tab. 8 Procentuální pokles povrchové rezistivity pro čisticí prostředek Spirdane D60

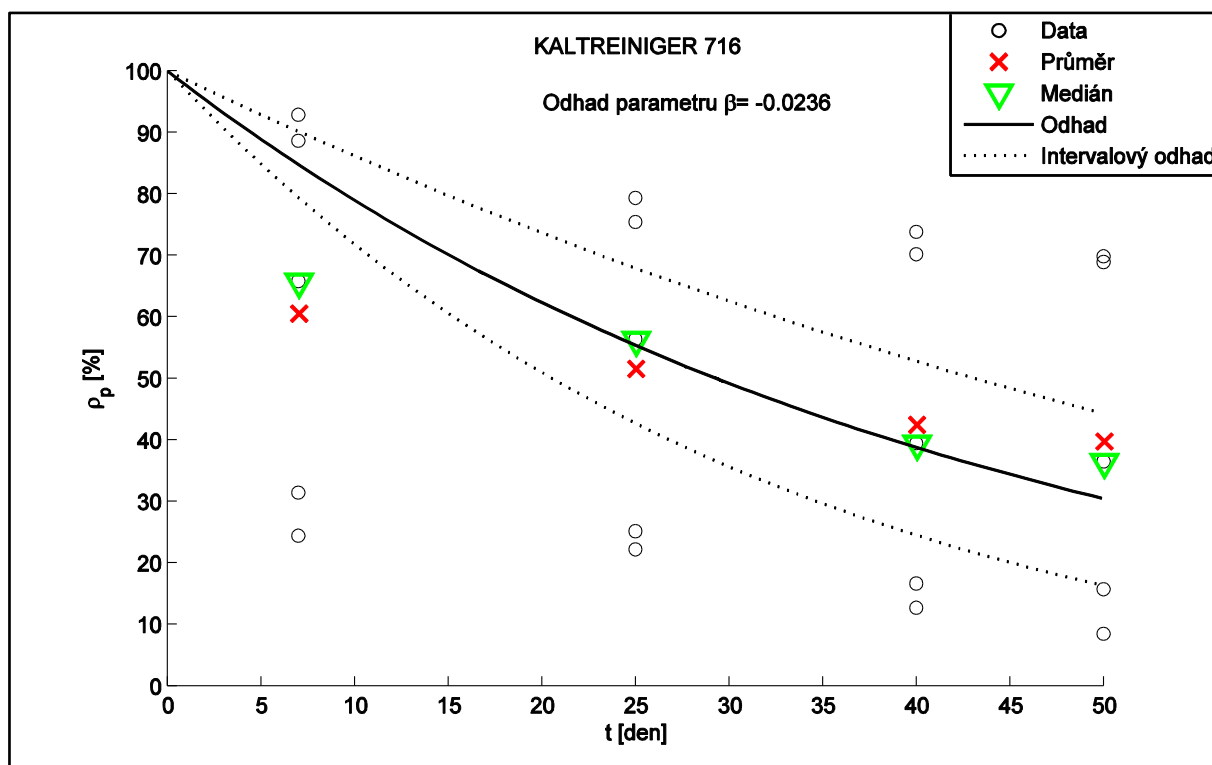
Číslo vzorku	1. měření [%]	2. měření [%]	3. měření [%]	4. měření [%]	5. měření [%]
21	100,00	88,41	74,63	67,51	66,72
22	100,00	96,95	86,87	82,24	80,24
23	100,00	64,56	46,65	42,19	22,56
24	100,00	88,54	70,48	47,75	39,53
25	100,00	90,44	84,43	54,74	38,01
\bar{x}_a	100,00	85,78	72,61	58,89	49,41
\tilde{x}_a	100,00	88,54	74,63	54,74	39,53
$\sigma(x)$	0	11,06	14,32	14,42	20,97
v_X	0	12,89	19,72	24,49	42,44
$\hat{\rho}_P$	100,00	91,38	71,20	57,83	50,34
δ	± 0	$\pm 2,05$	$\pm 6,033$	$\pm 7,90$	$\pm 8,62$
β	- 0,0137 [-]				

Grafické znázornění průměrného poklesu povrchové rezistivity

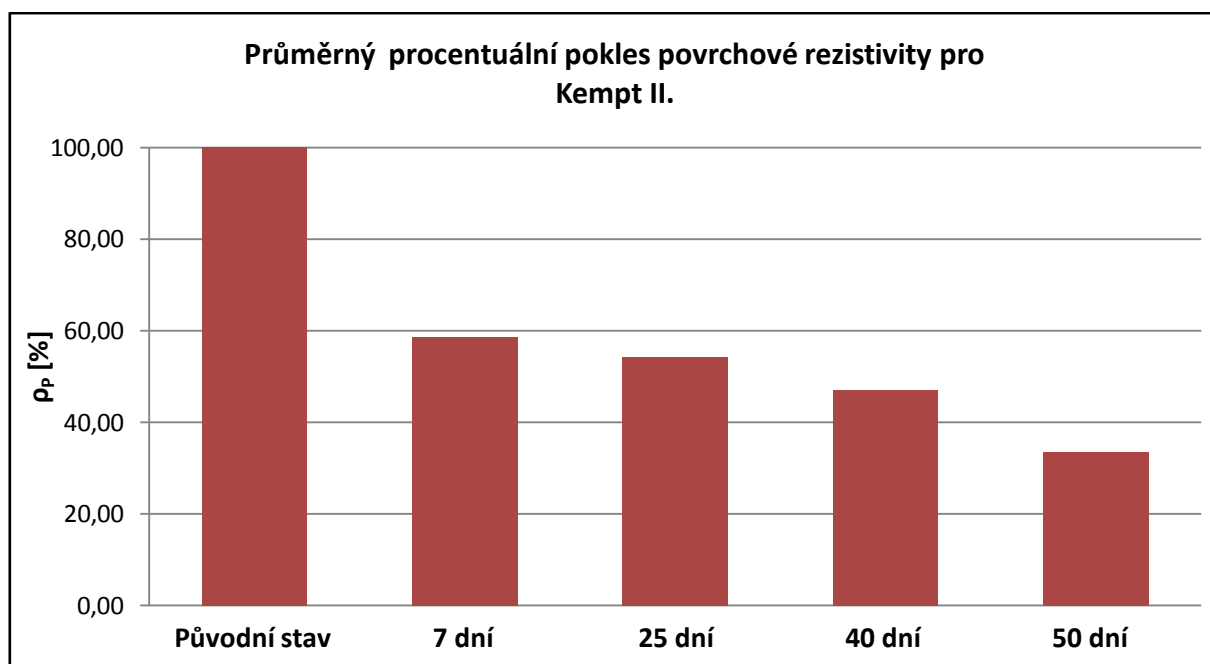
Pro vyjádření poklesu průměrných hodnot povrchové rezistivity je nejvhodnější klasický sloupcový graf, kde barva sloupců odpovídá barvě značení čisticích prostředků. Sloupcové grafy jsou na *Obr. 16, 18, 20, 22, 24*. V bodovém grafu z programového prostředí Matlab jsou zobrazeny všechny dílčí hodnoty procentuálního vyjádření poklesu povrchové rezistivity pro jednotlivé časové okamžiky (●) doplněné o bodové vyznačení průměrů (×) a mediánů (▽) z těchto hodnot. Funkce (5.5.8) je vykreslena jako křivka nelineární regrese společně s intervalovým odhadem nelineární regrese. Bodové grafy jsou na *Obr. 17, 19, 21, 23, 25*.



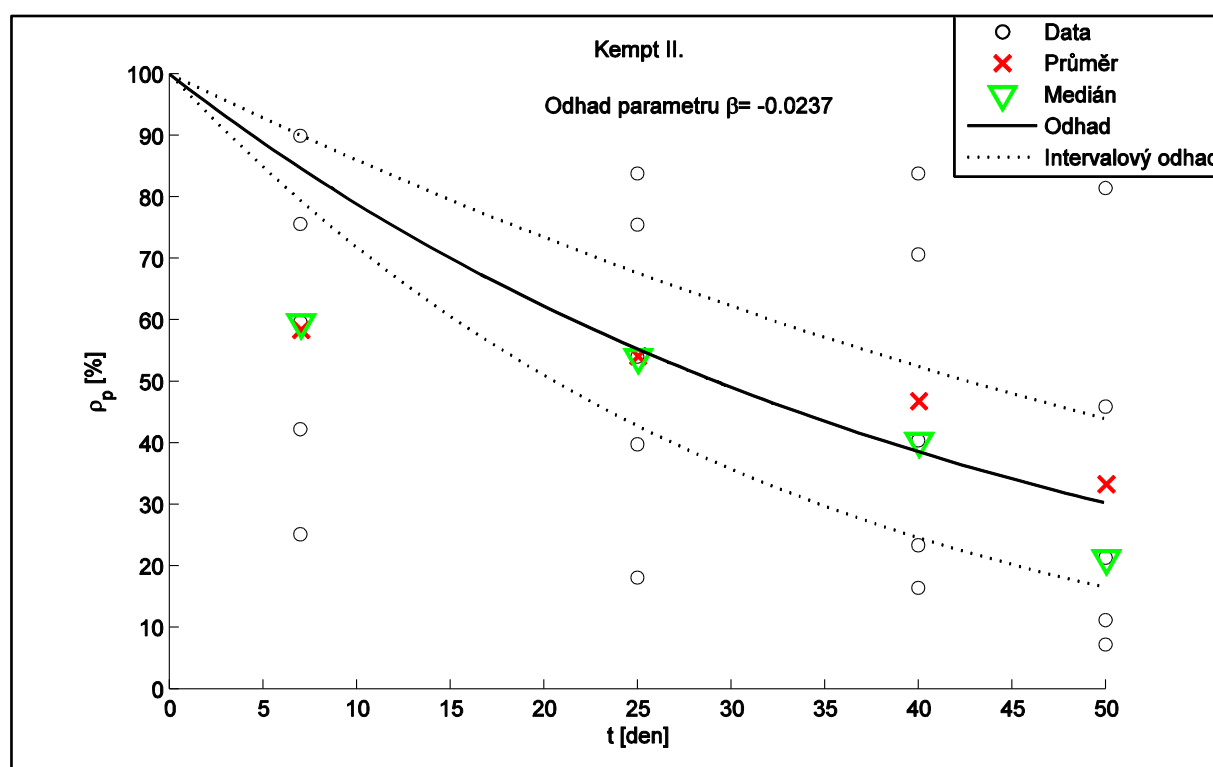
Obr. 16 Průměrný procentuální pokles povrchové rezistivity - KALTREINIGER 716



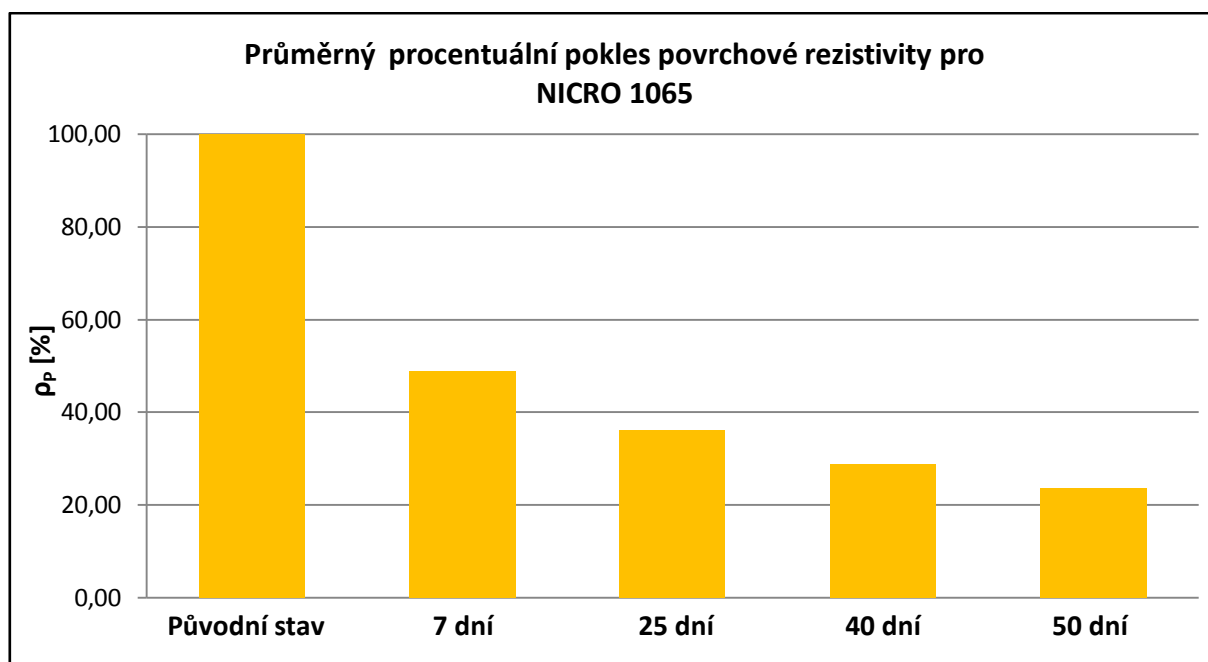
Obr. 17 Nelineární regresní model – KALTREINIGER 716



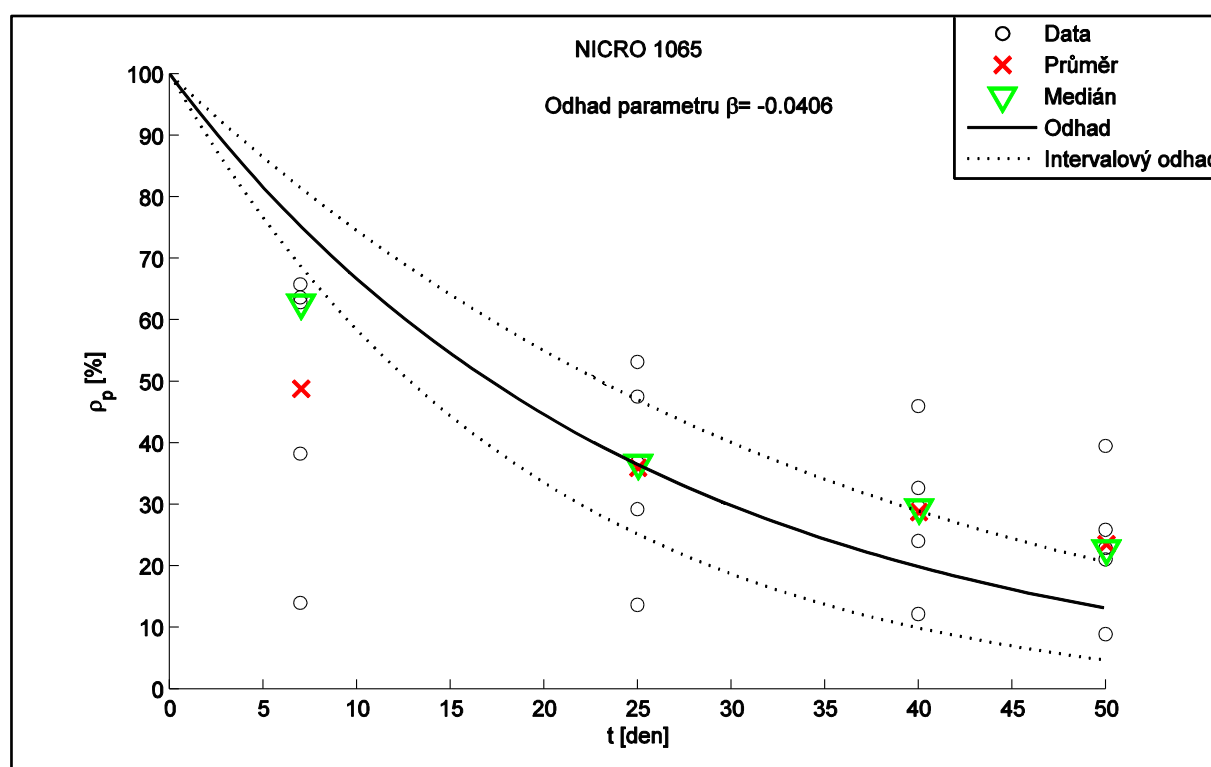
Obr. 18 Průměrný procentuální pokles povrchové rezistivity – Kempt II.



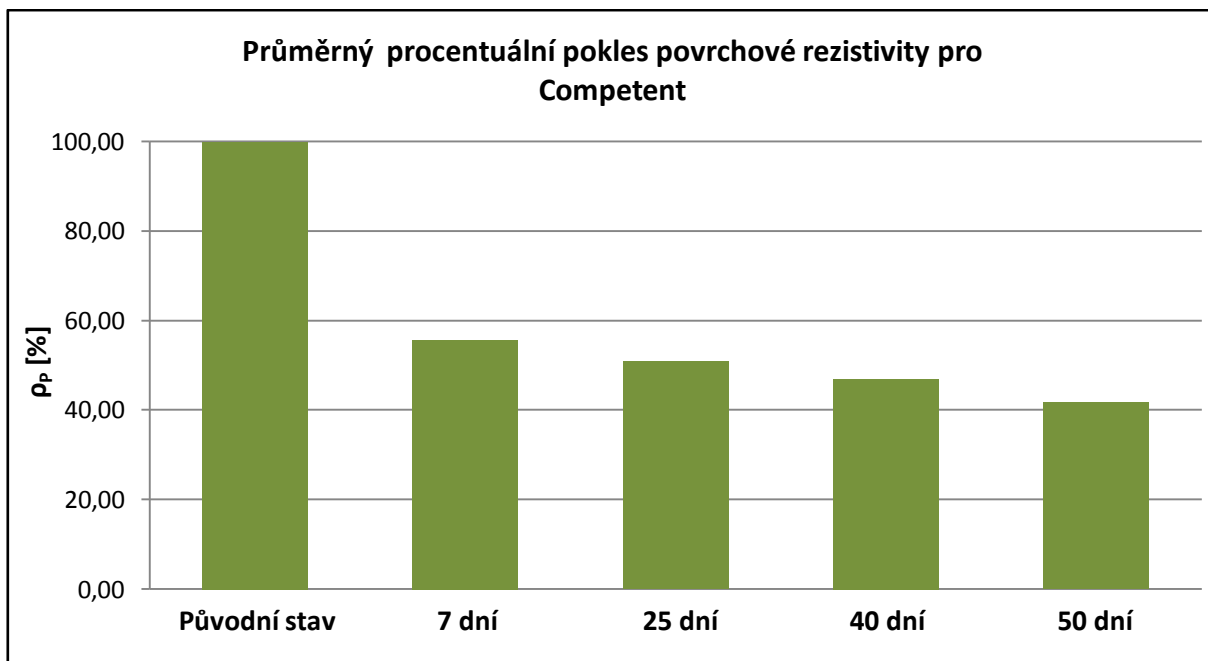
Obr. 19 Nelineární regresní model – Kempt II.



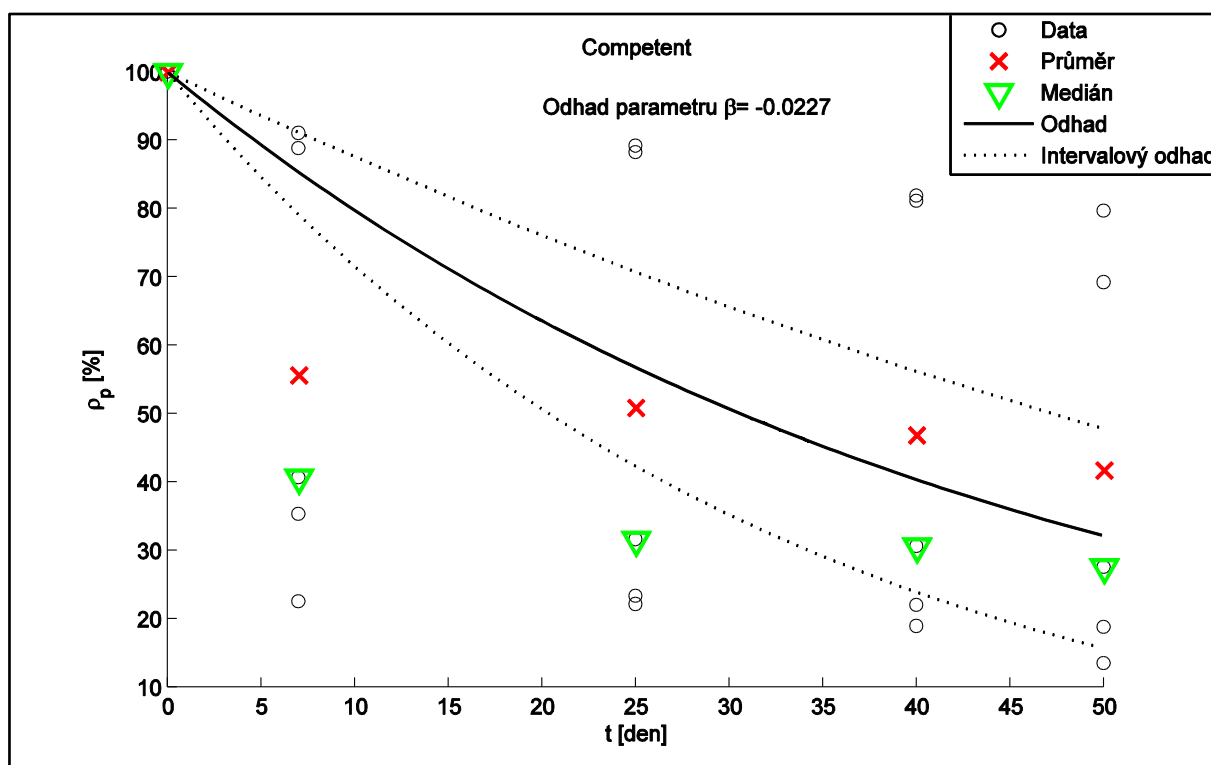
Obr. 20 Průměrný procentuální pokles povrchové rezistivity – NICRO 1065



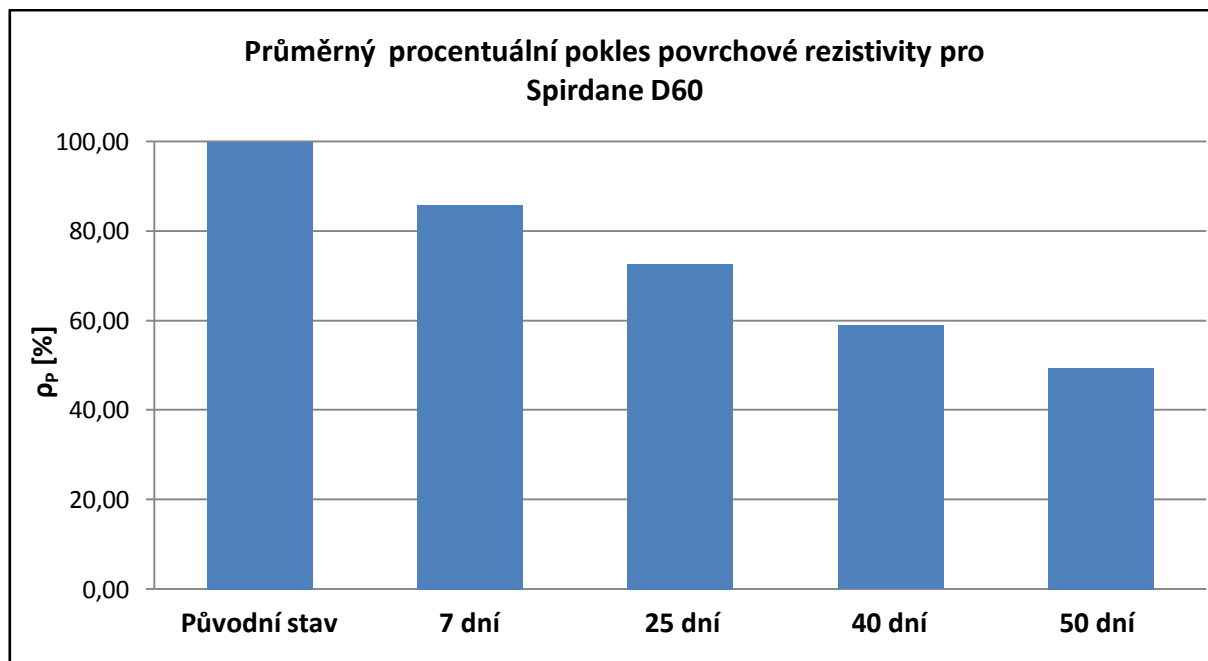
Obr. 21 Nelineární regresní model – NICRO 1065



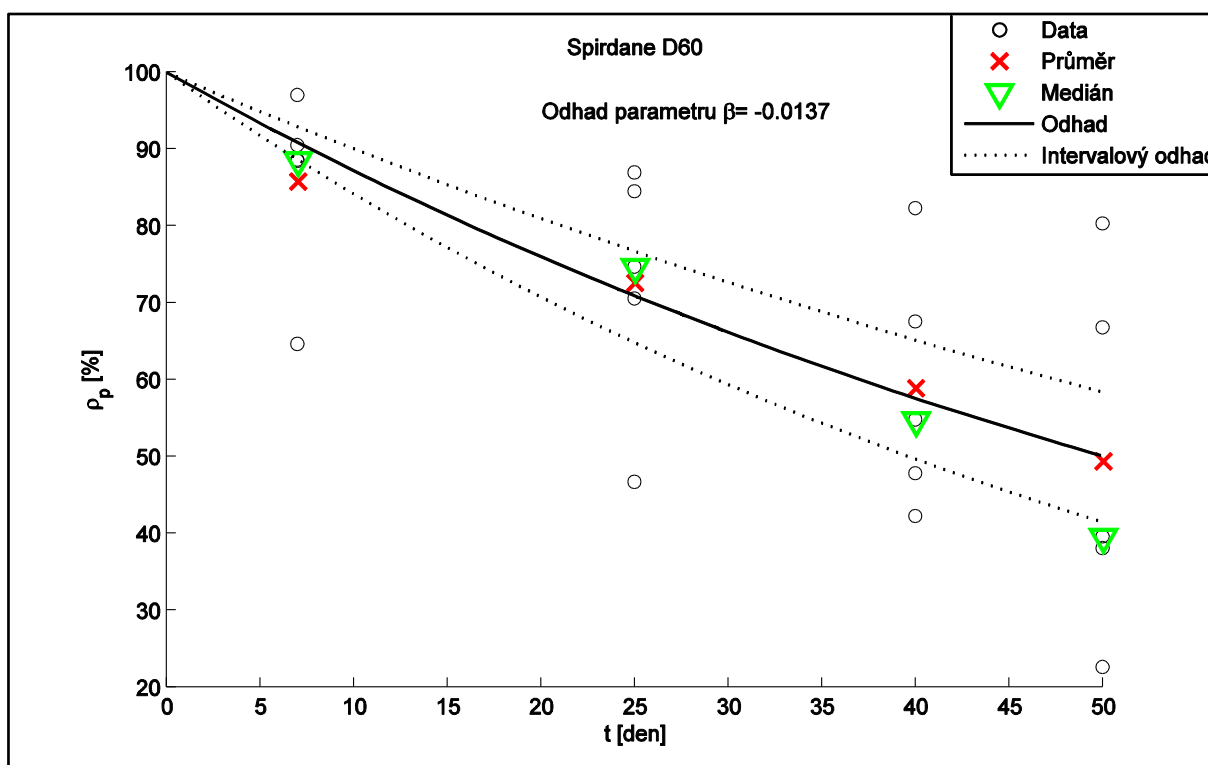
Obr. 22 Průměrný procentuální pokles povrchové rezistivity – Competent



Obr. 23 Nelineární regresní model – Competent

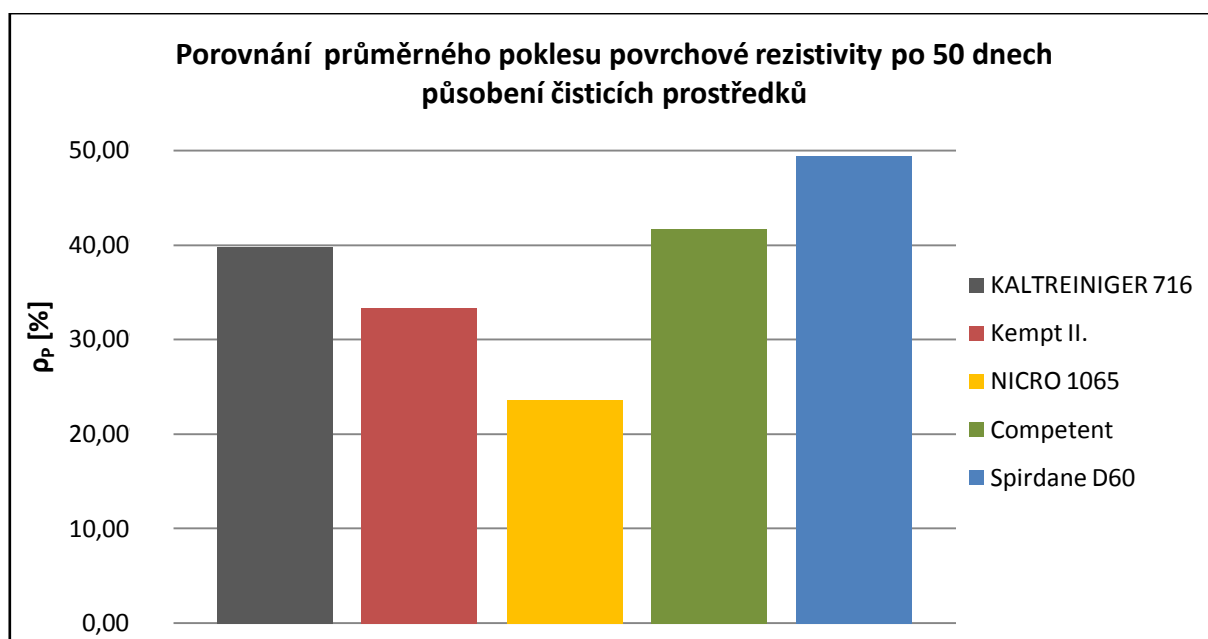


Obr. 24 Průměrný procentuální pokles povrchové rezistivity – Spirdane D60



Obr. 25 Nelineární regresní model – Spirdane D60

Z výše uvedených sloupcových grafů je patrná odlišnost vlivů jednotlivých čisticích prostředků na změnu elektrických vlastností izolačního systému. Na *Obr. 26* je porovnání hodnot aritmetických průměrů pro měření č. 5, tj. po 50 dnech působení čisticidel. Nejlepších výsledků dosáhl prostředek Spirdane D60, kde došlo k průměrnému poklesu povrchové rezistivity na 49,41 % původní hodnoty. Nejhůře dopadl čisticí prostředek NICRO 1065, u kterého došlo k průměrnému poklesu na 23,59 % původní hodnoty povrchové rezistivity.



Obr. 26 Porovnání průměrného poklesu povrchové rezistivity po 50 dnech působení pro všechny čisticí prostředky

Nelineární regresní model potvrdil předchozí vyhodnocení, když zaznamenal nejvyšší zápornou hodnotu koeficientu změny β u čisticího prostředku NICRO 1065 ($\beta=-0,0406$) a nejmenší zápornou hodnotu u čisticího prostředku Spirdane D60 ($\beta=-0,0137$).

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá provozním znečištěním a servisním čištěním elektrických točivých strojů. Teoretická část byla zaměřena na izolační systémy, jejich dělení a jejich možné provozní znečištění. Následně zde byly podrobně popsány čisticí metody vhodné pro servisní čištění. Potřebné vybavení, čisticí média, efektivnosti a provozní náklady jednotlivých metod jsou uvedeny v *Tab. 1* v podkapitole 2.8. Dále byl sestaven přehled chemických čisticích prostředků vhodných pro servisní čištění. V této kapitole jsou zmíněny fyzikálně-chemické vlastnosti a dále jsou zde uvedeny podmínky pro aplikaci čisticích prostředků a údaje o jejich distribuci na českém trhu. Shrnutí vlastností jednotlivých čisticích prostředků je možno nalézt v *Tab. 2* v podkapitole 3.7. Z použití čisticích roztoků vyplynula i další část této práce, která byla zaměřena na rozbor možností napadání povrchu izolačních systémů. Nejvíce je povrch napadán zbytky vlhkostí a chemickými reakcemi mezi čisticími roztoky a izolačním systémem. Následky napadání jsou uvedeny v kapitole 4.

V praktické části diplomové práce byl stanoven diagnostický systém pro sledování změn elektrických vlastností vlivem působení chemických roztoků. Jako nejvhodnější parametr pro toho měření byl povrchový odpor a jeho následný přepočítání na povrchovou rezistivitu. Získané výsledky byly porovnány a vyhodnoceny. Přehled všech dílčích hodnot průměrných poklesů povrchové rezistivity a hodnota koeficientu změny β z nelineárního regresního modelu pro jednotlivé čisticí prostředky je uveden v *Tab. 9*.

Tab. 9 Souhrn průměrných poklesů povrchové rezistivity v daných časových okamžicích

Prostředek	\bar{x} po 7 dnech [%]	\bar{x} po 25 dnech [%]	\bar{x} po 40 dnech [%]	\bar{x} po 50 dnech [%]	β [-]
KALTREINIGER 716	60,57	51,63	42,50	39,82	-0,0236
Kempt II.	58,46	54,17	46,87	33,36	-0,0237
NICRO 1065	48,87	36,03	28,85	23,59	-0,0406
Competent	55,65	50,86	46,87	41,71	-0,0227
Spirdane D60	85,78	72,61	58,89	49,41	-0,0137

Z dodaných čisticích roztoků vyšel nejlépe prostředek Spirdane D60 od společnosti Total, u kterého došlo po 50 dnech působení k průměrnému poklesu povrchové rezistivity na 49,41 % původní hodnoty. Naopak nejhůře dopadl dle statistického vyjádření čisticí prostředek NICRO 1065, který distribuuje společnost MOTIP DUPLI s.r.o. U tohoto prostředku došlo k průměrnému snížení povrchové rezistivity na 23,59 % původní hodnoty.

Vyhodnocené výsledky měření byly zpracovány v podobě výzkumné zprávy, která byla předána společnosti I. SERVIS-ENERGO, s.r.o.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 235 s. ISBN 80-730-0189-6.
- [2] CHAPMAN, M., N. FROST a R. BRUETSCH. Insulation Systems for Rotating Low-Voltage Machines. *Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* [online]. IEEE, 2008, s. 257-260 [cit. 2013-11-3]. DOI: 10.1109/ELINSL.2008.4570323. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4570323>
- [3] BEATY, H. *Electrical engineering materials reference guide*. New York: McGraw-Hill, c1990, 1 v. (various pagings). ISBN 00-700-4196-2.
- [4] KUBA, Jan. *Impregnační procesy*. [online]. [cit. 2014-11-3]. Dostupné z: martin.feld.cvut.cz/~kuba/TEP%20%206.ppt
- [5] BRUTSCH, Rudolf a Michael CHAPMAN. Insulating systems for high voltage rotating machines and reliability considerations. *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* [online]. IEEE, 2010, s. 1-5 [cit. 2013-11-3]. DOI: 10.1109/ELINSL.2010.5549737. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5549737>
- [6] STONE, Greg. *Electrical insulation for rotating machines: design, evaluation, aging, testing, and repair*. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, c2004, xviii, 371 p. ISBN 04-714-4506-1.
- [7] CULBERT, I. M. A Review of Cleaning Methods for Motor Windings. *2008 IEEE Cement Industry Technical Conference Record* [online]. IEEE, 2008, s. 291-296 [cit. 2013-11-3]. DOI: 10.1109/CITCON.2008.31. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4539626>
- [8] MENTLÍK, Václav, Josef PIHERA, Radek POLANKÝ, Pavel PROSR a Pavel TRNKA. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 439 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [9] *MIDAS 2880 Mobile Insulation Diagnosis & Analysing System*. [online]. IndustrySearch Australia [cit. 2014-11-3]. Dostupné z: <http://www.industrysearch.com.au/MIDAS-2880-Mobile-Insulation-Diagnosis-and-Analysing-System/p/35562>
- [10] KALKUŠ, Pavel. *Aspekty čištění vinutí elektrických točivých strojů*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeský univerzita v Plzni
- [11] *Kompresory* [online]. Technická univerzita v Liberci [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/AOV/dalsi_mat/kompresory.pdf
- [12] *Přenosné a pojízdné kompresory* [online]. Vachout technik [cit. 2013-11-10]. Dostupné z: <http://www.vachout-technik.cz/prenosne-a-pojizdne-kompresory/>

- [13] *Čištění suchým ledem* [online]. Femont [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.femont-mb.cz/cisteni-suchym-ledem.html>
- [14] *How Does Dry Ice Blasting Work?* [online]. Coldjet [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.coldjet.com/en/information/how-does-it-work.php>
- [15] *Dry Ice Blasting Technology* [online]. Ascojet [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.ascojet.com/en/dry-ice-blasting-technology/>
- [16] *Dry Ice Blasting Machines & Systems* [online]. Icesonic [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://icesonic.com/>
- [17] *Electrical Motor Cleaning* [online]. Ice tech servis wa [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.icetechwa.com.au/applications/electric-components>
- [18] *Disociace molekuly* [online]. Aldebaran [cit. 2014-11-03]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/glossary/print.php?id=642>
- [19] *Ct technologie* [online]. ct austria Nicro [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: http://www.ctan.cz/databaze/uvod_zaklad/ct_metoda/ct_motory.htm
- [20] *Diaphragm Pump Technology* [online]. Dia-vac [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.airdimensions.com/news/diavac-pump-technology-video-0473>
- [21] *HyperPhysics: Alkanes* [online]. Georgia State University [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/organic/alkane.html>
- [22] *Ultrasonic Cleaning 101* [online]. Bluewave ultrasonics [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://bluewaveinc.com/ultrasonic-cleaning-101/>
- [23] HAIPENG, Zhang, Sun JUNZHONG a Gu MINGTAO. Study on the Safety Design Method of Ultrasonic Cleaning for the Motor Winding. *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation* [online]. IEEE, 2011, s. 572-575 [cit. 2013-11-3]. DOI: 10.1109/ICMTMA.2011.713. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5721550>
- [24] *Praktická elektronika* [online]. Dermax [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.deramax.cz/jak-vybrat-ultrazvukovou-cisticku/t-139/>
- [25] *Čištění ultrazvukem* [online]. Hw.cz [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/cisteni-ultrazvukem.html>
- [26] *Measuring Cavitation in Ultrasonic Cleaners and Processors* [online]. Quatex Media Group [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://www.sensorsmag.com/sensors/acoustic-ultrasound/measuring-cavitation-ultrasonic-cleaners-and-processors-8161>
- [27] NAGYOVÁ, Barbora. *Ultrazvuk* [online]. [cit. 2013-11-03]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~nagyovab/>

- [28] *Specialista na galvanické povrchové úpravy a průmyslovou chemii* [online]. LARS Chemie [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: <http://chemie.lars.cz/>
- [29] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení a omezování chemických látek [online]. In: EUR-lex, [právní informační systém] Úřad pro publikace Evropské unie, [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>
- [30] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 ze dne 16. prosince 2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí [online]. In: EUR-lex, [právní informační systém] Úřad pro publikace Evropské unie, [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>
- [31] NOVÁK, Ladislav a Karel VENTURA. Globální harmonizovaný systém klasifikace a označování chemických výrobků a povinnosti výrobců, dovozců a distributorů, které z něj plynou. *Chemické listy* [online]. 2011, č. 105, s. 616-621 [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_08_616-621.pdf
- [32] *Standardní věty o nebezpečnosti (H-věty)* [online]. Chemportal.cz [cit. 2013-12-25]. Dostupné z: <http://www.chemportal.cz/standardni-vety-o-nebezpecnosti>
- [33] LARS CHEMIE. *KALTREINIGER 716: Technické informace* [online]. [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.udrzba.cz/files/111102105356-50.TLKALTREINIGER-716.docx.pdf>
- [34] LARS CHEMIE. *Bezpečnostní list dle nařízení (ES) č. 1907/2006: Kaltreiniger 716*. 2013, číslo verze 94.
- [35] ASH, Compiled by Michael and Irene. *Handbook of fillers, extenders, and diluents* [online]. 2nd ed. Endicott, NY: Synapse Information Resources, 2007 [cit. 2014-01-22]. ISBN 18-905-9596-9. Dostupné z: <http://books.google.cz/>
- [36] MCNAUGHT, Alan D a Andrew WILKINSON. *Compendium of chemical terminology: IUPAC recommendations* [online]. 2nd ed. Malden, MA, USA: Blackwell Science, 1997, vii, 450 p. [cit. 2014-01-22]. ISBN 08-654-2684-8. Dostupné z: <http://goldbook.iupac.org/PDF/goldbook.pdf>
- [37] *Chemistry: Aliphatic Hydrocarbon Definition* [online]. About.com [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://chemistry.about.com/od/chemistryglossary/g/Aliphatic-Hydrocarbon-Definition.htm>
- [38] *Kaltreiniger 716* [online]. Údržba.cz [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.udrzba.cz/prumyslove-cistice-odmastovaci-kapaliny/prumyslove-odmastovace/kaltreiniger-716>
- [39] CHEMSEARCH. *Kempt: Tech Sheet* [online]. [cit. 2014-01-23]. Dostupné z: http://www.chemsearch.com/vContent/1/documents/general/Kempt_LO_Tech_Sheet.pdf
- [40] CHEMSEARCH. *Bezpečnostní list dle nařízení (ES) č. 1907/2006: Kempt II, 2013*

- [41] *Benzinová frakce (ropná), hydrogenovaná těžká; Nízkovroucí hydrogenovaný benzín* [online]. Eurochem [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: http://www.eurochem.cz/index/toxi/369_3376.htm
- [42] *Chronic Toxicity Summary: Propylene Glycol Monomethyl Ether* [online]. OEHHA [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/107982.pdf
- [43] ZAORALOVÁ, Zdena. Didaktika reakční kinetiky. *Katalýza* [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: http://cheminfo.chemi.muni.cz/ianua/Zdena/reakcni_kinetika/10.html
- [44] *Re-evaluation of some organic chemicals, hydrazine and hydrogen peroxide: Cyclohexanone* [online]. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1999, 3 sv. [cit. 2014-01-29]. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol71/mono71-84.pdf>
- [45] NICRO. *Nicro 1065: Čistič elektrických motorů, generátorů a transformátorů* [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.udrzba.cz/files/131017151008-09.TL-1065.pdf>
- [46] MOTIP DUPLI. *Bezpečnostní list dle nařízení (ES) č. 1907/2006: Nicro 1065, 1999*
- [47] *Nicro 1065* [online]. Údržba.cz [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.udrzba.cz/cistice-pro-elektricka-zarizeni/cistice-elektro-kanystry/nicro-1065>
- [48] NCH SWEDEN. *Competent: Rengöring- och avfettningsmedel* [online]. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.nch.se/se/pdf/ncpblad/COMPETENT.pdf>
- [49] NCH CZECHOSLOVAKIA. *Bezpečnostní list dle nařízení (ES) č. 1907/2006: Competent, 2013*
- [50] *Total Special Fluids: White spirits : SPIRDANE® range* [online]. Total [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.totalspecialfluids.com/en/our-products/range/white-spirit-en.html>
- [51] CLARK, Jim. *Definition of oxidation and reduction (redox)* [online]. 2002, 2013 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.chemguide.co.uk/inorganic/redox/definitions.html>
- [52] TOTAL. *Bezpečnostní list dle nařízení (ES) č. 1907/2006: Spirdane D60, 2011*
- [53] PFEIFFER, W. a K. ERMELER. Influence of the physical and chemical surface structure on the water adsorption characteristics of insulation materials. *2000 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (Cat. No.00CH37132)* [online]. IEEE, 2000, s. 735-738 [cit. 2014-02-28]. DOI: 10.1109/CEIDP.2000.884063. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=884063>

- [54] VÁRY, Michal. Electrical insulation system ageing caused by electrical, multifactorial and environmental stresses. *Posterus: Portal pre odborné publikovanie* [online]. s. 1-11 [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=15765&output=pdf>
- [55] PARK, Y.G., H.K. LEE. Classification of defects in solid insulation material by PD methods. *Proceedings of the 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (Cat. No.00CH36347)* [online]. IEEE, 2000, s. 749-752 [cit. 2014-02-28]. DOI: 10.1109/ICPADM.2000.876338. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=876338>
- [56] POLANSKÝ, Radek a Lenka KOLÁŘOVÁ. Analýza teplotních závislostí dielektrických parametrů s ohledem na možnosti určení teploty skelného přechodu T_g. In: *Diagnostika '07* [online]. Plzeň, 2007, 4s [cit. 2014-02-28]. ISBN 9788070435571. Dostupné z: <http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce3/98.pdf>
- [57] TRNKA, Pavel. Elektrické a kombinované stárnutí izolačních materiálů. *ElectroScope* [online]. 2007, č. 1 7s [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/xmlui/bitstream/handle/11025/394/r0c1c2.pdf?sequence=1>
- [58] PIHERA, Josef, Petr MARTÍNEK a Pavel TRNKA. Analýza signálu pulzů částečných výbojů. *ElectroScope* [online]. 2008, č. 2, 6s [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/xmlui/bitstream/handle/11025/394/r0c1c2.pdf?sequence=1>
- [59] PEXA, Martin. *Základy technické diagnostiky* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Budejovice/Prednasky/P-Zaklady_TD.pdf
- [60] MENTLÍK, Václav, Pavel TRNKA, Magdaléna TRNKOVÁ a Lumír ŠAŠEK. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2011, 118 s. ISBN 978-80-7300-412-5.
- [61] ŠEDIVÁ, Blanka. *Ústní sdělení*. [cit. 2014-03-27].

Přílohy

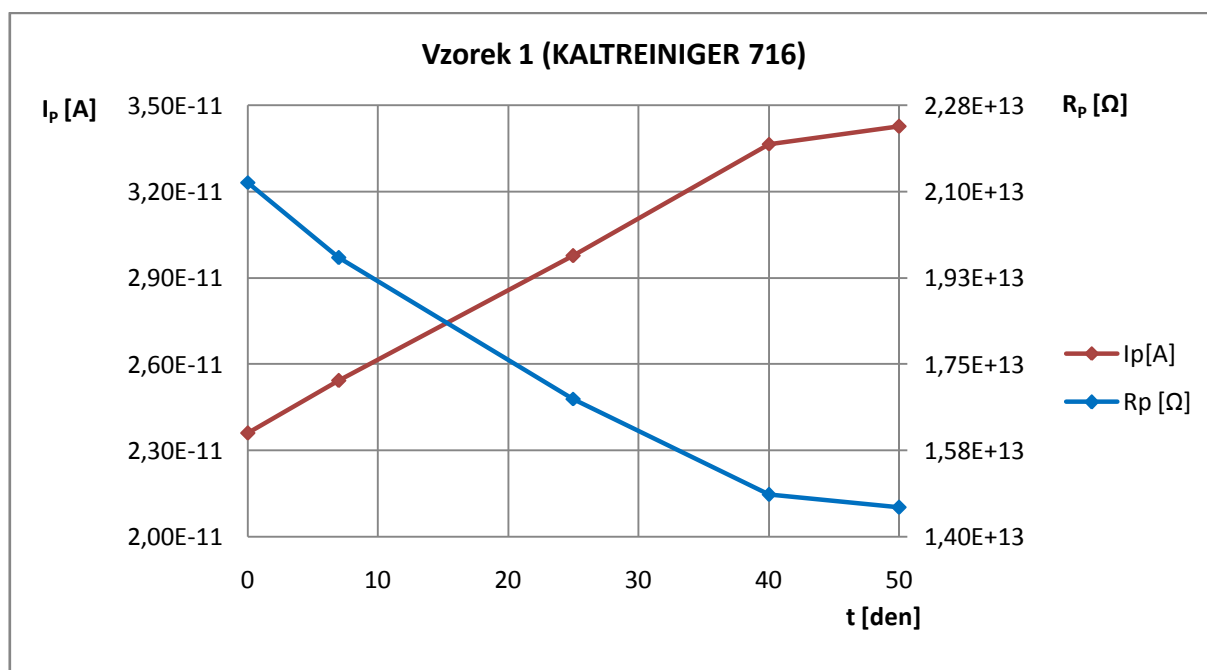
Příloha 1: Hodnoty povrchového proudu, odporu a rezistivity

Příloha 1, tab. 1 Hodnoty povrchového proudu, odporu a rezistivity pro KALTREINIGER 716

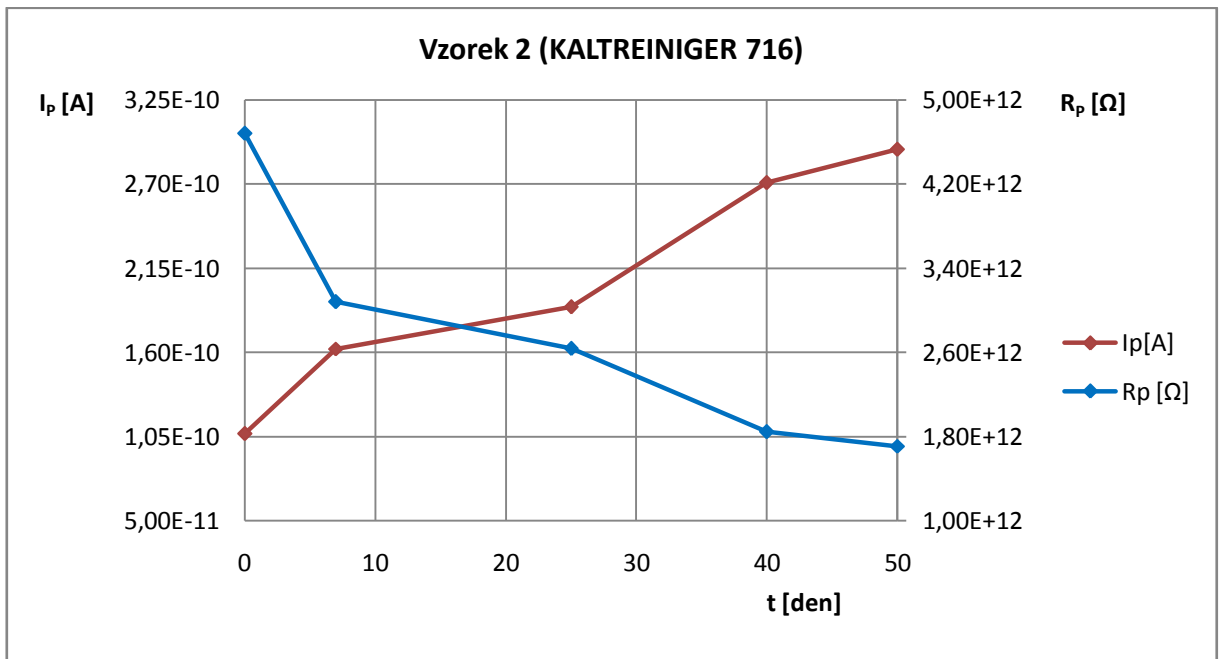
Číslo vzorku	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
	I_{P0} [A]	I_{P7} [A]	I_{P25} [A]	I_{P40} [A]	I_{P50} [A]
1	2,36000E-11	2,54280E-11	2,97742E-11	3,36580E-11	3,42730E-11
2	1,06750E-10	1,62312E-10	1,89559E-10	2,70910E-10	2,92910E-10
3	1,31020E-10	4,17830E-10	5,22210E-10	7,90200E-10	8,38190E-10
4	1,05020E-10	4,31330E-10	4,74960E-10	8,31290E-10	1,25196E-09
5	2,11100E-11	2,38369E-11	2,80080E-11	2,86240E-11	3,02530E-11

Číslo vzorku	R_{P0} [Ω]	R_{P7} [Ω]	R_{P25} [Ω]	R_{P40} [Ω]	R_{P50} [Ω]
1	2,11864E+13	1,96634E+13	1,67931E+13	1,48553E+13	1,45887E+13
2	4,68384E+12	3,08049E+12	2,63770E+12	1,84563E+12	1,70701E+12
3	3,81621E+12	1,19666E+12	9,57469E+11	6,32751E+11	5,96523E+11
4	4,76100E+12	1,15921E+12	1,05272E+12	6,01475E+11	3,99374E+11
5	2,36855E+13	2,09759E+13	1,78520E+13	1,74679E+13	1,65273E+13

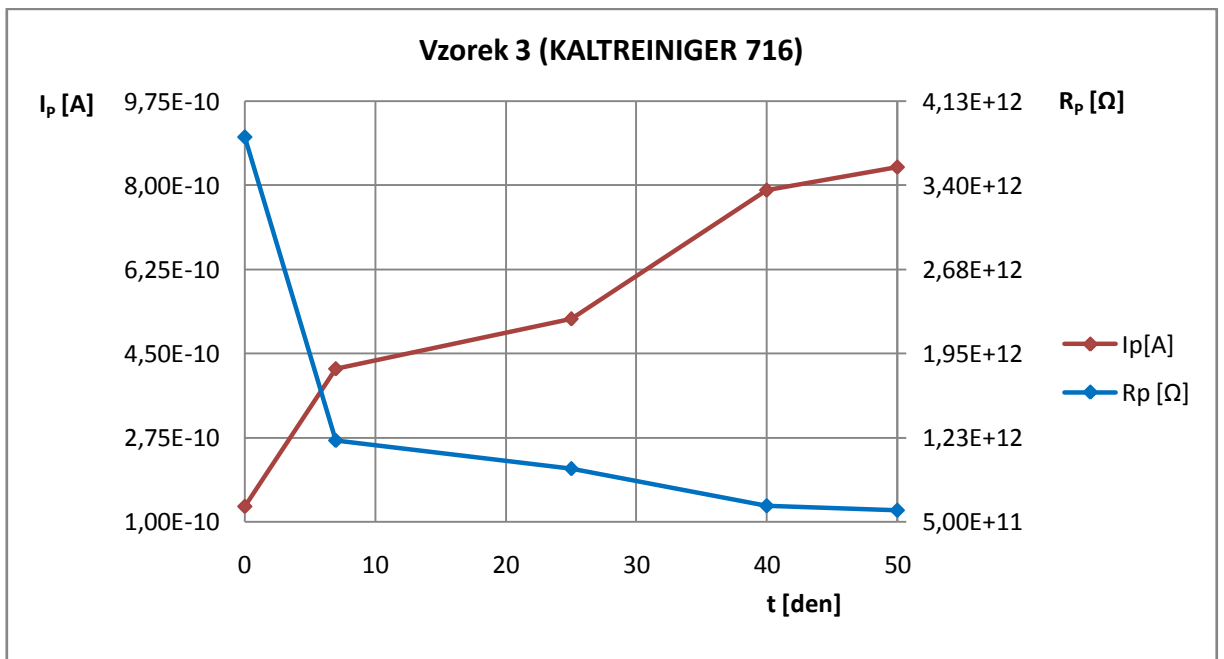
Číslo vzorku	ρ_{P0} [Ω]	ρ_{P7} [Ω]	ρ_{P25} [Ω]	ρ_{P40} [Ω]	ρ_{P50} [Ω]
1	1,41243E+14	1,31089E+14	1,11954E+14	9,90354E+13	9,72583E+13
2	3,12256E+13	2,05366E+13	1,75847E+13	1,23042E+13	1,13801E+13
3	2,54414E+13	7,97773E+12	6,38313E+12	4,21834E+12	3,97682E+12
4	3,17400E+13	7,72803E+12	7,01813E+12	4,00983E+12	2,66249E+12
5	1,57903E+14	1,39839E+14	1,19014E+14	1,16452E+14	1,10182E+14



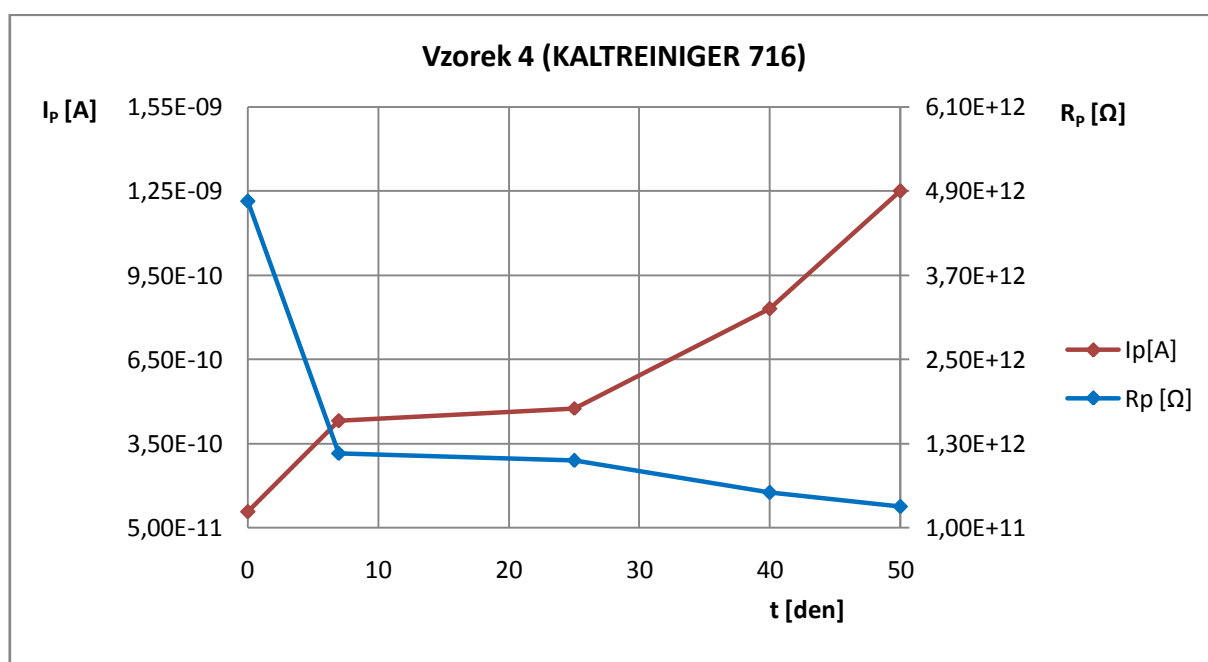
Příloha 1, obr. 1 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 1



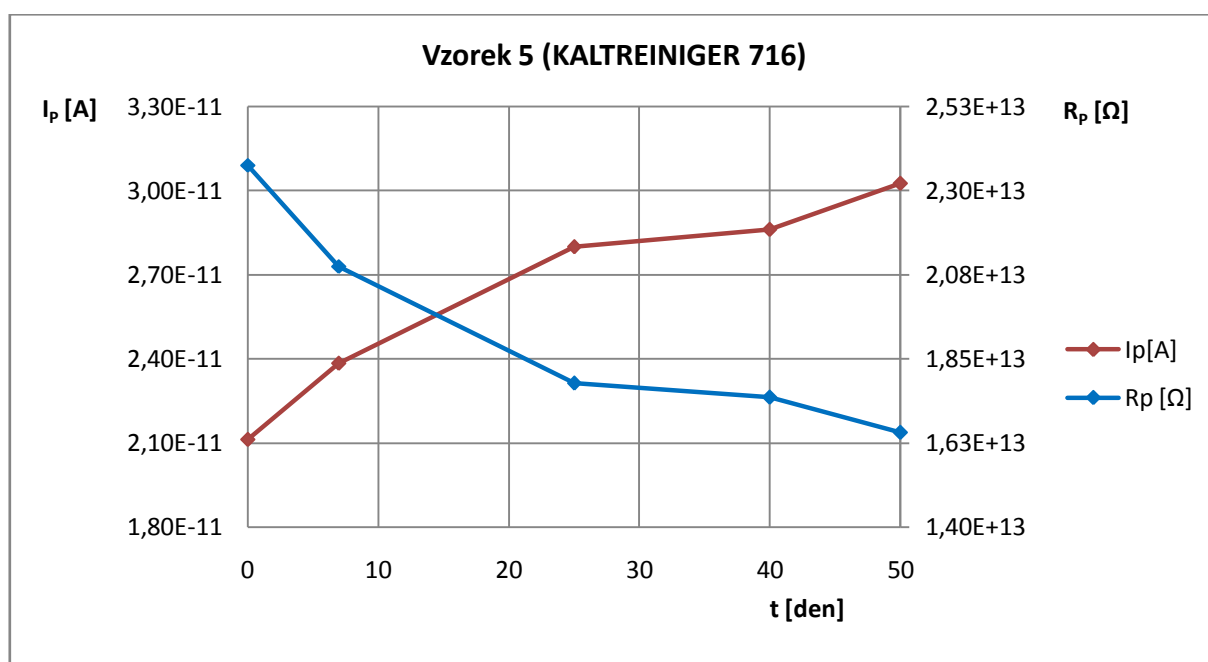
Příloha 1, obr. 2 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 2



Příloha 1, obr. 3 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 3



Příloha 1, obr. 4 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 4



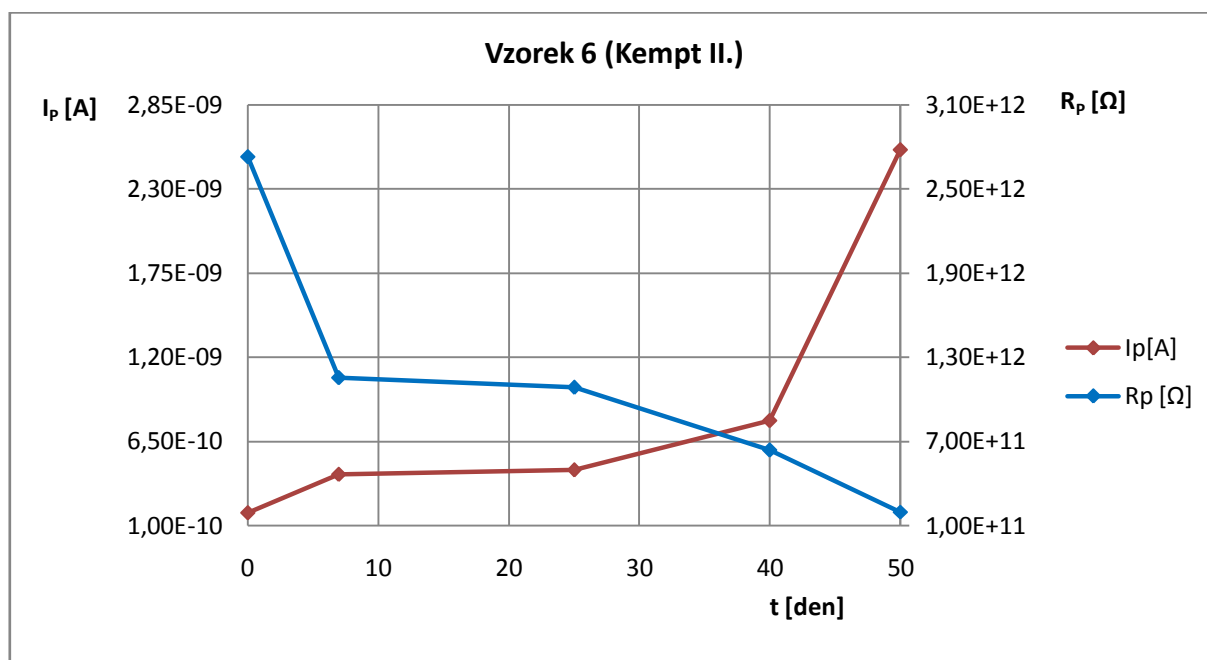
Příloha 1, obr. 5 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 5

Příloha 1, tab. 2 Hodnoty povrchového proudu, odporu a rezistivity pro KEMPT II.

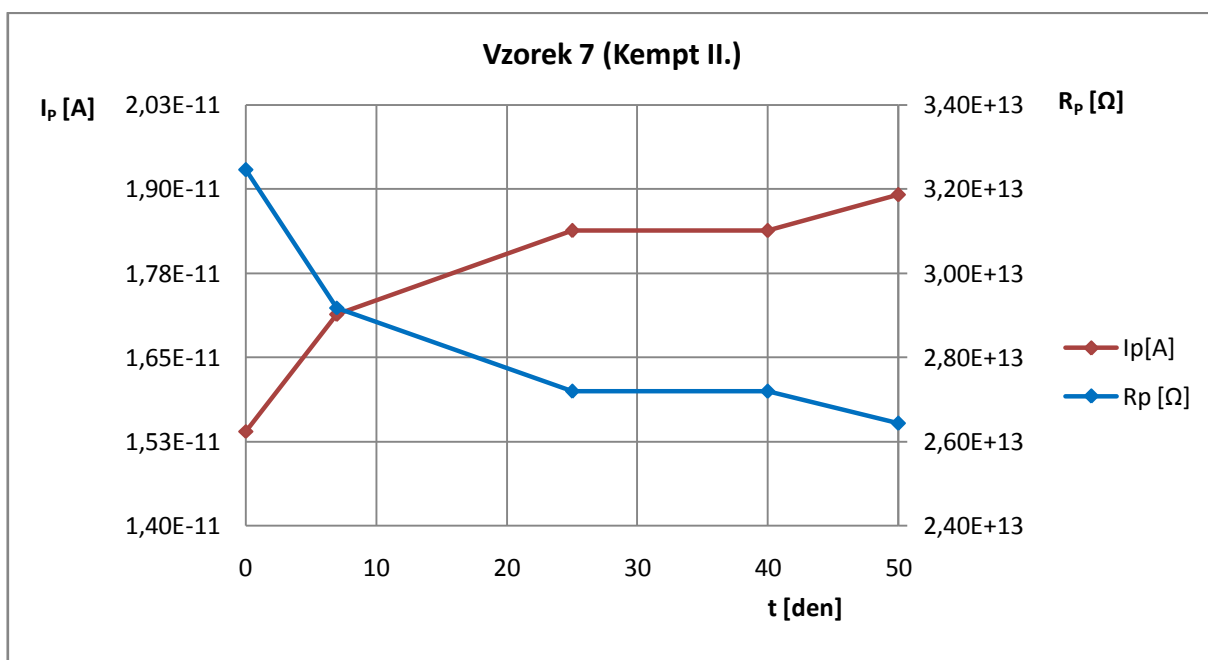
Číslo vzorku	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
	I_{P0} [A]	I_{P7} [A]	I_{P25} [A]	I_{P40} [A]	I_{P50} [A]
6	1,83010E-10	4,33850E-10	4,60890E-10	7,85230E-10	2,55820E-09
7	1,54000E-11	1,71347E-11	1,83871E-11	1,83871E-11	1,89203E-11
8	3,56200E-11	5,97500E-11	6,60310E-11	8,83080E-11	1,67334E-10
9	1,70300E-11	2,25460E-11	2,25800E-11	2,41300E-11	3,71440E-11
10	7,18400E-11	2,86360E-10	3,98400E-10	4,39120E-10	6,45240E-10

Číslo vzorku	R_{P0} [Ω]	R_{P7} [Ω]	R_{P25} [Ω]	R_{P40} [Ω]	R_{P50} [Ω]
	6	2,73209E+12	1,15247E+12	1,08486E+12	6,36756E+11
7	3,24675E+13	2,91806E+13	2,71930E+13	2,71930E+13	2,64266E+13
8	1,40371E+13	8,36820E+12	7,57220E+12	5,66200E+12	2,98804E+12
9	2,93600E+13	2,21769E+13	2,21435E+13	2,07211E+13	1,34611E+13
10	6,95991E+12	1,74605E+12	1,25502E+12	1,13864E+12	7,74905E+11

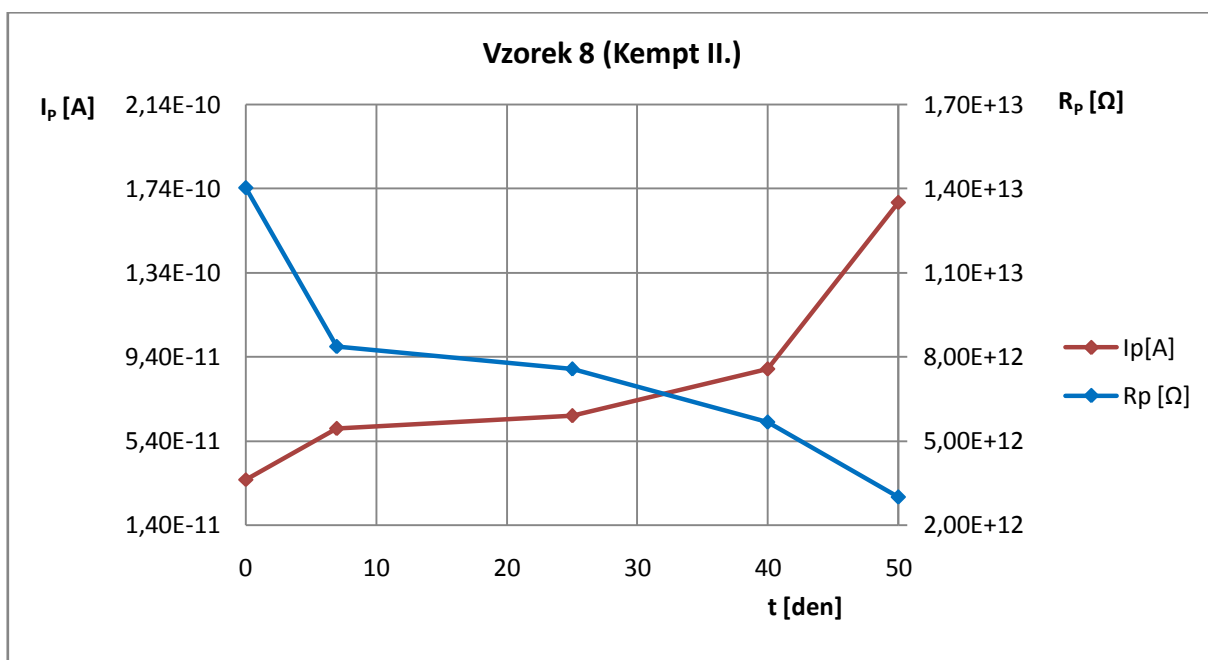
Číslo vzorku	ρ_{P0} [Ω]	ρ_{P7} [Ω]	ρ_{P25} [Ω]	ρ_{P40} [Ω]	ρ_{P50} [Ω]
	6	1,82139E+13	7,68315E+12	7,23238E+12	4,24504E+12
7	2,16450E+14	1,94537E+14	1,81287E+14	1,81287E+14	1,76178E+14
8	9,35804E+13	5,57880E+13	5,04813E+13	3,77467E+13	1,99202E+13
9	1,95733E+14	1,47846E+14	1,47623E+14	1,38141E+14	8,97408E+13
10	4,63994E+13	1,16404E+13	8,36680E+12	7,59094E+12	5,16604E+12



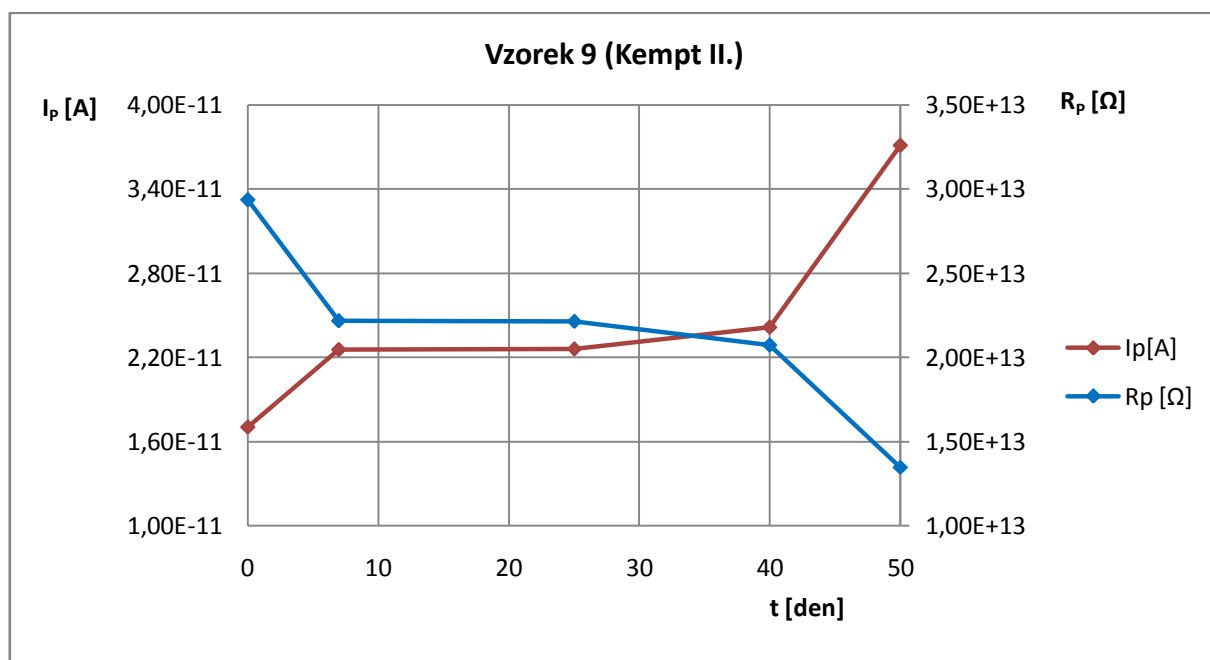
Příloha 1, obr. 6 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 6



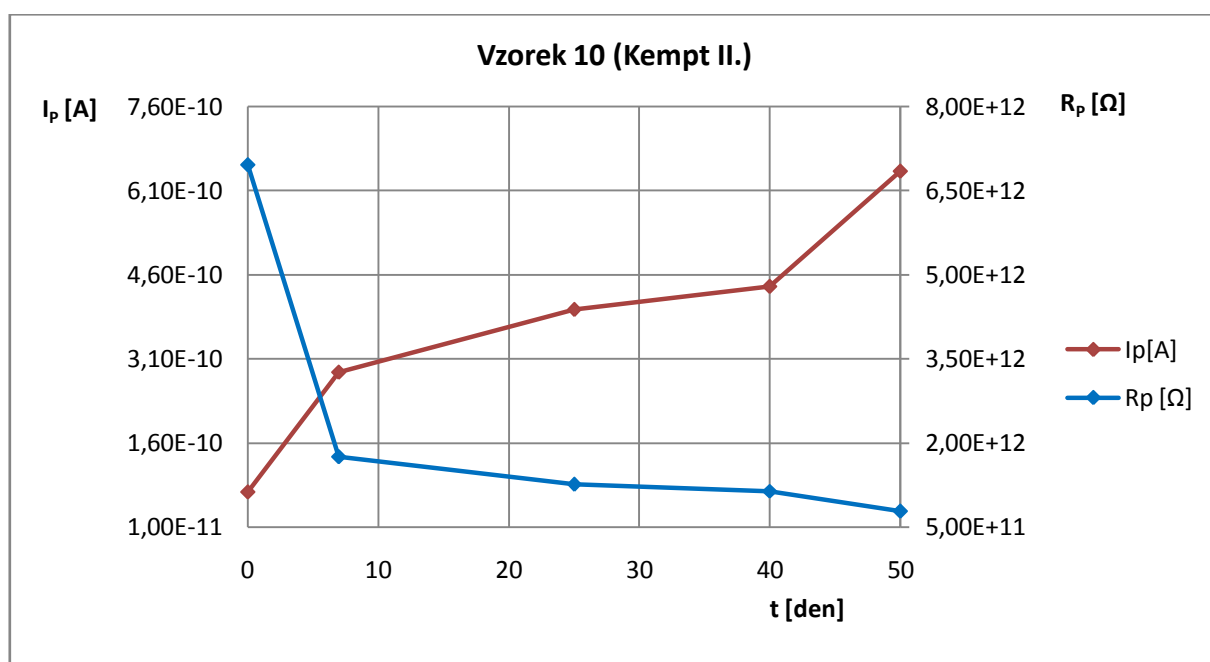
Příloha 1, obr. 7 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 7



Příloha 1, obr. 8 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 8



Příloha 1, obr. 9 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 9



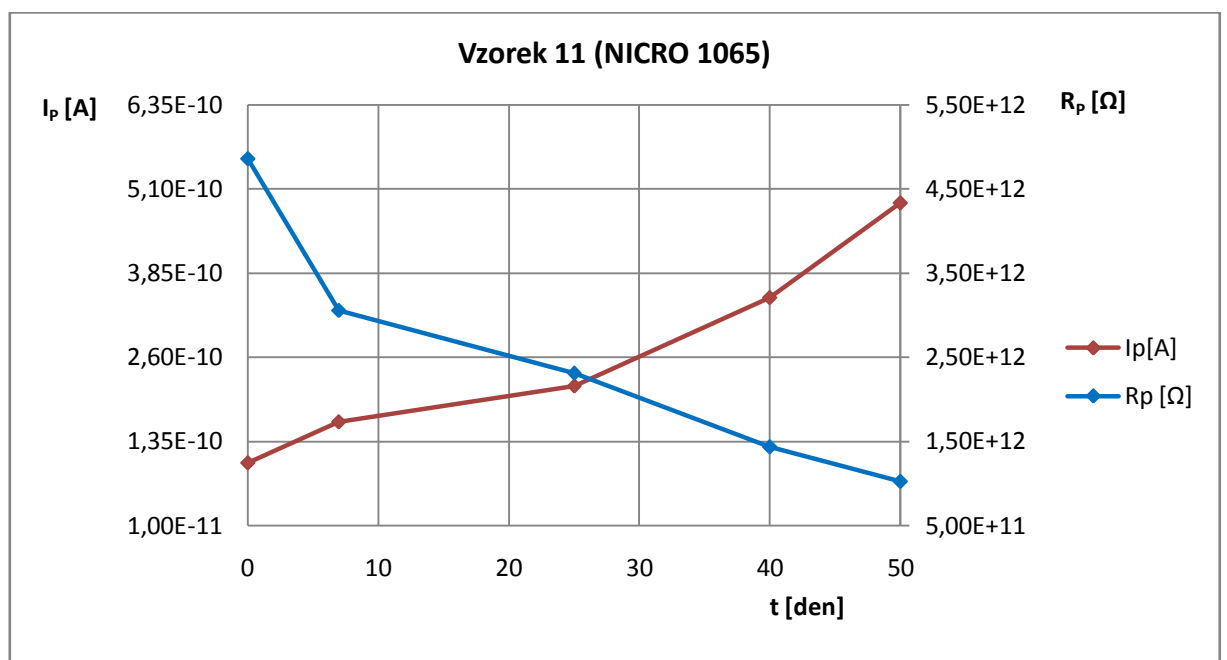
Příloha 1, obr. 10 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 10

Příloha 1, tab. 3 Hodnoty povrchového proudu, odporu a rezistivity pro NICRO 1065

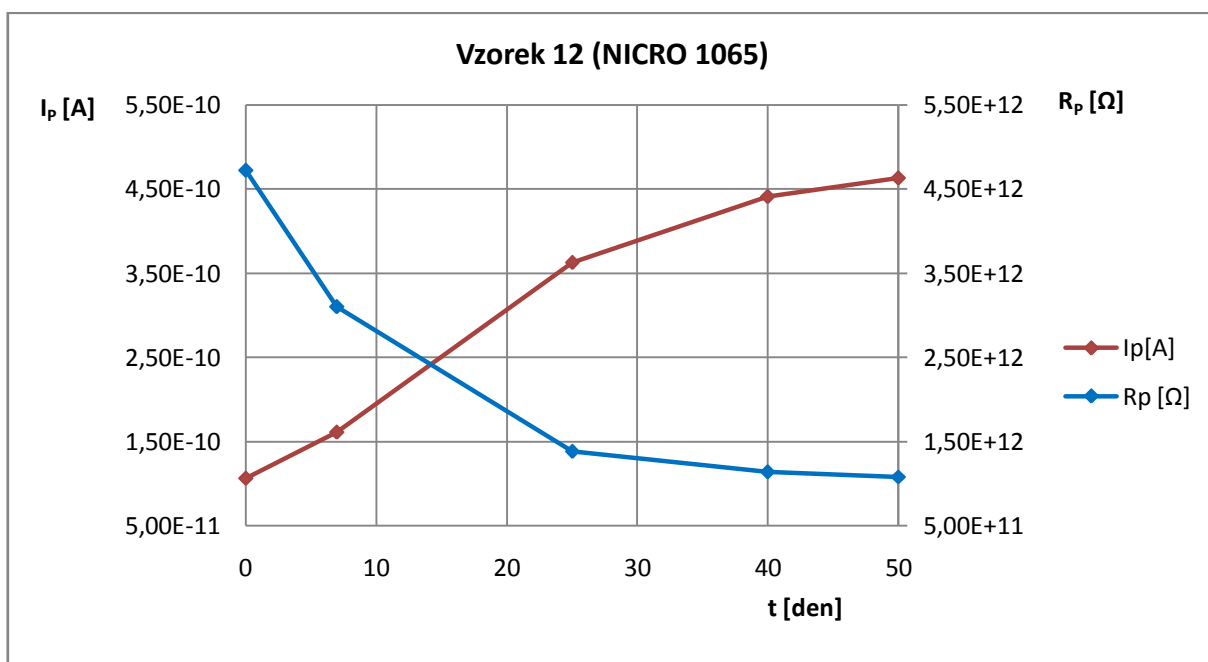
Číslo vzorku	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
	I_{P0} [A]	I_{P7} [A]	I_{P25} [A]	I_{P40} [A]	I_{P50} [A]
11	1,02890E-10	1,63669E-10	2,16740E-10	3,48260E-10	4,89780E-10
12	1,05850E-10	1,61054E-10	3,62730E-10	4,41150E-10	4,63470E-10
13	4,18000E-12	2,99750E-11	3,06840E-11	3,44420E-11	4,71600E-11
14	1,29320E-10	2,03275E-10	2,43530E-10	2,81512E-10	3,27900E-10
15	7,85000E-12	2,05450E-11	2,13380E-11	2,40560E-11	3,03990E-11

Číslo vzorku	R_{P0} [Ω]	R_{P7} [Ω]	R_{P25} [Ω]	R_{P40} [Ω]	R_{P50} [Ω]
	11	4,85956E+12	3,05495E+12	2,30691E+12	1,43571E+12
12	4,72367E+12	3,10455E+12	1,37844E+12	1,13340E+12	1,07882E+12
13	1,19617E+14	1,66806E+13	1,62951E+13	1,45172E+13	1,06022E+13
14	3,86638E+12	2,45972E+12	2,05314E+12	1,77612E+12	1,52486E+12
15	6,36943E+13	2,43368E+13	2,34324E+13	2,07848E+13	1,64479E+13

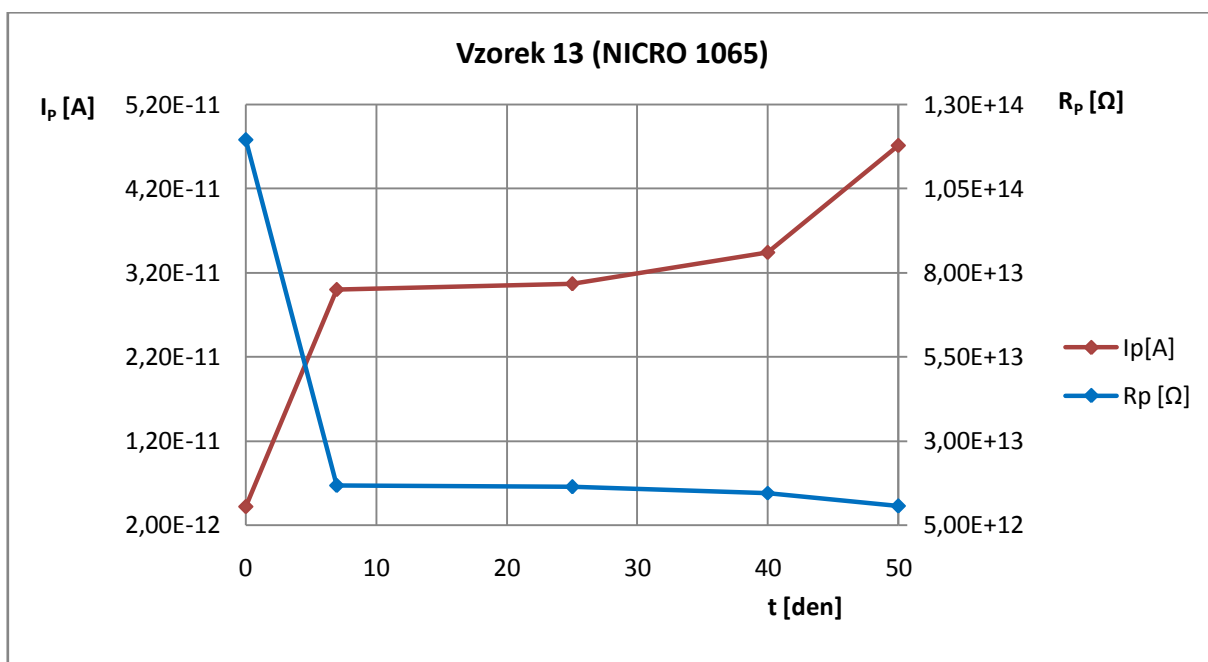
Číslo vzorku	ρ_{P0} [Ω]	ρ_{P7} [Ω]	ρ_{P25} [Ω]	ρ_{P40} [Ω]	ρ_{P50} [Ω]
	11	3,23971E+13	2,03663E+13	1,53794E+13	9,57139E+12
12	3,14911E+13	2,06970E+13	9,18957E+12	7,55601E+12	7,19212E+12
13	7,97448E+14	1,11204E+14	1,08634E+14	9,67811E+13	7,06814E+13
14	2,57759E+13	1,63981E+13	1,36876E+13	1,18408E+13	1,01657E+13
15	4,24628E+14	1,62245E+14	1,56216E+14	1,38566E+14	1,09653E+14



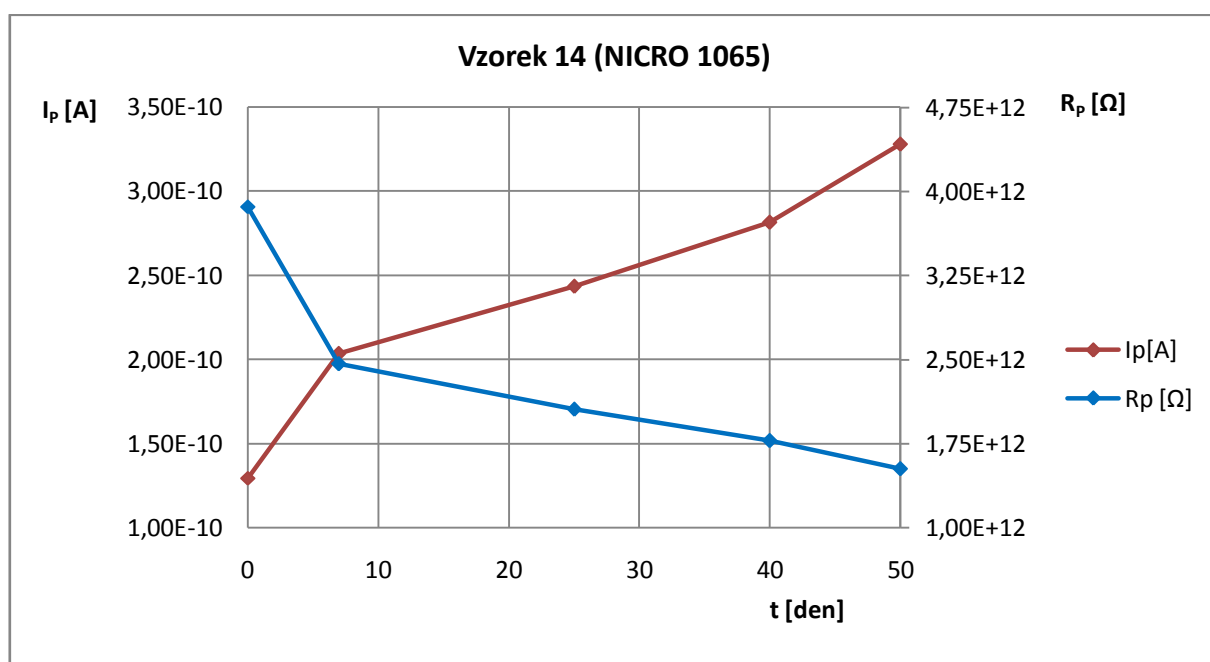
Příloha 1, obr. 11 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 11



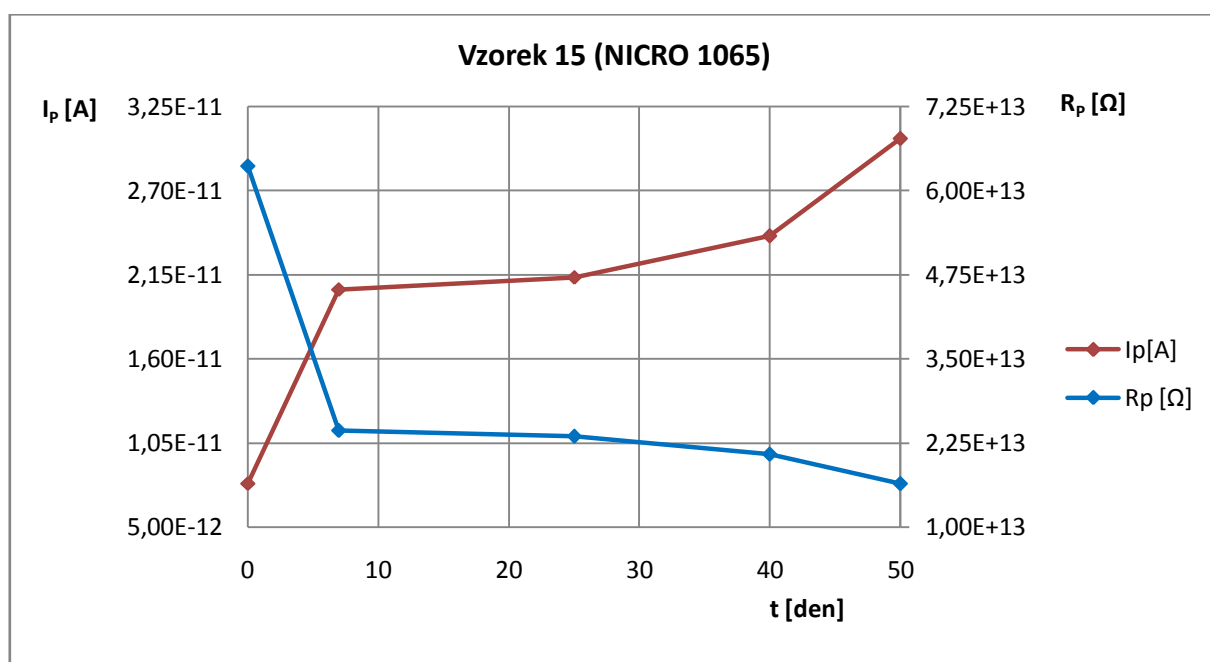
Příloha 1, obr. 12 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 12



Příloha 1, obr. 13 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 13



Příloha 1, obr. 14 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 14



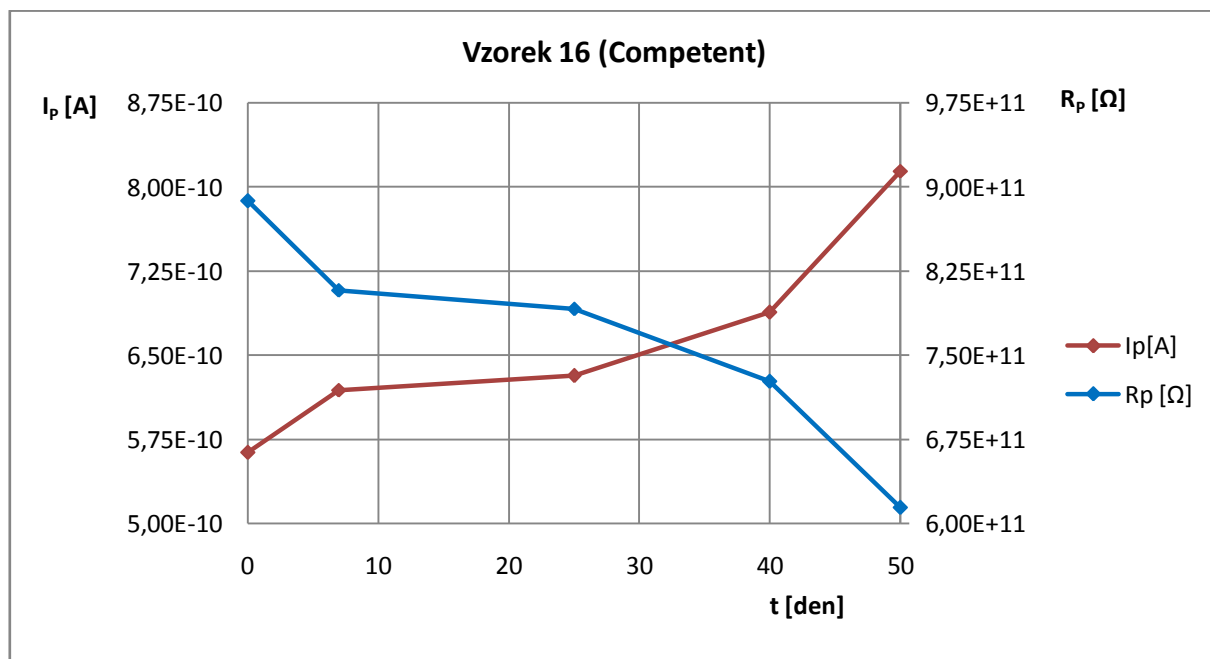
Příloha 1, obr. 15 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 15

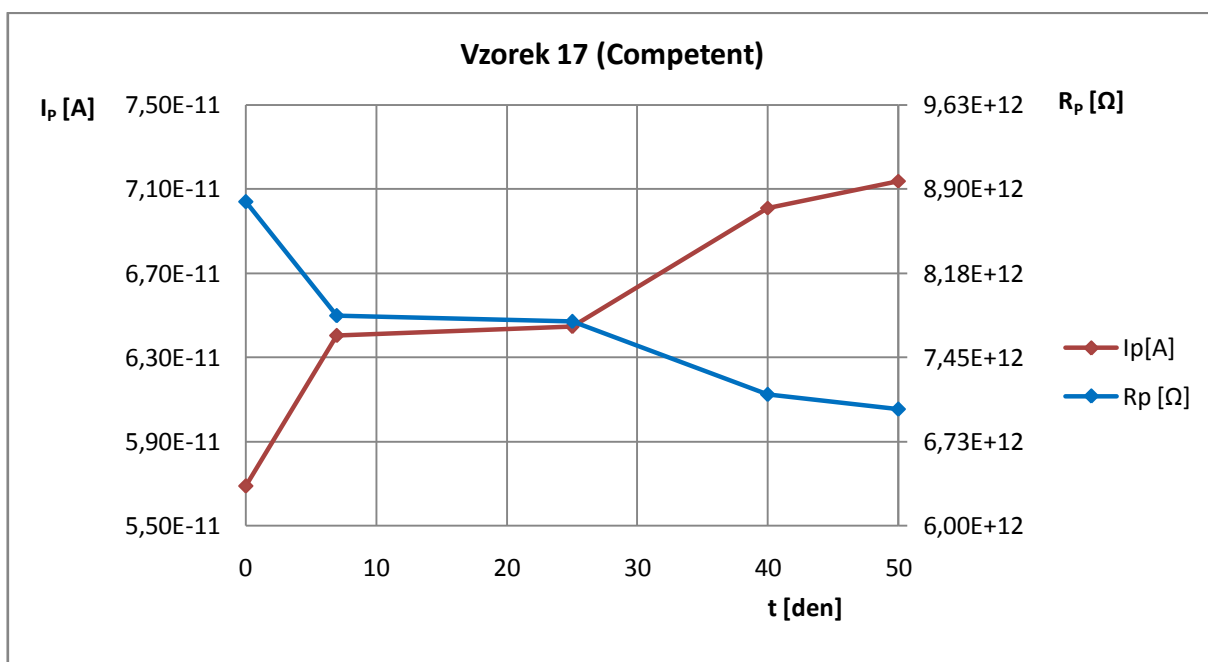
Příloha 1, tab. 4 Hodnoty povrchového proudu, odporu a rezistivity pro Competent

Číslo vzorku	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
	I_{P0} [A]	I_{P7} [A]	I_{P25} [A]	I_{P40} [A]	I_{P50} [A]
16	5,63300E-10	6,18860E-10	6,31800E-10	6,88170E-10	8,14300E-10
17	5,68600E-11	6,40230E-11	6,44580E-11	7,01170E-11	7,13930E-11
18	8,38300E-11	2,06182E-10	3,59930E-10	3,81880E-10	6,22690E-10
19	2,11600E-11	5,99850E-11	6,69970E-11	6,92070E-11	7,69070E-11
20	1,14000E-11	5,06620E-11	5,16310E-11	6,04080E-11	6,08670E-11

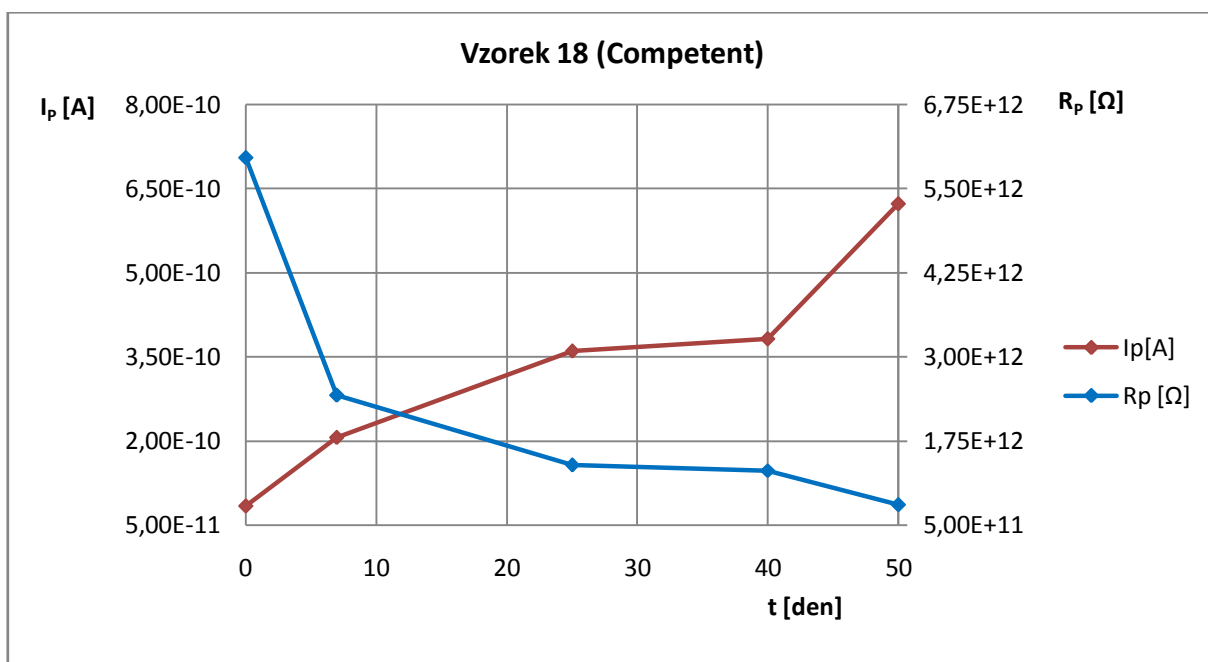
Číslo vzorku	R_{P0} [Ω]	R_{P7} [Ω]	R_{P25} [Ω]	R_{P40} [Ω]	R_{P50} [Ω]
	16	8,87626E+11	8,07937E+11	7,91390E+11	7,26565E+11
17	8,79353E+12	7,80969E+12	7,75699E+12	7,13094E+12	7,00349E+12
18	5,96445E+12	2,42504E+12	1,38916E+12	1,30931E+12	8,02968E+11
19	2,36295E+13	8,33542E+12	7,46302E+12	7,22470E+12	6,50136E+12
20	4,38596E+13	9,86933E+12	9,68410E+12	8,27705E+12	8,21463E+12

Číslo vzorku	ρ_{P0} [Ω]	ρ_{P7} [Ω]	ρ_{P25} [Ω]	ρ_{P40} [Ω]	ρ_{P50} [Ω]
	16	5,91751E+12	5,38625E+12	5,27593E+12	4,84376E+12
17	5,86235E+13	5,20646E+13	5,17133E+13	4,75396E+13	4,66899E+13
18	3,97630E+13	1,61669E+13	9,26106E+12	8,72875E+12	5,35312E+12
19	1,57530E+14	5,55694E+13	4,97535E+13	4,81647E+13	4,33424E+13
20	2,92398E+14	6,57955E+13	6,45607E+13	5,51803E+13	5,47642E+13

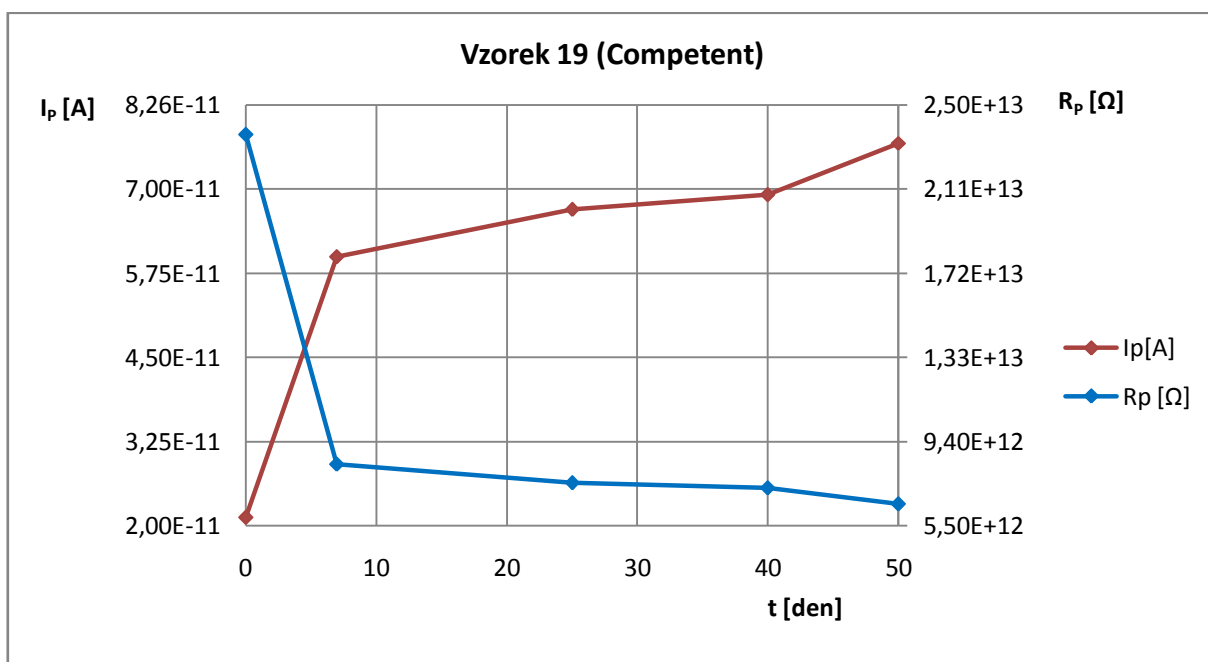
**Příloha 1, obr. 16** Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 16



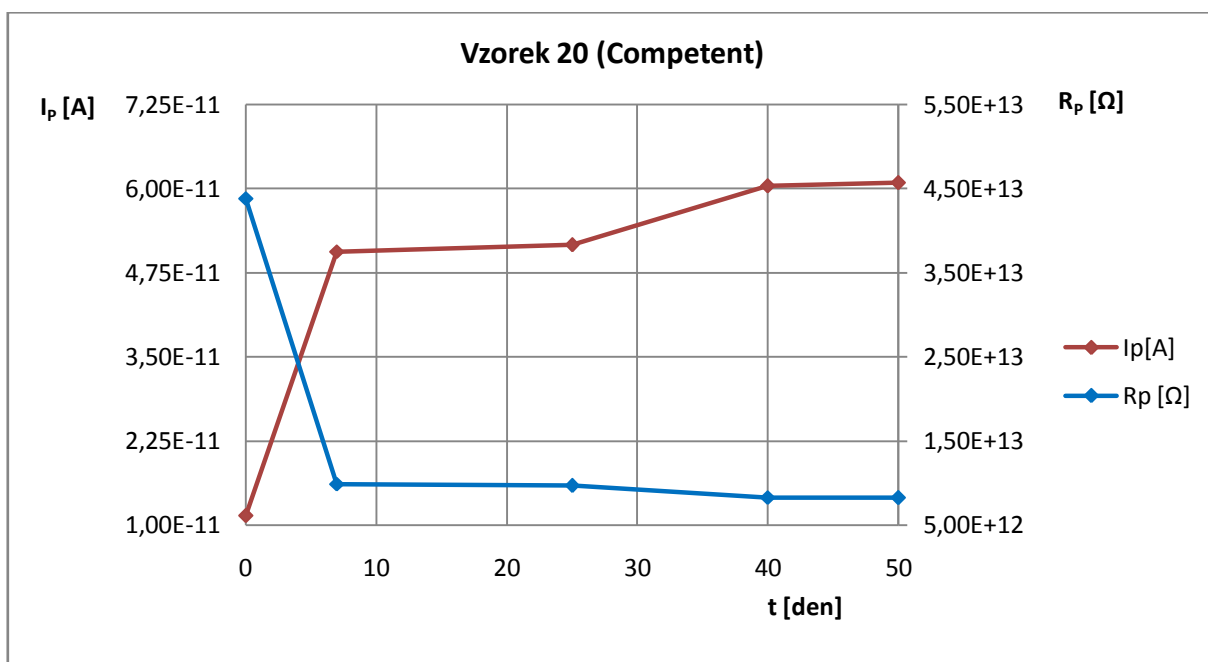
Příloha 1, obr. 17 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 17



Příloha 1, obr. 18 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 18



Příloha 1, obr. 19 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 19



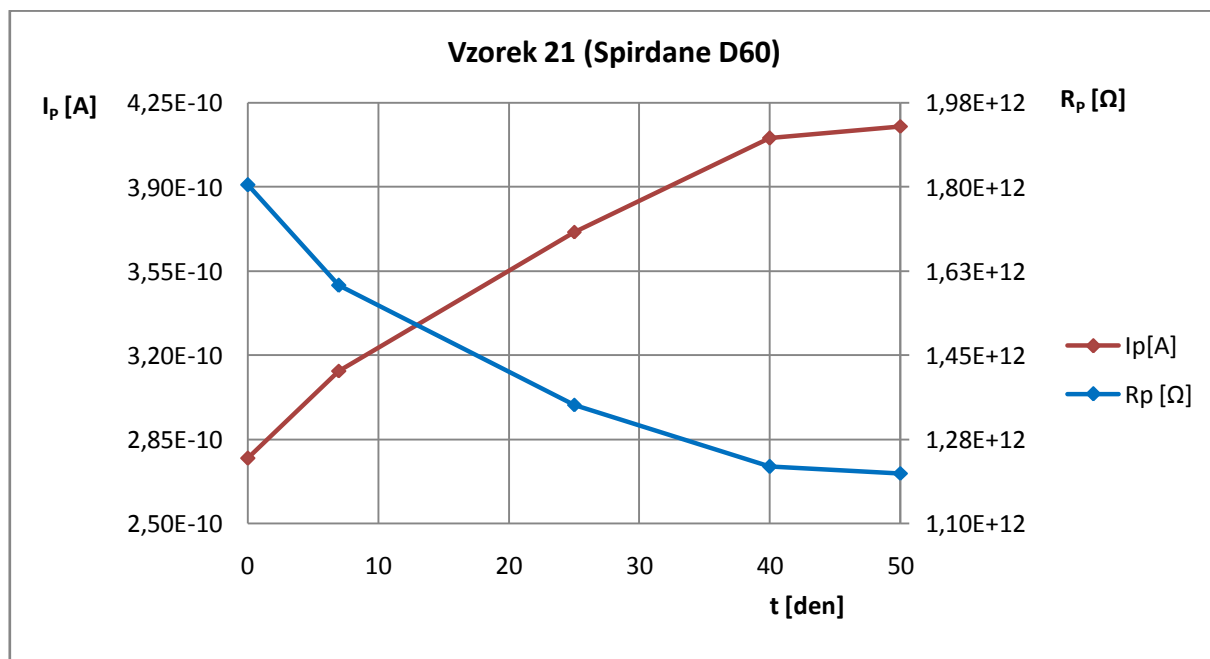
Příloha 1, obr. 20 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 20

Příloha 1, tab. 5 Hodnoty povrchového proudu, odporu a rezistivity pro Spirdane D60

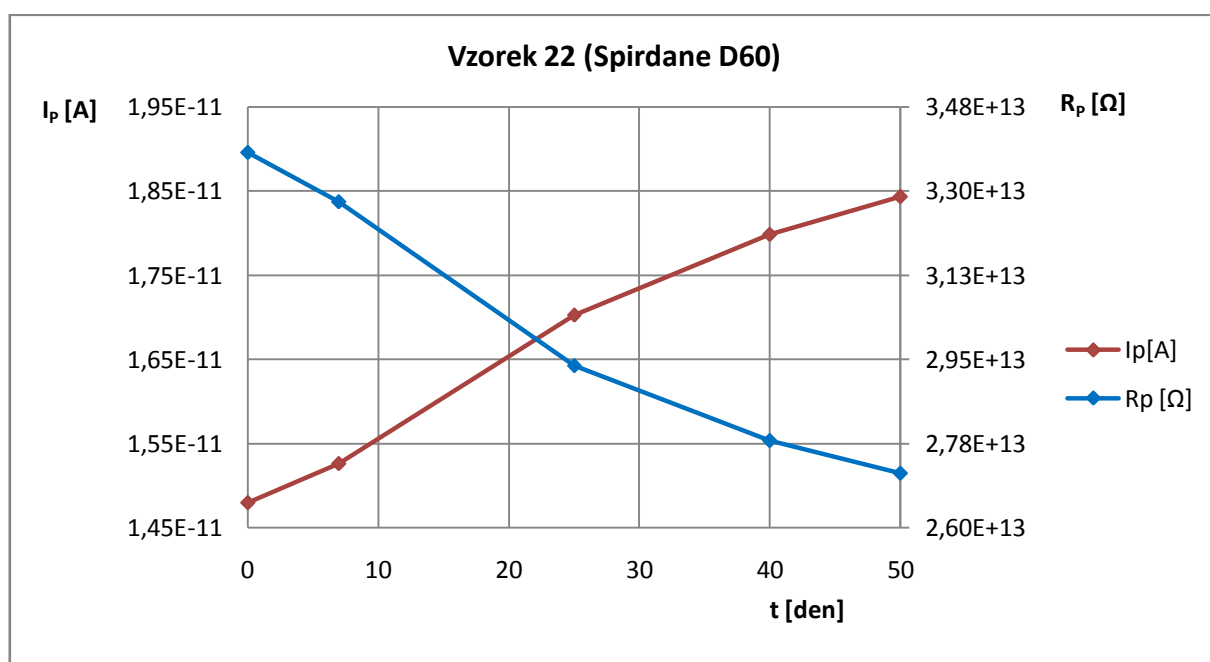
Číslo vzorku	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření	5. měření
	I_{P0} [A]	I_{P7} [A]	I_{P25} [A]	I_{P40} [A]	I_{P50} [A]
21	2,77120E-10	3,13445E-10	3,71338E-10	4,10490E-10	4,15320E-10
22	1,47900E-11	1,52551E-11	1,70261E-11	1,79833E-11	1,84324E-11
23	1,56140E-10	2,41840E-10	3,34700E-10	3,70130E-10	6,92050E-10
24	1,63470E-10	1,84626E-10	2,31930E-10	3,42340E-10	4,13530E-10
25	1,74660E-10	1,93125E-10	2,06880E-10	3,19070E-10	4,59460E-10

Číslo vzorku	R_{P0} [Ω]	R_{P7} [Ω]	R_{P25} [Ω]	R_{P40} [Ω]	R_{P50} [Ω]
	21	1,80427E+12	1,59518E+12	1,34648E+12	1,21806E+12
22	3,38066E+13	3,27759E+13	2,93667E+13	2,78036E+13	2,71261E+13
23	3,20225E+12	2,06748E+12	1,49388E+12	1,35088E+12	7,22491E+11
24	3,05867E+12	2,70818E+12	2,15582E+12	1,46054E+12	1,20910E+12
25	2,86270E+12	2,58900E+12	2,41686E+12	1,56705E+12	1,08823E+12

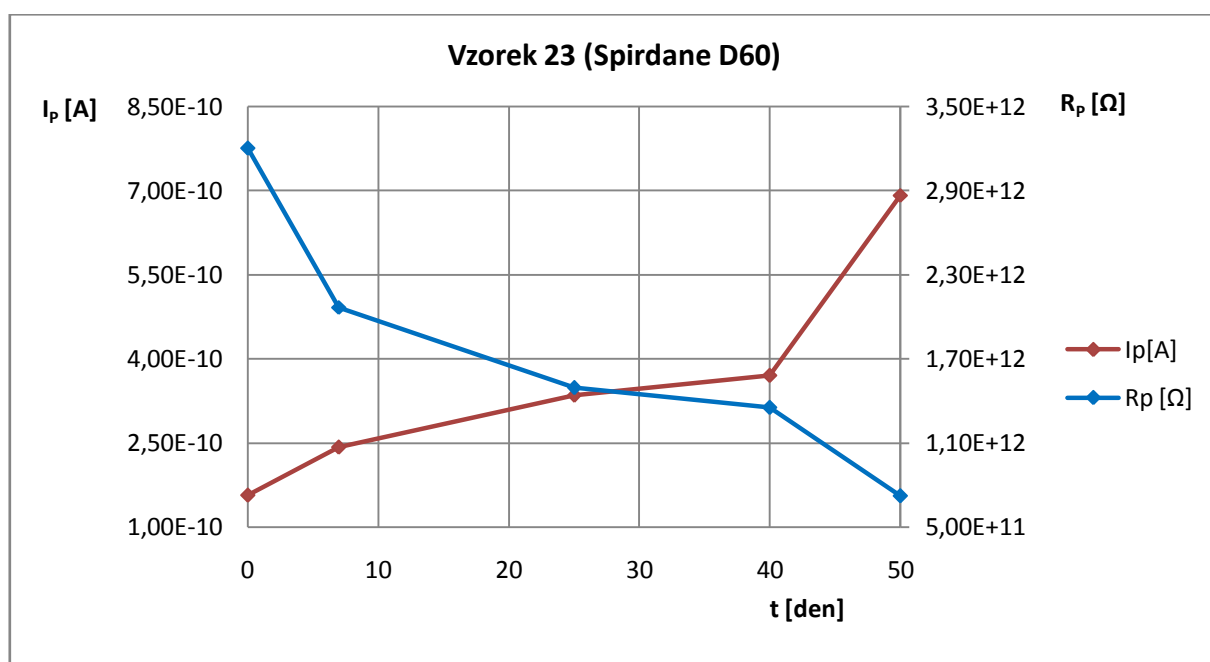
Číslo vzorku	ρ_{P0} [Ω]	ρ_{P7} [Ω]	ρ_{P25} [Ω]	ρ_{P40} [Ω]	ρ_{P50} [Ω]
	21	1,20285E+13	1,06345E+13	8,97655E+12	8,12038E+12
22	2,25378E+14	2,18506E+14	1,95778E+14	1,85357E+14	1,80841E+14
23	2,13484E+13	1,37832E+13	9,95917E+12	9,00584E+12	4,81661E+12
24	2,03911E+13	1,80545E+13	1,43722E+13	9,73691E+12	8,06068E+12
25	1,90847E+13	1,72600E+13	1,61124E+13	1,04470E+13	7,25489E+12



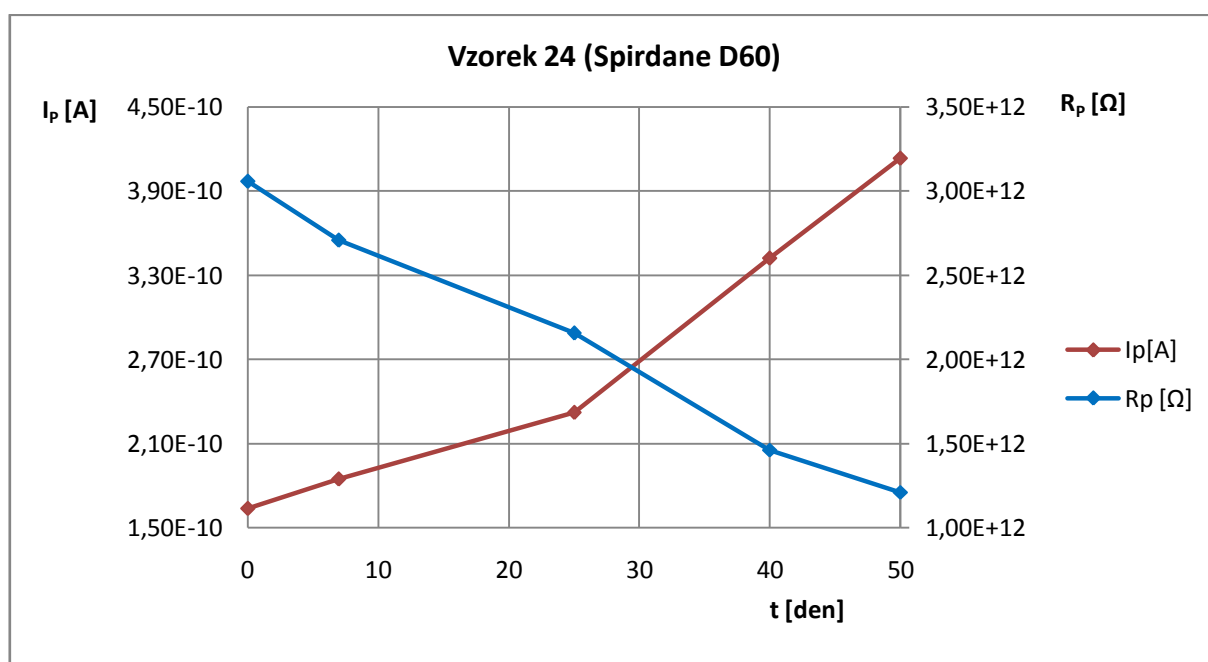
Příloha 1, obr. 21 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 21



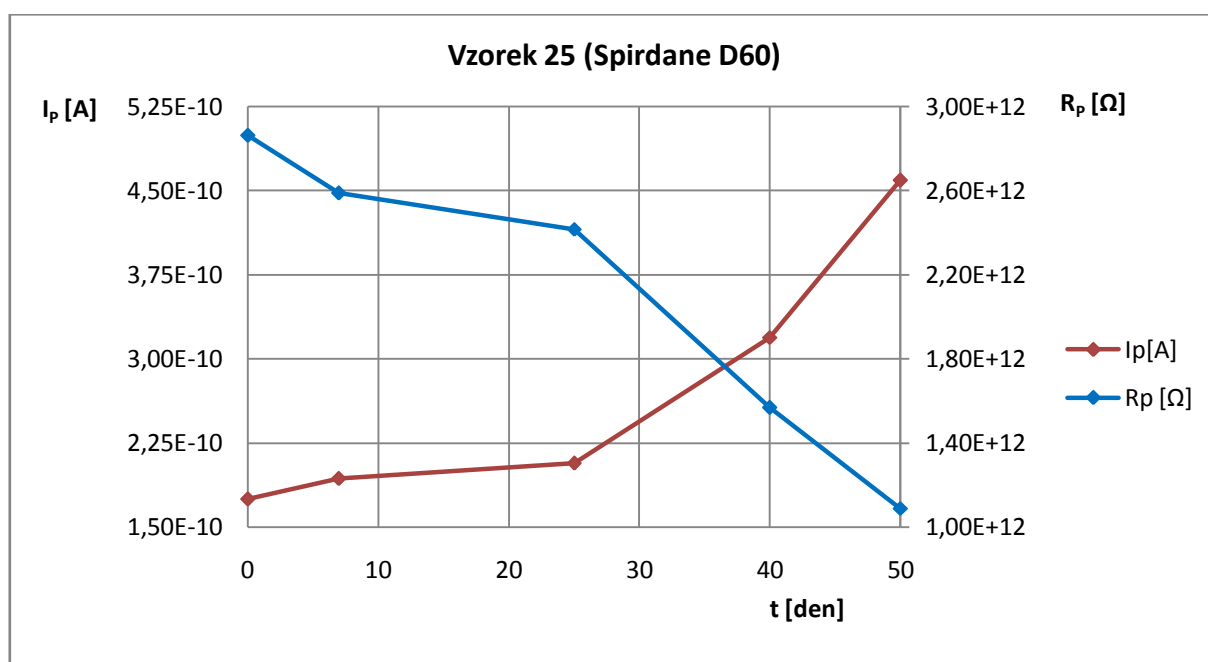
Příloha 1, obr. 22 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 22



Příloha 1, obr. 23 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 23

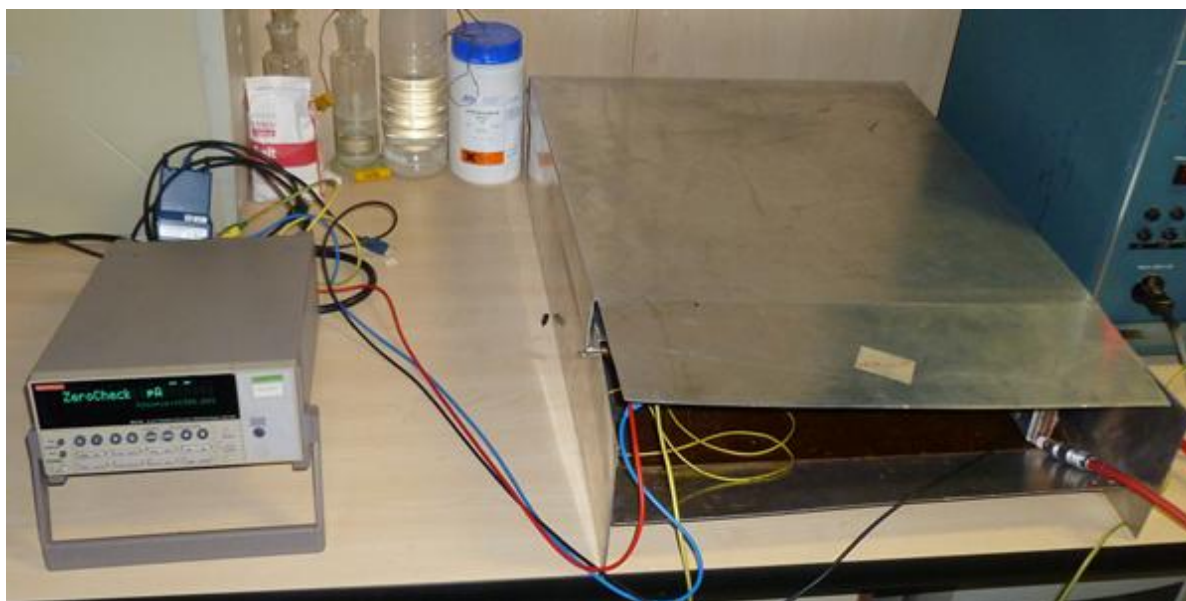


Příloha 1, obr. 24 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 24



Příloha 1, obr. 25 Časový průběh povrchového proudu a odporu – vzorek č. 25

Příloha 2: Fotodokumentace



Příloha 2, obr. 1 Pracoviště pro měření povrchového proudu



Příloha 2, obr. 2 Detail elektrodového systému



Příloha 2, obr. 3 Vzorky ovinuté textilií a potravinářskou folií



Příloha 2, obr. 4 Barevné značení kanistrů s čistícími prostředky

Příloha 3: Program pro Matlab

```

%Nelinearni regresni model - Blanka Sediva, Jaroslav Hornak, 2014,[61]
%*****

clear all
close all
clc

% nacteni dat z externiho souboru
dd=xlsread('soubor.xlsx','rozsah:bunek');

% definice vektoru dat osy y
y=[];
for i=1:size(dd,2);
    y=[y ;dd(:,i)];
end

% definice vektoru dat osy x
casy=[0,7,25,40,50];
x=[];
for i=1:size(dd,2);
    x=[x;repmat(casy(i),5,1)];
end

% definice nelinearniho regresniho modelu
fce001=@(beta,x) 100*exp(x.*beta);

% blok pro vypocet odhadu
[betahat,resid,J,Sigma,mse] = nlinfit(x,y,fce001,0);
ci = nlparci(betahat,resid,'jacobian',J);
xx=linspace(floor(min(x)),ceil(max(x)));
[ypred, delta] = nlpredci(fce001,xx,betahat,resid,'Covar',Sigma);

% definice velikosti a umisteni grafu
scrsz = get(0,'ScreenSize');
figure('Position',[scrsz(4)/9 scrsz(4)/9 scrsz(3)/2 scrsz(4)/2]);

% definice grafickeho zobrazeni x, y, prumeru, medianu a odhadu
hold on
plot(x,y,'ko');
plot(casy,mean(dd),'rx','MarkerSize',10,'LineWidth',1.5);
plot(casy,median(dd),'gv','MarkerSize',10,'LineWidth',1.5);
plot(xx,ypred,'k-',xx,ypred+delta,'k:',xx,ypred-
delta,'k:', 'LineWidth',1);

% definice popisku v grafu
legend('Data','Průměr','Medián','Odhad','Intervalový odhad');
title('Cistici prostredek');
xlabel('t [den]');
ylabel('\rhop [%]');
text(20,95,['Odhad parametru \beta=
',num2str(betahat,'%11.4f')],'FontSize',10);

% tisk hodnot odhadu v danych okamžicích na obrazovku
disp(['Y(7)= ',num2str(ypred(14)), ' +/- ',num2str(delta(14))]);
disp(['Y(25)= ',num2str(ypred(50)), ' +/- ',num2str(delta(50))]);
disp(['Y(40)= ',num2str(ypred(80)), ' +/- ',num2str(delta(80))]);
disp(['Y(50)= ',num2str(ypred(100)), ' +/- ',num2str(delta(100))]);

```