

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Nové elektroizolační kapaliny

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan KUBEŠ**
Osobní číslo: **E15N0021P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Nové elektroizolační kapaliny**
Zadávací 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. Prostudujte a uveďte vlastnosti a předpoklady kvality elektroizolačních kapalin .
2. Zhodnoťte vztah elektroizolačních kapalin k životnímu prostředí .
3. Pro vybranou elektroizolační kapalinu proměřte a zhodnoťte její vlastnosti .
4. Uveďte možnosti modifikace elektrických vlastností elektroizolačních kapalin nanopří-
sady .

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Mentlík, V. Dielektrické prvky a systémy, BEN Praha 2006
2. ČSN EN 62770 Kapaliny pro elektrotechnické aplikace
3. ČSN EN 61099 Izolační kapaliny

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.

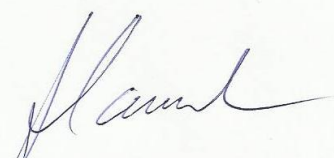
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


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




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zjištění, zda je možné nanopřísadou změnit elektroizolační vlastnosti nové elektroizolační kapaliny šetrné k životnímu prostředí, kterou by bylo možné v budoucnosti použít v transformátorech. Nové elektroizolační kapaliny vznikají ze syntetických nebo rostlinných olejů, aby nahradily minerální elektroizolační oleje, které jsou pro životní prostředí nebezpečné. Velice perspektivní jsou rostlinné oleje, které ovšem nemají tak dobré elektroizolační a fyzikálně-chemické vlastnosti v porovnání s minerálními oleji, a proto se dále upravují. Diplomová práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol. Nejprve práce shrnuje všechny potřebné informace a vymezuje svou oblast zaměření. Poté se diplomová práce zabývá vlastnostmi a předpoklady elektroizolačních kapalin a vlivem komerčně používaných elektroizolačních kapalin na životní prostředí. Ve čtvrté části diplomové práce jsou změřeny elektroizolační vlastnosti řepkového oleje ENVITRAFOL. V poslední části je proveden experiment, kterým je experimentálně zjištěn vliv koncentrace vybraného typu nanočástice na elektroizolační vlastnosti řepkového oleje ENVITRAFOL.

Klíčová slova

Izolant, Diagnostika izolantu, Fenomenologický přístup, Elektroizolační kapalina, Nanočástice, Řepkový olej ENVITRAFOL

Abstract

This diploma thesis is focused on determining whether it is possible to change the electroinsulating properties of a new environmentally friendly electroinsulating liquid, that could be used in transformers in the future. New electrical insulating liquids are made from synthetic or vegetable oils to replace the mineral electroinsulating oils that are dangerous to the environment. Very promising are vegetable oils, which, however, do not have as good electrical insulating and physico-chemical properties as mineral oils and are therefore further improved. The thesis is divided into five main chapters. First chapter of the work summarize all the necessary information and defines the area of focus. Then diploma thesis deals with the properties and requirements of electrical insulating fluids and the influence of commercially used electroinsulating fluids on the environment. In the fourth part of the diploma thesis, are measured the electrical insulating properties of rapeseed oil ENVITRAFOL. In the last part is performed an experiment that experimentally detect the influence of the concentration of the selected type of nanoparticle on the electroinsulating properties of the rapeseed oil ENVITRAFOL.

Key words

Insulator, Diagnostics of Insulator, Phenomenological approach, Liquid insulator, Nanoparticles, Rapeseed oil ENVITRAFOL

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, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 10. 5. 2017

Bc. Jan Kubeš

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Václavu Mentlíkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a metodické vedení této práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	11
1 ELEKTROIZOLAČNÍ MATERIÁLY	12
1.1 ROZDĚLENÍ DIELEKTRIK	13
1.2 KAPALNÉ IZOLANTY	14
1.3 ROZDĚLENÍ KAPALNÝCH IZOLANTŮ	14
1.3.1 Rostlinné oleje.....	14
1.3.2 Minerální oleje.....	15
1.3.3 Syntetické oleje.....	16
2 VLASTNOSTI A PŘEDPOKLADY KAPALNÝCH IZOLANTŮ	17
2.1 POŽADAVKY NA ELEKTROIZOLAČNÍ KAPALINY	17
2.2 VLASTNOSTI KAPALNÝCH IZOLANTŮ	18
2.3 STEJNOSMĚRNÉ METODY	18
2.3.1 Izolační odpor.....	19
2.3.2 Vnitřní rezistivita	19
2.3.3 Polarizační index	20
2.4 STŘÍDAVÉ METODY	20
2.4.1 Relativní permitivita.....	20
2.4.2 Zrátkový činitel.....	21
2.4.3 Přeskové napětí.....	24
2.5 DALŠÍ SLEDOVANÉ VLASTNOSTI ELEKTROIZOLAČNÍCH KAPALIN.....	25
2.5.1 Oxidační stabilita.....	25
2.5.2 Bod tekutosti.....	26
2.5.3 Číslo kyselosti	26
2.5.4 Obsah vody	26
3 VLIV ELEKTROIZOLAČNÍCH KAPALIN NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	27
3.1 SLEDOVANÉ PARAMETRY KAPALIN.....	27
3.1.1 Biologická odbouratelnost	27
3.1.2 Hořlavost kapalin.....	28
4 TESTOVÁNÍ ŘEPKOVÉHO OLEJE ENVITRAFOL	29
4.1 ŘEPKOVÝ OLEJ ENVITRAFOL.....	29
4.2 NANOPŘÍSADA	30
4.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ	31
4.3.1 Příprava vzorků řepkového oleje bez nanopřířady	31
4.3.2 Příprava vzorků řepkového oleje s nanopřířadou.....	32
4.4 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	32
4.4.1 Analyzátor dielektrik Tettex	32
4.4.2 Sestava High Volt.....	35
4.5 NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	36
4.5.1 Naměřené hodnoty řepkového oleje bez nanopřířady.....	37
4.5.2 Naměřené hodnoty řepkového oleje s nanopřířadou	40
5 MODIFIKACE ŘEPKOVÉHO OLEJE ENVITRAFOL NANOPŘÍSADOU	46
ZÁVĚR	50
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	52
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratk

δ	Ztrátový úhel dielektrika [$^{\circ}$]
ε_0	Permitivita vakua [$8,8542 \cdot 10^{-12} F/m$]
ε_r	Relativní permitivita dielektrika [–]
γ	Konduktivita materiálu [S/m]
ρ_v	Vnitřní rezistivita [$\Omega \cdot m$]
σ	Směrodatná odchylka souboru dat
σ^2	Rozptyl souboru dat
ν	Variační koeficient souboru dat [%]
ω	Úhlová frekvence [rad/s]
A	Povrch měřících elektrod [m^2]
C_0	Kapacita při měření vzduchového dielektrika [F]
C_n	Referenční kondenzátor [F]
C_p	Kapacita ideálního dielektrika v paralelním náhradním schématu [F]
C_s	Kapacita ideálního dielektrika v sériovém náhradním schématu [F]
C_x	Kapacita měřeného vzorku [F]
$E(x)$	Střední hodnota souboru dat
f	Frekvence [Hz]
i_{15}	Proud procházející izolantem v patnácté vteřině [A]
i_{60}	Proud procházející izolantem v šedesáté vteřině [A]
I	Celkový elektrický proud procházející dielektrikem [A]
I_a	Absorpční proud pomalých ztrátových polarizací [A]
I_{aj}	Jalová složka absorpčního proudu [A]
I_{aw}	Reálná složka absorpčního proudu [A]
I_{bzp}	Rychlé bezztrátové polarizace dielektrika [A]
I_{C0}	Proud nabíjející kapacitu vakuového dielektrika [A]
I_C	Proud procházející ideálním dielektrikem [A]

I_n	Proud procházející referenčním kondenzátorem [A]
I_R	Proud procházející rezistorem reprezentujícího ztráty [A]
I_V	Vodivostní proud dielektrika [A]
K	Konstanta kondenzátoru pro měření kapalných dielektrik
l	Vzdálenost elektrod měřícího kondenzátoru [m]
n	Počet prvků v souboru dat [-]
p_{i1}	Polarizační index jednominutový [-]
Q	Elektrický náboj [C]
P_Z	Dielektrické ztráty [W]
R	Izolační odpor [Ω]
R_n	Přesný odporový bočník snímající proud referenčním kondenzátorem [Ω]
R_p	Odpor paralelního rezistoru odpovídajícího ztrátám v dielektriku [Ω]
R_s	Odpor sériového rezistoru odpovídajícího ztrátám v dielektriku [Ω]
R_x	Přesný odporový bočník snímající proud měřeným dielektrikem [Ω]
$tg \delta$	Ztrátový činitel [-]
U	Napětí na dielektriku [V]
U_C	Napětí na ideálním dielektriku [V]
U_n	Napětí na odporovém bočníku R_n [V]
U_R	Napětí na sériovém rezistoru odpovídajícího ztrátám [V]
U_x	Napětí na odporovém bočníku R_x [V]
U_p	Přeskokové napětí [kV]
x_i	Naměřená hodnota
\bar{x}	Aritmetický průměr souboru dat
ADC	Převodník analogového signálu na digitální
DBPC	Dibutyl-para-kresol
PC	Vestavěné vyhodnocovací zařízení
TGA	Termogravimetrie
UHV	Ultra vysoké napětí (Ultra High Voltage)

Úvod

Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na zjištění, zda je možné modifikovat vlastnosti elektroizolační kapaliny pomocí nanopřířady. Modifikovaná elektroizolační kapalina by měla mít dobrou biologickou odbouratelnost a být tak šetrná k životnímu prostředí. Tím by elektroizolační kapalina mohla v budoucnosti nahradit běžně používané oleje v transformátorech.

Práce je rozdělena celkem do pěti hlavních částí. První část shrnuje všechny potřebné informace řešené problematiky v diplomové práci a vymezuje svou oblast zaměření na izolační materiály. Dále tato část popisuje elektroizolační kapaliny, jejich dělení, vlastnosti a praktická použití. Druhá část diplomové práce je zaměřena na diagnostické metody pro zjištění elektroizolačních vlastností a na stanovení požadavků pro nepolární elektroizolační kapaliny. Blíže popisuje měřené vlastnosti a způsob jejich měření nebo výpočtu. Třetí část diplomové práce shrnuje vliv elektroizolačních kapalin na životní prostředí, zaměřuje se na nejdůležitější vlastnosti kapalin z hlediska šetrnosti k životnímu prostředí a poté porovnává rostlinné oleje s minerálními oleji. Poslední části diplomové práce popisují testování řepkového oleje ENVITRAFOL a následný experiment v podobě modifikace elektroizolačních vlastností nanopřířadou, tedy zjištění vlivu koncentrace nanopřířady na vlastnosti elektroizolační kapaliny. Blíže se zaměřují na přípravu vzorků, použité měřicí metody, měřicí přístroje a naměřené hodnoty izolačních vlastností. Následně je vyhodnocen vliv nanopřířady na změnu elektroizolačních vlastností řepkového oleje ENVITRAFOL.

Potřeba nových elektroizolačních kapalin, jejichž základem jsou rostlinné oleje, vznikla celosvětovou snahou chránit životní prostředí a zmírnit dopady lidských produktů na okolní krajinu. Tyto celosvětové aktivity začaly vznikat na konci minulého století, kdy již řada expertů varovala před globálním oteplováním a ničivými dopady lidských produktů na životní prostředí. Nejvyšší pravděpodobnost zamoření okolní krajiny elektroizolační kapalinou je při poškození elektrického zařízení následovaného únikem kapaliny. Elektroizolační kapaliny bývají většinou minerální, tedy na ropné bázi. Minerální oleje jsou vysoce hořlavé a špatně biologicky odbouratelné. Jejich únik tak má velký dopad na celý okolní ekosystém.

1 Elektroizolační materiály

První kapitola této diplomové práce se zaměřuje na elektroizolační materiály, jejich rozdělení, charakteristiky a praktické použití. Poté diplomová práce specifikuje svou oblast zaměření na kapalně izolanty rostlinného původu. Charakterizuje tak kapalně izolanty, jejich rozdělení a použití. Vysvětlení základních principů, rozdělení a charakteristiky elektroizolačních materiálů se zabývají [1][2][3][4][5][6].

Materiály, pro použití v elektrotechnice, se rozdělují podle materiálové konduktivity γ [1] na vodiče, polovodiče a izolanty. Konduktivita materiálu γ je dána množstvím volných nosičů elektrického náboje Q , které umožňuje vedení elektrického proudu I . Množství volných nosičů elektrického náboje je výrazně ovlivněno vnějšími podmínkami, mezi které patří teplota, tlak, frekvence a intenzita elektrického pole. Z těchto vnějších podmínek má největší vliv teplota. Ideální izolant neobsahuje žádné volné nosiče elektrického náboje, a tím dokonale brání průchodu elektrického proudu. Reálný izolant, na rozdíl od ideálního izolantu, obsahuje malé množství volných nosičů náboje a má tak měřitelnou vodivost, která se pohybuje řádově $10^{-9} S/m$ [1]. Další používané dělení látek je podle skupenství [6] na tuhé, kapalně a plynné. Skupenství udává formu látky, která je charakterizována uspořádáním částic ve struktuře s typickými vlastnostmi [7]. Změnou teploty a tlaku, působícího na látku, dochází ke změně její vnitřní energie a případně změně látkového skupenství. Se skupenstvím souvisí také vnitřní struktura, zejména vazby, ze kterých je látka tvořena. Kovalentní vazbou se vytváří především izolanty, výjimkou je pouze tuhé skupenství, ve kterém vazba může vytvářet i polovodivou látku [1]. Iontová vazba vytváří pro jednotlivá skupenství stejné látky jako vazba kovalentní. Rozdílem je kapalně skupenství, ve kterém může vytvořit vodič druhé třídy, který se vyznačuje elektrolytickou vodivostí. Kovová vazba vytváří především vodivé látky, výjimkou je plynné skupenství, které ve slabém elektrickém poli vykazuje elektroizolační vlastnosti [1].

Izolanty se používají v izolaci elektrických zařízení, kde oddělují místa s rozdílným potenciálem. Izolační parametry se vlivem okolního prostředí zhoršují, izolant stárne a dochází tak ke snížení jeho izolační schopnosti. Tím se z izolačního systému stává nejslabší část spolehlivostního řetězce [8] a výrazně tak určuje spolehlivost celého elektrického zařízení.

1.1 Rozdělení dielektrik

Dielektrikum je množina látek, jejichž částí jsou izolanty, které je možno elektricky polarizovat a uchovat elektrický náboj Q v materiálu. Polarizace dielektrika se provede jeho vložením do elektrického pole, které způsobí natočení elektrických dipólů podle orientace působícího elektrického pole. Míru polarizace dielektrika udává velikost relativní permitivity ϵ_r . [9]

Dielektrika se rozdělují podle vnitřní struktury [1] na dielektrika polární a nepolární. Polární dielektrika se vyznačují dipólovým momentem, který má dielektrikum i bez působení vnějšího elektrického pole. Tento dipólový moment je dán strukturou látky, ve které jsou rozdílná těžiště kladných a záporných nábojů. Rozdílná těžiště jsou způsobena vazbami atomů uvnitř dielektrika a jejich uspořádáním. Iontové vazby vytváří polární molekuly, výjimkou jsou víceatomové iontové vazby, u kterých záleží na orientaci jednotlivých vazeb mezi atomy. Polární dielektrika vytváří i kovalentní vazba atomů látky, ale ta je závislá na asymetrii elektronových obalů vlivem vzájemné interakce atomů mezi sebou. Polárnost je poté určena vektorovým součtem jednotlivých dipólových momentů všech atomových vazeb uvnitř dielektrika. Příkladem polárního dielektrika je voda. Nepolární dielektrika získávají dipólový moment až při působení vnějšího elektrického pole na látku. Nepolární dielektrikum je například vodík.

Práce se bude dále zaměřovat na podmnožinu dielektrik, tedy izolanty. Pro použití kapaliny v transformátoru jsou důležité především její elektroizolační vlastnosti. [10]

Další používané dělení dielektrik a izolantů je podle látkového skupenství [5] na izolanty pevné, kapalné a plynné. Pevné izolanty mají ze všech izolantů nejvyšší elektrickou pevnost, ale elektrickým průrazem dojde k úplnému zničení izolantu. Používají se k výrobě izolátorů, průchodek a kondenzátorů. Příkladem pevného izolantu je slída, keramika, sklo, kalafuna, pryž a plasty. Plynné izolanty mají nejnižší relativní permitivitu a dielektrické ztráty jsou frekvenčně nezávislé [11]. Plynné izolanty vyplňují celý prostor a, stejně jako kapalné izolanty, mají schopnost regenerace, tedy obnovení izolačních vlastností po elektrickém přeskoku. Nejběžnějším plynným izolantem je vzduch, který se používá k izolování venkovního vedení.

1.2 Kapalné izolanty

Kapalné izolanty, neboli elektroizolační kapaliny, se kromě elektroizolačních vlastností vyznačují dobrou tepelnou vodivostí a mohou tak plnit funkci chladicího média. Tyto přednosti se využívají nejčastěji v transformátorech, ve kterých elektroizolační kapaliny slouží jako izolant vinutí a cirkulací kapaliny dochází také k chlazení transformátoru. Elektroizolační kapaliny vyplňují celý prostor pod úrovní hladiny a dokáží se dostat do pórů tuhých izolantů. Tato vlastnost se využívá u kondenzátoru, ve kterém elektroizolační kapalina impregnuje papírové dielektrikum [6], a zlepšit tím jeho elektroizolační vlastnosti. V neposlední řadě se elektroizolační kapaliny používají u spínacích přístrojů pro zhášení vypínacích proudů [5].

1.3 Rozdělení kapalných izolantů

Kapalné izolanty se rozdělují podle svého vzniku [5] na syntetické a přírodní oleje. Přírodní oleje se získávají zpracováním přírodních zdrojů, na rozdíl od syntetických olejů, které jsou vytvářeny chemickou cestou. Přírodní oleje se dále rozdělují podle zdrojové suroviny na oleje rostlinné a minerální. Pro minerální oleje je zdrojovou surovinou ropa, oproti tomu rostlinné oleje se získávají zpracováním produktů rostlin.

1.3.1 Rostlinné oleje

Rostlinné oleje jsou elektroizolační kapaliny tvořené směsí esterů, glycerinů a nenasycených mastných kyselin. Oleje jsou získávány lisováním semen nebo plodů rostlin s následnou rafinací [12][13]. Rafinace slouží k odstranění nežádoucích látek v čistém oleji, které by zhoršovaly vlastnosti surového rostlinného oleje a znemožnily by jeho následné technické použití. Jedná se především o fosfolipidy, vosky a těkavé látky [12]. Po rafinaci se z olejů dále odstraňuje voda sušením ve vakuu [14]. Rostlinné oleje mají velmi dobrou biologickou odbouratelnost [15], tedy v krajině se olej zcela rozloží. Oproti minerálním olejům mají rostlinné oleje, kromě vyšší úrovně biologické odbouratelnosti, také vyšší teplotu vzplanutí [16], zvyšují životnost papírové izolace [17] a získávají se z obnovitelných surovinových zdrojů. Nevýhodou rostlinných olejů jsou horší elektroizolační vlastnosti [18], vyšší bod tekutosti [19], vyšší hustota [20], nižší oxidační stabilita [15] a schopnost pojmout velké množství molekul vody oproti minerálním olejům [21].

Rostlinné oleje se rozdělují do čtyř hlavních skupin [22], podle reakce rostlinného oleje na kyslík obsažený ve vzduchu, na nevysychavé, slabě vysychavé, polovysychavé a vysychavé. Nevysychavé oleje jsou při vystavení vzduchu stálé, jejich zástupcem je ricinový olej, který se používá k napouštění papírové izolace v kondenzátorech pro stejnosměrné obvody [5]. Slabě vysychavé oleje, při působení vzduchu, jen nepatrně zvyšují svou viskozitu a zůstávají tak kapalinami s velmi dobrou tekutostí. Příkladem je řepkový olej, který se používá především jako přísada do motorové nafty [14] pro snížení výsledných emisí motoru. Polovysychavé rostlinné oleje na vzduchu výrazně zvyšují svou viskozitu a stávají se velmi tuhými kapalinami. Zástupcem je slunečnicový olej. Vysychavé oleje mají charakter tvrditelných hmot [21], kdy se na povrchu oleje vytvoří tvrdá vrstva s dobrými elektroizolačními vlastnostmi. Zástupcem je lněný nebo dřevný olej. Používají se přávaně jako přísady do elektroizolačních laků [21].

1.3.2 Minerální oleje

Minerální oleje jsou nejčastěji používané elektroizolační kapaliny v elektrotechnice. Používají se zejména v transformátorech, kabelech a kondenzátorech [21]. Podle daného použití se do minerálních olejů přidávají přísady pro zlepšení potřebných vlastností. Minerální oleje jsou získávány destilací ropy a následnou rafinací. Z chemického hlediska jsou minerální oleje směsí různých uhlovodíků [5]. Podle typu obsažených uhlovodíků se rozdělují na parafinické a naftenické oleje. Parafinické oleje jsou chemicky stálé s teplotou tuhnutí kolem 0 °C a vysokou teplotou vzplanutí. Naftenické oleje jsou méně chemicky stálé než parafinické oleje a mají nízký bod tuhnutí. [5][21]

S postupujícím rozvojem transformátorů pro ultra vysoké napětí UHV vzniká potřeba na zlepšení vlastností elektroizolačních olejů [23]. Běžně používané minerální oleje mohou jen velmi obtížně plnit požadavky těchto aplikací. Ve druhé polovině roku 2016 byly prezentovány vědecké články, ve kterých je testován vliv velikosti nanočástic na impulzní elektrickou pevnost minerálního oleje [23] a vliv různých typů nanočástic na střídavou a impulzní elektrickou pevnost minerálního oleje [24]. Vlivem nanočástic byla zvýšena střídavá a kladně impulzní elektrická pevnost. [23][24][25]

1.3.3 Syntetické oleje

Syntetické oleje jsou chemicky vytvořené elektroizolační kapaliny, které byly vytvořeny jako nehořlavé a méně toxické nahrazení minerálních izolačních kapalin [26]. Syntetické kapaliny se rozdělují podle způsobu jejich vzniku [21] na kapaliny vzniklé polymerací nenasycených uhlovodíků, chlorované uhlovodíky, fluorované sloučeniny, organické estery a silikonové kapaliny. Elektroizolační kapaliny, vzniklé polymerací nenasycených uhlovodíků, se vyznačují dobrými elektroizolačními vlastnostmi a dobrou stabilitou i při vyšších teplotách. Zástupcem jsou polyetyleny. Chlorované uhlovodíky mají elektroizolační vlastnosti dané stupněm chlorování. Zástupci jsou deriváty benzenu a difenylu. Fluorované sloučeniny se velmi snadno vypařují a jejich izolační parametry jsou stálé do 500 °C. Používají se ve výkonových spínačích a v transformátorech. Organické estery mají i při vyšších frekvencích velmi malý ztrátový činitel, a proto se využívají pro plnění vysokofrekvenčních kondenzátorů. Silikonové elektroizolační kapaliny jsou ekologicky téměř nezávadné a mají velmi dobrou teplotní stabilitu elektroizolačních vlastností. [5][21]

2 Vlastnosti a předpoklady kapalných izolantů

Pro potřeby následného experimentu, v podobě měření elektroizolačních vlastností řepkového oleje a experimentální modifikace jeho elektroizolačních vlastností nanopřísadou, se kapitola zaměřuje výhradně na předpoklady rostlinných kapalin a vlastnosti pro určení kvality nepolárních kapalných izolantů. Kapitola popisuje sledované vlastnosti, způsoby jejich měření a výpočtu. Popisem elektroizolačních vlastností a postupem jejich měření se zabývají zejména [1][2][3][4].

2.1 Požadavky na elektroizolační kapaliny

Elektroizolační kapaliny na bázi rostlinných olejů musí splňovat požadavky dané normou ČSN EN 62770 „Kapaliny pro elektrotechnické aplikace – Nepoužité kapaliny na bázi přírodních esterů pro transformátory a podobná elektrická zařízení“. Norma stanovuje podmínky a způsob měření jednotlivých fyzikálních, elektrických a chemických parametrů a vlastnosti oleje související se životním prostředím. Změřené elektroizolační parametry kapalin musí splňovat mezní hodnoty (Tab. 2.1) stanovené normou. Z hlediska oxidační stability, která je u rostlinných olejů horší než u minerálních olejů, jsou rostlinné oleje normou určeny pro uzavřená elektrotechnická zařízení bez přístupu kyslíku jako oxidačního činitele. [27]

Tab. 2.1: Obecné požadavky na elektroizolační kapaliny na bázi rostlinných olejů [27]

Vlastnosti	Mezní hodnoty
Viskozita při 100 °C	max. 15 mm ² /s
Viskozita při 40 °C	max. 40 mm ² /s
Bod tekutosti	max. -10 °C
Obsah vody	max. 200 mg/kg
Hustota při 20 °C	max. 1000 kg/m ³
Přeskokové napětí	min. 35 kV
Ztrátový činitel tg δ, při 90 °C	max. 0,05
Číslo kyselosti	max. 0,06 mg KOH/g
Korozivní síra / DBDS	nepřítomna
Celkový obsah aditiv	max. 5 % hmotn.
Bod hoření	min. 300 °C
Bod vzplanutí	min. 250 °C
Biodegradace	snadno biologicky rozložitelné

2.2 Vlastnosti kapalných izolantů

Diagnostika kapalných izolantů slouží k určení izolačních vlastností v závislosti na provozních podmínkách elektroizolační kapaliny a vyhodnocení kvality izolantu. Pro vyhodnocení kvality izolantů je možné pohlížet na diagnostikovaný izolant dvěma způsoby. Podle způsobu pohlížení na izolant se rozděluje přístup k diagnostikovanému izolantu na fenomenologický a strukturální přístup [28]. Fenomenologický přístup se zajímá pouze o reakce diagnostikovaného izolantu na vnější vlivy. Strukturální přístup se oproti tomu zaměřuje na probíhající jevy uvnitř izolantu, které jsou způsobeny reakcí na vnější vlivy. Porovnáním obou přístupů je zřejmé, že metody strukturálního přístupu jsou přesnější a získají více informací o měřeném izolantu než fenomenologický přístup, ale pro provedení strukturálních metod jsou nutné speciální měřicí přístroje. Izolační systém v elektrotechnickém zařízení je vystaven provozním vlivům, které způsobují postupné stárnutí izolantu [2] a následné zhoršení jeho elektroizolačních vlastností. Z provozních podmínek se pro elektroizolační kapaliny nejčastěji zjišťuje vliv teploty a frekvence.

Metody fenomenologického přístupu slouží k určení vnitřní rezistivity ρ_v , relativní permitivity ϵ_r , ztrátového činitele $\tan \delta$, polarizačního indexu jednominutového p_{i1} a přeskokového napětí U_p testovaného izolantu. Metody se rozdělují podle použitého napětí na stejnosměrné a střídavé [2].

Metody strukturálního přístupu slouží ke sledování stárnutí elektroizolačních kapalin. Nejpoužívanější metodou je Termogravimetrie TGA, která patří mezi termické analýzy a sleduje průběh degradace elektroizolačních kapalin v závislosti na teplotě. Tyto informace jsou rozhodující pro použití elektroizolačních kapalin v aplikacích, ve kterých se mohou vyskytovat vysoké teploty způsobující tepelný rozklad izolantu. [20]

2.3 Stejnosměrné metody

Stejnosměrné metody pro diagnostikování kvality elektroizolačních kapalin jsou provedeny aplikací stejnosměrného napětí na vzorek izolantu. Reakce proudu není skoková, ale dochází k postupnému nabíjení dielektrika. Průběh nabíjení vytváří absorpční charakteristiky. Z těchto charakteristik jsou určeny hodnoty izolačního odporu R , vnitřní rezistivity ρ_v a polarizačního indexu jednominutového p_{i1} .

2.3.1 Izolační odpor

Izolační odpor R udává schopnost izolantu zamezit průchodu elektrického proudu. Je vypočítán vztahem rovnice 2.1, kde U je hodnota přiloženého stejnosměrného napětí a I je hodnota proudu procházejícího izolantem po ustálení proudu, tedy po první minutě od připojení napětí. Izolační odpor je tvořen vnitřním odporem a povrchovým odporem [1]. Vnitřní odpor je odpor izolantu kladený elektrickému proudu, který je dán strukturou a složením izolantu. Povrchový odpor izolantu je dán proudem tekoucím po povrchu materiálu, který je způsoben nečistotami, absorbovanou vlhkostí a příměsemi. Nejčastěji se měření odporu provádí přímou Voltampérmetrovou metodou nebo nepřímou metodou Wheatstonovým můstkem [1].

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

2.3.2 Vnitřní rezistivita

Vnitřní rezistivita ρ_v je vnitřní odpor přepočítaný na objem izolantu. Vnitřní odpor udává poměr stejnosměrného napětí a ustálené hodnoty proudu procházejícího izolantem, u kterého se nepočítá s proudem procházejícím po povrchu izolantu. Vnitřní rezistivita je materiálová konstanta, jejíž převrácená hodnota udává elektrickou vodivost. Je závislá na obsahu vody, nečistot, teplotě a měřícím napětí. Vlivem teploty dochází ke snižování viskozity kapalného izolantu, zvyšování elektrické vodivosti, a tím dochází ke snižování vnitřní rezistivity [2]. Za předpokladu, že hodnota vnitřní rezistivity při teplotě 90 °C je dostatečná a při teplotě okolí ne, můžeme soudit, že vzorek obsahuje vodu a cizí složky, které se při nižší teplotě vysrážejí [2]. Vnitřní rezistivita se určí podle vztahu rovnice 2.2 po ustálení procházejícího proudu po první minutě, kde ε_0 je permitivita vakua, C_0 je kapacita při měření nádoby vyplněné vzduchem a R je izolační odpor izolantu.

$$\rho_v = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot C_0 \cdot R \quad [\Omega \cdot m] \quad (2.2)$$

2.3.3 Polarizační index

Polarizační index jednominutový p_{i1} znázorňuje časovou závislost absorpčního proudu a slouží k určení stavu izolantu. Pokud je izolant kvalitní, je po ustálení proud procházející izolantem velmi malý a polarizační index se tak pohybuje v intervalu hodnot 3 až 6. Obsah nečistot a vody způsobí zvýšení hodnoty ustáleného proudu a polarizační index se poté pohybuje kolem hodnoty 1. Polarizační index se vypočítá podle vztahu rovnice 2.3, kde i_{15} je hodnota proudu v patnácté vteřině od připojení napětí a i_{60} je hodnota proudu v šedesáté sekundě, tedy při ustálení proudu.

$$p_{i1} = \frac{i_{15}}{i_{60}} \quad [-] \quad (2.3)$$

2.4 Střídavé metody

Střídavé metody diagnostiky jsou provedeny aplikací střídavého napětí na vzorek izolantu. Následně je sledována reakce izolantu na proměnné elektrické pole, které způsobuje střídavou polarizaci uvnitř izolantu. Střídavé metody slouží k určení relativní permitivity ε_r a ztrátového činitele $tg \delta$.

2.4.1 Relativní permitivita

Relativní permitivita ε_r určuje vliv izolantu na výslednou intenzitu elektrického pole, ukazuje tedy namáhání izolantu způsobené elektrickým polem. Pro elektroizolační kapaliny je úměrná polarizaci izolantu a její hodnota se pohybuje v intervalu 2 až 3 [2]. Relativní permitivita je elektroizolační parametr závislý na teplotě a zestárnutí izolantu. Pro zvyšující se teploty klesá, při stárnutí elektroizolační kapaliny naopak relativní permitivita roste [2]. Sledování slouží k určení stavu a životnosti kapaliny. Relativní permitivita se vypočítá podle vztahu rovnice 2.4, kde C_x je kapacita měřeného vzorku oleje a C_0 je kapacita při měření vzduchového dielektrika.

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad [-] \quad (2.4)$$

2.4.2 Ztrátový činitel

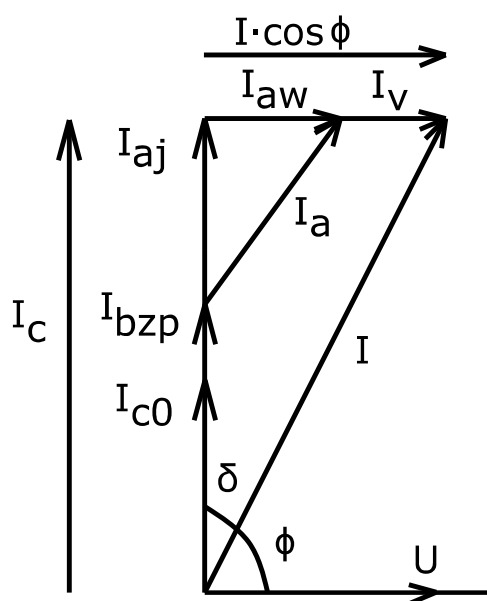
Ztrátový činitel $tg \delta$ je úměrný dielektrickým ztrátám, které jsou způsobeny polarizací izolantu. Dielektrické ztráty P_z vyjadřují příkon, který je v izolantu přeměněn v teplo. Ztrátový činitel závisí na typu dielektrika, obsahu příměsí a nečistot. V čistých nepolárních elektroizolačních kapalinách je pouze elektronová polarizace, a dielektrické ztráty jsou tak způsobeny pouze elektrickou vodivostí [1]. Protože elektrická vodivost nepolárních elektroizolačních kapalin je velmi nízká, jsou i velmi malé dielektrické ztráty [1]. U zestárlých izolačních olejů, obsahující nečistoty, je ztrátový činitel ovlivněn navíc i polarizačními ztrátami. Měření ztrátového činitele se provádí pomocí můstkových metod pro měření kondenzátorů, ze kterých je nejpoužívanější Scheringerův můstek [1]. Vlastní měření je poté provedeno vyrovnáním můstku a vypočítáním hodnoty ztrátového činitele. Existují i automatické můstky, které vychází ze Scheringova můstku a pomocí senzorů snímají napětí na nízkonapětových kondenzátorech. Zpracování a zobrazení dat provádí počítač.

Při ohřátí izolantu dojde ke snížení jeho rezistivity, tím vzroste vodivost izolantu, vzrostou dielektrické ztráty a zvýší se procházející proud izolantem. Tato závislost ztrátového činitele na teplotě je exponenciální pro nepolární elektroizolační kapaliny. Kromě tepelné závislosti ztrátového činitele se také měří frekvenční závislost, která pro nepolární elektroizolační kapaliny je hyperbolická.

Pro vyjádření dielektrických ztrát izolantu ve střídavém poli se předpokládá sinusové napětí a nepůsobení rušivých procesů, kterými jsou například částečné výboje. Za tohoto předpokladu budou všechny pochody v izolantu lineární [1] a relativní permitivita ϵ_r bude konstantní. Jevy vznikající uvnitř dielektrika poté mají sinusový průběh s kmitočtem zdrojového napětí. Rozložením procházejícího proudu dielektrikem na jeho jednotlivé složky je vytvořen fázorový diagram reálného dielektrika *Obr. 2.1*. Procházející proud I je tvořen proudem I_{C0} , který nabíjí geometrickou kapacitu dielektrika C_0 . Geometrická kapacita je uvažovaná kapacita [1] kondenzátoru s vakuovým dielektrikem. Složka proudu I_{bzp} vyjadřuje rychlé bezeztrátové polarizace dielektrika, kterými jsou například polarizace elektronová a iontová [1]. Pomalé ztrátové polarizace charakterizuje absorpční proud I_a , který má reálnou složku I_{aw} a jalovou složku I_{aj} . Bezeztrátová složka I_{aj} odpovídá kapacitě C_p , o kterou se zvětšila geometrická kapacita vlivem absorpčních jevů. Složka I_{aw} charakterizuje

ztrátovou energii v dielektriku způsobenou procházejícím proudem. Poslední složkou proudu procházejícího dielektrikem I je vodivostní proud I_V , který je způsoben elektrickou vodivostí reálného dielektrika a je ve fázi se zdrojovým napětím. Vektorovým součtem bezztrátových proudů získáme proud I_C , který by procházel ideálním dielektrikem. Vlivem ztrátových složek ale dochází ke zpoždění fázoru proudu I , který tak nepředbíhá fázor napětí o úhel 90° , ale tento úhel je zmenšen o ztrátový úhel δ .

Dielektrické ztráty způsobené střídavým polem se vypočítají podle vztahu rovnice 2.5, kde U je zdrojové napětí, I je výsledný proud procházející dielektrikem, I_C je proud procházející bezztrátovým dielektrikem a δ je ztrátový úhel dielektrika.

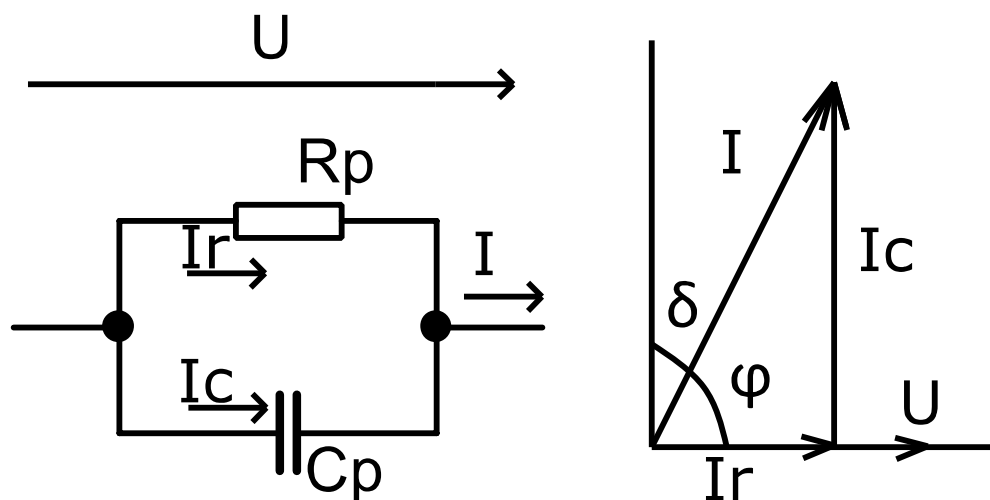


Obr. 2.1: Fázorový diagram reálného dielektrika [1]

$$P_Z = U \cdot I \cdot \sin \delta = U \cdot I_C \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2.5)$$

Ztrátový činitel $\operatorname{tg} \delta$ reálného izolantu, ve střídavém poli a předpokladu lineárních pochodů v izolantu, se vypočítává z paralelního Obr. 2.2 nebo sériového Obr. 2.3 náhradního schématu. Paralelní náhradní schéma je vhodným modelem pro dielektrické ztráty, které jsou podmíněné elektrickou vodivostí dielektrika v širokém frekvenčním pásmu. Sériové náhradní schéma se používá jako náhradní model pro kondenzátor s bezztrátovým dielektrikem, ve kterém jsou ztráty způsobené odporem přívodů a elektrod. Paralelní náhradní schéma je tvořeno paralelní kombinací rezistoru R_p , reprezentujícího ztráty v dielektriku, a kondenzátoru C_p , který reprezentuje kapacitu ideálního dielektrika [4]. Ztrátový činitel se

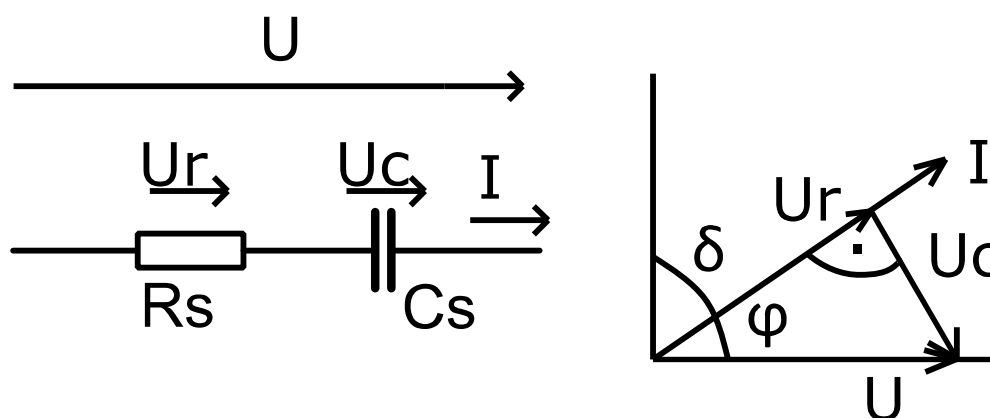
poté vypočítá podle rovnice 2.6, kde I_R je proud procházející přes rezistor R_p , I_C je proud procházející přes ideální dielektrikum, ω je úhlová frekvence, f je frekvence přiloženého napětí.



Obr. 2.2: Paralelní náhradní schéma reálného izolantu a fázorový diagram [4]

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega \cdot R_p \cdot C_p} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_p \cdot C_p} \quad [-] \quad (2.6)$$

Sériové náhradní schéma je tvořeno sériovou kombinací rezistoru R_s , reprezentujícího ztráty v dielektriku, a kondenzátoru C_s , který reprezentuje kapacitu ideálního dielektrika [4]. Ztrátový činitel se poté vypočítá podle rovnice 2.7, kde U_R je napětí na rezistoru R_s , U_C je napětí na ideálním dielektriku, ω je úhlová frekvence, f je frekvence přiloženého napětí.

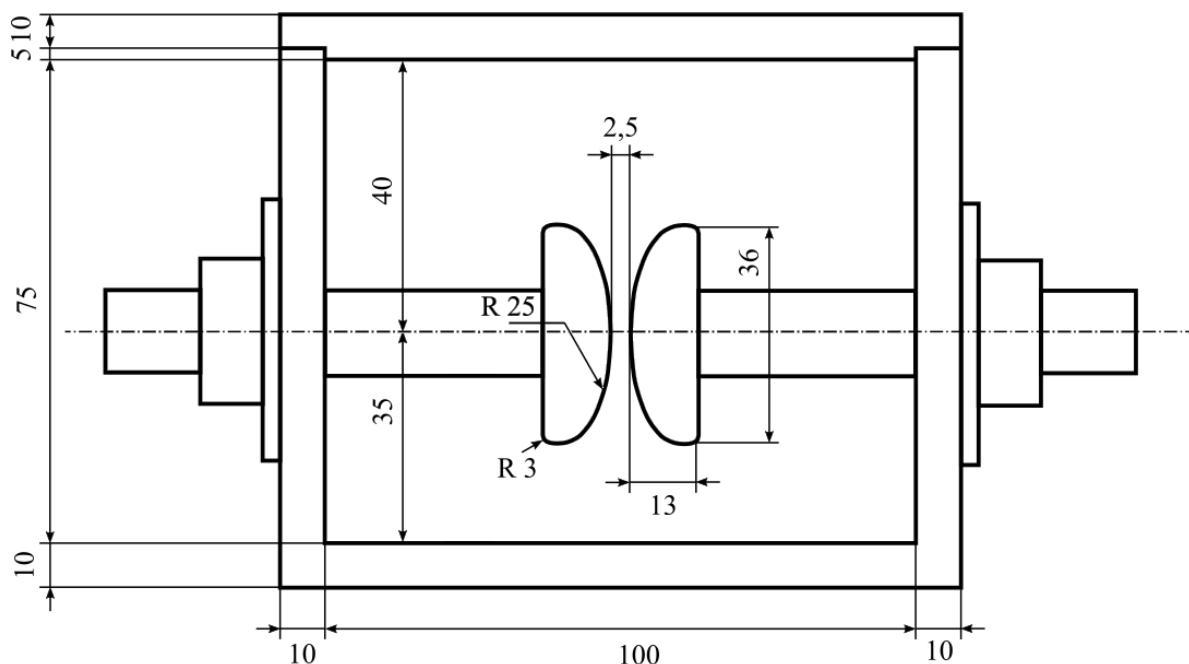


Obr. 2.3: Sériové náhradní schéma reálného izolantu a fázorový diagram [4]

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega \cdot R_s \cdot C_s = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_s \cdot C_s \quad [-] \quad (2.7)$$

2.4.3 Přeskokové napětí

Přeskokové napětí U_p elektroizolační kapaliny je děj, který nastane pokud intenzita elektrického pole působící na materiál překročí kritickou mez materiálu. Tím dojde k rychlému nárůstu počtu volných nosičů elektrického náboje Q , které dodanou energii elektrického pole získají vysokou pohyblivost. To vede k poklesu izolačního odporu a nekontrolovatelnému nárůstu konduktivity γ . Celý proces končí výbojem, při kterém dojde k propojení prvotně izolovaných míst, s rozdílným potenciálem, vodivou cestou a je tak umožněn průchod proudu touto cestou. Dalším stádiem jsou degradační účinky výboje na materiál. Mechanismus přeskočků v elektroizolačních kapalinách vysvětluje několik teorií, které lze rozdělit do dvou skupin. U první skupiny teorií je rozhodujícím vlivem emise elektronů z měřících elektrod a následná nárazová ionizace. U druhé skupiny teorií je rozhodujícím vlivem tvorba plynových bublinek. Bublínky mohou v čisté kapalině vzniknout [1] ze zbytku plynu absorbovaného na povrchu elektrody, z molekul kapaliny vlivem elektronů s vysokou energií nebo lokálním oteplením kapaliny průchodem vodivostního proudu. Celý proces výboje je závislý na mnoha náhodných činitelích. Je ovlivněn vlhkostí, rozpuštěnými plyny ve vzorku elektroizolační kapaliny, tvarem testovaných elektrod, parametry okolního prostředí a mechanickými nečistotami. Nečistoty a vzduchové bubliny v kapalném izolantu jsou vlivem silného elektrického pole vtahovány do místa s největším gradientem a poté vytvářejí vodivý kanál, přes který dojde k přeskočkovému ději. Voda se v kapalině vyskytuje v rozpuštěném stavu a nebo ve formě emulze, která se při vyšších teplotách rozpouští. Z vody se mohou uvolňovat vzduchové bubliny a dále voda podporuje degradační procesy. Z těchto důvodů musí být vzorek měřené elektroizolační kapaliny zbaven před měřením mechanických nečistot, vlhkosti a vzduchových bublin. Pro měření přeskokového napětí se používá normalizovaný elektrodový systém *Obr. 2.4*. Leštěné elektrody tohoto elektrodového systému jsou nejčastěji vyrobeny z mosazi nebo bronzu. Jejich vzdálenost je pevně stanovena [2] na hodnotu 2,5 mm s povoleným rozptylem $\pm 0,05$ mm. Objem elektroizolační kapaliny, ve zkušební komoře, musí být přibližně 400 ml, při kterém jsou elektrody zcela ponořeny. Měření probíhá postupným zvyšováním napětí mezi dvěma elektrodami do elektrického přeskočkového děje mezi nimi.



Obr. 2.4: Uspořádání elektrodového systému pro měření přeskoků [2]

2.5 Další sledované vlastnosti elektroizolačních kapalin

Kromě elektroizolačních vlastností jsou u kapalin sledovány také fyzikálně-chemické vlastnosti. Tyto vlastnosti elektroizolační kapaliny ovlivňují elektrotechnické aplikace, ve kterých je možné kapalinu používat. Sledováním chemických vlastností lze zjistit úroveň zestárnutí elektroizolačního oleje a naplánovat tak údržbu elektrotechnického zařízení a provést regeneraci kapaliny. Nejčastěji se pro sledování stárnutí oleje měří obsah vody a číslo kyselosti. Odolnost proti stárnutí, a tedy postupnému zhoršování elektroizolačních vlastností oleje, udává oxidační stabilita.

2.5.1 Oxidační stabilita

Oxidační stabilita napodobuje průběh stárnutí izolantu při dlouhodobém působení provozního namáhání. Stárnutí izolantu je provedeno zvýšenými hodnotami činitelů stárnutí. Těmito činiteli jsou především [16] zvýšená teplota, kyslík, přítomnost kovů a elektrické pole. Získáme takto průběhy zrychleného stárnutí kapaliny, které ovšem přesně neodpovídají dlouhodobému působení provozního namáhání [16]. Oxidační stabilita se vyhodnocuje na základě zhoršení izolačních vlastností, tedy fyzikálních, elektrických nebo chemických, oproti hodnotám nezestárlého oleje. Nejčastěji se sleduje ztrátový činitel $tg \delta$, číslo kyselosti nebo barva kapaliny [2]. Tyto parametry reagují na stárnutí izolantu nejvýrazněji. Oxidační stabilita rostlinných olejů je horší, než u minerálních olejů, které jsou velmi odolné vůči stárnutí [15].

2.5.2 Bod tekutosti

Bod tekutosti elektroizolační kapaliny charakterizuje chování kapaliny při nízkých teplotách. Pokud bude bod tekutosti příliš vysoký, mohou nastat problémy při spouštění elektrotechnických zařízení z důvodu zvýšené viskozity kapaliny [2]. Bod tekutosti udává teplotu, při které dochází k tuhnutí a postupnému zkrystalizování kapaliny [2]. Měří se postupným ochlazováním vzorku oleje a pravidelným testováním jeho tekutosti nakloněním zkumavky [2]. Pokud se olej ve zkumavce, při jejím naklonění, nepohne po dobu 5 sekund, je odečten bod tekutosti z teploměru. Experimentem [29] byl měřen vliv bodu tekutosti na elektroizolační vlastnosti řepkového oleje. Při teplotách nižších než bod tekutosti a v oblasti bodu tekutosti má elektroizolační kapalina nižší elektrickou pevnost. V této oblasti má také kapalina, pro frekvence přiloženého napětí do 60 Hz, vyšší hodnotu ztrátového činitele a nižší hodnotu vnitřní rezistivity. Bod tekutosti řepkového oleje se pohybuje v rozmezí $-13 / -23$ °C, oproti tomu bod tekutosti u minerálního oleje se pohybuje pod hodnotou -60 °C. Nižší bod tekutosti minerálního oleje je v praktických aplikacích výraznou výhodou. [29]

2.5.3 Číslo kyselosti

Obsah kyselých látek v elektroizolačních kapalinách se zvyšuje vlivem stárnutí kapaliny [2]. Kyselost kapalin se uvádí číslem kyselosti, které značí množství *KOH* v miligramech potřebné k neutralizaci organických a anorganických kyselin v jednom gramu kapaliny. U čerstvých olejů je dána kyselost mírou rafinace kapaliny. Číslo kyselosti elektroizolační kapaliny by nemělo být vyšší než $1,5$ mg *KOH*/g [30].

2.5.4 Obsah vody

Voda obsažená v oleji zhoršuje všechny izolační parametry elektroizolační kapaliny. Ze všech izolačních parametrů je nejvíce zhoršeno přeskokové napětí U_p [2]. Voda se do oleje může dostat navlhnutím oleje nebo jako produkt oxidačního stárnutí. Obsah vody v oleji se zjišťuje pomocí Titrace podle Karla Fischera [30], která je založena na reakci jódu a vody. Vytvořená molekula jódu na elektrodě odpovídá jedné molekule vody v měřeném vzorku. Pro orientační posouzení obsahu vody v oleji lze použít zahřívací test [30], při kterém se vzorek oleje zahřeje na teplotu 150 °C. Při této teplotě olej začne pěnit a uvolňovat vodík z obsažené vody. To způsobí nárůst tlaku uvnitř baňky, který je úměrný obsahu vody v testovaném vzorku.

3 Vliv elektroizolačních kapalin na životní prostředí

Tato část diplomové práce se zaměřuje na vliv používaných elektroizolačních kapalin na životní prostředí. Kapitola popisuje nejdůležitější vlastnosti elektroizolačních kapalin, které slouží k určení závadnosti jednotlivých kapalin na životní prostředí. Rostlinné a minerální oleje jsou poté, s ohledem na jednotlivé vlastnosti kapalin, porovnány a je zhodnocen jejich vliv na životní prostředí, při jejich možném úniku z elektrotechnického zařízení.

3.1 Sledované parametry kapalin

Elektroizolační kapaliny mohou přijít do styku s životním prostředím, při úniku kapaliny z elektrického zařízení, při havárii. Možnost úniku elektroizolační kapaliny nelze eliminovat, a proto se sledují parametry elektroizolačních kapalin, které charakterizují jejich vliv na životní prostředí. Nebezpečné elektroizolační kapaliny poté nemohou být použity v ekologicky citlivých oblastech a místech se zpřísněným režimem ochrany životního prostředí [31]. V těchto oblastech by únikem mohlo dojít ke kontaminaci spodních vod apod. Nejdůležitějšími ekologickými parametry elektroizolačních kapalin je biologická odbouratelnost a hořlavost elektroizolační kapaliny.

3.1.1 Biologická odbouratelnost

Biologická odbouratelnost je schopnost materiálu svého rozkladu na surové přírodní složky pomocí biologických činitelů. Surové přírodní složky jsou oxid uhličitý CO_2 , voda H_2O a minerály přirozeně se vyskytující v přírodě. Tyto složky poté mohou být snadno vstřebány životním prostředím. Nejčastěji se sleduje doba, která je potřebná pro tento rozklad materiálu. Rychlost rozkladu závisí na množství dostupných mikroorganismů potřebných pro rozklad. Ropný únik má ničivý dopad na celé životní prostředí zejména z důvodu, že uniklé množství ropy je mnohonásobně vyšší než počet mikroorganismů způsobující její rozklad [33]. Uniklé ropě, například z havarovaného tankeru, tedy může trvat i několik desítek let než v prostředí dojde k jejímu postupnému rozložení na surové přírodní složky. Pro stanovení biologické odbouratelnosti byly vytvořeny standardy OECD, které specifikují postupy a podmínky při měření. Podle normy [32] je kapalina biologicky odbouratelná, jestliže dojde minimálně k odbourání 70 % kapaliny do 28 dnů od kontaminace. [32][33]

Rostlinné oleje se rozkládají velmi rychle a úplně, bez uvolňování toxických látek. Testováním rostlinných olejů [34] bylo zjištěno, že u rostlinných olejů dojde k 70 – 100 % biologickému odbourání za 28 dní. Rostlinné oleje mají oproti minerálním olejům vyšší kapacitu pro biologický rozklad v aerobním i neaerobním prostředí. Aerobní prostředí se vyznačuje obsahem volně vázaných molekul kyslíku O_2 [35]. V neaerobním prostředí se molekuly kyslíku O_2 volně nevyskytují. Mohou se vyskytovat pouze ve sloučeninách dusičnanů NO_3 . [34]

Minerální oleje mají biologickou odbouratelnost velice špatnou, protože výchozí surovinou pro jejich výrobu je ropa a minerální oleje tak obsahují halogeny, těkavé nebo částečně těkavé vícejaderné aromatické organické látky. Mimo to mohou obsahovat i další sloučeniny, které jsou určeny použitím daného minerálního oleje. Nejhuře se z minerálních olejů rozkládají [14] aromáty se čtyřmi a více jádry, asfalteny a pryskyřice. [34]

3.1.2 Hořlavost kapalin

Druhým důležitým parametrem je hořlavost kapalin, která se vyjadřuje jako teplota hoření nebo častěji teplota vznícení. Teplota hoření je nejnižší teplota, při které je vytvořeno dostatečné množství hořlavých par, které se vznítí při styku s plamenem a poté již samostatně hoří. Teplota vznícení je nejnižší teplota, při které se materiál smíchaný se vzduchem samovolně vznítí. Podle teploty vznícení se kapaliny řadí do čtyř tříd nebezpečnosti, kde kapaliny I. třídy mají teplotu vznícení do 21 °C až po kapaliny IV. třídy, které mají teplotu vznícení v rozmezí 100 – 250 °C. Hořlavost elektroizolačních kapalin může způsobit značné poškození životního prostředí například při úniku z prostoru transformátoru a vlivem zvýšených teplot dojde ke vznícení elektroizolační kapaliny a vznikne požár. [36]

Bod vznícení a hoření se určuje pomocí Pensky – Martensova přístroje [2]. Rozžhavené tělíčko je přibližováno v intervalech k hladině vzorku měřeného oleje. Při vzplanutí olejových par se vzduchem dojde ke slabé explozi a odečítá se teplota vznícení. Teplota vznícení se u minerálních olejů pohybuje kolem hodnoty 150 °C [37]. Teplota vznícení rostlinných olejů je oproti minerálním olejům téměř dvojnásobně vyšší a pohybuje se tedy přes teplotu 300 °C [38]. Nízká teplota vznícení je u minerálních olejů z bezpečnostního hlediska velmi problematická, špatným odvodem tepla může totiž dojít ke vznícení kapaliny v zařízení a požár se může poté rozptýlit i mimo zařízení. [37][38]

4 Testování řepkového oleje ENVITRAFOL

Tato část diplomové práce se zaměřuje na praktické testování řepkového elektroizolačního oleje ENVITRAFOL, u kterého byly zjišťovány jeho elektroizolační vlastnosti v závislosti na vybraném provozním namáhání. Řepkový olej ENVITRAFOL byl vybrán z důvodu nízké pořizovací ceny a své šetrnosti k životnímu prostředí. Vybráním oleje rostlinného původu byly splněny základní požadavky na novou elektroizolační kapalinu použitelnou pro transformátory. Za provozní namáhání bylo vybráno tepelné namáhání, protože řepkový olej ENVITRAFOL je určen do hermeticky uzavřeného elektrického zařízení. U těchto zařízení slouží elektroizolační kapalina také jako chladící médium, a je proto důležité znát vliv teploty na elektroizolační vlastnosti zvolené kapaliny. Nejprve byly změřeny elektroizolační vlastnosti řepkového oleje ENVITRAFOL v dodaném stavu. Poté byl proveden experiment, zda je možné rozptýlením nanopřířady v elektroizolační kapalině, z řepkového oleje, vylepšit její elektroizolační vlastnosti. V kapitole je popsána výroba elektroizolačního řepkového oleje, použita nanopřířada, příprava vzorků, použité měřicí přístroje, použité měřicí metody a naměřené hodnoty. Experimentální část byla součástí projektu TA 03020251 „Izolační kapaliny šetrné k životnímu prostředí“ Technologické agentury České republiky.

4.1 Řepkový olej ENVITRAFOL

Řepkový olej je zástupcem slabě vysychavého rostlinného oleje a je získáván lisováním semen řepky olejné [39]. Z vylisovaného oleje jsou odstraněny vysokomolekulární látky pomocí kyseliny fosforečné a vody [14]. Z důvodu velmi malého dopadu řepkového oleje na životní prostředí se již řepkový olej používá v distribučních transformátorech [40]. Postupně dochází také k pokusům v aplikaci řepkového oleje do výkonových transformátorů.

Pro výrobu řepkového elektroizolačního oleje ENVITRAFOL byl použit řepkový olej v potravinářské kvalitě. Tento olej byl uložen v 200 litrovém zásobníku, ze kterého byl poté tento olej přečerpáván rychlostí 0,5 l/min přes válcovou kolonu zpět. Válcová kolona o objemu 50 litrů byla plněna sorbentem Alumina CPN, který byl předem termicky aktivován. Během celého procesu byl olej ohříván na teplotu 60 °C, pro snížení viskozity, a před návratem do zásobníku byl olej filtrován přes skládanou buničinu. Tento proces byl opakován po dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby se v zásobníku nacházel pouze upravený

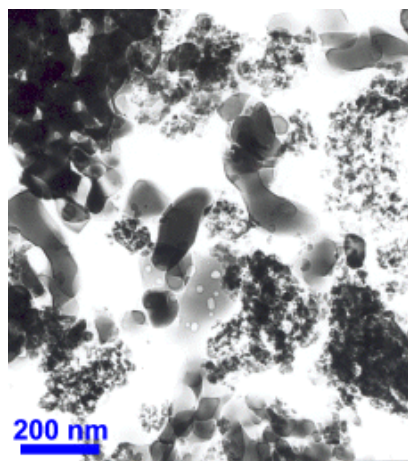
elektroizolační řepkový olej. Pro zlepšení oxidační stability byl v zásobníku s upraveným řepkovým olejem rozpuštěn antioxidant dibutyl-para-kresol (DBPC) s výslednou koncentrací 0,5 % hmotnostních. Touto úpravou potravinářského řepkového oleje bylo docíleno zlepšení fyzikálně-chemických vlastností řepkového oleje (Tab. 4.1). Celý proces výroby elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL, podle užitého vzoru [31], byl proveden na perkolačním zařízení (Příloha A, Obr. 7). [31]

Tab. 4.1: Parametry potravinářského řepkového oleje a elektroizolačního řepkového oleje ENVITRAFOL [31]

	Potravinářský řepkový olej	ENVITRAFOL	Jednotka
Obsah vody	245	44	mg/kg
Přeskokové napětí	33	68,39	kV/2,5 mm
Ztrátový činitel tg δ při 90 °C	0,0639	0,0032	-
Číslo kyselosti	0,091	0,038	mg KOH/g
Obsah antioxidantu DBPC	-	0,5	% hmotnost

4.2 Nanopřísada

Pro experiment byl za nanopřísadu zvolen prášek nanočástic oxidu hlinitého Al_2O_3 od společnosti Nanostructured & Amorphous Materials. Nanopřísada byla vybrána tak, aby nanopřísada nebyla nijak upravena a velikost částic byla uprostřed intervalu nabízených velikostí, tedy přibližně kolem 40 nm. Nanočástice Al_2O_3 obsahují převážně fázi α a pouze 5 – 10 % fáze γ . Její krystalická struktura vyobrazená na *Obr. 4.1* je klencového typu. Tvarem jsou nanočástice oxidu hlinitého téměř kulové, velikost jednotlivých částic se pohybuje v rozmezí 27 – 43 nm a jejich čistota je 99,5 %. Tento typ nanočástic neměl žádnou povrchovou úpravu a provedení nezajišťovalo odolnost vůči UV záření nebo hydrofilní vlastnosti. [41]



Obr. 4.1: Krystalická struktura nanopřísady Al_2O_3 , převzato z [41]

4.3 Příprava vzorků

Při přípravě vzorků byly všechny nádoby, odměrky, části elektrodového systému a potřebné pomůcky, při měření přicházející do styku s měřeným řepkovým olejem bez nanopřířady a řepkovým olejem s nanopřířadou, dokonale čištěny. Čištění bylo nutné z důvodu měření požadované koncentrace nanopřířady a zachování stejných podmínek pro každé měření. Čištění bylo provedeno v souladu s normou ČSN IEC 250 [42] „Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových délek“. Čištění tak bylo provedeno nejprve umytím komponent vodou a detergentem. Poté byly všechny komponenty vyčištěny nepolárním rozpouštědlem C_6H_{12} neboli cyklohexanem. Následovalo hodinové ultrazvukové čištění v ultrazvukové vaně. Po ultrazvukovém čištění byly opět všechny komponenty vyčištěny nepolárním rozpouštědlem cyklohexanem a následně byly komponenty sušeny dvě hodiny v peci při teplotě 80 °C. Po vysušení byly komponenty zchlazeny na pokojovou teplotu. S částmi elektrodového systému bylo zacházeno pouze s ochrannými prostředky, pro ochranu osob a udržení čistoty všech komponentů použitých při měření. [42]

4.3.1 Příprava vzorků řepkového oleje bez nanopřířady

Řepkový olej dokáže pojmout velké množství vody, která má výrazný vliv na zhoršení elektroizolačních vlastností oleje. Z tohoto důvodu byly vzorky řepkového oleje ENVITRAFOL nejprve zbaveny obsažené vody vysušením v peci. Sušení probíhalo při teplotě 80 °C a trvalo 18 hodin. Teplota byla zvolena s ohledem na tepelné stárnutí rostlinných olejů, které by způsobilo zhoršení elektroizolačních vlastností a výsledky měření by tak byly změřeny pro zestárlý olej a nikoliv pro nový nezestárlý. Dále ze vzorku byly odstraněny vzduchové bubliny dvouhodinovým vakuováním. Vzduchové bubliny mají oproti elektroizolační kapalině výrazně nižší přeskokové napětí a přeskok by tak procházel přes vzduchovou bublinu a nikoliv přes elektroizolační kapalinu. Měřením přeskokového napětí by tak nebyla naměřena skutečná hodnota přeskokového napětí vzorku kapaliny.

4.3.2 Příprava vzorků řepkového oleje s nanopřísadou

Typ zvolené nanočástice Al_2O_3 nebyl v hydrofilním provedení a mohl tak absorbovat molekuly vody. Následným vmícháním nanočástic do oleje by molekuly vody byly zaneseny do měřeného vzorku řepkového oleje s nanočásticemi a způsobily by zhoršení elektroizolačních vlastností. Z tohoto důvodu bylo nutné nanočástice dostatečně zbavit obsažené vody. Sušení nanočástic a řepkového oleje probíhalo odděleně při teplotě $80\text{ }^\circ\text{C}$ a trvalo 18 hodin. Navážené množství vysušených nanočástic Al_2O_3 a řepkový olej byly smíchány hodinovým mechanickým mícháním a poté dvouhodinovým ultrazvukovým mícháním. Vlivem míchání vznikly v řepkovém oleji s nanočásticemi vzduchové bubliny, které byly odstraněny dvouhodinovým vakuováním.

4.4 Použité přístroje

K určení elektroizolačních parametrů elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL, a následně také elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL s nanopřísadou, byl použit analyzátor dielektrik Tettex a sestava High Volt pro měření přeskokového napětí. Dále pro přípravu vzorků kapaliny na měření byla použita pec Venticell (Příloha A, Obr. 1) pro sušení vzorků řepkového oleje a vakuová pec Venticell (Příloha A, Obr. 2) určená pro odstranění vzduchových bublin v řepkovém oleji.

Pro přípravu elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL s nanopřísadou byla dále použita mikrováha ALJ 120-4 (Příloha A, Obr. 9) k přesnému navážení nanopřísady pro konkrétní koncentraci, hřídelová míchačka Eurostar 40 digital s míchací vrtulí (Příloha A, Obr. 10) pro mechanické rozptýlení nanočástic do celého objemu vzorku s elektroizolační kapalinou a ultrazvuková vana VGT-1990QT (Příloha A, Obr. 11) k ultrazvukovému rozmíchání nanopřísady.

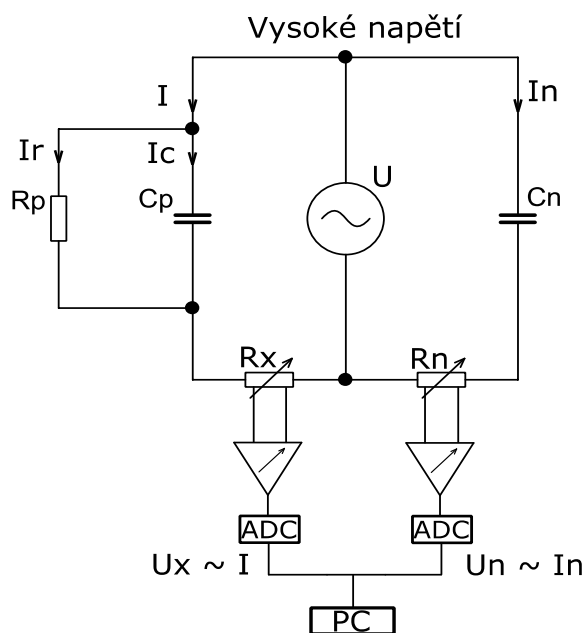
4.4.1 Analyzátor dielektrik Tettex

Analyzátor dielektrik Tettex 2830/2831 od firmy Haefely Test AG byl použit pro získání hodnot ztrátového činitele $\text{tg } \delta$, vnitřní rezistivity ρ_v , relativní permitivity ϵ_r a polarizačního indexu p_{il} . Sestava analyzátoru dielektrik Obr. 4.2 byla tvořena napěťovým zdrojem a měřicím přístrojem obsahující měřicí můstek. K této sestavě byl připojen kondenzátor pro měření kapalných dielektrik Obr. 4.5.



Obr. 4.2: Analyzátor kapalných a pevných dielektrik TETTEX

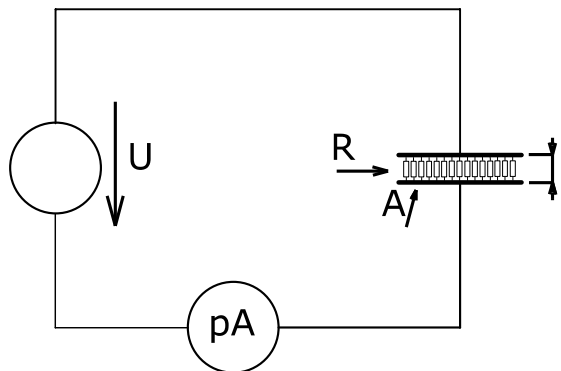
Ztrátový činitel $tg \delta$ a relativní permitivita ϵ_r byly měřeny analyzátozem dielektrik Tettex střídavým měřením, kdy obvod byl napájen napětím 500 V o frekvenci 50 Hz. Měření těchto veličin je založeno na metodě dvojitého vektrometru Obr. 4.3, který měří proud I_n procházejícího referenčním kondenzátorem C_n a proud I procházejícího měřeným dielektrikem, který byl tvořen ideálním dielektrikem C_p a rezistorem R_p reprezentujícího ztráty v dielektriku. Proudů jsou nepřímo měřeny na velmi přesných odporových bočnicích R_x a R_n . Hodnoty proudů jsou digitalizovány na A/D převodnicích a následně jsou s časovými značkami zpracovány ve vestavěném počítači. Časové označení hodnot proudů slouží ke zvýšení přesnosti měření a umožňuje určit fázový posun mezi jednotlivými proudy. [43]



Obr. 4.3: Zapojení metody dvojitého vektrometru [43]

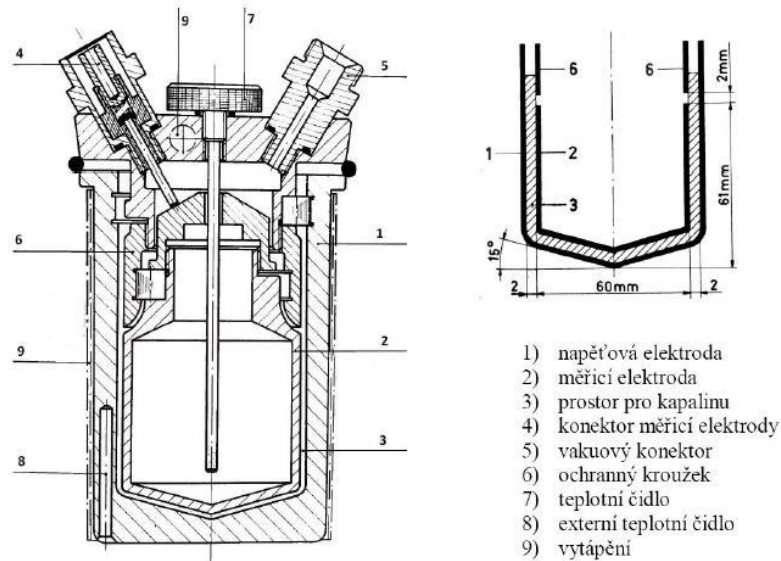
Vnitřní rezistivita ρ_v a polarizační index p_{il} byly měřeny analyzátozem dielektrik Tettex stejnosměrným měřením *Obr. 4.4*. Měření je založeno na Ohmově metodě, kdy aplikujeme na měřený vzorek stejnosměrné napětí o hodnotě 500 V. Reálný izolant nemá nekonečný odpor, a proto přes izolant protéká proud. Proud je časově zjišťován přesným pikoampérmetrem. Z hodnot napětí a proudů je možné určit izolační odpor v jednotlivých časových okamžicích. Vnitřní rezistivita je přepočítaný izolační odpor na rozměry izolantu. Vnitřní rezistivita je vypočtena analyzátozem dielektrik Tettex vztahem rovnice 4.1, kde U je hodnota stejnosměrného napětí zdroje, I je hodnota stejnosměrného proudu procházejícího měřeným izolantem, K je konstanta kondenzátoru pro měření kapalných dielektrik, A je povrch elektrod kondenzátoru pro měření kapalných dielektrik a l je vzdálenost mezi elektrodami měřícího kondenzátoru. [43]

$$\rho_v = K \cdot \frac{U}{I} = \frac{A}{l} \cdot \frac{U}{I} \quad [\Omega \cdot m] \quad (4.1)$$



Obr. 4.4: Měření vnitřní rezistivity analyzátozem dielektrik Tettex [43]

Vzorky elektroizolační kapaliny, při měření elektroizolačních vlastností, o objemu 40 ml byly umístěny v měřícím kondenzátoru *Obr. 4.5*. Z technického výkresu s rozměry kondenzátoru lze určit povrch měřících elektrod a vzdálenost elektrod v komoře pro potřeby výpočtu vnitřní rezistivity. Povrch měřících elektrod kondenzátoru pro měření kapalných dielektrik má hodnotu $0,0134 \text{ m}^2$. Vzdálenost elektrod kondenzátoru pro měření kapalných dielektrik je $0,002 \text{ m}$. [43]

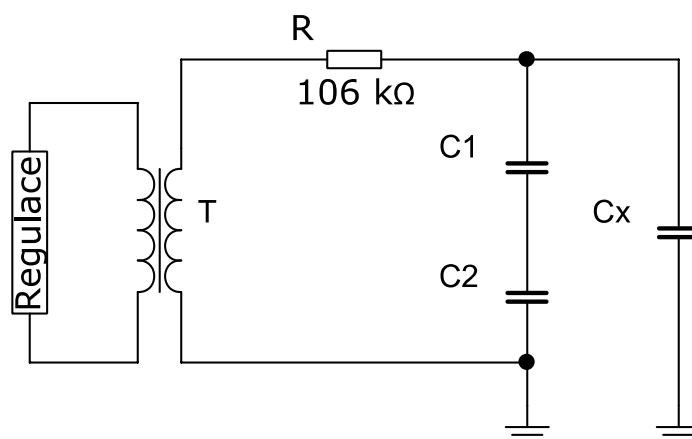


Obr. 4.5: Výkres měřícího kondenzátoru kapalných dielektrik, převzato z [44]

4.4.2 Sestava High Volt

Sestava High Volt byla použita k měření přeskokového napětí elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL a následně také elektroizolační kapaliny modifikované nanopřísadou. Sestava High Volt byla tvořena ovládacím modulem High Volt SN4 (Příloha A, Obr. 3), výkonovým modulem High Volt LM30 (Příloha A, Obr. 3), zkušebním transformátorem High Volt PEOI 10/110 10kVA (Příloha A, Obr. 4), kapacitním děličem kondenzátorů CDTH 0615B10 (Příloha A, Obr. 5) a rezistorem High Volt o hodnotě 106 k Ω (Příloha A, Obr. 6), který omezoval hodnotu proudu v obvodu při přeskoku.

Měření přeskokového napětí bylo zapojeno podle schématu zapojení *Obr. 4.6*. Blokem regulace je označen ovládací a výkonový modul High Volt. Těmito moduly bylo provedeno postupné zvyšování napětí na měřeném vzorku elektroizolační kapaliny do elektrického přeskoku v elektroizolační kapalině. Přeskok podle normy [45] nastal mezi desátou a dvacátou sekundou po přivedení napětí na měřený vzorek. Měřený vzorek elektroizolačního řepkového oleje, o objemu 400 ml, byl měřen ve skleněné nádobce s elektrodovým systémem podle požadavků zmíněných v předchozí kapitole *2.4.3 Přeskokové napětí* (Příloha A, Obr. 8). Měření bylo provedeno s četností 6 [2], mezi kterými byly pětiminutové intervaly. Pro naměřené hodnoty poté byla vypočítána střední hodnota pomocí aritmetického průměru. Variační koeficient musel být nižší než 15 %, jinak bylo nutné měření vzorku opakovat [45].



Obr. 4.6: Schéma zapojení sestavy High Volt pro měření přeskoků

4.5 Naměřené hodnoty

U vzorků řepkového oleje ENVITRAFOL, a následně také vzorků řepkového oleje s nanopřísadou, byly změřeny elektroizolační parametry. Pro snížení možných nepřesností bylo vždy testováno pět vzorků stejného řepkového oleje, připravených podle stejného postupu, který je popsán ve druhé části této kapitoly. K naměřeným hodnotám řepkového oleje bez nanopřísadu a řepkového oleje s nanopřísadou byly vypočítány střední hodnoty, minimální hodnoty, maximální hodnoty, směrodatné odchylky a variační koeficienty. Střední hodnoty byly vypočítány pomocí aritmetického průměru a mediánu. Výpočet mediánu nebyl úplně nezbytný, protože naměřený soubor dat nevykazoval extrémní hodnoty a střední hodnota tak nemohla být aritmetickým průměrem příliš ovlivněna.

Aritmetický průměr \bar{x} je nejpoužívanější charakteristika polohy [8], slouží k odhadu střední hodnoty a počítá se podle rovnice 4.2, kde $E(x)$ je střední hodnota souboru dat, n počet naměřených hodnot a x_i jsou jednotlivé naměřené hodnoty při opakovaném měření. Aritmetický průměr není vhodný pro vyhodnocení dat s extrémně nízkými nebo vysokými hodnotami nerovnoměrně rozložených kolem střední hodnoty. Pokud mají jednotlivé hodnoty různou úroveň důležitosti, přidávají se do vztahu váhy pro dané hodnoty. [8]

$$E(x) = \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.2)$$

Medián udává prostřední hodnotu souboru dat. Pro výpočet jsou data uspořádána podle velikosti vzestupně. Pokud počet dat n v souboru je liché číslo, je medián prostřední hodnotou. Při sudém počtu dat n v souboru je medián určen aritmetickým průměrem dvou prostředních hodnot. [8]

Směrodatná odchylka σ je charakteristikou rozptýlení a určuje rozlišnost hodnot v souboru naměřených dat. Je vypočítána podle rovnice 4.3, kde σ^2 je rozptyl, n počet naměřených hodnot, x_i jsou jednotlivé naměřené hodnoty při opakovaném měření a \bar{x} je aritmetický průměr dat souboru. [8]

$$\sigma(x) = \sqrt{\sigma^2(x)} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.3)$$

Variační koeficient ν udává kvalitu naměřeného souboru dat, čím je nižší, tím je kvalita vyšší. Při měření elektroizolačních vlastností by měl být variační koeficient nižší než 10 % [2]. Koeficient je vypočítán podle rovnice 4.4, kde σ je směrodatná odchylka a $E(x)$ je střední hodnota souboru dat. [8]

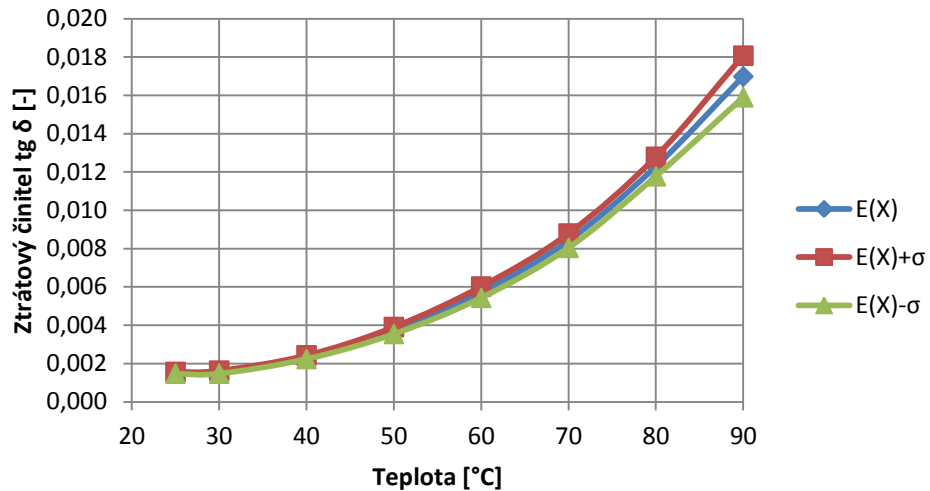
$$\nu = \frac{\sigma}{|E(x)|} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.4)$$

4.5.1 Naměřené hodnoty řepkového oleje bez nanopřísady

Naměřené hodnoty elektroizolačních vlastností čisté elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL a vypočítané hodnoty matematické statistiky jsou uvedeny v tabulkách v Příloze C a v Příloze B, ve které jsou změřená přeskoková napětí čisté elektroizolační kapaliny. Pro názornost jsou následně uvedeny a popsány grafy jednotlivých sledovaných veličin v závislosti na provozním tepelném namáhání. V grafu je vždy znázorněna průměrná naměřená hodnota a hranice, které jsou vzdáleny od průměrné hodnoty o jednu směrodatnou odchylku. V zobrazené oblasti by se při opakování měření mělo nacházet přibližně 68 % naměřených hodnot.

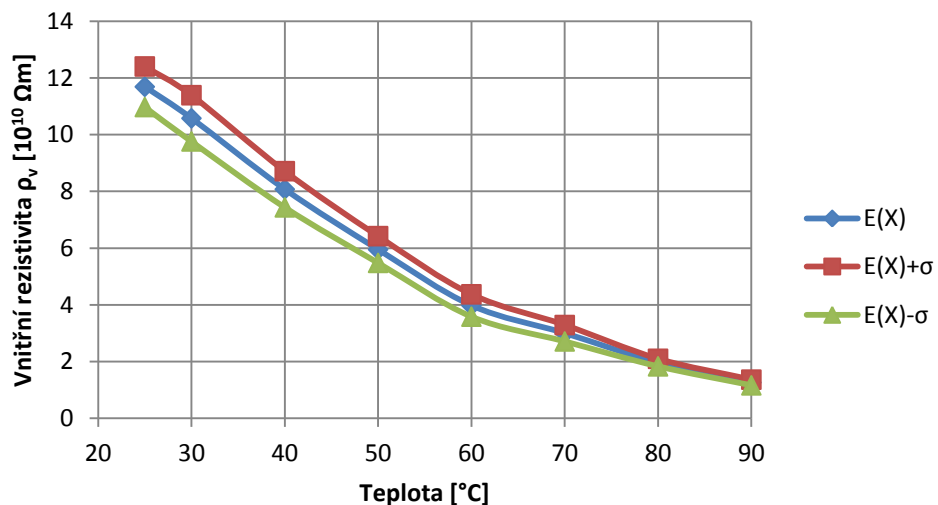
Průběh střední hodnoty ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL bez nanopřísady je znázorněn v grafu *Obr. 4.7*. Při pokojové teplotě se

ztrátový činitel rovnal hodnotě 0,00151. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k exponenciálnímu nárůstu na hodnotu 0,01698 při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka ztrátového činitele se při zvýšení teploty zvýšila z počáteční hodnoty $45 \cdot 10^{-6}$ na konečnou hodnotu $1085 \cdot 10^{-6}$ při teplotě 90 °C.



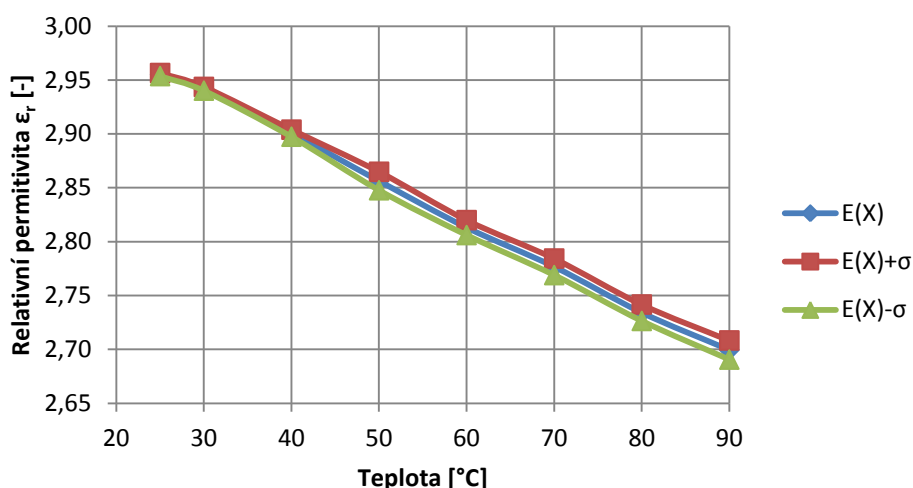
Obr. 4.7: Graf ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na teplotě

Průběh střední hodnoty vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL bez nanopřířady je znázorněn v grafu Obr. 4.8. Při pokojové teplotě se vnitřní rezistivita přibližně rovnala hodnotě $1,17 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k téměř exponenciálnímu poklesu na hodnotu $1,26 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka vnitřní rezistivity se při zvýšení teploty snížila z počáteční hodnoty $7,15 \cdot 10^9 \Omega \cdot \text{m}$ na konečnou hodnotu $9,99 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ při teplotě 90 °C.



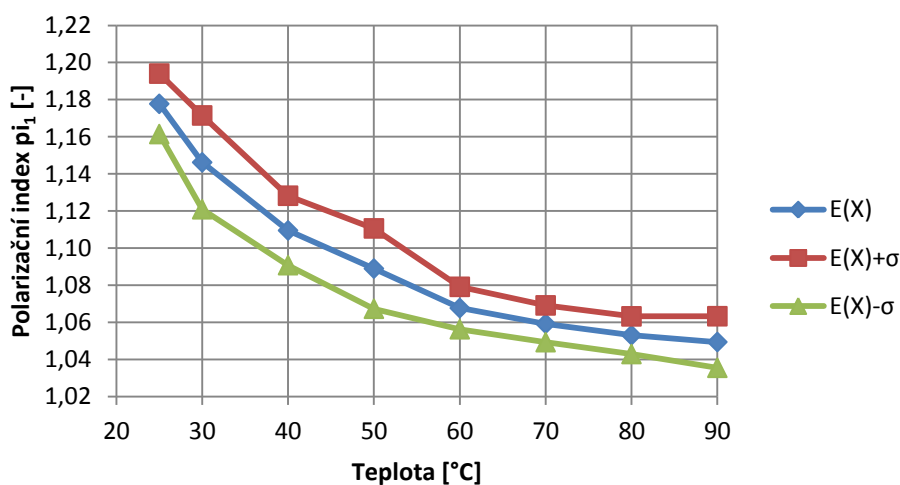
Obr. 4.8: Graf vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na teplotě

Průběh střední hodnoty relativní permitivity ϵ_r v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL bez nanopřířady je znázorněn v grafu *Obr. 4.9*. Při pokojové teplotě se relativní permitivita rovnala hodnotě 2,955. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k téměř lineárnímu poklesu na hodnotu 2,7 při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka relativní permitivity se při zvýšení teploty mírně zvýšila z počáteční hodnoty 0,0014 na konečnou hodnotu 0,0089 při teplotě 90 °C.



Obr. 4.9: Graf relativní permitivity ϵ_r v závislosti na teplotě

Průběh střední hodnoty polarizačního indexu p_{i1} v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL bez nanopřířady je znázorněn v grafu *Obr. 4.10*. Při pokojové teplotě byl polarizační index jednominutový přibližně 1,178. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k exponenciálnímu poklesu na hodnotu 1,05 při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka polarizačního indexu se při zvýšení teploty pohybovala stále kolem hodnoty 0,015.

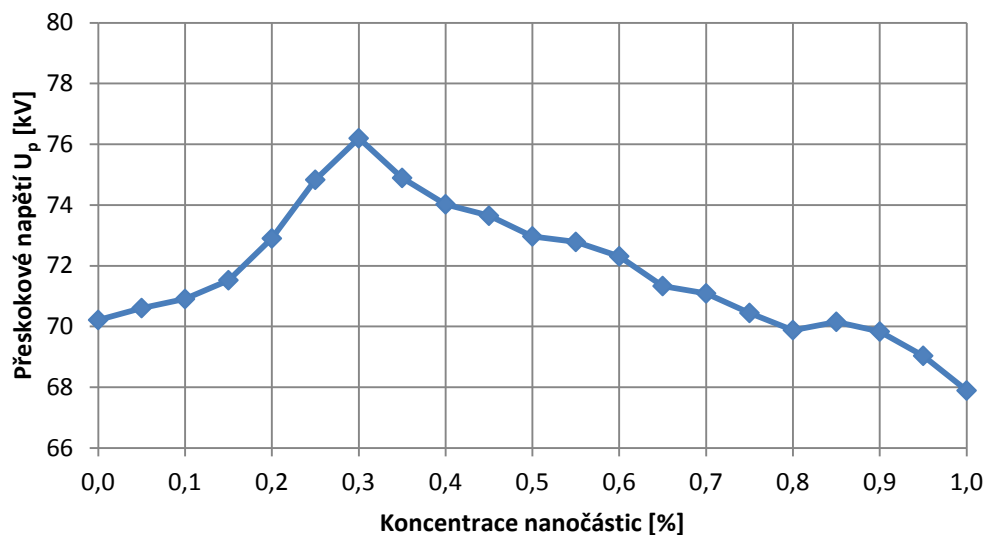


Obr. 4.10: Graf polarizačního indexu p_{i1} v závislosti na teplotě

4.5.2 Naměřené hodnoty řepkového oleje s nanopřísadou

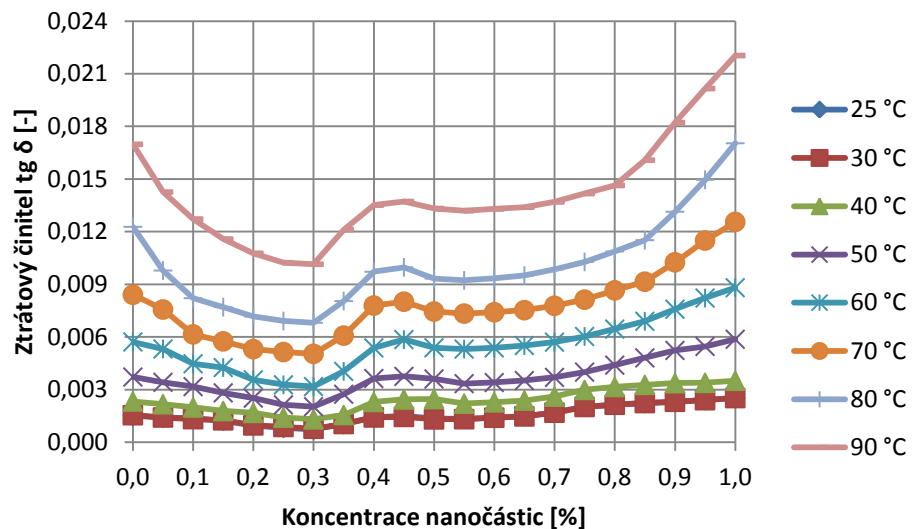
Naměřené hodnoty elektroizolačních vlastností elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL s jednotlivými koncentracemi nanopřísady Al_2O_3 a vypočítané hodnoty matematické statistiky jsou uvedeny tabulkách v Příloze B a v Příloze D. Pro názornost jsou následně uvedeny a popsány grafy jednotlivých sledovaných veličin v závislosti na koncentraci nanopřísady pro jednotlivé hodnoty tepelného namáhání.

Průběh přeskokového napětí U_p v závislosti na koncentraci nanopřísady je znázorněn v grafu Obr. 4.11. Přeskokové napětí elektroizolační kapaliny by mělo být pro praktické použití co možná nejvyšší. Při zvýšení koncentrace nanopřísady v elektroizolační kapalině ENVITRAFOL došlo k téměř exponenciálnímu nárůstu přeskokového napětí z počáteční hodnoty 70,22 kV při zcela čisté elektroizolační kapalině ENVITRAFOL. Tento trend elektroizolační kapalina udržela do koncentrace 0,3 %, při kterém přeskokové napětí dosáhlo na hodnotu 76,2 kV. Při následném zvýšení koncentrace na 0,35 % došlo k prudkému poklesu hodnoty přeskokového napětí na hodnotu 74,89 kV. Při vyšších koncentracích nanopřísady došlo k postupnému, téměř lineárnímu, poklesu přeskokového napětí až na hodnotu 67,89 kV. Postupný pokles byl přerušen při koncentraci nanopřísady 0,55 % a 0,85 %. Při těchto koncentracích došlo k mírnému nárůstu přeskokového napětí.



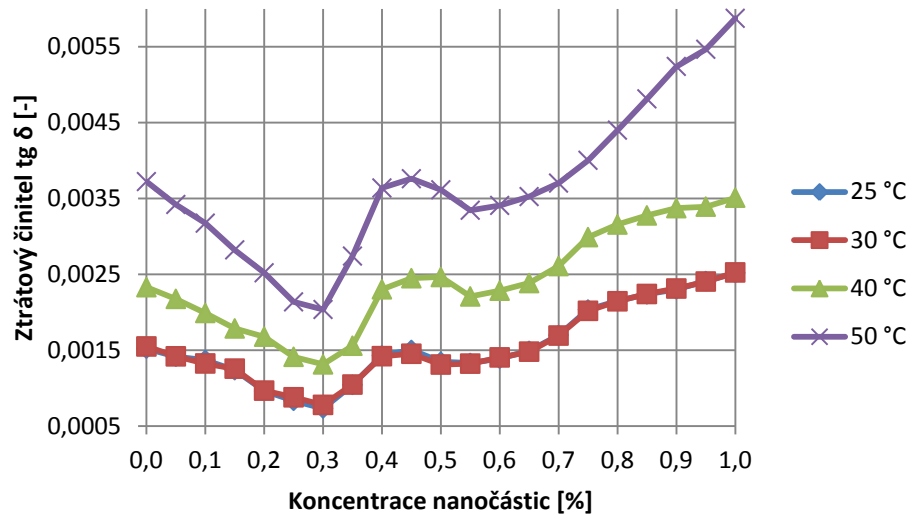
Obr. 4.11: Graf přeskokového napětí U_p v závislosti na koncentraci nanopřísady

Průběhy ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou znázorněny v grafu *Obr. 4.12* pro jednotlivé hodnoty provozního namáhání. Závislosti pro jednotlivé hodnoty provozního tepelného namáhání měly vždy obdobný průběh. Ztrátový činitel elektroizolační kapaliny by měl být pro praktické použití co možná nejmenší. Při zvýšení koncentrace nanopřířady v elektroizolační kapalině ENVITRAFOL došlo k poklesu ztrátového činitele oproti čisté kapalině. Tento trend elektroizolační kapalina udržela do koncentrace 0,3 %, při které ztrátový činitel dosáhl nejnižší hodnoty pro všechny hodnoty tepelného namáhání. Pro koncentrace nanopřířady 0,35 % až 1 % došlo k postupnému nárůstu ztrátového činitele. Pouze v rozmezí koncentrace 0,5 % - 0,55 % nanopřířady došlo zejména pro hodnoty tepelného namáhání 25 °C až 50 °C k výraznému snížení ztrátového činitele. Pro hodnoty tepelného namáhání 60 °C až 90 °C nebylo snížení ztrátového činitele příliš výrazné.



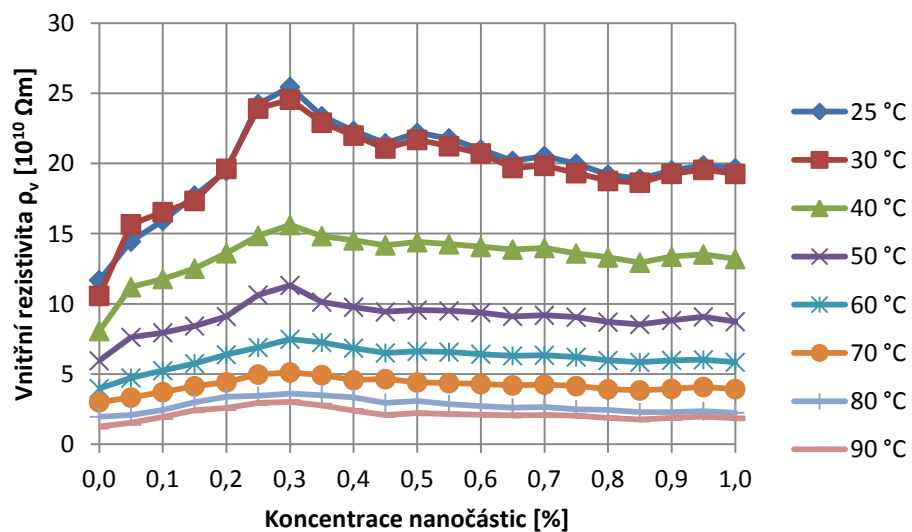
Obr. 4.12: Graf ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 25 – 90 °C

Průběhy ztrátového činitele v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou v grafu *Obr. 4.12* pro hodnoty tepelného namáhání 25 °C až 50 °C zkráceny měřítkem. Hodnoty proto byly znázorněny odděleně v grafu *Obr. 4.13*.



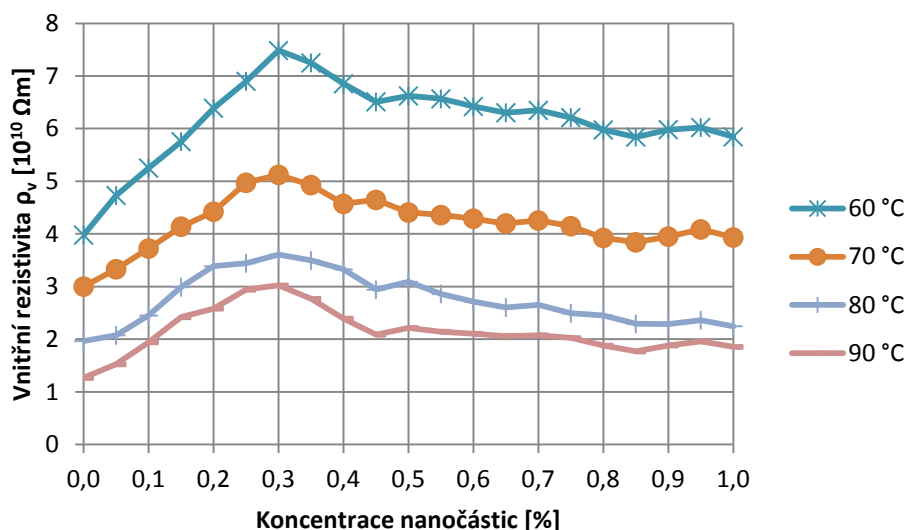
Obr. 4.13: Graf ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 25 – 50 °C

Průběhy vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou znázorněny v grafu Obr. 4.14 pro jednotlivé hodnoty provozního namáhání. Závislosti pro jednotlivé hodnoty provozního tepelného namáhání měly vždy obdobný průběh. Vnitřní rezistivita elektroizolační kapaliny by měla být pro praktické použití co možná nejvyšší. Při zvýšení koncentrace nanopřířady v elektroizolační kapalině ENVITRAFOL došlo k nárůstu vnitřní rezistivity oproti čisté kapalině. Tento trend elektroizolační kapalina udržela do koncentrace 0,3 %, při kterém vnitřní rezistivita dosáhla nejvyšší hodnoty pro všechny hodnoty tepelného namáhání. Pro koncentrace nanopřířady 0,35 % až 1 % došlo k postupnému poklesu vnitřní rezistivity. Pouze v rozmezí koncentrace 0,5 % a 0,9 % - 0,95 % nanopřířady došlo k malému zvýšení hodnoty vnitřní rezistivity.



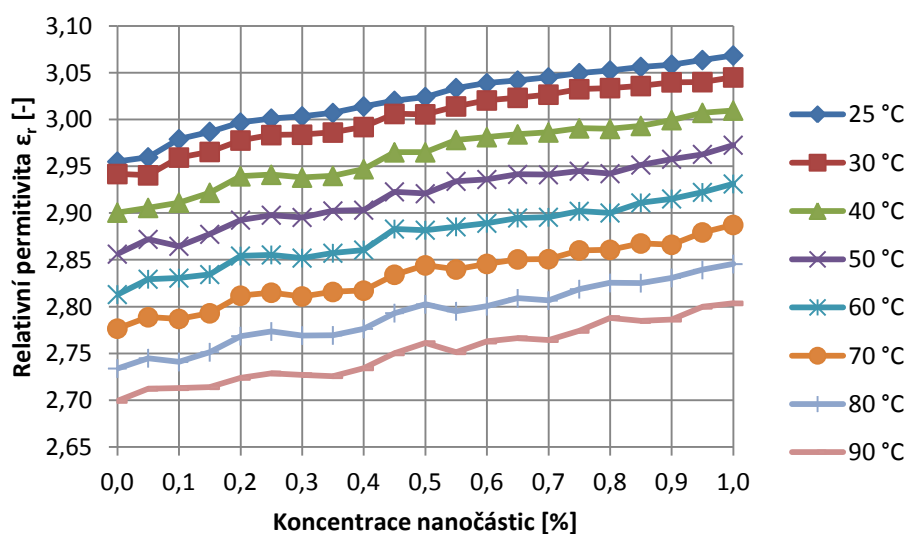
Obr. 4.14: Graf vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 25 – 90 °C

Průběhy vnitřní rezistivity v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou v grafu *Obr. 4.14* pro hodnoty tepelného namáhání 60 °C až 90 °C zkráceně měřítkem. Hodnoty proto byly znázorněny odděleně v grafu *Obr. 4.15*.



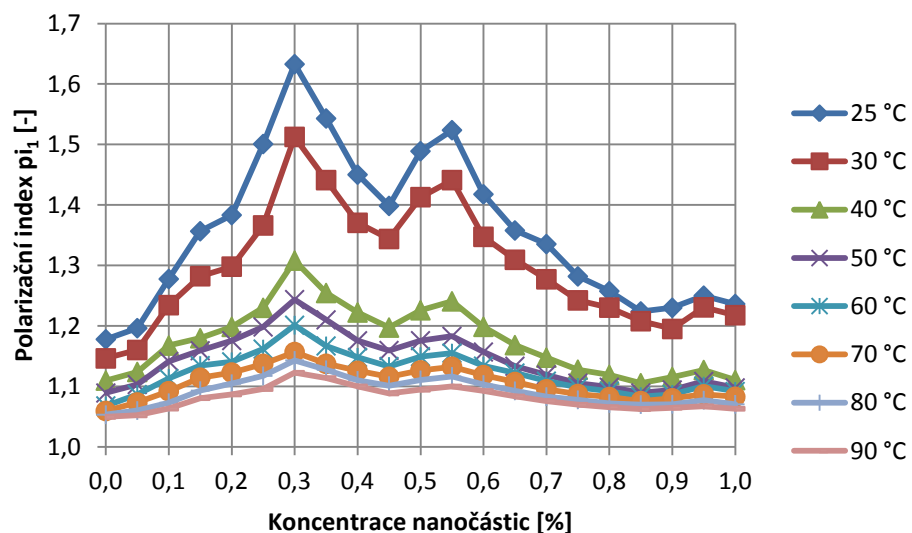
Obr. 4.15: Graf vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 60 – 90 °C

Průběhy relativní permitivity ϵ_r v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou znázorněny v grafu *Obr. 4.16* pro jednotlivé hodnoty provozního namáhání. Relativní permitivita elektroizolační kapaliny by měla být pro praktické použití v intervalu 2 - 3. Závislosti pro jednotlivé hodnoty provozního tepelného namáhání měly vždy obdobný průběh. Pro celý rozsah měřených koncentrací nanopřířady měla závislost relativní permitivity lineárně rostoucí charakter.



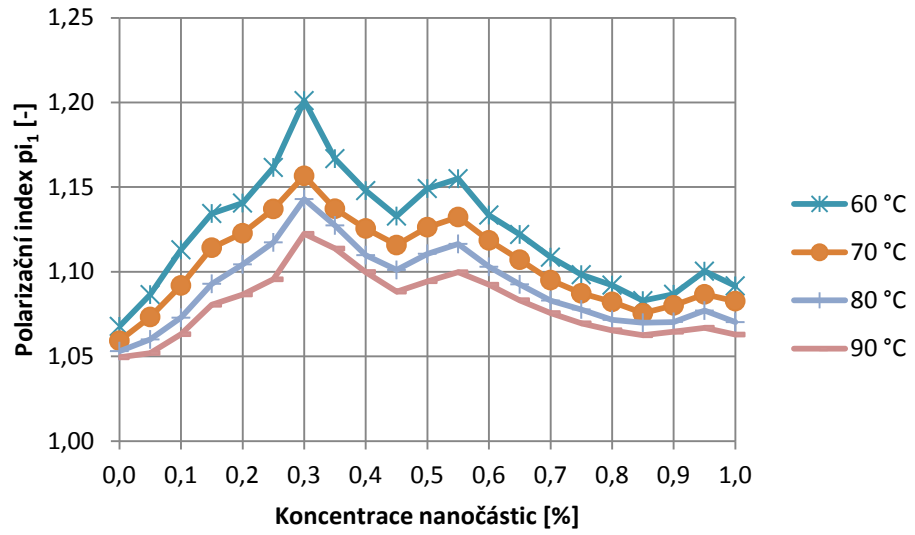
Obr. 4.16: Graf relativní permitivity ϵ_r v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 25 – 90 °C

Průběhy polarizačního indexu p_{i1} v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou znázorněny v grafu Obr. 4.17 pro jednotlivé hodnoty provozního namáhání. Závislosti pro jednotlivé hodnoty provozního tepelného namáhání měly vždy obdobný průběh. Polarizační index elektroizolační kapaliny by měl být pro praktické použití co možná nejvyšší. Při zvýšení koncentrace nanopřířady v elektroizolační kapalině ENVITRAFOL došlo k nárůstu polarizačního indexu oproti čisté kapalině. Tento trend elektroizolační kapalina udržela do koncentrace 0,3 %, při kterém polarizační index dosáhl nejvyšší hodnoty pro všechny hodnoty tepelného namáhání. Pro koncentrace nanopřířady 0,35 % až 1 % došlo k postupnému poklesu polarizačního indexu. Postupný pokles byl přerušen při koncentraci nanopřířady 0,5 - 0,55 % a 0,95 %. Při těchto koncentracích došlo k výraznému nárůstu polarizačního indexu. V rozmezí koncentrace 0,55 % - 1 % nanopřířady došlo pro hodnoty tepelného namáhání 60 °C – 90 °C k postupnému přiblížení polarizačního indexu ke stejné hodnotě.



Obr. 4.17: Graf polarizačního indexu p_{i1} v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 25 – 90 °C

Průběhy polarizačního indexu v závislosti na koncentraci nanopřířady jsou v grafu Obr. 4.17 pro hodnoty tepelného namáhání 60 °C až 90 °C zkráceně zobrazeny. Byly proto hodnoty znázorněny odděleně v grafu Obr. 4.18.

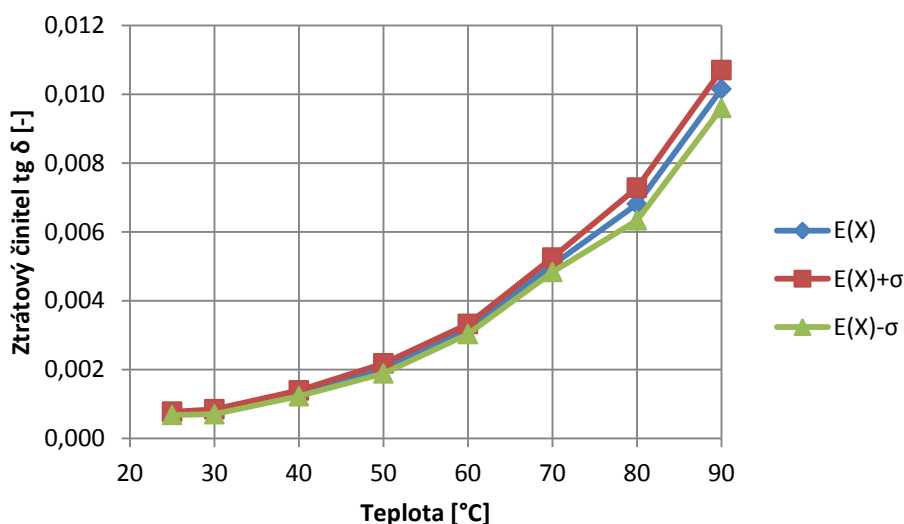


Obr. 4.18: Graf polarizačního indexu pi_1 v závislosti na koncentraci nanopřířady pro teploty 60 – 90 °C

5 Modifikace řepkového oleje ENVITRAFOL nanopřísadou

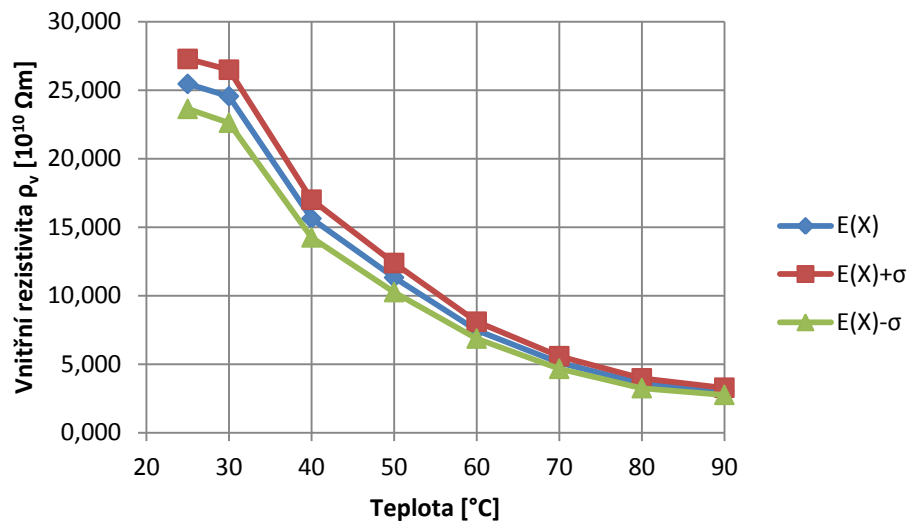
Z kapitoly 4.5.2 *Naměřené hodnoty řepkového oleje s nanopřísadou* je patrné, že nejlepší koncentrace nanopřísady Al_2O_3 v elektroizolační kapalině ENVITRAFOL je koncentrace 0,3 %. Při této koncentraci měla výsledná elektroizolační kapalina nejvyšší hodnotu přeskokového napětí, vnitřní rezistivity, polarizačního indexu a nejnižší hodnotu ztrátového činitele. Pro nalezenou nejlepší koncentraci nanopřísady byly dále vytvořeny grafy pro grafické znázornění měřených vlastností na provozním tepelném namáháním. Naměřené hodnoty elektroizolačních vlastností elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL s 0,3 % nanopřísady Al_2O_3 a vypočítané hodnoty matematické statistiky jsou uvedeny v tabulce Příloha C, Tab. 8. V grafu je vždy znázorněna průměrná naměřená hodnota a hranice, které jsou vzdáleny od průměrné hodnoty o jednu směrodatnou odchylku. V zobrazené oblasti by se při opakování měření mělo nacházet přibližně 68 % naměřených hodnot.

Průběh střední hodnoty ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL s koncentrací 0,3 % nanopřísady je znázorněn v grafu *Obr. 5.1*. Při pokojové teplotě byl ztrátový činitel roven hodnotě 0,00073. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k exponenciálnímu nárůstu na hodnotu 0,01015 při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka ztrátového činitele se při zvýšení teploty zvýšila z počáteční hodnoty $47 \cdot 10^{-6}$ na konečnou hodnotu $550 \cdot 10^{-6}$ při teplotě 90 °C.



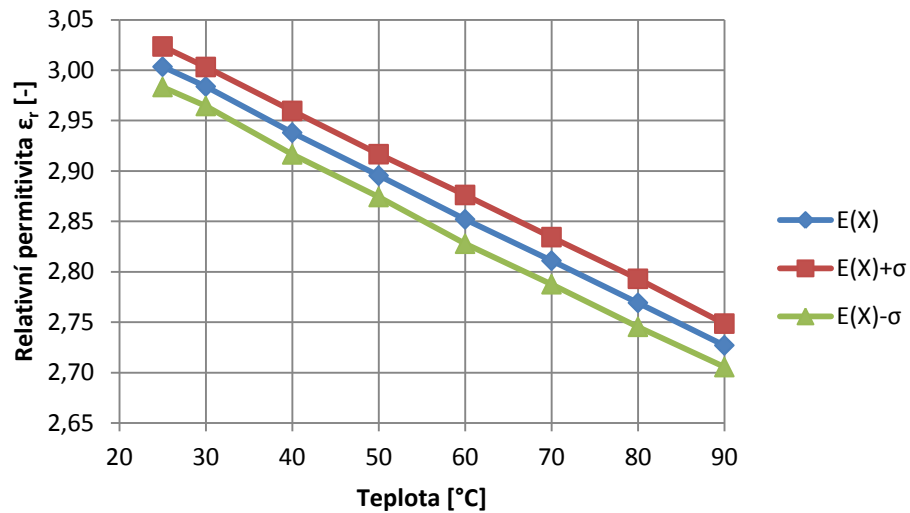
Obr. 5.1: Graf ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ v závislosti na teplotě pro koncentraci 0,3 %

Průběh střední hodnoty vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL s koncentrací 0,3 % nanopřířady je znázorněn v grafu Obr. 5.2. Při pokojové teplotě se vnitřní rezistivita přibližně rovnala hodnotě $2,545 \cdot 10^{11} \Omega \cdot m$. Pro teplotu 30 °C došlo oproti počáteční teplotě pouze k malému poklesu vnitřní rezistivity. Od teploty 30 °C už postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k exponenciálnímu poklesu na hodnotu $3,02 \cdot 10^{10} \Omega \cdot m$ při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka vnitřní rezistivity se při zvýšení teploty snížila z počáteční hodnoty $1,819 \cdot 10^{10} \Omega \cdot m$ na konečnou hodnotu $2,59 \cdot 10^9 \Omega \cdot m$ při teplotě 90 °C.



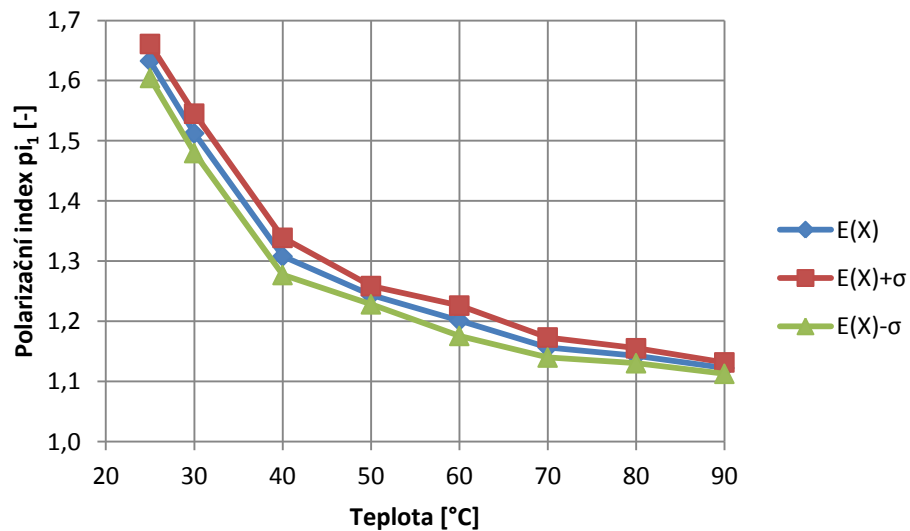
Obr. 5.2: Graf vnitřní rezistivity ρ_v v závislosti na teplotě pro koncentraci 0,3 %

Průběh střední hodnoty relativní permitivity ϵ_r v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL s koncentrací 0,3 % nanopřířady je znázorněn v grafu Obr. 5.3. Při pokojové teplotě se relativní permitivita rovnala hodnotě 3,003. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k téměř lineárnímu poklesu na hodnotu 2,727 při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka relativní permitivity se při zvýšení teploty téměř nezměnila a pohybovala se stále kolem hodnoty 0,022.



Obr. 5.3: Graf relativní permitivity ϵ_r v závislosti na teplotě pro koncentraci 0,3 %

Průběh střední hodnoty polarizačního indexu p_{i1} v závislosti na teplotě řepkového oleje ENVITRAFOL s koncentrací 0,3 % nanopřířady je znázorněn v grafu Obr. 5.4. Při pokojové teplotě byl polarizační index jednominutový přibližně 1,633. Postupným zvýšením teploty řepkového oleje došlo k exponenciálnímu poklesu na hodnotu 1,224 při teplotě 90 °C. Směrodatná odchylka polarizačního indexu se při zvýšení teploty snížila z počáteční hodnoty 0,028 na konečnou hodnotu 0,0009 při teplotě 90 °C. Pro hodnoty tepelného namáhání 30 – 60 °C směrodatná odchylka mírně rostla a pohybovala se kolem hodnoty 0,03.



Obr. 5.4: Graf polarizačního indexu p_{i1} v závislosti na teplotě pro koncentraci 0,3 %

Naměřené průměrné hodnoty elektroizolačních vlastností pro jednotlivé hodnoty tepelného provozního namáhání, čistého řepkového oleje ENVITRAFOL a elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL s 0,3 % nanopřířady Al_2O_3 , byly sepsány do *Tab. 5.1* a *Tab. 5.2*. Elektroizolační kapalina ENVITRAFOL, s nejlepší koncentrací nanopřířady, dosáhla oproti čistému řepkovému oleji ENVITRAFOL průměrně pro všechny hodnoty tepelného namáhání o 45 % nižší ztrátový činitel, dvojnásobnou hodnotu vnitřní rezistivity, o 13 % vyšší polarizační index, o 1 % vyšší hodnotu relativní permitivity a o 8,5 % vyšší hodnotu přeskokového napětí. Rozmíchané nanočástice v řepkovém oleji tedy výrazně zlepšily elektroizolační vlastnosti.

Tab. 5.1: Porovnání naměřených veličin čisté elektroizolační kapaliny a nejlepší koncentrace nanopřířady

	Ztrátový činitel $tg \delta$ [-]			Vnitřní rezistivita ρ_v [$G\Omega \cdot m$]		
	ENVITRAFOL	Nejlepší koncentrace	Změna	ENVITRAFOL	Nejlepší koncentrace	Změna
25 °C	0,00151	0,00073	-51,65%	116,886	254,492	117,73%
30 °C	0,00155	0,00078	-49,74%	105,764	245,492	132,11%
40 °C	0,00233	0,00131	-43,69%	80,750	156,244	93,49%
50 °C	0,00372	0,00204	-45,30%	59,518	113,204	90,20%
60 °C	0,00572	0,00318	-44,43%	39,792	74,840	88,08%
70 °C	0,00841	0,00504	-40,02%	30,010	51,232	70,72%
80 °C	0,01228	0,00681	-44,53%	19,664	36,074	83,45%
90 °C	0,01698	0,01015	-40,22%	12,646	30,224	139,00%
	Relativní permitivita ϵ_r [-]			Polarizační index p_{il} [-]		
	ENVITRAFOL	Nejlepší koncentrace	Změna	ENVITRAFOL	Nejlepší koncentrace	Změna
25 °C	2,955	3,003	1,64%	1,1777	1,6328	38,64%
30 °C	2,942	2,984	1,43%	1,1462	1,5125	31,96%
40 °C	2,901	2,938	1,29%	1,1095	1,3080	17,89%
50 °C	2,856	2,895	1,37%	1,0890	1,2436	14,20%
60 °C	2,813	2,852	1,39%	1,0677	1,2011	12,49%
70 °C	2,777	2,811	1,24%	1,0592	1,1566	9,20%
80 °C	2,734	2,769	1,29%	1,0531	1,1429	8,53%
90 °C	2,699	2,727	1,02%	1,0494	1,1224	6,95%

Tab. 5.2: Porovnání přeskokového napětí čisté elektroizolační kapaliny a nejlepší koncentrace nanopřířady

Přeskokové napětí [kV]		
ENVITRAFOL	Nejlepší koncentrace	Změna
70,22	76,20	8,52%

Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na změření vlastností řepkového oleje ENVITRAFOL, pro který je poté experimentálně zjištěno, zda je možné koncentrací nanopřířady změnit jeho elektroizolační vlastnosti. Práce nejprve definuje svou oblast zaměření, tedy na nepolární kapalně izolanty. Dále popisuje měřené elektroizolační vlastnosti, způsob jejich měření nebo výpočtu a mezní hodnoty parametrů uvedené normou. V poslední kapitole teoretické části je popsán vliv elektroizolačních kapalin na životní prostředí, práce zde shrnuje nejdůležitější vlastnosti kapalin s ohledem na životní prostředí a porovnává rostlinné a minerální oleje.

Praktická část diplomové práce byla součástí projektu TA 03020251 „Izolační kapaliny šetrné k životnímu prostředí“ Technologické agentury České republiky, jehož výsledkem byl užitečný vzor [31] řepkového oleje ENVITRAFOL. Řepkový olej má výbornou biologickou odbouratelnost, vysoký bod vzplanutí, snadnou dostupnost a nízkou cenu. Olej je vyroben úpravou vylisovaného řepkové oleje ze semen řepky olejné. Řepky olejné se v roce 2013 vypěstovalo v České republice přibližně 1,44 milionů tun a z toho byla téměř třetina exportována [46].

Z naměřených hodnot elektroizolačních vlastností, v závislosti na koncentraci nanopřířady Al_2O_3 pro jednotlivé hodnoty tepelného provozního namáhání, dosahovala nejlepších výsledků koncentrace 0,3 %. Při této hodnotě měl řepkový olej ENVITRAFOL nejvyšší hodnotu přeskokového napětí, vnitřní rezistivity, polarizačního indexu a nejnižší hodnotu ztrátového činitele. Oproti čistému řepkovému oleji dosáhla elektroizolační kapalina s 0,3 % nanopřířady Al_2O_3 průměrně o 45 % nižší hodnoty ztrátového činitele, dvojnásobné hodnoty vnitřní rezistivity, o 13 % vyšší hodnoty polarizačního indexu a o 1 % vyšší hodnoty relativní permitivity pro hodnoty tepelného namáhání. Hodnota přeskokového napětí byla pro elektroizolační kapalinu, s koncentrací 0,3 % nanopřířady, vyšší o 8,5 % oproti čistému řepkovému oleji ENVITRAFOL.

Diplomová práce se zabývala pouze prvotním experimentálním zjištěním, zda je možné zlepšit nanopřířadou elektroizolační vlastnosti izolačních kapalin. V průběhu experimentu bylo zjištěno, že při ponechání vzorku elektroizolační kapaliny s nanopřířadou v klidovém stavu dochází v řádech desítek hodin k postupné sedimentaci nanočástic na dno nádoby.

Pro možné použití nanopřířady v transformátoru je předpokladem, že nanočástice by byly neustále promíchávány teplotní cirkulací kapaliny, která slouží k chlazení transformátoru. Je ale velmi pravděpodobné, že bude docházet k přilnutí určitého množství nanočástic na vinutí. Koncentrace nanopřířady v kapalině proto může v závislosti na čase postupně klesat. Zmíněný předpoklad bude ovšem nutné experimentálně ověřit a důkladně zmapovat proces sedimentace nanočástic. Je velmi pravděpodobné, že transformátor pro elektroizolační kapalinu řepkového oleje s nanopřířadou bude muset být konstrukčně upraven a uzpůsoben pro opakované míchání nanočástic v řepkovém oleji.

Při pokračování výzkumu v oblasti, o které pojednává tato diplomová práce, bych doporučil změřit závislost elektroizolačních parametrů na koncentraci jiné nanopřířady, která by například byla vytvořená v hydrofilním provedení. Jiná nanopřířada může mít zcela jiný vliv na měřené elektroizolační parametry a může mít i jinou nejlepší koncentraci, při které bude elektroizolační kapalina dosahovat nejlepších vlastností. Výsledkem by mohla být elektroizolační kapalina ENVITRAFOL modifikovaná jinou nanopřířadou s lepšími hodnotami elektroizolačních vlastností, než byly dosaženy modifikováním řepkového oleje ENVITRAFOL nanopřířadou Al_2O_3 . Další možností je navázat nanočástice pomocí chemické vazby k molekulám řepkového oleje ENVITRAFOL. Chemická vazba by se vytvořila rozpuštěním látky v řepkovém oleji. Látka by na sebe dokázala navázat nanočástice a spojit se s molekulami oleje. Silná vazba, mezi částicemi řepkového oleje a částicemi nanopřířady, by mohla zabránit procesu sedimentace nanočástic v oleji a nebo tento proces zpomalit.

Diplomovou prací tedy byly změřeny elektroizolační vlastnosti řepkového oleje ENVITRAFOL a bylo zjištěno, že je možné nanopřířadou zlepšit vlastnosti řepkového oleje. Pro vybranou nanopřířadu byla nalezena optimální koncentrace, při které došlo k nejvýraznějšímu zlepšení vlastností řepkového oleje. Během experimentu byla zpozorována sedimentace nanočástic v oleji. Proces sedimentace ovšem nebyl cílem práce, a proto nebyl dále zkoumán.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0189-6.
- [2] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [3] KOBLÍŽEK, Vilém. *Dielektrické vlastnosti tuhých látek*. Katedra elektrotechnologie [online]. Brno: ČVUT BRNO, 2016 [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: http://martin.feld.cvut.cz/~koblizek/X13MTV-lab_soubory/uloha_4.pdf
- [4] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika izolantů*. 1. vyd. Plzeň: VŠSE, 1986. skripta 62 s.
- [5] KUČEROVÁ, Eva. *Elektrotechnické materiály*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-708-2940-0.
- [6] LEUCHTER, Jan. *Izolanty*. In: Univerzita Obrany Brno [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: http://user.unob.cz/leuchter/4_P%C5%98_BAK_izolanty.pdf
- [7] *Skupenství*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Skupenstv%C3%AD>
- [8] MENTLÍK, Václav. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-412-5.
- [9] *Dielektrikum*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-09-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dielektrikum>
- [10] KOŠTÁL, Josef. *Minerální izolační oleje v elektrických zařízeních*. Odborné časopisy: Elektro [online]. 2008, **2008**(1), 1 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/mineralni-izolacni-oleje-v-elektrickyh-zarizenich--11675>
- [11] *Elektrický izolant*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-09-06]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_izolant
- [12] *Rafinace oleje* [online]. Česká Skalice: Farnet, 2014 [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.farnet.cz/cs/oft/rafinace-oleje?parentID=2083&clearhistory=1>
- [13] ŠMIDRKAL, Jan, Vladimír FILIP, Zdeněk BĚLOHLAV, Petr ZÁMOSTNÝ a Vladimír HÖNIG. *Současný stav a perspektivy využití rostlinných olejů*. Chemické listy [online]. Praha, 2008, 2008(102), 984-991 [cit. 2016-12-24]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_11_984-991.pdf
- [14] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0619-2.

- [15] CHANDRASEKAR, S. a Gian MONTANARI. *Analysis of partial discharge characteristics of natural esters as dielectric fluid for electric power apparatus applications*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation [online]. 2014, **21**(3), 1251-1259 [cit. 2016-12-26]. DOI: 10.1109/TDEI.2014.6832272. ISSN 1070-9878. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6832272/>
- [16] MENTLIK, Vaclav, Pavel TRNKA, Michal SVOBODA, Jaroslav HORNAK, Jakub SOUCEK a Lukas HARVANEK. *Natural esters as a part of HV transformer insulation system*. In: 2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM) [online]. IEEE, 2015, s. 148-151 [cit. 2016-12-26]. DOI: 10.1109/ICPADM.2015.7295230. ISBN 978-1-4799-8903-4. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7295230/>
- [17] MARCHESAN, T. B. a A. J. FANCHIN. *Natural ester fluid: The transformer design perspective*. In: 2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA) [online]. IEEE, 2010, s. 329-333 [cit. 2016-12-26]. DOI: 10.1109/TDC-LA.2010.5762902. ISBN 978-1-4577-0488-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5762902/>
- [18] CEJKOVA, Anna, Pavel TRNKA a Vaclav MENTLIK. *Natural ester — Moisture and acidity issue*. In: 2016 Conference on Diagnostics in Electrical Engineering (Diagnostika) [online]. IEEE, 2016, s. 1-4 [cit. 2017-01-16]. DOI: 10.1109/DIAGNOSTIKA.2016.7736475. ISBN 978-1-5090-6178-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7736475/>
- [19] TRNKA, Pavel, Vaclav MENTLIK, Jaroslav HORNAK, Anna CEJKOVA a Pavel TOTZAUER. *Natural esters as insulating fluids — Some other features*. In: 2016 ELEKTRO [online]. IEEE, 2016, s. 641-644 [cit. 2017-01-25]. DOI: 10.1109/ELEKTRO.2016.7512158. ISBN 978-1-4673-8698-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7512158/>
- [20] POLANSKÝ, Radek a Pavel TRNKA. *Termogravimetrie kapalných izolantů*. Electro Scope [online]. 2007, **2007**, 4 [cit. 2016-12-26]. ISSN 1802-4564. Dostupné z: <http://ek702p10-ket.fel.zcu.cz/images/PDF/Rocnik2007/cislo1/r0c1c12.pdf>
- [21] TRNKA, Pavel a Radek POLANSKÝ. *Tepelné stárnutí izolačního systému olej-papír*. Elektro Scope [online]. 2007, **2007**(1), 5 [cit. 2016-11-22]. ISSN 1802-4564. Dostupné z: http://147.228.94.30/index.php?option=com_content&view=article&id=76:tepelnestarnutiizolaniho-systemu-olej-papir&catid=8:islo-1&Itemid=3
- [22] MOUDRÝ, Jan. *Olej*. Zemědělská fakulta JCU [online]. JCU České Budějovice: Zemědělská fakulta JCU České Budějovice, 2009 [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Olej.htm>
- [23] RAFIQ, Muhammad, Kai YI, Chengrong LI, Yuzhen LV, Muhammad NUMAN a Usman NASIR. *Effect of Fe₃O₄ nanoparticle size on impulse breakdown strength of mineral oil-based nanofluids*. In: 2016 International Conference for Students on Applied Engineering (ISCAE) [online]. IEEE, 2016, s. 186-189 [cit. 2017-03-11]. DOI: 10.1109/ISCAE.2016.7810185. ISBN 978-1-4673-9053-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7810185/>

- [24] RAFIQ, Muhammad, Yuzhen LV, Chengrong LI a KAI YI. *Effect of different nanoparticle types on breakdown strength of transformer oil*. In: 2016 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP) [online]. IEEE, 2016, s. 436-440 [cit. 2017-03-11]. DOI: 10.1109/CEIDP.2016.7785607. ISBN 978-1-5090-4654-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7785607/>
- [25] RAFIQ, Muhammad, Chengrong LI, Yuzhen LV, Kai YI a Ikram ARIF. *Breakdown characteristics of transformer oil based silica nanofluids*. In: 2016 19th International Multi-Topic Conference (INMIC) [online]. IEEE, 2016, s. 1-4 [cit. 2017-03-11]. DOI: 10.1109/INMIC.2016.7840147. ISBN 978-1-5090-4300-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7840147/>
- [26] ASANO, Roberto a Stephane A. PAGE. *Reducing Environmental Impact and Improving Safety and Performance of Power Transformers With Natural Ester Dielectric Insulating Fluids*. IEEE Transactions on Industry Applications [online]. 2014, **50**(1), 134-141 [cit. 2017-05-05]. DOI: 10.1109/TIA.2013.2269532. ISSN 0093-9994. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6544258/>
- [27] ČSN EN 62770. *Kapaliny pro elektrotechnické aplikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [28] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-7043-247-0.
- [29] TRNKA, Pavel, Jaroslav HORNAK, Vaclav MENTLIK, Lukas HARVANEK a Josef PIHERA. *Behavior of alternative electro insulating liquid at solidification process*. In: 2016 IEEE International Conference on Dielectrics (ICD) [online]. IEEE, 2016, s. 1175-1178 [cit. 2017-02-26]. DOI: 10.1109/ICD.2016.7547827. ISBN 978-1-5090-2804-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7547827/>
- [30] SEJKOROVÁ, Marie. *Jaké hodnoty jsou sledovány při tribologické analýze oleje Rostlinny olej* [online]. [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: <http://www.rostlinnyolej.cz/cs/bypassove-filtry/3.html>
- [31] BRÁZDIL, Jiří, Jaroslav ČERNÝ, Václav MENTLÍK, Pavel TRNKA, Lenka KOŠANOVÁ a Vladimír KUŽÍLEK. *Biologicky odbouratelná elektroizolační kapalina*. 2016. Česká republika. CZ 29982 U1 Užité vzor. Uděleno 15.11.2016. Zapsáno 15.3.2016.
- [32] ČSN ISO 10707. *Jakost vod. Hodnocení úplné aerobní biologické rozložitelnosti organických látek ve vodním prostředí. Metoda stanovení biochemické spotřeby kyslíku (v uzavřených lahvičkách)*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [33] *Biodegradable Definition*. GreenGood [online]. La Mirada, USA: GreenGood USA, 2013 [cit. -01-17]. Dostupné z: http://www.greengood.com/terms_to_know/biodegradable_definitions.htm
- [34] SHAH, Z. H.; TAHIR, Q. A.. *Dielectric Properties of Vegetable Oils*. Journal of Scientific Research, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 481-492, aug. 2011. ISSN 2070-0245. Available at: <<http://www.banglajol.info/index.php/JSR/article/view/7049>>. [cit. 2017-01-16]. doi:<http://dx.doi.org/10.3329/jsr.v3i3.7049>.

- [35] DORIAN, David. *Denitrification*. Rensselaer Polytechnic Institute [online]. New York, USA: Rensselaer Polytechnic Institute New York, 1995 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Projects00/biotreat/denite/denite.htm>
- [36] RŮŽIČKA, František. *Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky*. Hasičský záchranný sbor České republiky [online]. Ústí nad Labem: HZS Ústí nad Labem, 2002 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: www.hzscr.cz/soubor/1-1-02-horlave-latky-pdf.aspx
- [37] YASUDA, Koji, Satoshi ARAZOE, Tetsuo IGARASHI, Satoru YANABU, Genyo UETA a Shigemitsu OKABE. Comparison of the insulation characteristics of environmentally-friendly oils. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* [online]. 2010, **17**(3), 791-798 [cit. 2017-03-15]. DOI: 10.1109/TDEI.2010.5492252. ISSN 1070-9878. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5492252/>
- [38] JIAN LI, S. GRZYBOWSKI, YANFEI SUN a XIAOLING CHEN. *Dielectric properties of rapeseed oil paper insulation*. In: 2007 Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena [online]. IEEE, 2007, s. 500-503 [cit. 2016-12-25]. DOI: 10.1109/CEIDP.2007.4451582. ISBN 978-1-4244-1481-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4451582/>
- [39] *Řepkový olej*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98epkov%C3%BD_olej
- [40] LAKRARI, Khoulood. *Study of electrical properties of vegetable oils for the purpose of an application in electrical engineering*. African Journal of Food Science [online]. 2013, **7**(11), 404-407 [cit. 2017-02-19]. DOI: 10.5897/AJFS2013.1017. ISSN 1996-0794. Dostupné z: <http://academicjournals.org/journal/AJFS/article-abstract/BA8D7F241453>
- [41] *Aluminum Oxide Powder*. Nanostructured & Amorphous Materials [online]. Houston, USA: Nanostructured & Amorphous Materials [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.nanoamor.com/inc/sdetail/23069>
- [42] ČSN IEC 250. *Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových délek*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [43] *Operating Instructions 2830/2831*. Haefely Hipotronics [online]. Switzerland: Haefely Test, 2013 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: https://update.haefely.com/ct2830/_private/MA_2830_2831_4843477_V2.0.pdf
- [44] *2903 Test Cell Liquid Insulant*. Haefely Hipotronics [online]. Haefely Test AG Switzerland: Haefely Hipotronics, 2016 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: http://www.haefely-hipotronics.com/wp-content/uploads/2015/09/2903_DS_1508.pdf
- [45] ČSN EN 60243-1 ed. 2. *Elektrická pevnost izolačních materiálů – Zkušební metody – Část 1: Zkoušky při průmyslových kmitočtech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [46] Food and Agriculture Organization of the United Nations [online]. Řím, Itálie: FAO, 2017 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

Přílohy

Seznam příloh

A Použité přístroje

B Naměřené hodnoty přeskového napětí řepkového oleje

C Naměřené hodnoty řepkového oleje bez nanopřířady

D Naměřené hodnoty řepkového oleje modifikovaného nanopřířadou

A Použité přístroje



Obr. 1: Sušící pec Venticell



Obr. 2: Vakuová pec



Obr. 3: Ovládací modul SN4 a výkonový modul LM30 od firmy High Volt



Obr. 4: Zkušební transformátor High Volt PEOI 10/110 10kVA



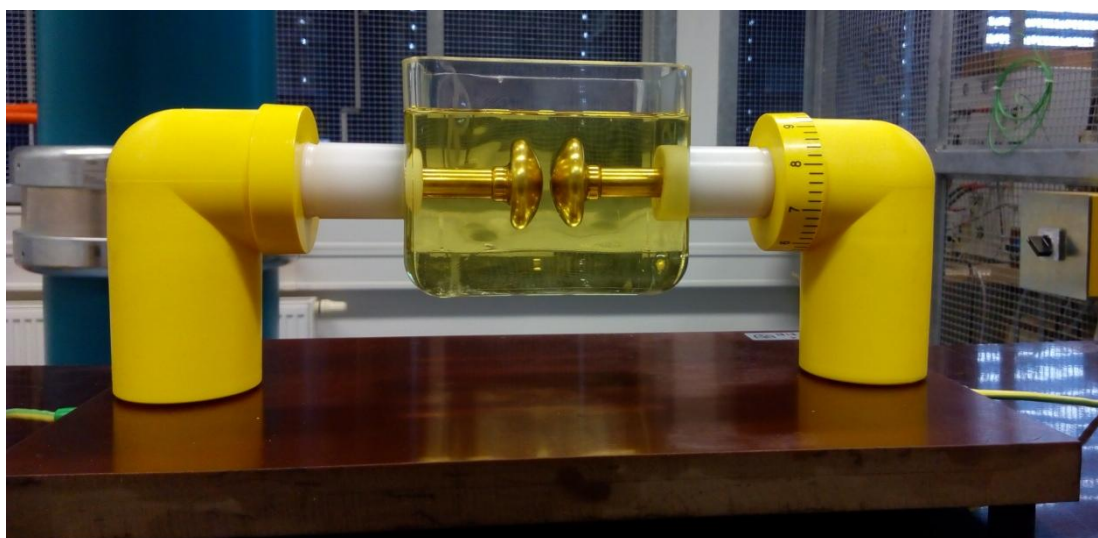
Obr. 5: Kapacitní dělič kondenzátorů CDTH 0615B10



Obr. 6: High Volt rezistor o hodnotě 106 kΩ



Obr. 7: Perkolační zařízení pro výrobu elektroizolační kapaliny ENVITRAFOL



Obr. 8: Elektrodotový systém pro měření přeskovového napětí



Obr. 9: Mikrováha ALJ 120-4



Obr. 10: Hřídelová míchačka Eurostar 40 digital s míchací vrtulí



Obr. 11: Ultrazvuková vana VGT-1990QT

B Naměřené hodnoty přeskového napětí řepkového oleje

Tab. 1: Naměřené hodnoty přeskového napětí řepkového oleje

Obsah Al ₂ O ₃ [%]	Up1 [kV]	Up2 [kV]	Up3 [kV]	Up4 [kV]	Up5 [kV]	Up6 [kV]	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.
0,00	71,23	63,90	65,68	74,47	75,40	70,61	70,22	70,61	63,90	75,40	4,22	6,00%
0,05	63,81	74,16	64,73	77,14	75,56	68,24	70,61	74,16	64,73	77,14	5,26	7,45%
0,10	67,15	69,26	73,01	77,07	65,02	73,92	70,91	73,01	65,02	77,07	4,14	5,84%
0,15	74,84	71,66	72,66	65,98	64,87	79,13	71,52	71,66	64,87	79,13	4,92	6,88%
0,20	70,10	76,63	78,46	76,02	64,37	71,82	72,90	76,02	64,37	78,46	4,77	6,54%
0,25	70,11	75,29	80,10	70,52	73,55	79,41	74,83	75,29	70,52	80,10	3,90	5,22%
0,30	71,77	81,17	84,79	70,45	76,81	72,19	76,20	76,81	70,45	84,79	5,29	6,94%
0,35	75,55	74,20	76,13	66,06	74,64	82,77	74,89	74,64	66,06	82,77	4,87	6,51%
0,40	84,30	64,11	75,11	81,30	67,50	71,82	74,02	71,82	64,11	81,30	7,13	9,64%
0,45	87,98	73,45	69,59	71,28	67,82	71,76	73,65	71,28	67,82	73,45	6,65	9,02%
0,50	72,01	69,99	78,46	80,02	65,50	71,82	72,97	71,82	65,50	80,02	4,95	6,78%
0,55	81,80	76,73	74,07	59,44	71,19	73,48	72,79	73,48	59,44	76,73	6,83	9,38%
0,60	71,10	76,70	72,14	72,66	77,83	63,44	72,31	72,66	63,44	77,83	4,66	6,44%
0,65	72,41	64,83	72,66	75,03	64,37	78,69	71,33	72,66	64,37	78,69	5,19	7,27%
0,70	85,94	75,10	68,02	63,83	68,21	65,44	71,09	68,02	63,83	75,10	7,52	9,69%
0,75	81,37	65,93	64,52	65,57	68,40	76,89	70,45	65,93	64,52	76,89	6,38	9,06%
0,80	68,79	72,60	68,13	73,77	68,11	67,89	69,88	68,13	67,89	73,77	2,38	3,40%
0,85	71,65	78,18	62,26	75,25	62,14	71,45	70,16	71,45	62,14	78,18	6,07	8,65%
0,90	67,09	78,25	73,12	65,46	59,04	76,04	69,83	73,12	59,04	78,25	6,62	9,49%
0,95	66,48	70,76	62,53	62,74	74,74	76,96	69,04	70,76	62,53	76,96	5,58	8,08%
1,00	72,36	70,41	60,73	66,35	69,20	68,30	67,89	68,30	60,73	70,41	3,69	5,44%

C Naměřené hodnoty řepkového oleje bez nanopřířady

	Cistý olej	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.
tg δ [-]	25 °C	0,00148	0,00154	0,00158	0,00152	0,00145	0,00151	0,00152	0,00145	0,00158	0,000045	3,00%
	30 °C	0,00159	0,00143	0,00165	0,00149	0,00158	0,00155	0,00158	0,00143	0,00165	0,000078	5,04%
	40 °C	0,00248	0,00219	0,00235	0,00228	0,00235	0,00233	0,00235	0,00219	0,00248	0,000095	4,09%
	50 °C	0,00396	0,00344	0,00384	0,00361	0,00376	0,00372	0,00376	0,00344	0,00396	0,000181	4,87%
	60 °C	0,00609	0,00528	0,00598	0,00554	0,00572	0,00572	0,00572	0,00528	0,00609	0,000293	5,13%
	70 °C	0,00903	0,00791	0,00854	0,00821	0,00836	0,00841	0,00836	0,00791	0,00903	0,000373	4,43%
	80 °C	0,01310	0,01150	0,01230	0,01220	0,01230	0,01228	0,01230	0,01150	0,01310	0,000508	4,13%
	90 °C	0,01880	0,01560	0,01740	0,01630	0,01680	0,01698	0,01680	0,01560	0,01880	0,001085	6,39%
i_{15} [nA]	25 °C	44,0	40,0	35,0	39,0	41,0	39,8	40,0	35,0	44,0	2,9	7,35%
	30 °C	45,0	43,0	37,0	41,0	39,0	41,0	41,0	37,0	45,0	2,8	6,90%
	40 °C	68,0	64,0	53,0	59,0	62,0	61,2	62,0	53,0	68,0	5,0	8,23%
	50 °C	103,0	98,0	87,0	94,0	99,0	96,2	98,0	87,0	103,0	5,4	5,63%
	60 °C	164,0	152,0	143,0	149,0	168,0	155,2	152,0	143,0	168,0	9,4	6,04%
	70 °C	236,0	228,0	201,0	210,0	223,0	219,6	223,0	201,0	236,0	12,6	5,72%
	80 °C	321,0	315,0	297,0	332,0	355,0	324,0	321,0	297,0	355,0	19,2	5,93%
	90 °C	518,0	424,0	406,0	451,0	497,0	459,2	451,0	406,0	518,0	42,5	9,25%
i_{60} [nA]	25 °C	38,0	34,0	30,0	33,0	34,0	33,8	34,0	30,0	38,0	2,6	7,58%
	30 °C	40,0	38,0	33,0	35,0	33,0	35,8	35,0	33,0	40,0	2,8	7,78%
	40 °C	62,0	59,0	48,0	52,0	55,0	55,2	55,0	48,0	62,0	5,0	8,98%
	50 °C	96,0	92,0	79,0	87,0	88,0	88,4	88,0	79,0	96,0	5,7	6,42%
	60 °C	154,0	145,0	132,0	139,0	157,0	145,4	145,0	132,0	157,0	9,3	6,37%
	70 °C	223,0	219,0	188,0	198,0	209,0	207,4	209,0	188,0	223,0	13,0	6,27%
	80 °C	307,0	303,0	281,0	315,0	332,0	307,6	307,0	281,0	332,0	16,6	5,40%
	90 °C	497,0	408,0	383,0	436,0	464,0	437,6	436,0	383,0	497,0	40,2	9,19%
ϵ_r [-]	25 °C	2,955	2,957	2,953	2,956	2,954	2,955	2,955	2,953	2,957	0,0014	0,05%
	30 °C	2,942	2,944	2,939	2,943	2,941	2,942	2,942	2,939	2,944	0,0017	0,06%
	40 °C	2,904	2,902	2,895	2,903	2,899	2,901	2,902	2,895	2,904	0,0033	0,11%
	50 °C	2,862	2,860	2,841	2,865	2,853	2,856	2,860	2,841	2,865	0,0086	0,30%
	60 °C	2,822	2,818	2,806	2,815	2,804	2,813	2,815	2,804	2,822	0,0069	0,25%
	70 °C	2,783	2,776	2,764	2,786	2,774	2,777	2,776	2,764	2,786	0,0077	0,28%
	80 °C	2,746	2,737	2,724	2,735	2,728	2,734	2,735	2,724	2,746	0,0076	0,28%
	90 °C	2,709	2,702	2,685	2,707	2,694	2,699	2,702	2,685	2,709	0,0089	0,33%
ρ_v [10^{10} $\Omega \cdot m$]	25 °C	10,909	11,694	13,020	11,302	11,518	11,689	11,518	10,909	13,020	0,715	6,12%
	30 °C	9,214	10,410	11,746	10,706	10,806	10,576	10,706	9,214	11,746	0,815	7,71%
	40 °C	7,175	7,531	8,348	8,952	8,369	8,075	8,348	7,175	8,952	0,638	7,90%
	50 °C	5,129	6,200	6,542	5,834	6,054	5,952	6,054	5,129	6,542	0,471	7,92%
	60 °C	3,531	3,960	4,697	3,741	3,967	3,979	3,960	3,531	4,697	0,393	9,88%
	70 °C	2,882	2,954	3,565	2,842	2,762	3,001	2,882	2,762	3,565	0,289	9,62%
	80 °C	1,862	1,819	2,110	2,141	1,900	1,966	1,900	1,819	2,141	0,133	6,75%
	90 °C	1,177	1,118	1,383	1,321	1,324	1,265	1,321	1,118	1,383	0,100	7,90%
ρ_i [-]	25 °C	1,1579	1,1765	1,1667	1,1818	1,2059	1,1777	1,1765	1,1579	1,2059	0,01629	1,38%
	30 °C	1,1250	1,1316	1,1212	1,1714	1,1818	1,1462	1,1316	1,1212	1,1818	0,02527	2,20%
	40 °C	1,0968	1,0847	1,1042	1,1346	1,1273	1,1095	1,1042	1,0847	1,1346	0,01871	1,69%
	50 °C	1,0729	1,0652	1,1013	1,0805	1,1250	1,0890	1,0805	1,0652	1,1250	0,02165	1,99%
	60 °C	1,0649	1,0483	1,0833	1,0719	1,0701	1,0677	1,0701	1,0483	1,0833	0,01143	1,07%
	70 °C	1,0583	1,0411	1,0691	1,0606	1,0670	1,0592	1,0606	1,0411	1,0691	0,00990	0,93%
	80 °C	1,0456	1,0396	1,0569	1,0540	1,0693	1,0531	1,0540	1,0396	1,0693	0,01015	0,96%
	90 °C	1,0423	1,0392	1,0601	1,0344	1,0711	1,0494	1,0423	1,0344	1,0711	0,01389	1,32%

D Naměřené hodnoty řepkového oleje modifikovaného nanopřísadou

Obsah 0,05%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
tg δ [-]	25 °C	0,00135	0,00141	0,00136	0,00155	0,00140	0,00141	0,00140	0,00135	0,00155	0,000072	5,07%
	30 °C	0,00142	0,00138	0,00132	0,00152	0,00145	0,00142	0,00142	0,00132	0,00152	0,000067	4,73%
	40 °C	0,00197	0,00221	0,00215	0,00238	0,00217	0,00218	0,00217	0,00197	0,00238	0,000131	6,02%
	50 °C	0,00335	0,00369	0,00324	0,00344	0,00338	0,00342	0,00338	0,00324	0,00369	0,000150	4,38%
	60 °C	0,00510	0,00528	0,00506	0,00561	0,00556	0,00532	0,00528	0,00506	0,00561	0,000228	4,28%
	70 °C	0,00728	0,00811	0,00736	0,00728	0,00782	0,00757	0,00736	0,00728	0,00811	0,000337	4,45%
	80 °C	0,00979	0,01090	0,00926	0,00911	0,00989	0,00979	0,00979	0,00911	0,01090	0,000630	6,44%
	90 °C	0,01400	0,01550	0,01470	0,01390	0,01320	0,01426	0,01400	0,01320	0,01550	0,000781	5,48%
i_{15} [nA]	25 °C	36,0	38,0	42,0	41,0	38,0	39,0	38,0	36,0	42,0	2,2	5,62%
	30 °C	35,0	42,0	44,0	43,0	39,0	40,6	42,0	35,0	44,0	3,3	8,03%
	40 °C	55,0	58,0	65,0	62,0	59,0	59,8	59,0	55,0	65,0	3,4	5,73%
	50 °C	69,0	72,0	80,0	78,0	75,0	74,8	75,0	69,0	80,0	4,0	5,31%
	60 °C	125,0	133,0	144,0	139,0	136,0	135,4	136,0	125,0	144,0	6,3	4,69%
	70 °C	174,0	186,0	202,0	197,0	191,0	190,0	191,0	174,0	202,0	9,7	5,08%
	80 °C	242,0	269,0	285,0	278,0	272,0	269,2	272,0	242,0	285,0	14,7	5,45%
	90 °C	365,0	392,0	415,0	408,0	402,0	396,4	402,0	365,0	415,0	17,4	4,39%
i_{60} [nA]	25 °C	30,0	32,0	35,0	34,0	32,0	32,6	32,0	30,0	35,0	1,7	5,35%
	30 °C	30,0	36,0	38,0	37,0	34,0	35,0	36,0	30,0	38,0	2,8	8,08%
	40 °C	49,0	52,0	57,0	55,0	53,0	53,2	53,0	49,0	57,0	2,7	5,10%
	50 °C	63,0	66,0	72,0	70,0	68,0	67,8	68,0	63,0	72,0	3,1	4,61%
	60 °C	116,0	122,0	131,0	128,0	126,0	124,6	126,0	116,0	131,0	5,2	4,17%
	70 °C	163,0	175,0	188,0	182,0	177,0	177,0	177,0	163,0	188,0	8,3	4,70%
	80 °C	227,0	254,0	269,0	262,0	258,0	254,0	258,0	227,0	269,0	14,4	5,66%
	90 °C	348,0	373,0	394,0	387,0	382,0	376,8	382,0	348,0	394,0	15,9	4,23%
ϵ_r [-]	25 °C	2,959	2,932	2,991	2,952	2,964	2,960	2,959	2,932	2,991	0,0191	0,65%
	30 °C	2,937	2,914	2,971	2,934	2,946	2,940	2,937	2,914	2,971	0,0185	0,63%
	40 °C	2,891	2,875	2,927	2,910	2,925	2,906	2,910	2,875	2,927	0,0200	0,69%
	50 °C	2,847	2,853	2,882	2,886	2,892	2,872	2,882	2,847	2,892	0,0183	0,64%
	60 °C	2,799	2,815	2,837	2,840	2,856	2,829	2,837	2,799	2,856	0,0200	0,71%
	70 °C	2,765	2,780	2,795	2,799	2,805	2,789	2,795	2,765	2,805	0,0145	0,52%
	80 °C	2,724	2,739	2,752	2,751	2,759	2,745	2,751	2,724	2,759	0,0123	0,45%
	90 °C	2,685	2,702	2,713	2,726	2,736	2,712	2,713	2,685	2,736	0,0179	0,66%
ρ_v [$10^{10} \Omega \cdot m$]	25 °C	16,751	14,619	12,621	13,420	14,846	14,451	14,619	12,621	16,751	1,406	9,73%
	30 °C	17,600	14,975	14,262	16,286	15,250	15,675	15,250	14,262	17,600	1,162	7,41%
	40 °C	12,328	9,554	11,197	11,553	11,362	11,199	11,362	9,554	12,328	0,909	8,12%
	50 °C	8,267	7,224	7,138	8,521	6,953	7,621	7,224	6,953	8,521	0,643	8,43%
	60 °C	5,225	4,635	4,064	5,161	4,569	4,731	4,635	4,064	5,225	0,426	9,01%
	70 °C	3,813	3,323	3,045	3,176	3,296	3,331	3,296	3,045	3,813	0,261	7,82%
	80 °C	2,252	1,704	2,068	2,188	2,165	2,075	2,165	1,704	2,252	0,195	9,39%
	90 °C	1,667	1,406	1,619	1,622	1,311	1,525	1,619	1,311	1,667	0,140	9,20%
ρ_i [-]	25 °C	1,2000	1,1875	1,2000	1,2059	1,1875	1,1962	1,2000	1,1875	1,2059	0,00740	0,62%
	30 °C	1,1667	1,1667	1,1579	1,1622	1,1471	1,1601	1,1622	1,1471	1,1667	0,00729	0,63%
	40 °C	1,1224	1,1154	1,1404	1,1273	1,1132	1,1237	1,1224	1,1132	1,1404	0,00970	0,86%
	50 °C	1,0952	1,0909	1,1111	1,1143	1,1029	1,1029	1,1029	1,0909	1,1143	0,00894	0,81%
	60 °C	1,0776	1,0902	1,0992	1,0859	1,0794	1,0865	1,0859	1,0776	1,0992	0,00783	0,72%
	70 °C	1,0675	1,0629	1,0745	1,0824	1,0791	1,0733	1,0745	1,0629	1,0824	0,00722	0,67%
	80 °C	1,0661	1,0591	1,0595	1,0611	1,0543	1,0600	1,0595	1,0543	1,0661	0,00380	0,36%
	90 °C	1,0489	1,0509	1,0533	1,0543	1,0524	1,0519	1,0524	1,0489	1,0543	0,00190	0,18%

Tab. 4: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,1 % nanopřířady

Obsah 0,1%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00128	0,00135	0,00135	0,00146	0,00141	0,00137	0,00135	0,00128	0,00146	0,000061	4,45%
	30 °C	0,00136	0,00146	0,00135	0,00124	0,00121	0,00132	0,00135	0,00121	0,00146	0,000090	6,80%
	40 °C	0,00216	0,00184	0,00201	0,00195	0,00199	0,00199	0,00199	0,00184	0,00216	0,000103	5,19%
	50 °C	0,00334	0,00277	0,00306	0,00325	0,00345	0,00317	0,00325	0,00277	0,00345	0,000239	7,53%
	60 °C	0,00431	0,00447	0,00423	0,00462	0,00478	0,00448	0,00447	0,00423	0,00478	0,000201	4,47%
	70 °C	0,00581	0,00596	0,00627	0,00618	0,00654	0,00615	0,00618	0,00581	0,00654	0,000253	4,11%
	80 °C	0,00743	0,00784	0,00950	0,00821	0,00809	0,00821	0,00809	0,00743	0,00950	0,000696	8,48%
	90 °C	0,01140	0,01330	0,01240	0,01360	0,01290	0,01272	0,01290	0,01140	0,01360	0,000773	6,08%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	42,0	36,0	41,0	38,0	41,0	39,6	41,0	36,0	42,0	2,2	5,67%
	30 °C	44,0	35,0	43,0	42,0	42,0	41,2	42,0	35,0	44,0	3,2	7,74%
	40 °C	65,0	55,0	62,0	58,0	67,0	61,4	62,0	55,0	67,0	4,4	7,18%
	50 °C	91,0	80,0	88,0	83,0	94,0	87,2	88,0	80,0	94,0	5,1	5,87%
	60 °C	115,0	103,0	113,0	108,0	123,0	112,4	113,0	103,0	123,0	6,7	6,00%
	70 °C	158,0	132,0	154,0	144,0	160,0	149,6	154,0	132,0	160,0	10,4	6,94%
	80 °C	233,0	210,0	226,0	216,0	235,0	224,0	226,0	210,0	235,0	9,7	4,31%
	90 °C	361,0	329,0	355,0	340,0	369,0	350,8	355,0	329,0	369,0	14,5	4,12%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	33,0	28,0	32,0	30,0	32,0	31,0	32,0	28,0	33,0	1,8	5,77%
	30 °C	36,0	28,0	35,0	34,0	34,0	33,4	34,0	28,0	36,0	2,8	8,38%
	40 °C	55,0	47,0	53,0	50,0	58,0	52,6	53,0	47,0	58,0	3,8	7,27%
	50 °C	79,0	70,0	78,0	73,0	82,0	76,4	78,0	70,0	82,0	4,3	5,65%
	60 °C	103,0	92,0	103,0	97,0	110,0	101,0	103,0	92,0	110,0	6,1	6,04%
	70 °C	144,0	121,0	142,0	132,0	146,0	137,0	142,0	121,0	146,0	9,3	6,82%
	80 °C	217,0	195,0	211,0	202,0	219,0	208,8	211,0	195,0	219,0	9,1	4,35%
	90 °C	338,0	308,0	335,0	321,0	348,0	330,0	335,0	308,0	348,0	14,0	4,24%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,960	2,973	2,975	2,996	2,991	2,979	2,975	2,960	2,996	0,0130	0,44%
	30 °C	2,956	2,946	2,950	2,981	2,964	2,959	2,956	2,946	2,981	0,0124	0,42%
	40 °C	2,897	2,901	2,902	2,931	2,925	2,911	2,902	2,897	2,931	0,0139	0,48%
	50 °C	2,855	2,848	2,856	2,877	2,887	2,865	2,856	2,848	2,887	0,0148	0,52%
	60 °C	2,806	2,818	2,824	2,841	2,864	2,831	2,824	2,806	2,864	0,0202	0,71%
	70 °C	2,779	2,766	2,783	2,802	2,805	2,787	2,783	2,766	2,805	0,0146	0,52%
	80 °C	2,732	2,727	2,723	2,759	2,764	2,741	2,732	2,723	2,764	0,0171	0,62%
	90 °C	2,707	2,712	2,705	2,728	2,713	2,713	2,712	2,705	2,728	0,0081	0,30%
$\rho_v [10^0 \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	14,097	17,801	14,382	17,420	15,947	15,929	15,947	14,097	17,801	1,515	9,51%
	30 °C	14,525	18,225	15,242	18,053	16,648	16,539	16,648	14,525	18,225	1,475	8,92%
	40 °C	10,602	13,094	11,577	12,868	10,762	11,781	11,577	10,602	13,094	1,037	8,80%
	50 °C	7,284	8,744	7,044	8,335	8,335	7,948	8,335	7,044	8,744	0,662	8,33%
	60 °C	4,821	5,962	4,767	5,328	5,380	5,252	5,328	4,767	5,962	0,435	8,29%
	70 °C	3,616	3,794	3,303	4,295	3,614	3,724	3,616	3,303	4,295	0,326	8,76%
	80 °C	2,540	2,411	2,090	2,765	2,445	2,450	2,445	2,090	2,765	0,218	8,91%
	90 °C	2,004	2,104	1,662	1,978	1,968	1,943	1,978	1,662	2,104	0,149	7,65%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,2727	1,2857	1,2813	1,2667	1,2813	1,2775	1,2813	1,2667	1,2857	0,00687	0,54%
	30 °C	1,2222	1,2500	1,2286	1,2353	1,2353	1,2343	1,2353	1,2222	1,2500	0,00924	0,75%
	40 °C	1,1818	1,1702	1,1698	1,1600	1,1552	1,1674	1,1698	1,1552	1,1818	0,00923	0,79%
	50 °C	1,1519	1,1429	1,1282	1,1370	1,1463	1,1413	1,1429	1,1282	1,1519	0,00813	0,71%
	60 °C	1,1165	1,1196	1,0971	1,1134	1,1182	1,1129	1,1165	1,0971	1,1196	0,00819	0,74%
	70 °C	1,0972	1,0909	1,0845	1,0909	1,0959	1,0919	1,0909	1,0845	1,0972	0,00449	0,41%
	80 °C	1,0737	1,0769	1,0711	1,0693	1,0731	1,0728	1,0731	1,0693	1,0769	0,00257	0,24%
	90 °C	1,0680	1,0682	1,0597	1,0592	1,0603	1,0631	1,0603	1,0592	1,0682	0,00412	0,39%

Tab. 5: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,15 % nanopřířady

Obsah 0,15%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00126	0,00137	0,00123	0,00112	0,00120	0,00124	0,00123	0,00112	0,00137	0,000082	6,60%
	30 °C	0,00129	0,00135	0,00125	0,00125	0,00114	0,00126	0,00125	0,00114	0,00135	0,000069	5,46%
	40 °C	0,00158	0,00185	0,00169	0,00199	0,00182	0,00179	0,00182	0,00158	0,00199	0,000140	7,86%
	50 °C	0,00252	0,00293	0,00265	0,00312	0,00289	0,00282	0,00289	0,00252	0,00312	0,000213	7,53%
	60 °C	0,00372	0,00450	0,00399	0,00468	0,00442	0,00426	0,00442	0,00372	0,00468	0,000353	8,29%
	70 °C	0,00509	0,00611	0,00534	0,00635	0,00589	0,00576	0,00589	0,00509	0,00635	0,000472	8,20%
	80 °C	0,00641	0,00789	0,00807	0,00853	0,00761	0,00770	0,00789	0,00641	0,00853	0,000712	9,24%
	90 °C	0,01030	0,01150	0,01280	0,01190	0,01140	0,01158	0,01150	0,01030	0,01280	0,000808	6,98%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	31,0	34,0	35,0	29,0	31,0	32,0	31,0	29,0	35,0	2,2	6,85%
	30 °C	35,0	36,0	37,0	28,0	32,0	33,6	35,0	28,0	37,0	3,3	9,71%
	40 °C	52,0	56,0	59,0	49,0	53,0	53,8	53,0	49,0	59,0	3,4	6,37%
	50 °C	64,0	70,0	73,0	61,0	67,0	67,0	67,0	61,0	73,0	4,2	6,33%
	60 °C	98,0	103,0	105,0	93,0	101,0	100,0	101,0	93,0	105,0	4,2	4,20%
	70 °C	130,0	141,0	144,0	118,0	134,0	133,4	134,0	118,0	144,0	9,2	6,86%
	80 °C	197,0	208,0	215,0	191,0	202,0	202,6	202,0	191,0	215,0	8,4	4,12%
	90 °C	317,0	329,0	342,0	302,0	322,0	322,4	322,0	302,0	342,0	13,2	4,10%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	23,0	25,0	26,0	21,0	23,0	23,6	23,0	21,0	26,0	1,7	7,39%
	30 °C	27,0	28,0	29,0	22,0	25,0	26,2	27,0	22,0	29,0	2,5	9,47%
	40 °C	44,0	47,0	50,0	42,0	45,0	45,6	45,0	42,0	50,0	2,7	5,98%
	50 °C	55,0	61,0	62,0	53,0	58,0	57,8	58,0	53,0	62,0	3,4	5,93%
	60 °C	85,0	92,0	93,0	81,0	90,0	88,2	90,0	81,0	93,0	4,5	5,14%
	70 °C	115,0	128,0	130,0	105,0	121,0	119,8	121,0	105,0	130,0	9,1	7,60%
	80 °C	179,0	191,0	197,0	175,0	185,0	185,4	185,0	175,0	197,0	7,9	4,28%
	90 °C	290,0	307,0	314,0	280,0	301,0	298,4	301,0	280,0	314,0	12,1	4,06%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,972	2,989	3,001	2,985	2,987	2,987	2,987	2,972	3,001	0,0093	0,31%
	30 °C	2,949	2,968	2,981	2,963	2,966	2,965	2,966	2,949	2,981	0,0102	0,35%
	40 °C	2,905	2,924	2,936	2,921	2,923	2,922	2,923	2,905	2,936	0,0099	0,34%
	50 °C	2,861	2,879	2,893	2,875	2,879	2,877	2,879	2,861	2,893	0,0102	0,36%
	60 °C	2,818	2,836	2,850	2,833	2,835	2,834	2,835	2,818	2,850	0,0102	0,36%
	70 °C	2,777	2,794	2,809	2,792	2,793	2,793	2,793	2,777	2,809	0,0101	0,36%
	80 °C	2,739	2,751	2,766	2,749	2,752	2,751	2,751	2,739	2,766	0,0086	0,31%
	90 °C	2,705	2,712	2,727	2,711	2,715	2,714	2,712	2,705	2,727	0,0073	0,27%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	18,753	17,754	15,259	19,120	17,684	17,714	17,754	15,259	19,120	1,348	7,61%
	30 °C	20,106	17,896	15,688	17,234	15,779	17,341	17,234	15,688	20,106	1,621	9,35%
	40 °C	14,443	12,121	10,796	13,076	12,157	12,519	12,157	10,796	14,443	1,206	9,63%
	50 °C	9,766	7,629	7,580	8,925	8,246	8,429	8,246	7,580	9,766	0,828	9,82%
	60 °C	6,743	5,383	5,227	5,878	5,541	5,754	5,541	5,227	6,743	0,539	9,37%
	70 °C	4,676	4,015	3,623	4,354	4,028	4,139	4,028	3,623	4,676	0,355	8,57%
	80 °C	3,485	2,910	2,618	3,059	2,879	2,990	2,910	2,618	3,485	0,285	9,54%
	90 °C	2,815	2,339	2,219	2,378	2,345	2,419	2,345	2,219	2,815	0,205	8,48%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,3478	1,3600	1,3462	1,3810	1,3478	1,3566	1,3478	1,3462	1,3810	0,01317	0,97%
	30 °C	1,2963	1,2857	1,2759	1,2727	1,2800	1,2821	1,2800	1,2727	1,2963	0,00832	0,65%
	40 °C	1,1818	1,1915	1,1800	1,1667	1,1778	1,1796	1,1800	1,1667	1,1915	0,00796	0,68%
	50 °C	1,1636	1,1475	1,1774	1,1509	1,1552	1,1589	1,1552	1,1475	1,1774	0,01069	0,92%
	60 °C	1,1529	1,1196	1,1290	1,1481	1,1222	1,1344	1,1290	1,1196	1,1529	0,01364	1,20%
	70 °C	1,1304	1,1016	1,1077	1,1238	1,1074	1,1142	1,1077	1,1016	1,1304	0,01099	0,99%
	80 °C	1,1006	1,0890	1,0914	1,0914	1,0919	1,0929	1,0914	1,0890	1,1006	0,00398	0,36%
	90 °C	1,0931	1,0717	1,0892	1,0786	1,0698	1,0805	1,0786	1,0698	1,0931	0,00929	0,86%

Tab. 6: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,2 % nanopřířady

Obsah 0,2%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00091	0,00090	0,00098	0,00098	0,00104	0,00096	0,00098	0,00090	0,00104	0,000052	5,36%
	30 °C	0,00108	0,00096	0,00085	0,00091	0,00103	0,00097	0,00096	0,00085	0,00108	0,000082	8,50%
	40 °C	0,00174	0,00156	0,00187	0,00155	0,00167	0,00168	0,00167	0,00155	0,00187	0,000119	7,11%
	50 °C	0,00236	0,00246	0,00278	0,00244	0,00256	0,00252	0,00246	0,00236	0,00278	0,000145	5,75%
	60 °C	0,00328	0,00335	0,00367	0,00379	0,00374	0,00357	0,00367	0,00328	0,00379	0,000210	5,88%
	70 °C	0,00491	0,00523	0,00557	0,00542	0,00543	0,00531	0,00542	0,00491	0,00557	0,000228	4,30%
	80 °C	0,00696	0,00785	0,00762	0,00679	0,00663	0,00717	0,00696	0,00663	0,00785	0,000479	6,67%
	90 °C	0,00994	0,01170	0,01190	0,01020	0,01010	0,01077	0,01020	0,00994	0,01190	0,000849	7,88%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	27,0	32,0	33,0	31,0	29,0	30,4	31,0	27,0	33,0	2,2	7,09%
	30 °C	27,0	34,0	35,0	32,0	33,0	32,2	33,0	27,0	35,0	2,8	8,65%
	40 °C	47,0	54,0	59,0	55,0	50,0	53,0	54,0	47,0	59,0	4,1	7,83%
	50 °C	56,0	65,0	68,0	73,0	59,0	64,2	65,0	56,0	73,0	6,1	9,52%
	60 °C	88,0	98,0	100,0	103,0	93,0	96,4	98,0	88,0	103,0	5,3	5,51%
	70 °C	108,0	131,0	134,0	124,0	120,0	123,4	124,0	108,0	134,0	9,2	7,42%
	80 °C	182,0	198,0	205,0	203,0	188,0	195,2	198,0	182,0	205,0	8,8	4,53%
	90 °C	299,0	321,0	335,0	327,0	306,0	317,6	321,0	299,0	335,0	13,3	4,18%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	19,0	23,0	24,0	23,0	21,0	22,0	23,0	19,0	24,0	1,8	8,13%
	30 °C	21,0	26,0	27,0	25,0	25,0	24,8	25,0	21,0	27,0	2,0	8,22%
	40 °C	40,0	45,0	49,0	45,0	42,0	44,2	45,0	40,0	49,0	3,1	6,92%
	50 °C	48,0	56,0	57,0	62,0	50,0	54,6	56,0	48,0	62,0	5,0	9,24%
	60 °C	76,0	87,0	88,0	92,0	80,0	84,6	87,0	76,0	92,0	5,8	6,84%
	70 °C	95,0	118,0	120,0	112,0	105,0	110,0	112,0	95,0	120,0	9,1	8,31%
	80 °C	164,0	180,0	186,0	185,0	169,0	176,8	180,0	164,0	186,0	8,8	4,97%
	90 °C	272,0	297,0	310,0	303,0	280,0	292,4	297,0	272,0	310,0	14,2	4,87%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,030	2,970	2,980	2,994	3,010	2,997	2,994	2,970	3,030	0,0214	0,71%
	30 °C	3,010	2,951	2,959	2,972	2,996	2,978	2,972	2,951	3,010	0,0222	0,75%
	40 °C	2,972	2,909	2,925	2,936	2,955	2,939	2,936	2,909	2,972	0,0221	0,75%
	50 °C	2,929	2,869	2,880	2,884	2,901	2,893	2,884	2,869	2,929	0,0209	0,72%
	60 °C	2,888	2,841	2,837	2,841	2,864	2,854	2,841	2,837	2,888	0,0194	0,68%
	70 °C	2,847	2,797	2,795	2,803	2,817	2,812	2,803	2,795	2,847	0,0192	0,68%
	80 °C	2,785	2,758	2,752	2,767	2,781	2,769	2,767	2,752	2,785	0,0128	0,46%
	90 °C	2,749	2,717	2,711	2,718	2,725	2,724	2,718	2,711	2,749	0,0133	0,49%
$\rho_v [10^0 \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	22,459	18,263	17,319	18,423	20,923	19,477	18,423	17,319	22,459	1,909	9,80%
	30 °C	22,454	18,550	18,107	18,726	20,282	19,624	18,726	18,107	22,454	1,594	8,12%
	40 °C	15,100	13,042	12,400	13,464	14,071	13,615	13,464	12,400	15,100	0,921	6,76%
	50 °C	10,197	8,689	8,019	9,229	9,371	9,101	9,229	8,019	10,197	0,725	7,97%
	60 °C	7,496	5,964	5,772	6,078	6,627	6,387	6,078	5,772	7,496	0,623	9,75%
	70 °C	5,147	4,173	3,959	4,150	4,687	4,423	4,173	3,959	5,147	0,435	9,83%
	80 °C	3,794	3,310	2,832	3,326	3,672	3,387	3,326	2,832	3,794	0,336	9,92%
	90 °C	2,945	2,468	2,347	2,498	2,648	2,581	2,498	2,347	2,945	0,206	7,97%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,4211	1,3913	1,3750	1,3478	1,3810	1,3832	1,3810	1,3478	1,4211	0,02376	1,72%
	30 °C	1,2857	1,3077	1,2963	1,2800	1,3200	1,2979	1,2963	1,2800	1,3200	0,01453	1,12%
	40 °C	1,1750	1,2000	1,2041	1,2222	1,1905	1,1984	1,2000	1,1750	1,2222	0,01557	1,30%
	50 °C	1,1667	1,1607	1,1930	1,1774	1,1800	1,1756	1,1774	1,1607	1,1930	0,01119	0,95%
	60 °C	1,1579	1,1264	1,1364	1,1196	1,1625	1,1406	1,1364	1,1196	1,1625	0,01697	1,49%
	70 °C	1,1368	1,1102	1,1167	1,1071	1,1429	1,1227	1,1167	1,1071	1,1429	0,01443	1,29%
	80 °C	1,1098	1,1000	1,1022	1,0973	1,1124	1,1043	1,1022	1,0973	1,1124	0,00580	0,52%
	90 °C	1,0993	1,0808	1,0806	1,0792	1,0929	1,0866	1,0808	1,0792	1,0993	0,00804	0,74%

Tab. 7: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,25 % nanopřířady

Obsah 0,25%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\operatorname{tg} \delta [-]$	25 °C	0,00091	0,00085	0,00078	0,00079	0,00083	0,00083	0,00078	0,00091	0,000047	5,61%	
	30 °C	0,00098	0,00093	0,00081	0,00088	0,00079	0,00088	0,00079	0,00098	0,000071	8,13%	
	40 °C	0,00157	0,00142	0,00134	0,00135	0,00138	0,00141	0,00138	0,00157	0,000084	5,93%	
	50 °C	0,00205	0,00208	0,00195	0,00236	0,00224	0,00214	0,00208	0,00195	0,000236	6,82%	
	60 °C	0,00331	0,00348	0,00303	0,00325	0,00333	0,00328	0,00331	0,00303	0,00348	0,000146	4,46%
	70 °C	0,00503	0,00514	0,00481	0,00528	0,00546	0,00514	0,00514	0,00481	0,00546	0,000220	4,28%
	80 °C	0,00633	0,00659	0,00678	0,00718	0,00768	0,00691	0,00678	0,00633	0,00768	0,000474	6,85%
	90 °C	0,00926	0,01020	0,01030	0,01050	0,01090	0,01023	0,01030	0,00926	0,01090	0,000542	5,30%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	28,0	24,0	25,0	23,0	29,0	25,8	25,0	23,0	29,0	2,32	8,97%
	30 °C	30,0	25,0	29,0	24,0	30,0	27,6	29,0	24,0	30,0	2,58	9,34%
	40 °C	48,0	43,0	44,0	41,0	53,0	45,8	44,0	41,0	53,0	4,26	9,30%
	50 °C	59,0	54,0	53,0	50,0	62,0	55,6	54,0	50,0	62,0	4,32	7,77%
	60 °C	89,0	83,0	84,0	79,0	91,0	85,2	84,0	79,0	91,0	4,31	5,06%
	70 °C	122,0	111,0	111,0	99,0	125,0	113,6	111,0	99,0	125,0	9,24	8,14%
	80 °C	182,0	170,0	172,0	166,0	189,0	175,8	172,0	166,0	189,0	8,45	4,81%
	90 °C	302,0	296,0	289,0	278,0	315,0	296,0	296,0	278,0	315,0	12,41	4,19%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	19,0	16,0	17,0	15,0	19,0	17,2	17,0	15,0	19,0	1,60	9,30%
	30 °C	22,0	18,0	21,0	18,0	22,0	20,2	21,0	18,0	22,0	1,83	9,07%
	40 °C	39,0	35,0	36,0	34,0	42,0	37,2	36,0	34,0	42,0	2,93	7,86%
	50 °C	50,0	45,0	44,0	42,0	51,0	46,4	45,0	42,0	51,0	3,50	7,54%
	60 °C	78,0	72,0	71,0	67,0	79,0	73,4	72,0	67,0	79,0	4,50	6,13%
	70 °C	109,0	98,0	96,0	86,0	111,0	100,0	98,0	86,0	111,0	9,14	9,14%
	80 °C	165,0	152,0	153,0	147,0	170,0	157,4	153,0	147,0	170,0	8,64	5,49%
	90 °C	280,0	270,0	264,0	253,0	284,0	270,2	270,0	253,0	284,0	11,14	4,12%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,987	2,993	3,010	3,025	2,990	3,001	2,993	2,987	3,025	0,0144	0,48%
	30 °C	2,968	2,978	2,993	3,007	2,971	2,983	2,978	2,968	3,007	0,0146	0,49%
	40 °C	2,926	2,938	2,948	2,967	2,926	2,941	2,938	2,926	2,967	0,0154	0,52%
	50 °C	2,882	2,896	2,906	2,926	2,879	2,898	2,896	2,879	2,926	0,0171	0,59%
	60 °C	2,845	2,856	2,863	2,882	2,831	2,855	2,856	2,831	2,882	0,0171	0,60%
	70 °C	2,803	2,816	2,821	2,845	2,790	2,815	2,816	2,790	2,845	0,0185	0,66%
	80 °C	2,761	2,777	2,775	2,806	2,749	2,774	2,775	2,749	2,806	0,0191	0,69%
	90 °C	2,720	2,735	2,742	2,738	2,709	2,729	2,735	2,709	2,742	0,0124	0,45%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	21,534	26,019	25,876	26,088	21,605	24,224	25,876	21,534	26,088	2,169	8,95%
	30 °C	23,744	25,938	25,656	23,813	20,464	23,923	23,813	20,464	25,938	1,953	8,16%
	40 °C	15,468	16,817	15,534	12,901	13,548	14,854	15,468	12,901	16,817	1,429	9,62%
	50 °C	10,548	11,984	11,690	9,397	9,556	10,635	10,548	9,397	11,984	1,062	9,98%
	60 °C	7,082	7,835	7,342	6,090	6,148	6,899	7,082	6,090	7,835	0,682	9,88%
	70 °C	4,987	5,642	5,018	4,257	4,958	4,972	4,987	4,257	5,642	0,439	8,82%
	80 °C	3,297	4,018	3,521	3,316	3,067	3,444	3,316	3,067	4,018	0,321	9,32%
	90 °C	2,957	3,428	2,794	2,682	2,847	2,942	2,847	2,682	3,428	0,259	8,80%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,4737	1,5000	1,4706	1,5333	1,5263	1,5008	1,5000	1,4706	1,5333	0,02592	1,73%
	30 °C	1,3636	1,3889	1,3810	1,3333	1,3636	1,3661	1,3636	1,3333	1,3889	0,01911	1,40%
	40 °C	1,2308	1,2286	1,2222	1,2059	1,2619	1,2299	1,2286	1,2059	1,2619	0,01824	1,48%
	50 °C	1,1800	1,2000	1,2045	1,1905	1,2157	1,1981	1,2000	1,1800	1,2157	0,01217	1,02%
	60 °C	1,1410	1,1528	1,1831	1,1791	1,1519	1,1616	1,1528	1,1410	1,1831	0,01652	1,42%
	70 °C	1,1193	1,1327	1,1563	1,1512	1,1261	1,1371	1,1327	1,1193	1,1563	0,01430	1,26%
	80 °C	1,1030	1,1184	1,1242	1,1293	1,1118	1,1173	1,1184	1,1030	1,1293	0,00923	0,83%
	90 °C	1,0786	1,0963	1,0947	1,0988	1,1092	1,0955	1,0963	1,0786	1,1092	0,00985	0,90%

Tab. 8: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,3 % nanopřířady

Obsah 0,3%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00081	0,00075	0,00068	0,00069	0,00073	0,00073	0,00073	0,00068	0,00081	0,000047	6,37%
	30 °C	0,00088	0,00083	0,00071	0,00078	0,00069	0,00078	0,00078	0,00069	0,00088	0,000071	9,18%
	40 °C	0,00147	0,00132	0,00124	0,00125	0,00128	0,00131	0,00128	0,00124	0,00147	0,000084	6,38%
	50 °C	0,00195	0,00198	0,00185	0,00226	0,00214	0,00204	0,00198	0,00185	0,00226	0,000146	7,16%
	60 °C	0,00321	0,00338	0,00293	0,00315	0,00323	0,00318	0,00321	0,00293	0,00338	0,000146	4,60%
	70 °C	0,00503	0,00534	0,00471	0,00498	0,00516	0,00504	0,00503	0,00471	0,00534	0,000208	4,13%
	80 °C	0,00623	0,00649	0,00668	0,00708	0,00758	0,00681	0,00668	0,00623	0,00758	0,000474	6,95%
	90 °C	0,00915	0,01030	0,01010	0,01040	0,01080	0,01015	0,01030	0,00915	0,01080	0,000550	5,41%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	21,0	20,0	21,0	24,0	25,0	22,2	21,0	20,0	25,0	1,94	8,73%
	30 °C	23,0	21,0	22,0	25,0	27,0	23,6	23,0	21,0	27,0	2,15	9,13%
	40 °C	35,0	33,0	36,0	39,0	43,0	37,2	36,0	33,0	43,0	3,49	9,37%
	50 °C	44,0	41,0	47,0	50,0	53,0	47,0	47,0	41,0	53,0	4,24	9,03%
	60 °C	69,0	64,0	72,0	74,0	76,0	71,0	72,0	64,0	76,0	4,20	5,91%
	70 °C	96,0	85,0	100,0	107,0	110,0	99,6	100,0	85,0	110,0	8,82	8,86%
	80 °C	146,0	140,0	150,0	156,0	163,0	151,0	150,0	140,0	163,0	7,95	5,26%
	90 °C	264,0	257,0	274,0	279,0	296,0	274,0	274,0	257,0	296,0	13,40	4,89%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	13,0	12,0	13,0	15,0	15,0	13,6	13,0	12,0	15,0	1,20	8,82%
	30 °C	15,0	14,0	15,0	16,0	18,0	15,6	15,0	14,0	18,0	1,36	8,70%
	40 °C	27,0	26,0	28,0	29,0	32,0	28,4	28,0	26,0	32,0	2,06	7,25%
	50 °C	35,0	33,0	38,0	41,0	42,0	37,8	38,0	33,0	42,0	3,43	9,07%
	60 °C	56,0	52,0	61,0	63,0	64,0	59,2	61,0	52,0	64,0	4,53	7,66%
	70 °C	81,0	73,0	87,0	94,0	96,0	86,2	87,0	73,0	96,0	8,47	9,83%
	80 °C	126,0	121,0	132,0	138,0	144,0	132,2	132,0	121,0	144,0	8,21	6,21%
	90 °C	234,0	226,0	246,0	251,0	264,0	244,2	246,0	226,0	264,0	13,24	5,42%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,965	3,005	3,018	3,021	3,008	3,003	3,008	2,965	3,021	0,0201	0,67%
	30 °C	2,947	2,985	2,998	3,001	2,988	2,984	2,988	2,947	3,001	0,0193	0,65%
	40 °C	2,896	2,942	2,953	2,955	2,944	2,938	2,944	2,896	2,955	0,0216	0,73%
	50 °C	2,854	2,899	2,910	2,912	2,902	2,895	2,902	2,854	2,912	0,0213	0,73%
	60 °C	2,805	2,857	2,868	2,872	2,858	2,852	2,858	2,805	2,872	0,0242	0,85%
	70 °C	2,765	2,817	2,826	2,828	2,819	2,811	2,819	2,765	2,828	0,0234	0,83%
	80 °C	2,722	2,777	2,784	2,785	2,778	2,769	2,778	2,722	2,785	0,0238	0,86%
	90 °C	2,684	2,737	2,736	2,737	2,741	2,727	2,737	2,684	2,741	0,0216	0,79%
$\rho_v [10^{10} \Omega \text{m}]$	25 °C	26,954	27,694	25,262	24,864	22,472	25,449	25,262	22,472	27,694	1,819	7,15%
	30 °C	25,805	27,123	24,908	23,342	21,568	24,549	24,908	21,568	27,123	1,933	7,87%
	40 °C	16,320	17,915	15,057	14,898	13,932	15,624	15,057	13,932	17,915	1,374	8,80%
	50 °C	11,985	13,083	10,733	10,523	10,278	11,320	10,733	10,278	13,083	1,060	9,36%
	60 °C	8,068	8,253	7,479	6,948	6,672	7,484	7,479	6,672	8,253	0,613	8,19%
	70 °C	5,529	5,715	5,146	4,711	4,515	5,123	5,146	4,515	5,715	0,459	8,97%
	80 °C	3,898	4,088	3,589	3,364	3,098	3,607	3,589	3,098	4,088	0,356	9,87%
	90 °C	3,221	3,375	3,019	2,851	2,646	3,022	3,019	2,646	3,375	0,259	8,56%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,6154	1,6667	1,6154	1,6000	1,6667	1,6328	1,6154	1,6000	1,6667	0,02820	1,73%
	30 °C	1,5333	1,5000	1,4667	1,5625	1,5000	1,5125	1,5000	1,4667	1,5625	0,03270	2,16%
	40 °C	1,2963	1,2692	1,2857	1,3448	1,3438	1,3080	1,2963	1,2692	1,3448	0,03089	2,36%
	50 °C	1,2571	1,2424	1,2368	1,2195	1,2619	1,2436	1,2424	1,2195	1,2619	0,01514	1,22%
	60 °C	1,2321	1,2308	1,1803	1,1746	1,1875	1,2011	1,1875	1,1746	1,2321	0,02515	2,09%
	70 °C	1,1852	1,1644	1,1494	1,1383	1,1458	1,1566	1,1494	1,1383	1,1852	0,01661	1,44%
	80 °C	1,1587	1,1570	1,1364	1,1304	1,1319	1,1429	1,1364	1,1304	1,1587	0,01240	1,08%
	90 °C	1,1282	1,1372	1,1138	1,1116	1,1212	1,1224	1,1212	1,1116	1,1372	0,00943	0,84%

Tab. 9: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,35 % nanopřířady

Obsah 0,35%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00099	0,00098	0,00106	0,00106	0,00112	0,00104	0,00106	0,00098	0,00112	0,000052	4,95%
	30 °C	0,00116	0,00104	0,00093	0,00099	0,00111	0,00105	0,00104	0,00093	0,00116	0,000082	7,85%
	40 °C	0,00162	0,00144	0,00175	0,00143	0,00155	0,00156	0,00155	0,00143	0,00175	0,000119	7,65%
	50 °C	0,00244	0,00274	0,00286	0,00282	0,00284	0,00274	0,00282	0,00244	0,00286	0,000155	5,67%
	60 °C	0,00376	0,00383	0,00415	0,00427	0,00422	0,00405	0,00415	0,00376	0,00427	0,000210	5,18%
	70 °C	0,00549	0,00641	0,00605	0,00620	0,00626	0,00608	0,00620	0,00549	0,00641	0,000318	5,22%
	80 °C	0,00784	0,00873	0,00850	0,00767	0,00751	0,00805	0,00784	0,00751	0,00873	0,000479	5,94%
	90 °C	0,01130	0,01310	0,01320	0,01160	0,01140	0,01212	0,01160	0,01130	0,01320	0,000847	6,99%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	24,0	24,0	22,0	27,0	28,0	25,0	24,0	22,0	28,0	2,19	8,76%
	30 °C	26,0	25,0	24,0	29,0	30,0	26,8	26,0	24,0	30,0	2,32	8,64%
	40 °C	41,0	42,0	39,0	45,0	49,0	43,2	42,0	39,0	49,0	3,49	8,07%
	50 °C	50,0	53,0	47,0	56,0	59,0	53,0	53,0	47,0	59,0	4,24	8,00%
	60 °C	81,0	84,0	76,0	86,0	88,0	83,0	84,0	76,0	88,0	4,20	5,05%
	70 °C	108,0	112,0	97,0	119,0	122,0	111,6	112,0	97,0	122,0	8,82	7,91%
	80 °C	162,0	166,0	156,0	172,0	179,0	167,0	166,0	156,0	179,0	7,95	4,76%
	90 °C	280,0	290,0	272,0	298,0	304,0	288,8	290,0	272,0	304,0	11,63	4,03%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	16,0	16,0	14,0	17,0	18,0	16,2	16,0	14,0	18,0	1,33	8,19%
	30 °C	18,0	17,0	17,0	20,0	21,0	18,6	18,0	17,0	21,0	1,62	8,74%
	40 °C	33,0	34,0	32,0	35,0	38,0	34,4	34,0	32,0	38,0	2,06	5,99%
	50 °C	41,0	44,0	39,0	47,0	48,0	43,8	44,0	39,0	48,0	3,43	7,83%
	60 °C	68,0	73,0	64,0	75,0	76,0	71,2	73,0	64,0	76,0	4,53	6,37%
	70 °C	93,0	99,0	85,0	106,0	108,0	98,2	99,0	85,0	108,0	8,47	8,63%
	80 °C	142,0	148,0	137,0	154,0	160,0	148,2	148,0	137,0	160,0	8,21	5,54%
	90 °C	250,0	262,0	242,0	267,0	276,0	259,4	262,0	242,0	276,0	12,09	4,66%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,988	3,025	3,042	2,991	2,989	3,007	2,991	2,988	3,042	0,0223	0,74%
	30 °C	2,968	3,002	3,024	2,969	2,968	2,986	2,969	2,968	3,024	0,0229	0,77%
	40 °C	2,920	2,967	2,971	2,922	2,919	2,940	2,922	2,919	2,971	0,0239	0,81%
	50 °C	2,881	2,932	2,936	2,883	2,880	2,902	2,883	2,880	2,936	0,0259	0,89%
	60 °C	2,838	2,888	2,887	2,841	2,832	2,857	2,841	2,832	2,888	0,0249	0,87%
	70 °C	2,796	2,843	2,847	2,799	2,794	2,816	2,799	2,794	2,847	0,0239	0,85%
	80 °C	2,749	2,798	2,804	2,751	2,745	2,769	2,751	2,745	2,804	0,0259	0,94%
	90 °C	2,704	2,755	2,762	2,707	2,701	2,726	2,707	2,701	2,762	0,0269	0,99%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	24,100	23,120	26,102	22,548	20,981	23,370	23,120	20,981	26,102	1,700	7,27%
	30 °C	24,953	20,767	25,802	22,477	20,566	22,913	22,477	20,566	25,802	2,136	9,32%
	40 °C	15,607	14,342	16,792	13,964	13,480	14,837	14,342	13,480	16,792	1,205	8,12%
	50 °C	11,058	9,869	11,487	9,378	8,854	10,129	9,869	8,854	11,487	0,996	9,84%
	60 °C	7,609	7,250	7,939	6,837	6,612	7,249	7,250	6,612	7,939	0,486	6,70%
	70 °C	5,258	5,016	5,418	4,614	4,339	4,929	5,016	4,339	5,418	0,401	8,13%
	80 °C	3,640	3,415	4,046	3,310	3,074	3,497	3,415	3,074	4,046	0,329	9,42%
	90 °C	2,941	2,872	3,050	2,637	2,342	2,768	2,872	2,342	3,050	0,253	9,12%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,5000	1,5000	1,5714	1,5882	1,5556	1,5430	1,5556	1,5000	1,5882	0,03663	2,37%
	30 °C	1,4444	1,4706	1,4118	1,4500	1,4286	1,4411	1,4444	1,4118	1,4706	0,01989	1,38%
	40 °C	1,2424	1,2353	1,2188	1,2857	1,2895	1,2543	1,2424	1,2188	1,2895	0,02825	2,25%
	50 °C	1,2195	1,2045	1,2051	1,1915	1,2292	1,2100	1,2051	1,1915	1,2292	0,01307	1,08%
	60 °C	1,1912	1,1507	1,1875	1,1467	1,1579	1,1668	1,1579	1,1467	1,1912	0,01880	1,61%
	70 °C	1,1613	1,1313	1,1412	1,1226	1,1296	1,1372	1,1313	1,1226	1,1613	0,01342	1,18%
	80 °C	1,1408	1,1216	1,1387	1,1169	1,1188	1,1274	1,1216	1,1169	1,1408	0,01027	0,91%
	90 °C	1,1200	1,1069	1,1240	1,1161	1,1014	1,1137	1,1161	1,1014	1,1240	0,00834	0,75%

Tab. 10: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,4 % nanopřířady

Obsah 0,4%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00127	0,00150	0,00161	0,00142	0,00135	0,00143	0,00142	0,00127	0,00161	0,000118	8,24%
	30 °C	0,00123	0,00140	0,00157	0,00149	0,00141	0,00142	0,00141	0,00123	0,00157	0,000113	7,97%
	40 °C	0,00203	0,00244	0,00265	0,00228	0,00211	0,00230	0,00228	0,00203	0,00265	0,000224	9,74%
	50 °C	0,00336	0,00375	0,00413	0,00354	0,00341	0,00364	0,00354	0,00336	0,00413	0,000281	7,71%
	60 °C	0,00468	0,00565	0,00622	0,00541	0,00497	0,00539	0,00541	0,00468	0,00622	0,000536	9,95%
	70 °C	0,00727	0,00816	0,00805	0,00795	0,00754	0,00779	0,00795	0,00727	0,00816	0,000336	4,31%
	80 °C	0,00901	0,01020	0,01070	0,00948	0,00921	0,00972	0,00948	0,00901	0,01070	0,000634	6,53%
	90 °C	0,01260	0,01420	0,01450	0,01390	0,01240	0,01352	0,01390	0,01240	0,01450	0,000857	6,34%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	26,0	26,0	29,0	24,0	30,0	27,0	26,0	24,0	30,0	2,19	8,11%
	30 °C	27,0	28,0	31,0	26,0	32,0	28,8	28,0	26,0	32,0	2,32	8,04%
	40 °C	47,0	46,0	50,0	44,0	54,0	48,2	47,0	44,0	54,0	3,49	7,23%
	50 °C	57,0	54,0	61,0	52,0	64,0	57,6	57,0	52,0	64,0	4,41	7,65%
	60 °C	93,0	90,0	95,0	85,0	97,0	92,0	93,0	85,0	97,0	4,20	4,56%
	70 °C	121,0	117,0	128,0	106,0	131,0	120,6	121,0	106,0	131,0	8,82	7,32%
	80 °C	179,0	175,0	185,0	169,0	192,0	180,0	179,0	169,0	192,0	7,95	4,42%
	90 °C	303,0	291,0	312,0	286,0	318,0	302,0	303,0	286,0	318,0	12,12	4,01%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	18,0	18,0	20,0	17,0	20,0	18,6	18,0	17,0	20,0	1,20	6,45%
	30 °C	20,0	21,0	22,0	19,0	23,0	21,0	21,0	19,0	23,0	1,41	6,73%
	40 °C	39,0	38,0	40,0	37,0	43,0	39,4	39,0	37,0	43,0	2,06	5,23%
	50 °C	49,0	46,0	52,0	44,0	54,0	49,0	49,0	44,0	54,0	3,69	7,53%
	60 °C	82,0	77,0	84,0	73,0	85,0	80,2	82,0	73,0	85,0	4,53	5,65%
	70 °C	108,0	102,0	115,0	94,0	117,0	107,2	108,0	94,0	117,0	8,47	7,90%
	80 °C	161,0	158,0	167,0	152,0	173,0	162,2	161,0	152,0	173,0	7,25	4,47%
	90 °C	275,0	265,0	282,0	260,0	291,0	274,6	275,0	260,0	291,0	11,22	4,09%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,001	3,011	3,021	3,012	3,025	3,014	3,012	3,001	3,025	0,0084	0,28%
	30 °C	2,974	2,992	2,999	2,993	3,002	2,992	2,993	2,974	3,002	0,0097	0,33%
	40 °C	2,927	2,948	2,953	2,950	2,957	2,947	2,950	2,927	2,957	0,0104	0,35%
	50 °C	2,883	2,904	2,910	2,906	2,913	2,903	2,906	2,883	2,913	0,0106	0,36%
	60 °C	2,844	2,861	2,866	2,864	2,868	2,861	2,864	2,844	2,868	0,0086	0,30%
	70 °C	2,801	2,816	2,824	2,819	2,826	2,817	2,819	2,801	2,826	0,0088	0,31%
	80 °C	2,761	2,777	2,781	2,779	2,784	2,776	2,779	2,761	2,784	0,0080	0,29%
	90 °C	2,723	2,734	2,738	2,735	2,741	2,734	2,735	2,723	2,741	0,0061	0,22%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	22,107	23,690	21,476	24,358	20,016	22,329	22,107	20,016	24,358	1,555	6,97%
	30 °C	21,476	23,561	21,850	23,414	19,674	21,995	21,850	19,674	23,561	1,424	6,48%
	40 °C	14,501	15,305	13,729	15,838	13,275	14,530	14,501	13,275	15,838	0,952	6,55%
	50 °C	9,951	10,261	9,055	11,074	8,489	9,766	9,951	8,489	11,074	0,908	9,30%
	60 °C	6,635	7,341	6,315	7,872	6,098	6,852	6,635	6,098	7,872	0,661	9,64%
	70 °C	4,416	4,938	4,289	5,237	3,979	4,572	4,416	3,979	5,237	0,454	9,94%
	80 °C	3,369	3,596	3,211	3,653	2,812	3,328	3,369	2,812	3,653	0,303	9,10%
	90 °C	2,428	2,625	2,176	2,635	2,098	2,392	2,428	2,098	2,635	0,223	9,30%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,4444	1,4444	1,4500	1,4118	1,5000	1,4501	1,4444	1,4118	1,5000	0,02837	1,96%
	30 °C	1,3500	1,3333	1,4091	1,3684	1,3913	1,3704	1,3684	1,3333	1,4091	0,02731	1,99%
	40 °C	1,2051	1,2105	1,2500	1,1892	1,2558	1,2221	1,2105	1,1892	1,2558	0,02615	2,14%
	50 °C	1,1633	1,1739	1,1731	1,1818	1,1852	1,1755	1,1739	1,1633	1,1852	0,00764	0,65%
	60 °C	1,1341	1,1688	1,1310	1,1644	1,1412	1,1479	1,1412	1,1310	1,1688	0,01569	1,37%
	70 °C	1,1204	1,1471	1,1130	1,1277	1,1197	1,1256	1,1204	1,1130	1,1471	0,01171	1,04%
	80 °C	1,1118	1,1076	1,1078	1,1118	1,1098	1,1098	1,1098	1,1076	1,1118	0,00185	0,17%
	90 °C	1,1018	1,0981	1,1064	1,1000	1,0928	1,0998	1,1000	1,0928	1,1064	0,00446	0,41%

Tab. 11: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,45 % nanopřísady

Obsah 0,45%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00159	0,00129	0,00157	0,00145	0,00161	0,00150	0,00157	0,00129	0,00161	0,000120	7,97%
	30 °C	0,00148	0,00119	0,00154	0,00147	0,00158	0,00145	0,00148	0,00119	0,00158	0,000137	9,44%
	40 °C	0,00257	0,00214	0,00256	0,00238	0,00259	0,00245	0,00256	0,00214	0,00259	0,000172	7,01%
	50 °C	0,00374	0,00335	0,00387	0,00381	0,00403	0,00376	0,00381	0,00335	0,00403	0,000226	6,02%
	60 °C	0,00599	0,00531	0,00618	0,00574	0,00606	0,00586	0,00599	0,00531	0,00618	0,000309	5,27%
	70 °C	0,00792	0,00753	0,00843	0,00789	0,00831	0,00802	0,00792	0,00753	0,00843	0,000322	4,02%
	80 °C	0,00987	0,00945	0,01060	0,00964	0,01030	0,00997	0,00987	0,00945	0,01060	0,000423	4,24%
	90 °C	0,01280	0,01310	0,01470	0,01370	0,01430	0,01372	0,01370	0,01280	0,01470	0,000711	5,18%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	29,0	28,0	33,0	30,0	31,0	30,2	30,0	28,0	33,0	1,72	5,70%
	30 °C	31,0	29,0	36,0	31,0	33,0	32,0	31,0	29,0	36,0	2,37	7,40%
	40 °C	51,0	49,0	59,0	52,0	55,0	53,2	52,0	49,0	59,0	3,49	6,55%
	50 °C	60,0	57,0	67,0	63,0	66,0	62,6	63,0	57,0	67,0	3,72	5,94%
	60 °C	99,0	94,0	106,0	102,0	104,0	101,0	102,0	94,0	106,0	4,20	4,15%
	70 °C	126,0	115,0	140,0	130,0	137,0	129,6	130,0	115,0	140,0	8,82	6,81%
	80 °C	189,0	183,0	206,0	193,0	199,0	194,0	193,0	183,0	206,0	7,95	4,10%
	90 °C	308,0	296,0	334,0	318,0	323,0	315,8	318,0	296,0	334,0	12,97	4,11%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	21,0	20,0	23,0	21,0	23,0	21,6	21,0	20,0	23,0	1,20	5,56%
	30 °C	23,0	22,0	26,0	23,0	25,0	23,8	23,0	22,0	26,0	1,47	6,18%
	40 °C	43,0	42,0	48,0	44,0	45,0	44,4	44,0	42,0	48,0	2,06	4,64%
	50 °C	52,0	49,0	58,0	54,0	57,0	54,0	54,0	49,0	58,0	3,29	6,09%
	60 °C	86,0	82,0	94,0	91,0	93,0	89,2	91,0	82,0	94,0	4,53	5,08%
	70 °C	111,0	103,0	126,0	117,0	124,0	116,2	117,0	103,0	126,0	8,47	7,29%
	80 °C	172,0	166,0	187,0	175,0	181,0	176,2	175,0	166,0	187,0	7,25	4,11%
	90 °C	282,0	274,0	309,0	291,0	295,0	290,2	291,0	274,0	309,0	11,89	4,10%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,976	3,031	3,051	3,018	3,024	3,020	3,024	2,976	3,051	0,0246	0,82%
	30 °C	2,961	3,002	3,042	2,996	3,029	3,006	3,002	2,961	3,042	0,0282	0,94%
	40 °C	2,918	2,975	3,001	2,962	2,969	2,965	2,969	2,918	3,001	0,0269	0,91%
	50 °C	2,875	2,933	2,955	2,923	2,928	2,923	2,928	2,875	2,955	0,0263	0,90%
	60 °C	2,834	2,891	2,911	2,887	2,892	2,883	2,891	2,834	2,911	0,0259	0,90%
	70 °C	2,791	2,848	2,867	2,830	2,835	2,834	2,835	2,791	2,867	0,0251	0,89%
	80 °C	2,750	2,806	2,825	2,791	2,794	2,793	2,794	2,750	2,825	0,0247	0,88%
	90 °C	2,705	2,762	2,782	2,749	2,753	2,750	2,753	2,705	2,782	0,0253	0,92%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	23,173	23,869	18,895	21,386	19,871	21,439	21,386	18,895	23,869	1,889	8,81%
	30 °C	22,093	24,309	17,949	20,892	20,152	21,079	20,892	17,949	24,309	2,105	9,99%
	40 °C	14,676	15,627	13,158	13,799	13,619	14,176	13,799	13,158	15,627	0,877	6,19%
	50 °C	9,801	10,367	8,736	9,354	8,945	9,441	9,354	8,736	10,367	0,590	6,24%
	60 °C	6,983	7,331	5,598	6,525	6,114	6,510	6,525	5,598	7,331	0,614	9,44%
	70 °C	4,934	5,293	4,124	4,561	4,324	4,647	4,561	4,124	5,293	0,421	9,05%
	80 °C	3,010	3,195	2,625	3,033	2,845	2,942	3,010	2,625	3,195	0,193	6,57%
	90 °C	1,856	2,441	1,956	2,134	2,051	2,088	2,051	1,856	2,441	0,200	9,56%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,3810	1,4000	1,4348	1,4286	1,3478	1,3984	1,4000	1,3478	1,4348	0,03193	2,28%
	30 °C	1,3478	1,3182	1,3846	1,3478	1,3200	1,3437	1,3478	1,3182	1,3846	0,02417	1,80%
	40 °C	1,1860	1,1667	1,2292	1,1818	1,2222	1,1972	1,1860	1,1667	1,2292	0,02425	2,03%
	50 °C	1,1538	1,1633	1,1552	1,1667	1,1579	1,1594	1,1579	1,1538	1,1667	0,00487	0,42%
	60 °C	1,1512	1,1463	1,1277	1,1209	1,1183	1,1329	1,1277	1,1183	1,1512	0,01342	1,18%
	70 °C	1,1351	1,1165	1,1111	1,1111	1,1048	1,1157	1,1111	1,1048	1,1351	0,01038	0,93%
	80 °C	1,0988	1,1024	1,1016	1,1029	1,0994	1,1010	1,1016	1,0988	1,1029	0,00161	0,15%
	90 °C	1,0922	1,0803	1,0809	1,0928	1,0949	1,0882	1,0922	1,0803	1,0949	0,00629	0,58%

Tab. 12: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,5 % nanopřířady

Obsah 0,5%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00147	0,00132	0,00125	0,00145	0,00124	0,00135	0,00132	0,00124	0,000097	7,23%	
	30 °C	0,00127	0,00130	0,00124	0,00148	0,00126	0,00131	0,00127	0,00124	0,000087	6,65%	
	40 °C	0,00271	0,00245	0,00229	0,00264	0,00223	0,00246	0,00245	0,00223	0,000188	7,63%	
	50 °C	0,00403	0,00361	0,00335	0,00382	0,00326	0,00361	0,00361	0,00326	0,000287	7,93%	
	60 °C	0,00589	0,00535	0,00517	0,00561	0,00494	0,00539	0,00535	0,00494	0,000332	6,16%	
	70 °C	0,00794	0,00743	0,00721	0,00768	0,00701	0,00745	0,00743	0,00701	0,000330	4,43%	
	80 °C	0,00988	0,00925	0,00912	0,00965	0,00875	0,00933	0,00925	0,00875	0,000398	4,27%	
	90 °C	0,01410	0,01360	0,01270	0,01380	0,01240	0,01332	0,01360	0,01240	0,000655	4,92%	
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	24,0	26,0	30,0	28,0	29,0	27,4	28,0	24,0	30,0	2,15	7,86%
	30 °C	26,0	28,0	32,0	28,0	30,0	28,8	28,0	26,0	32,0	2,04	7,08%
	40 °C	43,0	45,0	53,0	48,0	49,0	47,6	48,0	43,0	53,0	3,44	7,23%
	50 °C	51,0	54,0	63,0	59,0	60,0	57,4	59,0	51,0	63,0	4,32	7,52%
	60 °C	84,0	89,0	96,0	94,0	94,0	91,4	94,0	84,0	96,0	4,36	4,77%
	70 °C	105,0	116,0	130,0	122,0	127,0	120,0	122,0	105,0	130,0	8,88	7,40%
	80 °C	167,0	173,0	190,0	181,0	183,0	178,8	181,0	167,0	190,0	8,01	4,48%
	90 °C	284,0	291,0	322,0	305,0	306,0	301,6	305,0	284,0	322,0	13,18	4,37%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	16,0	18,0	20,0	19,0	19,0	18,4	19,0	16,0	20,0	1,36	7,37%
	30 °C	18,0	20,0	23,0	20,0	21,0	20,4	20,0	18,0	23,0	1,62	7,96%
	40 °C	36,0	37,0	42,0	40,0	39,0	38,8	39,0	36,0	42,0	2,14	5,50%
	50 °C	44,0	46,0	52,0	51,0	51,0	48,8	51,0	44,0	52,0	3,19	6,53%
	60 °C	72,0	76,0	84,0	83,0	83,0	79,6	83,0	72,0	84,0	4,76	5,98%
	70 °C	93,0	101,0	116,0	109,0	114,0	106,6	109,0	93,0	116,0	8,55	8,02%
	80 °C	150,0	156,0	171,0	163,0	165,0	161,0	163,0	150,0	171,0	7,29	4,53%
	90 °C	259,0	266,0	294,0	280,0	279,0	275,6	279,0	259,0	294,0	12,14	4,41%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,993	3,034	3,066	3,015	3,012	3,024	3,015	2,993	3,066	0,0247	0,82%
	30 °C	2,978	3,022	3,055	2,991	2,982	3,006	2,991	2,978	3,055	0,0291	0,97%
	40 °C	2,938	2,980	3,015	2,948	2,944	2,965	2,948	2,938	3,015	0,0289	0,98%
	50 °C	2,907	2,936	2,962	2,903	2,896	2,921	2,907	2,896	2,962	0,0247	0,85%
	60 °C	2,859	2,894	2,928	2,867	2,861	2,882	2,867	2,859	2,928	0,0263	0,91%
	70 °C	2,821	2,853	2,886	2,833	2,828	2,844	2,833	2,821	2,886	0,0235	0,82%
	80 °C	2,784	2,809	2,841	2,794	2,785	2,803	2,794	2,784	2,841	0,0212	0,76%
	90 °C	2,738	2,768	2,805	2,751	2,744	2,761	2,751	2,738	2,805	0,0241	0,87%
$\rho_v [10^0 \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	24,490	22,804	20,539	21,917	21,169	22,184	21,917	20,539	24,490	1,379	6,22%
	30 °C	24,114	21,667	19,695	22,315	20,632	21,685	21,667	19,695	24,114	1,508	6,95%
	40 °C	15,722	14,890	13,243	14,512	13,664	14,406	14,512	13,243	15,722	0,881	6,12%
	50 °C	10,257	10,141	8,783	9,661	8,961	9,561	9,661	8,783	10,257	0,599	6,27%
	60 °C	7,412	7,004	5,657	6,732	6,309	6,623	6,732	5,657	7,412	0,602	9,09%
	70 °C	5,001	4,728	3,859	4,398	4,056	4,408	4,398	3,859	5,001	0,419	9,51%
	80 °C	3,438	3,298	2,603	3,151	2,971	3,092	3,151	2,603	3,438	0,290	9,37%
	90 °C	2,490	2,398	1,889	2,218	2,084	2,216	2,218	1,889	2,490	0,216	9,73%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,5000	1,4444	1,5000	1,4737	1,5263	1,4889	1,5000	1,4444	1,5263	0,02776	1,86%
	30 °C	1,4444	1,4000	1,3913	1,4000	1,4286	1,4129	1,4000	1,3913	1,4444	0,02020	1,43%
	40 °C	1,1944	1,2162	1,2619	1,2000	1,2564	1,2258	1,2162	1,1944	1,2619	0,02822	2,30%
	50 °C	1,1591	1,1739	1,2115	1,1569	1,1765	1,1756	1,1739	1,1569	1,2115	0,01959	1,67%
	60 °C	1,1667	1,1711	1,1429	1,1325	1,1325	1,1491	1,1429	1,1325	1,1711	0,01660	1,44%
	70 °C	1,1290	1,1485	1,1207	1,1193	1,1140	1,1263	1,1207	1,1140	1,1485	0,01210	1,07%
	80 °C	1,1133	1,1090	1,1111	1,1104	1,1091	1,1106	1,1104	1,1090	1,1133	0,00159	0,14%
	90 °C	1,0965	1,0940	1,0952	1,0893	1,0968	1,0944	1,0952	1,0893	1,0968	0,00273	0,25%

Tab. 13: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,55 % nanopřísady

Obsah 0,55%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00129	0,00138	0,00132	0,00142	0,00124	0,00133	0,00132	0,00124	0,00142	0,000064	4,80%
	30 °C	0,00124	0,00135	0,00136	0,00140	0,00126	0,00132	0,00135	0,00124	0,00140	0,000061	4,65%
	40 °C	0,00204	0,00235	0,00216	0,00251	0,00198	0,00221	0,00216	0,00198	0,00251	0,000197	8,92%
	50 °C	0,00316	0,00342	0,00333	0,00378	0,00303	0,00334	0,00333	0,00303	0,00378	0,000256	7,67%
	60 °C	0,00509	0,00553	0,00527	0,00587	0,00482	0,00532	0,00527	0,00482	0,00587	0,000361	6,79%
	70 °C	0,00701	0,00768	0,00730	0,00806	0,00663	0,00734	0,00730	0,00663	0,00806	0,000500	6,81%
	80 °C	0,00894	0,00949	0,00918	0,00982	0,00871	0,00923	0,00918	0,00871	0,00982	0,000393	4,26%
	90 °C	0,01290	0,01370	0,01330	0,01420	0,01190	0,01320	0,01330	0,01190	0,01420	0,000780	5,91%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	26,0	23,0	28,0	24,0	21,0	24,4	24,0	21,0	28,0	2,42	9,90%
	30 °C	29,0	25,0	30,0	26,0	24,0	26,8	26,0	24,0	30,0	2,32	8,64%
	40 °C	45,0	41,0	49,0	42,0	39,0	43,2	42,0	39,0	49,0	3,49	8,07%
	50 °C	56,0	50,0	59,0	53,0	47,0	53,0	53,0	47,0	59,0	4,24	8,00%
	60 °C	85,0	80,0	87,0	83,0	75,0	82,0	83,0	75,0	87,0	4,20	5,12%
	70 °C	119,0	108,0	122,0	112,0	97,0	111,6	112,0	97,0	122,0	8,82	7,91%
	80 °C	170,0	160,0	177,0	164,0	154,0	165,0	164,0	154,0	177,0	7,95	4,82%
	90 °C	293,0	278,0	304,0	288,0	271,0	286,8	288,0	271,0	304,0	11,51	4,01%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	17,0	15,0	18,0	16,0	14,0	16,0	16,0	14,0	18,0	1,41	8,84%
	30 °C	20,0	17,0	21,0	18,0	17,0	18,6	18,0	17,0	21,0	1,62	8,74%
	40 °C	36,0	33,0	39,0	34,0	32,0	34,8	34,0	32,0	39,0	2,48	7,13%
	50 °C	48,0	42,0	49,0	45,0	40,0	44,8	45,0	40,0	49,0	3,43	7,65%
	60 °C	74,0	69,0	75,0	72,0	65,0	71,0	72,0	65,0	75,0	3,63	5,12%
	70 °C	106,0	95,0	108,0	99,0	85,0	98,6	99,0	85,0	108,0	8,26	8,38%
	80 °C	152,0	143,0	159,0	147,0	138,0	147,8	147,0	138,0	159,0	7,25	4,91%
	90 °C	266,0	253,0	276,0	263,0	246,0	260,8	263,0	246,0	276,0	10,42	4,00%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,042	3,054	3,040	3,020	3,012	3,034	3,040	3,012	3,054	0,0154	0,51%
	30 °C	3,035	3,021	3,011	3,009	2,994	3,014	3,011	2,994	3,035	0,0136	0,45%
	40 °C	2,994	2,989	2,989	2,965	2,954	2,978	2,989	2,954	2,994	0,0158	0,53%
	50 °C	2,951	2,952	2,933	2,923	2,911	2,934	2,933	2,911	2,952	0,0159	0,54%
	60 °C	2,896	2,906	2,898	2,868	2,859	2,885	2,896	2,859	2,906	0,0184	0,64%
	70 °C	2,866	2,864	2,852	2,815	2,802	2,840	2,852	2,802	2,866	0,0263	0,93%
	80 °C	2,826	2,810	2,799	2,774	2,767	2,795	2,799	2,767	2,826	0,0220	0,79%
	90 °C	2,774	2,767	2,752	2,735	2,729	2,751	2,752	2,729	2,774	0,0175	0,63%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	20,176	23,660	19,317	21,054	24,753	21,792	21,054	19,317	24,753	2,076	9,52%
	30 °C	20,415	22,676	18,699	20,663	23,740	21,239	20,663	18,699	23,740	1,777	8,37%
	40 °C	13,650	15,052	12,820	14,527	15,224	14,255	14,527	12,820	15,224	0,903	6,33%
	50 °C	8,998	9,963	8,782	9,438	10,341	9,504	9,438	8,782	10,341	0,582	6,12%
	60 °C	6,230	7,134	5,872	6,078	7,519	6,567	6,230	5,872	7,519	0,642	9,78%
	70 °C	4,311	4,697	3,732	4,118	4,936	4,359	4,311	3,732	4,936	0,424	9,74%
	80 °C	2,748	3,090	2,599	2,627	3,243	2,861	2,748	2,599	3,243	0,259	9,04%
	90 °C	2,050	2,252	1,857	2,093	2,466	2,144	2,093	1,857	2,466	0,205	9,54%
$\rho_{i,1} [-]$	25 °C	1,5294	1,5333	1,5556	1,5000	1,5000	1,5237	1,5294	1,5000	1,5556	0,02128	1,40%
	30 °C	1,4500	1,4706	1,4286	1,4444	1,4118	1,4411	1,4444	1,4118	1,4706	0,01989	1,38%
	40 °C	1,2500	1,2424	1,2564	1,2353	1,2188	1,2406	1,2424	1,2188	1,2564	0,01302	1,05%
	50 °C	1,1667	1,1905	1,2041	1,1778	1,1750	1,1828	1,1778	1,1667	1,2041	0,01310	1,11%
	60 °C	1,1486	1,1594	1,1600	1,1528	1,1538	1,1549	1,1538	1,1486	1,1600	0,00427	0,37%
	70 °C	1,1226	1,1368	1,1296	1,1313	1,1412	1,1323	1,1313	1,1226	1,1412	0,00634	0,56%
	80 °C	1,1184	1,1189	1,1132	1,1156	1,1159	1,1164	1,1159	1,1132	1,1189	0,00206	0,18%
	90 °C	1,1015	1,0988	1,1014	1,0951	1,1016	1,0997	1,1014	1,0951	1,1016	0,00254	0,23%

Tab. 14: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,6 % nanopřířady

Obsah 0,6%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00156	0,00121	0,00143	0,00134	0,00140	0,00139	0,00140	0,00121	0,00156	0,000114	8,24%
	30 °C	0,00150	0,00125	0,00152	0,00132	0,00143	0,00140	0,00143	0,00125	0,00152	0,000104	7,41%
	40 °C	0,00248	0,00211	0,00232	0,00220	0,00231	0,00228	0,00231	0,00211	0,00248	0,000125	5,46%
	50 °C	0,00381	0,00306	0,00354	0,00319	0,00344	0,00341	0,00344	0,00306	0,00381	0,000264	7,75%
	60 °C	0,00576	0,00509	0,00542	0,00527	0,00538	0,00538	0,00538	0,00509	0,00576	0,000220	4,09%
	70 °C	0,00791	0,00714	0,00758	0,00698	0,00745	0,00741	0,00745	0,00698	0,00791	0,000328	4,43%
	80 °C	0,01010	0,00878	0,00950	0,00896	0,00937	0,00934	0,00937	0,00878	0,01010	0,000461	4,93%
	90 °C	0,01430	0,01220	0,01360	0,01290	0,01350	0,01330	0,01350	0,01220	0,01430	0,000707	5,32%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	28,0	26,0	31,0	33,0	28,0	29,2	28,0	26,0	33,0	2,48	8,50%
	30 °C	29,0	28,0	33,0	35,0	30,0	31,0	30,0	28,0	35,0	2,61	8,41%
	40 °C	49,0	46,0	52,0	58,0	48,0	50,6	49,0	46,0	58,0	4,18	8,25%
	50 °C	60,0	54,0	63,0	68,0	57,0	60,4	60,0	54,0	68,0	4,84	8,02%
	60 °C	94,0	86,0	96,0	100,0	91,0	93,4	94,0	86,0	100,0	4,72	5,05%
	70 °C	123,0	108,0	130,0	135,0	119,0	123,0	123,0	108,0	135,0	9,32	7,57%
	80 °C	180,0	170,0	186,0	198,0	176,0	182,0	180,0	170,0	198,0	9,55	5,25%
	90 °C	304,0	287,0	309,0	322,0	294,0	303,2	304,0	287,0	322,0	12,12	4,00%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	20,0	18,0	22,0	23,0	20,0	20,6	20,0	18,0	23,0	1,74	8,46%
	30 °C	22,0	21,0	24,0	26,0	22,0	23,0	22,0	21,0	26,0	1,79	7,78%
	40 °C	41,0	39,0	43,0	48,0	40,0	42,2	41,0	39,0	48,0	3,19	7,55%
	50 °C	52,0	47,0	55,0	58,0	49,0	52,2	52,0	47,0	58,0	3,97	7,61%
	60 °C	83,0	76,0	85,0	88,0	80,0	82,4	83,0	76,0	88,0	4,13	5,01%
	70 °C	110,0	96,0	117,0	121,0	106,0	110,0	110,0	96,0	121,0	8,74	7,95%
	80 °C	164,0	155,0	168,0	179,0	159,0	165,0	164,0	155,0	179,0	8,27	5,01%
	90 °C	279,0	262,0	282,0	296,0	269,0	277,6	279,0	262,0	296,0	11,64	4,19%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	2,998	3,046	3,066	3,035	3,049	3,039	3,046	2,998	3,066	0,0227	0,75%
	30 °C	2,979	3,028	3,044	3,018	3,033	3,020	3,028	2,979	3,044	0,0223	0,74%
	40 °C	2,933	2,993	2,998	2,984	2,998	2,981	2,993	2,933	2,998	0,0246	0,83%
	50 °C	2,891	2,945	2,951	2,942	2,951	2,936	2,945	2,891	2,951	0,0228	0,78%
	60 °C	2,846	2,900	2,905	2,891	2,904	2,889	2,900	2,846	2,905	0,0222	0,77%
	70 °C	2,805	2,856	2,859	2,847	2,862	2,846	2,856	2,805	2,862	0,0210	0,74%
	80 °C	2,756	2,812	2,817	2,803	2,815	2,801	2,812	2,756	2,817	0,0228	0,81%
	90 °C	2,716	2,775	2,781	2,764	2,778	2,763	2,775	2,716	2,781	0,0241	0,87%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	21,254	22,799	20,185	18,862	21,902	21,000	21,254	18,862	22,799	1,367	6,51%
	30 °C	20,181	22,283	21,968	18,306	20,864	20,720	20,864	18,306	22,283	1,424	6,87%
	40 °C	14,175	15,128	13,473	12,751	14,789	14,063	14,175	12,751	15,128	0,865	6,15%
	50 °C	9,602	10,062	8,956	8,406	9,892	9,384	9,602	8,406	10,062	0,617	6,58%
	60 °C	6,685	7,006	6,124	5,432	6,861	6,422	6,685	5,432	7,006	0,578	9,00%
	70 °C	4,467	4,688	4,229	3,529	4,538	4,290	4,467	3,529	4,688	0,408	9,52%
	80 °C	2,755	2,991	2,696	2,221	2,912	2,715	2,755	2,221	2,991	0,269	9,90%
	90 °C	2,227	2,271	2,068	1,917	2,037	2,104	2,068	1,917	2,271	0,129	6,15%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,4000	1,4444	1,4091	1,4348	1,4000	1,4177	1,4091	1,4000	1,4444	0,01848	1,30%
	30 °C	1,3182	1,3333	1,3750	1,3462	1,3636	1,3473	1,3462	1,3182	1,3750	0,02039	1,51%
	40 °C	1,1951	1,1795	1,2093	1,2083	1,2000	1,1984	1,2000	1,1795	1,2093	0,01085	0,91%
	50 °C	1,1538	1,1489	1,1455	1,1724	1,1633	1,1568	1,1538	1,1455	1,1724	0,00985	0,85%
	60 °C	1,1325	1,1316	1,1294	1,1364	1,1375	1,1335	1,1325	1,1294	1,1375	0,00302	0,27%
	70 °C	1,1182	1,1250	1,1111	1,1157	1,1226	1,1185	1,1182	1,1111	1,1250	0,00494	0,44%
	80 °C	1,0976	1,0968	1,1071	1,1061	1,1069	1,1029	1,1061	1,0968	1,1071	0,00471	0,43%
	90 °C	1,0896	1,0954	1,0957	1,0878	1,0929	1,0923	1,0929	1,0878	1,0957	0,00314	0,29%

Tab. 15: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,65 % nanopřísady

Obsah 0,65%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00167	0,00146	0,00139	0,00151	0,00142	0,00149	0,00146	0,00139	0,000099	6,62%	
	30 °C	0,00169	0,00143	0,00144	0,00146	0,00138	0,00148	0,00144	0,00138	0,000108	7,31%	
	40 °C	0,00273	0,00235	0,00210	0,00251	0,00223	0,00238	0,00235	0,00210	0,000220	9,21%	
	50 °C	0,00388	0,00357	0,00322	0,00364	0,00331	0,00352	0,00357	0,00322	0,000237	6,72%	
	60 °C	0,00608	0,00547	0,00511	0,00568	0,00524	0,00552	0,00547	0,00511	0,000343	6,22%	
	70 °C	0,00811	0,00748	0,00699	0,00782	0,00726	0,00753	0,00748	0,00699	0,000397	5,27%	
	80 °C	0,01010	0,00944	0,00905	0,00973	0,00919	0,00950	0,00944	0,00905	0,000378	3,98%	
	90 °C	0,01450	0,01330	0,01260	0,01370	0,01290	0,01340	0,01330	0,01260	0,000663	4,95%	
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	29,0	33,0	35,0	31,0	31,0	31,8	31,0	29,0	35,0	2,04	6,41%
	30 °C	31,0	36,0	37,0	33,0	32,0	33,8	33,0	31,0	37,0	2,32	6,85%
	40 °C	54,0	60,0	64,0	56,0	57,0	58,2	57,0	54,0	64,0	3,49	5,99%
	50 °C	62,0	71,0	74,0	65,0	68,0	68,0	68,0	62,0	74,0	4,24	6,24%
	60 °C	98,0	108,0	110,0	103,0	106,0	105,0	106,0	98,0	110,0	4,20	4,00%
	70 °C	120,0	142,0	145,0	131,0	135,0	134,6	135,0	120,0	145,0	8,82	6,55%
	80 °C	189,0	205,0	215,0	195,0	199,0	200,6	199,0	189,0	215,0	8,89	4,43%
	90 °C	302,0	328,0	339,0	311,0	323,0	320,6	323,0	302,0	339,0	12,94	4,04%
$i_{50} [\text{nA}]$	25 °C	22,0	24,0	25,0	23,0	23,0	23,4	23,0	22,0	25,0	1,02	4,36%
	30 °C	24,0	27,0	28,0	25,0	25,0	25,8	25,0	24,0	28,0	1,47	5,70%
	40 °C	47,0	51,0	54,0	48,0	49,0	49,8	49,0	47,0	54,0	2,48	4,98%
	50 °C	55,0	63,0	65,0	57,0	60,0	60,0	60,0	55,0	65,0	3,69	6,15%
	60 °C	87,0	97,0	98,0	91,0	95,0	93,6	95,0	87,0	98,0	4,08	4,36%
	70 °C	108,0	129,0	131,0	118,0	122,0	121,6	122,0	108,0	131,0	8,26	6,79%
	80 °C	173,0	188,0	196,0	179,0	182,0	183,6	182,0	173,0	196,0	7,86	4,28%
	90 °C	278,0	303,0	313,0	287,0	299,0	296,0	299,0	278,0	313,0	12,26	4,14%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,054	3,030	3,052	3,024	3,048	3,042	3,048	3,024	3,054	0,0122	0,40%
	30 °C	3,040	3,023	3,030	2,991	3,032	3,023	3,030	2,991	3,040	0,0170	0,56%
	40 °C	2,997	2,983	3,002	2,952	2,987	2,984	2,987	2,952	3,002	0,0175	0,59%
	50 °C	2,953	2,937	2,957	2,909	2,951	2,941	2,951	2,909	2,957	0,0175	0,60%
	60 °C	2,909	2,894	2,910	2,857	2,904	2,895	2,904	2,857	2,910	0,0197	0,68%
	70 °C	2,865	2,851	2,864	2,813	2,860	2,851	2,860	2,813	2,865	0,0194	0,68%
	80 °C	2,822	2,807	2,822	2,778	2,816	2,809	2,816	2,778	2,822	0,0164	0,59%
	90 °C	2,779	2,766	2,778	2,736	2,773	2,766	2,773	2,736	2,779	0,0159	0,57%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	22,603	18,681	18,200	21,465	20,018	20,193	20,018	18,200	22,603	1,656	8,20%
	30 °C	21,026	19,603	17,556	20,531	19,727	19,689	19,727	17,556	21,026	1,188	6,03%
	40 °C	15,093	13,140	12,757	14,414	13,989	13,879	13,989	12,757	15,093	0,846	6,09%
	50 °C	10,124	8,703	8,154	9,567	9,015	9,113	9,015	8,154	10,124	0,682	7,48%
	60 °C	7,185	5,879	5,435	6,741	6,275	6,303	6,275	5,435	7,185	0,617	9,79%
	70 °C	4,775	3,996	3,707	4,423	4,098	4,200	4,098	3,707	4,775	0,368	8,75%
	80 °C	2,965	2,414	2,259	2,758	2,616	2,602	2,616	2,259	2,965	0,249	9,56%
	90 °C	2,282	1,830	1,796	2,197	2,184	2,058	2,184	1,796	2,282	0,203	9,86%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,3182	1,3750	1,4000	1,3478	1,3478	1,3578	1,3478	1,3182	1,4000	0,02773	2,04%
	30 °C	1,2917	1,3333	1,3214	1,3200	1,2800	1,3093	1,3200	1,2800	1,3333	0,02004	1,53%
	40 °C	1,1489	1,1765	1,1852	1,1667	1,1633	1,1681	1,1667	1,1489	1,1852	0,01229	1,05%
	50 °C	1,1273	1,1270	1,1385	1,1404	1,1333	1,1333	1,1333	1,1270	1,1404	0,00552	0,49%
	60 °C	1,1264	1,1134	1,1224	1,1319	1,1158	1,1220	1,1224	1,1134	1,1319	0,00678	0,60%
	70 °C	1,1111	1,1008	1,1069	1,1102	1,1066	1,1071	1,1069	1,1008	1,1111	0,00363	0,33%
	80 °C	1,0925	1,0904	1,0969	1,0894	1,0934	1,0925	1,0925	1,0894	1,0969	0,00263	0,24%
	90 °C	1,0863	1,0825	1,0831	1,0836	1,0803	1,0832	1,0831	1,0803	1,0863	0,00195	0,18%

Tab. 16: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,7 % nanopřířady

Obsah 0,7%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
tg δ [-]	25 °C	0,00160	0,00173	0,00198	0,00152	0,00166	0,00170	0,00166	0,00152	0,00198	0,000157	9,25%
	30 °C	0,00157	0,00175	0,00196	0,00150	0,00168	0,00169	0,00168	0,00150	0,00196	0,000159	9,42%
	40 °C	0,00251	0,00268	0,00286	0,00236	0,00263	0,00261	0,00263	0,00236	0,00286	0,000167	6,42%
	50 °C	0,00355	0,00380	0,00407	0,00343	0,00366	0,00370	0,00366	0,00343	0,00407	0,000221	5,97%
	60 °C	0,00543	0,00598	0,00615	0,00524	0,00575	0,00571	0,00575	0,00524	0,00615	0,000337	5,90%
	70 °C	0,00747	0,00799	0,00841	0,00742	0,00762	0,00778	0,00762	0,00742	0,00841	0,000372	4,78%
	80 °C	0,00962	0,01000	0,01060	0,00931	0,00974	0,00985	0,00974	0,00931	0,01060	0,000434	4,40%
	90 °C	0,01280	0,01440	0,01530	0,01220	0,01380	0,01370	0,01380	0,01220	0,01530	0,001106	8,08%
i ₁₅ [nA]	25 °C	37,0	32,0	38,0	34,0	34,0	35,0	34,0	32,0	38,0	2,19	6,26%
	30 °C	39,0	34,0	40,0	36,0	35,0	36,8	36,0	34,0	40,0	2,32	6,29%
	40 °C	67,0	61,0	71,0	63,0	64,0	65,2	64,0	61,0	71,0	3,49	5,35%
	50 °C	78,0	69,0	81,0	72,0	75,0	75,0	75,0	69,0	81,0	4,24	5,66%
	60 °C	121,0	108,0	127,0	116,0	119,0	118,2	119,0	108,0	127,0	6,24	5,28%
	70 °C	155,0	132,0	158,0	144,0	148,0	147,4	148,0	132,0	158,0	9,16	6,21%
	80 °C	223,0	201,0	229,0	213,0	217,0	216,6	217,0	201,0	229,0	9,50	4,39%
	90 °C	346,0	316,0	357,0	331,0	343,0	338,6	343,0	316,0	357,0	14,01	4,14%
i ₆₀ [nA]	25 °C	27,0	24,0	28,0	26,0	26,0	26,2	26,0	24,0	28,0	1,33	5,06%
	30 °C	30,0	27,0	31,0	28,0	28,0	28,8	28,0	27,0	31,0	1,47	5,10%
	40 °C	58,0	54,0	61,0	55,0	56,0	56,8	56,0	54,0	61,0	2,48	4,37%
	50 °C	70,0	62,0	71,0	65,0	67,0	67,0	67,0	62,0	71,0	3,29	4,90%
	60 °C	110,0	98,0	113,0	105,0	107,0	106,6	107,0	98,0	113,0	5,08	4,77%
	70 °C	142,0	121,0	144,0	131,0	135,0	134,6	135,0	121,0	144,0	8,26	6,14%
	80 °C	206,0	187,0	212,0	195,0	200,0	200,0	200,0	187,0	212,0	8,65	4,32%
	90 °C	323,0	296,0	331,0	305,0	319,0	314,8	319,0	296,0	331,0	12,62	4,01%
ϵ_r [-]	25 °C	2,995	3,056	3,059	3,048	3,067	3,045	3,056	2,995	3,067	0,0257	0,84%
	30 °C	2,974	3,033	3,046	3,026	3,054	3,027	3,033	2,974	3,054	0,0281	0,93%
	40 °C	2,932	2,990	3,009	2,984	3,016	2,986	2,990	2,932	3,016	0,0295	0,99%
	50 °C	2,889	2,943	2,964	2,938	2,971	2,941	2,943	2,889	2,971	0,0288	0,98%
	60 °C	2,848	2,893	2,918	2,889	2,930	2,896	2,893	2,848	2,930	0,0283	0,98%
	70 °C	2,805	2,850	2,874	2,844	2,881	2,851	2,850	2,805	2,881	0,0268	0,94%
	80 °C	2,762	2,807	2,832	2,803	2,829	2,807	2,807	2,762	2,832	0,0251	0,89%
	90 °C	2,719	2,764	2,785	2,760	2,794	2,764	2,764	2,719	2,794	0,0260	0,94%
ρ_v [10^{10} Ω m]	25 °C	19,759	22,455	18,761	21,283	20,425	20,537	20,425	18,761	22,455	1,265	6,16%
	30 °C	18,541	21,654	18,116	20,972	19,907	19,838	19,907	18,116	21,654	1,359	6,85%
	40 °C	13,220	15,236	13,079	14,737	13,676	13,990	13,676	13,079	15,236	0,852	6,09%
	50 °C	8,539	10,459	8,398	9,528	9,051	9,195	9,051	8,398	10,459	0,748	8,13%
	60 °C	5,615	7,094	5,830	6,966	6,232	6,347	6,232	5,615	7,094	0,593	9,34%
	70 °C	3,840	4,741	3,719	4,562	4,415	4,255	4,415	3,719	4,741	0,404	9,49%
	80 °C	2,471	3,016	2,356	2,778	2,646	2,653	2,646	2,356	3,016	0,232	8,74%
	90 °C	1,973	2,361	1,815	2,186	2,048	2,077	2,048	1,815	2,361	0,186	8,95%
ρ_{i1} [-]	25 °C	1,3704	1,3333	1,3571	1,3077	1,3077	1,3352	1,3333	1,3077	1,3704	0,02544	1,91%
	30 °C	1,3000	1,2593	1,2903	1,2857	1,2500	1,2771	1,2857	1,2500	1,3000	0,01911	1,50%
	40 °C	1,1552	1,1296	1,1639	1,1455	1,1429	1,1474	1,1455	1,1296	1,1639	0,01161	1,01%
	50 °C	1,1143	1,1129	1,1408	1,1077	1,1194	1,1190	1,1143	1,1077	1,1408	0,01153	1,03%
	60 °C	1,1000	1,1020	1,1239	1,1048	1,1121	1,1086	1,1048	1,1000	1,1239	0,00870	0,78%
	70 °C	1,0915	1,0909	1,0972	1,0992	1,0963	1,0950	1,0963	1,0909	1,0992	0,00326	0,30%
	80 °C	1,0825	1,0749	1,0802	1,0923	1,0850	1,0830	1,0825	1,0749	1,0923	0,00574	0,53%
	90 °C	1,0712	1,0676	1,0785	1,0852	1,0752	1,0756	1,0752	1,0676	1,0852	0,00609	0,57%

Tab. 17: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,75 % nanopřísady

Obsah 0,75%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00172	0,00225	0,00216	0,00199	0,00205	0,00203	0,00205	0,00172	0,00225	0,000181	8,89%
	30 °C	0,00178	0,00223	0,00219	0,00186	0,00203	0,00202	0,00203	0,00178	0,00223	0,000177	8,76%
	40 °C	0,00269	0,00334	0,00311	0,00285	0,00296	0,00299	0,00296	0,00269	0,00334	0,000222	7,44%
	50 °C	0,00362	0,00447	0,00429	0,00372	0,00391	0,00400	0,00391	0,00362	0,00447	0,000327	8,18%
	60 °C	0,00564	0,00651	0,00623	0,00573	0,00605	0,00603	0,00605	0,00564	0,00651	0,000320	5,31%
	70 °C	0,00739	0,00858	0,00894	0,00765	0,00810	0,00813	0,00810	0,00739	0,00894	0,000572	7,04%
	80 °C	0,00941	0,01080	0,01130	0,00970	0,01020	0,01028	0,01020	0,00941	0,01130	0,000694	6,75%
	90 °C	0,01310	0,01460	0,01500	0,01390	0,01430	0,01418	0,01430	0,01310	0,01500	0,000649	4,58%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	37,0	43,0	39,0	39,0	42,0	40,0	39,0	37,0	43,0	2,19	5,48%
	30 °C	39,0	45,0	41,0	41,0	44,0	42,0	41,0	39,0	45,0	2,19	5,22%
	40 °C	70,0	80,0	73,0	72,0	76,0	74,2	73,0	70,0	80,0	3,49	4,70%
	50 °C	78,0	90,0	85,0	80,0	87,0	84,0	85,0	78,0	90,0	4,43	5,27%
	60 °C	122,0	138,0	130,0	127,0	132,0	129,8	130,0	122,0	138,0	5,31	4,09%
	70 °C	144,0	170,0	160,0	156,0	167,0	159,4	160,0	144,0	170,0	9,16	5,74%
	80 °C	223,0	251,0	233,0	229,0	242,0	235,6	233,0	223,0	251,0	9,87	4,19%
	90 °C	332,0	374,0	355,0	346,0	363,0	354,0	355,0	332,0	374,0	14,35	4,05%
$i_{50} [\text{nA}]$	25 °C	30,0	33,0	30,0	30,0	33,0	31,2	30,0	30,0	33,0	1,47	4,71%
	30 °C	32,0	36,0	33,0	33,0	35,0	33,8	33,0	32,0	36,0	1,47	4,35%
	40 °C	62,0	70,0	65,0	64,0	68,0	65,8	65,0	62,0	70,0	2,86	4,34%
	50 °C	70,0	81,0	77,0	73,0	79,0	76,0	77,0	70,0	81,0	4,00	5,26%
	60 °C	110,0	125,0	119,0	116,0	121,0	118,2	119,0	110,0	125,0	5,04	4,26%
	70 °C	133,0	156,0	147,0	143,0	154,0	146,6	147,0	133,0	156,0	8,26	5,63%
	80 °C	207,0	232,0	216,0	213,0	225,0	218,6	216,0	207,0	232,0	8,87	4,06%
	90 °C	310,0	348,0	333,0	323,0	341,0	331,0	333,0	310,0	348,0	13,40	4,05%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,049	3,065	3,008	3,067	3,059	3,050	3,059	3,008	3,067	0,0217	0,71%
	30 °C	3,043	3,057	3,002	3,032	3,028	3,032	3,032	3,002	3,057	0,0182	0,60%
	40 °C	3,007	3,002	2,963	2,994	2,987	2,991	2,994	2,963	3,007	0,0154	0,51%
	50 °C	2,963	2,957	2,922	2,943	2,939	2,945	2,943	2,922	2,963	0,0144	0,49%
	60 °C	2,918	2,911	2,882	2,902	2,897	2,902	2,902	2,882	2,918	0,0123	0,43%
	70 °C	2,876	2,868	2,840	2,861	2,856	2,860	2,861	2,840	2,876	0,0121	0,42%
	80 °C	2,834	2,823	2,802	2,819	2,816	2,819	2,819	2,802	2,834	0,0104	0,37%
	90 °C	2,792	2,776	2,763	2,776	2,764	2,774	2,776	2,763	2,792	0,0105	0,38%
$\rho_v [10^0 \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	22,744	17,935	19,763	20,829	18,627	19,980	19,763	17,935	22,744	1,698	8,50%
	30 °C	22,085	17,688	17,974	20,543	18,314	19,321	18,314	17,688	22,085	1,710	8,85%
	40 °C	14,845	12,641	13,381	14,330	12,811	13,602	13,381	12,641	14,845	0,857	6,30%
	50 °C	9,816	8,417	8,971	9,542	8,538	9,057	8,971	8,417	9,816	0,547	6,04%
	60 °C	7,093	5,499	6,081	6,713	5,671	6,211	6,081	5,499	7,093	0,607	9,78%
	70 °C	4,708	3,772	3,955	4,568	3,741	4,149	3,955	3,741	4,708	0,408	9,85%
	80 °C	2,869	2,294	2,413	2,632	2,261	2,494	2,413	2,261	2,869	0,228	9,15%
	90 °C	2,303	1,753	2,015	2,101	1,949	2,024	2,015	1,753	2,303	0,181	8,92%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,2333	1,3030	1,3000	1,3000	1,2727	1,2818	1,3000	1,2333	1,3030	0,02663	2,08%
	30 °C	1,2188	1,2500	1,2424	1,2424	1,2571	1,2421	1,2424	1,2188	1,2571	0,01292	1,04%
	40 °C	1,1290	1,1429	1,1231	1,1250	1,1176	1,1275	1,1250	1,1176	1,1429	0,00850	0,75%
	50 °C	1,1143	1,1111	1,1039	1,0959	1,1013	1,1053	1,1039	1,0959	1,1143	0,00665	0,60%
	60 °C	1,1091	1,1040	1,0924	1,0948	1,0909	1,0983	1,0948	1,0909	1,1091	0,00707	0,64%
	70 °C	1,0827	1,0897	1,0884	1,0909	1,0844	1,0872	1,0884	1,0827	1,0909	0,00315	0,29%
	80 °C	1,0773	1,0819	1,0787	1,0751	1,0756	1,0777	1,0773	1,0751	1,0819	0,00245	0,23%
	90 °C	1,0710	1,0747	1,0661	1,0712	1,0645	1,0695	1,0710	1,0645	1,0747	0,00371	0,35%

Tab. 18: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,8 % nanopřísmady

Obsah 0,8%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\tan \delta [-]$	25 °C	0,00236	0,00216	0,00203	0,00195	0,00224	0,00215	0,00216	0,00195	0,00236	0,000146	6,80%
	30 °C	0,00238	0,00215	0,00199	0,00194	0,00226	0,00214	0,00215	0,00194	0,00238	0,000164	7,65%
	40 °C	0,00352	0,00321	0,00291	0,00276	0,00338	0,00316	0,00321	0,00276	0,00352	0,000284	8,99%
	50 °C	0,00495	0,00443	0,00415	0,00386	0,00461	0,00440	0,00443	0,00386	0,00495	0,000375	8,51%
	60 °C	0,00703	0,00644	0,00617	0,00581	0,00682	0,00645	0,00644	0,00581	0,00703	0,000438	6,79%
	70 °C	0,00928	0,00868	0,00834	0,00807	0,00893	0,00866	0,00868	0,00807	0,00928	0,000426	4,92%
	80 °C	0,01190	0,01080	0,01050	0,00989	0,01130	0,01088	0,01080	0,00989	0,01190	0,000685	6,30%
	90 °C	0,01610	0,01450	0,01400	0,01340	0,01520	0,01464	0,01450	0,01340	0,01610	0,000939	6,42%
i_{15} [nA]	25 °C	41,0	41,0	44,0	45,0	39,0	42,0	41,0	39,0	45,0	2,19	5,22%
	30 °C	43,0	42,0	46,0	47,0	41,0	43,8	43,0	41,0	47,0	2,32	5,29%
	40 °C	77,0	78,0	81,0	85,0	73,0	78,8	78,0	73,0	85,0	4,02	5,10%
	50 °C	86,0	89,0	92,0	95,0	84,0	89,2	89,0	84,0	95,0	3,97	4,45%
	60 °C	137,0	140,0	144,0	148,0	130,0	139,8	140,0	130,0	148,0	6,14	4,40%
	70 °C	165,0	169,0	176,0	179,0	153,0	168,4	169,0	153,0	179,0	9,16	5,44%
	80 °C	244,0	250,0	259,0	267,0	238,0	251,6	250,0	238,0	267,0	10,37	4,12%
	90 °C	366,0	374,0	382,0	392,0	348,0	372,4	374,0	348,0	392,0	14,93	4,01%
i_{50} [nA]	25 °C	33,0	33,0	34,0	36,0	31,0	33,4	33,0	31,0	36,0	1,62	4,86%
	30 °C	35,0	35,0	37,0	38,0	33,0	35,6	35,0	33,0	38,0	1,74	4,90%
	40 °C	69,0	70,0	72,0	75,0	66,0	70,4	70,0	66,0	75,0	3,01	4,27%
	50 °C	79,0	81,0	84,0	86,0	76,0	81,2	81,0	76,0	86,0	3,54	4,36%
	60 °C	126,0	129,0	132,0	134,0	119,0	128,0	129,0	119,0	134,0	5,25	4,10%
	70 °C	152,0	156,0	163,0	165,0	142,0	155,6	156,0	142,0	165,0	8,26	5,31%
	80 °C	228,0	235,0	243,0	247,0	221,0	234,8	235,0	221,0	247,0	9,52	4,05%
	90 °C	343,0	353,0	359,0	369,0	324,0	349,6	353,0	324,0	369,0	15,33	4,39%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,046	3,040	3,047	3,068	3,061	3,052	3,047	3,040	3,068	0,0104	0,34%
	30 °C	3,025	3,033	3,032	3,042	3,036	3,034	3,033	3,025	3,042	0,0055	0,18%
	40 °C	2,974	2,992	2,991	2,999	2,994	2,990	2,992	2,974	2,999	0,0085	0,28%
	50 °C	2,916	2,949	2,949	2,952	2,945	2,942	2,949	2,916	2,952	0,0133	0,45%
	60 °C	2,872	2,907	2,908	2,913	2,901	2,900	2,907	2,872	2,913	0,0146	0,50%
	70 °C	2,835	2,867	2,865	2,874	2,863	2,861	2,865	2,835	2,874	0,0134	0,47%
	80 °C	2,797	2,828	2,825	2,842	2,835	2,825	2,828	2,797	2,842	0,0154	0,54%
	90 °C	2,763	2,790	2,787	2,802	2,798	2,788	2,790	2,763	2,802	0,0136	0,49%
ρ_v [$10^{10} \Omega \cdot m$]	25 °C	19,925	18,892	18,344	17,753	21,127	19,208	18,892	17,753	21,127	1,197	6,23%
	30 °C	19,523	18,258	18,297	16,648	21,078	18,761	18,297	16,648	21,078	1,475	7,86%
	40 °C	13,758	12,881	12,534	12,234	15,168	13,315	12,881	12,234	15,168	1,058	7,95%
	50 °C	8,900	8,389	8,139	7,976	10,124	8,706	8,389	7,976	10,124	0,775	8,90%
	60 °C	6,154	5,852	5,600	5,382	6,893	5,976	5,852	5,382	6,893	0,526	8,80%
	70 °C	4,270	3,959	3,681	3,375	4,337	3,924	3,959	3,375	4,337	0,361	9,20%
	80 °C	2,550	2,468	2,390	2,147	2,711	2,453	2,468	2,147	2,711	0,186	7,60%
	90 °C	2,080	1,747	1,756	1,687	2,122	1,878	1,756	1,687	2,122	0,184	9,78%
$p_{11} [-]$	25 °C	1,2424	1,2424	1,2941	1,2500	1,2581	1,2574	1,2500	1,2424	1,2941	0,01925	1,53%
	30 °C	1,2286	1,2000	1,2432	1,2368	1,2424	1,2302	1,2368	1,2000	1,2432	0,01599	1,30%
	40 °C	1,1159	1,1143	1,1250	1,1333	1,1061	1,1189	1,1159	1,1061	1,1333	0,00939	0,84%
	50 °C	1,0886	1,0988	1,0952	1,1047	1,1053	1,0985	1,0988	1,0886	1,1053	0,00620	0,56%
	60 °C	1,0873	1,0853	1,0909	1,1045	1,0924	1,0921	1,0909	1,0853	1,1045	0,00670	0,61%
	70 °C	1,0855	1,0833	1,0798	1,0848	1,0775	1,0822	1,0833	1,0775	1,0855	0,00309	0,29%
	80 °C	1,0702	1,0638	1,0658	1,0810	1,0769	1,0715	1,0702	1,0638	1,0810	0,00651	0,61%
	90 °C	1,0671	1,0595	1,0641	1,0623	1,0741	1,0654	1,0641	1,0595	1,0741	0,00498	0,47%

Tab. 19: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,85 % nanopřířady

Obsah 0,85%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\lg \delta [-]$	25 °C	0,00234	0,00256	0,00194	0,00221	0,00213	0,00224	0,00221	0,00194	0,00256	0,000208	9,28%
	30 °C	0,00231	0,00258	0,00196	0,00224	0,00211	0,00224	0,00224	0,00196	0,00258	0,000208	9,27%
	40 °C	0,00345	0,00362	0,00298	0,00326	0,00307	0,00328	0,00326	0,00298	0,00362	0,000236	7,21%
	50 °C	0,00514	0,00543	0,00423	0,00471	0,00455	0,00481	0,00471	0,00423	0,00543	0,000427	8,88%
	60 °C	0,00728	0,00769	0,00615	0,00685	0,00652	0,00690	0,00685	0,00615	0,00769	0,000544	7,88%
	70 °C	0,00952	0,00972	0,00856	0,00909	0,00888	0,00915	0,00909	0,00856	0,00972	0,000421	4,60%
	80 °C	0,01210	0,01250	0,01060	0,01140	0,01100	0,01152	0,01140	0,01060	0,01250	0,000697	6,05%
	90 °C	0,01650	0,01710	0,01520	0,01600	0,01560	0,01608	0,01600	0,01520	0,01710	0,000668	4,15%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	46,0	44,0	50,0	49,0	46,0	47,0	46,0	44,0	50,0	2,19	4,66%
	30 °C	48,0	46,0	52,0	51,0	47,0	48,8	48,0	46,0	52,0	2,32	4,74%
	40 °C	84,0	82,0	92,0	88,0	85,0	86,2	85,0	82,0	92,0	3,49	4,05%
	50 °C	92,0	89,0	101,0	99,0	95,0	95,2	95,0	89,0	101,0	4,40	4,62%
	60 °C	148,0	134,0	158,0	153,0	151,0	148,8	151,0	134,0	158,0	8,08	5,43%
	70 °C	176,0	164,0	190,0	188,0	178,0	179,2	178,0	164,0	190,0	9,35	5,22%
	80 °C	262,0	250,0	283,0	275,0	261,0	266,2	262,0	250,0	283,0	11,55	4,34%
	90 °C	381,0	352,0	402,0	396,0	391,0	384,4	391,0	352,0	402,0	17,60	4,58%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	38,0	36,0	41,0	39,0	38,0	38,4	38,0	36,0	41,0	1,62	4,23%
	30 °C	40,0	38,0	43,0	41,0	40,0	40,4	40,0	38,0	43,0	1,62	4,02%
	40 °C	76,0	74,0	83,0	80,0	77,0	78,0	77,0	74,0	83,0	3,16	4,05%
	50 °C	84,0	82,0	92,0	91,0	88,0	87,4	88,0	82,0	92,0	3,88	4,44%
	60 °C	136,0	124,0	145,0	141,0	141,0	137,4	141,0	124,0	145,0	7,28	5,30%
	70 °C	163,0	153,0	176,0	174,0	167,0	166,6	167,0	153,0	176,0	8,26	4,96%
	80 °C	245,0	234,0	264,0	256,0	245,0	248,8	245,0	234,0	264,0	10,30	4,14%
	90 °C	358,0	332,0	379,0	372,0	368,0	361,8	368,0	332,0	379,0	16,38	4,53%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,047	3,052	3,066	3,052	3,064	3,056	3,052	3,047	3,066	0,0074	0,24%
	30 °C	3,033	3,044	3,063	3,015	3,024	3,036	3,033	3,015	3,063	0,0167	0,55%
	40 °C	2,989	2,996	3,022	2,974	2,985	2,993	2,989	2,974	3,022	0,0161	0,54%
	50 °C	2,944	2,957	2,981	2,931	2,944	2,951	2,944	2,931	2,981	0,0169	0,57%
	60 °C	2,900	2,916	2,935	2,897	2,907	2,911	2,907	2,897	2,935	0,0137	0,47%
	70 °C	2,856	2,874	2,893	2,854	2,861	2,868	2,861	2,854	2,893	0,0145	0,51%
	80 °C	2,810	2,832	2,853	2,811	2,820	2,825	2,820	2,810	2,853	0,0160	0,57%
	90 °C	2,765	2,789	2,813	2,774	2,783	2,785	2,783	2,765	2,813	0,0163	0,58%
$\rho_v [10^{10} \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	19,832	21,574	16,171	17,894	19,080	18,910	19,080	16,171	21,574	1,817	9,61%
	30 °C	19,930	20,944	16,391	17,245	18,687	18,639	18,687	16,391	20,944	1,672	8,97%
	40 °C	13,350	14,387	11,757	12,228	12,986	12,942	12,986	11,757	14,387	0,913	7,06%
	50 °C	9,039	9,658	7,419	7,845	8,732	8,539	8,732	7,419	9,658	0,809	9,48%
	60 °C	6,171	6,551	5,139	5,487	5,857	5,841	5,857	5,139	6,551	0,496	8,50%
	70 °C	4,076	4,270	3,342	3,598	3,924	3,842	3,924	3,342	4,270	0,333	8,67%
	80 °C	2,354	2,661	2,074	2,157	2,219	2,293	2,219	2,074	2,661	0,205	8,96%
	90 °C	1,848	2,008	1,504	1,696	1,785	1,768	1,785	1,504	2,008	0,167	9,44%
$\rho_{i1} [-]$	25 °C	1,2105	1,2222	1,2195	1,2564	1,2105	1,2238	1,2195	1,2105	1,2564	0,01695	1,39%
	30 °C	1,2000	1,2105	1,2093	1,2439	1,1750	1,2077	1,2093	1,1750	1,2439	0,02213	1,83%
	40 °C	1,1053	1,1081	1,1084	1,1000	1,1039	1,1051	1,1053	1,1000	1,1084	0,00309	0,28%
	50 °C	1,0952	1,0854	1,0978	1,0879	1,0795	1,0892	1,0879	1,0795	1,0978	0,00664	0,61%
	60 °C	1,0882	1,0806	1,0897	1,0851	1,0709	1,0829	1,0851	1,0709	1,0897	0,00675	0,62%
	70 °C	1,0798	1,0719	1,0795	1,0805	1,0659	1,0755	1,0795	1,0659	1,0805	0,00574	0,53%
	80 °C	1,0694	1,0684	1,0720	1,0742	1,0653	1,0699	1,0694	1,0653	1,0742	0,00305	0,29%
	90 °C	1,0642	1,0602	1,0607	1,0645	1,0625	1,0624	1,0625	1,0602	1,0645	0,00176	0,17%

Tab. 20: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,9 % nanopřísky

Obsah 0,9%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
$\tan \delta [-]$	25 °C	0,00195	0,00247	0,00255	0,00218	0,00236	0,00230	0,00236	0,00195	0,00255	0,000215	9,35%
	30 °C	0,00198	0,00249	0,00252	0,00223	0,00234	0,00231	0,00234	0,00198	0,00252	0,000196	8,49%
	40 °C	0,00292	0,00361	0,00379	0,00316	0,00338	0,00337	0,00338	0,00292	0,00379	0,000310	9,20%
	50 °C	0,00471	0,00552	0,00576	0,00498	0,00523	0,00524	0,00523	0,00471	0,00576	0,000373	7,13%
	60 °C	0,00704	0,00793	0,00812	0,00725	0,00759	0,00759	0,00759	0,00704	0,00812	0,000404	5,32%
	70 °C	0,00927	0,01090	0,01140	0,00953	0,01020	0,01026	0,01020	0,00927	0,01140	0,000803	7,83%
	80 °C	0,01180	0,01380	0,01440	0,01260	0,01310	0,01314	0,01310	0,01180	0,01440	0,000907	6,90%
	90 °C	0,01670	0,01880	0,01940	0,01770	0,01850	0,01822	0,01850	0,01670	0,01940	0,000937	5,14%
$i_{15} [\text{nA}]$	25 °C	45,0	49,0	45,0	48,0	43,0	46,0	45,0	43,0	49,0	2,2	4,76%
	30 °C	46,0	51,0	47,0	50,0	45,0	47,8	47,0	45,0	51,0	2,3	4,84%
	40 °C	82,0	89,0	81,0	85,0	79,0	83,2	82,0	79,0	89,0	3,5	4,19%
	50 °C	93,0	99,0	89,0	96,0	88,0	93,0	93,0	88,0	99,0	4,1	4,46%
	60 °C	144,0	151,0	141,0	146,0	133,0	143,0	144,0	133,0	151,0	6,0	4,17%
	70 °C	173,0	183,0	169,0	180,0	157,0	172,4	173,0	157,0	183,0	9,2	5,31%
	80 °C	254,0	272,0	253,0	260,0	240,0	255,8	254,0	240,0	272,0	10,4	4,07%
	90 °C	382,0	394,0	370,0	387,0	351,0	376,8	382,0	351,0	394,0	15,1	4,01%
$i_{60} [\text{nA}]$	25 °C	37,0	40,0	37,0	38,0	35,0	37,4	37,0	35,0	40,0	1,6	4,34%
	30 °C	39,0	43,0	39,0	41,0	38,0	40,0	39,0	38,0	43,0	1,8	4,47%
	40 °C	73,0	80,0	73,0	76,0	71,0	74,6	73,0	71,0	80,0	3,1	4,20%
	50 °C	85,0	90,0	82,0	88,0	80,0	85,0	85,0	80,0	90,0	3,7	4,34%
	60 °C	133,0	138,0	130,0	135,0	122,0	131,6	133,0	122,0	138,0	5,5	4,15%
	70 °C	160,0	169,0	156,0	167,0	146,0	159,6	160,0	146,0	169,0	8,3	5,18%
	80 °C	239,0	253,0	234,0	245,0	224,0	239,0	239,0	224,0	253,0	9,8	4,11%
	90 °C	360,0	371,0	344,0	365,0	330,0	354,0	360,0	330,0	371,0	15,0	4,23%
$\epsilon_r [-]$	25 °C	3,014	3,081	3,066	3,074	3,058	3,059	3,066	3,014	3,081	0,0236	0,77%
	30 °C	3,005	3,069	3,052	3,042	3,031	3,040	3,042	3,005	3,069	0,0214	0,70%
	40 °C	2,968	3,025	3,013	2,999	2,992	2,999	2,999	2,968	3,025	0,0194	0,65%
	50 °C	2,924	2,982	2,968	2,961	2,953	2,958	2,961	2,924	2,982	0,0193	0,65%
	60 °C	2,881	2,936	2,926	2,924	2,909	2,915	2,924	2,881	2,936	0,0192	0,66%
	70 °C	2,838	2,889	2,882	2,882	2,840	2,866	2,882	2,838	2,889	0,0224	0,78%
	80 °C	2,795	2,846	2,841	2,844	2,828	2,831	2,841	2,795	2,846	0,0190	0,67%
	90 °C	2,753	2,801	2,794	2,799	2,784	2,786	2,794	2,753	2,801	0,0176	0,63%
$\rho_v [10^0 \Omega \cdot \text{m}]$	25 °C	19,455	17,708	20,595	18,541	21,224	19,505	19,455	17,708	21,224	1,289	6,61%
	30 °C	19,068	17,959	20,852	17,784	20,679	19,268	19,068	17,784	20,852	1,300	6,75%
	40 °C	13,371	11,988	14,198	12,636	14,668	13,372	13,371	11,988	14,668	0,982	7,34%
	50 °C	8,446	7,895	9,416	8,247	10,123	8,825	8,446	7,895	10,123	0,822	9,31%
	60 °C	6,012	5,260	6,340	5,671	6,624	5,981	6,012	5,260	6,624	0,482	8,05%
	70 °C	3,971	3,435	4,299	3,618	4,427	3,950	3,971	3,435	4,427	0,381	9,64%
	80 °C	2,208	1,982	2,487	2,157	2,611	2,289	2,208	1,982	2,611	0,229	9,98%
	90 °C	1,902	1,742	1,974	1,722	2,073	1,883	1,902	1,722	2,073	0,135	7,15%
$p_{11} [-]$	25 °C	1,2162	1,2250	1,2162	1,2632	1,2286	1,2298	1,2250	1,2162	1,2632	0,01736	1,41%
	30 °C	1,1795	1,1860	1,2051	1,2195	1,1842	1,1949	1,1860	1,1795	1,2195	0,01510	1,26%
	40 °C	1,1233	1,1125	1,1096	1,1184	1,1127	1,1153	1,1127	1,1096	1,1233	0,00492	0,44%
	50 °C	1,0941	1,1000	1,0854	1,0909	1,1000	1,0941	1,0941	1,0854	1,1000	0,00559	0,51%
	60 °C	1,0827	1,0942	1,0846	1,0815	1,0902	1,0866	1,0846	1,0815	1,0942	0,00481	0,44%
	70 °C	1,0813	1,0828	1,0833	1,0778	1,0753	1,0801	1,0813	1,0753	1,0833	0,00307	0,28%
	80 °C	1,0628	1,0751	1,0812	1,0612	1,0714	1,0703	1,0714	1,0612	1,0812	0,00751	0,70%
	90 °C	1,0611	1,0620	1,0756	1,0603	1,0636	1,0645	1,0620	1,0603	1,0756	0,00564	0,53%

Tab. 21: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 0,95 % nanopřísady

Obsah 0,95%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koef.	
tg δ [-]	25 °C	0,00237	0,00251	0,00281	0,00212	0,00224	0,00241	0,00237	0,00212	0,00281	0,000239	9,90%
	30 °C	0,00235	0,00254	0,00277	0,00215	0,00221	0,00240	0,00235	0,00215	0,00277	0,000227	9,44%
	40 °C	0,00335	0,00361	0,00383	0,00299	0,00318	0,00339	0,00335	0,00299	0,00383	0,000299	8,82%
	50 °C	0,00543	0,00576	0,00602	0,00488	0,00524	0,00547	0,00543	0,00488	0,00602	0,000397	7,27%
	60 °C	0,00822	0,00845	0,00883	0,00764	0,00798	0,00822	0,00822	0,00764	0,00883	0,000405	4,92%
	70 °C	0,01140	0,01220	0,01260	0,01050	0,01080	0,01150	0,01140	0,01050	0,01260	0,000800	6,96%
	80 °C	0,01490	0,01540	0,01590	0,01410	0,01450	0,01496	0,01490	0,01410	0,01590	0,000637	4,26%
	90 °C	0,02030	0,02060	0,02140	0,01910	0,01940	0,02016	0,02030	0,01910	0,02140	0,000831	4,12%
i ₁₅ [nA]	25 °C	45,0	40,0	46,0	42,0	42,0	43,0	42,0	40,0	46,0	2,2	5,10%
	30 °C	47,0	42,0	48,0	44,0	43,0	44,8	44,0	42,0	48,0	2,3	5,17%
	40 °C	78,0	72,0	82,0	74,0	75,0	76,2	75,0	72,0	82,0	3,5	4,58%
	50 °C	89,0	80,0	92,0	83,0	86,0	86,0	86,0	80,0	92,0	4,2	4,93%
	60 °C	135,0	122,0	138,0	130,0	133,0	131,6	133,0	122,0	138,0	5,5	4,15%
	70 °C	168,0	145,0	171,0	157,0	161,0	160,4	161,0	145,0	171,0	9,2	5,71%
	80 °C	241,0	218,0	248,0	231,0	235,0	234,6	235,0	218,0	248,0	10,1	4,30%
	90 °C	364,0	327,0	370,0	349,0	359,0	353,8	359,0	327,0	370,0	15,1	4,26%
i ₆₀ [nA]	25 °C	35,0	32,0	37,0	34,0	34,0	34,4	34,0	32,0	37,0	1,6	4,72%
	30 °C	37,0	34,0	39,0	36,0	36,0	36,4	36,0	34,0	39,0	1,6	4,46%
	40 °C	69,0	64,0	72,0	66,0	67,0	67,6	67,0	64,0	72,0	2,7	4,03%
	50 °C	81,0	72,0	82,0	75,0	78,0	77,6	78,0	72,0	82,0	3,7	4,79%
	60 °C	123,0	111,0	125,0	118,0	121,0	119,6	121,0	111,0	125,0	4,9	4,08%
	70 °C	155,0	134,0	157,0	144,0	148,0	147,6	148,0	134,0	157,0	8,3	5,60%
	80 °C	224,0	204,0	230,0	214,0	217,0	217,8	217,0	204,0	230,0	8,9	4,07%
	90 °C	342,0	309,0	348,0	325,0	334,0	331,6	334,0	309,0	348,0	13,7	4,13%
ε _r [-]	25 °C	3,061	3,098	3,018	3,069	3,072	3,064	3,069	3,018	3,098	0,0260	0,85%
	30 °C	3,030	3,083	3,012	3,034	3,041	3,040	3,034	3,012	3,083	0,0235	0,77%
	40 °C	3,015	3,013	3,002	2,997	3,009	3,007	3,009	2,997	3,015	0,0068	0,22%
	50 °C	2,970	2,974	2,961	2,951	2,958	2,963	2,961	2,951	2,974	0,0083	0,28%
	60 °C	2,924	2,936	2,921	2,913	2,917	2,922	2,921	2,913	2,936	0,0078	0,27%
	70 °C	2,880	2,884	2,878	2,874	2,881	2,879	2,880	2,874	2,884	0,0033	0,12%
	80 °C	2,837	2,842	2,839	2,833	2,846	2,839	2,839	2,833	2,846	0,0044	0,16%
	90 °C	2,796	2,803	2,800	2,796	2,805	2,800	2,800	2,796	2,805	0,0036	0,13%
ρ _v [10 ¹⁰ Ω·m]	25 °C	18,876	22,887	17,129	20,613	19,851	19,871	19,851	17,129	22,887	1,906	9,59%
	30 °C	18,218	22,015	17,482	19,922	20,127	19,553	19,922	17,482	22,015	1,587	8,12%
	40 °C	12,589	15,121	12,297	14,366	13,245	13,524	13,245	12,297	15,121	1,069	7,91%
	50 °C	8,566	10,453	7,788	9,570	9,025	9,080	9,025	7,788	10,453	0,901	9,93%
	60 °C	5,637	6,931	5,397	6,228	5,921	6,023	5,921	5,397	6,931	0,532	8,84%
	70 °C	3,821	4,697	3,592	4,253	4,068	4,086	4,068	3,592	4,697	0,378	9,26%
	80 °C	2,222	2,671	2,122	2,487	2,306	2,362	2,306	2,122	2,671	0,196	8,29%
	90 °C	1,847	2,177	1,766	2,035	1,980	1,961	1,980	1,766	2,177	0,144	7,34%
p _{i1} [-]	25 °C	1,2857	1,2500	1,2432	1,2353	1,2353	1,2499	1,2432	1,2353	1,2857	0,01873	1,50%
	30 °C	1,2703	1,2353	1,2308	1,2222	1,1944	1,2306	1,2308	1,1944	1,2703	0,02439	1,98%
	40 °C	1,1304	1,1250	1,1389	1,1212	1,1194	1,1270	1,1250	1,1194	1,1389	0,00705	0,63%
	50 °C	1,0988	1,1111	1,1220	1,1067	1,1026	1,1082	1,1067	1,0988	1,1220	0,00801	0,72%
	60 °C	1,0976	1,0991	1,1040	1,1017	1,0992	1,1003	1,0992	1,0976	1,1040	0,00227	0,21%
	70 °C	1,0839	1,0821	1,0892	1,0903	1,0878	1,0866	1,0878	1,0821	1,0903	0,00314	0,29%
	80 °C	1,0759	1,0686	1,0783	1,0794	1,0829	1,0770	1,0783	1,0686	1,0829	0,00478	0,44%
	90 °C	1,0643	1,0583	1,0632	1,0738	1,0749	1,0669	1,0643	1,0583	1,0749	0,00643	0,60%

Tab. 22: Naměřené hodnoty řepkového oleje s 1 % nanopřířady

Obsah 1%	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Průměr	Medián	Min	Max	Směr. Odch.	Var. Koeff.	
$\operatorname{tg} \delta$ [-]	25 °C	0,00279	0,00238	0,00261	0,00257	0,00224	0,00252	0,00257	0,00224	0,00279	0,000191	7,57%
	30 °C	0,00284	0,00241	0,00263	0,00254	0,00220	0,00252	0,00254	0,00220	0,00284	0,000214	8,48%
	40 °C	0,00395	0,00324	0,00374	0,00354	0,00308	0,00351	0,00354	0,00308	0,00395	0,000318	9,06%
	50 °C	0,00641	0,00562	0,00581	0,00616	0,00537	0,00587	0,00581	0,00537	0,00641	0,000372	6,33%
	60 °C	0,00945	0,00849	0,00887	0,00916	0,00809	0,00881	0,00887	0,00809	0,00945	0,000481	5,46%
	70 °C	0,01350	0,01230	0,01310	0,01270	0,01120	0,01256	0,01270	0,01120	0,01350	0,000789	6,28%
	80 °C	0,01820	0,01630	0,01780	0,01690	0,01600	0,01704	0,01690	0,01600	0,01820	0,000845	4,96%
	90 °C	0,02410	0,02020	0,02370	0,02350	0,01870	0,02204	0,02350	0,01870	0,02410	0,002176	9,87%
i_{15} [nA]	25 °C	44,0	48,0	47,0	42,0	44,0	45,0	44,0	42,0	48,0	2,19	4,87%
	30 °C	46,0	50,0	49,0	44,0	46,0	47,0	46,0	44,0	50,0	2,19	4,66%
	40 °C	80,0	88,0	84,0	78,0	83,0	82,6	83,0	78,0	88,0	3,44	4,17%
	50 °C	89,0	96,0	96,0	87,0	94,0	92,4	94,0	87,0	96,0	3,72	4,03%
	60 °C	141,0	151,0	147,0	134,0	142,0	143,0	142,0	134,0	151,0	5,76	4,03%
	70 °C	168,0	182,0	181,0	156,0	176,0	172,6	176,0	156,0	182,0	9,67	5,60%
	80 °C	249,0	266,0	260,0	233,0	255,0	252,6	255,0	233,0	266,0	11,29	4,47%
	90 °C	363,0	396,0	387,0	348,0	377,0	374,2	377,0	348,0	396,0	17,08	4,56%
i_{30} [nA]	25 °C	36,0	39,0	37,0	34,0	36,0	36,4	36,0	34,0	39,0	1,62	4,46%
	30 °C	38,0	41,0	39,0	36,0	39,0	38,6	39,0	36,0	41,0	1,62	4,21%
	40 °C	72,0	79,0	76,0	70,0	75,0	74,4	75,0	70,0	79,0	3,14	4,22%
	50 °C	81,0	88,0	87,0	79,0	86,0	84,2	86,0	79,0	88,0	3,54	4,21%
	60 °C	129,0	139,0	134,0	123,0	130,0	131,0	130,0	123,0	139,0	5,33	4,07%
	70 °C	155,0	168,0	166,0	145,0	163,0	159,4	163,0	145,0	168,0	8,45	5,30%
	80 °C	232,0	247,0	241,0	219,0	241,0	236,0	241,0	219,0	247,0	9,76	4,13%
	90 °C	343,0	369,0	361,0	329,0	358,0	352,0	358,0	329,0	369,0	14,25	4,05%
ϵ_r [-]	25 °C	3,067	3,036	3,042	3,084	3,113	3,068	3,067	3,036	3,113	0,0282	0,92%
	30 °C	3,050	3,017	3,032	3,059	3,067	3,045	3,050	3,017	3,067	0,0182	0,60%
	40 °C	3,013	2,974	2,996	3,021	3,044	3,010	3,013	2,974	3,044	0,0236	0,78%
	50 °C	2,973	2,931	2,964	2,984	3,011	2,973	2,973	2,931	3,011	0,0261	0,88%
	60 °C	2,936	2,888	2,917	2,947	2,968	2,931	2,936	2,888	2,968	0,0272	0,93%
	70 °C	2,896	2,846	2,871	2,903	2,921	2,887	2,896	2,846	2,921	0,0262	0,91%
	80 °C	2,856	2,805	2,827	2,864	2,876	2,846	2,856	2,805	2,876	0,0259	0,91%
	90 °C	2,809	2,765	2,783	2,822	2,839	2,804	2,809	2,765	2,839	0,0266	0,95%
ρ_v [$10^{10} \Omega \cdot \text{m}$]	25 °C	20,746	17,928	18,933	21,647	19,021	19,655	19,021	17,928	21,647	1,346	6,85%
	30 °C	20,147	17,555	17,911	22,062	18,654	19,266	18,654	17,555	22,062	1,657	8,60%
	40 °C	13,725	11,843	12,727	14,361	13,365	13,204	13,365	11,843	14,361	0,862	6,53%
	50 °C	9,290	7,896	8,138	9,843	8,535	8,740	8,535	7,896	9,843	0,726	8,31%
	60 °C	6,385	5,177	5,318	6,657	5,688	5,845	5,688	5,177	6,657	0,583	9,97%
	70 °C	4,024	3,486	3,776	4,484	3,899	3,934	3,899	3,486	4,484	0,328	8,33%
	80 °C	2,361	2,002	2,148	2,551	2,178	2,248	2,178	2,002	2,551	0,190	8,44%
	90 °C	1,962	1,639	1,734	2,077	1,860	1,854	1,860	1,639	2,077	0,156	8,43%
p_{11} [-]	25 °C	1,2222	1,2308	1,2703	1,2353	1,2222	1,2362	1,2308	1,2222	1,2703	0,01779	1,44%
	30 °C	1,2105	1,2195	1,2564	1,2222	1,1795	1,2176	1,2195	1,1795	1,2564	0,02463	2,02%
	40 °C	1,1111	1,1139	1,1053	1,1143	1,1067	1,1103	1,1111	1,1053	1,1143	0,00369	0,33%
	50 °C	1,0988	1,0909	1,1034	1,1013	1,0930	1,0975	1,0988	1,0909	1,1034	0,00479	0,44%
	60 °C	1,0930	1,0863	1,0970	1,0894	1,0923	1,0916	1,0923	1,0863	1,0970	0,00359	0,33%
	70 °C	1,0839	1,0833	1,0904	1,0759	1,0798	1,0826	1,0833	1,0759	1,0904	0,00481	0,44%
	80 °C	1,0733	1,0769	1,0788	1,0639	1,0581	1,0702	1,0733	1,0581	1,0788	0,00794	0,74%
	90 °C	1,0583	1,0732	1,0720	1,0578	1,0531	1,0629	1,0583	1,0531	1,0732	0,00816	0,77%