



DIELEKTRICKÉ VLASTNOSTI ROSTLINNÝCH OLEJŮ PRO ELEKTROTECHNIKU

DIELECTRIC PROPERTIES OF NATURAL OILS FOR ELECTRICAL ENGINEERING

ZKRÁCENÁ VERZE DOKTORSKÉ PRÁCE

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. MILAN SPOHNER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. KAREL LIEDERMANN, CSc.

BRNO 2020

Klíčová slova:

arašídový olej, bavlníkový olej, BDS 1308, biologicky rozložitelné oleje, dielektrická relaxační spektroskopie, DRS, infračervená spektroskopie, konduktivita, Lyra X, mastné kyseliny, MCT olej, methyloleát, minerální olej, Mogul Trafo, permitivita, přírodní olej, ricinový olej, řepkový olej, sójový olej, slunečnicový olej, ztrátové číslo.

Keywords:

BDS 1308, biodegradable oils, castor oil, conductivity, cottonseed oil, dielectric relaxation spectroscopy, DRS, fatty acids, infrared spectroscopy, loss number, Lyra X, MCT oil, methyl oleate, mineral oil, Mogul Trafo, natural oil, peanut oil, permittivity, rapeseed oil, soybean oil, sunflower oil.

Místo uložení rukopisu:

Vědecké oddělení děkanátu FEKT VUT v Brně, Technická 10, Brno, 616 00

SPOHNER, M. *Dielektrické vlastnosti rostlinných olejů pro elektrotechniku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav fyziky, 2020. 26 s. Zkrácená verze disertační práce. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Karel Liedermann, CSc.

Obsah

1	ÚVOD	4
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
2.1	<i>Minerální oleje</i>	6
2.1.1	Výroba a původ minerálních olejů	6
2.1.2	Ropa v České republice	7
2.2	<i>Syntetické oleje</i>	8
2.3	<i>Přírodní oleje, mastné kyseliny a biologicky rozložitelné oleje</i>	9
2.3.1	Množství pěstovaných olejnin, mezinárodní trh a světová bilance	9
2.3.2	Množství MK v řepkových a slunečnicových olejích pěstovaných v ČR	9
2.3.3	Výroba přírodních olejů	10
2.3.4	Biologicky rozložitelné oleje	11
2.3.5	Mastné kyseliny (MK) a transesterifikace	11
3	CÍLE	13
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	14
4.1	<i>Měřicí pracoviště s elektrodovým systémem BDS I308</i>	14
4.1.1	Výsledky měření relativní permitivity minerálních olejů	14
4.1.2	Výsledky měření relativní permitivity biologicky rozložitelných olejů	15
4.1.3	Výsledky měření relativní permitivity přírodních olejů	15
4.1.4	Výsledky měření ztrátového čísla přírodních olejů	16
4.1.5	Výsledky měření konduktivity přírodních olejů a dvou slunečnicových olejů	17
4.1.6	Výsledky změn DRS parametrů minerálního oleje při stárnutí UV zářením: 0, 20, 50 a 100 h	18
4.1.7	Výsledky změn DRS parametrů slunečnicového oleje HA (SA) při stárnutí UV zářením: 0, 20, 50 a 100 h	19
5	ZÁVĚR	21

1 ÚVOD

Minerální oleje se používaly v transformátorech v USA od roku 1885. V ČR se datuje používání minerálních olejů k těmto účelům roku 1897, kdy byla ještě součástí Rakousko-Uherska. Vzhledem k současným ekologickým požadavkům na biodegradabilitu (pozdější likvidaci olejů apod.) a pro případné havárie transformátoru je žádoucí najít alternativní náhradu z dostupných přírodních zdrojů. Používání minerálních olejů jako prvních izolačních kapalin zapříčinily tyto jejich výhody: dobrá chemická stabilita, nízká cena a dostupnost. Minerální oleje mají ovšem i nedostatky, k nimž patří vyšší náklady při ekologické likvidaci. Proto se v USA i jinde začaly používat syntetické oleje, především ve velkých obchodních centrech apod. pro zvýšení bezpečnosti. Používají se jako alternativa za minerální oleje ve Spojených státech, Evropě a na Dálném východě [1].

V ČR se od roku 1985 zvýšil zájem o to, používat co nejméně materiály, které se vyrábějí z ropy, a proto i snižovat užití minerálních olejů v energetice i s ohledem na snižující se zásoby ropy a většího zájmu o ekologii ve společnosti. Dalším podnětem byl zájem některých zemí (např. Indie a Brazílie) o menší závislost na importu ropných produktů, kterých se jim nedostává. Po politických změnách v ČR v roce 1989

a v souvislosti s následným začleněním České republiky do globální ekonomiky se zvýšil zájem o pěstování olejnatých rostlin pro výrobu olejů pro potravinářské i technické použití. Později byli zemědělci dotacemi i v rámci podpory od EU motivováni pro pěstování finančně výnosnějších rostlin, tj. řepky a slunečnice, které nahradily tradiční plodiny, mezi něž patřila kukuřice a brambory. Především zájem o řepku byl podpořen větším zájmem o bionaftu, do které bylo přidáváno MEŘO (methylestery řepkového oleje). Ostatními méně pěstovanými olejnatými rostlinami jsou v České republice: len, slunečnice, mák a sójové boby. Pro zajímavost: velký rozmach pěstování olejnatých rostlin vhodných pro produkci přírodních olejů u nás nastal na přelomu let 2007/2008: řepka – 1 031 400 t, slunečnice – 52 000 t, mák – 33 000 t, sójové boby – 13 175 t, len – pouze 1782 t (ve srovnání s 8851 t v roce 2005/2006) [2].

Minerální, syntetické a přírodní oleje se používají v silnoproudé elektrotechnice nejen jako chladicí a izolační médium v transformátorech, ale i jako složka při výrobě kabelů a kondenzátorů. Minerální izolační oleje jsou produkty vyráběné rafinací z ropy. Tyto oleje obvykle mají vyšší viskozitu, vyšší odolnost vůči oxidaci, vysoký bod vzplanutí, vysoký bod tuhnutí. Velkým impulzem pro používání minerálních olejů jako dielektrika a chladicího média v transformátorech (bez ohledu na nízkou cenu) byly jejich výborné reologické, dielektrické a fyzikálně-chemické vlastnosti (relativní permitivita, ztrátové číslo, elektrická vodivost a vysoká hodnota elektrického pevnosti, nízká hodnota teploty tuhnutí, vysoká teplota vzplanutí). Vzhledem k narůstajícím nárokům na ekologický provoz a biologickou odbouratelnost kapalných médií transformátorů během jejich života i po něm je nutné nalézt vhodné alternativní přírodní oleje. Tyto oleje musí mít vhodné a stálé dielektrické parametry nejlépe beze změn nebo s minimálními dlouhodobými změnami parametrů, které ovlivňuje teplota, elektrické namáhání a stárnutí olejů s ohledem na čas a rychlost zhoršení požadovaných parametrů. Při použití přírodních nebo syntetických alternativ za minerální

oleje musí být bráno v úvahu, že přírodní oleje mají vyšší hustotu a jiné elektroizolační vlastnosti při různých teplotách, které ovlivňují velikost viskozity.

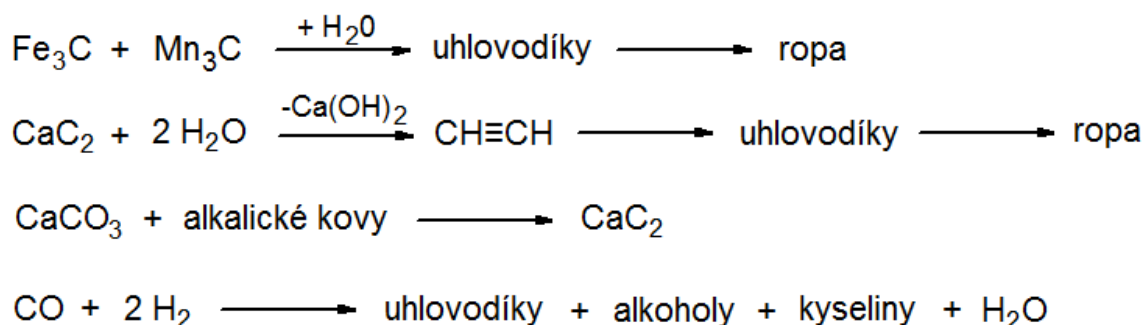
Potřebným požadavkům vyhovují přírodní oleje (např. z řepky olejné, slunečnice, lnu, oliv, sóji aj.), především methylestery či etylestery mastných kyselin, někdy i jejich triglyceridy, eventuálně i jejich synteticky vyráběné analogy. Přírodní oleje byly dříve považovány za nevhodné, zejména vzhledem k jejich nízké oxidační stabilitě, vysokému bodu tuhnutí a nízké teplotě vzplanutí oproti minerálním olejům. Proto je vhodné z nich vybrat ten nejvhodnější pro dané prostředí (klimatické pásmo, pracovní prostředí, systém cirkulace v transformátoru, apod.). Oleje vyráběné z olejnatých semen se skládají z triglyceridů. Triglycerid je molekula glycerolu spojená vazbami se třemi molekulami mastných kyselin. S výrobou olejů souvisí proces transesterifikace, jenž je popsán v podkapitole 2.3.5. Tento proces ovlivňuje i způsob výroby oleje, který také ovlivňuje vlastnosti produktů vzniklých z tohoto procesu, např. methylesterů, které jsou v této práci zkoumány.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Minerální oleje

2.1.1 Výroba a původ minerálních olejů

Minerální oleje jsou vyráběny z ropy, která se získává z podzemních nalezišť. V starších publikacích a geologii se vyskytuje pojmenování stejného produktu pod názvem nafta. Teorie vzniku ropy je popisována především dvěma teoriemi a to: anorganickou a organickou. Dle anorganické teorie ropa vznikla z anorganických sloučenin, např. reakcí vody s karbidy některých kovů (reakce na obr. 2.1: první chemická reakce na obrázku) anebo rozkladem karbidu vápenatého pomocí acetylenu (obr. 2.1: druhý řádek chemického popisu možné reakce vzniku ropy). Karbidy kovů potřebných pro tuto reakci mohou vznikat působením alkalických kovů, mezi které patří: lithium, sodík, draslík atd. Organická teorie vzniku ropy (termogenní rozklad organické hmoty, tj. zbytky rostlin a živočichů) je podpořena argumenty, že se ropa nachází v sedimentárních horninách a do nich se sekundárně mohla dostat migrací. Tuto teorii dále podporuje fakt, že v ropě jsou přítomné sloučeniny, které se podobají sloučeninám vyskytujících se v mikroorganismech a jsou strukturou podobné chlorofylu. V některých ložiscích ropy lze najít fosilní zbytky mikroorganismů [3].



Obr. 2.1 Anorganické reakce pro anorganickou teorii vzniku ropy [3]

Zásoby ropy a jejich množství je ovlivňováno aktuálním množstvím v zásobnících těžařských a rafinérských společností. Množství zásob také ovlivňují nově objevená ložiska na dnech oceánů. Celkové množství ropy popisuje aktuálně všechny používaná a nová ložiska. K datu 8. srpna 2015 je odhadovaný objem zásob ropy dle serveru ropa.cz 1,65 bilionu barelů. Jeden barel má objem přibližně 159 l. K tomuto datu jsou největší ložiska na světě v těchto státech (uvedeno v pořadí od největšího naleziště): 1) Venezuela – 48,7 bilionů litrů (306,3 miliard barelů); 2) Saúdská Arábie – 43,9 bilionů litrů (276 miliard barelů); 3) Kanada – 28,3 bilionů litrů (178 miliard barelů); 4) Írán – 25,7 bilionů litrů (161,6 miliard barelů); 5) Kuvajt – 17 bilionů litrů (106,9 miliard barelů); 6) Spojené arabské emiráty – 16 bilionů litrů (100,6 miliard barelů); 7) Rusko – 13,1 bilionů litrů (82,4 miliard barelů); 8) Libye – 7,9 bilionů litrů (49,7 miliard barelů) a 9) Nigérie – 6,1 bilionů litrů (38 miliard barelů) [4].

Po roce 2015 jsou čísla o množství zásob nejednoznačná a neexistují spolehlivé a dobře ověřitelné údaje. Nejčastější příčinou je mlžení ropných velmocí o množství jejich zásob a objevují se nová naleziště. Těžařské společnosti také kvůli akcionářům své zásoby nadhodnocují, protože hledání nových vrtů je finančně náročné. K červenci 2019 stále platí, že největší světová naleziště jsou ve Venezuele, kdy měla Venezuela přibližně 18 tisíc ropných vrtů. Mezi další státy s největšími nalezišti patří Saudská Arábie, Kanada, Írán, Irák a Kuvajt. Organizace zemí vyvážejících ropu OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) zahrnuje 14 států, které pokrývají tři čtvrtiny světových nalezišť. Pro celosvětový ropný zlom a budoucnost těžby lze použít jednu z nejznámějších teorií, a to Hubbertovu teorii ropného zlomu. Podle této teorie nastane pokles těžby ropy v okamžiku, kdy bude vyčerpána přibližně polovina světových zásob. Důsledkem toho bude prudký nárůst cen ropy, který poté ovlivní i cenu zemního plynu. Zvýšení ceny ovlivní i další výrobky mimo olejů, které se také vyrábějí z ropy. Mezi tyto výrobky patří: plasty, kosmetika, hnojiva, oblečení i léky. Tvůrce Hubbertovy teorie zohlednil způsob a ekonomičnost těžby ropy. Po objevu ložiska na počátku těžba expanduje a ropu lze čerpat levněji (pokud sama netryská na povrch) a objem vytěženého množství suroviny exponenciálně roste. Později se podmínky těžby zhoršují a používají se sekundární metody dobývání (mapování ložisek, postranní vrty, atd.) a tím zvyšují náklady na těžbu a těžba zpomaluje. Poté následuje sestupná fáze, kdy se zhoršuje parametr poměru těžby za jednotku času. Vědec Malthus a někteří vědci upozorňovali, že objeví-li se exponenciální křivka v přírodě, tak je něco v nepořádku [4]. Křivka je ovlivněna rostoucí lidskou populací menou výskytem epidemie nakažlivého viru (např. Covid v roce 2020), kdy se kvůli práci z domova snižuje spotřeba pohonných hmot a společnosti, jež ji prodávají a distribuují, mají menší odbyt. Kvůli Covid-19 se organizace OPEC s dalšími světovými těžaři (především Rusko) nazvanými jako skupina OPEC+ dohodly na období květen-červen 2020 snížit denní těžbu o 9,7 milionů barelů z důvodu snížené poptávky.

2.1.2 Ropa v České republice

Tradice těžby ropy u nás sahá ještě do éry našeho státu, kdy byl ještě sloučen se Slovenskem, tedy přesněji do poloviny 19. století, kdy byla ropa na severozápadním Slovensku těžena z ručně kopaných studní (jám) s hloubkou řádově několik metrů. Takto těžená ropa byla používána především lékárníky (výroba léků) a řemeslníky (mazadla, impregnace kůží, apod.). Éra průmyslové těžby nastala až v roce 1913 u obce Gbely po výbuchu zemního plynu; poté vznikl na tomto místě průzkumný vrt, díky němuž byla v hloubce 160 m objevena lehká ropa (s výtěžností 1,5 tuny ropy denně). Z těchto příčin poté vzniklo na jižní Moravě přes 2000 průzkumných vrtů. Další místa v ČR, kde lze zásoby ropy objevit, jsou na severní Moravě (Jeseníky, Beskydy a Ostravsko). Bohužel jsou zásoby na našem území velmi malé, a proto není ropa těžena ve velkém měřítku. Ropa na našem území je obvykle kvalitní s nízkým obsahem síry (od 0,1 do 0,3 % hm.) a kovů (nikl a vanad). Přes malé množství ropných zásob byl vyhlouben v roce 2001 horizontální vrt Dambořice na Hodonínsku, který má produktivitu 140 m³ ropy denně, a k roku 2006 byl prokazatelně nejproduktivnějším vrtem v ČR. Okolo roku 2006 bylo objeveno další ložisko s odhadovanými zásobami okolo 3,2 milionů m³ a stalo se druhým největším v ČR. V roce

2017 se podařilo společnosti MND a.s. najít veliké ložisko mezi Kobeřicemi u Brna a Uhřetovicemi obsahující 3 miliony barelů ropy a 100 milionů m³ plynu [3].

2.2 Syntetické oleje

Syntetické oleje se vyrábí více způsoby a je jich velké množství na trhu. Mezi výhody tohoto typu oleje patří jejich nehořlavost a dobré elektrické vlastnosti. Základní rozdělení dle způsobu, jak vznikají [5] [6]:

- Chlorované uhlovodíky – jsou deriváty benzenu a difenylu. Lze je vyrobit nahrazením atomu vodíku atomem chloru v molekule uhlovodíku. Elektroizolační vlastnosti této skupiny lze měnit chlorováním. Jejich výhodou je nehořlavost, ale nevýhodou, že jsou škodlivé pro lidské zdraví a životní prostředí, a proto se přestaly tak hojně používat.
- Polybutyleny – vyrábějí se polymerací nenasycených uhlovodíků. V základu jsou směsí polymerů butenu a jsou nepolárními dielektriky. Jejich výhodou jsou vynikající elektroizolační vlastnosti a stabilita při vysokých teplotách, oxidační stabilita a odolnost vůči záření. Nejčastěji se používají k impregnování svitkových kondenzátorů a také jako izolační kapalina u transformátorů.
- Fluorované sloučeniny – jsou deriváty uhlovodíků, aminů a esterů, přičemž jsou atomy vodíku nahrazovány fluorem. Přes jejich nesporné výhody (dobré elektroizolační vlastnosti, teplotní stabilitu do teplot přibližně 500 °C) mají i limitující nevýhody pro jejich použití, jako např. za určitých podmínek (vlhkost, elektrický výboj) mohou vytvářet kyseliny s obsahem fluoru, které poté poškozují izolovaný systém a také povrch kovů. Fluor je toxický, ale až při velmi vysokých teplotách, kdy se vypařuje. Přesto se tato skupina používá v oblasti transformátorů a výkonových spínačů pro jeho dobré zhasací účinky.
- Silikonové kapaliny – jsou organokřemičitými makromolekulárními sloučeninami, které obsahují organický radikál, který má nejčastěji podobu ethylové, methylové nebo fenylové skupiny. Výhodou této skupiny jsou dobré elektroizolační vlastnosti, nehořlavost a teplotní stabilita parametrů ve velkém rozsahu teplot. Oproti minerálním olejům nepodléhají oxidaci a mají nízký bod tuhnutí. Dalšími výhodami je, že nejsou hrozbou pro životní prostředí a nejsou agresivní pro běžně používané izolační materiály. Nevýhodou těchto silikonových kapalin je nasákavost (absorpce) vlhkosti a horší mazivost.
- Organické estery – jsou vyráběny chemickou syntézou. Jejich výhodou je vysoký bod vzplanutí a nízká hodnota ztrátového činitele, která je žádoucí např. u kondenzátorů při vysokých frekvencích. Dnes se běžně používají jako náhrada za minerální olej. Pro tuto skupinu jsou v poslední době typické tyto produkty jako MIDEL 7131 a ARAL 4569. Nevýhodou těchto esterů je vyšší viskozita, která zhoršuje cirkulaci oleje v transformátoru, a důsledkem toho je hůře odváděno teplo z exponovaných míst; a proto je nutné brát tyto důsledky

v patrnost při návrhu transformátoru a při uvažovaném použití tohoto typu oleje.

- Organické estery na přírodní bázi – tato skupina není ještě příliš rozšířena, jelikož se jedná o skupinu novou, kterou lze zařadit i jako podskupinu do předchozí skupiny. Tato skupina se snaží vyřešit nestabilní vlastnosti některých rostlinných olejů. Cílem zkoumání je především dosáhnout vyšší termicko-oxidační stability. Nově jsou na trhu oleje patřící do této skupiny: MIDEL eN 1204 (přírodní ester vytvořený z řepkového oleje) a MIDEL eN 1215 (přírodní ester vytvořený ze sójového oleje).

2.3 *Přírodní oleje, mastné kyseliny a biologicky rozložitelné oleje*

2.3.1 Množství pěstovaných olejnin, mezinárodní trh a světová bilance

O množství a výtěžnosti olejnin, jejich cenách, vývozu a dovozu olejnin do ČR a situaci ve světě lze získat informace ze Situační a výhledové zprávy – olejnin, a je dostupná na Ministerstvu zemědělství nebo na www.eagri.cz. U prodeje, nákupu a sledování množství vypěstovaných olejnin se pro výpočty a nakládání s nimi používá termín marketingový rok, který začíná 1.7. a končí následující rok k 30.6. Dle údajů Ministerstva zemědělství USA (USDA - United States Department of Agriculture) dosáhla světová produkce nejsledovanějších olejnin v marketingovém roce 2017/18 výnosu 575,4 milionů tun. Z této produkce bylo vyrobeno 198 milionů tun rostlinných olejů a 330,6 milionů tun pokrutin s šrotů. Mezi nejsledovanější a nejvíce pěstované olejnininy patří z dlouhodobého hlediska řepka, slunečnice, sója, semeno bavlníku, podzemnice olejná, palmová jádra a kopra (usušená dužina kokosu). Pro další marketingový rok 2018/19 byl v prosinci 2018 odhad produkce 600,5 milionů tun [7].

2.3.2 Množství MK v řepkových a slunečnicových olejích pěstovaných v ČR

Řepka olejka (*Brassica napus*) je nejvíce pěstovanou olejninou v ČR. Mezi nejvýznamnější odrůdy řepky u nás pěstovaných patří těchto 26 odrůd řepky ozimé: Artus, Aviso, Baldur, Banjo, Baros, California, Caracas, Catonic, Digger, Dubai, Executive, Extra, Jesper, Labrado, Laser, Liprima, Lisek, Manitoba, Navajo, Oponent, Siska, Slogan, Smart, Vectra, Viking a Winner. Tyto odrůdy byly zkoumány v práci [2] a s porovnáním a studiem jejich vlastností z dvou geograficky rozdílných pěstebních lokalit (lokalita Hněvčevy a lokalita Opava). Druhou nejvíce pěstovanou olejninou v ČR je slunečnice roční (*Helianthus annuus*). Pro porovnání kvality a kvantity složek MK v slunečnicovém oleji bylo vybráno těchto 24 odrůd slunečnice: Alexandra, Alisson, Allium, Barolo RM, Belem M, ES Balla, ES Lolita, Gen 2000, Heliaroc, Jolly, Kongo, Labud, Melody, NK Brio, Opera, Orasole, Oxana, Parma, Pegasol, Pomar RM, PR 64A63, PR 64H61, PRG3A82 a Telila. Analýzou těchto odrůd slunečnicového oleje byla zjištěna kvalita a kvantita výskytu MK [2].

Tab. 1 Rozmezí množství MK v řepkových olejích z lokality Hněvčeves [2]

kyselina	od	do	průměr
palmitová	4,966 g	3,803 g	4,333 g
stearová	1,994 g	1,305 g	1,664 g
olejová/elaidová	68,593 g	55,658 g	63,462 g
linolová/linolelaidová	22,343 g	14,395 g	17,511 g
α linolenová	8,924 g	5,775 g	6,939 g
eruková	0,060 g	0,010 g	0,018 g

Tab. 2 Rozmezí množství MK v slunečnicových olejích [2]

kyselina	od	do	průměr
palmitová	5,457 g	3,126 g	4,777 g
stearová	4,925 g	2,227 g	3,619 g
olejová/elaidová	74,213 g	19,027 g	28,623 g
linolová/linolelaidová	61,198 g	11,234 g	50,455 g
α linolenová	0,098 g	0,052 g	0,078 g
eruková	0,000 g	0,000 g	0,000 g

2.3.3 Výroba přírodních olejů

Přírodní olej lze získat ze semen (slunečnice, řepka, aj.), bobů (sója), dužin plodů (avokádo, olivy), merikarpu (tj. oplodí – např. palma olejná) a v poslední době i z klíčků semen. O metodě získání oleje z olejnaté „části“ rostliny rozhoduje obsah oleje: je-li menší než 25 %, volí se místo lisování metoda extrakce. O ceně výsledného oleje rozhoduje, jak obtížné je olej z rostlin získat. Před samotným zpracováním olejnin na olej je nutné např. semena zbavit nečistot, odslupekovat (bez slupek je vyšší výtěžnost oleje z olejnin), vysušit, vyloupat (pomocí různých vibračních sít, pásů, magnetů, apod.). Rostlinná semena jsou hygroskopická (pohlcují vodu z okolního prostředí), a proto se kontrolovaně dosušují např. v silech s regulovanou teplotou, tím dojde k odpařování vlhkosti. Kontroly vlhkosti semen jsou potřeba, protože vysoký obsah vody v semenech způsobuje zapaření semen, jejich zuhelnatění, karamelizaci a znehodnocení kvality semen. Často se olejninu zpracovávají v místě produkce v suroárnách (tj. ve střediscích pro zpracování olejnatých semen, někdy označenými jako rafinérie). Pro vyšší výtěžnost oleje se nejdříve semena dezintegrují

(rozemelou) a poté klimatizují (rozemletá semena jsou kontrolovaně nahřívána) při teplotě 45 – 85 °C. Takto upravená semena lze dále lisovat a vyrobit z nich surový lisovaný olej. Zpracováním výlisků můžeme vyrobit surový extrahovaný olej. Zbytky z extrahovaného oleje a lisování lze použít a zpracovat na šrot. Metodu lisování nebo extrakce lze použít samostatně nebo zkombinovat a použít obě metody. U olejnin s nízkým obsahem olejnaté složky se používá přímo extrakce s použitím rozpouštědla. Metodu extrakce lze použít i pro semena s vyšším obsahem olejnaté složky po dvojnásobném lisování nebo předlisování s následnou extrakcí. Olejninu je možné i zpracovat procesem zvaným rafinace, kdy se provádí separace nežádoucích složek, mezi které patří např. anorganické látky, sacharidy, bílkoviny, fosfolipidy, volné mastné kyseliny, pesticidy a jiné nežádoucí příměsy, které lze z oleje odstranit [8] [9] [10].

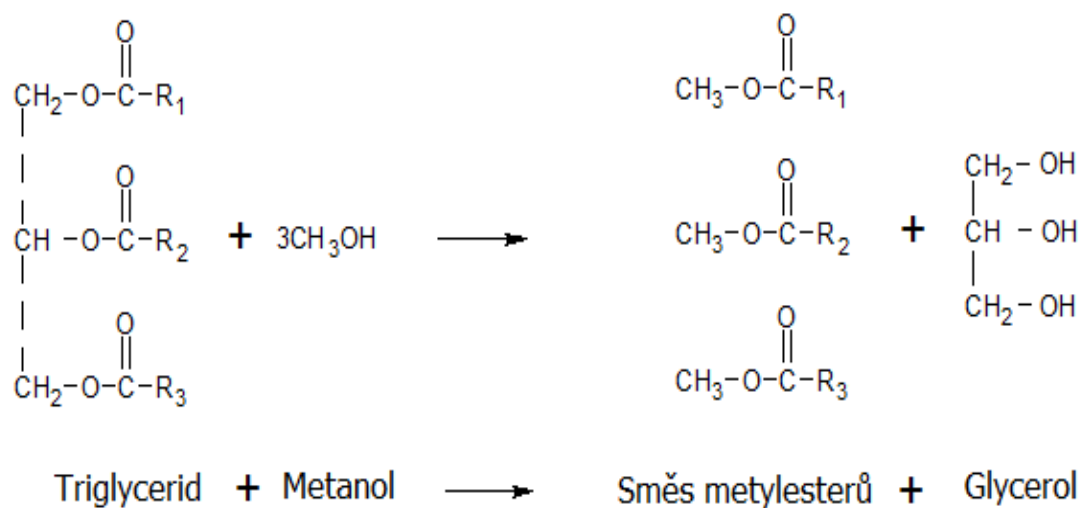
2.3.4 Biologicky rozložitelné oleje

Biologicky rozložitelné jsou všechny oleje, i ty minerální, ale ty mají výrazně delší dobu rozložitelnosti. Tato biologická rozložitelnost je způsobována destrukcí organické hmoty působením mikroorganismů, kdy výsledný produktem je voda, biomasa a CO₂. V důsledku tohoto rozpadu pak oleje (maziva) samovolně mizí z půdy, vody a ovzduší ve své původní podobě. Nejčastěji se používá test, který zkoumá po dobu 21 dní rychlost rozkladu pomocí mikroorganismů, vody a živné soli, a zkoumají se zbytky nerozložitelného oleje. Dle tohoto testu se oleje dělí do tří stupňů rychlosti rozkladu. Nejpomaleji se biologicky rozkládají minerální a bílé (minerální olej vysoce čištěný získaný při zpracování ropy – čirý medicínální olej) oleje, jelikož se rozloží z méně než z 60 %. Rychleji se biologicky rozloží z 60 – 80 % některé estery a polyglykoly. Nejrychleji a nejvíce se z více než 80 % rozkládají rostlinné oleje, některé syntetické estery a polyglykoly. Syntetické oleje mají dobrou tepelnou a oxidační stabilitu, ale jsou náchylnější k hydrolýze (přesto méně než přírodní oleje) a jsou 2x až 3x dražší než minerální oleje, přesto lze pro kompenzaci využít jejich delší životnosti [11].

2.3.5 Mastné kyseliny (MK) a transesterifikace

Mastné kyseliny (MK) jsou hlavní stavební složkou olejů a tuků. Tyto kyseliny jsou organickou sloučeninou obsahující ve své molekule funkční karboxylovou skupinu – COOH. Rozdíly mezi MK jsou tvořeny rozdílem v délce a charakteru uhlíkového řetězce. Rozlišujeme dva druhy mastných kyselin dle počtu atomů uhlíku ve struktuře řetězce. Obsahuje-li řetězec 4 – 10 atomů uhlíku, jedná se o nižší mastné kyseliny; má-li 10 a více atomů uhlíku, jedná se o vyšší mastné kyseliny. V rostlinných olejích vyráběných z olejnatých semen pěstovaných v přírodě se v chemické struktuře vyskytují triglyceridy. V technicky vyráběných přírodních olejích se používají methylestery a monoetylestery, které mají vůči triglyceridům nižší viskozitu. Oleje je nutné přelévát např. do a z transformátorů, a proto se triglyceridy převádějí na methylestery a etylestery při procesu nazývaném transesterifikace. Transesterifikační proces je reakce, která umožní reakci alkoholu s triglyceridem (olejem). Je-li přítomen katalyzátor (látko vstupující do chemické reakce, která je na výstupu nezměněná) v molárním poměru 3:1 (methanol : triglyceridu při

výtěžku 3 moly methylesteru a 1 mol glycerolu), pak je spuštěna reakce se vznikem esterů kyselin a glycerolu, viz obr. 2.6.. [12] [13].



Obr. 2.2 Schéma reakcí při transesterifikaci triglyceridů methanolem

3 CÍLE

Cílem disertační práce je experimentálně zjistit a ověřit požadované především dielektrické a fyzikálně-chemické vlastnosti přírodních olejů a jejich složek. Později byly zkoumány i další důležité vlastnosti (vysoká rezistivita, vysoká elektrická pevnost, oxidační stabilita, požadovaná viskozita a hustota) vhodných olejů použitelných jako alternativní dielektrické kapaliny s dobrou environmentální kompatibilitou a dostatečnou biologickou odbouratelností. Předpokladem, který bude ověřován, je, že by měly vyhovovat především rostlinné oleje vyráběné z dostupných komerčně pěstovaných plodin a také metylestery, etylestery, triglyceridy, popřípadě i některé synteticky vyráběné analogy nebo i některé dostupné přírodní oleje.

Zpracování tématu začalo výběrem dvou běžně dostupných slunečnicových olejů a dvou dobře biologicky odbouratelných průmyslových olejů (Ekolube CUT 80 P, Mogul Alfa Bio 68). Na to navázalo studium obvyklých přírodních olejů, v nich zastoupených mastných kyselin i rozdílů mezi různými poměry nenasycených a nasycených mastných kyselin s vlivem na stabilitu klíčových parametrů. Pro zkoumání klíčových mastných kyselin a jejich chemicky co nejčistších metylesterů byly použity vzorky od firmy Sigma Aldrich, která je standardním dodavatelem produktů pro biochemii, analytickou chemii a chromatografii s čistotou minimálně 96 %. První měření dielektrických parametrů proběhlo na přístroji Agilent E4284A pomocí vlastnoručně zpracovaného programu pro automatické měření v programovém prostředí Agilent VEE Pro.

Při dalším měření byly studovány další vzorky olejů (sójový, palmový a slunečnicový olej). Pro další práce v širším frekvenčním intervalu byl vybrán novější typ RLC metru, analyzátor Alpha-A High Performance Frequency Analyzer od firmy Novocontrol. Měření některých veličin bylo provedeno v programu WinDeta od výrobce, pro větší potenciál a možnosti měřicího pracoviště bylo provedeno automatizování měřicího pracoviště laboratoře dielektrické relaxační spektroskopie Ústavu fyziky FEKT VUT v Brně pomocí programu LabView. Po automatizování proběhly další modifikace potenciálu pracoviště pro možnost měřit parametry v héliovém kryostatu Janis.

Pro ověření výskytu a množství složek přírodních olejů zkoumaných vzorků proběhla pro ukázkou diagnostika na IČ spektrometru pro přírodní oleje i jejich složky.

Přínos práce spočívá ve stanovení vhodného alternativního oleje nebo jeho analogu jako alternativy minerálních olejů nebo jiných hůře ekologicky odbouratelných olejů pro elektrotechnické účely s ohledem na chemické složení. Práce se zaměřuje nejen na oleje typické pro ČR, ale i na rostlinné oleje typické spíše pro zahraničí (palmový, olivový, atd.).

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

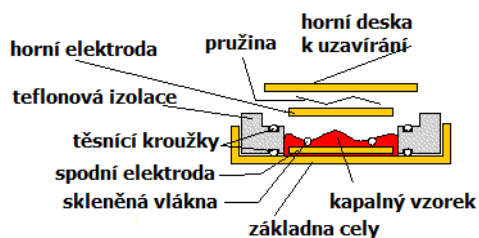
4.1 Měřicí pracoviště s elektrodovým systémem BDS 1308

Jakmile byl k dispozici elektrodový systém od Novocontrolu s označením BDS 1308, bylo možné měřit experimentální data v héliovém kryostatu Janis. Ke kontaktování elektrod měřící cely (elektrodového systému) viz. obr. 4.1 bylo použito jednosložkové bezolovnaté elektrovedivé lepidlo Wire Glue. Měření bylo prováděno čtyřvodičově. Kontaktována pomocí lepidla byla spodní elektroda (základní cely) a horní elektroda (horní deska k uzavírání). Elektrovedivé lepidlo má výhody: trvanlivost, odolné klimatickým změnám, odolné vůči olejům a kontaktovací (aplikační) teplotu, která je od $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výběr tohoto lepidla byl zvolen především pro krátkodobou provozní teplotu $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ (244 K) do $+93\text{ }^{\circ}\text{C}$ (366 K), jelikož měřicí interval teplot, při kterých byly vzorky olejů zkoumány, byl 253 K až 363 K.

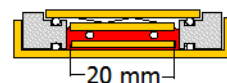


a)

Otevřená měřící cely:



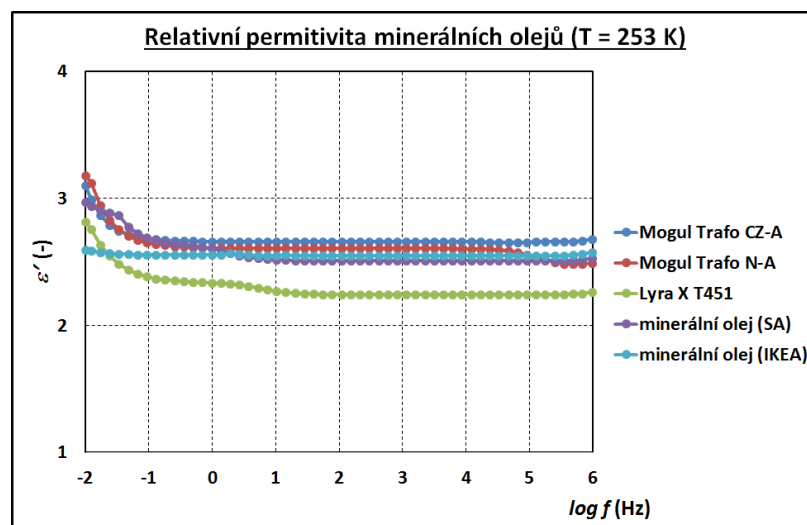
Uzavřená měřící cely:



b)

Obr. 4.1 a) Experimentální pracoviště s elektrodovým systémem pro měření pevných vzorků při pokojové teplotě, b) měřící cely pro kapalně materiály BDS 1308 [15]

4.1.1 Výsledky měření relativní permitivity minerálních olejů

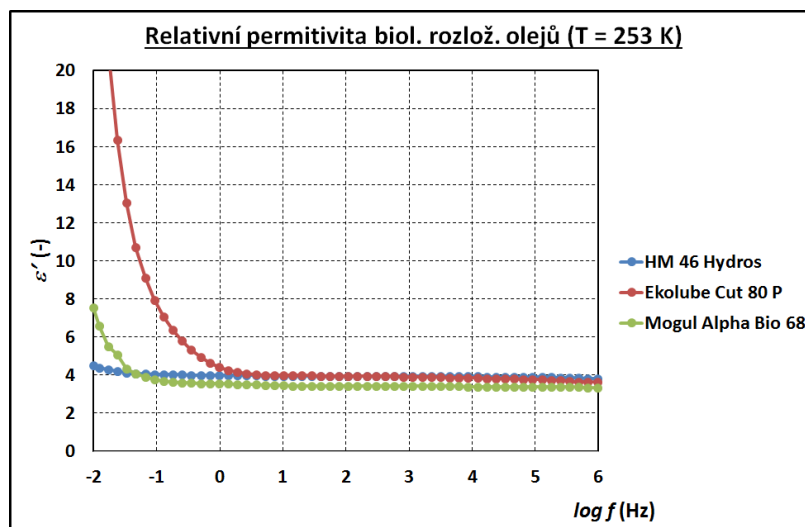


Obr. 4.2 Závislost $\varepsilon' = f(f)$ u minerálních olejů při $T = 253\text{ K}$

V této podkapitole jsou zobrazeny frekvenční závislosti pěti vybraných minerálních olejů při teplotách 253, 273 a 363 K. Při teplotě 253 K (obr. 4.2) se nejvíce liší olej Nynas Lyra x T451 s nejnižší hodnotou relativní permitivity $\varepsilon' = 2,24$ při $f = 10$ kHz. Hodnoty pro další oleje (při $f = 10$ kHz) mají tuto velikost: minerální olej (SA) $\varepsilon' = 2,51$; minerální olej (IKEA) $\varepsilon' = 2,55$; neinhibitorovaný Mogul Trafo N-A $\varepsilon' = 2,60$ a inhibitorovaný olej stejného výrobce tj. Mogul Trafo CZ-A $\varepsilon' = 2,66$.

4.1.2 Výsledky měření relativní permitivity biologicky rozložitelných olejů

Tato kapitola zobrazuje dielektrické parametry tří vybraných biologicky rozložitelných olejů při teplotách 253, 273 a 363 K. Při první teplotě měly vzorky tuto velikost permitivity při $f = 10$ kHz: Mogul Alpha Bio 68 $\varepsilon' = 3,41$; Ekolube Cut 80 P $\varepsilon' = 3,85$ a Hydros 46 $\varepsilon' = 3,93$. Tyto hodnoty jsou vyšší o cca 0,8 oproti minerálním olejům Mogul (obr. 4.2). Permitivita těchto biologicky rozložitelných olejů je vyšší především u vzorku Ekolube Cut 80 P (obr. 4.3) při frekvencích od 10 mHz do 1 Hz nejen oproti zbylým dvěma biologicky rozložitelným olejům, ale také oproti všem zkoumaným minerálním olejům, které při nízkých frekvencích měly minimální změnu relativní permitivity.

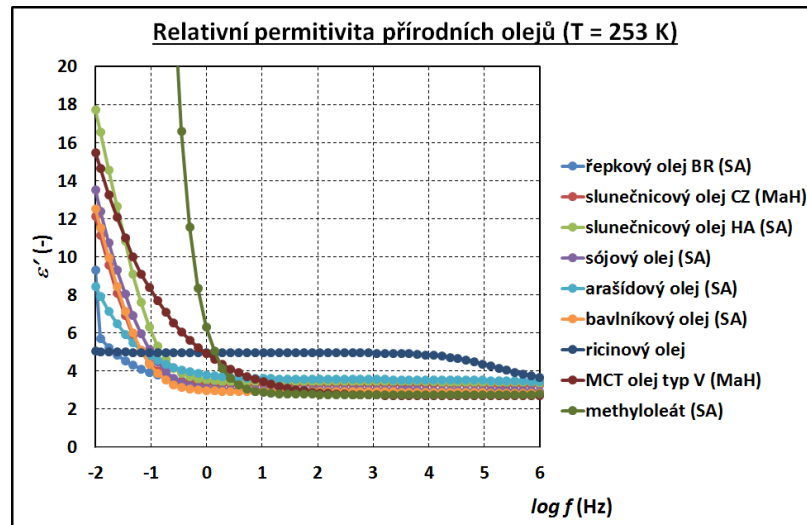


Obr. 4.3 Závislost $\varepsilon' = f(f)$ u biol. rozlož. olejů při $T = 253$ K

4.1.3 Výsledky měření relativní permitivity přírodních olejů

Relativní permitivita byla také měřena u šesti přírodních olejů a jednoho methylesteru kyseliny olejové (methyl oleát). Při nejnižší teplotě $T = 253$ K působící na zkoumané oleje (obr. 4.4) se projevila jejich vyšší relativní permitivita oproti minerálním olejům (obr. 4.2), ale menší nebo přibližně stejná jak u biologicky rozložitelných olejů (obr. 4.3). U přírodních olejů se při nižších frekvencích zvýší hodnoty relativní permitivity (nejvíce u methyl oleátu). Toto zvýšení se u porovnávaných minerálních olejů v kap. 4.1.1 projevilo minimálně. Nejmenší změny relativní permitivity se i při nízkých teplotách projevili u vzorku ricinového oleje, i když měl nejvyšší hodnotu relativní permitivity. Hodnoty relativní permitivity při frekvenci 10 kHz byly u vzorků přírodních olejů tyto: MCT olej typ V (MaH) $\varepsilon' = 2,74$; methyl oleát (SA) $\varepsilon' = 2,79$; bavlníkový olej (SA) $\varepsilon' = 2,92$; sójový

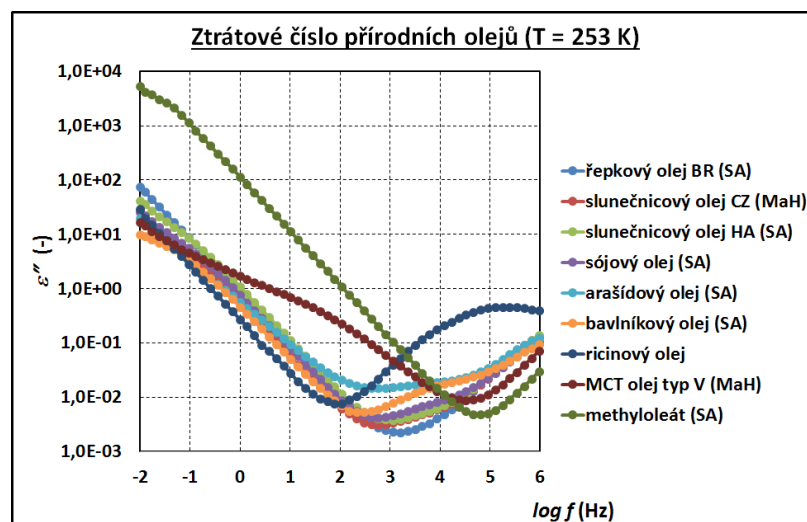
olej LCTL (SA) $\varepsilon' = 3,02$; slunečnicový olej CZ (MaH) $\varepsilon' = 3,33$; řepkový olej BR (SA) $\varepsilon' = 3,39$; slunečnicový olej HA (SA) $\varepsilon' = 3,45$; arašídový olej (SA) $\varepsilon' = 3,56$ a ricinový olej $\varepsilon' = 4,84$.



Obr. 4.4 Závislost $\varepsilon' = f(f)$ u přírodních olejů při $T = 253\text{ K}$

4.1.4 Výsledky měření ztrátového čísla přírodních olejů

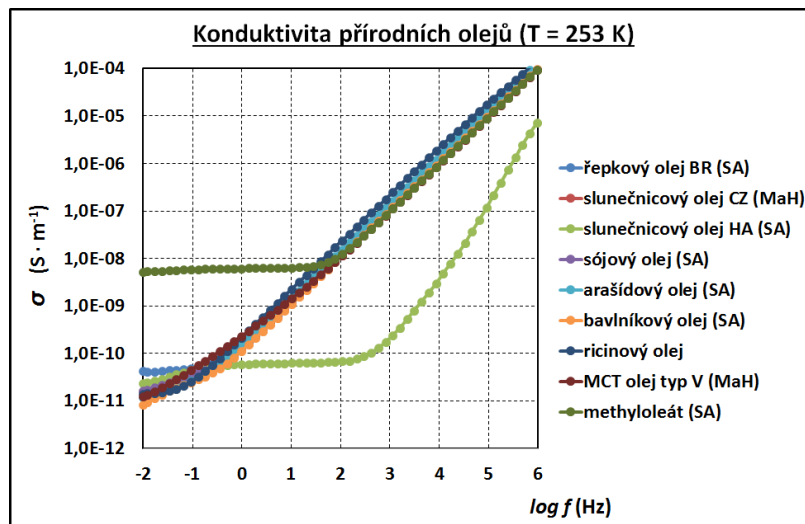
Ztrátové číslo vzorků přírodních olejů měřené při nejnižší teplotě $T = 253\text{ K}$ (obr. 4.5) mělo hodnoty podobné jako u minerálních olejů, a tudíž nižší než u biologicky rozložitelných olejů. Jedna z odlišností bylo relaxační maximum u MCT oleje typu V (MaH) při frekvenci cca 50 Hz a u ricinového oleje při frekvenci cca 250 kHz. Hodnoty ztrátového čísla při frekvenci 10 mHz byly u všech vzorků mimo jednoho v intervalu hodnot od 14 až 76. Jediný vzorek, který se nejvíce lišil, byl methyl oleát (SA) s hodnotou $\varepsilon'' = 5\,370$.



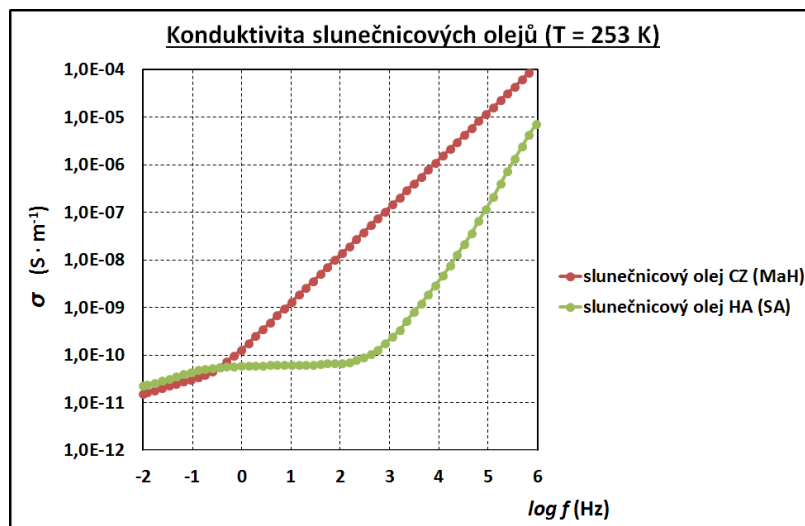
Obr. 4.5 Závislost $\varepsilon'' = f(f)$ u přírodních olejů při $T = 253\text{ K}$

4.1.5 Výsledky měření konduktivity přírodních olejů a dvou slunečnicových olejů

Na obr. 4.6 lze vidět, že methyl oleát má nejvyšší konduktivitu ($5,21 \cdot 10^{-9} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$) při nízkých frekvencích až do frekvence 80 Hz, poté hodnoty lineárně rostou v přibližně ve stejných hodnotách jako ostatní přírodní oleje mimo slunečnicového oleje HA (SA). V grafu je znázorněn rozdíl mezi hodnotami dvou různých slunečnicových olejů a to: slunečnicový olej CZ (MaH) a slunečnicový olej HA (SA). První slunečnicový olej se průběhem a velikostí hodnot blíží ostatním olejům (mimo methyloléátu) a druhý má prudký lineární nárůst velikosti konduktivity až při frekvenci 1100 Hz (oproti 1 Hz vzorku HA).



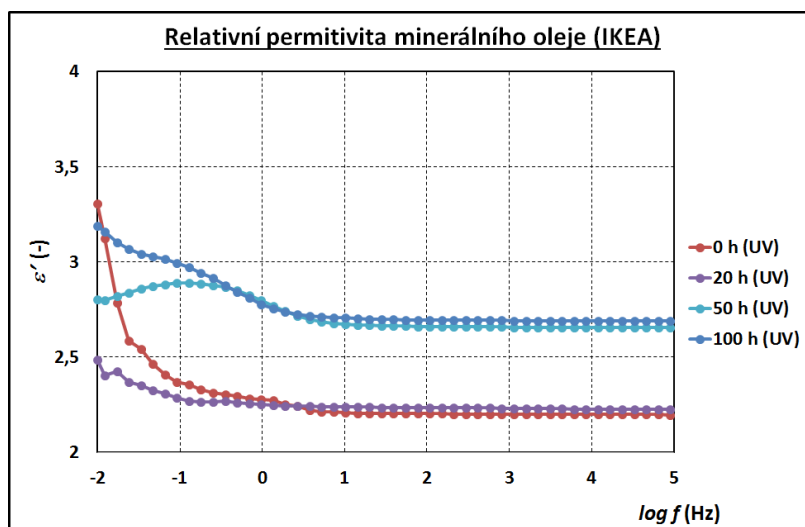
Obr. 4.6 Závislost $\sigma = f(f)$ u přírodních olejů při $T = 253 \text{ K}$



Obr. 4.7 Závislost $\sigma = f(f)$ dvou slunečnicových olejů při $T = 253 \text{ K}$

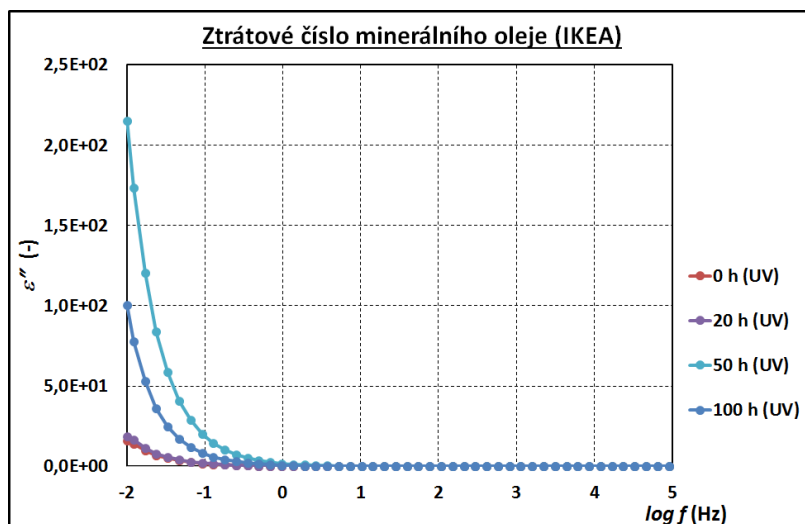
4.1.6 Výsledky změn DRS parametrů minerálního oleje při stárnutí UV zářením: 0, 20, 50 a 100 h

Pro zjištění změn dielektrických parametrů byly zvoleny doby vystavení oleje UV stárnutí s časy 0 (bez stárnutí), 20, 50 a 100 h viz obr. 4.8. První vzorek byl minerální olej (IKEA). Pro stárnutí 0 a 20 h se hodnoty permitivity lišily jen o + 0,03 (při frekvenci 1,1 kHz). Pro stárnutí 50 se hodnota relativní permitivity výrazně zvýšila o + 0,43. Další hodnota stárnutí při 100 h vzrostla minimálně o + 0,03.



Obr. 4.8 Závislost $\varepsilon' = f(f)$ u minerálního oleje (IKEA) při různé době stárnutí

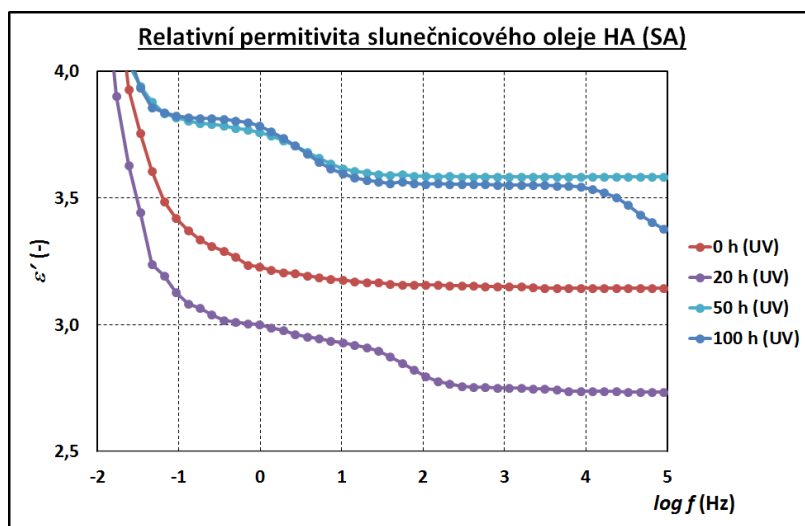
Hodnoty ztrátového čísla se pro stárnutí pro 0 a 20 h zvýšila z hodnoty 16,2 na 18,8 (při frekvenci 10 mHz). Pro další dobu stárnutí (50 h) byla hodnota výrazně větší a to 215. Pro nejdelší dobu stárnutí 100 h se hodnoty ztrát snížily na 100 viz. obr. 4.9.



Obr. 4.9 Závislost $\varepsilon'' = f(f)$ u minerálního oleje (IKEA) při různé době stárnutí

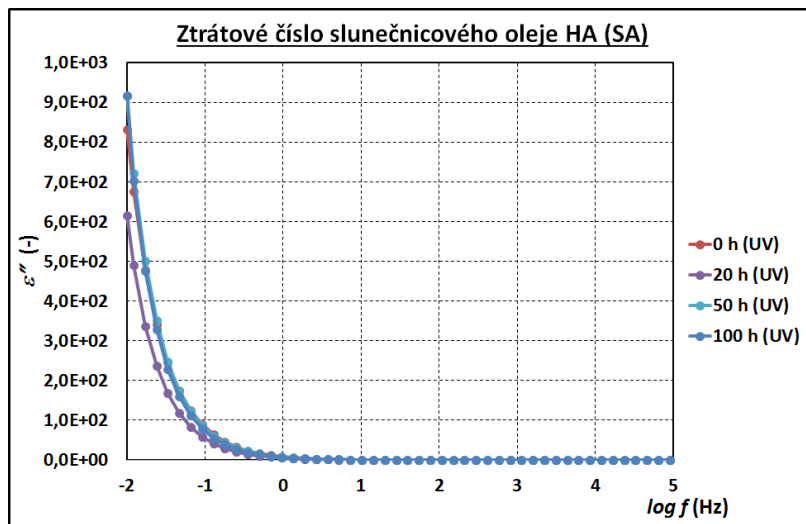
4.1.7 Výsledky změn DRS parametrů slunečnicového oleje HA (SA) při stárnutí UV zářením: 0, 20, 50 a 100 h

Hodnoty permitivity pro stejné doby stárnutí jako u minerálního oleje byly zjišťovány pro vzorek slunečnicového oleje HA (SA). U minerálního olej rozdíl permitivity mezi 0 a 20 h byl pro frekvence 1 Hz minimální (0,03). Zde na obr. 4.10 se hodnota pro stárnutí 0 h podobá průběhu, jaký byl u minerálního olejů, ale při následném stárnutí 20 h hodnoty nezůstaly přibližně stejné, ale klesly, např. o 0,25 při 10 Hz a o 0,41 při frekvenci 10 kHz. Při následující době stárnutí 50 h hodnoty relativní permitivity vzrostly (totéž nastalo u minerálních olejů) o 0,44 (při 10 Hz) vůči hodnotě při 0 h. Následující stárnutí s dvojnásobnou dobou tj. 100 h se hodnoty zvýšili minimálně, jen od frekvence 10 kHz začaly klesat.



Obr. 4.10 Závislost $\epsilon' = f(f)$ u slunečnicového oleje HA (SA) při různé době stárnutí

Hodnoty ztrátového čísla vzorku slunečnicového oleje HA (SA) se při frekvenci 10 mHz lišily minimálně v rozmezí od 6,16 do 9,17. Hodnoty pro tuto frekvenci byly pro stárnutí 0 h 8,32; stárnutí 20 h 6,16; a totožné hodnoty 9,17 pro stárnutí 50 a 100 h. Nejvíce se lišily hodnoty pro stárnutí 20 h, viz fialový průběh v grafu na obr. 4.11. Hodnoty a rozdíly mezi hodnotami při nízkých frekvencích do 1 Hz byly menší než u minerálních olejů.



Obr. 4.11 Závislost $\varepsilon'' = f(f)$ u slunečnicového oleje HA (SA) při různé době stárnutí

5 ZÁVĚR

Dielektrická relaxační spektroskopie (DRS) se používá pro popis dielektrických vlastností izolačních látek. DRS v této práci byla zaměřena na frekvenční oblast při teplotách od 253 K do 363 K. V práci byly zkoumány především změny parametrů relativní permitivity, ztrátového čísla a konduktivity. V práci byly postupně použity tyto kapalinové elektrodové systémy: Agilent 16452 A a později pro hlavní část práce elektrodový systém BDS 1308. Frekvenční měřicí interval byl zvolen od 10 mHz do 1 MHz z důvodu, že přes veškeré použitelné korekce byly hodnoty od 1 MHz do 40 MHz mimo interval a přes opakovaná měření byly výsledkem jiné hodnoty. Při měření byla použita čtyřvodičová metoda (u obou použitých typů elektrodových systémů) zapojení mezi Alpha analyzérem a héliovým kryostatem Janis. Bylo zjištěno, že nejvhodnější metodou je ohřát vzorek v BDS 1308 na 363 K a poté snižovat teplotu s krokem – 30 K po hodnotu 273 K poté ještě byla zkoumán vzorek při 253 K. Opačný způsob dát vzorek chladit a poté ukončit měření na 363 K neměl hodnoty stabilní a hodnoty byly mimo očekávanou křivku hodnot. Teplota a stabilizace teploty vzorku oleje na zvolených (měřených) teplotách byla po dobu 15 minut.

V práci bylo měřeno více vzorků různých olejů, ale do výsledného výběru bylo pro porovnání vybráno pět minerálních, devět přírodních a tři biologicky rozložitelné oleje. Byly měřeny i tyto methylestery: methyllaurát (bod tání 277 K), methyl oleát, methylpalmitát (bod tání 305 – 308 K) a methylstearát (bod tání 310 – 314 K). Palmový olej není do naší zeměpisné šířky použitelný pro venkovní použití v transformátorech, jelikož má bod tání 303 – 313 K. Kokosový olej také není vhodný, jelikož při pokojové teplotě je v tuhé formě (vypadá strukturou jako sádlo). Tyto oleje nejsou, vhodné také proto, že ve společnosti se vyskytují negativní názory na kácení pralesů, aby se vysazovaly palmy kvůli výrobě oleje. Z těchto byl zkoumán a porovnáván s ostatními především methyloleát, jelikož měl teplotu tuhnutí nižší než 253 K. Při teplotě 273 K a frekvenci 1 kHz měly minerální oleje relativní permitivitu kolem 2,2 s odchylkami v řádu několik desetin. Biologicky rozložitelné oleje měly vyšší permitivitu přibližně od 3,3 (Mogul Alpha Bio) do 3,8 (Ekolube Cut 80 P). Přírodní oleje měly pro tutéž teplotu a frekvenci hodnoty od 2,8 (methyloleát) po nejvyšší hodnotu 4,7 (řepkový olej). Byly porovnány dva slunečnicové oleje z různých zdrojů a dle očekávání byly průběhy zjišťované pomocí DRS různé a lišily se výsledky viz. např. závislost konduktivity na frekvenci při teplotě 253 K. Ke studiu olejů je nutné znát i jejich chemické složení (mastné kyseliny, aj.) a jejich kvantitu. Proto je v práci i zmíněna metoda IČ spektroskopie včetně popisu, jak se můžou měnit hodnoty maxim na různých vlnotech. V experimentální části je i spektrogram jednoho zkoumaného slunečnicového oleje HA (SA) včetně popisu.

Inhibitovaný a neinhibitovaný olej Mogul Trafo měly hodnoty přibližně stejné při 253 K a menší relativní permitivitu měl transformátorový olej Lyre X T451. Viditelné relaxační minimum se objevilo jen u neinhibitovaného oleje (Mogul Trafo N-A) při teplotě 253 K a 363 K. Při nižších frekvencích 100 mHz až při 1 Hz se hodnoty relativní permitivity lišily výrazně a byly často mnohonásobně větší hodnoty minerálního oleje (IKEA). Jediný minerální olej IKEA měl při teplotě 253 K a 273 K lineární nárůst konduktivity (v log-log souřadnicích). Při 363 K už byl průběh podobný ostatním minerálním olejům. U biologicky

rozložitelných olejů se hodnoty relativní permitivity, ztrát a konduktivity výrazně nelišily ve frekvenčním pásmu 1 Hz až 1 MHz a nebylo nalezeno žádné relaxační maximum. U přírodních olejů byla zjištěna nejvyšší relativní permitivita u řepkového oleje. Porovnávané slunečnicové oleje měly odchylky hodnot u relativní permitivity a ztrátového čísla minimální. Velké rozdíly mezi nimi byly v průběhu závislosti konduktivity na frekvenci při všech teplotách od 253 K do 363 K. Zkoumaný methyloleát oproti ostatním přírodním olejům měl výrazně větší ztrátové číslo i konduktivitu při 253 K a 363 K (při teplotě 273 K nebyl rozdíl tak patrný). Viditelné relaxační maximum bylo zjištěno u řepkového oleje při teplotě 253 K a 273 K. U teploty 363 K už nebylo relaxační maximum patrné.

Některé oleje lze jako minerální aditivovat a posouvat jejich bod tuhnutí a další důležité dielektrické parametry. Pro diagnostiku stavu (stárnutí) oleje je nutné také znát jeho stav a jak se změnilo chemické složení oproti původnímu (novému vzorku); proto je vhodné do diagnostiky zařadit IČ spektroskopii a jiné diagnostické metody jako plynová nebo kapalinová chromatografie. Bylo prokázáno, že dva slunečnicové oleje se liší především v hodnotách konduktivity. Jako vhodný analog nedoporučuji čistý methyloleát (příliš velké rozdíly parametrů) a slunečnicový olej HA. Jako vhodná náhrada dle výsledků DRS lze použít všechny tři biologicky rozložitelné oleje (hodnoty konduktivity blízké průběhem i hodnotami jako u minerálních olejů). Z přírodních olejů lze doporučit jako analog slunečnicový olej (který se chemicky a hodnotami DRS blíží slunečnicovému oleji označenému CZ), sójový, arašidový a bavlníkový olej. Ricinový olej má vhodné dielektrické parametry, ale má velmi velkou viskozitu, a tak by měl velké nároky na konstrukci transformátoru. Při návrhu a použití přírodních olejů jako izolačních médií musí být zohledněno, že mají vyšší hustotu než minerální oleje, a případně pro ně použít aditiva.

Hlavními novými poznatky zjištěnými v průběhu prací jsou tyto: zkoumané biologicky rozložitelné oleje mají hodnoty konduktivity blízké hodnotám minerálních olejů při $T = 253 \text{ K}$; jako alternativu (náhradu) nelze použít čistý methyloleát (výrazně vyšší konduktivita a ztráty oproti ostatním přírodním olejům); a MCT olej má vyšší ztráty a s ohledem na bod tuhnutí není vhodný pro naše klimatické pásmo; hodnoty DRS stejného druhu oleje vyrobeného z různých semen slunečnice má vliv na DRS parametry, které ovlivňuje různý poměr MK v oleji; přírodní oleje mají o něco vyšší hodnoty relativní permitivity při 273 K od 2,74 do 3,8 (ricinový 4,7) oproti minerálním olejům, které měly hodnoty od 2,2 do 2,7.

Seznam použité literatury

- [1] THOMAS, P., S. SRIDHAR a K.R. KRISHNASWAMY. Synthesis and evaluation of oleic acid esters as dielectric liquids. *Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation* [online]. IEEE, 1996, , 565-568 [cit. 2020-12-31]. ISBN 0-7803-3531-7. Dostupné z: doi:10.1109/ELINSL.1996.549408
- [2] SUCHÝ, P., STRAKOVÁ, E., HERZIG, I. *Kvalita rostlinných olejů a jejich význam z hlediska zdraví zvířat a možnosti ovlivnění nutriční hodnoty potravin živočišného původu*. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., listopad 2008, Praha.
- [3] BLAŽEK J., RÁBL V.: *Základy zpracování a využití ropy*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 009. ISBN 80-7080-619-2
- [4] *Zásoby ropy: Zásoby ropy ve světě 2011* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: www.ropa.cz Ropný zlom a dodávky ropy – Ondřej Martínek
- [5] MARTÍNEK, O. *Ropný zlom a dodávky ropy do České republiky* [online]. 2010 [cit. 2020-12-31]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/28592/BPTX_2008_2_11230_0_17463_0_86994.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. UK Praha Fakulta sociálních věd. Vedoucí práce PhDr. Michael Romancov, Ph.D.
- [6] MAXA, D. *Základy výroby minerálních olejů* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-34.aspx>
- [7] KOKOŠKA, M. *Elektrická pevnost kapalných izolantů jako diagnostický parametr* [online]. 2016 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11025/23136>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Hornak Jaroslav, Ing.
- [8] KOVACSOVÁ, K. *Charakteristika rostlinných olejů uplatňovaných v kosmetice* [online]. 2012 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24171/kovacsov%C3%A1_2013_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. UTB Zlín - Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Jana Pavlačková, Ph.D.
- [9] VINKLEROVÁ, K. *Vlastnosti a využití atypických rostlinných olejů* [online]. 2013 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: https://theses.cz/id/dftgo7/Vlastnosti_a_vyuit_atypickch_rostlinnch_olej_FINLN_VERZE.pdf. Bakalářská práce. UTB Zlín - Fakulta technologická. Vedoucí práce Doc. Ing. Věra Kašpárková, CSc.
- [10] SLOVÁČKOVÁ, L. *Zastoupení mastných kyselin v netradičních olejích* [online]. 2013 [cit. 2020-12-31]. Dostupné z: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/23687>. Diplomová práce. UTB Zlín - Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Ladislava Mišurcová, Ph.D.
- [11] *Biologicky rozložitelná maziva (biomaziva)* [online]. TECH MEDIA PUBLISHING, s.r.o, 8. srpna 2013 [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/954>
- [12] TOMANCOVÁ, M. *Stanovení spektra mastných kyselin ve vybraných potravinářských olejích*. České Budějovice, 13. srpna 2012. Dostupné z: <http://theses.cz/id/7q6yuy/>. Bakalářská práce. Zdravotně sociální fakulta - Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Jiří Špička.

- [13] *Výzkum výroby biopaliva z odpadních živočišných tuků* [online]. Praha: Výzkumný ústav potravinářský Praha, 2009 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/vzkum-vroby-biopaliva-z-odpadnich-ivoinch-tuk.pdf>
- [14] *Příprava a charakterizace bionafty*. Fakulta technologie ochrany prostředí - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 7 s. [cit. 22. 4. 2012]. Dostupné z: http://cesmina.vscht.cz/trp/data/soubory/57_pripava-a-charakterizace-bionafty.pdf
- [15] Bds1308_09.pdf. *Liquid Sample Cells BDS 1308 and BDS 1309 - Owner's Manua*. Novocontrol Technologies. 12 s. [cit. 18. 4. 2012] Dostupné z: http://novocontrol.de/dwnld/Bds1308_09.pdf.

Životopis autora



Ing. Milan Spohner

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Vysoké učení technické v Brně
Technická 10
616 00 Brno

Tel.: +420 541 146 030

E-mail:

xspohn00@stud.feec.vutbr.cz (pracovní během
magisterského studia)

meevzyf@gmail.com (osobní - trvalý)

Současná pozice

2011 – dosud

Na UFYZ viz web:
<http://www.ufyz.feec.vutbr.cz>

Kvalifikace

KVALIFIKACE A PROFESNÍ KARIÉRA

2005 – 2009

Dosažení titulu Bc. v oboru Mikroelektronika a technologie, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně.

2009 – 2011

Dosažení titulu Ing. v oboru Elektrotechnická výroba a management, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně.

2011 – dosud

Student prezenčního a kombinovaného doktorského studijního programu „Fyzikální elektronika a nanotechnologie“ na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně.

2012

Úspěšné ukončení kurz pro Doplnující pedagogické studium

2018	Akreditovaný kurz: <i>Trenér bojových umění II. Třídy (MŠMT - akreditace č. 128/2017-50)</i>
2011 – dosud	Zaměstnanec a doktorand UFYZ, FEKT VUT v Brně.

Projekty řešené autorem

Spoluřešitel

2012 – 2013	Doktorský grant „ <i>Diagnostika defektů v materiálech za použití nejnovějších defektoskopických metod</i> “, GD102/09/H074.
2014 – 2017	Specifický výzkum s názvem „ <i>Rozvoj pokročilých metod pro diagnostiku elektrotechnických materiálů a součástek</i> “, FEKT-S-14-2240.

Produkty autora

Spoluřešitel

2012	<i>Modul zónové regulace vytápění malého topného systému.</i> Typ produktu: funkční vzorek.
2013	<i>Software měření charakteristik LED diod.</i> Typ produktu: software.
2013	<i>Regulator vodního chlazení KOH; Regulátor vodního chlazení KOH.</i> Typ produktu: funkční vzorek.
2013	<i>Software pro testování kvality kondenzátorů v provozních podmínkách.</i> Typ produktu: software pro měření (LabVIEW).
2014	<i>Software pro určení kapacity kondenzátorů na základě měření jejich vybíjecí charakteristiky.</i> Typ produktu: software pro měření (LabVIEW).

Důležité publikace disertanta

2012	SPOHNER, M.; FRK, M.; LIEDERMANN, K. <i>Study of electrical and rheological properties of natural and other oils.</i> In International Symposium on Electrical Insulation. Conference Record of IEEE International Symposium on Electrical Insulation. 1. Puerto Rico: Tzem, 2012. s. 30-33. ISBN: 978-1-4673-0488-7. ISSN: 0164- 2006.
	SPOHNER, M. <i>Study of properties of electrical insulating oils and components of natural oils.</i> In Proceedings of the 16th International

- | | |
|------|---|
| | Scientific Student Conference POSTER 2012. Acta Polytechnica. Printmedia, Oderská 333/5, 196 00 Prague 9, Czech Republic: Czech Technical University in Prague, 2012. s. 100-105. ISBN: 978-80-01-05043-9. ISSN: 1210-2709. |
| 2013 | SPOHNER, M.; LIEDERMANN, K.; KLAMPÁR, M. Electrical properties of natural oils and methyl esters of their constitutive fatty acids. In IEEE Catalog Number CFP13EEI- USB. 2013. s. 135-140. ISBN: 978-1-4673-4739-6. |
| 2016 | SPOHNER, M. <i>Study of the dielectric properties of vegetable oils and their constituents</i> . In DEMISEE 2016 - Proceedings of International Conference. Papradno, Slovakia: IEEE, 2016. s. 16-19. ISBN: 978-1-5090-1248-0. |
| 2017 | SPOHNER, M. Dielectric Properties of Natural Oils from Different Oilseeds. In Proceedings of the 23rd Conference STUDENT EEICT 2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních, 2017. s. 640-644. ISBN: 978-80-214-5496-5. |

Abstract

The dissertation thesis deals with the analysis of prospective environmentally compatible electrical insulating fluids for electrical engineering in relation to their chemical structure. The thesis starts with the overview of the current state of the art and of the latest trends in the use of synthetic and biodegradable natural oils. In the experimental part were studied these oils: mineral oils, rapeseed oil, sunflower oils, soybean oil, methyl oleate, peanut oil, MCT oil, castor oil and other. Dielectric properties were measured using LRC meter Agilent 4980A including dielectric liquid test fixture Agilent 16452A and also by the Novocontrol Alpha-A analyzer. Electrical properties are presented in the frequency range 10 mHz – 1 MHz range in the temperature interval 253 K to 363 K. The work goes on with the study of the suitability of individual oils for lower temperature, including the impact of the chemical structure and formulation on electrical properties.