

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vlastnosti a použití slídových výrobků v elektrotechnice

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Academický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek ZÁBRANSKÝ**
Osobní číslo: **E11B0109K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Vlastnosti a použití slídových výrobků v elektrotechnice**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování:

1. Popište obecné vlastnosti slídy.
2. Popište vlastnosti a použití mikanitů.
3. Popište vlastnosti a použití materiálů z rekonstruované slídy.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. MENTLÍK, Václav. Dielektrické prvky a systémy. Praha: BEN-technická literatura, 2006, 235 s. ISBN 80-7300-189-6.
2. POLANSKÝ, Radek. Materials in Electrical Engineering: A reference book for Erasmus students at FEE UWB. University of West Bohemia-Faculty of Electrical Engineering, 2012, 167 s.
3. STONE, Crog C.; BOULTER, Edward A.; CULBERT, Ian; DHIRANI, Hussein. Electrical Insulation for Rotating Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing, and Prepare. Power Engineering 2004, 371 s.
4. Elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Ulrych
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


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




Prof. Ing. Václav Kus, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá slídou. Popisuje její výskyt v přírodě, druhy a obecné vlastnosti. Dále se zaměřuje na elektrické vlastnosti slídy a na použití slídy v elektrotechnickém průmyslu jako izolantu nebo dielektrika. V práci jsou dále uvedeny příklady výrobků z rekonstruované slídy využívané v elektrotechnickém průmyslu a parametry těchto výrobků.

Klíčová slova

Slída, kalcinační teplota, mikanit, komutátorový mikanit, ohebný mikanit, rekonstruovaná slída, slídový papír, muskovit, flogopit, formikanit, mikafolium.

Abstract

The bachelor thesis deals with mica. It describes its abundance in nature, types and general properties. It also focuses on electrical properties of mica and mica use in the electrical industry as an insulator or dielectric. The paper also provides examples of reconstructed mica products used in the electrical industry and characteristics of these products.

Key words

Mica, calcination temperature, micanites, collector micanit, flexible micanit, reconstructed mica, mica paper, muscovite, phlogopite, phormicanit, micafolium.

Prohlášení

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

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



.....
podpis

V Plzni dne 7.6.2015

Radek Záborský

Poděkování

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

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 VLASTNOSTI SLÍDY	11
1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	11
1.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ SLÍDY	14
1.3 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	14
1.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI	14
1.5 CHEMICKÉ VLASTNOSTI	15
1.6 TEPelnÉ VLASTNOSTI	15
1.7 OPTICKÉ VLASTNOSTI	15
2 SLÍDA V ELEKTROTECHNICE	15
2.1 IZOLANT	15
2.2 DIELEKTRIKUM	16
2.3 TEPelnÝ PRŮRAZ	16
2.4 ELEKTRICKÝ PRŮRAZ	18
3 DRUHY SLÍDOVÝCH HORNIN	18
3.1 MUSKOVIT	18
3.2 FLOGOPIT	20
4 SLÍDOVÉ ELEKTROIZOLAČNÍ MATERIÁLY	21
4.1 MIKANITY	21
4.1.1 Komutátorový mikanit	21
4.1.2 Formikanit	22
4.1.3 Ohebný mikanit	22
4.1.4 Mikafolium	22
4.2 MATERIÁLY Z REKONSTRUOVANÉ SLÍDY	22
4.2.1 Kalcinovaný slídový papír	23
4.2.2 VPI (vakuově tlaková impregnace)	23
4.3 UŽITÍ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ Z REKONSTRUOVANÉ SLÍDY	24
4.3.1 Mezilamelová izolace komutátorů	24
4.3.2 Prokládání vodičů	24
4.3.3 Prokládací materiál pro topná tělesa a vysoce teplotně namáhaná zařízení	25
4.3.4 Izolování vinutí strojů do 24 kV	25
4.3.5 Čela cívek ve třídě 155 (F)	25
4.3.6 Kaučukové směsi kabelových izolací	25
4.3.7 Teplotní třída 180 (H) (zejména pro trakční motory)	25
4.3.8 Výroba točivých strojů s teplotní třídou 155 (F)	25
4.3.9 Izolace drážek, prokládání vodičů a izolování obličejů součástí strojů v teplotní třídě 155 (F)	26
4.4 VYUŽITÍ VÝROBKŮ Z REKONSTRUOVANÉ SLÍDY PRO VYSOKONAPĚŤOVÉ IZOLAČNÍ SYSTÉMY TOČIVÝCH ELEKTRICKÝCH STROJŮ	26
4.4.1 Resin-rich	26
4.4.2 VPI (vakuově tlaková impregnace)	27
4.5 POUŽITÍ SLÍDY V SYSTÉMU TRAKČNÍCH MOTORŮ	28
4.6 PŘÍKLADY VÝROBKŮ Z REKONSTRUOVANÉ SLÍDY	29
4.6.1 Filosam® 326.57-10	29
4.6.2 Samicafilm® 315.13-11	30
4.6.3 Samicatherm® 315.13-11	31

ZÁVĚR	33
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	34

Seznam symbolů a zkratk

ϵ_r	relativní permitivita (-)
ρ	rezistivita ($\Omega.m$)
ρ_v	vnitřní rezistivita ($\Omega.m$)
γ	konduktivita ($S.m^{-1}$)
$\text{tg } \delta$	činitel dielektrických ztrát (-)
E_p	elektrická pevnost ($V.m^{-1}$)
PETP	Polyetyléntereftalátová fólie

Úvod

V současné době se v elektrotechnickém průmyslu používají stále více izolanty, čili látky jejichž hlavní technická vlastnost je schopnost klást velký odpor elektrickému proudu a dielektrika, což jsou látky, jejichž hlavní technickou vlastností je schopnost polarizovat se v elektrickém poli. Izolanty se používají k izolování vodivých těles. Dielektrika se používají jako kapacitní prvky a kondenzátory. Izolanty a dielektrika používané v elektrotechnice mají své charakteristické fyzikální, chemické a technologické vlastnosti, jež potom určují jejich elektrické, tepelné a mechanické chování. Všechny reálné izolanty a dielektrika mají měřitelnou hodnotu rezistivity, konduktivity a permitivity. Fyzikální děj vedení elektrického proudu probíhá odlišně v pevných, kapalných a plynných materiálech.

Pro použití izolačních materiálů v praxi je potřeba znát jejich vlastnosti, zejména s ohledem na bezpečnost, spolehlivost a životnost celého zařízení. Při výrobě těchto materiálů je kladen velký důraz zejména na odolnost proti působení klimatických vlivů a elektrického pole. Kvalitní elektroizolační materiály jsou nutné pro bezpečnou funkci elektrického zařízení, protože každá porucha elektroizolačního systému může být kritická. Nedílnou součástí elektroizolační techniky je použití slídy a výrobků z ní, a proto je nutné znát její vlastnosti a možnosti použití. Slída je nerost, který se v přírodě vyskytuje téměř všude. Tato práce podává přehled základních vlastností slídy jako jsou elektrické, mechanické a tepelné vlastnosti, dále pojednává o jejím chemickém složení a výskytu v přírodě. Práce také stručně popisuje druhy slídových materiálů, jejich využití, výrobu a uplatnění v elektrotechnice.

1 Vlastnosti slídy

1.1 Základní informace

Slída je přírodní minerál vyskytující se v přírodě v mnoha modifikacích. Slída se již velmi dlouho používá jak v nízkonapěťové izolační technice, tak i zejména v oblasti vysokonapěťové izolační techniky, protože vydrží poměrně vysoké tepelné i elektrické namáhání. Svým složením patří k materiálům hlinitokřemičitým [1, 2]. Složení slídy se mění podle původu. Při dobývání slídy se dbá především na co možná nejmenší porušení krystalů. Slída očištěná od hlušin se nazývá surová, bloková nebo kusová. Po odstranění vadných krystalů se slída štípe. Štípaná slída se třídí podle velikosti plochy. Hodnotí se jak podle velikosti listů, tak podle jakosti tzn. podle obsahu cizích těles a barevných skvrn [1]. Velikost lístků je rozdělena do základních skupin podle plochy největšího obdélníku, který lze z plátků vyříznout (od 6,5 až do 645 cm²) [2]. Slídy mají tvrdost mezi 2 – 3 a hustotu mezi 2,7 – 3,4 g.cm⁻³ [3].



Obr. 1.1.1: Slída v hornině (převzato z [4])

Podle složení lze slídu rozdělit do dvou základních skupin: **muskovit** neboli slída světlá a **biotit** neboli slída tmavá. **Muskovit** (slída světlá) tvoří v horninách silně stříbřitě lesklé okrouhlé nepravidelné dobře štěpné šupinky. Barva je bělavá až nažloutlá. Krystaly muskovitu mohou mít různou velikost. Muskovit je součástí velmi kyselých a kyselých vyvěřelých hornin (hlubinných a žilných), dále je přítomen v metamorfitech (ruly, ortoruly, pararuly, svory). Špatně podléhá větrání, a proto bývá také součástí klastických sedimentů. Jemně šupinkatý muskovit se nazývá SERICIT. Vzniká slabou metamorfózou a dodává hornině hedvábný lesk (fylit). [5]



Obr. 1.1.2: Muskovit (převzato z [5])

Biotit (slída tmavá) je tmavě hnědý až černý velmi dobře štěpný lesklý minerál. V horninách tvoří lupínky nepravidelného tvaru. Biotit je součástí kyselých a neutrálních vyvěřelin a metamorfovaných hornin (ruly). V sedimentech se nevyskytuje, protože snadno podléhá větrání. Přítomnost velkého množství biotitu v horninách snižuje stavební kvalitu horniny. [5]



Obr. 1.1.3: Biotit (převzato z [5])

Podle zpracování lze slídu rozdělit na surovou, štípanou, slídový prach a slídu upravenou tzv. remikou. Krystalická struktura slídy umožňuje její výbornou štípatelnost a lze dosáhnout tloušťky slídových plátek až 0,05 mm. Slídové plátky jsou ohebné a pružné, chemicky stálé a mechanicky pevné. Jelikož olej vniká mezi slídové plátky, nelze slídových výrobků používat v elektrotechnických výrobcích plněných olejem [1]. Slída má výborné vlastnosti dané její strukturou. Stabilitu slídy zajišťují silné kovalentní vazby kyslíku a křemíku O-Si ve vrstvách oxidu křemičitého [2].

Slída má stálé, prakticky neměnné vlastnosti, až do její kalcinační teploty, při níž ztrácí ve své struktuře vázanou vodu. To způsobuje skokovou změnu vlastností, proto pro vyšší teploty než je její kalcinační teplota je slída prakticky nepoužitelná [1, 6]. Štípaná slída byla nebo je stále používána pro mnoho elektrických izolačních aplikací. Do této kategorie patří: mikrovlnná okna, elektronické kondenzátory, montážní podložky, různé mezivrstvy izolace, elektronky a několik aplikací pro rotační stroje [4].



Obr. 1.1.4: Štípaná slída (převzato z [5])

1.2 Chemické složení slídy

Základní chemické složení slídy lze popsat sumárním vzorcem $AB_{2-3}(X, Si)_4O_{10}(O, F, OH)_2$. **A** ve vzorci označuje nejčastěji draslík, může být zastoupen sodíkem, baryem, cesiem, amonným iontem. **B** ve vzorci může být hliník, lithium, železo, zinek, chrom, vanad, mangan, hořčík. **X** ve vzorci je nejčastěji hliník, event. beryllium, bor, železo, atd. [1]

1.3 Elektrické vlastnosti

Slída má vysokou dielektrickou pevnost, rovnoměrnou dielektrickou konstantu [7], vysoký povrchový a vnitřní odpor [1, 7], schopnost odolávat jiskření a koroně [8]. Dielektrické ztráty ($\text{tg } \delta$) ve slídě pro nízké frekvence s teplotou rostou, ale pro vyšší frekvence s teplotou klesají [1].

1.4 Mechanické vlastnosti

Slída má vysokou pevnost v tlaku a stříhu [8], nejdokonalejší známou štěpnost mezi horninami [4], její štěpné lupeny jsou vysoce pružné. Slída se též vyznačuje tvarovou stálostí a nestlačitelností [8].

1.5 Chemické vlastnosti

Slída je chemicky stabilní a inertní k vodě, olejům, ředidlům, kyselinám (mimo kyseliny fluorovodíkové) i jiným chemickým činidlům. [8]

1.6 Tepelné vlastnosti

Slída je nenavlhavá, netavitelná, nezápalná s nízkou tepelnou vodivostí, jedná se o tepelný izolant s vynikající tepelnou stabilitou [8], zachovává si své vlastnosti do 700 - 980 °C [1, 4, 7].

1.7 Optické vlastnosti

V tenkých šupinkách je slída transparentní a má vysoký lesk. Slídy mají silný negativní dvojlom a úhel optických os mezi 0° - 120°. Světlé slídy, muskovit, mají tento úhel velký, naproti tomu tmavé druhy, biotit, mají tento úhel blízký k 0°. Slída odpuzuje nečistoty a také se snadno očišťuje. [7, 8]

2 Slída v elektrotechnice

Slída se používá v elektrotechnice jako izolant i jako dielektrikum.

2.1 Izolant

Izolant je pasivní prvek, který má jako hlavní technickou vlastnost schopnost klást velký odpor elektrickému proudu. Tato vlastnost je využívána k oddělení míst rozdílných potenciálů. Hlavní parametr je rezistivita.

V ideálním případě je pro účely izolační techniky nejvýhodnější použití materiálů s nulovou elektrickou vodivostí. V reálném světě však každý materiál obsahuje různé nečistoty a příměsi. Schopnost materiálu vzájemně oddělit vodivé části je dána mírou volnosti pohybu elektrických nábojů přítomných v materiálu a jejich množstvím. Aby bylo možné porovnat jednotlivé vzorky materiálů a stanovit jejich elektrickou vodivost, používají se hodnoty **elektrického měrného odporu** (rezistivity – ρ [$\Omega \cdot m$]) a **měrné elektrické vodivosti**

(konduktivity – γ [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$]), pro izolační materiály je její hodnota $< 10^{-9}$ [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$]. Je potřeba si také uvědomit, že izolační vlastnosti konkrétních materiálů závisí také na okolních podmínkách, např. teplotě, tlaku apod. Změna těchto podmínek může způsobit, že některé izolanty se začnou chovat jako vodiče. [1]

Dielektrické ztráty vznikají jednak polarizacemi a dále zahříváním materiálu vlivem částečné vodivosti izolantu v elektrickém poli tzv. “prosakujícím proudem”. Velikost dielektrických ztrát ukazuje **činitel dielektrických ztrát – $\text{tg } \delta$** . Ve střídavém elektrickém poli mohou ztráty narůstat i z důvodu materiálových rezonancí při určitých frekvencích. [1, 6, 7]

2.2 Dielektrikum

Dielektrikum je elektricky nevodivý materiál a jeho hlavní technickou vlastností je schopnost polarizace v elektrickém poli. Čistě z matematického hlediska se mohou izolanty považovat za podmnožinu množiny dielektrik. Dielektrika se vyskytují ve všech skupenstvích, ale mají různou strukturu a vnitřní stavbu. Jejich vlastnosti se dají popsat z mikroskopického a z makroskopického hlediska. Makroskopickým hlediskem je určena jako nejdůležitější vlastnost **relativní permitivita – ϵ_r** , která charakterizuje dielektrikum a stanovuje míru jeho polarizace. Vyjadřuje vliv elektrického pole na elektrický stav materiálu. Relativní permitivita je závislá na druhu polarizace, dále na vnitřní stavbě materiálu a na polarizovatelnosti atomů a molekul. V závislosti na teplotě a frekvenci, popř. i na intenzitě elektrického pole, se relativní permitivita může měnit. [1, 3]

2.3 Tepelný průraz

Ztrátové neboli Joulovo teplo způsobuje zahřívání izolačního materiálu. Jestliže je ztrátové teplo vyšší než teplo odvedené do okolí, dochází k poškození izolačního materiálu – k tepelnému průrazu. [1, 7]

Tepelné vlastnosti jsou velice důležitým parametrem izolačních materiálů. Izolace se navrhuje tak, aby při provozních podmínkách zařízení pracovala s uvažovanou bezporuchovostí. Působením teploty dochází ke stárnutí izolace – izolace ztrácí svoje původní vlastnosti. Proto bylo zavedeno rozřazení izolačních materiálů podle teplotních tříd. Třídění materiálu je upraveno normou ČSN EN 60085 „Elektrická izolace – teplotní klasifikace“.

Základní terminologie – **Elektroizolační materiál** (EIM) – „látko se zanedbatelně nízkou elektrickou vodivostí nebo kombinace takových látek, používaná v elektrických zařízeních k oddělení vodivých částí s různým elektrickým potenciálem“. **Elektroizolační systém** (EIS) – „izolační struktura obsahující jeden nebo více elektroizolačních materiálů s přidruženými vodivými částmi, použitá v elektrickém zařízení“. **Teplotní třídou** (EIM/EIS) „je číselné označení, které je rovno maximální teplotě použití ve stupních Celsia, pro kterou je EIM/EIS vhodný“. Dále je pak zaveden **relativní index teplotní odolnosti** (RTE) – „číselná hodnota teploty ve stupních Celsia, při níž má materiál po předpokládanou dobu svého života uspokojivé vlastnosti v porovnání se standardním známým materiálem.“ Teplotní třída celého izolačního systému je pak dána výslednou kombinací jednotlivých izolačních materiálů. Teplotní klasifikace izolantů je přehledně zobrazena v Tab. 2.3.1. [1, 7]

Tab. 2.3.1: Teplotní klasifikace izolantů [1]

Teplotní třída	Předchozí značení	Relativní index teplotní odolnosti RTE
70		< 90
90	Y	>90-105
105	A	>105-120
120	E	>120-130
130	B	>130-155
155	F	>155-180
180	H	>180-200
200		>200-220
220		>220-250
250		>250

Z časových a ekonomických důvodů se nemůže ověřit životnost elektroizolačních materiálů zkouškami v provozních podmínkách, a proto se v praxi pro začlenění používá tzv. urychlená zkouška. To znamená, že se kontrolují konkrétní zvolené vlastnosti až k rozhodující změně pozorované vlastnosti při několika různých teplotách. [1]

2.4 Elektrický průraz

Uvolnění elektronů z vazeb silami elektrického pole způsobí elektrický průraz [1]. V izolačních materiálech ale nikdy nedochází k čistě tepelnému, nebo elektrickému průrazu. Vlivem různých činitelů se mechanismy průrazů navzájem vždy ovlivňují [7].

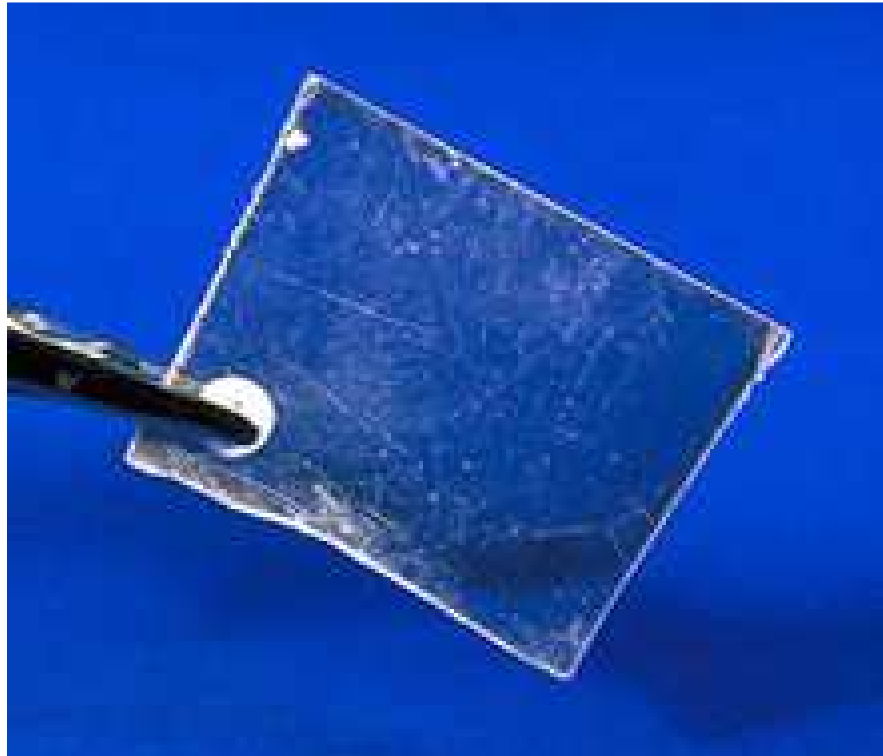
Elektrická pevnost jednoznačně určuje daný elektroizolační materiál. Elektrickou pevnost ovlivňuje řada faktorů např. vlhkost, teplota, nehomogenity v materiálu. Ověření tohoto parametru se provádí tzv. mezioperačním zkušebním napětím (dle EN 60034-1) odvozeným z finálního jmenovitého napětí. V izolačním materiálu dochází k průrazům tepelným a elektrickým. [1, 3]

3 Druhy slídových hornin

Celkem je známo více než 30 druhů slídových minerálů. Pro elektroizolační a dielektrické účely jsou vhodné následující dva druhy.

3.1 Muskovit

Muskovit nazývaný též slída draselná, je kyselý křemičitan hlinitodraselný základního složení $H_2KAl_3(SiO_4)_3$ [9]. Někdy se též nazývá jako **bílá** nebo **indická slída** [2, 4]. V současné době, pro elektronické účely, pochází až 70 % vytěženého muskovitu z Indie a Brazílie [8]. Muskovit je bezbarvý nebo jen mírně růžový, popř. šedý, hnědý i zelený podle oxidů, které jsou v něm obsaženy [2]. Muskovit je ohebný, mechanicky pevný, s kalcinační teplotou 700-800 °C [1, 7] a charakteristickými hodnotami $\tan \delta = 1 \div 3 \cdot 10^{-5}$ [1], $\epsilon_r = 5 \div 9$ [7], $E_p = 60 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$, $\rho_v = 10^{13} \div 10^{14} \Omega \cdot \text{m}$. Muskovit má tepelnou vodivost $0,3 \div 0,56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [2]. Při vyšších teplotách uniká krystalická voda a slída ztrácí průhlednost, křehne a rozrušuje se. Pro dobré elektrické vlastnosti, vysokou permitivitu a nízký ztrátový činitel, který se téměř nemění v širokém rozmezí teplot a frekvencí, používá se muskovitu jako dielektrika v kondenzátorech. Muskovit má tvrdost 2,5 – 3 a měrnou hmotnost $2,8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [7]. Pro vysokou hodnotu elektrické pevnosti je pak důležitým izolačním materiálem v tepelně i elektricky namáhaných elektrických strojích. Měrný vnitřní odpor muskovitu závisí na směru vrstev, teplotě a na vlhkosti [1, 7].



Obr. 3.1.1: Příklad vzorku muskovitu (převzato z [10])



Obr. 3.1.2: Slídový kondenzátor z muskovitu MICA 10P/500V (převzato z [11])

Tab. 3.1.1 základní parametry slídového kondenzátoru z muskovitu MICA 10P/500V [11]

Kapacita	10 pF
Napětí	500 V
Provedení	radiální
RM (rozteč vývodů)	5,5 mm
Rozměr	11 x 8 x 4 mm
Teplota	- 55 + 125 °C
Skupina	Slídové

3.2 Flogopit

Flogopit, tzv. hořečnatá slída, je kyselý křemičitan hlinitodraselnohořečnatý základního složení: $\text{HK}(\text{MgF})_3\text{Mg}_3\text{Al}(\text{SiO}_4)_3$ [9]. Flogopit se též nazývá **kanadská**, **rubínová**, **jantarová**, popř. **hořečnatá slída** [6]. Hlavními vývozci flogopitu je Kanada a Madagaskar [9]. Má jantarovou, zlatavou, popř. zelenou až šedivou barvu, která se podle příměsí opět mění. Flogopit má v porovnání s muskovitem nižší elektrickou vodivost a větší tepelnou stálost při vyšších provozních teplotách. Může se proto použít až do 900°C [1, 7]. Teprve nad 900°C se tepelně rozrušuje a křehne [1, 7]. Větší tepelná stabilita oproti muskovitu je způsobena nahrazením hydroxylových skupin atomy fluóru. Je měkčí a ohebnější než muskovit. Charakteristickými hodnotami flogopitu jsou kalcinační teplota $900^\circ\div 980^\circ\text{C}$ [9], $\text{tg}\delta = 10\div 50 \cdot 10^{-4}$, $\varepsilon_r = 5\div 9$, $E_p = 60 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$, $\rho_v = 10^{10}\div 10^{12} \Omega\cdot\text{m}$ [1]. Flogopit se používá na méně náročné účely, hlavně pro izolace elektrických strojů, popřípadě tepelných spotřebičů [1, 7].



Obr. 3.2.1: Zelenohnědý flogopit (převzato z [12])

4 Slídové elektroizolační materiály

Elektroizolační materiály na bázi slídy se dělí do dvou základních skupin na mikanity a materiály z rekonstruované slídy [1].

4.1 Mikanity

Slída je v mikanitech aplikována v základní formě nezměněných slídových lístků.

4.1.1 Komutátorový mikanit

Komutátorový mikanit je materiál vzniklý ze slídových lístků a šelakového pojiva slisovaných při zvýšené teplotě ve formách do tvrdých kompaktních desek [1]. Používá se jako mezilamelová izolace méně namáhaných komutátorů. Přípustná trvalá provozní teplota je 155 °C. Na trhu se nabízí dva typy mikanitů. První z nich je na bázi muskovitu, druhý na flogopitu. Běžně se dodávají desky o tloušťce 0,3 až 2 mm s tolerancí $\pm 0,02$ mm, $\pm 0,03$ mm, $\pm 0,04$ mm [13].



Obr. 4.1.1: Komutátorový mikanit (převzato z [13])

4.1.2 Formikanit

Formikanit je vyroben ze stejných komponent jako mikanit. Jedná se o ohebný, za zvýšené teploty tvárný a lepkavý materiál používaný k výrobě komutátorových manžet nebo jiných tvarovaných výrobků. Vytvrzení výrobků se provádí za zvýšeného tlaku ve formách při 130 °C. [1, 7]

4.1.3 Ohebný mikanit

Ohebný mikanit je za běžné teploty ohebný a tvárný materiál. Vyrábí se ze slídových lístků, kalcinovaného slídového papíru a skleněné tkaniny [1]. Všechny složky jsou spojeny pojivem. Vnitřní vrstvu tvoří slídový papír, který oboustranně obklopuje vrstva slídových lístků, na nichž je z každé strany výrobku skleněná tkanina. Materiál je prosycen modifikovanou polyvinylbutyralovou pryskyřicí [11] a používá se k prokládání vodičů, izolování oblých částí strojů pro třídu 130 (B). Materiál se vytvrzuje až po impregnaci celého vinutí [1].

4.1.4 Mikafolium

Mikafolium je materiál vzniklý ze slídových lístků a podkladového speciálního celulózového papíru vzájemně spojených šelakem. Používá se na izolování statorového i rotorového vinutí elektrických strojů do provozního napětí 6 kV, v teplotní třídě 130 (B) [7]. Zpracovává se nažehlováním na cívky a následným vytvrzením za zvýšené teploty a tlaku v lisu nebo po založení při vytvrzování impregnace vinutí. V současné době se tento materiál používá spíše výjimečně pro zvláštní případy [1].

4.2 Materiály z rekonstruované slídy

Remikanity jsou aplikací slídy v rekonstruované formě ve formě tzv. **slídového papíru**. Pro uvedené materiály je podkladovým materiálem většinou skleněná tkanina. Složkou pojící obě uvedené komponenty k sobě je pojivo ve formě syntetické pryskyřice. Slídový papír, v němž je slída ve formě malých částic destičkového charakteru zachovávající její základní fyzikálně-chemické vlastnosti, nese různé názvy podle toho, ve které továrně vznikl – Remika[®], Samica[®], Cogemica[®], atd. [1] Firma ISOVOLTA AG například nabízí slídový papír pod názvy Calmica[®], v teplotní třídě 155 (F), Calmicafab[®], ultratenké pásy, popř. Camicaglas[®] v teplotní třídě 155 (F) nebo 180 (H). [14]

Používají se dvě formy systémů – **resin-rich** (již obsahující pryskyřici) a **VPI** (vakuově tlaková impregnace) [2]. Pro oba dva systémy se používá rekonstruovaná slída – slídový papír.

4.2.1 Kalcinovaný slídový papír

Tento papír se vyrábí chemickým procesem, který je nazván Bardetův. Slídový odpad (zbytky po vysekaných součástkách ze slídových krystalů) se přibližně 20 minut zahřívá při teplotě 800 °C v rotační peci. Přesná doba a teplota záleží na typu slídy, obsahu vody atd. V této fázi slída ztratí až 50 % své krystalické vody. Po té následuje nasypání takto zpracované slídy do 1 % roztoku uhličitanu sodného (Na_2CO_3). Prudkým zchlazením se poruší krystalická struktura a objem slídy se zvětší až o 800 %. Následuje neutralizace, ponoření do 5 % roztoku HCl. Při průběhu reakce $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ unikající oxid uhličitý zcela naruší strukturu slídy. Dochází k chemickému rozmělnění slídy. V následné operaci v pracích věžích se odstraní NaCl vypráním. Slída se ukládá do sedimentačních nádrží a dále se naředí vodou na cca. 3 % obsahu slídy. Tímto postupem se získá slídová suspenze, kterou pohromadě drží jen slabé Van der Walsovy síly [9]. Slídová suspenze se posléze zpracovává na papírenském stroji na slídový papír, přidává se impregnace, mnoho různých kombinací pryskyřic a další příměsi dle požadovaných vlastností. Tyto příměsi zvyšují pevnost a mechanickou odolnost výrobku pro následné řezání na určené pásy, které se používají pro izolaci vinutí elektrických strojů. Velikost získaných částecek je v mezích od 0,04 mm do 0,8 mm, přičemž největší množství zrn má velikost 0,25 mm. Vzniklý slídový papír je hutný, méně nasáklavý a s lepšími mechanickými vlastnostmi [1, 2].

4.2.2 VPI (vakuově tlaková impregnace)

Tímto postupem se získá tzv. **nekalcinovaný slídový papír**. Tato metoda byla vyvinuta po 2. světové válce. Jedná se o hydromechanický způsob (Heymanův), zachovávající veškeré vlastnosti slídy. Dezintegrace se v tomto případě provádí v hydrodezintegrátoru mechanicky – proudem vody, která tryská pod vysokým tlakem na materiál. Pak následuje operace na vibračních a sedimentačních strojích, kde se oddělují hrubé a jemné částice. Hrubé částice se vracejí zpět k dezintegraci vodou. Výchozí slídová suspenze se následně upraví papírenskou technologií. Při této technologii se neužívají žádné chemikálie. Získaná zrnka mají velikost od 0,04 mm do 2 mm, největší množství zrn má velikost 0,4 mm [1, 2].

Nekalcinovaný papír má větší porozitu než papír kalcinovaný, neboť až v 50 % objemu neupraveného papíru jsou malé otvory [9].

4.3 Užití izolačních materiálů z rekonstruované slídy

Největší objem výroby slídových izolací se provádí z výrobků z rekonstruované slídy. Remika se používá ve formě kompozitů spolu s nosnou složkou a pojivem. Takto zpracovaná remika se vyrábí jako fólie, nebo pásy, které se používají hlavně jako hlavní izolační systém elektrických strojů. [1]

4.3.1 Mezilamelová izolace komutátorů

Komutátor je klíčový prvek komutátorových strojů. Vlastnosti i kvalita komutátorů závisí na materiálu lamel i na mezilamelové izolaci. [15]

Na mezilamelovou izolaci se používá materiál sestávající ze slídového papíru a epoxidového pojiva zpracovaný slisováním do formy tvrdých kompaktních desek broušených na přesnou tloušťku. [1]

Pojivový materiál je klíčovým prvkem pro vlastnosti mezilamelové izolace. Důležitá je jeho struktura, druh a množství. Pojivo, které funguje jako spojovací materiál, ochraňuje komutátor před mechanickým a chemickým poškozením. [15]

Bylo zjištěno, že těmto požadavkům nejlépe vyhovuje komutátorový remikant vyrobený z nekalcinovaného muskovitého slídového papíru Remika a pojivem. Tímto pojivem je modifikovaná epoxidová pryskyřice. S rostoucím obsahem pojiva se zlepšují jeho vlastnosti. [15]

4.3.2 Prokládání vodičů

Pro izolační výstřižky pro přístroje a elektrické stroje, se používá materiál vzniklý slisováním slídového papíru s epoxidovým pojivem do formy tvrdých kompaktních desek, které nejsou broušeny na přesnou tloušťku. [1]

4.3.3 Prokládací materiál pro topná tělesa a vysoce teplotně namáhaná zařízení

V případě, že se potřebné součástky vyrábějí ražením, se používají podobné formy jako pro prokládání vodičů, ale použije se anorganické pojivo. Tento materiál se ale nehodí pro vlhké prostředí. [1]

4.3.4 Izolování vinutí strojů do 24 kV

Pro teplotní třídu 155 (F) se používá materiál s epoxynovolakovou pryskyřicí s latentním katalyzátorem, skleněnou tkaninou a slídovým papírem. [1]

4.3.5 Čela cívek ve třídě 155 (F)

V tomto případě se používá materiál obsahující navíc PETP fólii naplátovanou ze strany slídového papíru, který si zachovává částečnou flexibilitu i po vytvrzení. Materiál složený z PETP fólie, slídového papíru a poxynovolakové pryskyřice je určen pro třídu 155 (F) a do strojů 11 kV. Vytvrzení probíhá po impregnaci vinutí - na izolaci se navine smršťovací polyesterová tkanice, která zajistí konečný tvar. [1, 7]

4.3.6 Kaučukové směsi kabelových izolací

Kaučukové směsi se používají v elektrotechnice jako kabelové izolace, ochranné pláště kabelové izolace, těsnící díly i jako díly využívané pro tlumení chvění. Slída se používá v dezintegrované podobě jako ztužující plnivo a dále zlepšuje tepelnou odolnost vulkanizátu a paropropustnost pro plyny a páry. U některých typů vulkanizovaných kaučuků slída použitá jako plnivo vylepšuje jejich elektroizolační vlastnosti. [16, 17]

4.3.7 Teplotní třída 180 (H) (zejména pro trakční motory)

V tomto případě se používá materiál sestávající ze slídového papíru, skleněné tkaniny a silikonové pryskyřice. Zpracování je stejné jako u materiálů v kap. 4.3.5 a vytvrzení se provádí po impregnaci vinutí při jejím vytvrzování. [1, 7]

4.3.8 Výroba točivých strojů s teplotní třídou 155 (F)

Při prokládání vodičů a vyplňování technologických volných prostor se používá materiál vyrobený ze slídového papíru a modifikované epoxynovolakové pryskyřice slisovaných za zvýšené teploty a tlaku do formy ohebných kompaktních desek. Zpracování materiálu lze

provádět za studena nebo po mírném ohřevu. Vytvrzení se provádí společně s hlavní izolací. [1]

4.3.9 Izolace drážek, prokládání vodičů a izolování oblých součástí strojů v teplotní třídě 155 (F)

V tomto případě se používá materiál, který vznikne ze slídového papíru oboustranně polepeného skleněnou tkaninou a celé je to prosyceno modifikovanou epoxidovou pryskyřicí. Tento materiál lze zpracovávat za studena nebo po mírném ohřevu. Běžně se vytvrzuje při impregnaci celého vinutí. [1, 7]

4.4 Využití výrobků z rekonstruované slídy pro vysokonapětové izolační systémy točivých elektrických strojů

Využívají se dvě rozdílné technologie. Jedná se o technologii **resin-rich**, v principu „již obsahující pryskyřici“ a technologii vakuově tlakové impregnace, která se označuje **VPI** (Vacuum Pressure Impregnation).

4.4.1 Resin-rich

V tomto případě se jedná o tříšložkový kompozit, který obsahuje izolační předimpregovaný materiál. Pro tuto metodu se používá kalcinovaný papír. Tento materiál je dodáván obvykle s 30 až 40 hmotnostními procenty pojiva, který je předtvrzen do tzv. B-stavu. Nosnou část tvoří skleněná tkanina se stočenými vlákny s tloušťkou 0,14 mm. Dnes se může použít i nová technologie, kde se skleněná vlákna rovnají do roviny a tím získat prostorovou rezervu. Elektrická pevnost vzroste o 7 % a také dielektrické ztráty jsou nižší. Při stejném počtu ovinů je dosaženo menší tloušťky materiálu. Jako pojivo se používají novolakové a cykloalifatické epoxidové pryskyřice, spolu s latentními katalyzátory – tvrdidly. Tato tvrdidla způsobí, že k polymerační reakci dojde až při cca. 100 °C. Materiál musí být při zpracování suchý a nelepivý. [1, 2]

Vlastní výrobní postup může probíhat dvojím způsobem. První možnost je kontinuálně, zpravidla pro velké točivé stroje. Probíhá to tak, že je cívka ovíjena jedním druhem pásky a je vytvrzována v celé délce, anebo v rovné části. Izolace vinutí má potom shodné vlastnosti v čele i v drážkách. Druhá možnost je diskontinuálně pro stroje menších rozměrů. Probíhá to tak, že rovná část je tvořena fóliovým materiálem a čela se ovíjejí páskou. Při kontinuálním způsobu je cívka ovíjena jedním druhem pásky, obvykle o šíři 20 mm s polovičním,

třetinovým nebo dvoutřetinovým překrytím. To způsobí shodné vlastnosti izolace na čelech i v drážkové části. Nevýhodou kontinuálního způsobu jsou náročné a drahé přípravky. Vytvrzení probíhá tak, že izolace se ohřívá a působí na ní kontaktní tlak. Pojivo přechází do stavu gelu, forma se uzavře a dotáhne. Před dosažením gelového stadia, je nutné zajistit odplynění izolace. Potom se zvýší vytvrzovací teplota na 160 – 170 °C, to podle druhu pryskyřice a tloušťky izolace. Následuje ochlazování, které musí probíhat pozvolně pro omezení defektů vzniklým rozdílným chlazením jádra a izolační trubky. Po zchlazení je možné cívku bez dalších úprav namontovat do stroje. [1, 2]

Výhodou této technologie jsou menší investiční nároky proti metodě VPI a snadná možnost vadnou cívku vyměnit. Nevýhodou je pravděpodobnější výskyt nehomogenit. [1]

4.4.2 VPI (vakuově tlaková impregnace)

Název této metody je určen podle hlavní výrobní operace – vakuově tlakové impregnace. Základním materiálem jsou porézní, suché pásy s malým množstvím pojiva (do 7 %). Používá se nekalcinovaný slídový papír, pro jeho schopnost se dobře naimpregnovat a vhodný nosič. Pásy musí mít dobré mechanické vlastnosti (ohebnost a pevnost), dobré izolační vlastnosti a dobrou elasticitu. Pevnost materiálu nesmí být menší než 80 N na centimetr šířky. Jako nosič se používá skleněná tkanina, nebo syntetická fólie, která se prosytí impregnantem. V současné době se používají 2 ÷ 3 cm široké pásy. Navíjení probíhá na automatických strojích s pěti stupni volnosti. Musí být zaručena dobrá soudržnost nosné složky se slídovým papírem, ale zároveň nízký podíl pojiva. [1, 7, 9]

Jako impregnant se nejčastěji používají nízkoviskozní bezrozpouštědlové epoxidové pryskyřice se stoprocentním obsahem sušiny, což umožňuje vyplňovat prostor impregnovaného objektu. Pro zkrácení želatinové doby a pro příznivější vlastnosti se používá katalyzátor – urychlovač. [2]

Vlastní výrobní postup probíhá tak, že nejdříve se navinuté vinutí suší pro odstranění vlhkosti po dobu přibližně 20 hodin. Pak se předmět dá do impregnačního kotle, kde se odstraní vzduchové bublinky a zbytek vlhkosti. Poté se pomalu, až hodinu, ve vakuu napouští impregnant. Pak se zruší vakuum a zavede se přetlak (cca. 10^6 Pa). Po vypuštění tlaku a okapání se díl předá do sušárny. Nejdříve se suší při mírném podtlaku, poté samotné vytvrzení probíhá za normálního tlaku. Ochlazování probíhá pozvolna a bez přístupu

vzduchu, aby se zabránilo oddělení izolace od měděného vinutí. Kvalita se sleduje měřením ztrátového činitele. Touto metodou můžeme impregnovat buď celý stator, metoda VIW – Vacuum Impregnated Winding Method, nebo pouze jednotlivé tyče, metoda VIB – Vacuum Impregnated Bar Method. [1, 2]

Hlavní výhodou této technologie spočívá ve vysoké homogenitě, která zvyšuje kvalitu izolace, zlepšuje odvod tepla a díky dobré vazbě mezi vinutím a magnetickým obvodem zajišťuje vysokou odolnost proti vlhkosti i proti chemicky agresivnímu prostředí. Protože impregnační se vinutí zpevní, vinutí lépe odolává odstředivým silám rotujících částí, popř. vibracím a otřesům. Další výhodou této metody je v možnosti prodloužení skladovatelnosti pásek oproti materiálům, které se používají pro technologii resin-rich při impregnačním procesu. Při použití bezrozpuštědlových pryskyřic je tato technologie i velmi ekologicky šetrná. [1, 2]

Nevýhodou této technologie jsou značné investiční náklady, proto se technologie VPI používá hlavně v sériové výrobě. Další nevýhodou je nemožnost provádět opravy jednotlivých dílů, pokud je celé vinutí impregováno vcelku. [1]

4.5 Použití slídy v systému trakčních motorů

Základní principy elektrických točivých strojů se nemění. Navýšení jmenovitých výkonů točivých strojů je způsobeno zejména díky novým elektroizolačním materiálům a novým technologiím jejich výroby. [18]

Statorové vinutí je vystaveno teple. Dále je vystaveno elektrickému a mechanickému namáhání. Zejména u trakčních motorů je dán velký důraz na poměr mezi požadovaným maximálním výkonem a minimálními rozměry izolačního systému. Pro toto užití se využívá zejména technologie vakuově tlakové impregnace (VPI). Z elektrotechnického hlediska vychází nejlépe izolace tvořená slídovou páskou z vysoce absorbujícího nekalcinovaného papíru v kombinaci s aramidovým papírem. Jako pojivo se používá epoxidový lak. Nosič je polyamidová folie. Silikonový impregnační lak je použit jako finální impregnace. [18]

Další velmi výhodná varianta, zejména s ohledem na cenu, je izolace z jemného absorbujícího slídového papíru a skleněné tkaniny v kombinaci s aramidovým papírem. Silikonový impregnační lak je použit jako finální impregnace i tomto případě. [18]

4.6 Příklady výrobků z rekonstruované slídy

4.6.1 Filosam® 326.57-10

Filosam® 326.57-10 je zde uveden jako příklad materiálu, který se používá pro izolaci čel cívek. Tloušťka izolace čel cívek je obvykle v rozmezí 60 % až 100 % tloušťky hlavní izolace. [19]



Obr. 4.6.1: Filosam® 326.57-10 (převzato z [19])

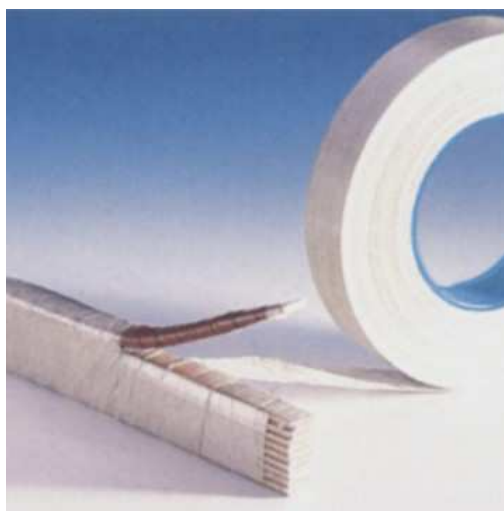
Tab. 2.6.1: Filosam® [19]

Typ:	Tloušťka mm:	Samica® obsah g/m ² :	Složení:	Vlastnosti:	Použití:
326.57-10	0,11	72109	akrylová pryskyřice, slídový papír, polyesterová fólie, oboustranně zesíleno skelnými podélnými vlákny	zcela vytvrzená páska obsahující akrylátovou pryskyřici	vhodná pro izolaci čel cívek vysokonapěťových strojů do 11 kV a jako hlavní izolace do 3,3 kV
326.57-20	0,15				

4.6.2 Samicafilm® 315.13-11

Samicafilm® 315.13-11 je zde uveden jako příklad materiálu, který se používá jako závitová izolace vodičů pro vysokonapěťové stroje, pro nízkonapěťové stroje, které jsou napájeny polovodičovými měniči a pro vysoce zatížené trakční stroje. Tento materiál je cenově výhodná slídová páska určená pro izolaci vodičů. Samicafilm® se skládá ze slídového papíru Samica®, polyesterové fólie a epoxidové pryskyřice. [19]

Protože se cívka skládá z více závitů, má izolace vodiče velký vliv na celkový rozměr cívky. Z konstrukčního hlediska je požadovaná co nejmenší tloušťka izolace. Přesto musí být cívka při výrobě a při provozu odolná vůči mnohým elektrickým a mechanickým vlivům. [19]



Obr. 4.6.2: Samicafilm® 315.13-11 (převzato z [19])

Tab.4.6.2: Samicafilm® 315.13-11 [19]

Typ:	Tloušťka mm:	Složení:	Kaširování:	Použití:
315.13-11	0,09	slídový papír, polyesterová fólie	jednostranné	pro izolace vodičů vysokonapěťových strojů, pro měničem napájené nízkonapěťové stroje, pro vysoce zatížené trakční motory

4.6.3 Samicatherm® 315.13-11

Jako příklad materiálu pro hlavní izolaci izolačních systémů technologie resin-rich je zde uveden Samicatherm® 315.13-11. Materiály Samicatherm® a MicaRich® se dodávají s různými druhy nosičů jako je skelná tkanina, polyesterová fólie atd. a s rozdílným obsahem pryskyřice. Používají se hlavně ve vysokonapěťových strojích (až do nejvyšších napětí), ale také jako izolace pólových, rotorových a trakčních cívek. Pro své zvláště dobré dielektrické vlastnosti je použit pro pásy Samicatherm® slídový papír vyrobený ze slídy muskovit. [19]



Obr. 4.6.3: Samicatherm® (převzato z [19])

Tab.4.6.3: : Samicatherm® [19]

Název:	Typ:	Tloušťka mm:	Samica® obsah g/m ² :	Poznámka:	Použití:
Samicatherm®	366.29	0,15	90	kalcinovaná Samica®	hlavní izolace
Samicatherm®	366.28	0,19	120	kalcinovaná Samica®	hlavní izolace
Samicatherm®	366.31	0,21	150	kalcinovaná Samica®	hlavní izolace
Samicatherm®	366.27	0,26	180	kalcinovaná Samica®	hlavní izolace

Název:	Typ:	Tloušťka mm:	Samica® obsah g/m ² :	Poznámka:	Použití:
Samicatherm®	366.33	0,24	180	nekalcinovaná Samica®	hlavní izolace
Samicatherm®	366.32	0,28	240	nekalcinovaná Samica®	hlavní izolace
Samicatherm®	366.38	0,35	370	nekalcinovaná Samica®	hlavní izolace
Samicatherm® P	315.20	0,16	150	nosič polyesterová fólie, vhodné pro výrobu z fólie	hlavní izolace

Závěr

Tato práce se zabývá použitím slídy v elektrotechnice, popisuje její složení a fyzikální vlastnosti. Také uvádí její výskyt v přírodě a jmenuje celou řadu příkladů slídových výrobků a jejich parametrů. Slída a výrobky z ní se v elektrotechnice používají v celé řadě aplikací, ať už jako izolanty, nebo jako dielektrika. Využívá se jak surová slída ve formě plátků, mikanitů ve formě desek, nebo v rekonstruované formě ve formě tzv. slídového papíru, což je v současnosti její nejčastější použití. Hlavní výhodou slídy a výrobků z ní je, že má stálé a skoro neměnné vlastnosti až do bodu kalcinační teploty. Tato teplota se pohybuje podle druhu slídy mezi 700-1000 °C. Slídového papíru se hlavně využívá na vysokonapěťové vinutí točivých elektrických strojů. Kalcinovaný slídový papír pro systém resin-rich a nekalcinovaný slídový papír pro systém VPI. Protože má slída výborné vlastnosti pro použití v elektroizolační technice je dosud jednou z nejdůležitějších složek i v některých izolačních kompozitních materiálech. Předpokládá se, že bude i nadále nenahraditelná zejména v oblasti vysokonapěťové izolační techniky.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. Praha: BEN-technická literatura, 2006, 235s. ISBN 80-7300-189-6.
- [2] POLANSKÝ, RADEK. *Materials in Electrical Engineering: A reference book for Erasmus students at FEE UWB*. University of West Bohemia-Faculty of Electrical Engineering, 2012, 167s.
- [3] MATYÁŠEK, Jiří; SUK, Miloš. Přehled minerálů a hornin: E-learning Katedry biologie PdF MU. *Veřejné služby Informačního systému* [online]. 2007 [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: http://is.muni.cz/elportal/estud/pedf/js07/minerality/materialy/min_silikaty/fylosilikaty_slidy.html
- [4] Mica: Wikipedia, the free encyclopedia. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 28 May 2014 [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mica>
- [5] Horninotvorné materiály. FSV ČVUT. *Departments.fsv.cvut.cz* [online]. 2007, 16. srpna 2007 13:21:29 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/petro/minerality.html>
- [6] Stauber, J.: *Funkční hodnocení izolačních systémů a cesty vedoucí k vyššímu využití*, Plzeň 2007 [online]. [cit. 2011-05-05]. Dostupné z: http://147.228.94.30/images/PDF/Rocnik2007/spec_cislo_diagnostika07/r0c2c10.pdf
- [7] Ižo, M., Tököly F.: *Elektrotechnické materiály pro SOU*, Praha, SNTL 1986.
- [8] ŠTENGL, Václav. Mica1. *Vítejte na stránkách ÚACh!: Ústav anorganické chemie AV ČR, v.v.i.* [online]. 2012 [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: <http://www.iic.cas.cz/~stengl/mica1.htm>
- [9] STONE, Greg C.; BOULTER, Edward A.; CULBERT, Lan; DHIRANI, Hussein. *Electrical Insulation for Rotation Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing, and Prepare*. Power Engineering, 2004, 371s.
- [10] Muskovit: Wikipedie. *Wikipedie* [online]. 2013, 25. 7. 2013 [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Muskovit>
- [11] Interní materiály firmy GES-ELECTRONICS, a.s., In: <http://www.ges.cz/> [online]. 10.1.2011 [cit.20.1.2014]. Dostupné z <http://www.ges.cz>. Path: elektronicke-soucastky; kondenzatory; slidove-kondenzatory.
- [12] JIRÁSEK, J. Flogopit. In: *Institut geologického inženýrství, VŠB-TU Ostrava: Geologie, Studium, Mineralogie, Geology, Mineralogy* [online]. 2010 [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/nerudy/flogopit.html>
- [13] Mikanit komutatorowy: Rura szklana, rury i szkło kwarcowe, mikanit, szkło

- transparentne, wzierne i wodowskazowe | Continental Trade. *Rura szklana, rury i szkło kwarcowe, mikanit, szkło transparentne, wzierne i wodowskazowe: Continental Trade* [online]. 2014 [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.continentaltrade.com.pl/mikanit-komutatorowy>
- [14] High-voltage: Isovolta Group. *Home - Isovolta AG* [online]. 2012 [cit. 2014-06-05]. Dostupné z: http://www.isovolta.com/high-voltage_en.php?art=High+Voltage&einsatz=Resin+Rich+Technology
- [15] MENTLÍK, V. *Vztah množství pojiva a vlastností komutátorových remikantů*. DISEE 2004, 15. medzinárodná konferencia. Bratislava: FEI STU, 2004.
- [16] TOMAN, M. *Vliv slídového plniva na elektrické vlastnosti elastomerů*. Dielektrické a izolačné systémy v elektrotechnike, DISEE 2006, 16. medzinárodná konferencia. Bratislava: FEI STU, 2006. ISBN 80-227-2470-X.
- [17] TOMAN, M. *Vliv obsahu slídy na elektrické vlastnosti elastomerů*. Elektrotechnika a informatika 2007, Část první – Elektrotechnika. 8. Ročník přehledky doktorských prací, Plzeň ZČU, 2007, ISBN 978-80-7043-572-4.
- [18] MENTLÍK, V, POLANSKÝ, R, Pihera, J. *Optimalizace izolace vinutí trakčních strojů*. Nové směry v diagnostice a opravách elektrických strojov a zariadení, Zborník prednášok VI. Medzinárodnej vedeckej a odbornej konferencie, Žilina: EDIS, 2006. ISBN 80-8070-545-3.
- [19] Interní materiály firmy SILENT-CZECH spol. s r.o., In: [www. http://www.silent-czech.cz](http://www.silent-czech.cz) [online]. 10.1.2011 [cit.20.1.2014]. Dostupné z <http://www.silent-czech.cz/Path:produkty;izolacni-materialy;slidove-materialy>.