



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Porovnání elektrických vlastností kalcinovaného a
nekalcinovaného slídového papíru**

**Comparison of the electrical properties of calcined and
uncalcined mica paper**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Josef Sedláček CSc.

Tomáš Renfus

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Renfus** Tomáš

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Porovnání elektrických vlastností kalcinovaného a nekalcinovaného slídového papíru

Pokyny pro vypracování:

1. Popis výroby kalcinovaného a nekalcinovaného slídového papíru a jejich parametry
2. Přehled metodik charakterizace slídového papíru pro elektrotechnické aplikace
3. Srovnávací měření vlastností a vyhodnocení výsledků
4. Náklady na výrobu kalcinovaného a nekalcinovaného slídového papíru

Seznam odborné literatury:

1. Macík K.: Jak kalkulovat podnikové náklady? Montanex, 1994.
2. Mentlík V.: Dielektrické prvky a systémy. Ben – Technická literatura, 2006.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedláček

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2014

Abstrakt

Předkládaná práce shrnuje proces výroby slídového papíru, od surového stavu slídy až po její zpracování různými technologiemi na kalcinovaný a nekalcinovaný slídový papír. Dále se práce zabývá metodami charakterizace elektrických i neelektrických vlastností slídového papíru a vyčleněním nákladů na jeho výrobu. Součástí práce jsou provedená měření vlastností slídového papíru pomocí metod popsaných v odst. 3.

Abstract

The present thesis summarizes the process of production of mica paper, from the basic state of mica to its various processing technologies for calcined and uncalcined mica paper. The thesis deals below with the characterization methods of electrical and non-electrical properties of mica paper and earmark of the cost of its production. Part of the thesis are the measurements of properties mica paper according to the methods described in the third paragraph.

Klíčová slova

Muskovit, flogopit, slídový papír, resin-rich, VPI, charakterizace slídového papíru, měření, náklady.

Keywords

Muscovite, phlogopite, mica paper, resin-rich, VPI, characterization of mica paper, measurement, costs.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Podpis studenta

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Sedláčkovi, CSc. za poskytnutou metodickou pomoc a za cíleně orientované vedení při plnění úkolů bakalářské práce. Velké díky patří také Ing. Zdeňku Bezděkovi, Ph.D. za odborné rady v oblasti výroby slídového papíru.

V Praze dne

.....

Podpis studenta

Obsah

Úvod.....	7
1. Charakterizace slídy a slídových výrobků	8
1. 1. Slída	8
1. 1. 1. Muskovit.....	8
1. 1. 2. Flogopit.....	9
1. 2. Těžba slídy.....	10
1. 3. Slídové výrobky.....	11
2. Slídový papír	12
2. 1. Kalcinovaný slídový papír	12
2. 2. Nekalcinovaný slídový papír	13
2. 3. Použití slídového papíru	14
2. 3. 1. Resin-rich	14
2. 3. 2. VPI.....	14
2. 3. 3. Resin-rich x VPI.....	15
3. Přehled metodik charakterizace slídového papíru.....	16
3. 1. Měření neelektrických veličin slídového papíru	16
3. 1. 1. Tloušťka	16
3. 1. 2. Porozita.....	17
3. 1. 3. Pevnost v tahu.....	17
3. 1. 4. Penetrace.....	18
3. 1. 5. Plošná hmotnost.....	19
3. 2. Měření elektrických veličin slídového papíru	19
3. 2. 1. Vnitřní a povrchová rezistivita	19
3. 2. 2. Permittivita a ztrátový činitel	22
3. 2. 3. Elektrická pevnost	24
4. Srovnávací měření vlastností slídového papíru.....	25
4. 1. Výsledky měření neelektrických veličin slídového papíru.....	25
4. 2. Výsledky měření elektrických veličin slídového papíru	27
5. Náklady na výrobu slídového papíru	29
5. 1. Podnikové náklady	29

5. 2. Kalkulace nákladů	30
5. 3. Náklady na výrobu slídového papíru.....	30
6. Závěr	32
7. Použitá literatura	34

Úvod

Slída má výborné elektrické vlastnosti, jako je vysoký izolační odpor, vysoká elektrická pevnost, nízké dielektrické ztráty, odolnost proti doutnavým výbojům, vysoká tepelná odolnost při zachování elektrických vlastností (až do své kalcinační teploty¹) či chemická stálost. Tyto vynikající vlastnosti jsou dané strukturou slídy, kde stabilitu zajišťuje silná kovalentní vazba mezi kyslíkem a křemíkem ve vrstvách oxidu křemičitého. Díky těmto vlastnostem je slída důležitým prvkem vysokonapěťových izolačních materiálů u strojů na vysoké napětí, vakuové elektrotechniky či při výrobě kvalitních kondenzátorů.

Mým cílem bylo popsat měřicí metody, pomocí kterých zjišťujeme vlastnosti slídového papíru, tyto měřicí metody provést a porovnat několik druhů slídového papíru. Slídové papíry se mezi sebou liší použitým typem slídy, způsobem zpracování slídy a celkovou hmotností papíru.

¹ Při kalcinační teplotě se ze slídy částečně odstraňuje voda vázaná v krystalové mřížce

1. Charakterizace slídy a slídových výrobků

1. 1. Slída

Slída patří mezi jeden z nejpoužívanějších a nejlepších izolačních materiálů. Díky svému složení ji řadíme mezi aluminosilikáty (hlinitokřemičitany), které tvoří asi 5 % objemu zemské kůry. V současnosti je známo na 40 druhů slídových minerálů. Pro elektrotechniku jsou nejdůležitější dva druhy a to muskovit a flogopit. Dle zpracování můžeme slídu rozdělit na slídu surovou, štípanou, upravenou a na slídový prach.

1. 1. 1. Muskovit

Muskovit neboli draselná slída je světlá slída, často bezbarvá nebo šedá (Obr. 1). V přírodě můžeme nalézt i vzorky zabarvené do zelena, žluta nebo červena, dle množství a typu příměsí. Název muskovit pochází z Ruska, kde se nerost používal na výrobu pižmového skla. Je výborně štípatelný podél tabulek, mechanicky pevný, ohebný a inertní vůči vodě, rozpouštědlům či kyselinám. Vyniká vysokým skelným či perleťovým leskem a je použitelný do teploty 500 až 600 °C. Kalcinace nastává při teplotách 700 až 800 °C.

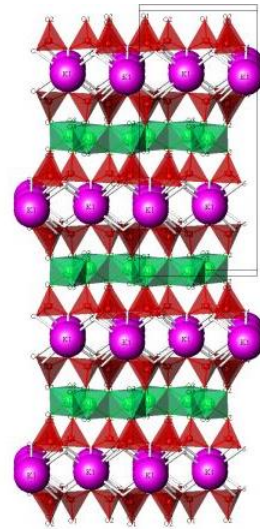
Jeho chemické složení je definováno vzorcem $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Často dochází k substituci v oktaedrické síti, kde se objevuje hořčík, železo, mangan, vanad nebo chrom. Poměr křemíku ku hliníku je v tetraedrické síti stálý.

Struktura je typickou ukázkou fylosilikátu² s tetradrickou a oktaedrickou sítí v poměru 2:1 (Obr. 2). Na Obr. 2 vidíme dvě tetraedrické sítě (červená barva), oktaedrickou síť (zelená barva) a kationty oddělující jednotlivé vrstvy (fialová barva).

² Fylosilikáty jsou minerály, které mají vrstevní stavbu struktury a splňují i další kritéria. Základní stavební jednotkou všech fylosilikátů je tetraedr SiO_4 .



Obr. 1 Muskovit - oblast Dolní Bory [10]



Obr. 2 Struktura muskovitu [11]

1. 1. 2. Flogopit

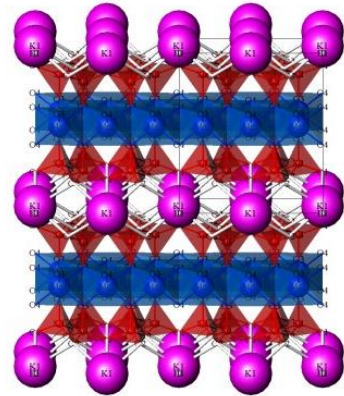
Flogopit neboli hořečnatá slída je bronzově hnědý, hnědočervený i žlutohnědý, podle typu a množství příměsí (Obr. 3). Má nižší elektrickou vodivost než muskovit, použitelný je do teploty 800 °C a je tedy více teplotně odolný. Jeho struktura je teplotně stabilní do 900 až 1000 °C. Je výborně štípatelný podél tabulek, mechanicky pevný, ohebný a vyniká vysokým skelným či perleťovým leskem.

Jeho chemické složení je definováno vzorcem $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$. Časté jsou substituce v oktaedrické síti, kam se může dostat do pozice hořčíku železo nebo hliník. Poměr křemíku ku hliníku je v tetraedrické síti stálý. Ve vrstvě oddělující oktaedrické sítě může být draslík nahrazen sodíkem.

Na Obr. 4 vidíme dvě tetraedrické sítě (červená barva), oktaedrickou síť (modrá barva) a kationty oddělující jednotlivé vrstvy (fialová barva).



Obr. 3 Flogopit [12]



Obr. 4 Struktura flogopitu [13]

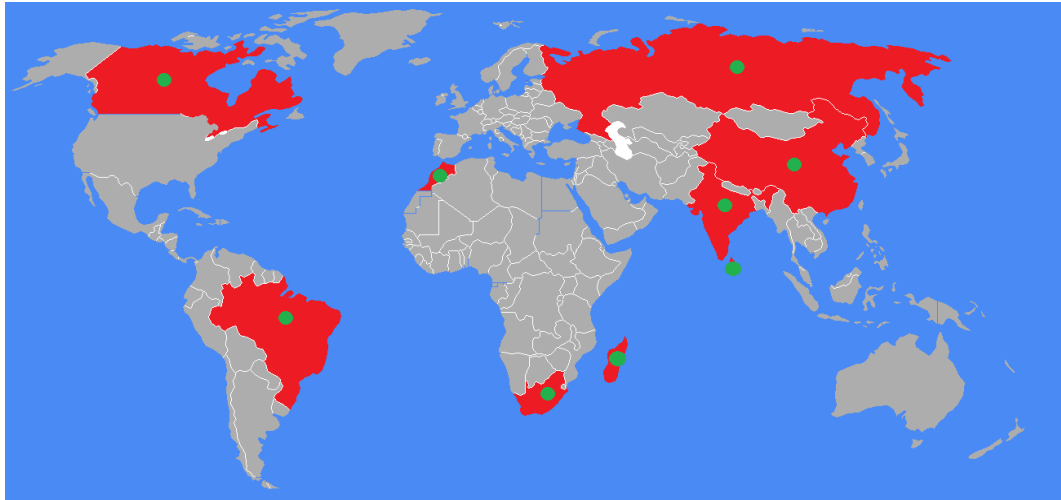
1. 2. Těžba slídy

Slída se těží v žíle podobně jako zlato nebo jiné nerostné suroviny. S ohledem na dnešní použití slídy jsou světové zásoby dostačující. Pro představu, v roce 2006 bylo vytěženo 415 200 tun, v roce 2007 to bylo 385 200 tun a v roce 2008 bylo vytěženo na 379 200 tun slídy.

Světová velmoc v těžbě slídy je Rusko, které v roce 2008 vytěžilo přes 100 000 tun slídy, druhé v pořadí jsou Spojené státy americké se svou těžbou 84 000 tun slídy, (údaje o těžbě slídy v Číně jsou neznámé). Největší naleziště slídy jsou zachyceny na Obr. 5.

Muskovit se u nás vyskytuje v Otově, Dolním Boru, Maršíkově, Písku, Roudné či Staré Vožici. Ve světě jsou naleziště muskovitu např. v Anglii, Indii, USA nebo Rusku.

Flogopit se u nás vyskytuje v Radkovicích, Heřmanově, Dolní Lipové či Sušici. Ve světě jsou naleziště flogopitu např. v Kanadě, Brazílii, Finsku nebo na Bajkalu či Madagaskaru, [6].



Obr. 5 Největší naleziště slídy na světě

1. 3. Slídové výrobky

Elektroizolační materiály na bázi slídy můžeme rozdělit do dvou skupin:

- mikanity,
- remikanity.

Mikanity jsou materiály, vyrobené ze štípané slídy. Jedna z možností výroby mikanitů je využití slídových lístků tak, že se nechají gravitací snášet na pás nebo se pokládají na pás ručně (Obr. 6). Nevýhoda této metody spočívá v nerovnoměrné distribuci slídy ve výrobku.

Remikanity jsou materiály, kde se využívá tzv. rekonstruovaná slída. Pro výrobu těchto materiálů se slída rozmělní na malé částičky a dle požadavků se vyrobí kalcinovaný nebo nekalcinovaný slídový papír.



Obr. 6 Ženy pokládající slídové lístky na pás

2. Slídový papír

Slídový papír se dělí na kalcinovaný a nekalcinovaný.

Kalcinovaný papír se vyrábí z muskovitu, kdy se pro rozmělnění slídy využívá termochemická nebo termomechanická metoda. Pro kalcinovaný papír nelze využít flogopit. U flogopitu jsou nahrazeny hydroxylové skupiny skupinami fluóru, takže i při působení tepla nenastane u flogopitu kalcinace.

Nekalcinovaný papír se vyrábí z muskovitu a flogopitu, kdy se pro rozmělnění slídy využívá hydromechanická metoda.

Částice uvnitř slídového papíru drží pospolu díky Van der Waalsovým silám³. To má za následek, že se při zpracování slídy na papírenském stroji nepoužívá žádné pojivo.

2. 1. Kalcinovaný slídový papír

Termochemická metoda. Při této metodě se slída po dobu 20 minut zahřívá při teplotě 800 °C. V tomto kroku ztratí slída až 50 % vody. Poté se takto zpracovaná slída nasype do 1% roztoku uhličitanu sodného. Následně se ve slídě prudkým zchlazením rozruší krystalická struktura a zvětší se objem slídy až o 800 %. Následuje ponoření do 5% roztoku kyseliny chlorovodíkové. Při této reakci vzniká v kádi oxid uhličitý. Unikající oxid uhličitý dále naruší strukturu slídy, čímž dojde k jejímu chemickému rozmělnění. V následné operaci se odstraní chlorid sodný tzv. vypráním. Takováto suspenze se přivádí do sedimentačních kádí, kde se pomocí gravitace oddělí částčky slídy, které již nelze rozmělnit. Poté se provede vibrační třídění dezintegrované slídy k dosažení správného spektra velikosti částic. Následná suspenze se ředí tak, aby obsahovala 10 % slídy a 90 % vody. Vzniklá kašovina se přivádí na papírenský stroj a zpracovává se papírenskou technologií, jak je vidět na Obr. 7.

Termomechanická metoda. Při této metodě se slída zahřívá v peci po dobu 20 minut. Následně se slída prudce zchladí, čímž dojde k jejímu částečnému rozmělnění. Poté se slída přivede do dezintegrátoru, kde dojde k druhému rozmělnění částic. Vzniklá suspenze pokračuje do sedimentačních kádí, provede se vibrační třídění

³ Van der Waalsovy síly jsou přitažlivé a odpuzivé interakce mezi molekulami.

dezintegrované slídy a poté se ve vhodné koncentraci (10 % slídy a 90 % vody) přivádí na papírenský stroj.

Velikost částic slídy, tvořících u těchto dvou metod slídový papír, je v rozmezí 0,04 až 2 mm. Kalcinovaný papír má v porovnání s nekalcinovaným papírem vyšší počáteční hodnoty elektrické pevnosti a vyšší pevnost v tahu. Oproti nekalcinovanému papíru je ale velmi špatně impregnovatelný, a proto se využívá pro izolační systémy typu resin-rich.



Obr. 7 Papírenský stroj na výrobu slídového papíru

2. 2. Nekalcinovaný slídový papír

Hydromechanická metoda. Při této metodě se na slídu působí mechanicky. Rozmělnění slídy je prováděno v dezintegrátoru, ve kterém je slída nesena proudem vody a naráží na rotující kotouče. Takto vzniklá suspenze pokračuje do sedimentačních kádí, provede se vibrační třídění dezintegrované slídy a následně je ve správné koncentraci (10 % slídy a 90 % vody) přiváděna na papírenský stroj.

Velikost částic slídy, tvořících u této metody slídový papír, je v rozmezí 0,04 až 2 mm. Tento papír je velmi dobře impregnovatelný, a využívá se proto v izolačních systémech typu VPI (Vacuum Pressure Impregnation).

2. 3. Použití slídového papíru

Kalcinovaný a nekalcinovaný slídový papír má velmi špatné mechanické vlastnosti (např. pevnost v tahu), a je tedy používán ve spojení s nosnou složkou a pojivem, kdy získá výsledný kompozit výborné jak elektrické, tak mechanické vlastnosti.

2. 3. 1. Resin-rich

Technologie resin-rich používá jako výchozí materiál tříslložkový kompozit. Kompozit se skládá z nosné složky (nejčastěji skleněná tkanina), předimpregnovaný kalcinovaný slídový papír a pojivo (nejčastěji epoxidová pryskyřice). Tento kompozit se dodává ve formě polotovaru a obsahuje 30 – 40 % pojiva z celkové hmotnosti kompozitu. Vytvrzení kompozitu na ovitých vodivých částech probíhá ve formě, která umožní svým stažením dosáhnout přesně definované tloušťky izolace. Samotné vytvrzení kompozitu se děje při zvýšeném tlaku a při teplotách 160 – 170 °C, přičemž čas vytvrzování závisí na tloušťce izolace a druhu použitého pojiva (uvádí se čas přibližně jedné hodiny). Vytvrzením se z kompozitu stává kompaktní izolace, [1].

2. 3. 2. VPI

VPI (Vacuum Pressure Impregnation) neboli vakuově tlaková impregnace. Tato technologie využívá kompozit sestávající z nosné složky (nejčastěji skleněná tkanina nebo polyesterová fólie), nekalcinovaný slídový papír a pojivo (nejčastěji epoxidová pryskyřice). Tento kompozit obsahuje do 7 % pojiva z celkové hmotnosti kompozitu (pouze pro zajištění mechanické pevnosti kompozitu). Toto pojivo musí být kompatibilní s následně použitým pojivem při vakuově-tlakové impregnaci. Při samotné impregnaci se používají bezrozpouštědlové epoxidové, silikonové nebo polyesterové pryskyřice. Celý impregnační proces probíhá tak, že se prvek s kompozitem určený

k naimpregnování nejdříve předsuší (při teplotě vyšší než 100 °C cca 20 minut), poté se prvek upevní do impregnačního kotle, kde se zavede vakuum a kotel se zaplaví impregnantem. Toto zaplavení trvá přibližně 1 hodinu. Následně se zavede přetlak, impregnovaný předmět se nechá okapat od zbytku impregnantu a přenesení do sušárny. Zde probíhá vytvrzování kompozitu za normálního tlaku při proudění teplého vzduchu, [1].

2. 3. 3. Resin-rich x VPI

Výhoda metody VPI spočívá v lepší celistvosti (homogenitě) výsledné izolace. Ta je dána vakuovou impregnací kompozitu. Nutnost vytvoření vakua je ale zároveň největší nevýhoda této metody, protože technické zařízení pro VPI je poměrně náročné (tedy i drahé). U této metody prakticky neexistuje oprava jednotlivých dílů (to je dáno impregnací celého kompozitu).

U metody resin-rich sice nedosáhneme tak dobré homogenity výsledné izolace a místy se mohou vyskytnout malé nehomogenity, ale technické vybavení pro tuto metodu je poměrně nenáročné (tedy i levné). Jediné na co musíme dbát, je přesná forma pro vytvrzování. U této metody se může provádět jednoduše oprava jednotlivých částí (není naimpregnován celý kompozit, ale pouze jeho části) např. výměna cívek apod.

3. Přehled metodik charakterizace slídového papíru

Vlastnosti slídového papíru se měří neelektrickými a elektrickými zkouškami. Z těchto vlastností jsou následně popsány především ty, které se měří v odst. 4. Mezi neelektrické vlastnosti měřené v odst. 4. patří tloušťka, porozita, pevnost v tahu, penetrace a plošná hmotnost. Mezi elektrické vlastnosti patří vnitřní rezistivita, povrchová rezistivita, ztrátový činitel, permitivita a elektrická pevnost.

3. 1. Měření neelektrických veličin slídového papíru

3. 1. 1. Tloušťka

O stanovení tloušťky pojednává norma ČSN EN 60371-2 ed. 2 čl. 4.

Vzorek sestává z proužku o ploše $0,2 \text{ m}^2$, odebraného po celé šířce role. Měří se tloušťka u každého vzorku v deseti místech, která jsou rovnoměrně rozložena podél středové čáry u rolí nebo pásek (ne na okrajích). Měřicí zařízení musí pracovat při tlaku na vzorek $0,1 \text{ MPa} \pm 10 \%$, přičemž odečet měřené hodnoty se provádí alespoň 5 s po přiložení tlaku. Tloušťka každého zkušebního vzorku se udává jako střední hodnota výsledků, [14].

K měření tloušťky se nejčastěji používá úchylkoměr (Obr. 8) a (Obr. 9).



Obr. 8 Úchylkoměr značky Sylvac [15]



Obr. 9 Úchylkoměr značky Kinex CZ [16]

3. 1. 2. Porozita

O stanovení porozity pojednává norma ČSN ISO 5636-1.

Porozita neboli propustnost pro vzduch udává aritmetický průměr průtoku vzduchu jednotkou plochy při jednotkovém rozdílu tlaků za jednotku času, za stanovených podmínek. Vzorek se upne mezi dvě kruhová těsnění nebo mezi kruhová těsnění a prstencový rovný povrch o známých rozměrech. Tlak na jedné straně zkušební plochy zkušební vzorku je roven atmosférickému tlaku a rozdíl tlaků mezi dvěma stranami zkušební vzorku se udržuje na nízké, ale během zkoušky stále konstantní hodnotě, poté se stanoví průtok vzduchu zkušební plochou za stanovenou dobu. Při měření porozity podle přístroje Gurley, je porozita definována jako čas, za který se vzorkem protlačí 100 cm^3 vzduchu, [17].

K měření porozity se používá porozimetr (Obr. 10).



Obr. 10 Porozimetr značky Lorentzen & Wettre [18]

3. 1. 3. Pevnost v tahu

O stanovení pevnosti v tahu pojednává norma ČSN EN 60371-2 ed. 2 čl. 8.

K měření pevnosti v tahu se využívají vzorky takové délky, aby umožňovaly nastavení vzdálenosti čelistí zkušebního zařízení 200 mm.

Samotné měření probíhá tak, že se zkušební vzorek upne do zkušebního zařízení, přiměřeně zatíží (rychlost posuvu pro surovou slídu je 10 mm/min) a zaznamená se velikost síly při přetržení. Pokud se zkušební vzorek přetrhne v čelistech zkušebního zařízení nebo v jejich blízkosti, výsledek zkoušky se vyškrtně a provede se další zkouška na jiném zkušebním vzorku. Výsledek zkoušky se vyjadřuje v newtonech na 10 mm šíře, [14].

K měření pevnosti v tahu se používá trhačka materiálů (Obr. 11).



Obr. 11 Trhačka materiálů značky Deform [19]

3. 1. 4. Penetrace

O stanovení penetrace pojednává norma ČSN EN 60371-2 ed. 2 čl. 20.

Zkouška se provádí na zkušebních vzorcích 75 mm x 75 mm jak z vnější strany, tak ze sítové strany. Zkušební kapalinou musí být směs 60 % objemu ricinového oleje (dvakrát rafinovaného) a 40 % objemu toluenu.

Samotná zkouška spočívá v naplnění penetrometru zkušební kapalinou tak, aby hladina zkušební kapaliny byla v oblasti do 5 mm pod horním okrajem. Zkušební vzorek se pomocí upínacího kroužku upevní nad kapalinou. V momentě překlopení

penetračního přístroje z vodorovné do šikmé polohy se spustí stopky. Stopky se zastaví v okamžiku, kdy se kruhový zkušební vzorek zcela naimpregnuje zkušební kapalinou. Výsledek zkoušky se udává v sekundách, kdy je vzorek zcela naimpregnován.

Pro měření penetrace se používá standardní penetrometr typu Williams se zkušební plochou o průměru $6 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$. K měření času se používají stopky, umožňující měřit čas s přesností na $0,1 \text{ s}$, [14].

3. 1. 5. Plošná hmotnost

O měření plošné hmotnosti pojednává norma ČSN EN 60371-2 ed. 2. čl. 6.

Jelikož se v praxi více využívá měření plošné hmotnosti namísto výpočtu objemové hmotnosti, změříme dle normy ČSN EN 60371-2 ed. 2 čl. 6 pouze plošnou hmotnost vzorku a výsledek se nebude dělit tloušťkou materiálu (k získání objemové hmotnosti) jak je definováno v normě. Plošná hmotnost udává hmotnost vzorku na jednotku plochy vyjádřená v g/m^2 .

3. 2. Měření elektrických veličin slídového papíru

3. 2. 1. Vnitřní a povrchová rezistivita

O měření vnitřní a povrchové rezistivity pojednává ČSN IEC 93.

Vnitřní rezistivita je poměr intenzity stejnosměrného elektrického pole a hustoty ustáleného proudu uvnitř elektroizolačního materiálu. V praxi se definuje jako vnitřní odpor vztažený na objemovou jednotku. SI jednotka vnitřní rezistivity je $\Omega \cdot \text{m}$.

Povrchová rezistivita je poměr intenzity stejnosměrného elektrického pole a lineární proudové hustoty v povrchové vrstvě elektroizolačního materiálu. V praxi se definuje jako povrchový odpor vztažený na jednotkovou plochu. SI jednotka povrchové rezistivity je Ω , [20].

K určení vnitřní a povrchové rezistivity se musí co nejpřesněji změřit vnitřní a povrchový odpor vzorku. Ten se měří přímou nebo porovnávací metodou.

Přímá metoda závisí na stejnosměrném napětí připojeného na neznámý odpor a na proudu, který teče skrz odpor (voltampérová metoda, Obr. 12). Hodnota neznámého odporu $R_x [\Omega]$ se určí ze vzorce

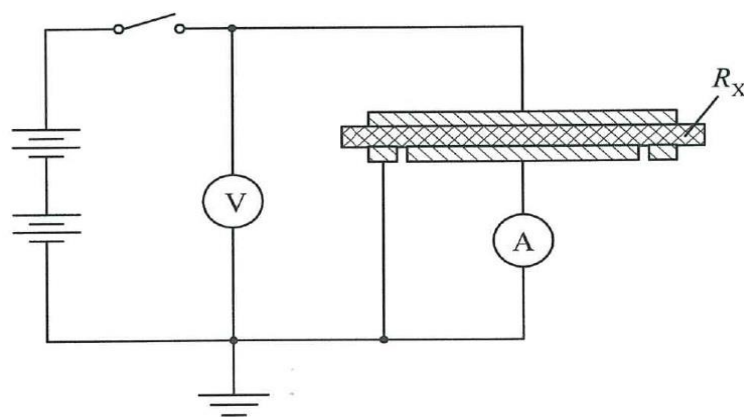
$$R_x = U / I, \quad (1)$$

kde U je hodnota připojeného napětí [V], I je proud protékající měřeným vzorkem [A].

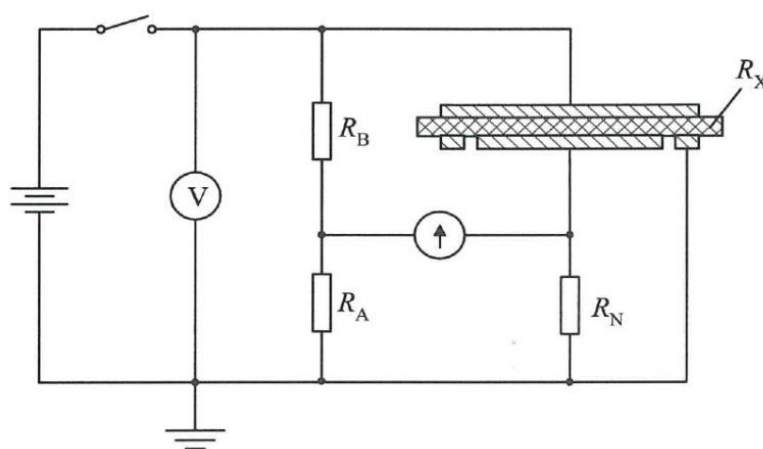
Porovnávací metoda určuje poměr neznámého odporu k odporu známého odporníku (Obr. 13). Hodnota neznámého odporu $R_x [\Omega]$ se určí ze vzorce

$$R_x = (R_N \times R_B) / R_A, \quad (2)$$

kde odpory R_A , R_B a $R_N [\Omega]$, jsou odpory můstku z Obr. 13.



Obr. 12 Voltampérová metoda [1]



Obr. 13 Metoda Wheatstonova můstku [1]

Pro měření vnitřního a povrchového odporu, se využívá tříelektrodový systém. Elektrodotový systém pro měření vnitřního odporu je na Obr. 14. Vnitřní rezistivita se poté určí ze vztahu

$$\rho_V = (R_x \times A) / h, \quad (3)$$

kde ρ_V je vnitřní rezistivita [$\Omega \cdot m$], R_x je vnitřní odpor vzorku [Ω], h je tloušťka vzorku [m] a A je efektivní plocha měřící elektrody [m^2]. Efektivní plocha kruhové měřící elektrody se vypočítá ze vzorce

$$A = (\pi \times (d + g)^2) / 4, \quad (4)$$

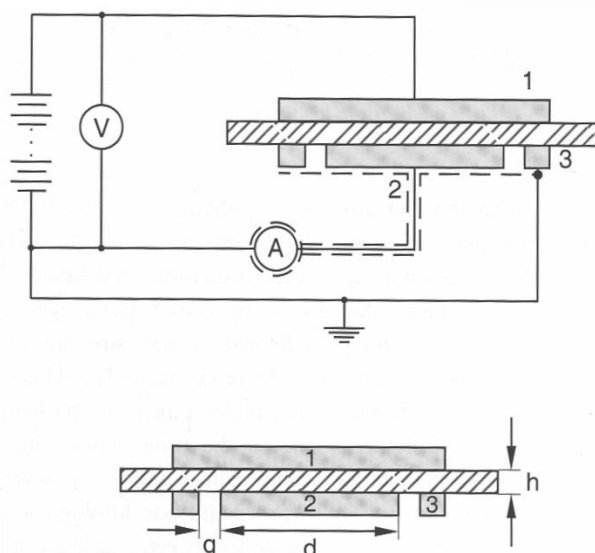
kde d je průměr měřící elektrody [m] a g je šířka ochranné štěrbiny [m]. Elektrodotový systém pro měření povrchového odporu je na Obr. 15. Povrchová rezistivita se poté určí ze vztahu

$$\rho_P = (R_x \times P) / g, \quad (5)$$

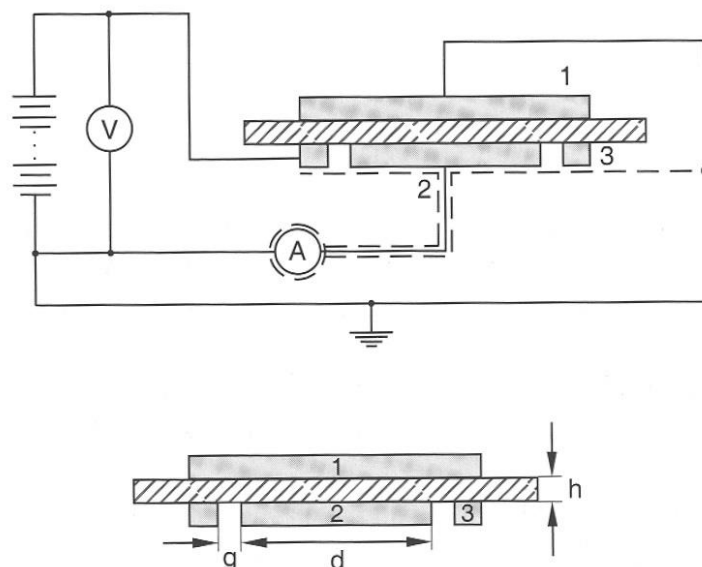
kde ρ_P je povrchová rezistivita [Ω], R_x je povrchový odpor vzorku [Ω], g je šířka ochranné štěrbiny [m] a P je efektivní obvod měřící elektrody [m]. Efektivní obvod kruhové měřící elektrody se vypočítá ze vzorce

$$P = \pi \times (d + g), \quad (6)$$

kde d je průměr měřící elektrody [m] a g je šířka ochranné štěrbiny [m], [1].



Obr. 14 Elektrodotový systém pro měření vnitřního odporu. Nechráněná elektroda (1), měřící elektroda (2), ochranná elektroda (3), průměr měřící elektrody (d), šířka ochranné štěrbiny (g), tloušťka vzorku (h). [21]



Obr. 15 Elektrodový systém pro měření povrchové odporu. Ochranná elektroda (1), měřicí elektroda (2), nechráněná elektroda (3), průměr měřicí elektrody (d), šířka ochranné štěrbiny (g), tloušťka vzorku (h). [22]

3. 2. 2. Permittivita a ztrátový činitel

O měření permitivity a ztrátového činitele pojednává norma ČSN IEC 250. Tato norma se vztahuje k měření v pásmu kmitočtu od 15 Hz do 300 MHz.

Relativní permitivita izolačního materiálu je poměr kapacity kondenzátoru C_x , v němž je prostor mezi elektrodami a kolem nich zcela a výlučně vyplněn příslušným izolantem, ke kapacitě C_0 elektrod stejně uspořádaných umístěných ve vakuu. Relativní permitivitu tedy můžeme určit ze vzorce

$$\varepsilon_r = C_x / C_0. \quad (7)$$

Relativní permitivita suchého vzduchu při běžném atmosférickém tlaku se rovná 1,00053, takže v běžné praxi je možno s dostatečnou přesností stanovit relativní permitivitu tak, že místo kapacity C_0 použijeme kapacitu C_a , kterou má stejné uspořádání elektrod ve vzduchu. Relativní permitivita je bezrozměrná veličina. Absolutní permitivita izolačního materiálu je součin jeho relativní permitivity ε_r a dielektrické konstanty (permitivita vakua) ε_0 , která má v soustavě SI jednotku F/m.

Ztrátový činitel $tg\delta$ elektroizolačního materiálu je tangentou ztrátového úhlu δ . Ztrátový činitel je bezrozměrnou veličinou. Ztrátový úhel δ elektroizolačního materiálu

je úhel, o který se fázový rozdíl mezi vloženým napětím a protékajícím proudem liší od $\pi/2$ rad, jestliže dielektrikum kondenzátoru sestává výlučně ze zkoušeného materiálu, [23].

Pro praktická měření permitivity a ztrátového činitele se používají můstkové metody. Nejpoužívanějším principem je metoda využívající zapojení Scheringova můstku (Obr. 16). Lze použít i jiné můstky jako například transformátorový, paralelní T-můstek i další.

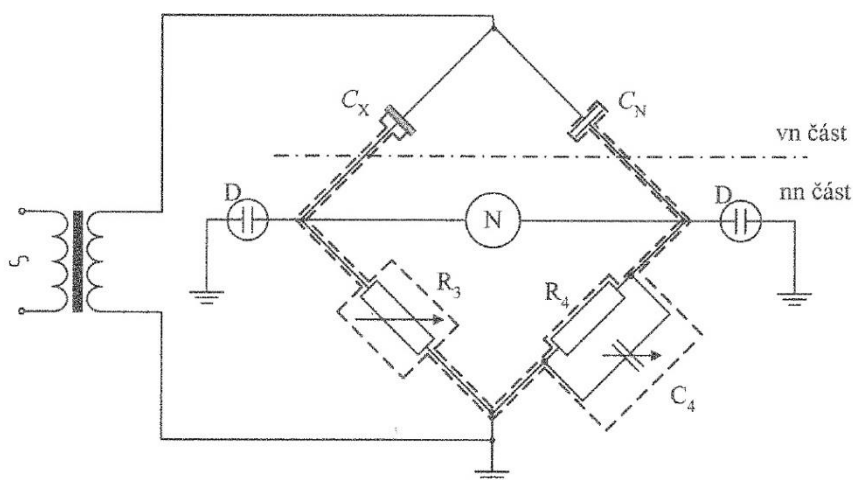
Scheringův můstek sestává ze dvou hlavních částí. První část je umístěna ve vysokonapěťovém prostoru zkušebny, druhá část sloužící k vyvažování můstku mimo tento prostor. Galvanické oddělení obou částí tvoří vzorek v příslušném elektrodovém systému a kapacitní normál. Odporovou dekádou R_3 se vyrovnává kapacitní složka náhradního sériového obvodu, kapacitní dekáda C_4 vyrovnává odporové složky. Vyrovnání indikuje nulový indikátor N. Pro usnadnění výpočtu ztrátového činitele při frekvenci 50 Hz je voleno $R_4 = 1000 / \pi$ a výpočet ztrát se provádí při uvažování sériového náhradního schématu. Pro vyrovnaný můstek poté platí

$$C_s = C_x = (C_N \times R_4) / R_3, \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega \times C_s \times R_s = \omega \times C_4 \times R_4, \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \delta = 0,1 \times C_4, \text{ (platí pro } R_4 = 1000/\pi \text{ a } C_4 \text{ v pF),} \quad (10)$$

kde C_s a R_s jsou prvky náhradního obvodu dielektrika, [1].



Obr. 16 Scheringův vysokonapěťový můstek [1]

3. 2. 3. Elektrická pevnost

O stanovení elektrické pevnosti se pojednává v normě ČSN EN 60243-1.

Elektrická pevnost je definována jako podíl průrazného napětí a vzdálenosti mezi elektrodami, na něž je přiloženo napětí za předepsaných podmínek (obvykle tloušťka vzorku). Výsledek zkoušky elektrické pevnosti indikuje změny nebo úchyly od obvyklých vlastností materiálu, které mohou vznikat rozdíly ve výrobě, vlivem stárnutí materiálu nebo jinými vlivy okolí. SI jednotka elektrické pevnosti je V/m, v praxi se častěji používá kV/mm. Elektrická pevnost E_p [V/m] se určí ze vztahu

$$E_p = U_p / d, \quad (11)$$

kde U_p je hodnota průrazného napětí [V] a d je tloušťka izolantu [m].

Zkušební napětí se získá z VN transformátoru napájeného proměnlivým sinusovým napětím z nízkonapěťového zdroje. Zkouška se může provést krátkodobě nebo při stupňovitěm zvyšování napětí s 20 sekundovými stupni. Při krátkodobé zkoušce se zkušební napětí rovnoměrně zvyšuje od nuly až do průrazu. Rychlost náběhu zkušebního napětí se vybere z následující řady: 100 V/s, 200 V/s, 500 V/s, 1000V/s, atd. Při zkoušce se stupňovitěm zvyšováním napětí s 20 sekundovými stupni, se hodnota napětí zvyšuje dle řady uvedené v normě ČSN EN 60243-1. Pro určení elektrické pevnosti materiálu je základem nejvyšší hodnota napětí, kterou vzorek vydržel po celých 20 s, [24].

4. Srovnávací měření vlastností slídového papíru

U veličin, kde jsem provedl opakovaná měření, jsem určil standardní nejistotu metodou A. Tato metoda vychází ze statistické analýzy série opakovaných měření. Standardní nejistota metodou A se určí ze vzorce

$$u_A(x) = \sqrt{\left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]}, \quad (12)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (13)$$

kde n je počet měření a \bar{x} je aritmetický průměr měřené veličiny, [25].

Při měření vlastností slídového papíru jsem použil 8 vzorků - specifikace:

1. R 60.000, 120 g/m², muskovit, kalcinovaná slída (termochemický způsob výroby)
2. R 60.000, 150 g/m², muskovit, kalcinovaná slída (termochemický způsob výroby)
3. R 60.002, 90 g/m², muskovit, nekalcinovaná slída (hydromechanický způsob výroby)
4. R 60.006, 50 g/m², muskovit, kalcinovaná slída (termochemický způsob výroby)
5. R 60.006, 75 g/m², muskovit, kalcinovaná slída (termochemický způsob výroby)
6. R 60.007, 160 g/m², muskovit, nekalcinovaná + kalcinovaná slída (80 % hmotnosti nekalcinovaná slída – hydromechanický způsob výroby, 20 % hmotnosti kalcinovaná slída – termomechanický způsob výroby)
7. R 60.007, 180 g/m², muskovit, nekalcinovaná + kalcinovaná slída (80 % hmotnosti nekalcinovaná slída – hydromechanický způsob výroby, 20 % hmotnosti kalcinovaná slída – termomechanický způsob výroby)
8. Cogemica, 120 g/m², flogopit, nekalcinovaná slída (hydromechanický způsob výroby)

4. 1. Výsledky měření neelektrických veličin slídového papíru

Měření tloušťky jsem provedl dle odst. 3.1.1. v deseti bodech vzorku slídového papíru. Referenční tloušťka je tloušťka udávaná výrobcem. Měření porozity jsem

provedl porozimetrem typu Gurley dle odst. 3.1.2. ve čtyřech bodech vzorku slídového papíru.

Tab. 1 Výsledky měření tloušťky a porozity

Papír	Tloušťka [mm]	Tloušťka - referenční [mm]	Porozita [s/100 cm ³]
R 60.000 (120 g/m ²)	0,081 ± 0,001	0,075	2495 ± 24
R 60.000 (150 g/m ²)	0,105 ± 0,001	0,100	5765 ± 81
R 60.002 (90 g/m ²)	0,056 ± 0,001	0,060	121 ± 10
R 60.006 (50 g/m ²)	0,036 ± 0,002	0,040	2208 ± 199
R 60.006 (75 g/m ²)	0,051 ± 0,001	0,050	4800 ± 42
R 60.007 (160 g/m ²)	0,098 ± 0,001	0,105	723 ± 67
R 60.007 (180 g/m ²)	0,106 ± 0,001	0,120	805 ± 71
Cogemica (120 g/m ²)	0,081 ± 0,001	x	357 ± 30

Měření pevnosti v tahu jsem provedl dle odst. 3.1.3. na 3 vzorcích každého slídového papíru. Měření penetrace jsem provedl dle odst. 3.1.4. na 4 vzorcích každého slídového papíru.

Tab. 2 Výsledky měření pevnosti v tahu a penetrace

Papír	Pevnost v tahu [N/10mm]	Penetrace [s]
R 60.000 (120 g/m ²)	7,5 ± 0,6	61 ± 5,7
R 60.000 (150 g/m ²)	10,9 ± 0,6	114,3 ± 12,3
R 60.002 (90 g/m ²)	2,5 ± 0,7	6,4 ± 1,8
R 60.006 (50 g/m ²)	4,4 ± 0,3	25,8 ± 3,8
R 60.006 (75 g/m ²)	6,6 ± 0,2	51 ± 2,8
R 60.007 (160 g/m ²)	5,5 ± 0,4	49,5 ± 1
R 60.007 (180 g/m ²)	4,8 ± 1	62,3 ± 2,4
Cogemica (120 g/m ²)	2,4 ± 0,6	17,2 ± 6,2

Měření plošné hmotnosti jsem provedl dle odst. 3.1.5. na 4 vzorcích každého slídového papíru. Referenční plošná hmotnost je hmotnost udávaná výrobcem.

Tab. 3 Výsledky měření plošné hmotnosti

Papír	Plošná hmotnost [g/m ²]	Plošná hmotnost - referenční [g/m ²]
R 60.000 (120 g/m ²)	118,6 ± 0,5	120 ± 6
R 60.000 (150 g/m ²)	151,7 ± 0,3	150 ± 7,5
R 60.002 (90 g/m ²)	79,2 ± 0,5	90 ± 4,5
R 60.006 (50 g/m ²)	48 ± 0,4	50 ± 3,5
R 60.006 (75 g/m ²)	75 ± 0,5	75 ± 3,8
R 60.007 (160 g/m ²)	161,1 ± 0,5	160 ± 8
R 60.007 (180 g/m ²)	179,3 ± 0,2	180 ± 9
Cogemica (120 g/m ²)	117,1 ± 1,5	x

4. 2. Výsledky měření elektrických veličin slídového papíru

Měření elektrických veličin jsem provedl jak na čistém slídovém papíru s kovovými elektrodami (elektrodotový systém přiléhal přímo na slídový papír), tak na slídovém papíru, na kterém byly napařeny hliníkové elektrody (elektrodotový systém přiléhal na elektrody napařené na slídový papír). Zkoušku elektrické pevnosti E_P jsem provedl pouze na čistém slídovém papíru. Výsledky měření s napařovanými elektrodami jsem vzhledem k nesourodým hodnotám v dalším uvažování nepoužíval (Příloha 1 – 3).

Měření relativní permitivity a ztrátového činitele jsem provedl při napětí 1 V, dle odst. 3.2.2. pro kmitočty 50 Hz, 1 kHz a 1 MHz. Při měření jsem použil elektrodotový systém Agilent 16451B Dielectric Test Fixture a LCR měřič Agilent 4284A Precision LCR Meter.

Tab. 4 Výsledky měření relativní permitivity ϵ_r a ztrátového činitele $\text{tg}\delta$

Frekvence	50 Hz	1 kHz	1 MHz	50 Hz	1 kHz	1 MHz
Papír	ϵ_r [-]			$\text{tg}\delta$ [-]		
R 60.000 (120 g/m ²)	11,47	4,86	1,41	0,318	0,496	0,074
R 60.000 (150 g/m ²)	11,06	5,48	1,42	0,224	0,445	0,096
R 60.002 (90 g/m ²)	1,93	1,36	1,12	0,242	0,133	0,004
R 60.006 (50 g/m ²)	1,45	1,05	0,87	0,164	0,162	0,011
R 60.006 (75 g/m ²)	3,51	2,00	1,11	0,288	0,289	0,023
R 60.007 (160 g/m ²)	3,74	2,06	1,47	0,438	0,243	0,008
R 60.007 (180 g/m ²)	3,78	1,89	1,29	0,461	0,288	0,010
Cogemica (120 g/m ²)	4,11	2,02	1,29	0,364	0,327	0,012

Měření vnitřní a povrchové rezistivity jsem provedl při napětí 10 V, dle odst. 3.2.1. Při měření jsem použil elektrodový systém KEITHLEY MODEL 6105 Resistivity Adapter a programovatelný multimetr KEITHLEY 617 Programmable Electrometer.

Měření elektrické pevnosti E_p jsem provedl dle odst. 3.2.3. v pěti bodech vzorku slídového papíru.

Tab. 5 Výsledky měření vnitřní rezistivity ρ_v , povrchové rezistivity ρ_p a elektrické pevnosti E_p

Papír	ρ_v [G Ω .m]	ρ_p [G Ω]	E_p [kV/mm]
R 60.000 (120 g/m ²)	149,00	101,00	32,27 \pm 1,04
R 60.000 (150 g/m ²)	146,00	150,00	26,77 \pm 0,40
R 60.002 (90 g/m ²)	746,00	221,00	20,94 \pm 0,63
R 60.006 (50 g/m ²)	387,00	54,00	38,26 \pm 3,47
R 60.006 (75 g/m ²)	221,00	98,70	41,03 \pm 1,77
R 60.007 (160 g/m ²)	567,00	341,00	20,83 \pm 0,49
R 60.007 (180 g/m ²)	347,00	262,00	20,93 \pm 0,87
Cogemica (120 g/m ²)	452,00	436,00	19,39 \pm 0,55

5. Náklady na výrobu slídového papíru

5.1. Podnikové náklady

Náklady jsou hodnotovým vyjádřením výrobních faktorů potřebných na vznik výkonů a vyjadřují spotřebu živé a zvěčnělé práce na vyprodukované výkony v určitém časovém období a v individuálních podmínkách pracovního procesu.

Náklady se dělí:

- a) podle druhu,
- b) podle místa vzniku a odpovědnosti za jejich vznik,
- c) podle vztahu k objemu výroby,
- d) kalkulační členění,
- e) jiné.

a) Druhovému členění nákladů vychází ze spotřebovaných výrobních faktorů, které mají podobné znaky a jsou vyjádřeny v peněžních jednotkách. Náklady podle druhu lze zařadit do čtyř skupin. První skupina jsou provozní náklady. Do provozních nákladů řadíme nákupy, spotřebu materiálu a energie, služby, osobní náklady (mzdové náklady, sociální a zdravotní pojištění), nepřímé daně, poplatky a také odpisy. Druhá skupina jsou finanční náklady. Do finančních nákladů patří např. úroky nebo rezervy. Třetí skupina jsou mimořádné náklady, kam patří manka, škody nebo ostatní mimořádné náklady. Čtvrtá skupina jsou daně z příjmu.

b) Podle členění místa vzniku a odpovědnosti za jejich vznik se rozlišují náklady interní a externí. Interní náklady vznikají v rámci vnitropodnikové spolupráce, externí náklady vznikají mimo podnik.

c) Podle vztahu k objemu výroby se náklady dělí na fixní a variabilní. Fixní náklady jsou nezávislé na stupni využití výrobní kapacity nebo objemu výkonu, variabilní náklady jsou závislé na objemu výkonu.

d) Podle členění kalkulačního se náklady dělí na přímé a nepřímé. Toto členění vychází z možnosti vyjádřit jednotlivé složky nákladů na jednotku kalkulovaného výkonu. Nákladové složky, které lze na kalkulační jednotku určit resp. změřit se nazývají náklady přímé, náklady, které jsou různým kalkulačním jednotkám společné a nelze je přímo přiřadit k těmto jednotkám, se nazývají nepřímé náklady, [26, 27, 28].

5. 2. Kalkulace nákladů

Kalkulace nákladů je jedním z informačních systémů podniku, který slouží podobně jako účetní systém a rozpočetnictví podnikové řízení. Kalkulací se rozumí výpočetní postupy, kterými se stanoví náklady na jednotky, které jsou předmětem podnikatelské činnosti, tj. výroby výrobků a poskytování služeb.

Typy kalkulace nákladů jsou:

- a) kalkulace dělením,
- b) transformace,
- c) jiné.

a) *Kalkulace dělením* je nejjednodušší kalkulační technikou, kterou je možno používat v případě, kdy se vyrábí jediný druh výrobku (výkonu). Při této technice je vhodné použít druhé členění nákladů. Samotná kalkulace se provede vydělením jednotlivých složek nákladů počtem výrobků.

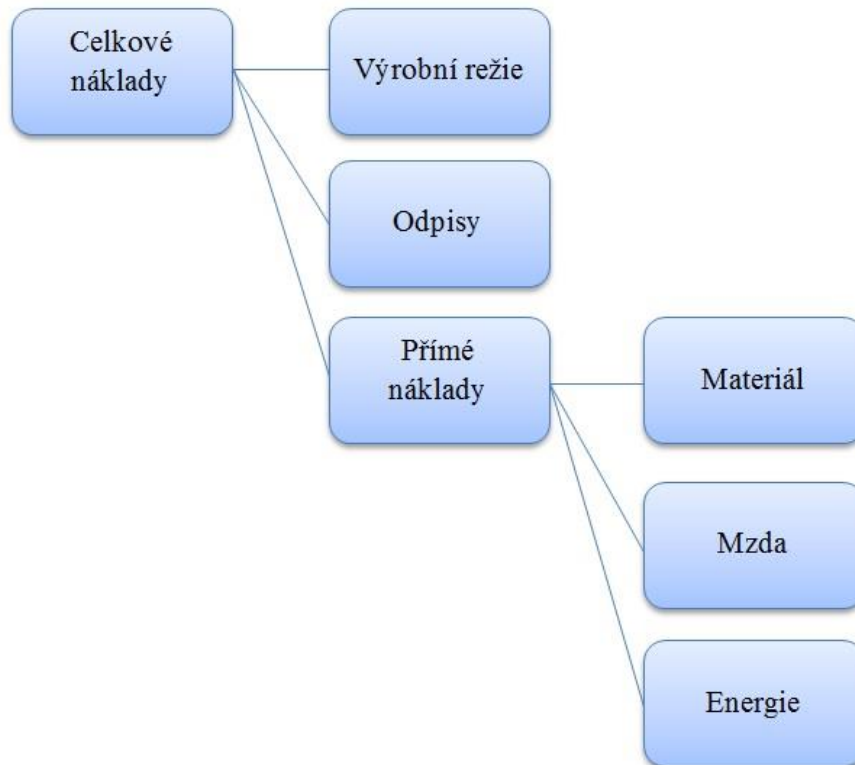
b) *Transformace nákladů* je kalkulační technika, kdy se přechází od druhové struktury nákladů ke struktuře kalkulační (odtud název tohoto typu kalkulace – přechod/transformace k jiné struktuře nákladů). Metoda transformace nákladů se používá, pokud se vyrábí více druhů výrobků (výkonů), přičemž u jednotlivých výrobků jsou známy přímé náklady, ale nepřímé náklady jsou známy pouze v souhrnu. Samotná kalkulace se u přímých nákladů provede stejně jako u kalkulace dělením. U nepřímých nákladů se obvykle postupuje tak, že se náklady rozdělí v poměru nějaké veličiny, která je známa. Touto veličinou mohou být např. přímé náklady, o nichž víme, jak jsou mezi skupiny různých výrobků rozděleny, [26].

5. 3. Náklady na výrobu slídového papíru

Protože se výroba kalcinovaného a nekalcinovaného slídového papíru liší pouze v jednom bodu výrobního procesu, nerozlišují náklady výroby na dva typy slídového papíru.

Celkové náklady výroby slídového papíru se skládají z přímých nákladů, odpisů a výrobní režie. Do výrobní režie se řadí náklady na služby (např. telefonní operátor),

obaly pro vyrobený slídivý papír, ochranné pomůcky, materiál na údržbu, školení, atd. Do odpisů patří odpisy budov a výrobních strojů. Přímé náklady můžeme rozdělit na tři druhy, a to na náklady na materiál, mzdu a energii. Do nákladů na materiál patří především slída (muskovit, flogopit). Do nákladů na mzdu patří mzda zaměstnancům, odvody (sociální a zdravotní pojištění) a penzijní připojištění. Do nákladů na energii řadíme vodu, plyn, páru a elektřinu (Obr. 17).



Obr. 17 Dělení celkových nákladů výroby slídivého papíru

6. Závěr

V této práci jsem měřil vlastnosti u tří typů slídového papíru. Kalcinovaného (R 60.000, R 60.006), nekalcinovaného (R 60.002, Cogemica) a směsi kalcinovaného a nekalcinovaného papíru (R 60.007 – popsáný v odst. 4, dále uváděný jako „směs“). Metody, kterými měříme neelektrické vlastnosti slídového papíru, jsou tloušťka, porozita, pevnost v tahu, penetrace a plošná hmotnost. Metody, kterými měříme elektrické vlastnosti slídového papíru, jsou vnitřní rezistivita, plošná rezistivita, permitivita, ztrátový činitel a elektrická pevnost.

Z naměřených hodnot tloušťky vidíme, že se zvyšující se gramáží (plošnou hmotností) papíru roste úměrně i jeho tloušťka bez ohledu na typ slídy či její zpracování. Porovnat lze např. papír R 60.000 120 g/m^2 x Cogemica 120 g/m^2 . U těchto papírů vidíme shodné hodnoty tloušťky, shodnou gramáž, ale jiný typ slídy (muskovit x flogopit) i její zpracování (kalcinovaná x nekalcinovaná).

Naměřené hodnoty porozit se mezi kalcinovaným a nekalcinovaným papírem velmi liší. Kalcinovaný papír má několikanásobně vyšší hodnoty porozit než nekalcinovaný. To je dáno druhem zpracování slídy (popsáno v odst. 2) a velikostí částic slídy v papíru. Všeobecně platí, že kalcinovaný papír obsahuje menší částice než nekalcinovaný. U směsi je vidět mírné zvýšení hodnot porozit oproti nekalcinovanému papíru.

Pevnost v tahu je nižší u nekalcinovaného papíru než u kalcinovaného. Toto je vidět i při manipulaci s nekalcinovaným papírem, který je oproti kalcinovanému papíru více náchylný na zlomy a poškození struktury. Směs má vyšší hodnotu pevnosti v tahu než nekalcinovaný papír. U kalcinovaného papíru se se zvyšující gramáží slídy zvyšuje také pevnost v tahu.

Penetrační časy jsou nejnižší u nekalcinovaného papíru, proto se využívá díky dobré možnosti impregnace v systémech VPI. Kalcinovaný papír má vyšší penetrační časy než nekalcinovaný papír, proto se využívá v systémech resin-rich. Opět platí, že se zvyšující se gramáží slídy v papíru roste také penetrační čas.

Rozdíly vlastností slídových papírů s ohledem na jejich gramáž (plošnou hmotnost) se zabývám u jednotlivých měřených vlastností papírů, a proto ji nebudu více popisovat.

Z naměřených hodnot relativní permitivity a ztrátového činitele nelze jednoznačně porovnat kalcinovaný a nekalcinovaný slídový papír. U papíru R 60.006 50 g/m² je zřejmě vinou chyby naměřena hodnota relativní permitivity 0,87. Z hodnot relativní permitivity a ztrátového činitele vidíme, že je papír velmi frekvenčně závislý. Tedy že při růstu frekvence, klesá hodnota permitivity i ztrátového činitele.

Hodnota vnitřní rezistivity je vyšší u nekalcinovaného papíru a nižší u kalcinovaného papíru. Směs vykazuje podobné hodnoty rezistivity jako nekalcinovaný papír. Všechny hodnoty vnitřní rezistivity jsou v řádu stovek GΩ.m. Hodnoty povrchové rezistivity jsou (stejně jako u vnitřní rezistivity) vyšší u nekalcinovaného papíru a směsi než u kalcinovaného. U všech typů slídových papírů platí, že se zvyšující se gramáží klesá hodnota vnitřní rezistivity, ale roste hodnota povrchové rezistivity.

Výsledky elektrické pevnosti jsou v rozmezí 19 – 41 kV/mm. Nejnižší hodnoty jsou naměřeny u nekalcinovaného papíru a směsi (přibližně 20 kV/mm). Naopak nejvyšší hodnoty jsou naměřeny u kalcinovaného papíru (27 – 41 kV/mm).

Nekalcinovaný papír má tedy nižší hodnotu porozity, pevnosti v tahu, penetrační čas a také nižší elektrickou pevnost než kalcinovaný papír. Naopak vyšší je u nekalcinovaného papíru hodnota vnitřní a povrchové rezistivity než u kalcinovaného. Směs se řadí naměřenými vlastnostmi do prostoru mezi nekalcinovaný a kalcinovaný papír.

7. Použitá literatura

- [1] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 235 s. ISBN 80-7300-189-6.
- [2] *Slída a slídové výrobky pro elektrotechniku*. 3. vyd. přeprac. Praha: Elektrodbyt, 1962.
- [3] PETR, Jiří. *Materiály pro výkonovou elektrotechniku*. [přednáška]. Praha, ČVUT.
- [4] *Slídy* [online]. Velebil Dalibor. [vid. 10.11.2013]. Dostupné z: <http://www.velebil.net/mineraly/slidy>
- [5] *Fylosilikáty* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd. [vid. 5.10.2013]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/kap_7_13_fylosil.htm#7.13.1.
- [6] *Slídy* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. [vid. 30.12.2013]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_nerud.html#SLÍDY
- [7] *Muskovit* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd. [vid. 8.10.2013]. Dostupné z: <http://mineraly.sci.muni.cz/fylosilikaty/muskovit.html>
- [8] *Flogopit* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd. [vid. 8.10.2013]. Dostupné z: <http://mineraly.sci.muni.cz/fylosilikaty/flogopit.html>
- [9] JANDA, Martin. *Diagnostika zalévaných transformátorů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni 2012. Bakalářská práce: Západočeská univerzita v plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření.
- [10] Muskovit. In: *Sběratel minerálů* [online]. 4C minerals, s.r.o. [vid. 20.12.2013]. Dostupné z: <http://www.sberatelmineralu.cz/lokality/ceske-kameny/pegmatity/muskovit-3149.html>

- [11] Vrstevnatá struktura muskovitu. In: *Fylosilikáty* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd. [vid. 5.10.2013]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/obrazek713_57.htm
- [12] Flogopit. In: *Minerals* [online]. Moses. [vid. 20.12.2013]. Dostupné z: <http://mosest.com.ua/flogopit-v-porode-rossiya-kolskiy-p-ov-30-st2747>
- [13] Vrstevnatá struktura flogopitu. In: *Fylosilikáty* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd. [vid. 5.10.2013]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/obrazek713_40.htm
- [14] ČSN EN 60371-2 ed. 2. *Specifikace izolačních materiálů na bázi slídy – Část 2: metody zkoušek*. Praha: Český normalizační institut, 1.4.2005.
- [15] Úchylkoměr značky Sylvac. In: *M & B Calibr Ivančice*. [online]. M & B Calibr, spol. s r.o. [vid. 18.03.2014]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej/produkt/459-digitalni-uchylkomer-sylvac-rozliseni-1100/>
- [16] Úchylkoměr značky Kinex CZ. In: *M & B Calibr Ivančice*. [online]. M & B Calibr, spol. s r.o. [vid. 18.03.2014]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej/produkt/471-uchylkomer-digitalni/>
- [17] ČSN ISO 5636-1. *Papír a Lepenka. Stanovení propustnosti pro vzduch (střední rozsah) Část 1: obecná metoda*. Praha: Český normalizační institut, 1.8.1993.
- [18] Porozimetr značky Lorentzen & Wettre. In: *Lorentzen & Wettre*. [online]. Lorentzen & Wettre. [vid. 2.2.2014]. Dostupné z: http://www.lorentzen-wettre.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&category_id=23&product_id=49&Itemid=53&lang=en
- [19] Trhačka materiálů značky Deform. In: *Deform*. [online]. PEMAR spol. s r.o. [vid. 20.12.2013]. Dostupné z: <http://www.trhacka.cz/text-trhacka-deform-02-prenosne-zkusebni-deformacni-zarizeni>
- [20] ČSN IEC 93. *Skúšky tuhých elektroizolačných materiálů. Metódy merania vnútornej resistivity a povrchovej resistivity tuhých elektroizolačných materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 10.1993.

- [21] Elektroodový systém pro měření vnitřního odporu. In: *Elektrické vlastnosti*. [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav fyziky a materiálové inženýrství. [vid. 3.3.2014]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
- [22] Elektroodový systém pro měření povrchové odporu. In: *Elektrické vlastnosti*. [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav fyziky a materiálové inženýrství. [vid. 3.3.2014]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
- [23] ČSN IEC 250. *Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových dělek*. Praha: Český normalizační institut, 1.1998.
- [24] ČSN EN 60243-1. *Elektrická pevnost izolačních materiálů - Zkušební metody. Část 1, Zkoušky při průmyslových kmitočtech*. Praha: Český normalizační institut, 1.1999.
- [25] KAŠPAR, Petr. *Elektrická měření*. [přednáška]. Praha, ČVUT.
- [26] MACÍK, Karel. *Jak kalkulovat podnikové náklady?* 1. vyd. Ostrava: Montanex, 1994.
- [27] *Ekonomika městské hromadné dopravy* [online]. Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy. [vid. 30.10.2013]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mhd/ekonomika-naklady.htm>
- [28] SUCHÁ, Jana. *Hospodaření dopravní firmy*. Pardubice: Univerzita Pardubice 2009. Bakalářská práce: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravního managementu, marketing a logistiky.

Seznam příloh:

Příloha 1. Výsledky měření relativní permitivity ϵ_r

Příloha 2. Výsledky měření ztrátového činitele $\text{tg}\delta$

Příloha 3. Výsledky měření vnitřní rezistivity ρ_v a povrchové rezistivity ρ_p

Přílohy

Příloha 1. Výsledky měření relativní permitivity ϵ_r

<i>Frekvence</i>	<i>50 Hz</i>		<i>1 kHz</i>		<i>1 MHz</i>	
<i>Typ elektrod</i>	<i>Čistý papír</i>	<i>Napařené elektrody</i>	<i>Čistý papír</i>	<i>Napařené elektrody</i>	<i>Čistý papír</i>	<i>Napařené elektrody</i>
Papír	ϵ_r [-]					
R 60.000 (120 g/m ²)	11,47	15,47	4,86	4,90	1,41	1,25
R 60.000 (150 g/m ²)	11,06	29,80	5,48	8,21	1,42	1,39
R 60.002 (90 g/m ²)	1,93	0,70	1,36	0,55	1,12	0,50
R 60.006 (50 g/m ²)	1,45	5,37	1,05	2,62	0,87	1,82
R 60.006 (75 g/m ²)	3,51	6,83	2,00	2,65	1,11	1,45
R 60.007 (160 g/m ²)	3,74	0,69	2,06	0,55	1,47	0,48
R 60.007 (180 g/m ²)	3,78	2,24	1,89	1,15	1,29	0,77
Cogemica (120 g/m ²)	4,11	4,03	2,02	1,76	1,29	1,19

Příloha 2. Výsledky měření ztrátového činitele $\text{tg}\delta$

Frekvence	50 Hz		1 kHz		1 MHz	
Typ elektrod	Čistý papír	Napařené elektrody	Čistý papír	Napařené elektrody	Čistý papír	Napařené elektrody
Papír	$\text{tg}\delta$ [-]					
R 60.000 (120 g/m ²)	0,318	2,660	0,496	0,991	0,074	0,080
R 60.000 (150 g/m ²)	0,224	4,925	0,445	1,485	0,096	0,137
R 60.002 (90 g/m ²)	0,242	0,138	0,133	0,074	0,004	0,008
R 60.006 (50 g/m ²)	0,164	697,000	0,162	0,306	0,011	0,020
R 60.006 (75 g/m ²)	0,288	0,895	0,289	0,485	0,023	0,026
R 60.007 (160 g/m ²)	0,438	0,125	0,243	0,082	0,008	0,003
R 60.007 (180 g/m ²)	0,461	0,673	0,288	0,286	0,010	0,171
Cogemica (120 g/m ²)	0,364	0,803	0,327	0,365	0,012	0,031

Příloha 3. Výsledky měření vnitřní rezistivity ρ_v a povrchové rezistivity ρ_p

Typ elektrod	Čistý papír	Napařené elektrody	Čistý papír	Napařené elektrody
Papír	ρ_v [GΩ.m]		ρ_p [GΩ]	
R 60.000 (120 g/m ²)	149,00	9,43	101,00	1,57
R 60.000 (150 g/m ²)	146,00	0,06	150,00	0,07
R 60.002 (90 g/m ²)	746,00	12,20	221,00	10,80
R 60.006 (50 g/m ²)	387,00	41,90	54,00	0,39
R 60.006 (75 g/m ²)	221,00	78,80	98,70	5,30
R 60.007 (160 g/m ²)	567,00	6,01	341,00	13,90
R 60.007 (180 g/m ²)	347,00	167,00	262,00	2,85
Cogemica (120 g/m ²)	452,00	37,60	436,00	2,59