

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Způsoby minimalizace částečných výbojů u vinutí točivých  
strojů**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2012/2013**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Robin WOHLRAB**  
Osobní číslo: **E10B0143P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Způsoby minimalizace částečných výbojů u vinutí točivých strojů**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Uveďte druhy ochran používané pro minimalizace částečných výbojů
2. Popište princip ochran a způsob jejich aplikace
3. Zmapujte současnou nabídku vodivých a polovodivých ochran
4. Srovnejte vlastnosti vodivých a polovodivých ochran

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Mentlík V.: Dielektrické prvky a systémy, BEN - Technická literatura ISBN 80-7300-189-6, Praha 2006**
2. **Mentlík V. a kol.: Diagnostika elektrických zařízení, BEN - Technická literatura ISBN 978-80-7300-232-9, Praha 2008**
3. **Kučerová E.: Elektrotechnické materiály, ISBN 80-7082-940-0, Plzeň 2002**
4. **Internetové zdroje**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Krpal**

Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimír Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Bakalářská práce se věnuje způsobům minimalizace částečných výbojů ve vinutí vysokonapěťových točivých strojů. V úvodu se práce zaměřuje na velké synchronní stroje, kde se s touto výbojovou činností běžně setkáváme. Další kapitoly pojednávají o teoretickém popisu částečných výbojů a o jejich následné minimalizaci. V závěru práce jsou popsány vodivé a polovodivé ochrany proti částečným výbojům společnosti VonRoll a srovnání s konkurenčními společnostmi zabývajícími se eliminací částečných výbojů.

## **Klíčová slova**

Synchronní stroj, izolační systém, vodivé ochrany, polovodivé ochrany, vinutí, částečné výboje

## **Anotation**

The bachelor's thesis is devoted to ways of minimizing partial discharges in high-voltage windings of rotating machines. At the beginning, the work focuses on large synchronous machines where is this discharge activity usual. Other chapters deal with the theoretical description of the partial discharges and subsequent minimization. The conclusion describes conductive and semiconductive protection against partial discharges of VonRoll and contains also a comparison with competing companies involved in the elimination of partial discharges.

## **Key words**

Synchronous machine, insulating system, conductive coating, semiconductive coating, winding, partial discharges

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a elektronických informačních zdrojů uvedených v seznamu, které je součástí této bakalářské práce.

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

.....  
podpis

V Plzni dne 2.6.2013

Robin Wohrab

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřejovi Krpalovi za poskytnutí profesionálních znalostí, odborných konzultací a za jeho vstřícné jednání. Dále bych rád poděkoval panu Halbovi ze společnosti Isovolta a panu Pöhlerovi ze společnosti Krempel za poskytování informací a studijních materiálů o sortimentu dané firmy.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 SYNCHRONNÍ STROJE</b> .....	<b>10</b>
1.1 ROZDĚLENÍ SYNCHRONNÍCH STROJŮ.....	11
1.2 PRINCIP FUNKCE SYNCHRONNÍHO STROJ.....	12
1.3 KONSTRUKCE SYNCHRONNÍCH STROJŮ.....	14
<b>2 VÝROBA STATOROVÝCH CÍVEK</b> .....	<b>15</b>
2.1 VYSOKONAPĚŤOVÉ STATOROVÉ CÍVKY .....	15
2.2 VYSOKONAPĚŤOVÉ IZOLAČNÍ SYSTÉMY .....	15
2.2.1 <i>Systém Resin-rich</i> .....	16
2.2.2 <i>Systém Vacuum pressure impregnation</i> .....	17
2.3 MONTÁŽ STATOROVÝCH CÍVEK .....	18
<b>3 ČÁSTEČNÉ A KLOUZAVÉ VÝBOJE NA POVRCHU STATOROVÝCH CÍVEK</b> .....	<b>19</b>
3.1 ČÁSTEČNÉ VÝBOJE .....	19
3.1.1 <i>Částečné výboje v drážce statoru</i> .....	20
3.1.2 <i>Částečný výboje u výstupu vinutí z drážky</i> .....	21
3.2 VLIV ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ.....	22
3.3 ELEKTRICKÉ STROMEČKY .....	23
<b>4 PRINCIP MINIMALIZACE ČÁSTEČNÝCH A KLOUZAVÝCH VÝBOJŮ</b> .....	<b>24</b>
4.1 OCHRANA PROTI ČÁSTEČNÝM VÝBOJŮM V DRÁŽKOVÉ OBLASTI.....	24
4.2 OCHRANA PROTI KLOUZAVÝM VÝBOJŮM .....	26
<b>5 POPIS VODIVÝCH A POLOVODIVÝCH OCHRAN</b> .....	<b>28</b>
5.1 VODIVÉ OCHRANY .....	28
5.2 POLOVODIVÉ OCHRANY .....	29
<b>6 SOUČASNÁ NABÍDKA OCHRAN PROTI ČÁSTEČNÝM VÝBOJŮM</b> .....	<b>30</b>
6.1 PRODUKTY KATEGORIE IGS .....	31
6.2 PRODUKTY KATEGORIE AGS.....	32
6.3 PRODUKTY KATEGORIE EGS .....	34
<b>7 SROVNÁNÍ VODIVÝCH A POLOVODIVÝCH OCHRAN</b> .....	<b>35</b>
<b>8 ZÁVĚR</b> .....	<b>38</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>39</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>42</b>
PŘÍLOHA A .....	42
PŘÍLOHA B.....	42
PŘÍLOHA C.....	43
PŘÍLOHA D .....	44
PŘÍLOHA E.....	45
PŘÍLOHA F .....	46
PŘÍLOHA G .....	47
PŘÍLOHA H .....	48
PŘÍLOHA I.....	49



## Úvod

Vysokonapětové synchronní stroje jsou nejčastěji používané pro výrobu elektrické energie. Tyto točivé stroje přeměňující mechanickou energii na elektrickou označujeme jako alternátory. Jelikož je pro nás výroba elektrické energie existenčně důležitá, věnujeme výrobě každé části alternátoru velkou pozornost. Pro dlouhodobý bezchybný chod točivého stroje je třeba se zaměřit na jeho izolační systém. Právě u této části točivého stroje dochází k největšímu počtu závad. Především u vysokonapětových strojů je třeba pamatovat na negativní vlivy částečných výbojů v systému izolace. Zde přítomné poruchy mají za následek energetické ztráty, zahřívání a v neposlední řadě selhání celého stroje. Kvalitně navrhnutým izolačním systémem lze zabránit výše uvedeným poruchám, snížit frekvenci revizí stroje a tím tedy redukovat finanční náklady nutné pro opětovné zprovoznění systému na výrobu elektrické energie.

Obsah tohoto dokumentu bude zaměřen na popis této výbojové činnosti a na způsoby její minimalizace, neboť je řešení této problematiky stále aktuální a její vyřešení by mělo kladný vliv na spolehlivost a ekonomičnost celého elektrického systému.

Tato bakalářská práce by mohla sloužit jako studijní materiál obsahující celistvé informace o problematice částečných výbojů, o způsobech jejich minimalizace a pro rozšíření zdrojů informací pojednávajících o této problematice v českém jazyce, kterých není mnoho. Druhým cílem práce je získání užitečných faktů o aktuálně dostupných produktech společností zabývajících se výrobou ochrany proti částečným výbojům a jejich následné porovnávání.

# 1 Synchronní stroje

Synchronní stroje se podle použití dělí na motory, alternátory a synchronní kompenzátory. Synchronní motory mají široké uplatnění u velkých strojů o výkonech řádově MW, kde nejsou kladeny vysoké požadavky na časté spouštění, jako jsou kompresory, čerpadla a ventilátory. Stejně tak se synchronní motory používají u malých strojů s požadavkem na regulaci otáček používaných v průmyslové automatizaci a robotice. Jedná se především o motory krokové, reluktanční a motory synchronní s permanentními magnety. Nejširší uplatnění synchronních strojů je při používání v generátorickém režimu – tedy jako alternátory pro výrobu elektrické energie [1].

Synchronní alternátory dělíme na dvě základní kategorie a to na rychlootáčivé turboalternátory s hladkým rotorem o výkonu až jednotek GW a pomaluběžné hydroalternátory s vyniklými póly o výkonu 600 MW a vyšším [2].

Otáčky turbogenerátorů jsou obvykle 3000ot/min pro evropské rozvodné sítě s kmitočtem 50 Hz a 3600 ot/min pro americké rozvodné sítě s kmitočtem 60 Hz. Turbogenerátory mají obvykle jednu pólovou dvojici (pól pár) a jsou poháněny spalovacími, parními či plynovými turbínami. Délka jejich rotorů nezděkuje 10 metrů a průměr bývá obvykle 1 metr. Větší průměry nejsou přípustné, neboť by při vysokých otáčkách na rotor působily obrovské odstředivé síly a došlo by k jeho poškození [3].

Hydroalternátor je vícepólový stroj poháněný vodními turbínami při 100ot/min do 500ot/min a na rozdíl od turbogenerátoru má krátkou délku rotoru pohybující se kolem jednoho metru a průměr přesahující deset metrů [3].

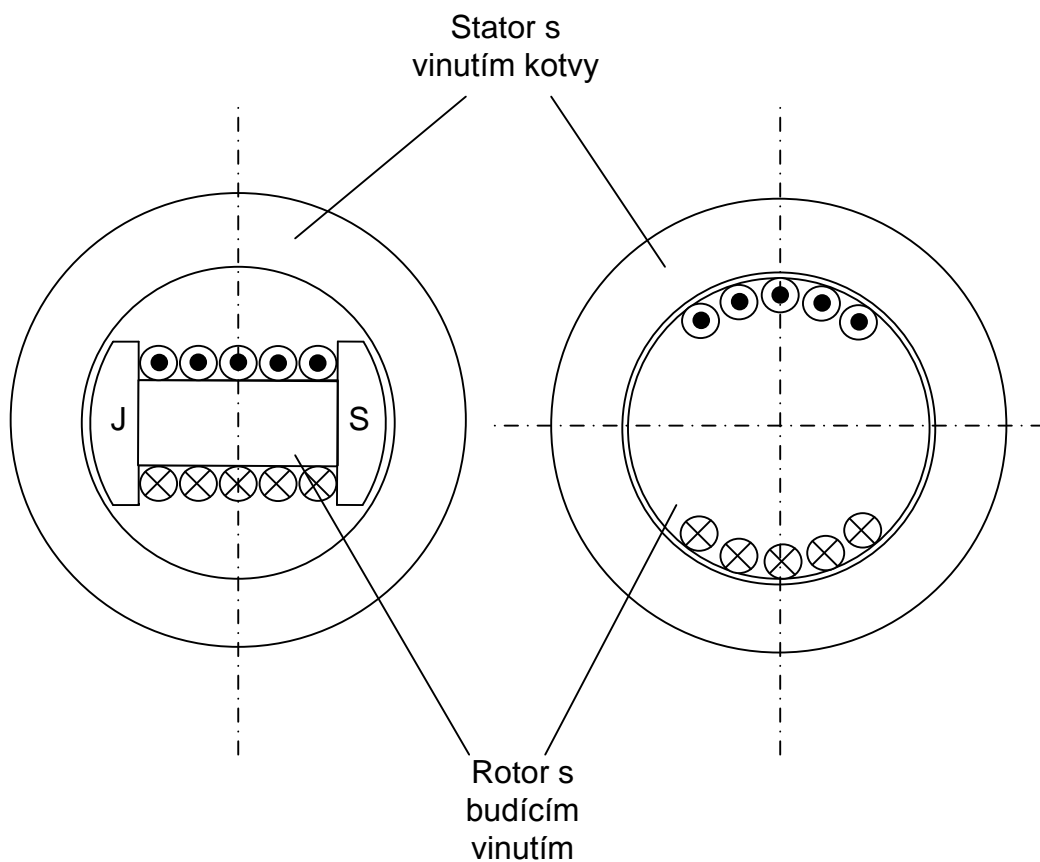
Synchronní kompenzátory mají zpravidla šest či osm pólů což odpovídá při frekvenci 50 Hz 1000 ot/min respektive 750 ot/min (případně 1200ot/min respektive 900ot/min při frekvenci 60 Hz). Největší výkon synchronních kompenzátorů je 300 - 400 MVar [2].

## 1.1 Rozdělení synchronních strojů

Synchronní stroje rozlišujeme podle typu rotoru na stroje s vyniklými póly a na stroje s hladkým rotorem. Konstrukční provedení synchronních strojů je zobrazeno na *Obr. 1*.

Stroje s hladkým rotorem jsou obvykle dvoupólové a velké čtyřpólové. Používají se ve vysokootáčkových strojích, jako jsou turboalternátory a turbomotory. Magnetický obvod rotoru je vyroben z jakostní oceli ve formě výkovek, ve kterém jsou vyfrézovány drážky pro budící vinutí. V drážkách je umístěna izolace a vinutí je v ní uchyceno pomocí klínů [1, 2].

Stroje s vyniklými póly mají typicky osm a více pólů. Cívky jsou navinuté na pólech, které jsou zakončené pólovými nástavci. V pólových nástavcích alternátorů bývá tlumicí/rozběhové vinutí sloužící k asynchronnímu rozběhu. Póly jsou vyrobené z dynamových plechů, anebo jsou masivní ocelolitinové a pouze pólové nástavce jsou z dynamových plechů [1, 2].



*Obr. 1 Konstrukční typy synchronních strojů – vlevo stroj s vyniklými póly, vpravo stroj hladkým rotorem [1]*

## 1.2 Princip funkce synchronního stroje

Statorové vinutí alternátoru s jednou pólovou dvojicí tvoří tři cívky, které označujeme jako fáze U, V, W. Tyto cívky jsou vzájemně prostorově otočeny o 120°. Rotorové vinutí je napájeno stejnosměrným proudem, který vybudí stejnosměrné magnetické pole uzavírající se přes stator. Otáčí-li takto nabuzeným rotorem poháněcí stroj (turbína), indukuje se v každé z cívek statoru střídavé napětí sinusového charakteru, které je oproti sousedním cívkám fázově posunuto o 120°. V případě, že je k vinutí statoru připojena souměrná trojfázová impedance, začne obvodem protékat souměrný trojfázový proud, jehož směr je dán Lenzovým pravidlem, který vytvoří točivé magnetické pole o otáčkách ns. Tyto otáčky jsou shodné jako otáčky točivého pole rotoru a proto je označujeme jako otáčky synchronní [1].

Rychlost otáčení je dána vztahem:

$$n = n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1.1)$$

kde  $n$  = otáčky rotoru,  
 $n_s$  = synchronní otáčky točivého magnetického pole statoru,  
 $f$  = frekvence rozvodné sítě,  
 $p$  = počet pólů.

Točivé magnetické pole indukuje v každé cívce napětí o efektivní hodnotě danou vztahem:

$$U_{1ef} = 4.44 \cdot \Phi \cdot N_1 \cdot f_1 \cdot k_{v1} \quad (1.2)$$

kde  $U_{1ef}$  = efektivní hodnota indukovaného napětí v jedné cívce,  
 $\Phi$  = maximální indukční tok,  
 $N_1$  = počet závitů jedné cívky,  
 $f_1$  = frekvence na statoru,  
 $k_{v1}$  = činitel vinutí statoru.

Točivé magnetické pole vybuze­né protékajícím proudem satorového vinutí má za následek vznik magnetomotorické síly o amplitudě:

$$F_{m1} = 0,45 \cdot m_1 \cdot k_{v1} \cdot \frac{N_1 \cdot I_1}{p} \quad (1.3)$$

kde  $F_{m1}$  = magnetomotorická síla,  
 $m_1$  = počet fází satoru (v tomto případě 3),  
 $I_1$  = proud jedné fáze satoru.

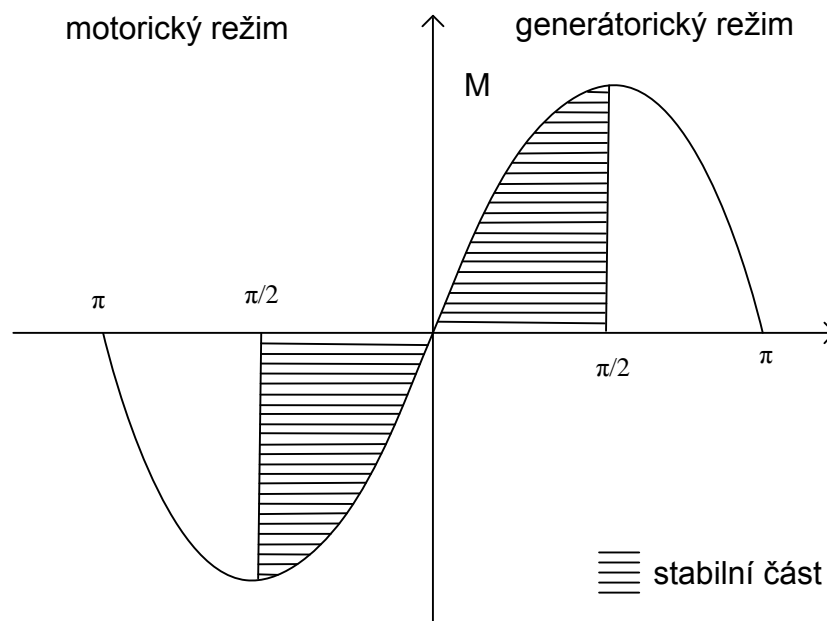
Ačkoliv jsou při zatížení stroje otáčky rotoru a satoru stejné, nastává změna v posunu magnetického pole rotoru a satoru, který byl v nezatíženém stavu roven nule. Tento úhel nazýváme zátěžný úhel a značíme jej  $\beta$ .

Závislost synchronního momentu  $M$  na zátěžném úhlu  $\beta$ :

$$M \cong F_{m1} \cdot F_{m2} \cdot \sin\beta \quad (1.4)$$

kde  $F_{m1}, F_{m2}$  = magnetická napětí.

Pokud zátěžný úhel dosáhne hodnoty větší než  $\beta = \pi/2$ , vypadne rotor ze synchronních otáček satoru a stroj se zastaví. Průběh synchronního momentu v závislosti na zátěžovém úhlu  $\beta$  je znázorněn na *Obr. 2*.



Obr. 2 Závislost synchronního momentu na zátěžovém úhlu  $\beta$  [4]

### 1.3 Konstrukce synchronních strojů

Trojfázové statorové vinutí je uloženo v drážkách, vzniklých vyražením dílčích plechů, po celém vnitřním obvodu statoru a je vyplněno přídatnou drážkovou izolací [5].

Rotorové vinutí je napájeno stejnosměrným proudem, který je na rotor přiveden prostřednictvím uhlíkových kartáčů. Tyto kartáče jsou na jedné straně vyvedeny na kostru statoru do svorkovnice a na druhé straně dosedají na sběrací kroužky umístěné na hřídeli rotoru. Jedná se tedy o bezkontaktní napájení rotoru [3].

Důležitou částí nejen synchronních strojů je izolační systém. I přesto, že se nejedná o aktivní prvek a tedy nám ničím nepřispívá k vytváření točivého momentu, je tento prvek pro funkci celého systému stěžejní. Izolační systém zabraňuje přímému styku živých částí s uzemněným magnetickým obvodem statoru, kde by docházelo k průchodům proudu nežádoucími částmi stroje. Dále hraje podstatnou roli při odvádění tepla od měděných vodičů především u strojů chlazených vzduchem. Zvýšení teploty elektrických vodičů má za následek zhoršení jejich elektrických vlastností a teplotní namáhání izolace. V neposlední řadě plní izolační systém funkci upevnění elektrického vodiče v drážce a tím předchází k jeho poškození vlivem pohybu způsobeným magnetickým polem [5, 6].

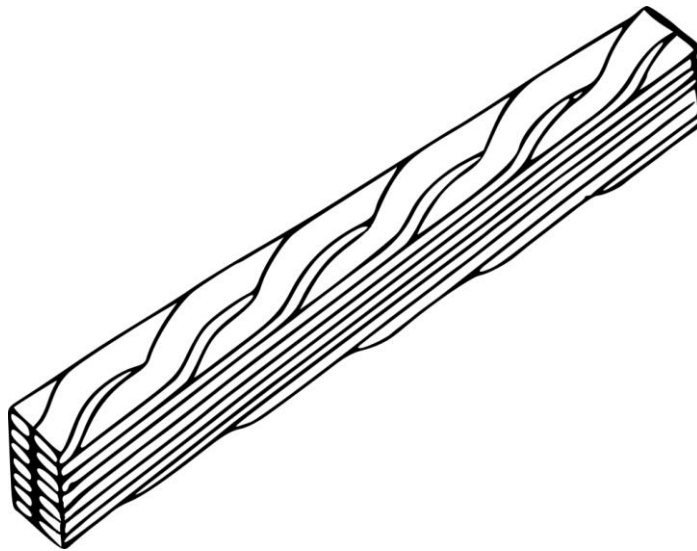
Vzhledem k tomu, že je moderní izolace točivých strojů vyrobena ze syntetických organických látek, je třeba si uvědomit, že je právě izolační systém Achilleovou patou celého stroje. Životnost stroje je tedy přímo úměrná kvalitě izolace. Díky zjištění tohoto faktu je izolační systém zatěžován mnoha specifickými zkouškami ještě před prvním použitím [5, 6].

## 2 Výroba statorových cívek

### 2.1 Vysokonapěťové statorové cívky

Střídavá vinutí pro velké proudy se provádějí nejčastěji s permutovanými tyčemi. Tyto tyče jsou rozdělené v dílčí vzájemně odizolované vodiče, které v průběhu své délky projdou určitým způsobem minimálně jednou všemi polohami výšky či šířky tyče. Tímto rozdělením vodičů na dílčí permutované vodiče se docílí zmenšení vířivých ztrát a zároveň k zabránění vzniku vnitřních vyrovnávacích proudů. Z četných tvarů permutovaných tyčí se jako nejvhodnější ukázala postupem času Roeblova tyč [5].

Na *Obr. 3* je znázorněna Roeblova tyč v původním tvaru. Ploché dílčí vodiče jsou uspořádány ve dvou vedle sebe položených sloupcích a v délce uloženi v drážkách jsou společně zkrouceny. Každý dílčí vodič se v průběhu drážky stočí o  $360^\circ$  při stejném stoupání což znamená, že se všechny dílčí vodiče jednou vzájemně obtočí [5].



*Obr. 3* Nákres Roeblovy tyče [5]

### 2.2 Vysokonapěťové izolační systémy

Vysokonapěťové izolační systémy točivých elektrických strojů se provádějí dvojnásobným způsobem. Prvním ze způsobů je tzv. systém Resin-rich („již obsahující pryskyřici“) a druhý ze způsobů nese název Vacuum pressure impregnation (vakuově tlakovaná impregnace), zkráceně VPI [8].

### 2.2.1 Systém Resin-rich

Jedná se o tříslůžkový kompozit složený z nosné složky, pojiva a izolační bariéry. Jako nosná složka se používá skleněná tkanina se stáčenými vlákny či s vlákny srovnanými do roviny. Výhoda tkaniny zarovnanými do roviny je tloušťka snižená o 0.02 mm s ekvivalentními mechanickými vlastnostmi a zvýšená elektrická pevnost o 7% jako má tkanina se stáčenými vlákny. Izolační bariérou je slídový kalcinovaný papír, který je hutný pevnější a méně nasákový. Pojivem je reaktoplastická bezrospouštědlová novolaková nebo cykloalifatická epoxidová pryskyřice. Tento tříslůžkový kompozit obsahuje 30-40% pojiva a je předimpregnovan. Tomuto stavu se říká „B stav“. Je to stav, kdy je materiál částečně předtvrzen, což má za následek suchost materiálu, nelepivost a dlouhou skladovatelnost. Tloušťka tohoto materiálu se pohybuje od 0,15 do 0,2 mm [8].

Na připravený základ vinutí se vytváří izolační vrstva dvojím způsobem v závislosti na pracovním napětí stroje. První způsob je kontinuální navíjení materiálu ve formě pásky o typické šířce 20mm s polovičním, třetinovým nebo dvoutřetinovým překryvem po celé délce tyče i v čelech. Druhý způsob je diskontinuální izolace cívky, kde se na zpevněnou cívkovou smyčku nažehluje foliová izolace a na čelní strany se navíjí izolované pásky [5, 8].

Materiálu se používá v obou případech o pár procent více a to z důvodu tzn. „přídavku na stlačení“. Vytvrzení se provádí ve formách, které umožňují stlačení izolace na definovaný rozměr. Tento děj se odehrává ve fázi gelace pryskyřice kde se používají latentní tvrdidla (katalyzátory), které jsou založeny na bázi komplexů amínů fluoridu boritého o dotaci v řádu jednotek procent. Vlastní vytvrzení probíhá při vysokém tlaku a teplotách 160-170°C po dobu, která je závislá na druhu použité pryskyřice. Následné ochlazení musí být pozvolné, aby nedocházelo k poškození vzniklým rozdílným chladnutím jádra a izolace. Pro zamezení spleení tyče a formy se používají separační fólie [5, 8, 17].

Následně se v drážkové části ovine tyč vodivou páskou a na výstupu vinutí z drážek se aplikují polovodivé nátěry či se taktéž použije polovodivý materiál ve formě pásky. Tato polovodivá ochrana pomáhá upravit pole tak, aby se eliminovala výbojová činnost ve výše zmíněných oblastech. Polovodivé vrstvy můžou být jak součástí izolace a vytvrzovány spolu s ní či mohou být nalepeny jako zvláštní vrchní vrstva. [8]



## 2.2.2 Systém Vacuum pressure impregnation

Základní myšlenka izolačního systému VPI spočívá v použití savé slídové pásky, která se při impregnačním procesu ve vakuu prosytí impregnantem. Nejobvyklejší oblast použití je v trakčních motorech a jinde kde jsou vysoké požadavky na dokonalý impregnační systém zpevňující vinutí při zachování dobrých izolačních a teplotních vlastnostech [5, 8].

Základem je savý izolant složený ze tří složek obvykle ve formě pásky. Nosnou složkou je skleněná tkanina, folie, polyesterové rouno či slída. Množství pojiva je pouze 7% a musí být kompatibilní s později použitým impregnantem, aby se vyloučilo vzájemné napadení při koncovém zpracování. Pojivo se používá pouze pro mechanické zajištění možnosti zpracování pásky. Nejdůležitější vlastností materiálu je jeho savost a to z důvodu dokonalého proimpregnování velkého počtu vrstev (10 a více). Po mechanické stránce musí materiál splňovat požadavek na ohebnost a minimální pevnost v tahu při ovíjení, kdy nemůže dojít k narušení slídového papíru. Z tohoto důvodu musí být pevnost materiálu větší než 80N na centimetr šířky. Pro splnění těchto požadavků se používá nekalcinovaná slída, která je hrubšího zrnění [5, 8].

Impregnantem pro tuto technologii jsou bezropouštědlové epoxidové, polyesterové a silikonové pryskyřice se stoprocentním obsahem sušiny což umožňuje zcela vyplnit prostor impregnovaného objektu již při jednoduché impregnaci. Dále je velmi rozšířený impregnant na bázi epoxidové pryskyřice s kapalným anhydridem, pro který musí základní materiál obsahovat katalyzátor [8].

Samotný impregnační proces začíná vysoušením při teplotě minimálně 100°C po dobu 20ti hodin pro odstranění vlhkosti. Dále se přemístí předmět do kotle s předehřátou pryskyřicí, kde se bude vakuově impregnovat zaplavením ode dna. Doba impregnace je dána tloušťkou a nasákavostí ovinutí páskou a použité pryskyřici. Po zrušení vzduchoprázdna se znovu zavede přetlak. Jakmile se vypustí lak, jsou odkapané předměty přemístěny do sušárny, kde probíhá první část sušení při proudění teplého vzduchu za normálního tlaku. Pomocí měření ztrátového činitele lze monitorovat kvalitu. Mimo celků lze touto metodou impregnovat i části elektrických zařízení [5, 8, 17].

### 2.3 Montáž statorových cívek

Statorové cívky s vytvrzenou drážkovou či ještě měkkou drážkovou izolací se vkládají do drážek statorového plechového svazku. Cívky i drážky se reálně liší od papírových hodnot rozměrů na výkresech. Jisté rozměrové odchylky u cívek vyplývají z tolerance vodičů, z kolísání tloušťky izolačního materiálu a v neposlední řadě z nepřesnosti lisovacích forem. Na možné zúžení statorových drážek má mimo výrobní přesnosti při lisování největší dopad i skládání svazku plechů. Pro kontrolu rozměrů drážek se používá válečkový kalibr. Vzhledem k výše popsaným nepřesnostem musí konstruktéři statorů započítávat jistou toleranci, pro eliminaci nežádoucích stavů, kde by se statorová cívka nevešla po celé své délce do drážky. Jsou-li v drážkách patrné ostré hrany způsobené nedokonalým skládáním plechů, musí být odstraněny, aby se nepoškodila izolace [5].

Přetváření cívek je tím větší, čím je počet pólů stroje menší a čím hlubší jsou drážky. Z tohoto důvodu jsou cívky s vytvrzenými čely vhodné jen u vícepólových strojů. Během vkládání cívek do drážky je kladen velký důraz na zamezení lokálního tlaku, který by mohl narušit izolaci. Zaklepávat kladivem či palicí se smí pouze přes lištu, která rozdělí tlak po celé drážce. Dále se používají montážní zařízení pracující na způsobu obouvací lžice či tlakové zařízení s výstředníkem, která umožňují montáž bez lokálního tlakového namáhání. Nerovnosti na dně drážky se eliminují vyrovnávacími proužky. U zvláště měkkých izolací se pro usnadnění montáže může použít drážkové pouzdro z grafitového papíru, které dále slouží jako vnější ochrana proti částečným výbojům. Vložka určuje distanci mezi horní a dolní vrstvou v drážce a bezprostředně na výstupu z drážky. Patříčně přizpůsobenými vyplňujícími proužky se po zavedení uzavíracího drážkového klínu zajistí pevné uložení cívkové strany v hloubce drážky a zamezí se hnutí způsobeného magnetickými silami při chodu stroje. Uzavírací klíny mohou být fixní a jejich aplikace probíhá vlepováním do drážky či mohou být plastické, do drážek se vtlačí a poté tepelně vytvrdí. K zamezení výskytů mezer, způsobených například rozměrovou tolerancí, se používají tepelně vodivé příložky pro odvod tepla od vinutí, které mohou být elektricky polovodivé. Zbylé dutiny se zaplňují impregnačními prostředky. Během montáže se mechanicky namáhá jak závitová izolace tvarováním cívky, tak také vnější poloha hlavní izolace [5].

Před zapojením stroje je vhodné provést závitovou a vysokonapěťovou zkoušku, aby se poškozená cívka mohla vyměnit ještě s nízkými náklady [5, 9].

### 3 Částečné a klouzavé výboje na povrchu statorových cívek

U vysokonapěťových strojů pracujících na napětí vyšším než 6 kV se aplikují antikorózní ochrany pro minimalizaci částečných výbojů, které mají podstatný vliv na životnost izolace a tedy na délku chodu celého stroje. Částečné výboje mají za následek znehodnocení izolace cívek a tedy zhoršení izolačních parametrů jako je průrazné napětí, izolační odpor, elektrická vodivost, dielektrické ztráty a jiné. Pro snížení vlivu částečných výbojů používají výrobci vysokonapěťových točivých strojů různé způsoby. K minimalizaci této výbojové činnosti je důležité dodržet přesný technologický návrh stroje a použít některé druhy antikorózních ochran [8, 11].

#### 3.1 Částečné výboje

Částečný výboje (dříve známé jako doutnavé výboje) vznikají v prostorech, kde hlavní izolace cívky nedokonale přiléhá k magnetickému obvodu stroje či se objeví dutý prostor mezi cívkou samotnou a její hlavní izolací. Takovému jevu říkáme drážkový výboj. S další výbojovou činností se setkáváme na výstupu vinutí z drážek stroje. V tomto případě se jedná o klouzavé výboje (dříve používané označení plazivé výboje) [5, 8].

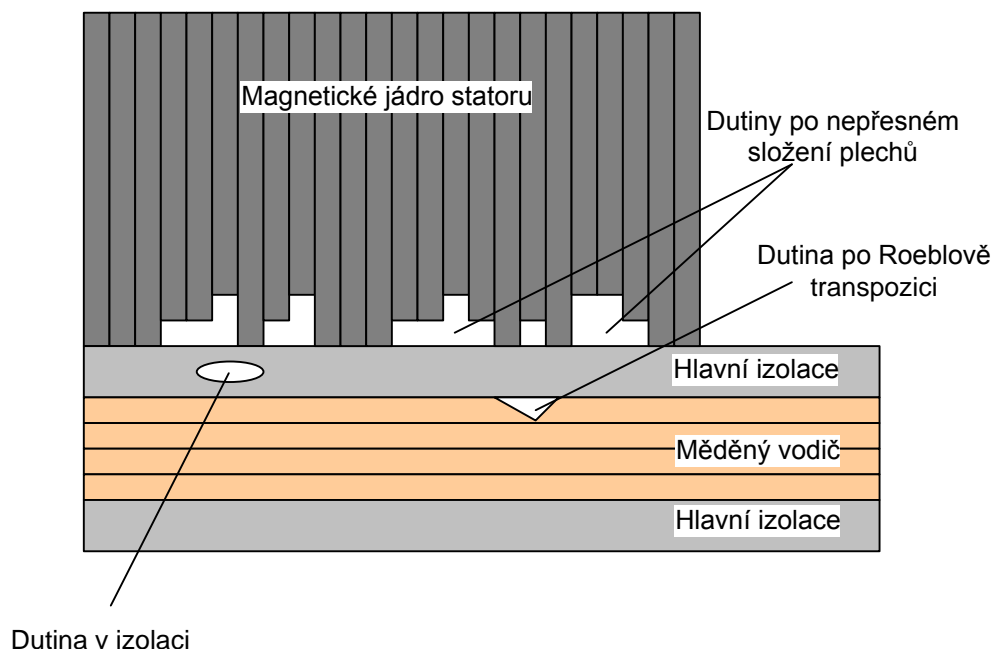
Částečný výboj je lokální jev, trvající řádově několik nanosekund, který jen částečně přemostuje izolaci mezi elektrodami o různém potenciálu a nemá potřebné podmínky pro kompletní zničení izolace či ke vzniku elektrického oblouku. Energie uvolněná částečnými výboji je relativně malá. Samotný jeden výboj není pro izolaci škodlivý. Obvykle jsou porušeny pouze některé vazby v polymerní struktuře izolace. Pokud však výbojová činnost pokračuje, začnou se vytvářet vodivé kanálky, které připomínají stromovou strukturu [5, 8, 12].

### 3.1.1 Částečné výboje v drážce statoru

V drážce statoru se mohou objevit tři typy částečných výbojů a to výboje mezi izolací a magnetickým obvodem rotoru, výboje mezi cívkou a izolací a výboje v samotné izolaci (viz příloha A). Výboje mezi izolací a cívkou jsou způsobeny nedokonalým přiléháním izolace k cívce. Vznikají tak dutiny s plynem, což má za následek nerovnoměrné rozložení elektrického pole a vznik rozdílných potenciálů mezi izolací a cívkou. Toto je typické u Roeblových tyčích kde u každého ohybu tyče vzniká dutý prostor [5, 11].

Další typ částečných výbojů se vyskytuje mezi uzemněným magnetickým obvodem a mezi hlavní izolací cívek kde izolace nedokonale přiléhá k statorovým plechům. Mezery mezi izolací a magnetickým obvodem vznikají už při konstrukci stroje, kde se cívky vkládají do drážek statoru s rezervou [5, 11].

Výbojová činnost v izolaci je způsobena dutinou, která vzniká již při výrobním procesu VPI či Resin-Rich technologie. Zobrazení takovéto dutiny je uvedeno v příloze. Graficky znázorněné oblasti částečných výbojů jsou zobrazeny na *Obr. 4* [11].



Obr. 4 Znázornění oblastí s možným vznikem částečných výbojů [12]

K elektrickému průrazu materiálu dojde za podmínky splnění vzorce:

$$E_p < \frac{U}{d} \quad (3.1)$$

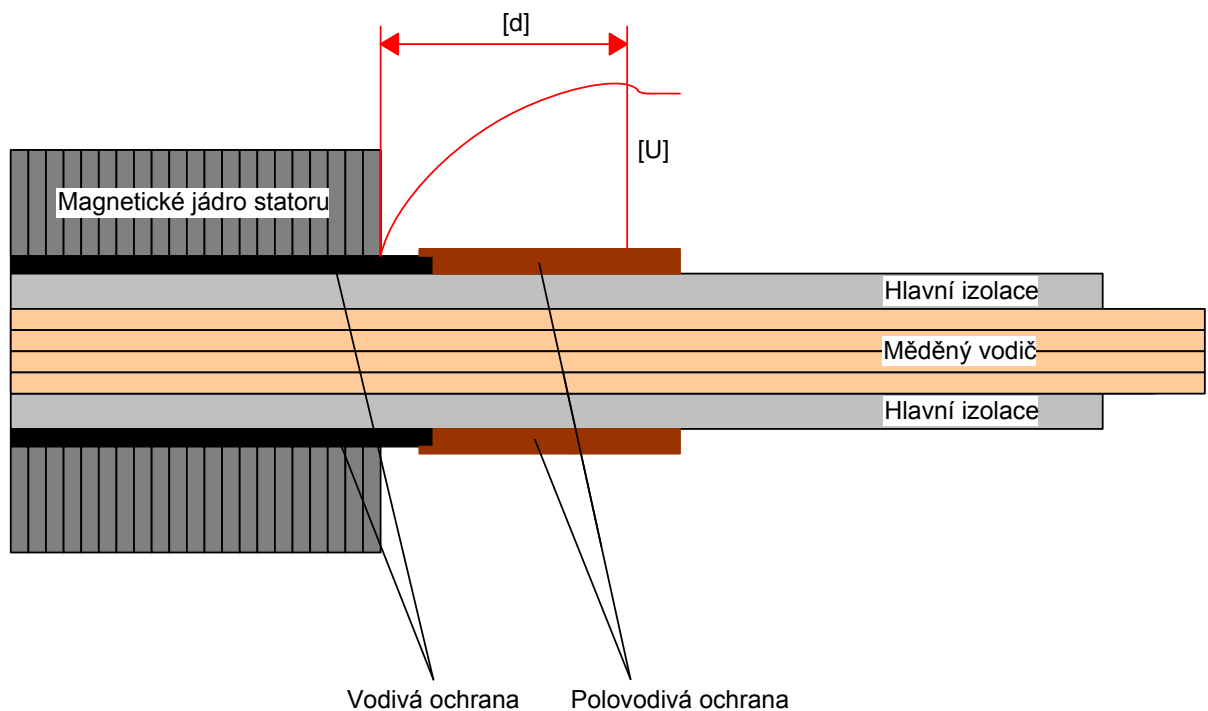
kde  $E_p$  = elektrická pevnost,

$U$  = napětí mezi dvěma zkoumanými místy v elektrickém obvodu,

$d$  = vzdálenost dvou zkoumaných míst v elektrickém obvodu.

### 3.1.2 Částečný výboje u výstupu vinutí z drážky

Klouzavý výboj je druh částečného výboje, který vzniká na povrchu izolantu mezi dvěma elektrodami, pokud dosáhne zápalné napětí mezi elektrodami své kritické hodnoty. Jak znázorňuje *Obr. 5*, na výstupu cívky z drážky se velmi zvyšuje intenzita nehomogenně rozloženého elektrického pole, které může způsobit přeskoky mezi tyčí a statorovými plechy (příloha B znázorňuje rozložení elektrického potenciálu) [13, 15].



*Obr. 5 Rozložení napětí podél tyče na výstupu ze statorové drážky [13]*

## 3.2 Vliv částečných výbojů

Vnitřní částečné výboje mají destruktivní charakter na izolační systém. Snižují elektrickou pevnost izolantu a tedy i celkovou životnost stroje. Vnější částečné výboje nemají obvykle trvalý destruktivní charakter, avšak u organických izolantů jako je například Realnex, dochází vlivem této výbojové činnosti k degradaci izolace, což může vést až k její destrukci [14].

### Elektro - erozivní účinky

Intenzita elektrického pole ionizuje plyn v dutině a tím způsobí vodivou dráhu pro vznik elektrického oblouku. Pokud je intenzita elektrického pole dostatečná, může koncentrace elektrického pole způsobit elektrický průraz a vodivá cesta se začne šířit izolantem. Ionty a elektrony způsobí svým pohybem erozi stěn dutiny a pokračující eroze způsobí průraz celého izolantu [14].

### Chemické účinky

Chemické účinky výbojů vznikají při déle trvajícím elektrickém namáhání. Je-li v dutině izolantu kyslík, částečné výboje vytvoří v dutině ozón, která má silné oxidační účinky. Ozón a oxidy dusíku vytváří při vysokých teplotách kyselinu dusičnou, která je také agresivní [7, 14].

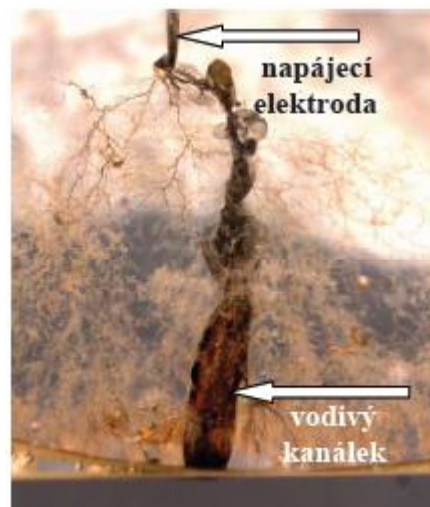
### Tepelné účinky

Opakující se částečné výboje mohou způsobit ohřívání izolantu, což vede k tepelné nestabilitě dielektrika a k tepelnému průrazu [7, 14].

Částečné výboje nemají velký vliv na elektrické ztráty, avšak svým opakováním mají velmi škodlivý dopad na izolaci. Materiály jako slída a porcelán jsou vůči částečným výbojům velmi odolné. Jejich vnitřní struktura se nemění ani dlouhodobým působením částečných výbojů. Mimo výše uvedené materiály se používají vysokomolekulární plasty, jako je polyetylen, které jsou na částečné výboje velmi citlivé [14].

### 3.3 Elektrické stromečky

Hlavní podmínka pro vznik elektrického stromečku je silné elektrické pole v dané oblasti. Elektrické pole může způsobit vznik elektrického stromečku pomocí vodivých částic, nečistot a defektů ve struktuře materiálu. Elektrické pole, které obklopuje výbojový kanál, je nehomogenní a jeho intenzita zde nabývá vysokých hodnot. V oblasti, kde dochází k překročení hodnoty elektrické pevnosti, nastává mikroskopický průraz. Potenciál výbojového kanálu se dál přenáší do průrazem vytvořeného místa, kde znovu způsobí průraz. Kanály tvoří postupným rozvětčováním stromečkové struktury, vycházející z místa vzniku výboje. Kanály postupně pronikají hlouběji do izolace, až dojde k překonání vzdálenosti mezi uzemněným statorovým jádrem a cívkou. Následný elektrický průraz nastane buď okamžitě, nebo až po uplynutí určité doby, kdy kanál získá dostatečně silný průměr. Na *Obr. 6* je znázorněn elektrický stromeček v krychli epoxidové pryskyřice, do které je zavedena jehlová napájecí elektroda [16, 17].



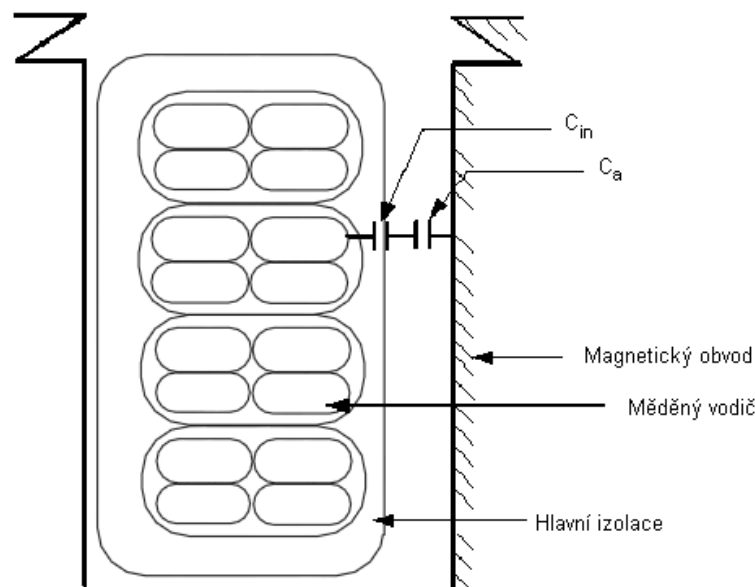
Obr. 6 Elektrický stromeček v epoxidové pryskyřici. Převzato z [16]

## 4 Princip minimalizace částečných a klouzavých výbojů

Pro zamezení vzniku částečných a klouzavých výbojů se u vysokonapěťových strojů používají vodivé a polovodivé pásy, laky a nátěry. Tyto přípravky mají za následek nulové napětí měřitelné napříč dutinou v případě drážkových výbojů a homogenizování elektrického pole na výstupu vinutí z drážek [11, 15].

### 4.1 Ochrana proti částečným výbojům v drážkové oblasti

Částečné výboje v drážkové oblasti vznikají díky nedokonalému přilnutí jednotlivých komponent izolačního systému k magnetickému obvodu statoru. Proto je při zakládání cívek do drážek nutné dbát na zajištění dobrého kontaktu s uzemněným svazkem plechů. Díky tomuto faktu vznikají v systému dutiny, které je nutno u vysokonapěťových strojů vyplnit. Cívky mohou být již předem opatřeny vláknitými páskami, které jsou taktéž natřeny vodivým lakem a díky své poddajnosti zajišťují dobré přizpůsobení se tvarům složeného statoru. K částečnému výboji dochází, překoná-li napětí hodnotu 3 kV/mm, což je elektrická pevnost suchého vzduchu při pokojové teplotě. Na *Obr. 7* je znázorněna mezera mezi magnetickým obvodem statoru a izolovanou cívkou [5, 18, 19].



*Obr. 7* Mezera mezi magnetickým obvodem statoru a izolovanou cívkou [19]



Kapacita vzduchové mezery se spočítá podle vztahu:

$$C_a = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad (4.1)$$

kde  $C_a$  = kapacita vzduchové mezery

$\varepsilon$  = permitivita izolačního materiálu

$S$  = plocha příčného řezu vzduchové mezery

$d$  = tloušťka vzduchové mezery

Použitím stejného vzorce lze dopočítat i kapacita izolace  $C_{in}$ .

V drážkové oblasti se eliminaci výbojů používají pryskyřice s obsahem sazí nebo grafitu a po zatvrdnutí se vyhladí. Tato ochrana je ve formě pásky, laku či folie. Tato ochranná vrstva musí být dostatečně vodivá, aby zajistila vyrovnání potenciálu po celé délce i obvodu cívky. Vodivost ochrany však nesmí překročit určitou velikost, aby nevznikaly proudy způsobené napětím indukovaným po délce drážky a příčným polem drážky. Z tohoto důvodu jsou obvykle voleny ochrany s hodnotou odporu v rozsahu 1 – 25 k $\Omega$  na plochu [5].

Tato ochrana je v kontaktu s velkou částí plochy uzemněných statorových plechů a bude na potenciálu tohoto obvodu. Tímto je velmi redukován vznik částečných výbojů, neboť intenzita elektrického pole nepřesáhne hodnotu 3 kV/mm [19].

Ochrana uložená v drážce nesmí skončit hned u výstupu vinutí z drážky, ale až jistou vzdálenost za koncem drážky, neboť by tenká vodivá vrstva vedla k vysokému lokálnímu poli. Toto pole by přesáhlo hodnotu 3 kV/mm a vyskytly by se částečné výboje na konci ochranné vrstvy [19].

Pro odstranění dutin po Roeblově transpozici se používají vodivé tmely, které mezery zaplní a opět tak zamezí k vzniku různých potenciálů mezi cívkou a izolací [19].

## 4.2 Ochrana proti Klouzavým výbojům

K zamezení vzniku těchto výbojů je třeba rovnoměrně zmenšit potenciál vodiče proti uzemněnému svazku plechů. Tato ochrana na konci vinutí musí být dimenzována nejen na provozní namáhání, ale i na testovací namáhání při zkoušce jakosti výroby vinutí [5].

Izolace čel vinutí je konstruována stejným způsobem jako v drážkách jen bez proužků s pojivem. Na rozdíl od izolace v drážkách se používá polovodivý materiál. Mezi nejčastěji používané materiály patří karbid křemíku a to ve formě pásky nebo laku. Karbid křemíku má velmi zajímavou vlastnost, při které se snižuje jeho elektrický odpor se zvyšujícím se napětím. Toho se využívá právě při ochraně proti klouzavým výbojům u výstupu vinutí z drážek. Když se tento materiál aplikuje na konec vodivého povlaku použitého v drážce statoru, má velmi nízký elektrický odpor, díky silnému elektrickému napětí působícího v této oblasti. Odpor karbidu křemíku se zvyšuje tím víc, čím je dál nanesen od výstupu cívek ze statorových drážek. Karbid křemíku je obvykle namíchán do laku či je přidán do pásky, která se navíjí na povrch cívky. Délka povlaku obsahující karbid křemíku záleží na napětí. Společnost VonRoll udává vzorec pro určení délky povlaku od konce statorové drážky:

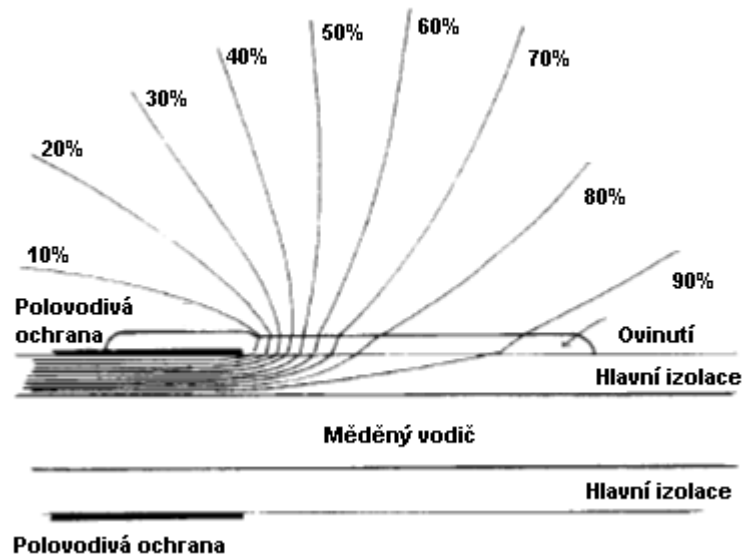
$$l = \frac{U_{max}}{2} \quad (4.2)$$

kde  $l$  = délka v centimetrech od konce statorové drážky,

$U_{max}$  = maximální testovací napětí v kV [17].

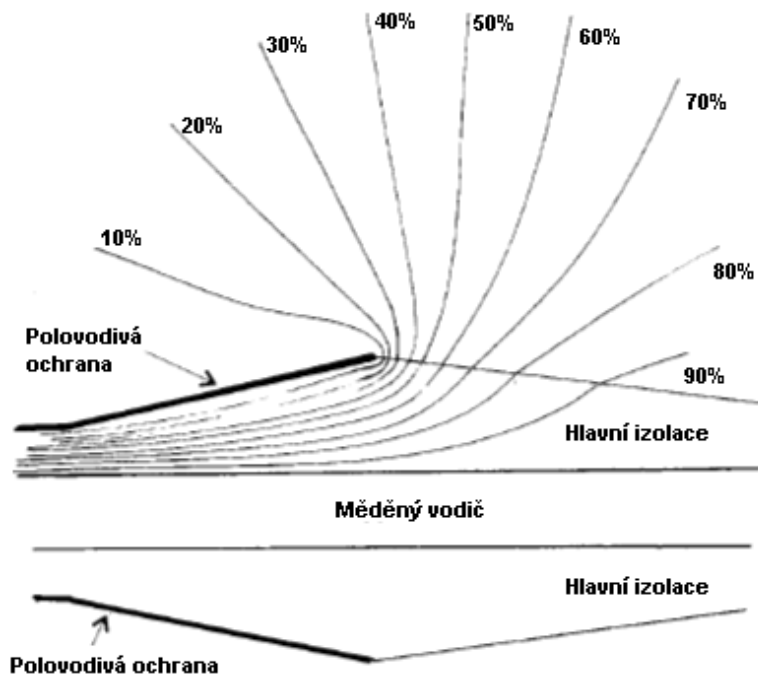
V prvně zmíněné metodě jsou podle H. Sezenze nanášeny odporové povrchové obaly přímo na povrch cívky či zpracované společně s vhodnými typy pásek. S tímto však nekoresponduje tvrzení Robertse, který ve svém článku uvádí, že jsou tyto odporové povlaky nanášeny v tenké vrstvě na hlavní izolaci. Tento rozpor však přisuzuji odlišnému technologickému postupu používanému v různých letech. Elektrický odpor těchto ochranných vrstev se zmenšuje od konce polovodivé ochrany. Mimo karbidu křemíku se taktéž používají materiály z azbestu. Potřebné odpory jsou v rozsahu 0,1 - 10 GΩ u čtvercové plochy [5, 20].

Ke kapacitnímu řízení rozložení elektrického potenciálu se používá hned několik metod. Základní myšlenka první kapacitní metody je nanesení materiálu s vyšší permitivitou na povrch hlavní izolace, jak je vyobrazeno na *Obr. 8*. To má za následek snížení povrchové impedance, což způsobí redukci napěťového namáhání. Hodnoty permitivity nesmí přesáhnout hodnotu 30 [20].



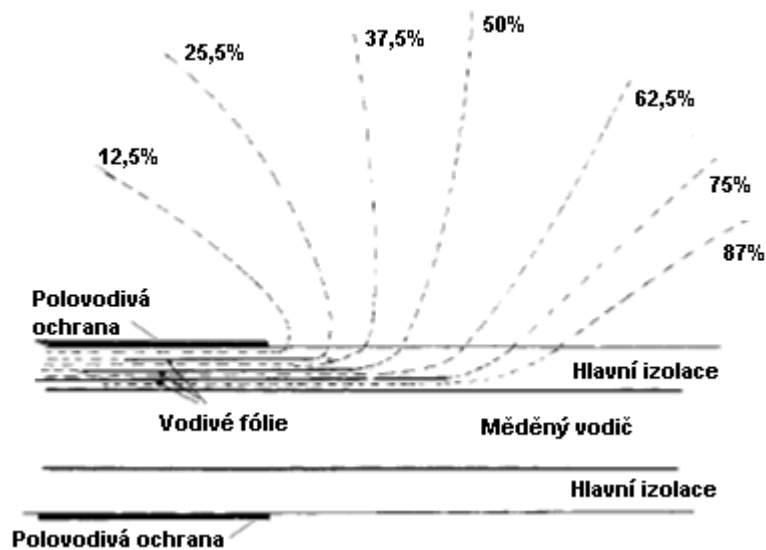
*Obr. 8* Rozložení napětí pomocí dielektrické pásky o vysoké permitivitě [20]

Další kapacitní metoda využívá „napěťového kužele“, což je místo, kde končí polovodivý povlak a z hlavní izolace se vytvoří kuželovitý tvar, tak jak znázorňuje *Obr. 9*. To má za následek redukci napěťového namáhání v izolaci, což snižuje povrchové namáhání [20].



*Obr. 9* Rozložení napětí pomocí kužele vytvořeného z hlavní izolace [20]

Poslední kapacitní metoda využívá vodivých fólií uvnitř hlavní izolace, které způsobují rozložení intenzity elektrického pole ve směru podél povrchu izolace. Tuto skutečnost znázorňuje Obr. 10 [20].



Obr. 10 Rozložení napětí pomocí vodivých fólií uvnitř hlavní izolace [20]

## 5 Popis vodivých a polovodivých ochran

### 5.1 Vodivé ochrany

Vodivý netkaný povlak je vyráběn impregnací polyesterového povrchu s pojivem, které obsahuje velmi malé vodivé části uhlíku. Tímto může být docíleno jakékoliv rezistivity v rozsahu 0,1 - 100 k $\Omega$  na plochu. Konečná páska může být vyrobena jak s hlazenou tak nehladenou povrchovou úpravou. Tato úprava však nemá efekt na konečnou povrchovou rezistivitu. Rozdíl je pouze ve vzhledu pásky, kde hlazená páska je lesklá, zatímco nehladená páska je matná. Pásky mohou být navíjeny ručně nebo pomocí stroje. Běžně se upřednostňuje ovíjení strojem, který zajistí větší napnutí pásky při ovíjení a přesnější dodržení polovičního překryvu pásky [21, 22].

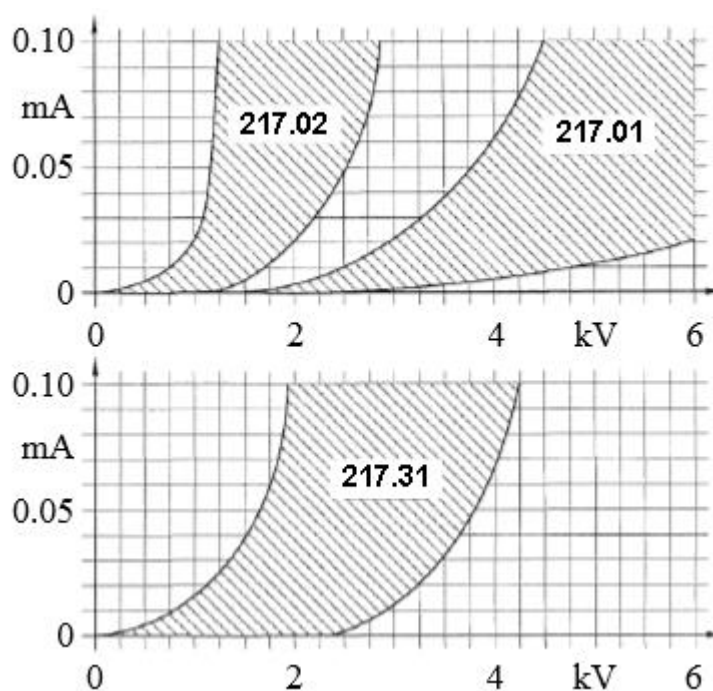
Proti vnitřním výbojům v drážkové oblasti se používají mimo pásek a laků i tmely, které se hodí pro odstranění nerovností způsobených Roeblovými tyčemi [23].

Proti vnějším výbojům v drážkové oblasti se používají stejné přípravky, které byly popsány výše, ale nepoužívají se ve větší míře laky, které mají malou odolnost vůči otěru. Laky se zde uplatňují pouze na opravy, kde nemohou být uplatněny pásy [23].

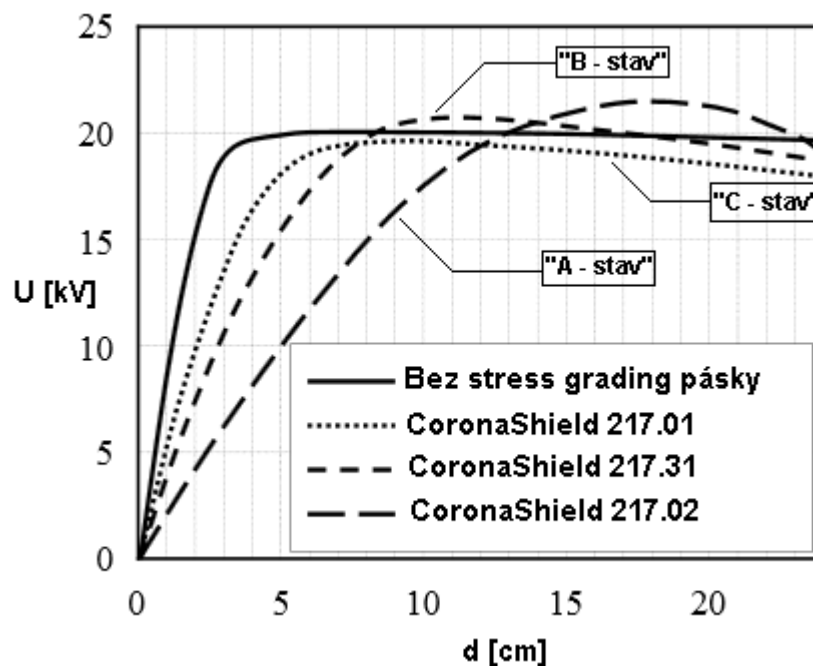
Dále se používají vodivé drážkové vložky a zvlněné laminátové pružinky [23].

## 5.2 Polovodivé ochrany

Standardní produkty pro ochranu proti klouzavým výbojům na výstupu cívky z drážky jsou polovodivé pásy a vzduchem tvrdnoucí polovodivé laky. Stejně jako u ochrany v drážkové oblasti jsou zde laky používány pouze jako materiál na opravy, kde není možno použít polovodivé pásy. Tyto polovodivé pásy mají povrchovou rezistivitu v rozsahu 10 M $\Omega$  - 1000 M $\Omega$  a jsou charakteristické svojí nelineární volt-ampérovou charakteristikou, tedy čím vyšší je intenzita elektrického pole tím nižší je povrchová rezistivita. Tato charakteristika je znázorněna na *Obr. 11*. Pásy na výstupu vinutí z drážky musí rovněž eliminovat tzv. „stress grading efekt“, který je způsoben nehomogenním rozložením intenzity elektrického pole působícího v této oblasti. Jak je znázorněno na *Obr. 12*, stress grading charakteristika je závislost rozložení napětí na vzdálenosti od vodivé pásy podél statorové cívky [23].



*Obr. 11 Volt-ampérová charakteristika polovodivých pásek SC 217.01, SC 217.02 a 217.31 [23]*



Obr. 12 Stress grading charakteristika [23]

## 6 Současná nabídka ochran proti částečným výbojům

Mezi přední výrobce vodivých a polovodivých ochran pro elektrické točivé stroje patří společnosti VonRoll AG, Isovolta AG, Krempel GMBH, Chhaperia IC, Vidyt Impex Pvt. Ltd. a Consulation Supplies. Společnost VonRoll je leader na trhu vodivých a polovodivých ochran, čemuž i odpovídá jejich rozmanitá nabídka produktů. Z tohoto důvodu se zde budu věnovat právě produktům této společnosti.

Vzhledem k neustále se opakujícímu označení produktové řady „CoronaShield®“, tedy řady výrobků sloužících pro redukci a eliminaci vzniku korony, zde již nadále nebude označení této řady používáno. Rozlišení jednotlivých produktů zde tedy bude pro přehlednost realizováno pouze pomocí alfanumerického označení bez užití produktového jména řady, co by kompletního názvu daného produktu.

VonRoll dělí své produktové řady do třech základních kategorií v závislosti na použití daného produktu. Tyto kategorie jsou [11]:

- Vnitřní ochrana proti koroně (IGS),
- Vnější ochrana proti koroně (AGS),
- Koncová ochrana proti koroně (EGS).

## 6.1 Produkty kategorie IGS

V této oblasti použití má společnost dva druhy ochran proti částečným výbojům. Jedná se o vodivý tmel P 8004 a o měkkou vodivou pásku z polyesteru C 215.55 [11].

P 8004 je lehce aplikovatelný vodivý tmel dodávaný ve formě pásky o tloušťce 2-3 mm a šířce 6-30 mm. Tmel se skládá z epoxidované pryskyřice plněné slídovým práškem a vodivými přísadami. Účelem tmelu je vyplnění dutin u Roeblových tyčí v místě překřížení vodičů. Požadovaných vlastností tmelu se dosáhne až po vytvrzení při teplotě 130-150°C po dobu jedné až čtyř hodin. Tedy čím vyšší je teplota, tím nižší je potřebná doba pro vytvrzení tmelu [24].

Druhým přípravkem používaným při potlačování výbojové činnosti mezi cívkou a hlavní izolací je vodivá páska C 215.55. Páska je dodávána ve formě rolí o standardní šířce v rozsahu 10 – 1000 mm s délkou od 50 do 100 m. Tato měkká páska je vyrobená z netkané tkaniny, impregnovaná elektricky vodivým lakem pro použití v teplotní třídě F – tedy při teplotě do 155 °C. Páska se aplikuje na rovné části cívky s polovičním překryvem a to manuálně či strojově. Je nutné, aby byla páska těsně aplikována bez jakéhokoliv zvrásnění. Tento produkt je vhodný jak pro stroje s izolačním systémem VPI tak i Resin Rich. Při použití technologie Resin rich se páska aplikuje na cívku před stlačením [25].

## 6.2 Produkty kategorie AGS

Pro potlačení vnějších výbojů v drážkové oblasti nabízí společnost jedenáct výrobků. Jedná se o vodivý lak P 8003, měkké vodivé pásy z polyesteru C 215.51, C 215.51-03, C 215.55, C 215.63, vodivé plechy Vetronite® 432.10-01, Vetronite® 432.11, vodivé pásy s Nomex® technologií 250 N 85, 250 N 125, 2500NB 70 a vodivé bočně zvlněné pružiny Vetronite® 92.200 [11].

Vodivý lak P 8003 je alkydová pryskyřice s vodivým grafitovým plnivem, která se používá v teplotní třídě F – tedy do 155 °C. Laky jsou poskytovány společností v plechovkách v rozmezí od 1 do 25 kg. Vzhledem k vysoké hustotě pigmentu obsaženého v laku se usazují jeho části na dně skladovací nádoby, a proto musí být lak před použitím promíchán. Po promíchání se lak nanáší klasickými štětci. Požadovanou hustotu lze získat naředěním přípravku odpovídajícími ředidly. Průběh aplikace spočívá v nanášení několika slabých nátěrů laku o celkové tloušťce 0,2 – 0,5 mm. Mezi jednotlivými nátěry musí uplynout alespoň 30 minut, aby mohl předešlý nátěr zcela zatvrdnout. Tento produkt je vhodný jak pro stroje s izolačním systémem VPI tak i Resin Rich, avšak pro izolační systém VPI se musí provést test kompatibility s impregnační pryskyřicí. Dále se během vysoušení laku při používání technologie VPI doporučuje zvýšit pokojovou teplotu po dobu 4 dní nebo nalakované cívky sušit při teplotě 70 - 100 °C [26].

Vodivé pásy C 215.XX, kde XX je přesné označení konkrétního výrobku jsou podobné. Liší se převážně jen technickými a elektrickými vlastnostmi. Vzhledem k jejich podobnostem a úspoře místa v práci jsou zde uvedeny jen rozdíly, které nebudou podrobněji zkoumány v nadcházející kapitole. Produkt C 215.55 byl již popsán v kapitole 6.1.1, a tak jej uvažují jako referenční, ke kterému budou produkty C 215.51, C 215.51-03 a C 215.63 vztahovat [25, 27, 28, 29].

C 215.51 a C 215.51-03 se liší oproti pásce C 215.55 v kompatibilitě. U prvních dvou zmíněných pásek není na rozdíl od C 215.55 zaručena kompatibilita s epoxidovým anhydridem. Pro ověření kompatibility je nutno provést specifické testy [25, 27, 28].

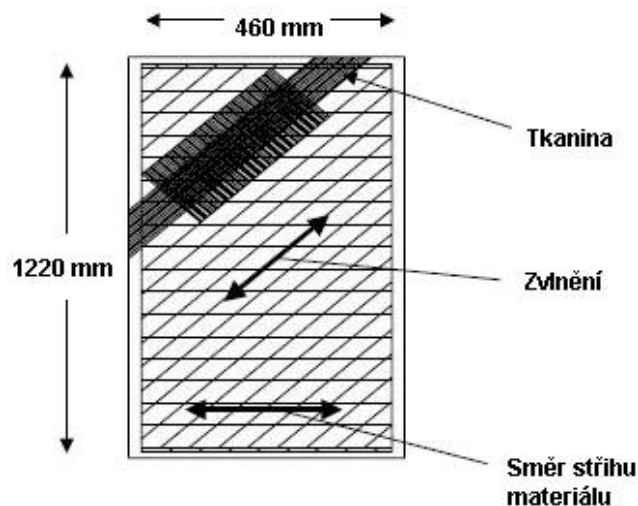
Páska C 215.63 se liší oproti C 215.55 ve způsobu aplikace. U C 215.63 je páska použita jako vložka do otvoru v okamžiku vinutí pro zajištění těsného uchycení cívky [25, 29].



Pásky 250 N 85, 250 N 125 a 2500 NB 70 jsou založeny na Nomex® technologii. Výše tři uvedené pásky si jsou velmi podobné, opět se liší jen technické a elektrické vlastnosti, které budu popisovat v 7. kapitole. Tyto pásky se vyznačují vysokou tepelnou odolností. Mohou být používány i při teplotách sahajících k 220 °C. Neobsahují pryskyřici, díky čemuž se lehce impregnují a jsou otěruvzdorné. Pásky jsou aplikovány v rovné části cívky s 30% nebo s 50% překryvem, kde se musí dbát na dokonalém vypnutí pásky a tedy nepřítomnosti vrásek. Je zde zaručena kompatibilita s epoxidovými anhydridovými systémy. Výrobky jsou vhodné jak pro VPI tak Resin Rich izolační systémy. Při použití technologie Resin rich se páska aplikuje na cívku před stlačením [30, 31, 32].

Vodivý plechy Vetronite® 432.10-01 a 432.11 jsou sklolaminátové látky, které jsou velmi ohebné a na tuhosti získávají s přibývajícimi vrstvami. Jejich mechanické a elektrické vlastnosti jsou velmi stabilní i za používání při teplotách 155 °C. Materiál je elektricky vodivý s příměsí speciálního pigmentu. Vlastnosti těchto produktů se liší pouze v odolnosti povrchu a vnitřním odporu. Tyto látky jsou používány jako obalový materiál v drážce statoru a jako mechanická podpora pro cívky vybavené vodivou vrstvou. Zpracování látky je možné pomocí diamantových nástrojů a při tloušťce přesahující 2 mm mohou být tyto látky děrovány či stříhány pomocí speciálních stříhaček [33, 34].

Vodivé bočně zvlněné pružinky 92200 jsou vlnitým laminátem vytvořeným ze skelné tkaniny, epoxidové pryskyřice a vodivého plniva s velkým odporem k stlačení a vynikajícími mechanickými vlastnostmi za vysokých teplot. Vetronite 92200 nahrazuje klasické drážkové klíny. Zvlnění materiálu zajišťuje vhodný elektrický kontakt mezi ochrannou vrstvou cívek a stěnou statorové drážky. Tvar Vetronite 92200 je znázorněn na Obr. 13 [35].



Obr. 13 Bočně zvlněné pružinky Vetronite 92200 [35]

### 6.3 Produkty kategorie EGS

Na výstupu vinutí z drážky nabízí společnost VonRoll několik produktů pro eliminaci výbojové činnosti způsobenou nehomogenním elektrickým polem působícím v této oblasti. Mezi tyto produkty se řadí polovodivý lak P 8001 a polovodivé pásky SC 217.01, SC 217.02 a SC 217.31 [11].

Polovodivý lak P 8001 je modifikovaná fenolová pryskyřice s polovodivým plnivem pro použití v teplotních třídách F (155 °C) a s možností použití v izolačních systémech Resin Rich, VPI a s zaručenou kompatibilitou s epoxidovými anhydridovými systémy. Způsob aplikace je shodný s aplikací laku 8003 až na oblast použití, kde se lak 8001 používá výhradně u výstupu vinutí ze statorové drážky. Tento lak by měl překrývat 20 mm vodivou vrstvu vycházející ze statorové drážky [36].

CS 217.01, CS 217.02 a CS 217.31 jsou podobné produkty. Liší se především „Stress-grading“ charakteristikou jak je znázorněno na Obr. 11. Charakteristika je ovlivněna napěťově odstupňovanou ochranou ve formě pásky a je známá jako tzv. „A-stav, B-stav a C-stav“<sup>1</sup>. Tyto stavy se od sebe liší procentuálním vytvrzením a vodivostí polovodivé ochranné pásky. [37, 38, 39, 40].

Výše uvedené pásky jsou tkané polyesterové textilní látky impregnované polovodivým lakem vhodné pro používání za teplot až 155 °C v izolačních systémech Resin Rich a VPI. Stejně jako vodivé pásky v drážkové oblasti musí být polovodivé pásky navinuty na cívky bez vrásek. Poloviční překryv pásky se provádí na horní části hlavní izolace. Tyto pásky by měly překrývat 20 mm vodivou vrstvu vycházející ze statorové drážky a jejich doporučená axiální délka se vypočítá z dříve uvedeného vztahu (6.1). Polovodivé pásky by měly být u VPI i Resin Rich systému kryty ochrannou vrstvou Epoflex.

---

<sup>1</sup> Z důvodu omezení rozsahu práce se zde nebudu problematikou dále zabývat.

## 7 Srovnání vodivých a polovodivých ochran

Pro srovnání vodivých a polovodivých ochran proti částečným výbojům je nutné stanovit si stěžejní charakteristické parametry daného výrobku. U vodivých a polovodivých pásek patří mezi tyto klíčové kritéria tloušťka pásky, maximální prodloužení pásky před jejím přetržením, pevnost v tahu a povrchová rezistivita. Vzhledem k velkému počtu modifikací těchto pásek jednotlivými výrobci je jejich porovnání realizováno pomocí *Tab. 1* a *Tab. 2*.

*Tab. 1 Srovnání parametrů vodivých pásek*

výrobce	značení pásky	tloušťka [mm]	prodloužení [%]	pevnost v tahu [N/cm]	povrchová rezistivita [ $\Omega/\square$ ]
VonRoll	CoronaShield® C 215.51	0,1 ± 0,02	≥ 10	≥ 30	200 - 400
	CoronaShield® C 215.51-03	0,1 ± 0,02	≥ 10	≥ 30	400 - 1000
	CoronaShield® C 215.55	0,085 ± 0,02	≥ 8	≥ 30	200 - 400
	CoronaShield® C 215.63	0,17 ± 0,03	≥ 5	≥ 12	200 - 400
	CoronaShield 250 N 85	0,085 ± 0,01	-	21 ± 4	100 - 400
	CoronaShield 2500	0,125 ± 0,015	-	38 ± 5	100 - 400
	CoronaShield® 2500 NB 70	0,07 ± 0,01	≥ 5	≥ 35	1500 - 3000
Chhaperia	C1530-1	0,08 ± 0,03	≥ 8	≥ 25	500 - 1800
	C1530-1A	0,09 ± 0,02	≥ 8	≥ 30	200 - 800
	C1530-1B	0,09 ± 0,03	≥ 15	≥ 60	1000 - 5000
Vidyut	VID-ANTICOR 3.85	0,085 ± 0,002	8	> 30	40 - 400
	VID-ANTICOR 5.110	0,115 ± 0,015	15	> 50	200 - 1000
Krempel	06 EWR 15 AA	0,18 ± 0,036	≥ 8	≥ 20	400 - 6000
	07 EWR 05 AA	0,13 ± 0,026	≥ 9	≥ 28	400 - 5000
	10 EWR 02 AA	0,2 ± 0,04	≥ 10	≥ 12	400 - 20000
	12 EWR 01 AA	0,29 ± 0,058	≥ 4	≥ 12	400 - 6000
	03 ELR 19 AA	0,05 ± 0,01	≥ 10	≥ 12	400 - 1000
	06 ELR 14 AA	0,1 ± 0,02	≥ 15	≥ 40	1000
	06 ELR 14 CB	0,12 ± 0,024	≥ 12	≥ 60	1200
	06 ELR 14 CC	0,1 ± 0,02	≥ 15	≥ 40	150 - 1500
	03 EFR 13 AA	0,08 ± 0,016	≥ 12	≥ 30	1000 - 2000
	03 EFR 13 BA	0,08 ± 0,016	≥ 12	≥ 30	400
	07 EFR 18 AA	0,14 ± 0,028	≥ 10	≥ 60	400 - 5000
	07 EFR 18 BA	0,14 ± 0,028	≥ 14	≥ 60	400 - 5000
	04 ESR 22 AA	0,22 ± 0,044	≥ 14	≥ 20	400 - 1000
	04 ESR 22 AA-sk	0,24 ± 0,048	≥ 14	≥ 20	400 - 1000
Isovolta	CONTAFEL® 2716	0,11 ± 0,02	-	≥ 40	200 - 600
	CONTAFEL® ME 3107	0,11 ± 0,02	-	≥ 40	200 - 600
	CONTAVAL® 2017	0,3 ± 0,15	-	-	500 - 50000
	CONTAFEL® 3080	0,08 ± 0,02	-	≥ 40	500 - 1500
	CONTAFEL® H 0865	0,12 ± 0,02	-	≥ 40	150 - 250
	CONTAFELPREG® 2564	0,18 ± 0,03	-	≥ 25	10000
	CONTAGLAS® 2912	0,07 ± 0,02	-	≥ 120	500 - 1500
Consulation Supplies	3.85	0,085 ± 0,02	8	> 30	200 - 400
	5.11	0,12 ± 0,02	15	> 50	50 - 250

Tab. 2 Srovnání parametrů polovodivých pásek

výrobce	značení pásky	tloušťka [mm]	prodloužení [%]	pevnost v tahu [N/cm]	povrchová rezistivita [ $\Omega/\square$ ]
VonRoll	CoronaShield® SC 217.01	0,22 ± 0,03	≥ 12	≥ 80	-
	CoronaShield® SC 217.02	0,22 ± 0,03	≥ 12	≥ 80	-
	CoronaShield® SC 217.31	0,25 ± 0,05	≥ 10	≥ 80	-
Chhaperia	C1530-2	0,2 ± 0,04	≥ 10	≥ 60	$5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^6$
	C1530-2A	0,2 ± 0,04	≥ 10	≥ 60	$5 \cdot 10^7 - 5 \cdot 10^9$
	C1530-2B	0,2 ± 0,05	≥ 15	≥ 60	$10^{10} - 10^{12}$
Vidyut	VIDSTRESS 8.300	0,2 ± 0,05	≥ 8	≥ 60	-
	VIDSTRESS 10.350	0,25 ± 0,05	≥ 8	≥ 60	-
Krempel	AKASIC 4b	0,2 ± 0,02	≥ 20	≥ 50	-
Isovolta	EGSB® 2709	0,24 ± 0,04	≥ 10	≥ 80	≥ $10^{11}$
	EGSB® 2969	0,15 ± 0,03	≥ 20	≥ 40	≥ $10^{11}$
Consulation Supplies	8.3	0,2 ± 0,03	≥ 8	>100	-
	5.125	0,13 ± 0,02	≥ 8	>100	-

Srovnání parametrů vodivých a polovodivých pásek je velmi problematické, neboť jednotliví výrobci používají odlišné normované metody pro zjištění charakteristických hodnot či potřebné hodnoty pro srovnání vůbec neuvádějí. Dipl. Ing. Peter Pöhler, zástupce technického oddělení pro Elektrické izolace a materiály společnosti Krempel, se k neuvádění použitých norem pro zjišťování charakteristických hodnot vyjádřil:

„*Neexistuje žádná národní či mezinárodní norma pro vodivé pásky.*“

Krempel GMBH se dále k věci vyjádřil, že tvoření standardů pro normalizaci měření charakteristických hodnot vodivých pásek je velmi finančně a časově náročná záležitost. Dále tato společnost poskytla nástin metodiky měření hodnoty povrchové rezistivity a jiné charakteristické hodnoty změřené podle návrhu připravované normy (viz příloha C a D).

Přehledné porovnání norem používaných jednotlivými výrobci pro měření charakteristických hodnot je znázorněno v *Tab. 3*.

*Tab. 3 Srovnání norem výrobců používaných pro získání charakteristických parametrů*

výrobce	druh pásky	tloušťka	prodloužení	pevnost v tahu	povrchová rezistivita
VonRoll	vodivé pásky	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IEC 60394-2	ASTM D 257
	polovodivé pásky	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IEC 60394-2	-
Isovolta	vodivé pásky	DIN 863, DIN 40606, IEC 60394-2	-	DIN 53455, IEC 60394-2	IEC 60093
	polovodivé pásky	-	DIN 53455	DIN 53455	IEC 60093
Krempel	vodivé pásky	-	-	-	-
	polovodivé pásky	IEC 626-2	DIN 53112	DIN 53112	-
Chhaperia	vodivé pásky	IEC 371-2	IEC 371-2	IEC 371-2	IEC 371-2
	polovodivé pásky	IEC 371-2	IEC 371-2	IEC 371-2	IEC 371-2
Vidyut	vodivé pásky	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IS 5351
	polovodivé pásky	IEC 60371-2	IEC 60371-2	IEC 60371-2	-
Consulation Supplies	vodivé pásky	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IS 5351
	polovodivé pásky	IEC 60394-2	IEC 60394-2	IEC 60394-2	-

## 8 Závěr

V této bakalářské práci je popsán princip a konstrukce synchronních strojů, coby velkých točivých strojů, u kterých se s problematikou částečných výbojů běžně setkáváme. Dále se práce zaměřuje na výrobu vysokonapěťových statorových cívek, jejich izolačním systémem a montáží cívek do magnetického obvodu statoru. Následující kapitola pojednává o částečných výbojích, o částech izolačního systému, ve kterých se s částečnými výboji setkáváme a o jejich negativních účincích. Po popisu částečných výbojů se práce věnuje jejich minimalizaci pomocí vodivých a polovodivých materiálů. Na tuto část práce navazuje kapitola zabývající se vodivými ochranami v drážkové oblasti a polovodivými ochranami na výstupu vinutí ze statorové drážky. V předposlední kapitole jsou popsány všechny produkty společnosti VonRoll AG sloužící jako ochrana proti částečným výbojům. V závěru této bakalářské práce jsou vypracovány srovnávací tabulky vodivých a polovodivých pásek šesti světových výrobců zaměřující se na minimalizaci této výbojové činnosti.

Dle získaných informací je možné korektně srovnávat parametry vodivých a polovodivých pásek sloužících pro minimalizaci částečných výbojů pouze mezi produkty společnosti Chaperia a dále pak mezi vodivými páskami společnosti VonRoll. U ostatních společností nelze potvrdit, že jsou udávané parametry u zjišťovaných vodivých a polovodivých ochran srovnatelné, neboť výrobce neuvádí použitou normu pro získání charakteristických parametrů výrobků či výrobce přímo u svých produktů využívá hned několika norem pro získání těchto parametrů. Srovnání všech parametrů zmiňovaných ochran mezi společnostmi uvedených v této bakalářské práci pak není obecně možné a lze tedy srovnávat pouze vybrané parametry jednotlivých produktů, korespondující se stejnou normou.

Ve své diplomové práci bych se rád dále věnoval konkrétním vodivým a polovodivým výrobkům světových společností, s jejichž zástupci jsem v průběhu vypracování této bakalářské práce navázal dobrý kontakt.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Ing. Stanislav Kocman. SYNCHRONNÍ STROJE, Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB – TU Ostrava, 2004, citováno dne 13. 3. 2013. [online] Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FS/prednasky/sylab\\_synchronni%20stroje\\_bc%20FS.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_synchronni%20stroje_bc%20FS.pdf)
- [2] PETROV, G.N.:Elektrické stroje 2. Academia, Praha, 1982. ISBN 21-055-82
- [3] doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D., Elektrické stroje, ZČU FEL EP-110, letní semestr 2012
- [4] FEI VŠB – TU OSTRAVA, Část elektrické stroje, citováno dne 20. 3. 2013 [online]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni\\_texty/se/SEL2b.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni_texty/se/SEL2b.pdf)
- [5] SEQUENZ, Heinrich, et al. Technologie vinutí elektrických strojů točivých. 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 312s. Typové číslo: L25-B3-IV-31/52427
- [6] PETROVIČ KOPYLOV, Igor, et al. Stavba elektrických strojů. Praha: SNTL, 1988. 688 s.
- [7] MENTLÍK, Václav, et al. Diagnostika elektrických zařízení. Praha: BEN, 2008. 440 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [8] MENTLÍK, Václav. Dielektrické prvky a systémy. Praha: BEN, 2006. 240 s. ISBN 80-7300-189-6.
- [9] Technologie výroby vinutí elektrických strojů točivých [film], Doc. Ing. B. Hála, CSc., Ing. P. Hulla, závod ČKD elektrotechnika, AVTC – ČVUT Praha 1991, citováno dne 27. 2. 2013, [online]. Dostupné z: <http://www.uloz.to/xLp4JbN/technologie-vyroby-vinuti-el-stroju-tocivych-fmp4-bizo-avi>
- [10] Měření a charakter částečných výbojů (ČV) v točivých strojích. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.elektrotrh.cz/merici-technika/mereni-a-charakter-castecnych-vyboju-cv-v-tocivych-strojich-3>
- [11] Corona Protection: Katalog. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/Anti%20Corona%20Flyer.pdf>
- [12] Anti corona: CoronaShield® C 215.51. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%20215.51.pdf>
- [13] Anti corona: CoronaShield® SC 217.02. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sibel.bg/upl\\_doc/CoronaShield%20217.02-EN.pdf](http://www.sibel.bg/upl_doc/CoronaShield%20217.02-EN.pdf)
- [14] ZÁLIŠ, Karel. Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů. Praha: Academia, 2005. 135 s. ISBN 80-200-1358-X.
- [15] VEVERKA, Antonín. Technika vysokého napětí. Praha: SNTL, 1978. 296 s.
- [16] ŠIRŮČEK, Martin. DEGRADACE IZOLAČNÍCH SYSTÉMŮ TOČIVÝCH STROJŮ: ELEKTRICKÉ STROMEČKY [online]. Plzeň [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/15-sirucek.pdf>
- [17] Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcová: Design of Rotating Electrical Machines. John Wiley& Sons, Ltd. 2008. ISBN 978-0-470-69516-6 (H/B)
- [18] Elektrotechnologie. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.kteiv.upol.cz%2Fuploads%2Fsoubory%2Fserafin%2FElektrotechnologie%2FElektrotechnologie2-1.ppt&ei=PGiaUeHrIMOGOKnmgMgD&usg=AFQjCNGbMXuPp->

- SICTyWnhPouo1M5i68lQ&sig2=jFfAQ6sOm0JZ51JM84QplQ&bvm=bv.46751780, d.ZWU
- [19] STONE, Greg C., et al. *Electrical Insulation for Rotating Machines : Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair*. Toronto: A JOHN WILEY & SONS, INC., 2004. 371 s. ISBN 0-471-44506-1.
- [20] ROBERTS, A. Stress Grading for High Voltage Motor and Generator Coils. *IEEE*. 1995, 1, s. 26-31.
- [21] The Application of Conductive and Semi-Conductive Corona Protection Tapes to VPI'ed High Voltage Stator Coils. In: [online]. Orlando, Florida [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00482394&tag=1>
- [22] Anti-Corona Protection of the High Voltage Stator Windings and Semi-Conductive Materials for Its Realization. In: MALAMUD a CHEREMISOV. [online]. MI USA, 2000 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=845414>
- [23] BRÜTSCH, Rudolf a Thomas HILLMER. Corona Protection in Rotating High Voltage Machines. In: [online]. 2006. vyd. Berlin [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.vonroll.com/media/files/f\\_e\\_publicationen/CPIRHVM.pdf](http://www.vonroll.com/media/files/f_e_publicationen/CPIRHVM.pdf)
- [24] Anti corona: Conductive Mastic 8004 [online] získáno skrz e-mail viz příloha E
- [25] Anti corona: CoronaShield® C 215.55. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%20215.55.pdf>
- [26] Anti corona: CoronaShield® P 8003. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sibel.bg/upl\\_doc/Corona-shield-P8003-conductive-varnish.pdf](http://www.sibel.bg/upl_doc/Corona-shield-P8003-conductive-varnish.pdf)
- [27] Insulating Systems for Large Generators. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.vonroll.com/media/files/downloads/brochures/Large\\_Generators\\_WEB.pdf](http://www.vonroll.com/media/files/downloads/brochures/Large_Generators_WEB.pdf)
- [28] Anti corona: CoronaShield® C 215.51-03. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sibel.bg/upl\\_doc/Coronashield%20215.51-03-EN.pdf](http://www.sibel.bg/upl_doc/Coronashield%20215.51-03-EN.pdf)
- [29] Anti corona: CoronaShield® C 215.63. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%20215.63.pdf>
- [30] Anti corona: CoronaShield 250 N 85. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%20250%20N%2085.pdf>
- [31] Anti corona: CoronaShield 250 N 125. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%20250%20N%20125.pdf>
- [32] Anti corona: CoronaShield 2500 NB 70. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%202500NB%2070.pdf>
- [33] Electric Insulating Materials: CONDUCTIVE VETRONITE 432.10. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.shinsei-shoji.co.jp/Leaflet/ISOLA/Conductive%20Vetronite%20432.10.pdf>
- [34] Electric Insulating Materials: CONDUCTIVE VETRONITE 432.11 [online] získáno skrz e-mail
- [35] Ripple springs: CONDUCTIVE SIDE RIPPLE SPRINGS VETRONITE 92200. In: [online]. Francie [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/Ripple%20Spring%2092200.pdf>
- [36] Anti corona: CoronaShield® P 8001. In: [online]. Francie [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sibel.bg/upl\\_doc/Corona-shield-P8001-semi-conductive-varnish.pdf](http://www.sibel.bg/upl_doc/Corona-shield-P8001-semi-conductive-varnish.pdf)
- [37] ALLISON, J.A. Understanding the need for Anti-corona materials in High Voltage Rotating machines. *IEEE*. 2000, 1, s. 860-863. Dostupné z webu <http://80.ieeexplore.ieee.org/dialog.cvut.cz/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=876364>
- [38] Anti corona: CoronaShield® CS 217.01. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sibel.bg/upl\\_doc/CoronaShield%20217.01-EN.pdf](http://www.sibel.bg/upl_doc/CoronaShield%20217.01-EN.pdf)



- [39] Anti corona: CoronaShield® CS 217.02. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sibel.bg/upl\\_doc/CoronaShield%20217.02-EN.pdf](http://www.sibel.bg/upl_doc/CoronaShield%20217.02-EN.pdf)
- [40] Anti corona: CoronaShield® CS 217.31. In: [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://webha.laurence-scott.com/Suppliers/Von-Roll/CoronaShield%20217.31.pdf>
- [41] Ermittlung des Oberflächenwiderstandes bei Leitvliesen [online] získáno skrz e-mail viz příloha C
- [42] Conductive non-woven: 03 EFR 13 AA 2000 Ω/□ [online] získáno skrz e-mail viz příloha D
- [43] CONTAFEL® H 0865. In: [online]. 2010. vyd. Rakousko získáno skrz e-mail
- [44] Anti Corona Tapes / Non Woven Conductive Fleece Tape: VID-ANTICOR 3.85/5.11. In: [online]. Indie [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.vidyutimpex.com/pdf/new/Anticor%20Conductive%20Tapes.pdf>
- [45] SEMI CONDUCTIVE ANTI CORONA TAPE. In: [online]. Edenvale - Jihoafrická republika [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: [http://consulation.co.za/product\\_pdfs/INSULATION%20-%20Semi-conductive%20Tape%20%20Spec.pdf](http://consulation.co.za/product_pdfs/INSULATION%20-%20Semi-conductive%20Tape%20%20Spec.pdf)
- [46] TDS: ANTI CORONA TAPE. In: [online]. Indie [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: [http://www.micagroup.net/inner\\_pages/images/Corona%20shield%20tape.pdf](http://www.micagroup.net/inner_pages/images/Corona%20shield%20tape.pdf)

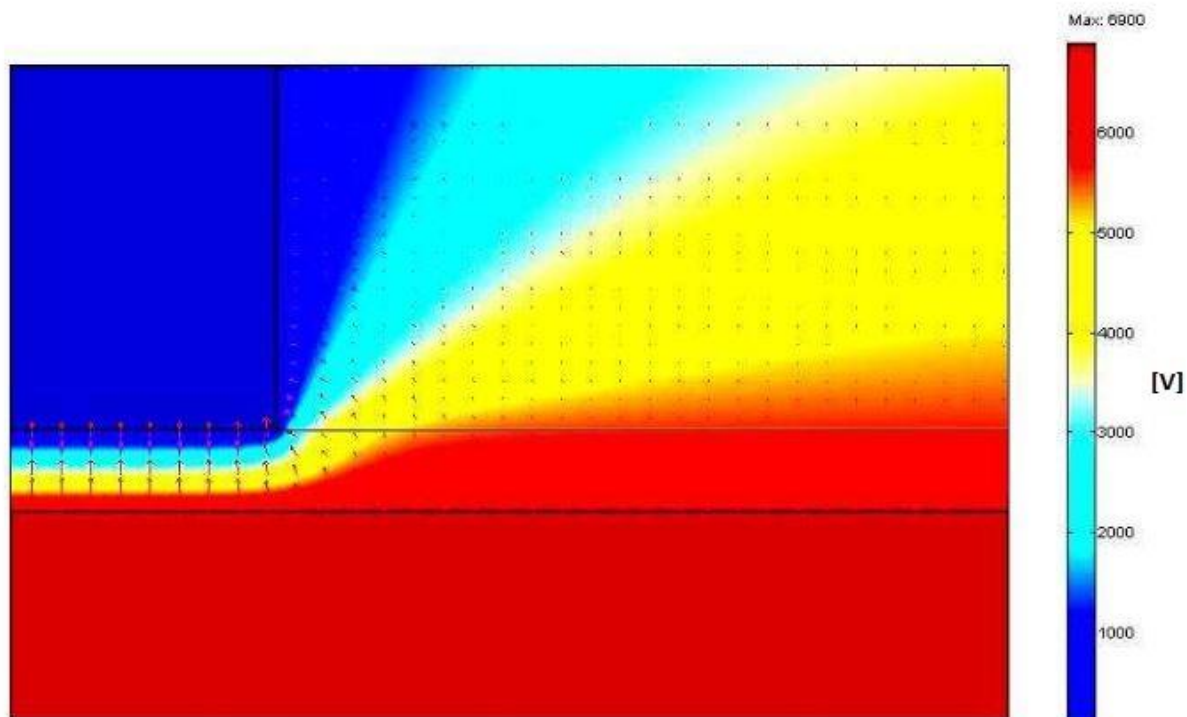
## Přílohy

### Příloha A



Reálné znázornění dutinek v hlavní izolaci způsobené špatnou aplikací Resing rich nebo VPI technologie [23]

### Příloha B



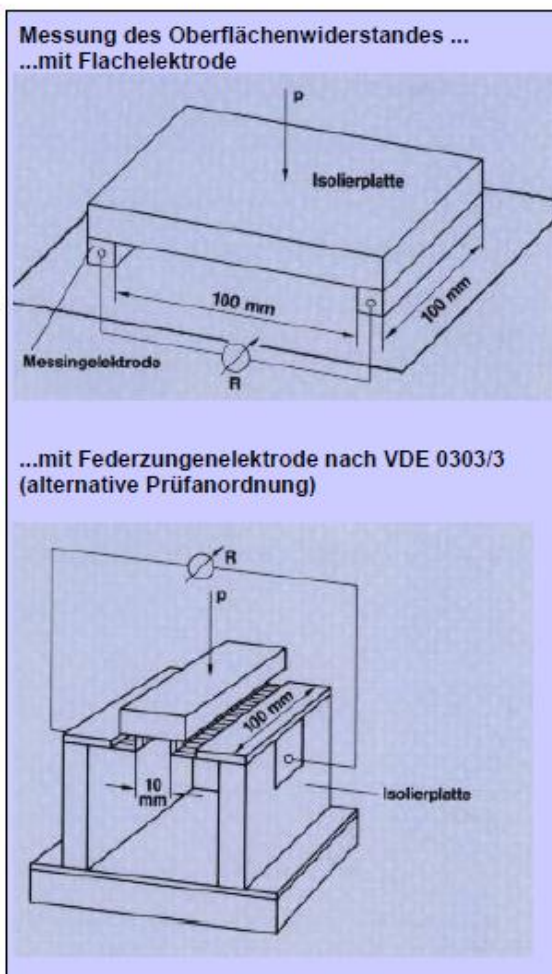
Vypočítané elektrické pole na výstupu vinutí z drážky statoru. Šipky znázorňují sílu a směr elektrického pole. Nárůst elektrického potenciálu je znázorněn barvami. [23]

## Příloha C

KREMPEL GROUP

Technische Daten  
www.krempe-group.com

## Ermittlung des Oberflächenwiderstandes bei Leitvliesen



In der Praxis haben sich zur Messung des Oberflächenwiderstandes quadratische Flachelektroden bewährt. Sie bestehen aus zwei Messingstäben mit 10 x 10 x 100 mm, die an einer Isolierplatte befestigt sind. Diese Leisten werden an ein handelsübliches Ohm-Meter angeschlossen.

Die Messelektrode wird auf die Materialprobe aufgelegt, wobei sich durch ihr Eigengewicht eine Belastung von 20 N ergibt. Hierdurch ist eine gute Kontaktierung gewährleistet. Als Unterlage dient ein plangeschliffenes Isoliermaterial. Die Ablesung des Widerstandswertes erfolgt nach einer Minute.

Die Breite der Prüfstreifen, die aus der Bahn in Längs- oder Querrichtung entnommen werden, beträgt 100 mm. Breitere Streifen führen wegen der Streuwiderstände zu falschen Messergebnissen. Falls nicht anders vereinbart, wird der Widerstand immer quer zur Bahnrichtung gemessen.

Natürlich sind auch andere Messmethoden möglich, wobei aber die Elektrodenform und der gewählte Druck zu unterschiedlichen Messergebnissen führen können. Eine Abstimmung der angewendeten Methode muss daher in jedem Falle erfolgen.

Alternative Prüfanordnungen sind z.B. mit Federzungen­elektroden oder sind Stiftelektroden möglich.

Beim Einsatz der Federzungen­elektrode wird die Elektrode auf das zu prüfende Material aufgesetzt und mit 20 N belastet. Als Oberflächenwiderstand pro Quadrat wird das 10fache des Messwertes angegeben.

Stanovení povrchové rezistivity u vodivých pásek [41]

## Příloha D



Technical Data  
www.krempel-group.com

## Conductive non-woven

03 EFR 13 AA 2000  $\Omega/\square$ 

## Composition

PET-non-woven with additional polyester threads inserted in machine direction impregnated with a cured carbonfilled resin.

Colour: black

## Thermal Class 155 (Class F) according to IEC 60085

Properties	Units	Values	Test method	
Thickness	mm	0,08	DIN EN 29073-2	
Tolerance	%	$\pm 20$		
Area weight	g/m <sup>2</sup>	45	DIN EN 29073-1	
Tolerance	%	$\pm 12$		
Area weight of backing material	g/m <sup>2</sup>	30	DIN EN 29073-1	
Tensile strength	MD CMD	N/50mm N/50mm	$\geq 150$ $\geq 20$	DIN EN 29073-3 DIN EN 29073-3
Surface resistance (without accelerator)	$\Omega/\square$	2000	DIN VDE 0303-3	
Storage		In dry rooms, in original packaging		

Ukázkový technický list společnosti Krempel podle návrhu připravované normy [42]

## Příloha E

**VonRoll**

# Anti corona

**Conductive Mastic 8004**

- ▶ Easy to apply
- ▶ As tape delivered

		Value	Test norm
Density	g/cm <sup>3</sup>	1.60 ± 0.1	ISO 1183
Thermal class		F (155°C)	IEC 60085
Flexural strength	N/mm <sup>2</sup>	>80	ISO 178
Volume resistivity	Ω.m	<50'000	SIB 12.10
Surface resistivity	Ω	≥10'000	SIB 12.11
Min. shelf life at 20°C	Month	6	
Min. shelf life at 5°C	Month	9	

**General description**

Conductive Mastic 8004 consists of an epoxy resin filled with mica powder and conductive additives.

**Application**

Conductive Mastic 8004 is used to fill the conductor strands in Roebel bars at the points where conductors cross over.

**Cure Conditions**

guideline values:  
 1 hour at 150°C  
 2 hour at 140°C  
 4 hour at 130°C

**Form of delivery**

In tapes of 2-3mm thickness and 6-30mm width.

**Health and safety**

While processing Conductive Mastic 8004 we recommend to follow all hygiene and safety standards.

The product properties set forth in this data sheet are based on the results of testing of typical material produced by the affiliated companies of Von Roll Holding Ltd. (underneath referred as Von Roll). Some variation in product properties is typical. Comments or suggestions relating to any subject other than product properties are offered only to call the end-user's or other person's attention to considerations which may be relevant in the independent determination of the use and/or manner of use of product. Von Roll does not claim or warrant that the use of its product will have the results described in this data sheet or that the information provided is complete, accurate or useful. The user should test the product to determine its properties and its suitability for the intended use. Von Roll expressly disclaims any liability for any damage, harm, injury, cost or expense to any person resulting directly or indirectly from that person's reliance on any information contained in this data sheet. Nothing contained in this data sheet constitutes representation or warranty as to any matter whatsoever. Von Roll makes no warranties whatsoever in this data sheet, expressed or implied, including any implied warranty or fitness for a particular use or purpose. Von Roll shall in no event be liable for incidental, exemplary, punitive or consequential damages.

Ukázkový technický list společnosti VonRoll [24]

## Příloha F



# CONTAFEL<sup>®</sup> H 0865

## Description

CONTAFEL<sup>®</sup> H 0865 consists of polyester fleece impregnated with a special varnish containing carbon black. CONTAFEL<sup>®</sup> H 0865 is highly flexible and absorbent.

## Application

CONTAFEL<sup>®</sup> H 0865 is used as inner and outer corona protection for coils and bars of high voltage machines in VPI as well as for Resin Rich process.

## Format

Rolls: maximum width 950 mm  
Tapes: from 20 mm width upward

## Storability

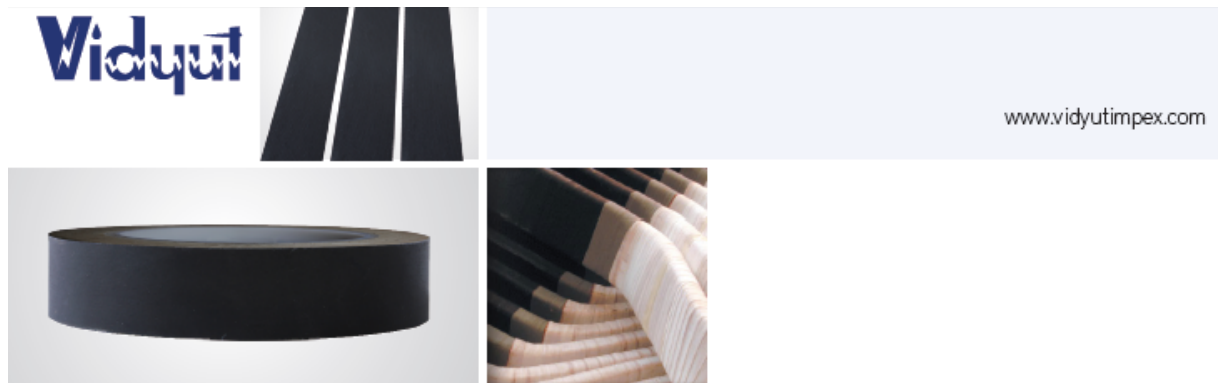
CONTAFEL<sup>®</sup> H 0865 can be stored 2 years under normal conditions (20 °C; 50 % humidity).

## Technical Data

CONTAFEL <sup>®</sup> H 0865			
Properties	Test method	Unit	Value
Nominal thickness	IEC 60394-2	mm	0.12 ± 0.02
Total substance	IEC 60394-2	g/m <sup>2</sup>	110 ± 11
Tensile strength	IEC 60394-2	N/cm	≥ 40
Surface resistance (square electrode configuration) in initial state	IEC 60093	Ω	200 ± 50

All information given here are based on current available facts and on the results of experiments performed with care in our laboratories. It does not, in any way, reduce the responsibility of the user for carrying out further tests in order to ensure successful processing and use in specific applications.

## Příloha G



## Properties

Physical Properties	Unit	Values 3.85		Values 5.110		Test Method
		Min	Max	Min	Max	
Thickness	mm	0.083	0.087	0.10	0.13	IEC 60394-2
Total Substance	g/ sqm	68	92	95	115	IEC 60394-2
Non Woven Fleece	g/ sqm	55	65			IEC 60394-2
Elongation	%	8		15		IEC 60394-2
Tensile Strength	N/cm	> 30		> 50		IEC 60394-2
Surface Resistance	Ohms-sq	40	400	200	1000	IS 5351
Thermal Class	°C	155		155		IEC 60394-2

## Availability

Tape Form: 10mm Up  
 Roll Length: 50 Mtrs -100 Mtrs  
 Core ID: It covers the range for manual & machine taping.

## Shelf Life

Unlimited at normal temperature.

## Storage

VID Anticor Conductive Tapes 3.85 & 5.110 should be stored in cool, clean and dry condition.

## Health And Safety

VID Anticor Conductive Tapes 3.85 and 5.110 is non toxic. All hygiene and safety standards should be followed.

## Disclaimer

All information, recommendations and test data herein are offered only as a guide. We believe them to be accurate but do not guarantee results, freedom from patent infringement, suitability of this product for any resultant application

36, Buroshivtalla Main Road Level 1, Kolkata 700 038, India

Phone: 91 3324988237/ 32920766 Fax: 91 3324988238 Email: vidyut@vidyutimpex.com, sales@vidyutimpex.com

Ukázka technického listu společnosti Vidyut [44]

## Příloha H

### SEMI CONDUCTIVE ANTI CORONA TAPE TEST METHOD: IEC – 60394.2

#### DESCRIPTION

Semi Conductive Tape is manufactured using finely woven polyester fabric, impregnated with an electrically semi-conductive varnish with silicone carbide in B stage. It is a flexible semi-cured tape with good resistance properties. It can be used up to temperatures of 155 Degrees Celsius, for Class F insulation suitable for VPI processed machines.

#### FEATURES

- Good Flexibility
- Stress Grading Properties
- Impregnated on polyester fabric without selvage
- Compatible with Epoxy Anhydride Systems
- Suitable for VPI Insulation Systems
- For End Corona protection (stress grading)

#### APPLICATION

Anti Corona tape finds its application as stress grading at the overhang parts of coils and bars of high voltage machines, where Class F Insulation is required.

#### PROPERTIES

Properties	Unit	8.3	5.125
		Values	Values
Thickness Nominal	Mm	0.20mm±-0.03	0.13mm±-0.02
Total Weight	g/sqm	330 ± 30	125 ± 23
Tensile Strength	N/cm	>100	>100
Elongation	%	>8	>8
Shrinkage at 150 Degrees C for 1 hr	%	>5	>5

#### AVAILABILITY

##### Availability:

Roll width is from 15mm to 1000mm +/- 0.5mm.  
Roll length is minimum 100mtrs.

##### Health & Safety:

The tapes are non-toxic. No material safety data sheet is required for this product.

##### Storage:

At standard temps of 20 Degrees C – 6 months.  
Refrigerated storage of 5 Degrees C – 12 months.



Cape Town  
Unit 1 Montague Square  
28 Montague Drive, Montague Gardens  
Tel +27 21 555 4562/4368  
Fax +27 21 555 4583  
Email: aubrey@consulation.co.za

Johannesburg  
3 Mpande Road, Sebenza  
Edenvale  
Tel +27 11 452 4063  
Fax +27 11 609 1546  
Email: charmaine@consulation.co.za

Directors : Trevor Watson [CEO] Aubrey Kearney [Managing] Patrick Ferreira [ Commercial]

## Semi Conductive – Anti Corona Tape

Ukázka technického listu společnosti Consulation Supplies [45]



## Příloha I

**ANTI CORONA TAPE**

TYPE : C1530

Item	Unit	C1530-1 Conductive	C1530-1A Conductive	C1530-1B Conductive	C1530-2 Semi- Conductive	C1530-2A Semi- Conductive	C1530-2B Semi- Conductive	
Nominal Thickness	mm	0.08	0.09	0.09	0.20	0.20	0.20	
Thickness Tolerance	Average	mm	±0.03	±0.02	±0.03	±0.04	±0.04	±0.05
	Individual		±0.04	±0.03	±0.04	±0.05	±0.05	±0.06
Weight of Tape	g/m <sup>2</sup>	75±12	85±10	75±12	320±35	320±35	330±40	
PET Fabric	g/m <sup>2</sup>	38±4	60±4	34±4	80±4	80±4	80±4	
Binder + Filler Content	g/m <sup>2</sup>	37±8	25±6	41±10	240±30	240±30	250±35	
Tensile Strength	N/cm	≥25	≥30	≥60	≥60	≥60	≥60	
Elongation at Break (MD)	%	≥ 8	≥8	≥15	≥10	≥10	≥15	
Surface Resistivity	Ω	500-1800	200-800	1000-5000	5x10 <sup>4</sup> - 5x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>7</sup> - 5x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>10</sup> - 1x10 <sup>12</sup>	
Test Method	IEC371-2							
Thermal Class	F							

**Chhaperia****Chhaperia International Co.**

Plot 270, 4th Phase, Peenya Industrial  
Area, Bangalore - 560 058. India  
Ph. : +91 80 41171552 / 28362823  
Fax : +91 80 28360371 / 28396999  
E-mail : info@micagroup.net  
www.micagroup.net

**Representative**

--

Ukázka technického listu společnosti Chhaperia [46]