

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Izolační systém resin rich pro vinutí generátorů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ŽIVNÝ**
Osobní číslo: **E11N0045K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Izolační systém resin rich pro vinutí generátorů**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**


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

1. Popište izolační systém točivých elektrických strojů.
2. Popište faktory ovlivňující životnost izolace statorového vinutí vysokonapěťových točivých strojů.
3. Popište diagnostický systém výrobních zkoušek izolačního systému elektrických strojů.
4. Proveďte testy elektrické pevnosti daných vzorků při střídavém a stejnosměrném napětí.
5. Proveďte statistické vyhodnocení naměřených dat a proveďte přepočty mezi střídavým a stejnosměrným měřením.


Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

1. **Mentlík, V. a kol.: Diagnostika elektrických zařízení**
2. **Stone, G., C.: Electrical insulation for rotating machines**
3. **www.ieee.com**
4. **www.sciencedirect.com**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Pihera, Ph.D.**
Katedra technologií a měření
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Stauber**
BRUSH SEM s. r. o.
Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zhodnocení izolačního systému resin rich používaného pro vinutí velkých točivých elektrických strojů. Práce je rozdělena na dvě základní části skládající se ze sedmi kapitol. První část je věnována popisu izolačního systému točivých elektrických strojů, na který navazuje specifikace faktorů ovlivňujících životnost izolace statorového vinutí vysokonapěťových strojů. Uvedená část je zakončena přehledem diagnostického systému výrobních zkoušek izolačního systému elektrických strojů během výroby a následného života. Druhá část je zaměřena na zjištění přepočítávacího koeficientu pro stejnosměrné a střídavé napětí. Úvod této části tvoří základní shrnutí teorie průrazu tuhých technických izolantů, následuje popis výroby a zkoušení vzorků používaných izolačních materiálů. V závěru druhé části je vyhodnocení naměřených výsledků charakterizujících chování izolačního systému resin rich při elektrickém namáhání střídavým a stejnosměrným napětím.

Klíčová slova

Vinutí statoru, izolační systém resin rich a VPI, reaktoplastická izolace, nosná složka, izolační složka, homogenita, stlačitelnost, stejnosměrné napětí, střídavé napětí, ztrátový úhel, částečné výboje, průrazné napětí, elektrická pevnost, zkouška výdržným napětím, přepočítávací koeficient, elektrický průraz, tepelný průraz, elektrochemický průraz, hustota pravděpodobnosti, distribuční funkce, Charlierovo rozdělení, Normální rozdělení.

Abstract

This thesis targets evaluation of resin rich insulation system used for winding of large rotating electrical machines. It is divided into two basic parts consisting of seven chapters. First part presents description of insulation system of rotating electrical machines followed by specification of factors affecting stator winding insulation lifetime of highvoltage machines. This section ends with a diagnostic system overview of manufacturing tests of electrical machines insulation system during production and subsequent life. Second part presents assignment of conversion factor for AC and DC voltage. Introduction of this section includes basic summary of solid technical insulating materials breakdown theory. There is mentioned the evaluation of measurement results, which describes behaviour of resin rich insulation system during AC and DC voltage dielectric stress at the end of the second part.

Key words

Stator winding, insulation system resin rich and VPI, reaktoplastic isolation, carrier component, insulation component, homogeneity, compressibility, DC voltage, AC voltage, dissipation factor, partial discharges, dielectric strength, withstand voltage test, conversion factor, breakdown voltage, thermal breakdown, electrochemical breakdown, probability density, distribution function, Charlier distribution, Normal distribution

Prohlášení

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

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

V Plzni dne 6. 5. 2013

.....
Petr Živný

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Josefovi Piherovi Ph.D. za ochotu a metodické vedení práce. Zároveň bych také rád poděkoval Ing. Jiřímu Stauberovi, Ing. Jiřímu Bezděkovskému a Ing. Mgr. Václavu Šumovi za podporu a konstruktivní připomínky. Dále bych rád poděkoval dodavatelům materiálu a všem, kteří umožnili vznik této práce.

Obsah

Seznam symbolů.....	9
Úvod	10
1. Izolační systém točivých elektrických strojů.....	11
Hlavní části elektrických strojů.....	11
1.1. Statorové vinutí elektrických točivých strojů.....	11
1.2. Součásti izolačního systému	12
1.3. Používané izolační systémy	12
1.4. Izolační systémy VPI a resin rich (RR).....	12
2. Faktory ovlivňující životnost izolace statorového vinutí vysokonapěťových točivých strojů	15
2.1. Izolační materiál	15
2.2. Izolování	15
2.3. Vytvrzování.....	15
2.4. Navíjení statoru	16
2.5. Údržba stroje a režim provozu stroje.....	16
3. Diagnostický systém výrobních zkoušek izolačního systému elektrických strojů	18
3.1. Vlastnosti izolace.....	18
3.2. Kontroly a zkoušky statorového vinutí.....	19
3.3. Výroba statorového vinutí	19
3.4. Elektrické zkoušky	20
4. Teorie průrazu pevných technických izolačních materiálů	23
5. Testy elektrické pevnosti daných vzorků při střídavém a stejnosměrném napětí	26
5.1. Specifikace zkušebních vzorků izolačních materiálů	26
5.2. Příprava zkušebních vzorků.....	26
5.3. Příprava zkoušek	28
5.4. Průběh zkušebního napětí.....	29
5.5. Měření elektrické pevnosti střídavým napětím.....	31
5.6. Měření elektrické pevnosti stejnosměrným napětím	32
6. Statistické vyhodnocení naměřených dat	34
6.1. Používaná označení a vztahy	34
6.2. Metody vyhodnocení naměřených hodnot.....	36
6.3. Naměřené hodnoty.....	40
7. Určení přepočítávacího koeficientu stejnosměrného a střídavého napětí.....	80
7.1. Metoda vyhodnocení střední hodnoty a směrodatné odchylky	80
7.2. Metoda vyhodnocení intervalových odhadů.....	85
7.3. Metoda vyhodnocení hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení.....	87

Závěr	91
Použitá literatura	94
Seznam tabulek	96
Seznam obrázků	97
Příloha A	99
Příloha B	100
Příloha C	101
Příloha D	104
Příloha E	106
Příloha F	107

Seznam symbolů

AC [V]	.....	Střídavé napětí
C [F]	.....	Kapacita
DC [V]	.....	Stejnoseměrné napětí
D (X) [-]	.....	Rozptyl
E [kV/mm]	.....	Elektrická pevnost
K [-]	.....	Přepočítávací koeficient DC/AC
L_t [s]	.....	Doba trvání posledního stupně
R [Ω]	.....	Činný odpor
U_n [V]	.....	Jmenovité napětí
U_p [V]	.....	Průrazné napětí
U_{ps} [V]	.....	Hladina U_p posledního stupně
U_{zk} [V]	.....	Zkušební napětí
$V(x)$ [%]	.....	Variační koeficient
X [-]	.....	Náhodná veličina
\bar{X} [-]	.....	Výběrový průměr
d [mm]	.....	Tloušťka
$s(x)$ [-]	.....	Výběrová směrodatná odchylka
x_i [-]	.....	Náhodná proměnná
α [-]	.....	Hladina významnosti
η [%]	.....	Stlačitelnost
$\sigma(x)$ [-]	.....	Směrodatná odchylka

Úvod

Tato práce vznikla na základě dlouhodobé potřeby ověřování kvality izolačního systému vysokonapětových elektrických točivých strojů během celé jeho životnosti.

Vzhledem k neustálému vývoji izolačních materiálů, které tvoří jednu ze základních částí izolačního systému, se mění i konstrukční části vinutí točivých elektrických strojů. Úkolem této práce je popsat stávající izolační systémy a stanovit faktory ovlivňující životnost izolačního systému resin rich používaného především při konstrukci statorového vinutí vysokonapětových točivých strojů. Původní izolační systémy na bázi štípané slídy a termoplastického pojiva (asfaltový kompaud) byly již v minulosti postupně nahrazeny izolačními systémy na bázi slídového papíru a reaktoplastického pojiva (epoxidové nebo polyesterové pryskyřice). Současný směr vývoje izolačních systémů se ubírá k vyšším provozním namáháním. To přináší efektivnější využití stroje, menší rozměry a samozřejmě i podstatnou redukci nákladů. Provozní namáhání používaných izolací se dnes již přibližuje k hranici 3,5 kV/mm. Souběžně s vývojem izolačních systémů se vyvíjí i diagnostický systém včetně hodnotících kritérií. Z tohoto důvodu má tato diplomová práce ověřit správnost používaného přepočítávacího koeficientu mezi stejnosměrným a střídavým napětím.

1. Izolační systém točivých elektrických strojů

Hlavní části elektrických strojů

Rozdělení jednotlivých částí elektrických strojů lze provést například na aktivní a pasivní.

Základními aktivními částmi elektrických strojů jsou magnetický obvod a vinutí.

Pasivní částí je izolační systém tvořený izolačními materiály a materiály pro řízení elektrického pole. Hlavním úkolem izolačního systému je elektricky oddělit různé napěťové potenciály.

Tato práce je zaměřena na izolační systém resin rich statorového vinutí elektrických točivých strojů velkých výkonů. Zaměření vychází i ze skutečnosti, že zmíněný izolační systém je na rotorovém vinutí používán pouze výjimečně.

1.1. Statorové vinutí elektrických točivých strojů

Vinutí statoru vysokonapěťových točivých strojů je nejčastěji dvouvrstvé, ve výjimečných případech jednovrstvé a je vyrobeno z cívek nebo půlcívek. Pojem tyč je používán pro speciální druh jednozávitové půlcívky, která může být tvořena paralelními vodiči nebo vodiči s permutací.

Základ statorové tyče tvoří měděné vodiče s izolací z různých materiálů jako například: Kapton, smalt, izolační laky nebo ovin ze skleněného vlákna impregnovaný vhodným lakem (GGL, FGL).

U některých permutovaných tyčí jsou dle konstrukčního návrhu použity izolace přechodů například Mikanit nebo Nomex. Izolace řad u dvou a víceřadých tyčí bývá vyrobena z polyesterové nebo skelné rohože nasycené epoxidovou pryskyřicí v B stavu.

Hlavní částí izolačního systému je izolace. Úkolem izolace vinutí je oddělení elektrických částí od magnetického obvodu a kostry stroje. Izolace je za provozu stroje namáhána tepelně, mechanicky, elektricky a vlivem okolního prostředí (chemické vlivy, vlivy chemických látek atd.).

Ve vysokonapěťovém izolačním systému je základním izolačním materiálem slída. Ta je nejčastěji ve formě rekonstruované slídy (remiky), která je použita pro výrobu slídového papíru. Ten tvoří jednu z hlavních částí izolačních pásek a fólií.

1.2. Součásti izolačního systému

Izolační systém statorového vinutí se kromě hlavní izolace skládá z následujících částí:

„a) Materiály pro řízení el. pole, ke kterým patří:

- vodivé vrstvy na povrchu drážkové části izolace realizované vodivými polyesterovými rohožemi nebo vodivými laky
- polovodivé vrstvy na výstupu z drážky, které řídí rozložení napětového potenciálu u výstupu z drážky a jsou tvořeny polovodivými polyesterovými rohožemi nebo polovodivými laky
- vodivé vrstvy na povrchu základu tyče řídí radiální složku pole a jsou rovněž realizovány vodivými polyesterovými rohožemi (tzv. vnitřní protikorónová ochrana).

b) Výplňové materiály, které eliminují dutiny v celém průřezu tyče (potenciální zdroje výbojů) a spojují jednotlivé prvky – vodiče, vodiče s izolací, přechody u roeblových tyčí.“
[1, str. 13]

1.3. Používané izolační systémy

V současné době jsou používány dvě hlavní technologie pro vysokonapětové stroje - technologie resin rich (RR) a technologie VPI (Vacuum Pressure Impregnation system). Izolační systém resin rich je tvořen předimpregnovanými páskami s obsahem přebytečného množství pryskyřice, naopak izolační systém VPI je na bázi savých slídových pásek a vakuově tlakové impregnaci. Izolační pásy se v obou případech skládají z tzv. nosiče – ze skleněných vláken nebo z polyetylenové fólie, přičemž v případě RR technologie páska obsahuje pojivo (pryskyřici) v „B“ stavu. V případě systému VPI se většina pojiva impregnuje do izolace buď ve stádiu výroby statorových tyčí, nebo až po navinutí celého statoru.

1.4. Izolační systémy VPI a resin rich (RR)

„Základem systému resin rich je tříložkový kompozit s výchozím izolačním předimpregnovaným materiálem s 20 až 40 procenty pojiva. Při jeho užití se na vodivých částech vytvoří kompaktní izolace o požadované tloušťce stěny. Takto připravené cívky nebo půlcívky se vkládají do drážek magnetického obvodu stroje.

Nosnou část tvoří skleněná tkanina nebo polyethylenterephtalát (PET) fólie, případně polyethylenaphthalátová (PEN) fólie. Elektrická bariéra je tvořena z kalcinovaného nebo nekalcinovaného slídového papíru, který je vázán na nosnou složku pásky, nejčastěji reaktoplastickou pryskyřicí (epoxy-novolaková pojivová báze). Elektrickou bariéru u materiálů obsahující fóliovou nosnou vrstvu částečně tvoří i tato vrstva.

Materiál je při zpracování převeden do „B“ stavu, aby se jednotlivé vrstvy nábalu na kotoučích vzájemně neslepily, případně je proložen separační fólií.

Izolování (navíjení) materiálu se provádí kontinuálním nebo diskontinuálním způsobem tj. navinutím více vrstev pásky (obvyklé šířky 20 – 40 mm) v celé délce cívky nebo půlcívky na předepsanou tloušťku.

Další používanou technologií pro výrobu hlavní izolace statorového vinutí ve vysokonapěťových aplikacích, jak již bylo zmíněno, je izolační systém VPI. Jedná se o systém, kde je základním materiálem savá slídová páska, která se při impregnačním procesu prosytí impregnantem (impregnačním lakem).“[1, str.16 - 19]

„Izolační systém VPI se aplikuje dvěma způsoby, a to buď jako celková impregnace označovaná někdy jako VIW (vacuum impregnated winding method), kdy se impregnuje celý stator po navinutí anebo impregnace jednotlivých tyčí označovaná jako VIB (vacuum impregnated bar methode). Hranice je dána velikostí stroje. Malé a střední stroje se impregnují metodou VIW, velké stroje metodou VIB. Výhody izolačního systému VPI jsou výrazné právě v případě celkové impregnace (VIW). Hranice mezi oběma metodami se postupně posouvá ke stále větším výkonům.

Izolační systém resin rich (RR) má, jak z hlediska zpracování, tak z hlediska množství používaných materiálů více variací, i když v zásadě pro jednodušší a přehlednější srovnání s VPI lze izolační systémy RR dělit na:

- a) kontinuální (průběžná izolace jedním druhem pásky) - vytvrzované a lisované v celé délce
- b) kontinuální (průběžná izolace jedním druhem pásky) - vytvrzované a lisované v rovné části
- c) diskontinuální (rovná část i čela izolované různými páskami) - vytvrzované a lisované v rovné části.

Přednosti a nevýhody jsou uvedeny v tab. 1.1 Je nutné poznamenat, že přednosti a nevýhody jsou vždy relativní, vztažené k jinému systému. Pro rozhodnutí o volbě je nutné vždy vyčíslit skutečné náklady a vztáhnout je k docíleným parametrům.” [13, str. 292]

Tab. 1.1 Přednosti a nevýhody RR a VPI izolačních systémů

Izol. Systém	Přednosti	Nevýhody
VPI- VIW	Velmi dobrá vazba mezi vinutím a magnetickým obvodem Relativně nízká pracnost Téměř shodné vlastnosti izolace drážkové části i v čelech	Vysoké investiční nároky Efektivní pro relativně úzký sortiment Obtížná opravitelnost statoru
VPI- VIB	Téměř shodné vlastnosti izolace drážkové části i v čelech (tepelné i elektrické)	Vysoké investiční nároky Vysoká energetická náročnost
RR kontin.izol. kontin. tvrz.	Vysoká elektrická pevnost v celé délce Téměř shodné vlastnosti izolace drážkové části i v čelech (tepelné i elektrické) Vysoká tepelná vodivost i v čelech Nízká energická náročnost Opravitelné vinutí	Náročné individuálně vyráběné přípravy – vytvrzování izolace čel
RR kontin.izol. vytvrz. r.č.	Vysoká elektrická pevnost v drážkové části Nízká energická náročnost Jednoduché přípravy Opravitelné vinutí	Nízká tepelná vodivost čel vinutí
RR diskontin.	Vysoká elektrické pevnost v drážkové části Nízká energická náročnost Jednoduché přípravy Opravitelné vinutí	Vyšší pracnost při izolování Nízká tepelná vodivost čel vinutí

Zdroj: *Návrh a výroba izolačního systému (resin-rich) vn statorových vinutí na bázi předimpregnovaných pásek.* [13, str. 293].

Dalším způsobem vytvrzování izolačního systému resin rich může být kontinuální hydrostatické lisování a vytvrzování v asfaltovém kompaudu. Tato technologie má shodné přednosti s technologií RR kontinuálním izolováním a vytvrzováním. Nejedná se však o individuální výrobu, vytvrzování probíhá v sériích, které umožňuje technologické zařízení. Nevýhodou je velká rozměrová tolerance vylisované izolace a poměrně náročná příprava pro vytvrzování.

2. Faktory ovlivňující životnost izolace statorového vinutí vysokonapěťových točivých strojů

2.1. Izolační materiál

Základním limitujícím faktorem je použitý izolační materiál – izolační páska. Materiály s nosičem na bázi PETP fólie se používají pro nižší hladiny napětí. Pro vyšší provozní napětí se používají materiály se skleněným nosičem.

Mechanické vlastnosti výsledné izolace zajišťuje nosná složka (tzn. pevnost v tahu a pružnost). Elektrickou pevnost izolace zaručuje použití izolační složky, kterou u elektrických strojů tvoří slída a slídový papír. Homogenity izolace je následně dosaženo použitím pojiva.

2.2. Izolování

Pro izolační systém resin rich jsou izolační pásy ovíjeny v jednotlivých vrstvách na povrch základu statorové tyče. Počet vrstev a kvalita izolování je rozhodující pro výslednou kvalitu izolačního materiálu. Páska se aplikuje převážně s polovičním překrytím. Rovnoměrnost polovičního překrytí nám zaručuje nejvyšší elektrickou pevnost izolace. Proto se přechází od ručního izolování ke strojovému automatickému způsobu ovíjení. Automatické ovíjení zaručuje důležité parametry při izolování, jako je dodržení správného překrytí, tahu a sklonu pásy. Pokud jsou dodrženy požadavky na izolování, dosáhne se optimálních parametrů izolace.

2.3. Vytvrzování

Výsledného stavu izolace je dosaženo stlačením v lisu, kde za současného působení zvýšené teploty a tlaku dojde k vytvrzení izolace. Při použití optimálního lisovacího cyklu lze dosáhnout homogenní izolace.

Důležitý je též tvarový soulad vytvrzovací formy se základem statorové tyče. Pokud není dosaženo souladu obou tvarů, může dojít v některých místech k přelisování izolace nebo k nedostatečnému stlačení. Pro dosažení nejlepšího výsledku je třeba zaručit rovnoměrnou stlačitelnost izolace v celé délce tyče.

2.4. Navíjení statoru

Pro životnost stroje je důležité, jak se provádí navíjení stroje (zakládání statorových tyčí do drážky). Technologie zakládání statorového vinutí do drážek je volena tak, aby docházelo k co nejmenšímu mechanickému namáhání a povrchovému poškození izolace.

Na životnosti izolace se projevuje i způsob zaklínování vinutí v drážce statoru. Vinutí je bočně vyklínováno tak, aby byla vymezena boční vůle a vodivě spojen povrch tyče s jádrem statoru. Drážka je uzavřena drážkovým klínem. Pro zaklínování vinutí v drážce statoru je použito nespočetné množství konstrukčních řešení. Všechny způsoby klínování se snaží o zafixování vinutí v drážce a brání uvolnění vinutí vlivem tepelných roztažností, vibrací atd. Moderním způsobem klínování je použití vlnovce, který zaručuje rovnoměrný, a stálý přítlak vinutí v drážce statoru.

2.5. Údržba stroje a režim provozu stroje

Důležitým faktorem, který zásadně ovlivňuje životnost izolačního systému je režim provozu stroje.

Z hlediska namáhání stroje je ideálním provozem elektrárna pracující v základním zatížení. V tomto režimu pracuje elektrárna na stabilní výkon s malými nebo žádnými změnami. Stroj a tedy jeho izolace je zatěžován rovnoměrně po celou dobu provozu. Teploty jsou ustálené, nedochází tedy ke změnám rozměrů vlivem roztažností materiálů. Vibrace jsou konstantní a stroj pracuje v optimální oblasti vibrací. Elektricky je stroj konstantně zatěžován.

U špičkových elektráren dochází vlivem častého odstavování a spouštění generátoru ke změnám teplot, vibrací a elektrického namáhání. To působí negativně na životnost izolace, protože konstrukce strojů je navržena pro optimální využití na nominálním výkonu. U dobře navrženého a vyrobeného stroje by však nemělo dojít k zásadnějšímu snížení plánované životnosti. Může být však také ovlivněna přechodovými nebo poruchovými stavy elektrické sítě. Jedním z nejhorších stavů, který může nastat (a na který by měl být generátor konstruován) je blízký zkrat. Při tomto zkratu dojde k prudkému nárůstu proudu statorovým vinutím a k poklesu napětí na svorkách generátoru. Vlivem těchto jevů dochází ke vzniku velikých sil hlavně v oblasti koše vinutí – čel vinutí. Automatické ochrany generátoru by měly generátor odstavit a zabránit jeho poškození.

Dalšími poruchovými jevy, které mohou zkrátit dobu životnosti izolace, je přepětí na síti (např. úder blesku do sítě), zkraty na vedení (např. po bouři nebo sněhové kalamitě) apod.

Naopak způsob jak prodloužit životnost izolace je dodržení správné údržby generátoru. Pro každý nově vyrobený stroj bývá řada doporučení pro údržbu generátoru po provozních hodinách nebo letech provozu generátoru. V případě nedodržení plánu údržby dle provozního manuálu může docházet například k:

a) Zvětšení vůlí stíracích břitů ložisek a úniku oleje, což vede k znečištění povrchu vinutí olejem a zároveň prachem. Tím dojde ke zhoršení odvodu tepla a zvětšení částečných výbojů v prostou čel statorového vinutí.

b) Zanesení filtrů chladicího vzduchu může mít za následek zhoršení chladicího účinku stroje a přehřívání vinutí nebo naopak vede ke špatné funkci filtrace a k zanesení povrchu vinutí prachovými částicemi. Tím dojde opět ke zhoršení odvodu tepla a zvětšení částečných výbojů. Zvýšené riziko je u vzduchem chlazených strojů se sběracími kroužky, kde je poléhavý prach uvolňující se z kluzných kontaktů (sběracích kartáčů) vodivý.

c) Pokud se včas nezjistí uvolňování vinutí v drážce nebo uvolnění úvazků čel vinutí a nedojde k opravě, může vlivem vibrací dojít k abrazivnímu poškození povrchu izolace zapříčiněného stykem izolace s ostatními částmi stroje. Jako příklad lze uvést opěrný systém, nebo povrch drážky magnetického obvodu, s kterým je izolace v přímém kontaktu.

d) Při inspekcích generátoru se před odstavením sledují provozní hodnoty: teplota statorového jádra, teplota a tlak chladicího média a teplota vinutí. Dále se provádí měření závitových zkratů rotoru, teplota a vibrace ložisek případně dalších částí. Při odstavení se provádí elektrická měření statorového a rotorového vinutí – izolační odpor, zkouška výdržným napětím, ztrátový činitel, měření částečných výbojů, měření prosakujících proudů, měření polarizačního indexu atd. Pomocí všech těchto zkoušek se zjišťuje stav izolace generátoru. Navrhují se nápravy pro zajištění bezporuchového provozu v následujícím období.

3. Diagnostický systém výrobních zkoušek izolačního systému elektrických strojů

3.1. Vlastnosti izolace

„Pro sledování, měření a vyhodnocování fyzikálních procesů probíhajících ve sledovaných objektech se využívá elektrotechnická diagnostika. Změny a vývoj parametrů sledujeme jako diagnostické signály z diagnostikovaných objektů měřicími metodami.“ [9, str. 36] Výrobní mezioperační zkoušky mají za úkol prověřit jednotlivé komponenty výsledného výrobku v různých stádiích výroby a eliminovat nekvalitní kusy.

U izolace se v průběhu výroby sledují elektrické vlastnosti měřením ztrátového činitele, permitivity, částečných výbojů, izolačního odporu a zkoušky výdržným napětím.

Na stárnutí izolace se projevuje několik faktorů: elektrické, tepelné, mechanické namáhání a vliv chemických procesů okolního prostředí – vlhkost a různé chemické látky.

Následující kapitola je zaměřena na diagnostický systém výrobních zkoušek vinutí generátoru. Při stanovování množství a časových intervalů mezi jednotlivými kontrolami vycházíme ze skutečnosti, že náklady na odstranění nekvality v průběhu výroby jsou řádově menší než náklady na odstranění nekvality (chyby) na hotovém výrobku. Z tohoto důvodu má každý výrobce elektrických strojů stanoven vlastní způsob řízení kvality a sled zkušebních operací. Platí pravidlo, kdy při každé následující opakované zkoušce dochází ke snížení namáhání výrobku nebo jeho dílů.

Vinutí generátoru je možné rozdělit na dvě základní části a to na rotorové vinutí a statorové vinutí. V průběhu výroby prochází obě vinutí různými druhy zkoušek.

Zajištění kvality výroby je rozděleno do třech etap.

- a) Kontroly a zkoušky vstupních materiálů
- b) Mezioperační kontroly a zkoušky během výroby
- c) Kontroly a zkoušky na navinutém statoru a rotoru.

3.2. Kontroly a zkoušky statorového vinutí

Stator a statorové vinutí podstoupí v průběhu výroby sérii zkoušek.

Veškeré materiály a součásti statorového vinutí jsou dodávány s kontrolními protokoly a materiálovými atesty. V těchto dokumentech jsou stvrzeny požadované vlastnosti.

U izolační pásky, která je použita pro hlavní izolaci vinutí, jsou dokládány různé parametry jako například tloušťka, plošná hmotnost, obsah pojiva, obsah těkavých látek atd. Dále je také dokladována šarže, případně datum výroby mateční role materiálu.

Měděný vodič (izolovaný, neizolovaný, plný nebo dutý), použitý pro výrobu statorového vinutí, je kontrolován z několika hledisek. Provádí se kontrola samotného jádra, kde jsou sledovány vlastnosti jako například rozměr, zaoblení hran, tažnost, tvrdost, pevnost v tahu, deformace (zvlnění a zkrut), elektrická vodivost a chemické složení. Dále je kontrolována izolace vodiče a to z hlediska elektrické pevnosti. Jedná se o poměrně důležitý parametr garantovaný výrobcem vodiče. Zkoušky jsou prováděny na ohnutém vodiči ponořeném v ocelových kuličkách, kdy je testována elektrická pevnost izolace vodiče.

Jakost dalších izolačních materiálů je garantována výrobcem. Vlastnosti používaných materiálů a technologií jsou ověřovány na zkušebních vzorcích nebo pomocí výběrové zkoušky na hotových částech vinutí. Vzorky jsou zkoušeny zvyšujícím se napětím až do průrazu (průrazným napětím). Nárůst napětí může být buď plynulý, nebo se stupňovitým zvyšováním. Dále mohou být vzorky zkoušeny výdržným napětím na určité napěťové hladině např.: $2U_n$ nebo $3U_n$ a je měřen čas do průrazu. Na základě těchto zkoušek se stanovuje životnostní křivka daného materiálu, která slouží k predikci životnosti izolace na jmenovitém napětí.

3.3. Výroba statorového vinutí

Prvním krokem při výrobě statorového vinutí je stříhání vodiče. Během této operace probíhá kontrola izolace vodiče, délka a kvalita očištění izolace na koncích jednotlivých vodičů, stříhaná délka a vyrovnání vodičů. U většiny tyčí statoru následuje zhotovení Roebelovy transpozice (permutace) jednotlivých vodičů. Při této operaci se kontroluje délka jednotlivých přechodů, celková délka permutace a izolace vodičů. Po vložení všech izolačních a výplňových materiálů následuje vytvrzení rovné části základu tyče. Následně jsou kontrolovány rozměry a je testována izolace jednotlivých vodičů mezi sebou přiloženým napětím stanovené hladiny. Ta vychází z konstrukčního řešení tyče. Poté

dochází k vytvarování a vytvrzení základu čelních partií tyče. Zde je opět testována izolace jednotlivých vodičů přiloženým napětím. Takto připravený základ tyče podstupuje další operaci, kterou je kontrola tvaru a rozměrů. Zde je důležitý soulad s výkresem z důvodu pozdějšího dodržení tloušťky a optimálního stlačení hlavní izolace. Dále tyč přechází na naizolování hlavní izolace včetně zhotovení všech ochranných polovodivých vrstev. Během této operace dochází ke kontrole použitých izolačních materiálů a dalších parametrů ovlivňujících kvalitu izolace. Po vytvrzení hlavní izolace jsou kontrolovány rozměry, homogenita izolace a tvar tyče.

Dalším krokem jsou elektrické zkoušky izolace. Izolace statorových tyčí je zkoušena dle příslušných norem a interních předpisů.

Vytvrzené tyče jsou postupně zakládány do magnetického obvodu statoru. Po založení spodní polohy a provizorním upevnění se provádí měření izolačního odporu a zkouška výdržným napětím. Obdobným způsobem je po založení a zaklínování vyzkoušena horní poloha statorového vinutí. Další zkouška výdržným napětím je ve stádiu hotového naimpregnovaného statorového vinutí. Poslední napěťová zkouška je prováděna při finálním zkoušení stroje před jeho expedicí.

3.4. Elektrické zkoušky

Elektrické zkoušky můžeme rozdělit na zkoušky kusové a výběrové. Kusové zkoušky jsou obecně ty, při kterých nedochází k destruktivním účinkům. Mezi nedestruktivní napěťové zkoušky můžeme zařadit: měření izolačního stavu, měření prosakujících proudů, měření částečných výbojů, měření ztrátového činitele a zkoušku výdržným napětím. Ověření kvality izolačního systému statorového vinutí během výroby je prováděno na různých hladinách zkušebního napětí (od dvou až do čtyřnásobku provozního napětí) po stanovenou dobu (třiceti sekund nebo jedné minuty). Při těchto zkouškách dochází pouze k minimálnímu odčerpání životnosti izolačního systému.

Výběrové zkoušky jsou zkoušky, při kterých dochází k destrukci (průrazu) izolace nebo k odčerpání značné životnosti. Za základní destruktivní zkoušku je považována zkouška průrazným napětím, která se provádí z důvodu zjištění elektrické pevnosti. Zkouška průrazným napětím může být uskutečněna s rovnoměrným nárůstem napětí, nebo se stupňovitým zvyšováním napětí až do průrazu. Další destruktivní zkouškou izolačního

systemu je například životnostní zkouška. Při této zkoušce, je zkoušený objekt namáhán po celou dobu na stanovené napěťové hladině až do okamžiku průrazu.

Výhodou nedestruktivních zkoušek je soubor hodnot popisujících kvalitu izolace a predikce její životnosti bez nutnosti zničení izolace. Účelem mezioperačních napěťových zkoušek je vyřazení nekvalitních výrobků v rané fázi výroby, při vynaložení minimálních nákladů na jejich opravu. Za nevýhodu nedestruktivních zkoušek lze považovat pouze „informativní hodnoty“ změřených parametrů, u kterých není vždy jednoznačná návaznost na určení životnosti izolace. Výhodou destruktivních zkoušek je jednoznačná informace o kvalitě izolace stanovená velikostí průrazného napětí nebo dobou výdrže na určené hladině napětí až do průrazu, která ovšem vede ke zničení izolace nebo vyrobené součásti.

U hotových strojů se za pomoci zkoušky výdržným napětím ověřuje kvalita izolačního systému a správnost konstrukčního návrhu stroje. V případě, že by došlo k průrazu, byla by nalezena nekvalitní část stroje před uvedením do provozu. Výhodou tohoto postupu je omezení poškození stroje díky nízké hodnotě zkušebního proudu. Z tohoto důvodu je výdržná zkouška zvýšeným napětím považována za jednu ze základních metod diagnostiky elektrických strojů a je prováděna při pravidelných diagnostikách strojů během jejich života. Pokud je to možné, zkouška je prováděna střídavým napětím o provozní frekvenci 50Hz nebo 60Hz a tím nejpřesněji postihuje provozní podmínky stroje. Se zvyšující se kapacitou vinutí a hodnotou provozního napětí bohužel dochází také ke zvětšování výkonu a velikosti zkušebního napětí střídavého zdroje, až k rozměrům a hmotnostem, které neumožňují jeho transportovatelnost. Jako vhodná alternativa se nabízí použití stejnosměrného zdroje, jenž je pro stejně velká zkušební napětí podstatně menší a lehčí.

Použitím stejnosměrného zdroje pro zkoušku výdržným napětím však vyvstává otázka poměrů jednotlivých hladin zkušebního napětí na zkoušený objekt z hlediska namáhání izolace a případně velikost přepočítávacího koeficientu mezi střídavým a stejnosměrným napětím.

V současnosti používaný přepočítávací koeficient je dle ČSN EN 60034-1 pro stejnosměrné zkušební napětí 1,7 násobek efektivní hodnoty střídavého napětí.

Příklad úrovní napěťových zkoušek výdržným napětím se stanovením jednotlivých hladin napětí je uveden v následující tabulce (Tab. 3.1). Součástí každé zkoušky výdržným napětím je i měření izolačního odporu. U strojů se jmenovitým napětím do 6kV je běžně používaná hodnota stejnosměrného napětí pro měření izolačního odporu 1kV, u strojů

s vyšším jmenovitým napětím je hodnota stejnosměrného napětí pro měření izolačního odporu 5kV. Po napěťové zkoušce se provádí měření izolačního stavu teploterů umístěných ve statoru a kontrola jejich funkčnosti.

Tab. 3.1 Zkušební napětí pro jmenovité napětí generátoru 15,75kV

Druh zkoušky	Násobící koeficient	Výsledná hladina zkušebního napětí
Zkouška výdržným napětím po výrobě statorové tyče	Rovné části $3U_n+2kV=49,25kV$ Čela $2U_n+2kV=33,5kV$ Test mezilamelové izolace 230V	
Zkouška výdržným napětím po založení spodní polohy	1,15 U_{zk}	37,375kV
Zkouška výdržným napětím po založení horní polohy	1,1 U_{zk}	35,75kV
Zkouška výdržným napětím po impregnaci	1,05 U_{zk}	34,125kV
Zkouška sestavení generátoru	1,0 U_{zk}	32,5 kV
Opakovaná zkouška	0,8 U_{zk}	27,5 kV

Zkušební napětí

$$U_{zk} = 2 \cdot U_n + 1kV \quad (3.1)$$

kde U_{zk} je hodnota zkušebního střídavého napětí, dle ČSN EN 60034-1; [kV]

U_n je jmenovité sdružené napětí [kV]

Na statorovém vinutí vyrobeného generátoru může být dle požadavku zákazníka provedeno měření ztrátového činitele $\tan \delta$ (dle ČSN EN 50 209, IEEE Std 286) a měření částečných výbojů (dle ČSN EN 60 270).

4. Teorie průrazu pevných technických izolanů

Na rozdíl od přeskoků v kapalných a plyných izolantech dochází při průrazu u pevných izolanů k nevratné změně v struktuře materiálu. Elektrický průraz pevných izolanů lze z hlediska průběhu a charakteru dějů ovlivněných teplotou, dobou působení napětí a dalších faktorů rozdělit na tři základní mechanismy průrazu probíhající v pevném izolantu.

Teorie elektrického průrazu je převzata z knihy prof. Ing. Václava Mentlíka, CSc. Dielektrické prvky a systémy: „**Čistě elektrický průraz**, při kterém velikost průrazného napětí prakticky nezávisí na teplotě ani na délce působení přiloženého napětí. Energie elektrického pole je okamžitě tak velká, že způsobí okamžitou destrukci v nejslabším místě namáhaného objektu. Je pochopitelně ovlivňována homogenitou elektrického pole, chemickým složením a strukturou daného izolantu. K tomuto druhu průrazu dochází v tom případě, kdy je vyloučen ohřev izolantu a tím i procesy stárnutí způsobené vlivem teploty a elektrického pole. Čistě elektrický průraz zkoumáme na homogenních vzorcích bez pórů a dutin v homogenním elektrickém poli při působení impulzního – rázového – napětí. Rychlost růstu průrazného kanálu je v rozmezí $10^5 \div 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.

Tepelný průraz je charakteristický tím, že se vyznačuje výraznou závislostí průrazného napětí na teplotě a délce působení přiloženého napětí. V tomto případě nemají tedy stupeň nehomogenity elektrického pole nebo nehomogenita vlastního izolantu takový vliv jako v případě čistě elektrického průrazu. Tepelný průraz vzniká v důsledku přehřátí izolantu způsobeného Jouleovými nebo dielektrickými ztrátami eventuálně kombinací obou. Srovnáme-li mechanismus tepelného průrazu s mechanismem průrazu čistě elektrického, jedná se o jednodušší případ. Při tepelném průrazu se uplatňují Jouleovy ztráty se svým ohřevem a pochopitelně i ohřev způsobený dielektrickými ztrátami. Toto ohřívání materiálu má pochopitelně lokální charakter a zdaleka neprobíhá stejnoměrně v celém objemu izolantu. V místech se zvýšenou teplotou dochází k následnému vzrůstu elektrické vodivosti a dielektrických ztrát. To má za následek ještě větší ohřev těchto míst. Při dostatečně nízkých napětích se ustaví dynamická rovnováha mezi množstvím tepla, které vzniká působením elektrického pole a množstvím tepla odvedeného povrchem do okolí. Tento stav lze popsat vztahem:

$$c \cdot \frac{d\vartheta}{dt} + \text{div}(\lambda \cdot \text{grad } \vartheta) = \gamma \cdot E^2 \quad (3.2)$$

kde ϑ je teplota [$^{\circ}\text{C}$]

- c je měrné objemové teplo [$\text{Jm}^{-3} \cdot \text{deg}^{-1}$]
 λ je koeficient tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{deg}^{-1}$]
 γ je konduktivita izolantu [$\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$]
 E je intenzita elektrického pole [$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$]
 t je čas [s]

Přidáme-li k této rovnici podmínku kontinuity izolantem procházejícího proudu

$$\text{div}(\gamma \cdot E) = 0 \quad (3.3)$$

dostáváme **základní vztahy pro popis tepelného průrazu.**

Příčiny tepelného průrazu pak můžeme vyjádřit takto:

1. velikost přiloženého napětí vůbec nedovolí, aby došlo k ustavení výše popsané dynamické rovnováhy;
2. než se dynamická rovnováha stačí ustavit, dojde k tepelné destrukci izolantu;
3. nerovnoměrným ohřevem jednotlivých oblastí izolantu se původně homogenní (nebo alespoň přibližně homogenní) elektrické pole stane nehomogenním; což nakonec může vést k průrazu izolantu jako celku.

Nejčastěji je první uvedená příčina tepelného průrazu. Druhý případ nastává v izolantech s malou tepelnou odolností a nízkým bodem tavení. Třetí je poměrně zvláštní a může probíhat v úzkém teplotním intervalu.

Elektrochemický průraz přichází v úvahu tehdy, působí-li na izolant elektrické pole po dlouhou dobu. V izolantu pak jsou nastartovány elektrochemické procesy postupně zhoršující jeho vlastnosti a v konečném důsledku pak výrazně snižující jeho elektrickou pevnost. Tento druh průrazu pak v některých případech nepovažujeme za samostatný, protože vlastní mechanismus průrazu postupně měněného izolantu se nejčastěji realizuje formou tepelného průrazu. Při výběru materiálu se řídíme jedním z rozhodujících faktorů – odolností materiálu vůči působení provozních činitelů. Jejich působením dochází v materiálu ke změnám, které jsou buď reverzibilní – vratné, nebo trvalé – ireverzibilní.

Vratné změny jsou vyvolané krátkodobým nebo málo intenzivním působením zmíněných provozních činitelů. Nejde o trvalé změny, tím nejsou pro funkci daného materiálu zpravidla kritické. Jejich vliv můžeme vhodnými opatřeními omezit na přípustnou mez.

Nevratné změny – závisí kromě intenzity působení daného činitele i na délce tohoto působení; tyto změny vlastností mají trvalý charakter a většinou jsou následkem chemických případně jiných změn, ke kterým v izolantu došlo.“ [8, str.127 - 136]

5. Testy elektrické pevnosti daných vzorků při střídavém a stejnosměrném napětí

5.1. Specifikace zkušebních vzorků izolačních materiálů

Pro zjištění hodnoty přepočítávacího koeficientu mezi střídavým napětím průmyslové frekvence 50Hz a stejnosměrným napětím byly vybrány tři izolační materiály, které zastupují v současnosti používané druhy pro izolační systémy resin rich. Dva materiály jsou ze skupiny tříslůžkových kompozitních materiálů, jejichž nosná část je tvořena skleněnou tkaninou. Jedná se o materiál Relanex 45.033, jehož složení je dle materiálového listu nekalcinovaný slídový papír, Remika (muskovit), skleněná tkanina a epoxynovolaková pryskyřice. Druhým materiálem z této skupiny je Calmicafab 3417, který dle materiálového listu obsahuje kalcinovaný slídový papír (muskovit), skleněnou tkaninu a epoxynovolakovou pryskyřici. Poslední materiál zastupuje skupinu izolačních materiálů, jejichž nosná část je tvořena PEN nebo PET fólií. Pro zkoušky byl použit materiál Relastik 45.036. Jeho složení je též dle materiálového listu kalcinovaný slídový papír, Remika (muskovit), epoxynovolaková pryskyřice a jako nosič je použita polyetylentereftalátová (PET) fólie.

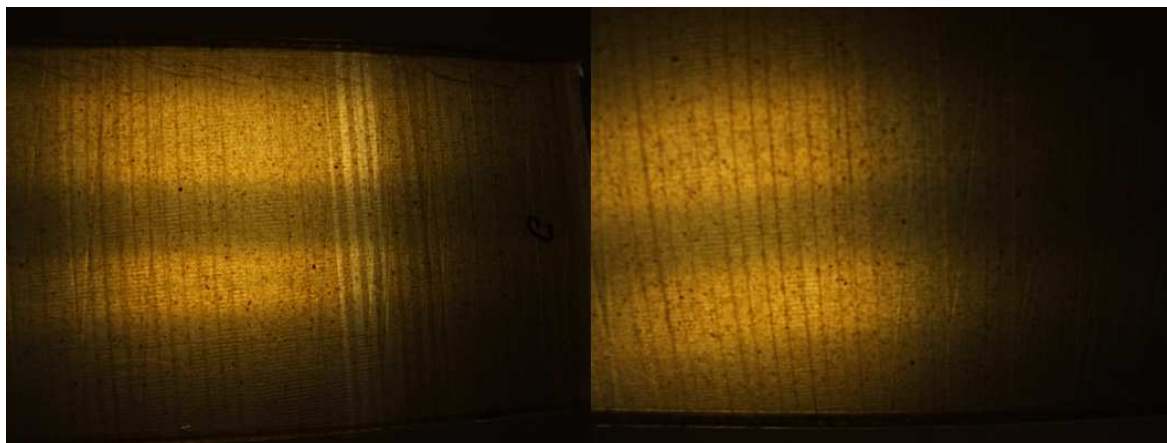
Zmíněné izolační materiály byly zpracovány standardním technologickým postupem, který je používán při výrobě izolačního systému statorového vinutí.

5.2. Příprava zkušebních vzorků

Izolační pásy jednotlivých materiálů byly naizolovány na připravený ocelový trn, který byl předem ovinut dvěma vrstvami s $\frac{1}{2}$ překrytím separační pásy tloušťky 0,05mm. Rozměry trnu byly určeny s ohledem na velikost vytvrzovacích přípravků 11 x 125 x 1150 mm. Vzhledem k technologii zpracování izolačních materiálů a maximálnímu stejnosměrnému zkušebnímu napětí (135kV), byl stanoven počet vrstev jednotlivých materiálů na 4 vrstvy (2x s $\frac{1}{2}$ překr.) a 6 vrstev (3x s $\frac{1}{2}$ překr.). Nižší počet vrstev izolace nebyl volen z důvodu obtížně realizovatelného překrytí izolace zapříčiněného nepřesností ovíjecí hlavy a způsobem zpracování.

Přes vnější povrch izolace se navinula jedna vrstva s $\frac{1}{2}$ překrytím separační pásy a jeden ovin separační fólie. Vytvrzení izolace proběhlo v elektrickém lisu za současného působení teploty a tlaku dle nastaveného programu pro daný materiál. Vytvrzování izolace je proces, při kterém dojde k slisování naizolovaných vrstev pásy na předem definovaný

rozměr vytvrzovacích přípravků. Slisováním se dosáhne vytlačení vzduchu z prostoru mezi jednotlivými vrstvami pásky a vlivem vytvrzovací teploty dojde k přechodu materiálu z „B“ do „C“ stavu. Tímto procesem se docílí homogenní izolace s optimálním množstvím pryskyřice. Po vytvrzení se odstranila vnější separace a rozříznutím izolační vrstvy ve středu úzkých hran došlo k uvolnění izolace na trnu. Izolace včetně separačních ovinů byla sejmuta z trnu, ten byl očištěn a připraven na výrobu dalších zkušebních vzorků. Obě poloviny izolace byly rozřezány na jednotlivé vzorky o rozměrech 125 x 300 mm. Dále následovalo označení všech vzorků identifikačním znakem. Z důvodu velkého počtu vzorků muselo být pro přehlednost použito označení, které se skládá ze dvou znaků. První znak je písmenný a označuje výchozí izolaci trnu, z které byly vzorky vyrobeny. Druhý znak je pořadové číslo vzorku od jedné do šesti. Tato identifikace byla zvolena z důvodu dohledatelnosti jednotlivých kroků výrobního procesu. Následovalo změření tloušťky všech vzorků na minimálně 12 místech po celém obvodu pomocí třmenového mikrometru. Naměřené hodnoty byly zaznamenány pro další zpracování - výpočet průměrné hodnoty tloušťky, stlačitelnosti a elektrické pevnosti izolace. Stlačitelnost je jedním z velmi důležitých parametrů, který značně ovlivňuje vlastnosti vytvrzené izolace. Z tohoto důvodu byla snaha dodržet optimální stlačitelnost doporučenou výrobcem materiálu, ale vzhledem k velmi malému počtu vrstev byla velmi obtížně dosažitelná. Některé vzorky musely být díky nesprávné stlačitelnosti vyřazeny. Posledním krokem při přípravě vzorků byla kontrola překrytí jednotlivých ovinů izolace průsvitem, s označením míst s nesprávným počtem vrstev viz obr 5.1. Tak byla vyloučena místa, která by vykazovala nízké hodnoty průrazného napětí, a tím zkreslovala celkové výsledky. Jednalo se především o krajní části původně naizolovaných trnů, kde došlo vlivem volného prostoru ve vytvrzovacích přípravcích k posunu krajních ovinů během průběhu vytvrzovacího procesu. Tento jev se u výroby satorového vinutí neobjevuje, protože izolace čelních partií tyčí nebo cívek brání posunu ovinů izolace rovné části. U každého materiálu a daného počtu ovinů byl sestaven soubor 12-ti zkušebních vzorků pro střídavé a stejnosměrné napětí. Na jednotlivých vzorcích bylo možno uskutečnit 4 až 6 průrazů. V průběhu výroby zkušebních vzorků byly provedeny ověřovací testy pomocí zkušebního zdroje stejnosměrného napětí BAUR 110 za účelem získání základní představy o hladinách elektrické pevnosti všech zkoušených materiálů.

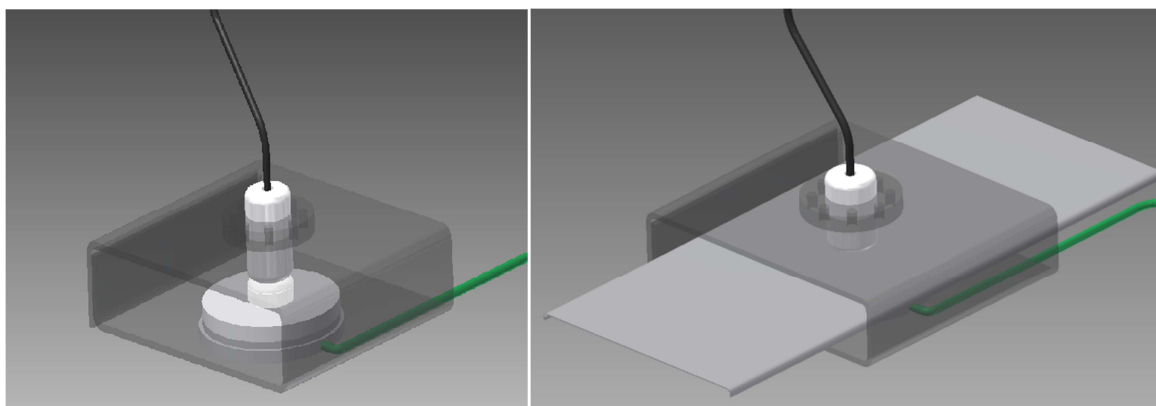


Obr. 5.1 Kontrola průsvitem pro vyloučení nekvalitního překrytí jednotlivých vrstev izolace

5.3. Příprava zkoušek

Zkoušky vychází z normy ČSN EN 60243-1 a ČSN EN 60243-2.

Pro zkoušení byl nejprve vytvořen návrh sestavy elektrodového systému a vzorku dle obr.5.2. Dále byl vytvořen přípravek s dvojicí elektrod o průměru 25mm a jednou elektrodou o průměru 75mm se zaoblením hran R3 dle ČSN EN 60243-1. Následně byl vyroben přípravek pro zajištění souososti elektrod a správné poloze zkušební vzorku, díky kterému mohla být použita dvojice elektrod o průměru 25mm. Z důvodu vysoké úrovně zkušebního napětí nebylo možné při zkoušení na vzduchu zabránit přeskokům po povrchu zkoušených vzorků, a proto muselo být použito olejové lázně. Tu tvořil transformátorový olej MOGUL TRAF0 CZ-A od výrobce PARAMO a.s. Jedná se o inhibovaný transformátorový olej používaný ve vysokonapětových aplikacích jako izolační a chladicí kapalina.



Obr. 5.2 Uspořádání zkušebních elektrod a vzorku

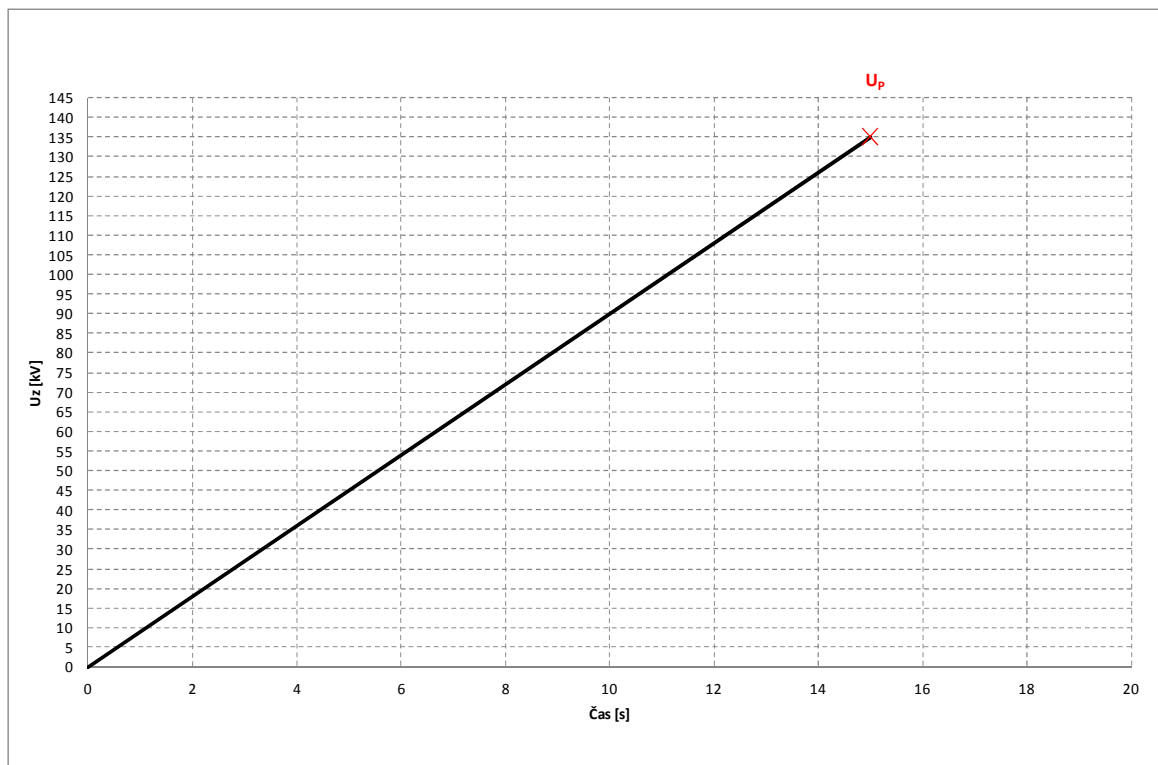
5.4. Průběh zkušebního napětí

Na základě provedení ověřovacích zkoušek stejnosměrného průrazného napětí v průběhu výroby vzorků bylo zjištěno, že elektrická pevnost zkoušených izolačních materiálů je přibližně 200kV/mm. Vzhledem k vysoké hladině průrazného napětí byly stanoveny dva způsoby zvyšování napětí vycházející z normy ČSN EN 60243-1.

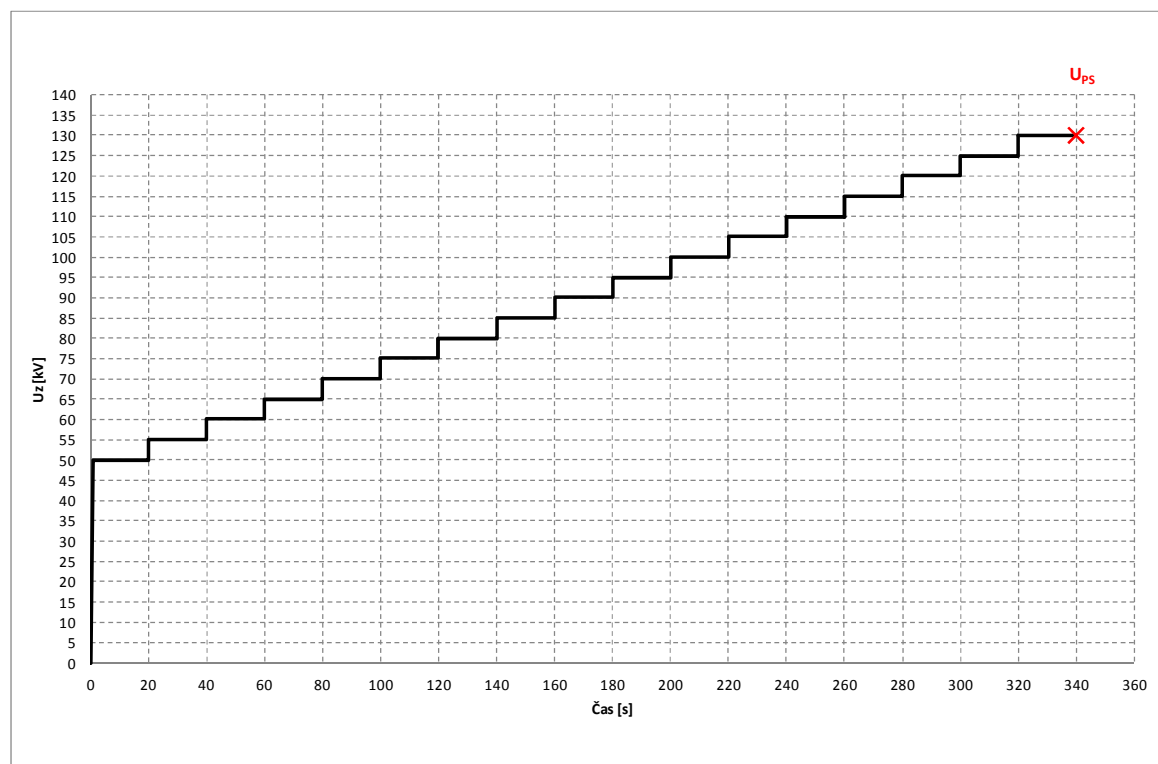
První způsob je „krátkodobá zkouška, kdy se napětí rovnoměrně zvyšuje od nuly až do průrazu. Velikost nárůstu napětí pro daný materiál se volí tak, aby k průrazu došlo mezi 10s a 20s“ [5, str. 14].

Druhý způsob je zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí s 20-ti nebo 60-ti sekundovými stupni. Pro čtyřvrstvé vzorky byl stanoven čas jednoho stupně na 20s a pro šestivrstvé vzorky byl stanoven čas jednoho stupně na 60s. Další parametrem, který byl stanoven dle výsledků průrazného napětí při krátkodobé zkoušce, je hodnota prvního stupně. Tato hodnota je 40% průměrného průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Posledním parametrem je přírůstek napětí jednotlivých stupňů. Vzhledem k potřebě srovnat nejen jednotlivé materiály mezi sebou, ale i naměřené hodnoty při střídavém a stejnosměrném napětí, byly stanoveny přírůstky napětí z průměrné hodnoty prvního stupně příslušné skupiny vzorků [5, str.14, 15].

Způsob zvyšování napětí je též patrný z následujících obrázků, které znázorňují průběh napětí krátkodobé zkoušky obr. 5.3 a průběhu napětí zkoušky se stupňovitým zvyšováním obr. 5.4. „Přírůstek napětí je prováděn co nejrychleji, ale bez přechodových přepětí a doba jejich trvání se zahrnuje do 20 s pro vyšší napětí“ [5, str.14].



Obr. 5.3 Příklad průběhu napětí krátkodobé zkoušky



Obr. 5.4 Příklad průběhu napětí zkoušky se stupňovitým zvyšováním

5.5. Měření elektrické pevnosti střídavým napětím

Měření vychází z normy ČSN EN 60243-1 Elektrická pevnost izolačních materiálů – Zkušební metody – Část 1: Zkoušky při průmyslových kmitočtech.

Definice:

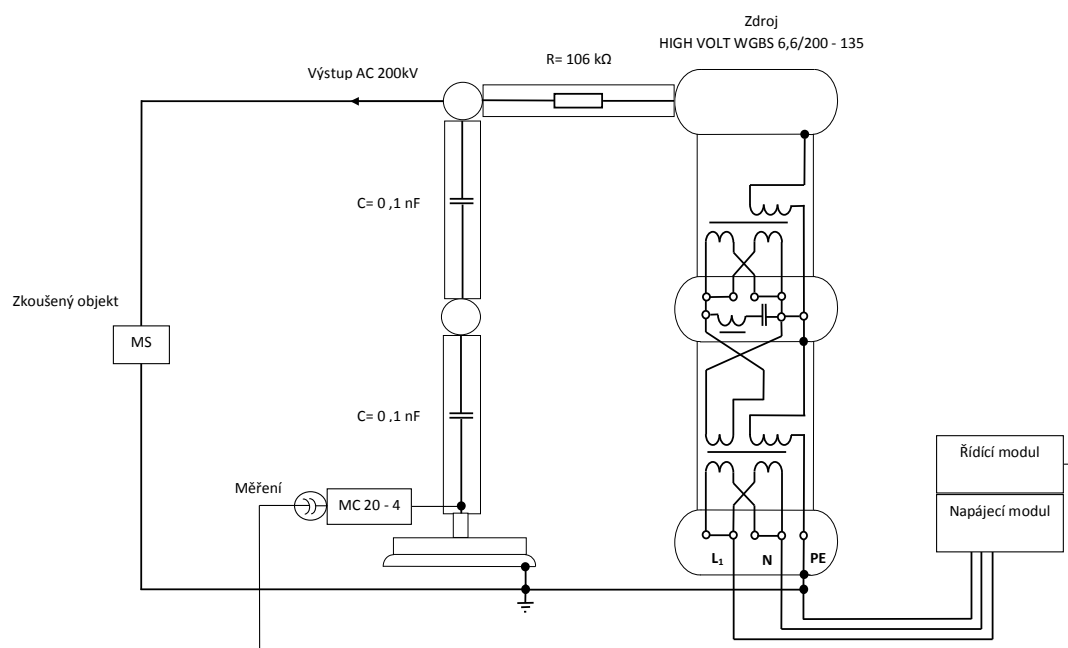
Průrazné napětí – při měření střídavým napětím se jedná o vrcholovou hodnotu, při které nastává průraz. Vydělením této hodnoty $\sqrt{2}$, dostáváme efektivní hodnotu průrazného napětí. Jednotky, v kterých je průrazné napětí dále uváděno, jsou kV.

Elektrickou pevnost izolačního materiálu získáme podílem průrazného napětí a tloušťky materiálu mezi elektrodami. Elektrická pevnost se udává v kV/mm.

Zkušební zařízení

Jako zdroj střídavého napětí byl použit vysokonapěťový transformátor HIGHVOLT WGBS 6,6/200 – 135 (dva stupně 110kV) s napájecím a řídicím modulem. Pro zkoušky bylo využito obou 110kV stupňů transformátoru, s omezením maximálního zkušebního napětí na 200kV. Napájení celé zkušební sestavy je 230V se sítovou frekvencí 50Hz. Výstupní napětí je v rozsahu od 0 – 200kV s plynulou regulací a možností ručního nebo automatického nastavení včetně strmosti nárůstu napětí a dalších parametrů. Výstup transformátoru je připojen ke kapacitnímu děliči přes ochranný rezistor $R=106k\Omega$. Odtud je již napětí přivedeno na vrchní elektrodu zkušebního přípravku. Druhá elektroda zkušebního přípravku je připojena na nulový zemní potenciál. Měření napětí je realizováno z kapacitního děliče a je vyvedeno přímo do řídicího modulu zdroje. Vše je znázorněno na schématu Obr. 5.5. Zkušební zařízení též sleduje velikost proudu a v okamžiku průrazu nebo přeskoku dojde k okamžitému odpojení zdroje tak, aby bylo zkušební zařízení chráněno před přetížením.

Měření střídavého napětí je zajištěno digitálním vyhodnocovacím zařízením, které je součástí řídicího modulu. Výhodou tohoto zařízení je, že je měřeno přímo výstupní napětí, které je na zkoušeném objektu. Další výhodou je možnost zobrazení maximální hodnoty napětí a uchování hodnoty průrazného napětí do okamžiku nové zkoušky. To přináší komfortní způsob zkoušení a záznamu naměřených parametrů.



Obr. 5.5 Schéma střídavého zkušebního zařízení dle návrhu výrobce

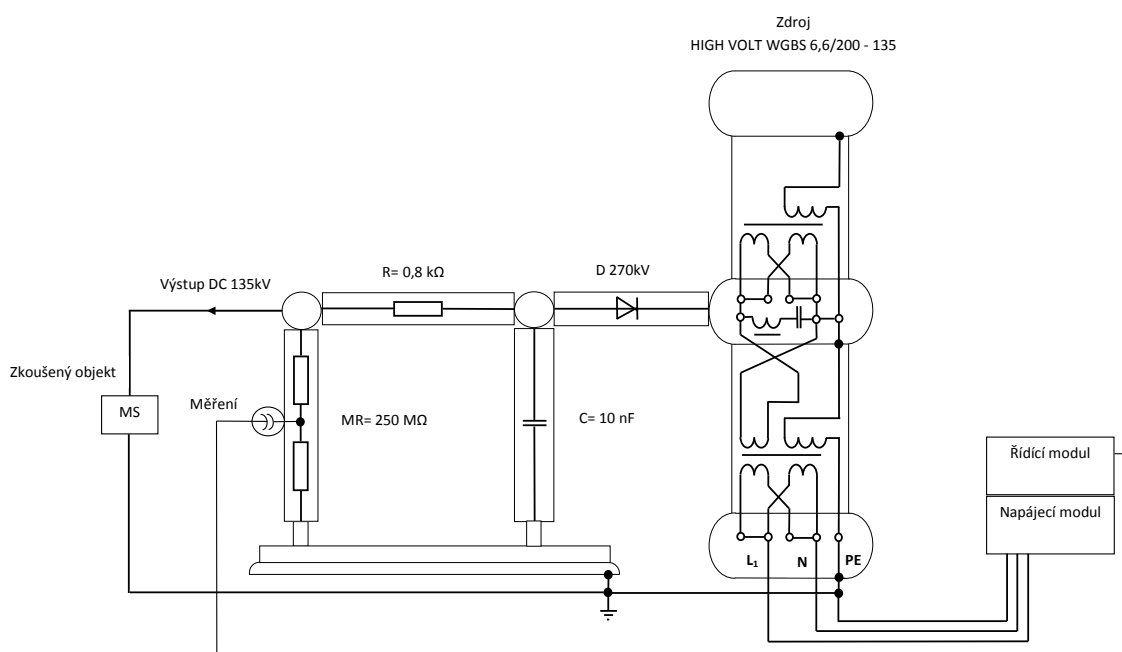
5.6. Měření elektrické pevnosti stejnosměrným napětím

Měření bylo provedeno dle normy ČSN EN 60243-2 Elektrická pevnost izolačních materiálů – Zkušební metody – Část 2: Dodatečné požadavky na zkoušky stejnosměrným napětím.

Zkušební zařízení

Jako zdroj střídavého napětí byl použit shodný vysokonapěťový transformátor včetně napájecího a řídicího modulu jako při měření elektrické pevnosti střídavým napětím, ale s možností využití pouze prvního 110kV stupně. Výstupní napětí transformátoru bylo jednocestně usměrněno vysokonapěťovou diodou D 270. Tato dioda byla zapojena katodou ke zdroji, z čehož vyplývá, že výstupní napětí mělo vůči nulovému potenciálu zápornou polaritu. Při volbě polarity zkušebního napětí bylo také zohledněno, že některá používaná zařízení umožňují zkoušet jen zápornou polaritou.

Pro vyhlazení napětí byl použit vysokonapěťový kondenzátoru s kapacitou $C = 10\text{nF}$. Dále je do série s diodou připojen ochranný rezistor $R=0,8\text{k}\Omega$ a paralelně ke zkoušenému objektu odporový dělič $MR = 250\text{M}\Omega$. Odtud je již napětí přivedeno na vrchní elektrodu zkušebního přípravku. Druhá elektroda zkušebního přípravku shodně s měřením elektrické pevnosti střídavým napětím je připojena na nulový zemní potenciál. Měření napětí je realizováno z odporového děliče a je vyvedeno přímo do řídicího modulu zdroje. Vše je znázorněno na schématu Obr. 5.6. Zkušební zařízení také sleduje velikost proudu a v okamžiku průrazu nebo přeskočku dojde k okamžitému odpojení zdroje.



Obr. 5.6 Schéma stejnosměrného zkušebního zařízení dle návrhu výrobce

6. Statistické vyhodnocení naměřených dat

6.1. Používaná označení a vztahy

Jak již bylo řečeno, jednotlivé vzorky mají označení skládající se z písmene, které je nositelem informace o procesu zpracování daného vzorku a pořadovým číslem identifikujícím příslušný vzorek. Uváděná tloušťka vzorků je průměrná hodnota z naměřených hodnot. Označením U_p je v případě stejnosměrného napětí míněno průrazné napětí, v případě použití střídavého napětí se jedná o efektivní hodnotu průrazného napětí. U_{ps} značí na rozdíl od U_p hladinu napětí posledního stupně, při které došlo k průrazu. Zkratka L_t vyjadřuje dobu trvání posledního stupně zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí. Hodnoty uvedené pod písmenem **E** udávají elektrickou pevnost přepočtenou na 1mm tloušťky materiálu. Tento přepočet je proveden z důvodu možného srovnání různých vzorků s odlišnými tloušťkami. Pro výpočet elektrické pevnosti jsou použity vztahy (6.1 až 6.4). Výpočet elektrické pevnosti u zkoušek se stupňovitým zvyšováním napětí je doplněn o lineární interpolaci posledního stupně U_{ps} .

Tím je určena předpokládaná hodnota průrazného napětí, oproti způsobu vyhodnocení uvedeného v normě ČSN EN 60243-1. Norma v bodě 9.2.5 uvádí, že „pro určení elektrické pevnosti materiálu nebo jeho průrazného napětí je základem nejvyšší hodnota napětí, kterou vzorek vydržel po celých 20 s (60 s)“ [5, str.14]. Zanedbáním času výdrže na posledním stupni by však došlo k značnému zkreslení naměřených výsledků.

U všech parametrů vzhledem k rozměrům vzorků dále následuje číselné označení pořadí, v jakém byly zkoušky na daném vzorku provedeny.

Výpočet elektrické pevnosti krátkodobé zkoušky

$$E = \frac{U_p}{d} \quad (6.1)$$

kde E je elektrická pevnost [kV/mm]

U_p je průrazné napětí [kV]

d je tloušťka izolace vzorku [mm]

Výpočet elektrické pevnosti zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí po 20s a přírůstkem napětí 2kV

$$E = \frac{(U_{ps} - 2) + \left(\frac{L_t}{20} \cdot 2\right)}{d} \quad (6.2)$$

kde L_t je doba trvání posledního stupně zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí [s]

U_{ps} je hladina napětí posledního stupně, při které došlo k průrazu [kV]

Výpočet elektrické pevnosti zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí po 20s a přírůstkem napětí 5kV

$$E = \frac{(U_{ps} - 5) + \left(\frac{L_t}{20} \cdot 5\right)}{d} \quad (6.3)$$

Výpočet elektrické pevnosti zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí po 60s a přírůstkem napětí 5kV

$$E = \frac{(U_{ps} - 5) + \left(\frac{L_t}{60} \cdot 5\right)}{d} \quad (6.4)$$

Dalším vyhodnocovaným kritériem je stlačitelnost příslušného vzorku. Pro výpočet je použit vztah (6.5).

Výpočet stlačitelnosti [%]

$$\eta = \left(\frac{n_l \cdot t_m - d}{n_l \cdot t_m} \right) \cdot 100 \quad (6.5)$$

kde η je stlačitelnost [%]

n_l je počet vrstev [-]

t_m je tloušťka izolačního materiálu [mm]

d je tloušťka izolace vzorku po vytvrzení [mm]

Poznámka: dosazovaná tloušťka izolačního materiálu a tloušťka izolace vytvrzeného vzorku nejsou zaokrouhlovány a vychází z průměrných hodnot měřených vzorků.

Naměřené hodnoty byly zaznamenány a vyhodnoceny pomocí softwaru MS Excel.

6.2. Metody vyhodnocení naměřených hodnot

Základní statistické parametry

Náhodná veličina X nabývá náhodných hodnot x_i získaných při prostém náhodném výběru s příslušnou pravděpodobností $P(x_i)$.

Náhodnou veličinu X lze popsat různými způsoby, například funkcí hustoty pravděpodobnosti a obecnými momenty kolem počátku a kolem střední hodnoty. Dále jsou definovány některé základní statistické parametry, které jsou použity pro vyhodnocení naměřených hodnot.

Střední hodnotu \bar{X} diskrétní náhodné proměnné x nazýváme 1. obecný moment kolem počátku

$$\bar{X} = E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i) \quad (6.6)$$

kde n je rozsah výběru

Rozptyl $D(X)$ je 2. centrální moment, který vyjadřuje míru rozptýlení hodnot diskrétní náhodné proměnné x kolem střední hodnoty \bar{X}

$$D(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \cdot P(x_i) \quad (6.7)$$

Směrodatná odchylka σ je druhá odmocnina z rozptylu

$$\sigma(x) = \sqrt{D(X)} \quad (6.8)$$

K posouzení variability byl vypočten variační koeficient $V(x)$ uváděný v [%]

$$V(x) = \left(\frac{s(x)}{X} \right) \cdot 100 \quad (6.9)$$

kde $s(x)$ je výběrová směrodatná odchylka

Náhodné proměnné vykazují dle svého charakteru různé rozdělení pravděpodobnosti. Pro naměřené hodnoty ovlivněné velkým počtem malých a vzájemně nezávislých vlivů se při dostatečném počtu výsledků nejvíce přibližují normálnímu rozdělení. To je vyjádřeno Laplace-Gaussovou křivkou rozdělení hustoty pravděpodobnosti, četnosti výskytu náhodné proměnné kolem střední hodnoty a Charlierovým rozdělením. Normální Laplace-Gaussova křivka má symetrický zvonovitý průběh a je získána ze statistického výběru s velkým počtem naměřených hodnot (s rostoucím počtem měření se rozdělení průměru měřených hodnot čím dál více přibližuje normálnímu rozdělení). Při vyhodnocení byly použity funkce výpočtu hustoty pravděpodobnosti a distribuční funkce, jejichž průběhy byly graficky znázorněny.

Funkce hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (6.10)$$

Distribuční funkce normálního rozdělení

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (6.11)$$

Nejdůležitější vlastností funkce hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení je skutečnost, že náhodná proměnná x leží v intervalu $\bar{X} \pm 3\sigma$ s pravděpodobností 99,73%. V praxi se vzhledem k omezenému rozsahu výběru neřídí měření elektrických parametrů normálním rozdělením, ale obecně se jedná o rozdělení, které je více či méně nesymetrické. Průběh hustoty pravděpodobnosti může být vlivem nesymetrického rozložení četnosti deformován, zploštěn a také může vykazovat i lokální extrémy. Nejednalo se o deformace zásadnějšího charakteru, vyhovuje více Charlierovo rozdělení hustoty pravděpodobnosti, které lépe postihuje reálná rozdělení. Zmíněné rozdělení vychází z normálního rozdělení a jeho postupných derivací.

Uvažujeme-li podle J. B. Šora, „rozdělení pravděpodobnosti, které se liší od normálního rozdělení a známe jeho hustotu pravděpodobnosti $f(x)$, střední hodnotu \bar{X} a rozptyl σ^2 , můžeme zavést novou náhodnou proměnnou:

$$t = \frac{x - \bar{X}}{\sigma} \quad (6.12)$$

Hustotu pravděpodobnosti $f(t)$ rozvineme do Charlierovy řady

$$f(t) = A_0 \varphi^{(0)}(t) + A_1 \varphi^{(1)}(t) + A_2 \varphi^{(2)}(t) + \dots + A_n \varphi^{(n)}(t) \quad (6.13)$$

kde $\varphi^{(n)}(x)$ jsou n -té postupné derivace hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení

A_n jsou koeficienty, které lze vypočítat pomocí mnohočlenů Čebyševa – Hermita

Dále můžeme přepsat rovnici (6.13) s použitím polynomů Čebyševa – Hermita do tvaru

$$f(t) = A_0 H_0(t) \varphi^{(0)}(t) - A_1 H_1(t) \varphi^{(0)}(t) + A_2 H_2(t) \varphi^{(0)}(t) - \dots - A_n H_n(t) \varphi^{(n)}(t) \quad (6.14)$$

Najdeme součinitele A_n . K tomuto vynásobíme rovnici (6.14) polynomem $H_n(t)$ a dále integrujeme v mezích od $-\infty$ do $+\infty$. Vzhledem k ortogonalitě polynomů Čebyševa – Hermita dostáváme

$$A_n = \frac{(-1)^n}{n!} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) H_n(t) dt \quad (6.15)$$

Do rovnice (6.15) dosadíme dle mnohočlenů Čebyševa – Hermita hodnoty $H_n(t)$ a dostaneme

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= 1 \\ A_1 &= -v_1 \\ A_2 &= \frac{1}{2} v_2 - \frac{1}{2} \\ A_3 &= -\frac{1}{6} (v_3 - 3v_1) \\ A_4 &= \frac{1}{24} (v_4 - 6v_2 + 3) \end{aligned} \right\} \quad (6.16)$$

kde v_1 je obecný moment n -tého řádu náhodné proměnné t

Z výrazu (6.12) vyplývá, že $v_1 = 0$ a $v_2 = 1$. Všechny obecné momenty náhodné proměnné t jsou tedy rovny odpovídajícím centrálním momentům. Z rovnice (6.16) je možné nalézt

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 0, \quad A_2 = 0, \\ A_3 &= -\frac{1}{6} \mu_3(t) = -\frac{1}{6} S_k(t) = -\frac{1}{6} S_k(x), \\ A_4 &= \frac{1}{24} [\mu_4(t) - 3] = \frac{1}{24} E_x(t) = \frac{1}{24} E_x(x) \end{aligned} \right\} \quad (6.17)$$

Nejčastěji je uvažováno pouze prvních pět členů Charlierovy řady, vliv dalších slabne a proto se většinou zanedbává.

$$f(t) \doteq \varphi^{(0)}(t) - \frac{1}{6} S_k \varphi^{(3)}(t) + \frac{1}{24} E_x \varphi^{(4)}(t) \quad (6.18)$$

Integrovaním rovnice (6.18) v mezích od $-\infty$ do t dostaneme distribuční funkci ve tvaru

$$F(t) \doteq \Phi(t) - \frac{1}{6} S_k \varphi^{(2)}(t) + \frac{1}{24} E_x \varphi^{(3)}(t) \quad (6.19)$$

Za použití vztahu (6.12) je možné nyní přejít od funkcí $f(t)$ a $F(t)$ k funkcím $f(x)$ a $F(x)$.

$$f(x) \doteq \frac{1}{\sigma} \left[\varphi^{(0)}(t) - \frac{S_k}{6} \varphi^{(3)}(t) + \frac{E_x}{24} \varphi^{(4)}(t) \right] \quad (6.20)$$

$$F(x) \doteq \Phi(t) - \frac{S_k}{6} \varphi^{(2)}(t) + \frac{E_x}{24} \varphi^{(3)}(t) \quad (6.21)$$

kde t je dáno vztahem (6.12) “ [15, str. 40, 41]. Takto lze tedy získat průběhy $f(x)$ a $F(x)$ pro vyjádření Charlierova rozdělení. Zobrazením $f(x)$ a $F(x)$ tímto rozvojem a porovnáním s průběhy $f(x)$ a $F(x)$ normálního rozdělení dostaneme dobrý náhled pro posouzení normality sledovaného děje.

Pro vyhodnocení dat byl použit softwarý MS Excel a statistický software vytvořený v programu DELPHI. V MS Excel pomocí funkce Popisná statistika jsou vygenerovány: střední hodnota, chyba střední hodnoty, medián, modus, směrodatná odchylka, rozptyl výběru, špičatost, šikmost, rozdíl hodnot max.-min., nejmenší hodnota, největší hodnota, součet hodnot v souboru, počet prvků a věrohodnost (při zadané hladině spolehlivosti pro střední hodnotu 95%).

Všechny vyhodnocené parametry jsou vztaženy k elektrické pevnosti E - [kV/mm].

Dále jsou uvedeny hodnoty:

Výběrové směrodatné odchytky $\pm 1, 2, 3s$ - [kV/mm]

Variační koeficient V - [%]

Střední hodnota elektrické pevnosti $E_{stř}$ - [kV/mm] odpovídá průměru statistického souboru \bar{X} .

6.3. Naměřené hodnoty

Značení:

Žlutým podbarvením jsou znázorněny hodnoty získané z krátkodobé zkoušky provedené dle ČSN EN 60243 - 1 kap. 9.1.

Bez podbarvení jsou znázorněny hodnoty získané ze zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí vycházející z ČSN EN 60243 - 1 kap. 9.2 a šedým podbarvením jsou zvýrazněny hodnoty jejich elektrické pevnosti.

I. Zkoušený materiál Calmicafab

Základní údaje:

izolační materiál Calmicafab 3417

průměrná tloušťka pásky 0,15mm

šíře pásky 20mm

teplota v průběhu zkoušení 20 až 22°C

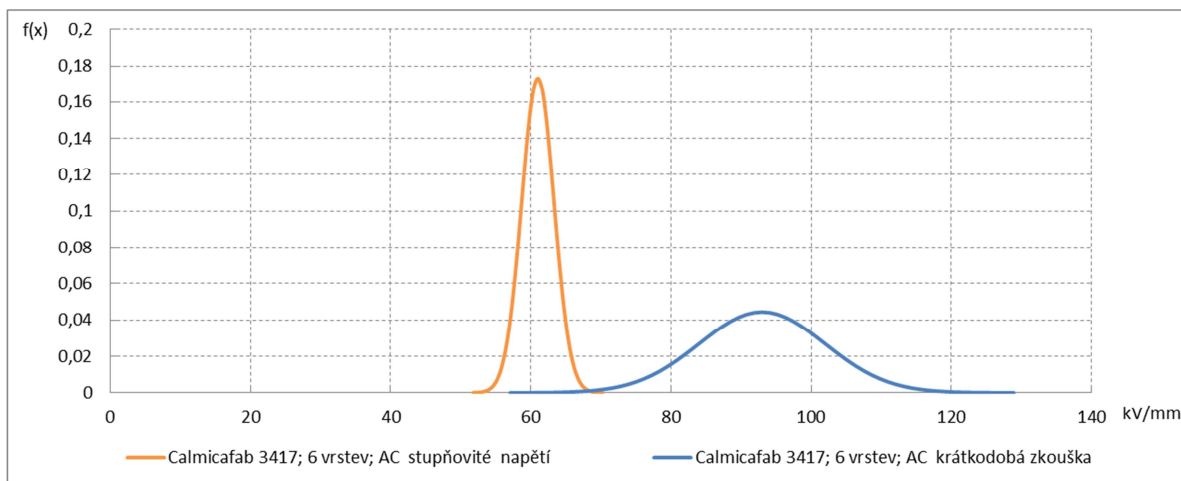
Tab. 6.1 Zkouška střídavým napětím - Calmifab; 6 vrstev

Calmifab 3417														
Počet vrstev izolace: 6 (3x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
W1	0,643	58	...	90	59	...	92	69	...	107	57	...	89	28,6
W2	0,673	56	...	83	71	...	105	71	...	105	68	...	101	25,2
W3	0,615	54	...	88	56	...	91	53	...	86	55	...	89	31,7
W4	0,619	62	...	99	49	...	79	55	...	89	48	...	78	31,2
W6	0,622	49	...	79	58	...	93	55	...	88	58	...	93	30,9
A1	0,642	63	...	98	64	...	100	70	...	109	65	...	101	28,7
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
W5	0,673	45	25	63	40	27	55	45	33	64	45	37	64	25,2
A2	0,609	40	33	62	40	20	60	40	30	62	40	16	60	32,3
A3	0,602	40	7	59	40	22	61	40	16	60	35	58	58	33,1
A4	0,651	45	10	63	45	24	65	45	3	62	40	53	61	27,7
A5	0,606	40	41	63	40	1	58	40	26	61	40	12	59	32,7
A6	0,584	40	5	61	40	10	61	40	23	63	35	54	59	35,1

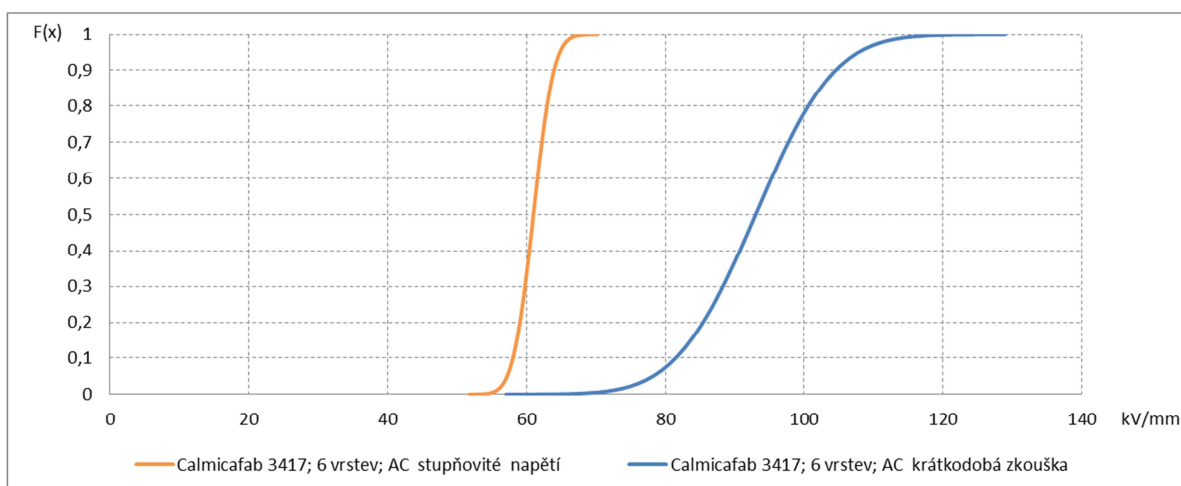
Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 25kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 60s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.1)

Calmifab 3417; 6 vrstev; AC krátkodobá zkouška		Calmifab 3417; 6 vrstev; AC stupňovité napětí	
Stř. hodnota	93	Stř. hodnota	61
Chyba stř. hodnoty	1.834	Chyba stř. hodnoty	0.470
Medián	91.5	Medián	61
Modus	89	Modus	61
Směr. odchylka	8.983	Směr. odchylka	2.303
Rozptyl výběru	80.696	Rozptyl výběru	5.304
Špičatost	-0.834	Špičatost	0.567
Šikmost	0.086	Šikmost	-0.559
Rozdíl min. a max.	31	Rozdíl min. a max.	10
Minimum	78	Minimum	55
Maximum	109	Maximum	65
Součet	2232	Součet	1464
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	3.793	Hladina spolehlivosti (95.0%)	0.973
1s	8.983	1s	2.303
2s	17.966	2s	4.606
3s	26.949	3s	6.909
Variační koeficient Vx [%]	9.659	Variační koeficient Vx [%]	3.776
Estř - 3s	66.051	Estř - 3s	54.091
Estř - 2s	75.034	Estř - 2s	56.394
Estř - 1s	84.017	Estř - 1s	58.697
Estř	93.000	Estř	61.000
Estř + 1s	101.983	Estř + 1s	63.303
Estř + 2s	110.966	Estř + 2s	65.606
Estř + 3s	119.949	Estř + 3s	67.909



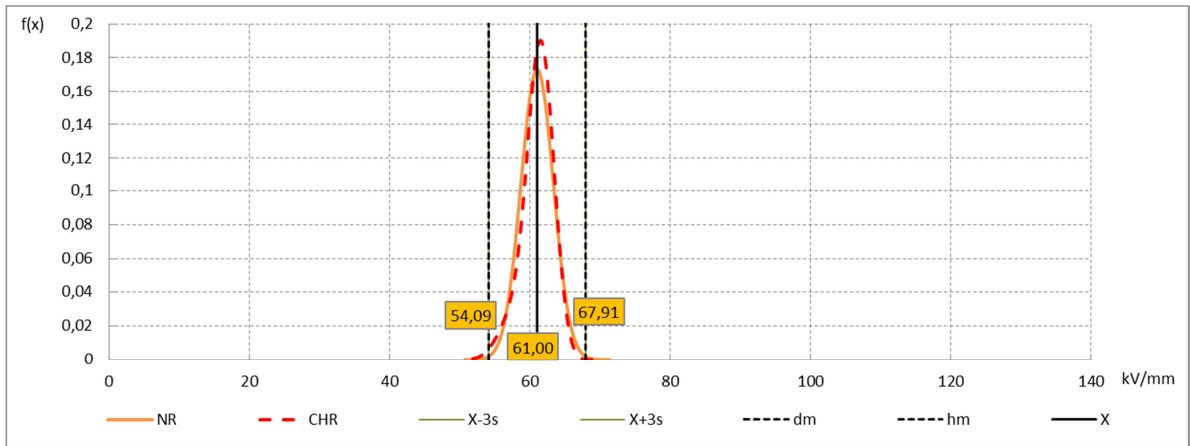
Obr. 6.1 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



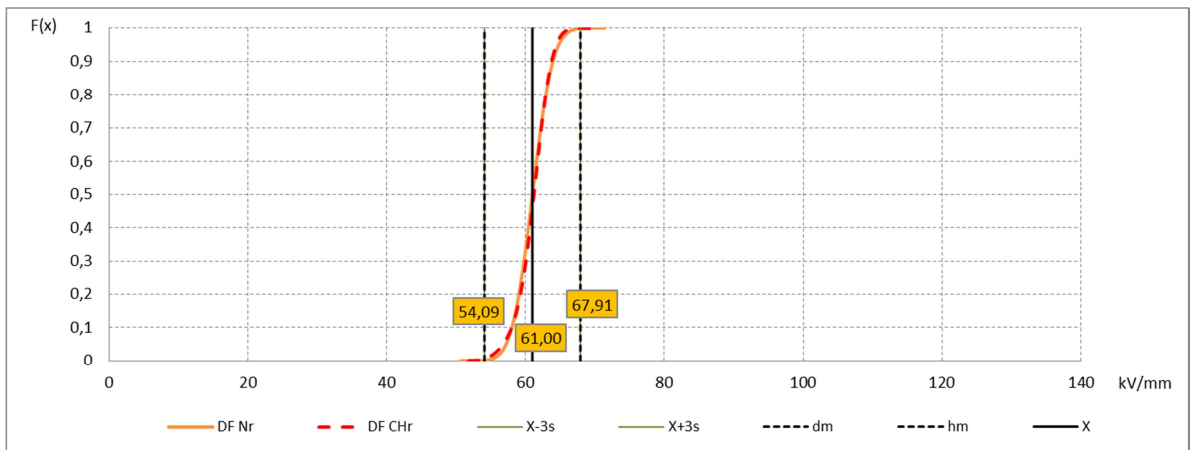
Obr. 6.2 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.1 a 6.2 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.1. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

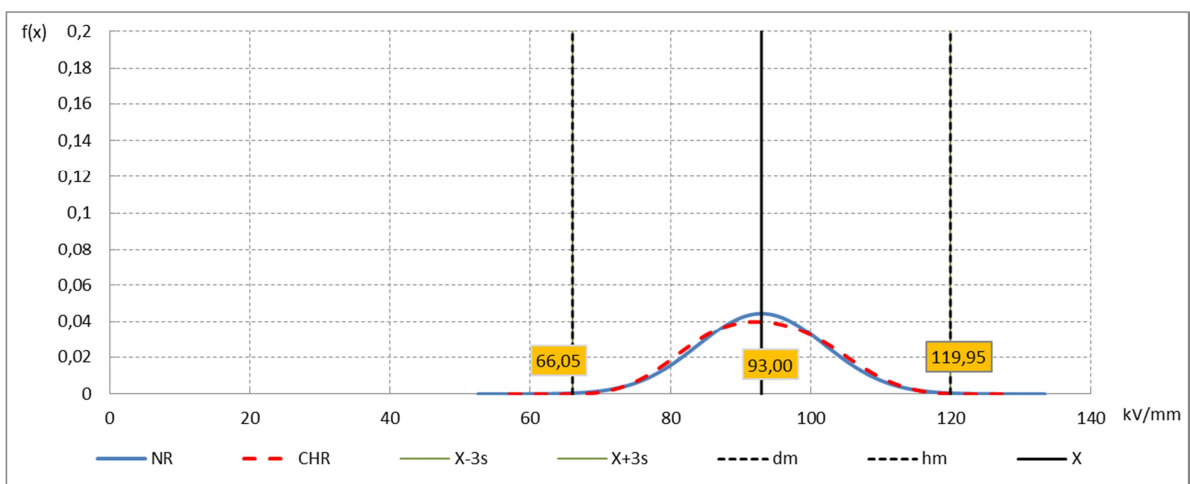
Obr. 6.1 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.2.



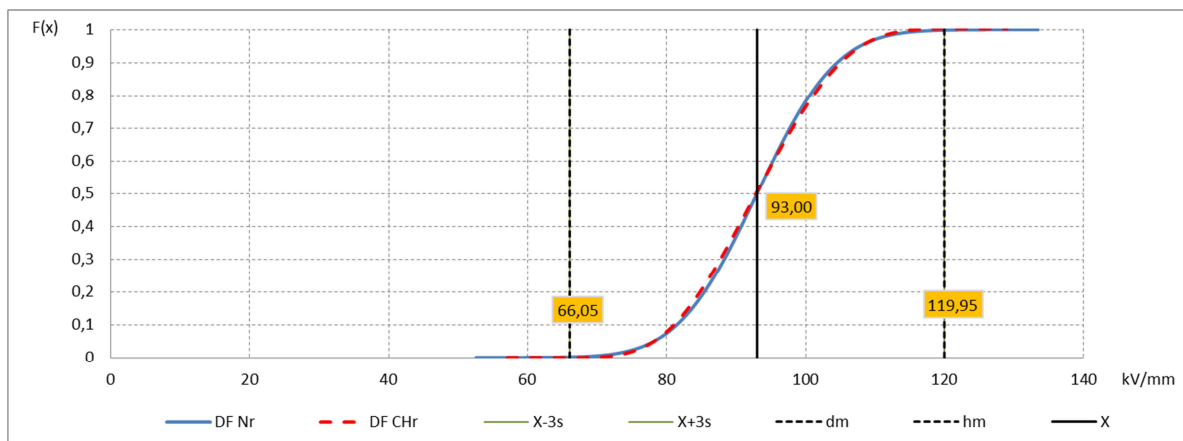
Obr. 6.3 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.4 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.5 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.6 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.3 až 6.6 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.1. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.3 a 6.4 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.5 a 6.6 výsledky krátkodobé zkoušky.

Tab. 6.2 Zkouška střídavým napětím - Calmifab; 4 vrstvy

Calmifab 3417														
Počet vrstev izolace: 4 (2x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
D1	0,416	41	...	99	37	...	88	36	...	87	35	...	83	30,7
E1	0,400	36	...	90	34	...	85	34	...	85	39	...	98	33,3
E2	0,404	38	...	94	38	...	93	41	...	101	43	...	106	32,7
E3	0,406	44	...	108	39	...	96	39	...	96	37	...	91	32,3
E4	0,408	37	...	89	37	...	91	36	...	88	38	...	92	32,0
E5	0,416	41	...	99	45	...	107	40	...	95	44	...	106	30,7
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
D2	0,419	34	1	77	32	8	74	28	1	62	32	9	74	30,2
D3	0,390	28	7	68	26	19	66	28	15	71	30	7	74	35,0
D4	0,386	28	15	71	28	8	69	26	19	67	26	17	67	35,7
D5	0,406	28	17	68	30	13	72	34	1	79	30	6	70	32,3
D6	0,404	30	9	72	28	11	67	28	11	67	28	10	67	32,7
E6	0,404	28	7	66	26	20	64	28	5	66	26	14	63	32,7

Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 16kV; přírůstek 2kV, čas jednoho stupně 20s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.2)

Calmifab 3417; 4 vrstvy; AC krátkodobá zkouška

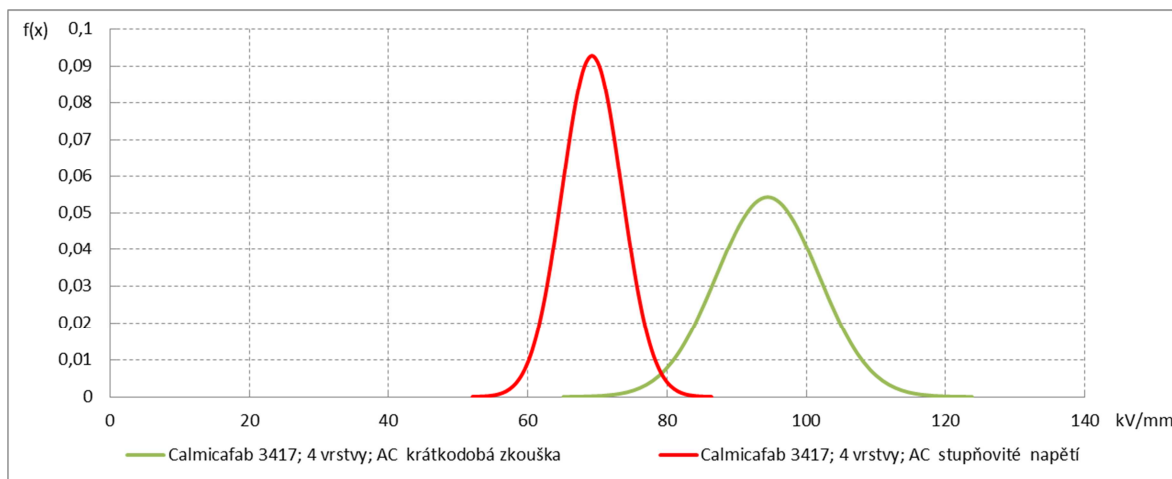
Stř. hodnota	94.458
Chyba stř. hodnoty	1.499
Medián	93.5
Modus	99
Směr. odchylka	7.342
Rozptyl výběru	53.911
Špičatost	-0.751
Šikmost	0.425
Rozdíl min. a max.	25
Minimum	83
Maximum	108
Součet	2267
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	3.100
1s	7.342
2s	14.685
3s	22.027
Variační koeficient Vx [%]	7.773

Calmifab 3417; 4 vrstvy; AC stupňovité napětí

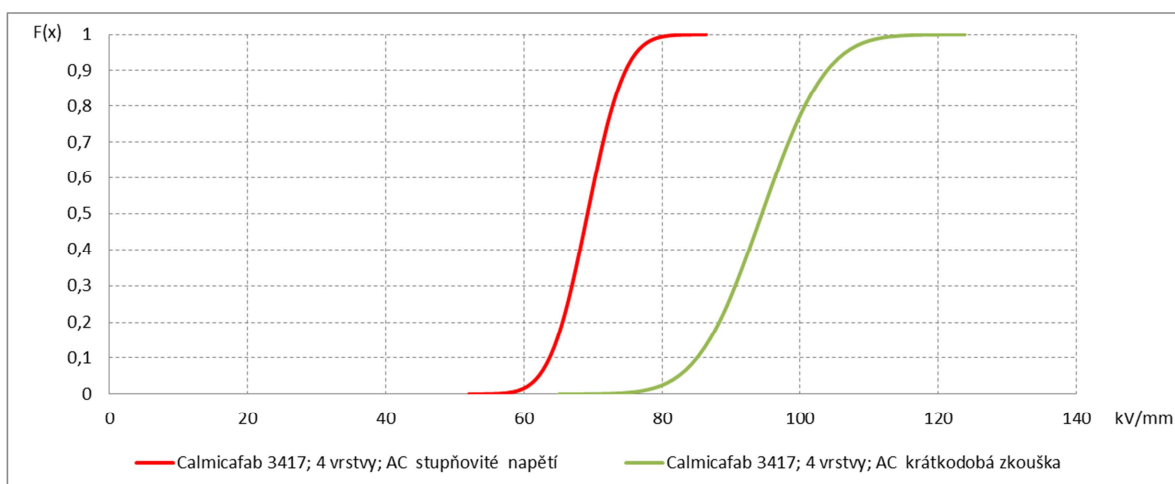
Stř. hodnota	69.208
Chyba stř. hodnoty	0.876
Medián	68
Modus	67
Směr. odchylka	4.293
Rozptyl výběru	18.433
Špičatost	-0.117
Šikmost	0.531
Rozdíl min. a max.	17
Minimum	62
Maximum	79
Součet	1661
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	1.813
1s	4.293
2s	8.587
3s	12.880
Variační koeficient Vx [%]	6.204

Estř - 3s	72.431
Estř - 2s	79.773
Estř - 1s	87.116
Estř	94.458
Estř + 1s	101.801
Estř + 2s	109.143
Estř + 3s	116.486

Estř - 3s	56.328
Estř - 2s	60.622
Estř - 1s	64.915
Estř	69.208
Estř + 1s	73.502
Estř + 2s	77.795
Estř + 3s	82.088



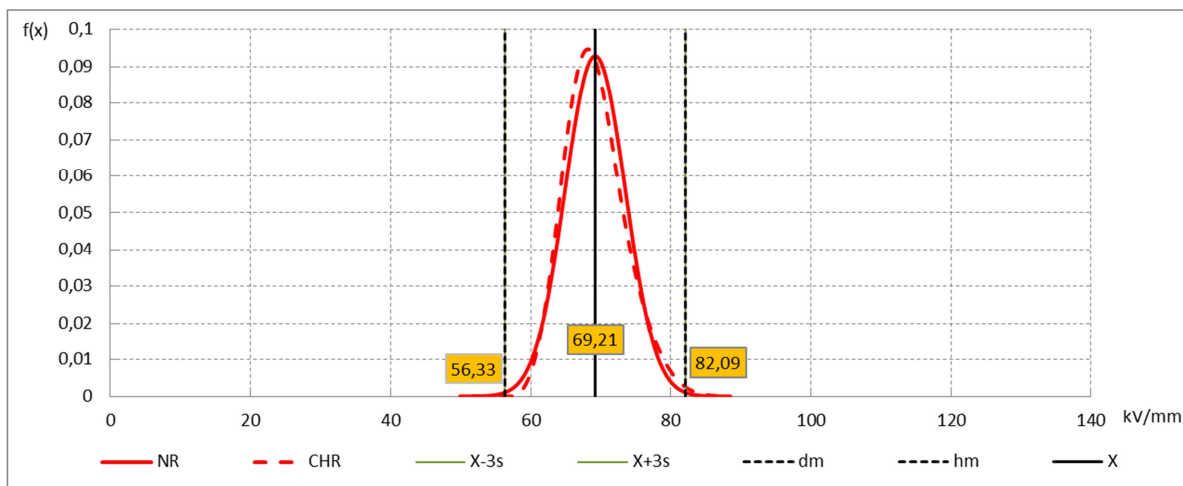
Obr. 6.7 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



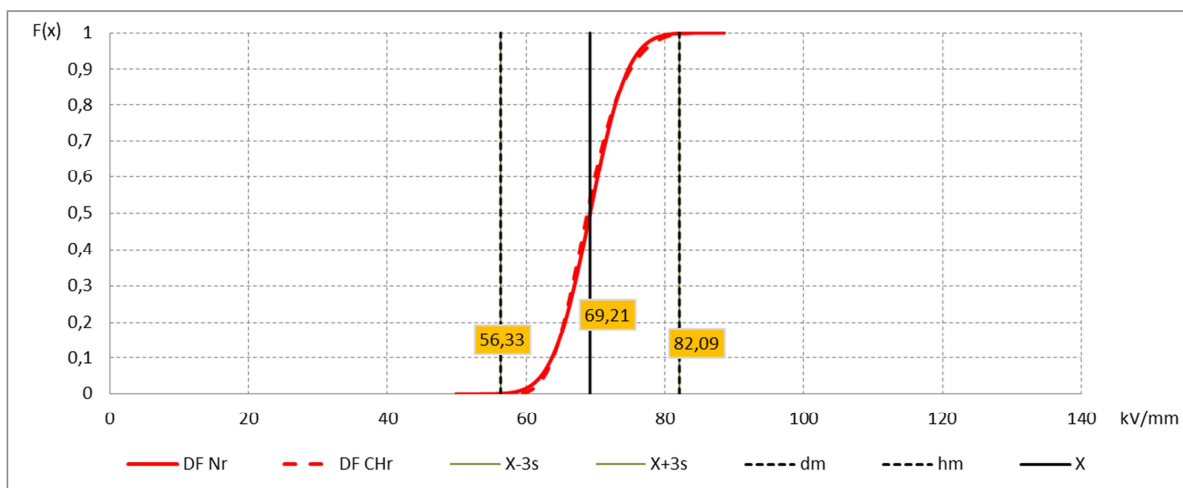
Obr. 6.8 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.7 a 6.8 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.2. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

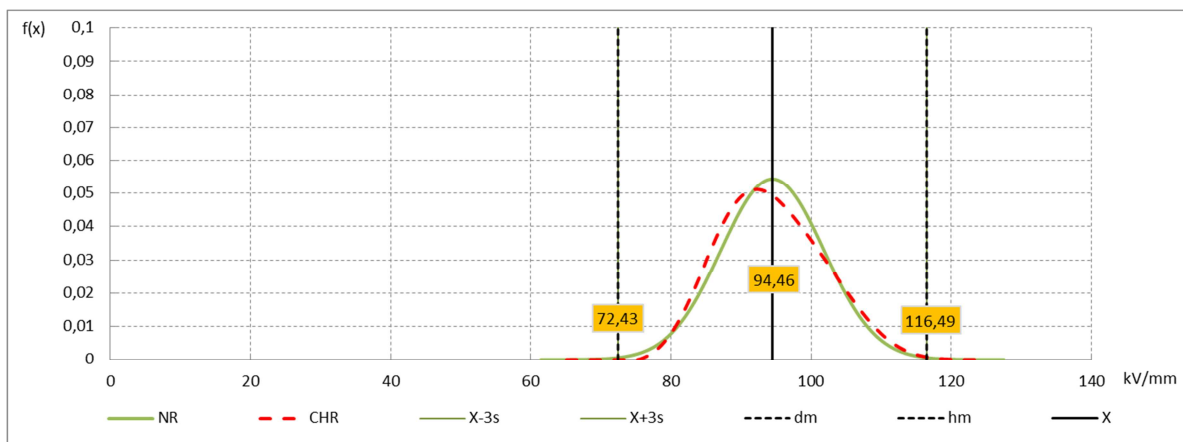
Obr. 6.7 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.8.



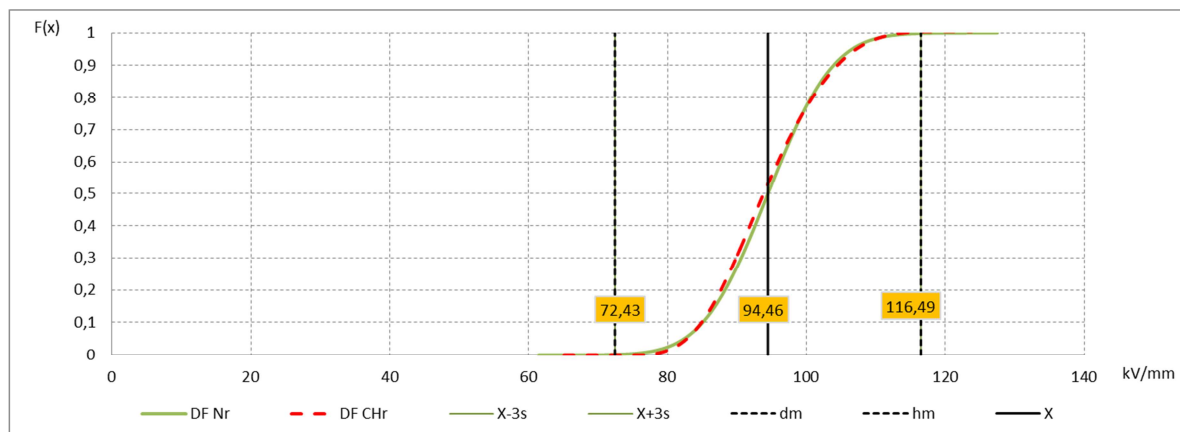
Obr. 6.9 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.10 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.11 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.12 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.9 až 6.12 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.2. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.9 a 6.10 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.11 a 6.12 výsledky krátkodobé zkoušky.

Tab. 6.3 Zkouška stejnosměrným napětím - Calmicafab; 6 vrstev

Calmicafab 3417														
Počet vrstev izolace: 6 (3x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Ploušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
Zkušební vzorek	Ploušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
B1	0,577	115	25	194	115	60	199	125	60	217	125	29	212	35,9
B3	0,614	120	48	194	120	11	189	130	50	210	135	10	213	31,8
B4	0,622	135	60	217	115	28	181	125	43	199	135	40	214	30,9
V1	0,624	135	60	216	125	43	198	130	15	202	130	38	205	30,7
V3	0,593	135	26	223	115	19	188	125	19	205	120	24	197	34,1
V6	0,594	130	30	215	135	24	222	125	60	210	135	21	222	34,0

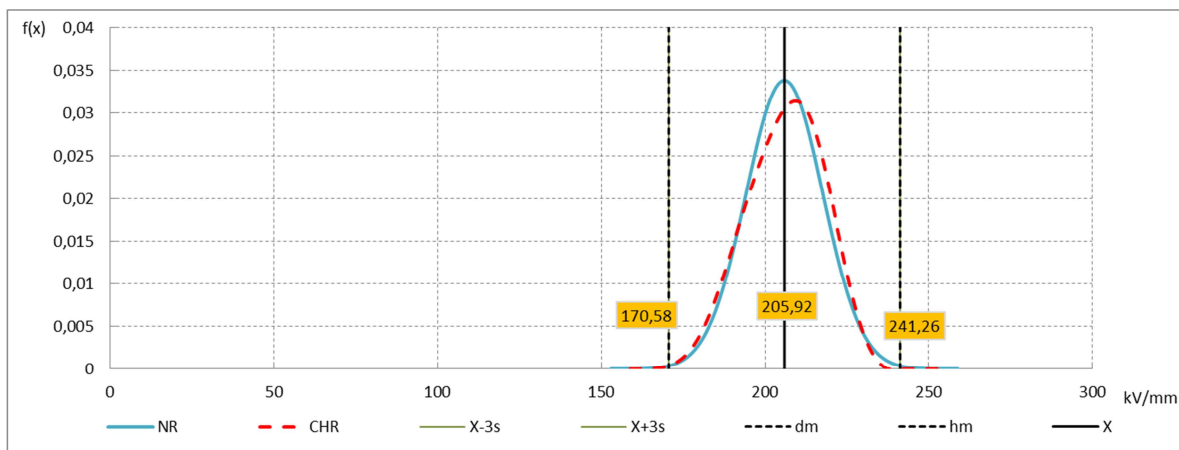
Horní polovina tabulky neobsahuje žádné hodnoty z důvodu nízkého zkušebního napětí (DC max. = 135kV). Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 50kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 60s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.3)

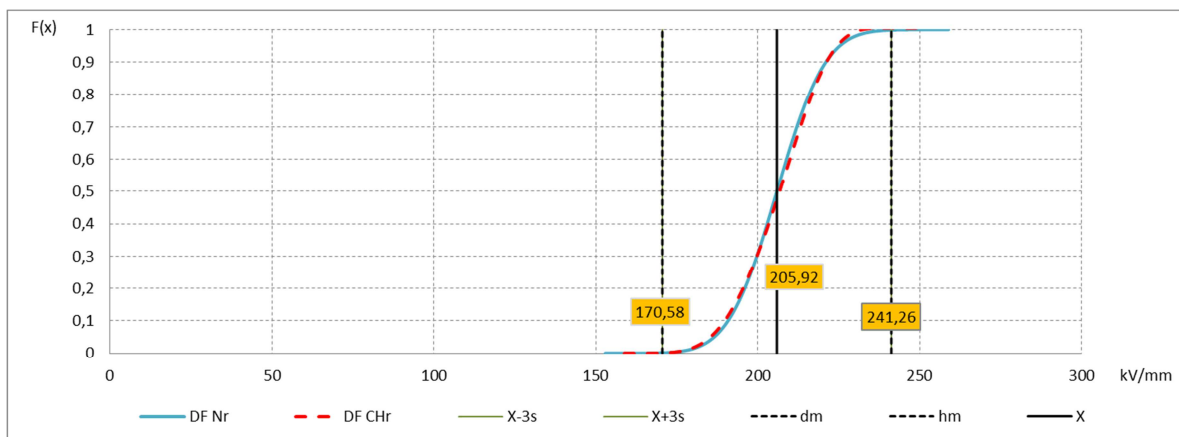
Calmicafab 3417; 6 vrstev; DC - stupňovité napětí

Sř. hodnota	205.917
Chyba sř. hodnoty	2.405
Medián	207.5
Modus	194
Směr. odchylka	11.780
Rozptyl výběru	138.775
Špičatost	-0.794
Šikmost	-0.358
Rozdíl min. a max.	42
Minimum	181
Maximum	223
Součet	4942
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	4.974
1s	11.780
2s	23.561
3s	35.341
Variační koeficient Vx [%]	5.721

Estř - 3s	170.576
Estř - 2s	182.356
Estř - 1s	194.136
Estř	205.917
Estř + 1s	217.697
Estř + 2s	229.477
Estř + 3s	241.258



Obr. 6.13 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.14 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.13 a 6.14 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.3. Obr. 6.13 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.14.

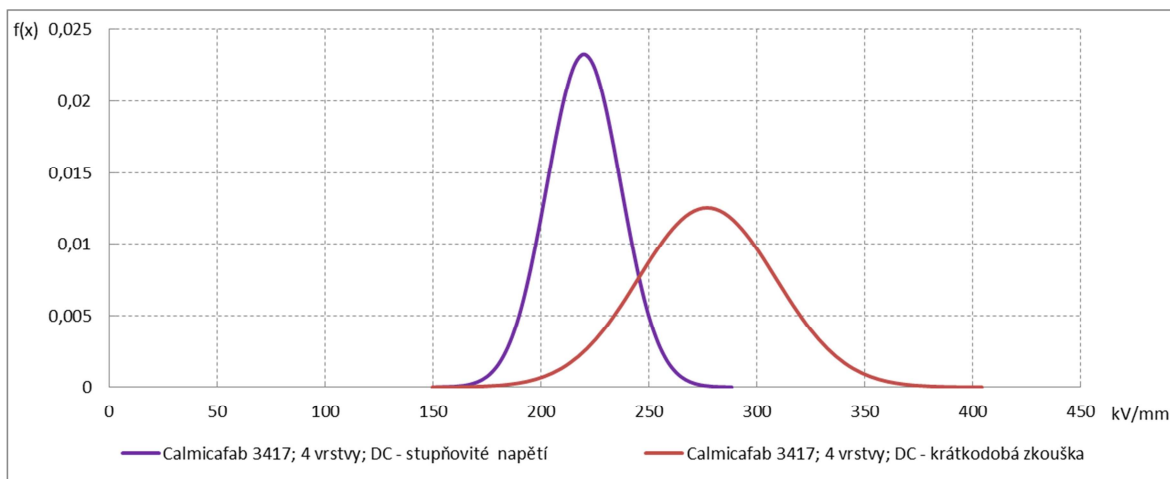
Tab. 6.4 Zkouška stejnosměrným napětím - Calmicafab; 4 vrstvy

Calmicafab 3417														
Počet vrstev izolace: 4 (2x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
C1	0,424	105	...	248	90	...	212	100	...	236	120	...	283	29,3
F2	0,404	108	...	266	93	...	230	130	...	322	124	...	307	32,7
F3	0,387	99	...	255	105	...	270	118	...	305	118	...	304	35,5
F4	0,386	112	...	290	117	...	302	116	...	301	113	...	293	35,7
F5	0,405	101	...	249	127	...	314	128	...	316	128	...	316	32,5
F6	0,407	112	...	275	109	...	267	97	...	238	102	...	249	32,2
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
C2	0,426	105	11	241	100	7	227	100	3	225	100	15	232	29,0
C3	0,413	90	3	208	80	13	189	90	6	209	90	13	214	31,2
C4	0,401	95	6	228	105	8	254	90	10	218	90	2	213	33,2
C5	0,410	85	2	196	85	1	196	95	8	224	95	1	220	31,7
C6	0,418	100	1	228	105	9	245	100	4	230	105	10	245	30,3
F1	0,415	85	10	199	95	5	220	95	4	219	85	7	197	30,8

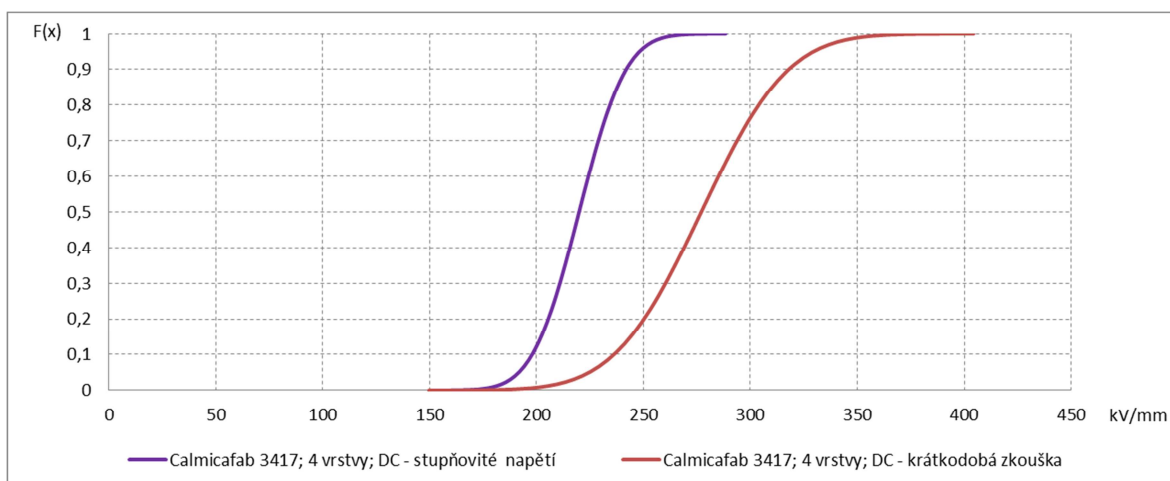
Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 40kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 20s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.4)

Calmicafab 3417; 4 vrstvy; DC - krátkodobá zkouška		Calmicafab 3417; 4 vrstvy; DC - stupňovité napětí	
Sř. hodnota	277	Sř. hodnota	219.875
Chyba sř. hodnoty	6.499	Chyba sř. hodnoty	3.496
Medián	279	Medián	220
Modus	249	Modus	228
Směr. odchylka	31.838	Směr. odchylka	17.127
Rozptyl výběru	1013.652	Rozptyl výběru	293.332
Špičatost	-1.048	Špičatost	-0.511
Šikmost	-0.328	Šikmost	0.039
Rozdíl min. a max.	110	Rozdíl min. a max.	65
Minimum	212	Minimum	189
Maximum	322	Maximum	254
Součet	6648	Součet	5277
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	13.444	Hladina spolehlivosti (95.0%)	7.232
1s	31.838	1s	17.127
2s	63.676	2s	34.254
3s	95.514	3s	51.381
Variační koeficient Vx [%]	11.494	Variační koeficient Vx [%]	7.789
Estř - 3s	181.486	Estř - 3s	168.494
Estř - 2s	213.324	Estř - 2s	185.621
Estř - 1s	245.162	Estř - 1s	202.748
Estř	277.000	Estř	219.875
Estř + 1s	308.838	Estř + 1s	237.002
Estř + 2s	340.676	Estř + 2s	254.129
Estř + 3s	372.514	Estř + 3s	271.256



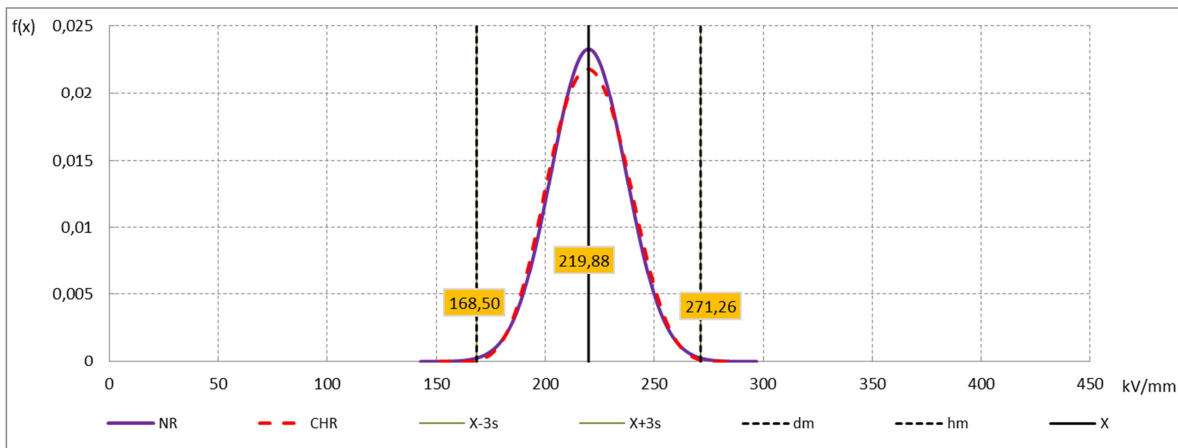
Obr. 6.15 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



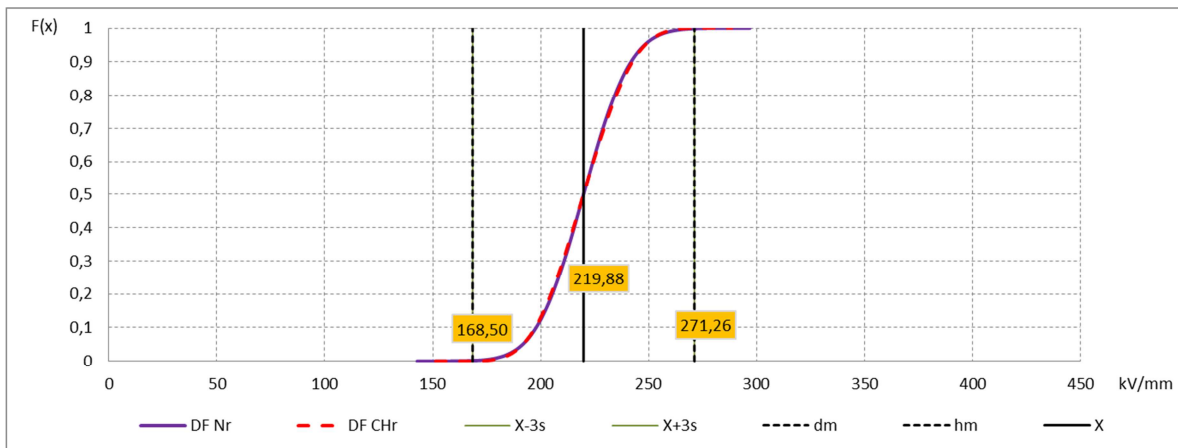
Obr. 6.16 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.15 a 6.16 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.4. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

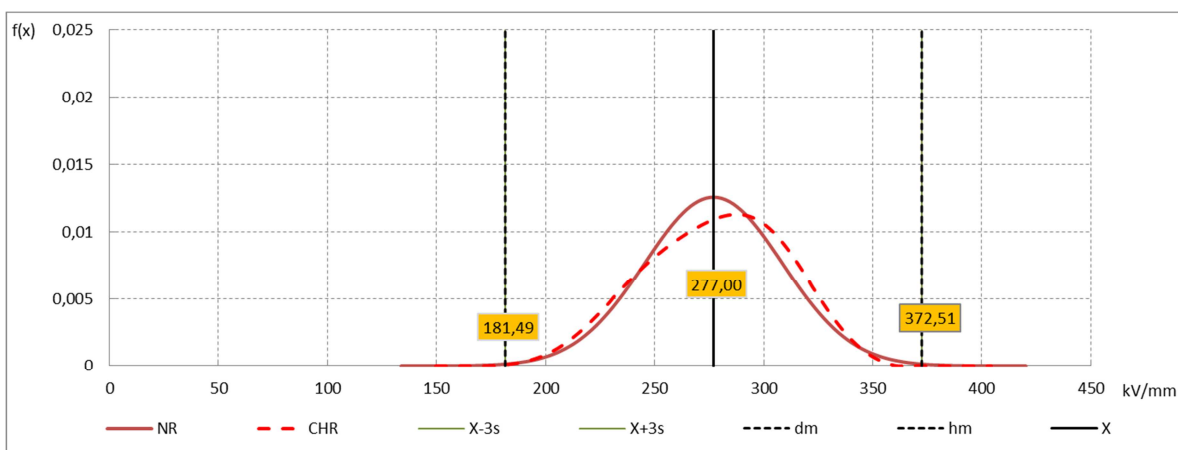
Obr. 6.15 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.16.



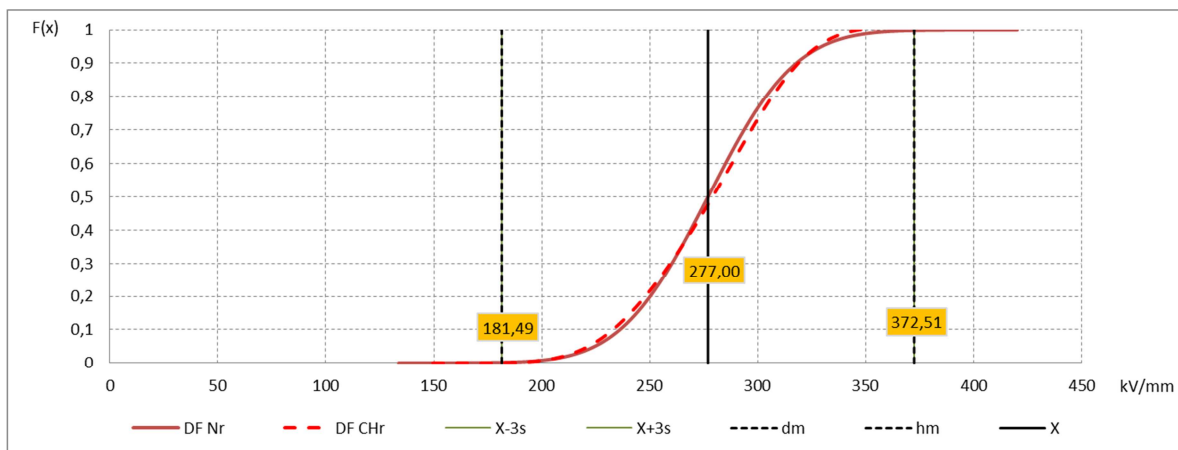
Obr. 6.17 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.18 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



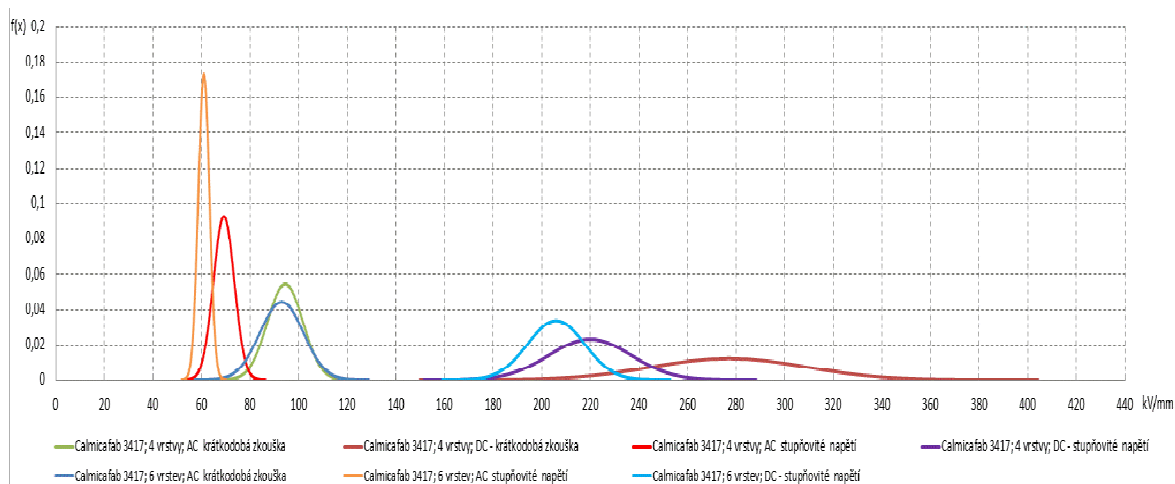
Obr. 6.19 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



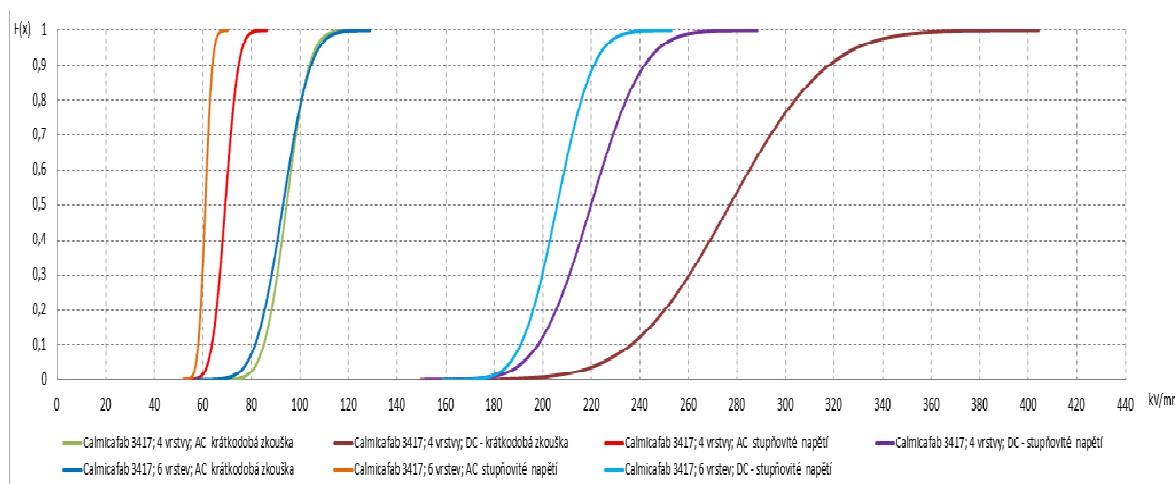
Obr. 6.20 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.17 až 6.20 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.4. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.17 a 6.18 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.19 a 6.20 výsledky krátkodobé zkoušky.

Porovnáním průběhů hustot pravděpodobností a distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení posuzovaných souborů naměřených hodnot (Obr. 6.3 - 6.6, Obr. 6.9 - 6.12, Obr. 6.13 a 6.14, Obr. 6.17 - 6.20) lze považovat za velmi blízké charakteru normálního rozdělení.



Obr. 6.21 Souhrnný graf hustot pravděpodobností normálního rozdělení materiálu Calmicafab



Obr. 6.22 Souhrnný graf jednotlivých distribučních funkcí normálního rozdělení materiálu Calmicafab

II. Zkoušený materiál Relanex

Základní údaje:

izolační materiál Relanex 45.033

průměrná tloušťka pásky 0,20mm

šíře pásky 20mm

teplota v průběhu zkoušení 21 až 22°C

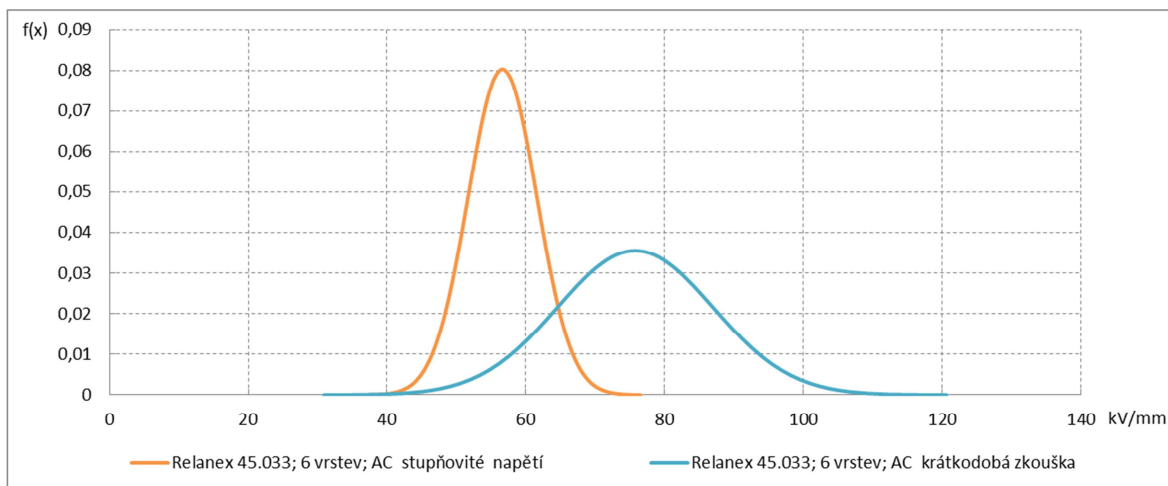
Tab. 6.5 Zkouška střídavým napětím - Relanex; 6 vrstev

Relanex 45.033														
Počet vrstev izolace: 6 (3x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
P1	0,758	60	...	79	44	...	58	44	...	58	43	...	57	36,8
P2	0,768	65	...	85	45	...	59	63	...	82	60	...	78	36,0
P3	0,763	48	...	63	51	...	66	52	...	68	60	...	79	36,4
P4	0,763	60	...	79	53	...	69	54	...	71	58	...	75	36,4
S1	0,801	65	...	81	69	...	86	70	...	87	68	...	85	33,3
S2	0,841	71	...	84	78	...	93	79	...	94	69	...	82	29,9
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
P5	0,777	45	40	56	40	8	46	50	11	59	50	9	59	35,3
P6	0,763	45	14	54	40	56	52	40	8	47	45	18	54	36,4
S3	0,791	45	48	56	45	34	54	45	58	57	45	15	52	34,1
S4	0,798	55	8	63	45	52	56	50	1	56	50	5	57	33,5
S5	0,854	55	60	64	60	15	66	55	28	61	55	58	64	28,8
S6	0,823	50	60	61	50	15	56	50	5	55	45	55	54	31,4

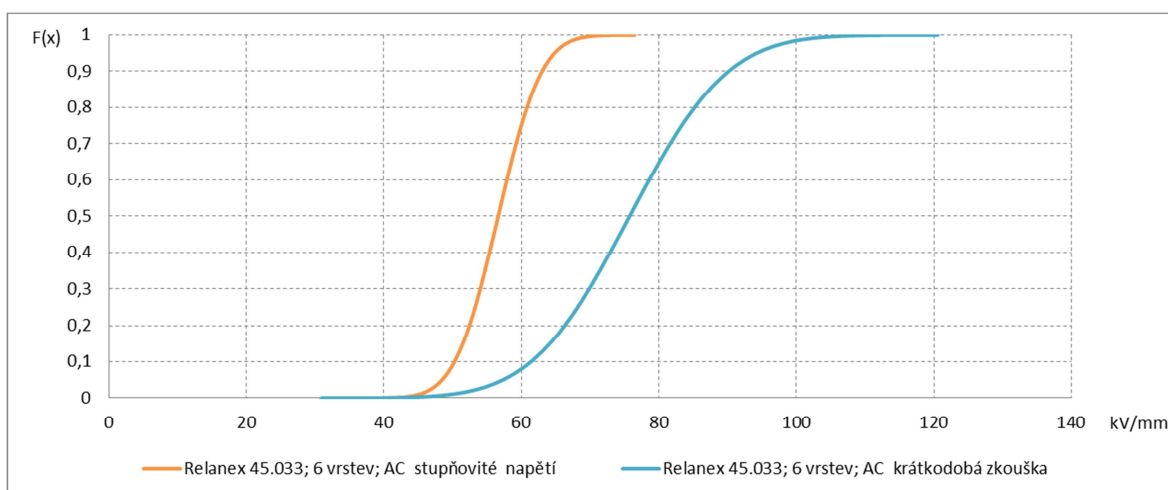
Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 25kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 60s

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.5)

Relanex 45.033; 6 vrstev; AC krátkodobá zkouška		Relanex 45.033; 6 vrstev; AC stupňovité napětí	
Stř. hodnota	75.750	Stř. hodnota	56.625
Chyba stř. hodnoty	2.289	Chyba stř. hodnoty	1.014
Medián	79	Medián	56
Modus	79	Modus	56
Směr. odchylka	11.214	Směr. odchylka	4.968
Rozptyl výběru	125.761	Rozptyl výběru	24.679
Špičatost	-0.963	Špičatost	0.137
Šikmost	-0.328	Šikmost	-0.111
Rozdíl min. a max.	37	Rozdíl min. a max.	20
Minimum	57	Minimum	46
Maximum	94	Maximum	66
Součet	1818	Součet	1359
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	4.735	Hladina spolehlivosti (95.0%)	2.098
1s	11.214	1s	4.968
2s	22.429	2s	9.936
3s	33.643	3s	14.903
Variační koeficient V_x [%]	14.804	Variační koeficient V_x [%]	8.773
Estř - 3s	42.107	Estř - 3s	41.722
Estř - 2s	53.321	Estř - 2s	46.689
Estř - 1s	64.536	Estř - 1s	51.657
Estř	75.750	Estř	56.625
Estř + 1s	86.964	Estř + 1s	61.593
Estř + 2s	98.179	Estř + 2s	66.561
Estř + 3s	109.393	Estř + 3s	71.528



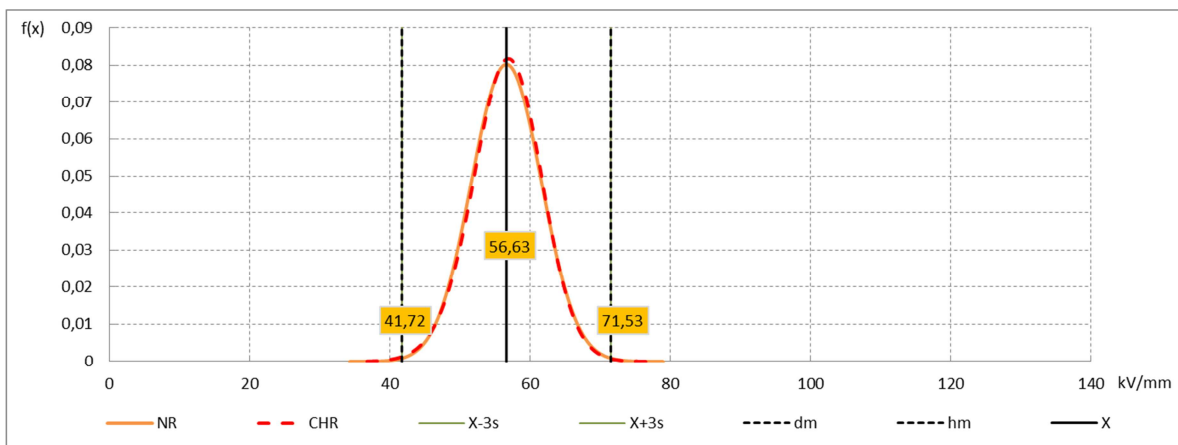
Obr. 6.23 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



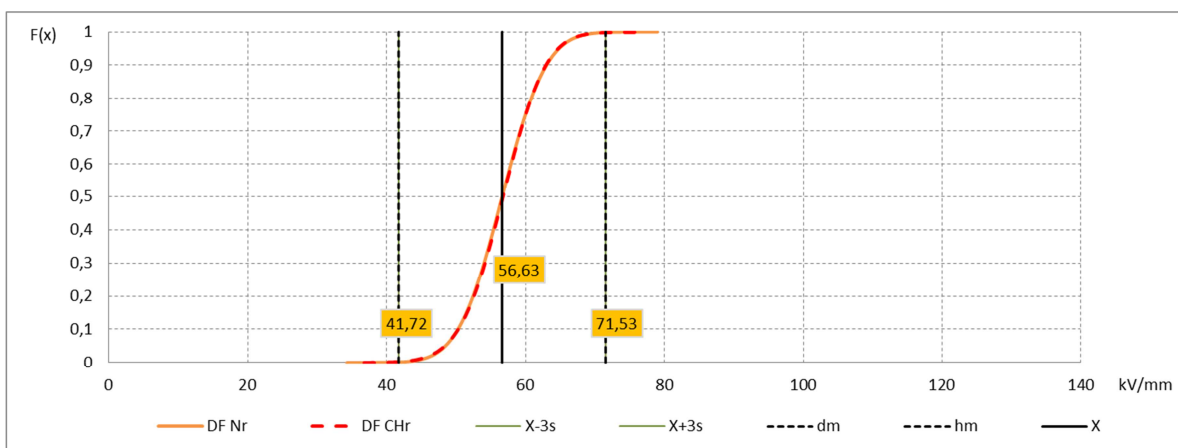
Obr. 6.24 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.23 a 6.24 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.5. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

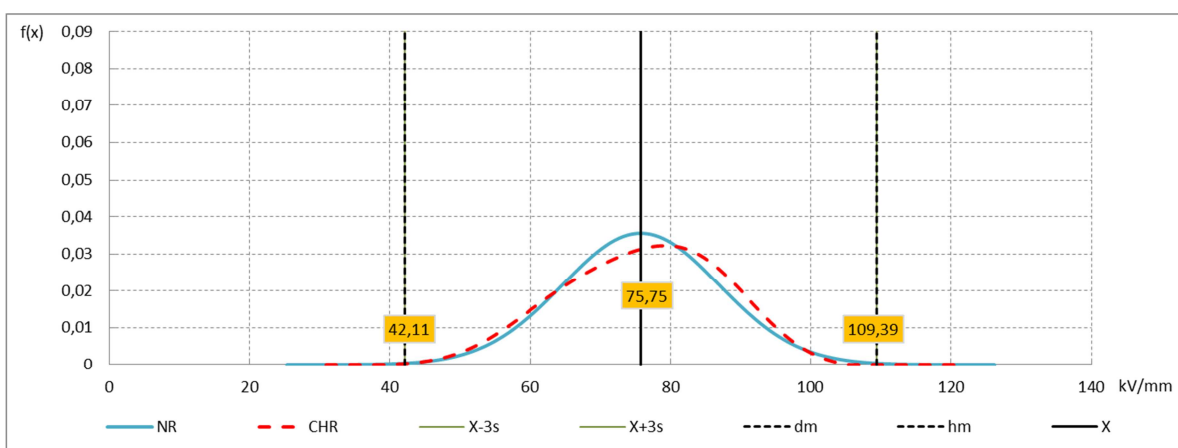
Obr. 6.23 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.24.



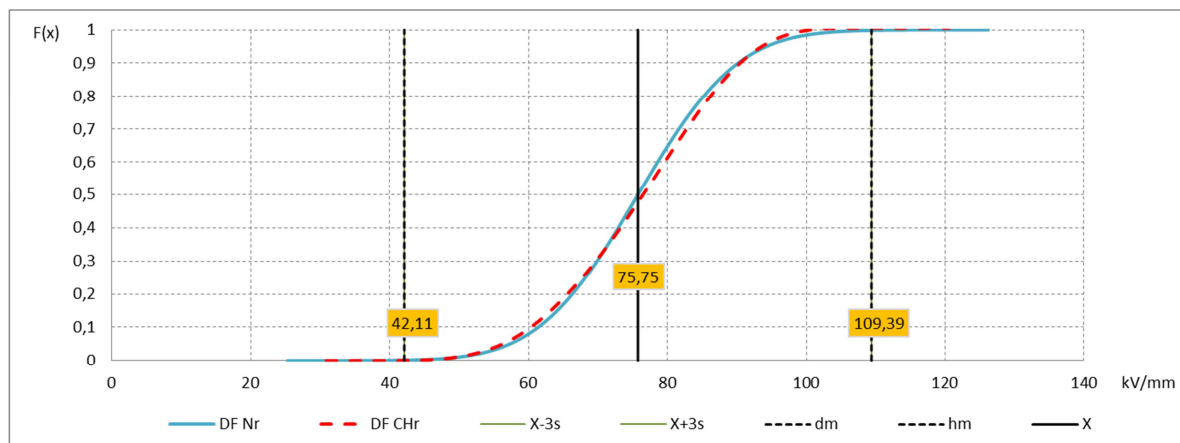
Obr. 6.25 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.26 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.27 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.28 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.25 až 6.28 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.5. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.25 a 6.26 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.27 a 6.28 výsledky krátkodobé zkoušky.

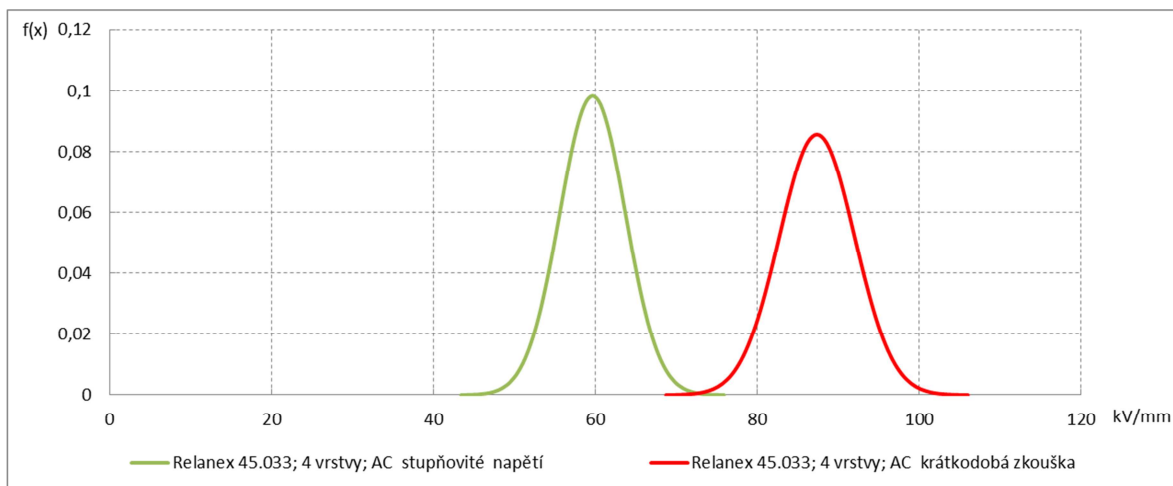
Tab. 6.6 Zkouška střídavým napětím - Relanex; 4 vrstvy

Relanex 45.033														
Počet vrstev izolace: 4 (2x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
H1	0,501	44	...	88	45	...	91	44	...	87	39	...	78	37,4
I1	0,507	46	...	90	44	...	87	48	...	94	40	...	79	36,6
I2	0,523	47	...	90	44	...	84	47	...	90	43	...	82	34,6
I3	0,536	47	...	88	45	...	84	51	...	95	49	...	91	33,0
I4	0,514	43	...	84	46	...	90	44	...	86	48	...	93	35,8
I5	0,532	49	...	92	48	...	90	43	...	81	44	...	83	33,5
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
H2	0,511	30	9	57	30	16	58	34	4	63	30	7	56	36,1
H3	0,540	36	13	65	34	5	60	30	3	52	34	11	61	32,5
H4	0,503	36	11	70	34	10	66	32	6	61	28	11	54	37,1
H5	0,510	32	7	60	32	10	61	34	3	63	32	9	61	36,3
H6	0,546	32	10	57	32	12	57	32	17	58	30	16	54	31,8
I6	0,544	32	19	59	32	8	57	34	10	61	34	10	61	32,0

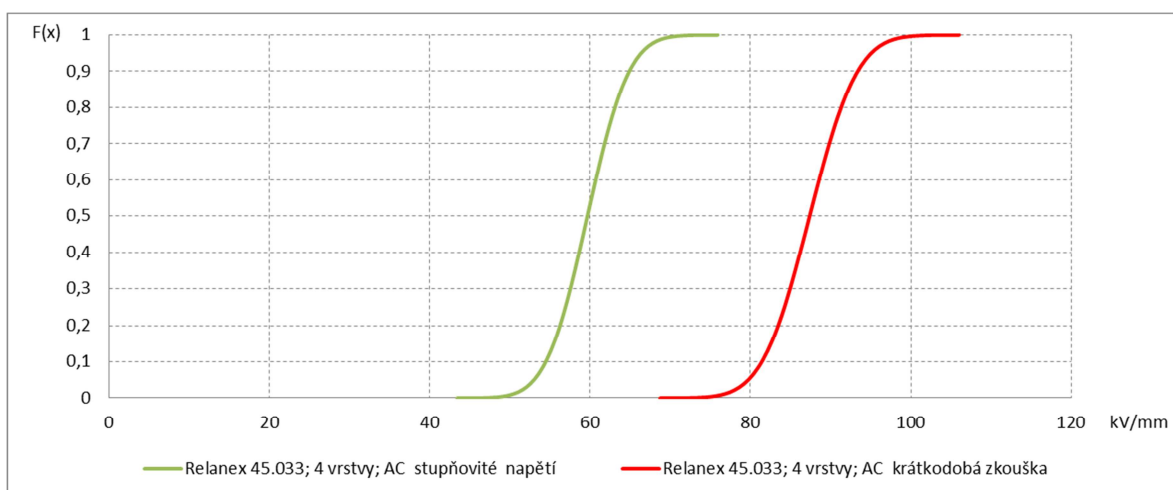
Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 16kV; přírůstek 2kV, čas jednoho stupně 20s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.6)

Relanex 45.033; 4 vrstvy; AC krátkodobá zkouška		Relanex 45.033; 4 vrstvy; AC stupňovité napětí	
Stř. hodnota	87.375	Stř. hodnota	59.667
Chyba stř. hodnoty	0.951	Chyba stř. hodnoty	0.829
Medián	88	Medián	60
Modus	90	Modus	61
Směr. odchylka	4.661	Směr. odchylka	4.061
Rozptyl výběru	21.723	Rozptyl výběru	16.493
Špičatost	-0.654	Špičatost	0.717
Šikmost	-0.389	Šikmost	0.459
Rozdíl min. a max.	17	Rozdíl min. a max.	18
Minimum	78	Minimum	52
Maximum	95	Maximum	70
Součet	2097	Součet	1432
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	1.968	Hladina spolehlivosti (95.0%)	1.715
1s	4.661	1s	4.061
2s	9.322	2s	8.122
3s	13.982	3s	12.183
Variační koeficient Vx [%]	5.334	Variační koeficient Vx [%]	6.806
Estř - 3s	73.393	Estř - 3s	47.483
Estř - 2s	78.053	Estř - 2s	51.544
Estř - 1s	82.714	Estř - 1s	55.606
Estř	87.375	Estř	59.667
Estř + 1s	92.036	Estř + 1s	63.728
Estř + 2s	96.697	Estř + 2s	67.789
Estř + 3s	101.357	Estř + 3s	71.850



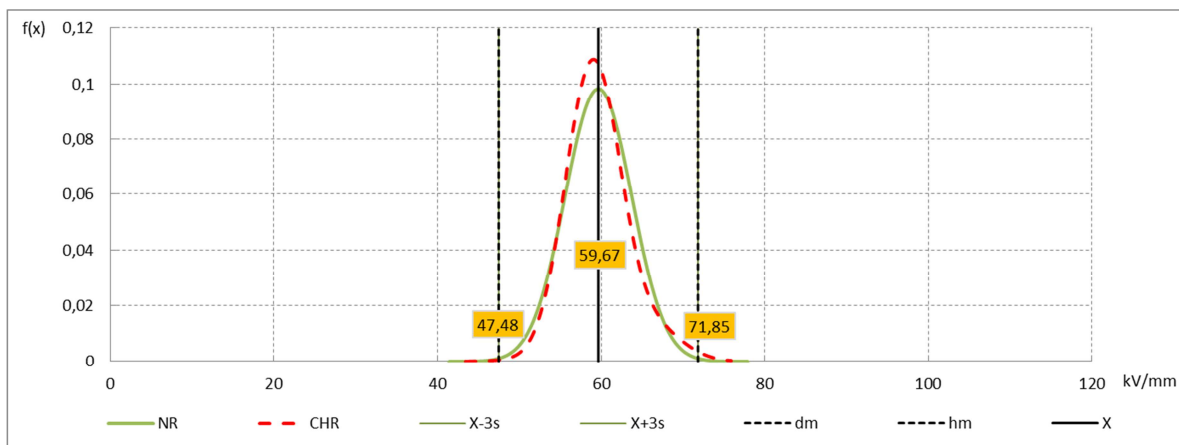
Obr. 6.29 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



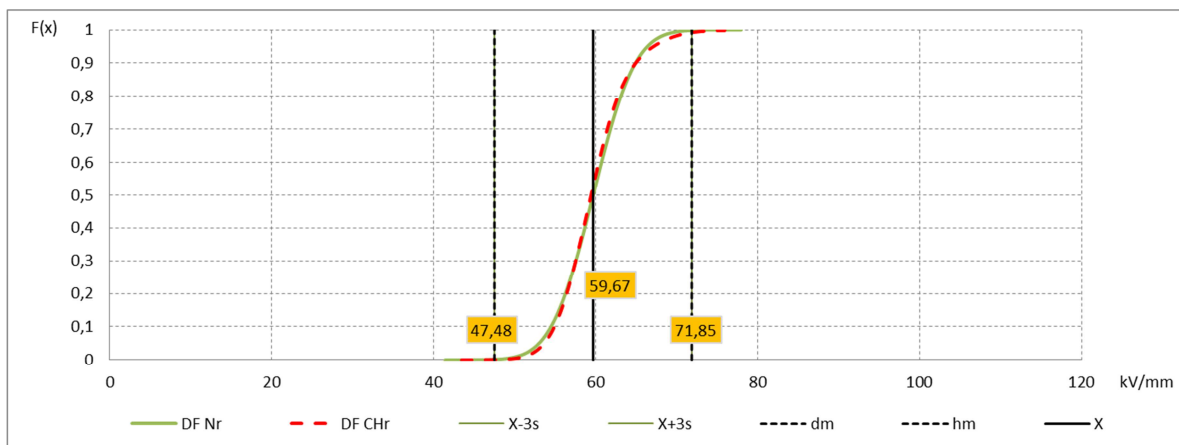
Obr. 6.30 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.29 a 6.30 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.6. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

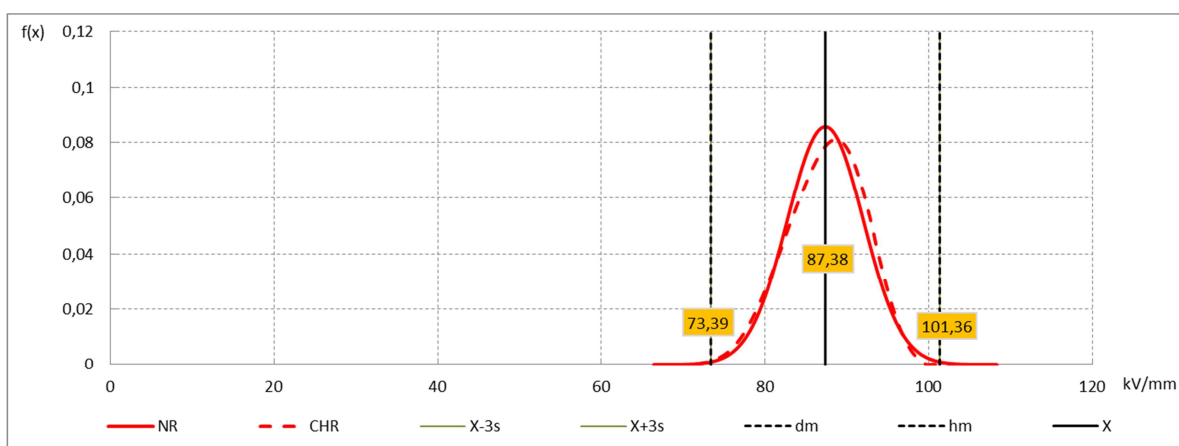
Obr. 6.29 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.30.



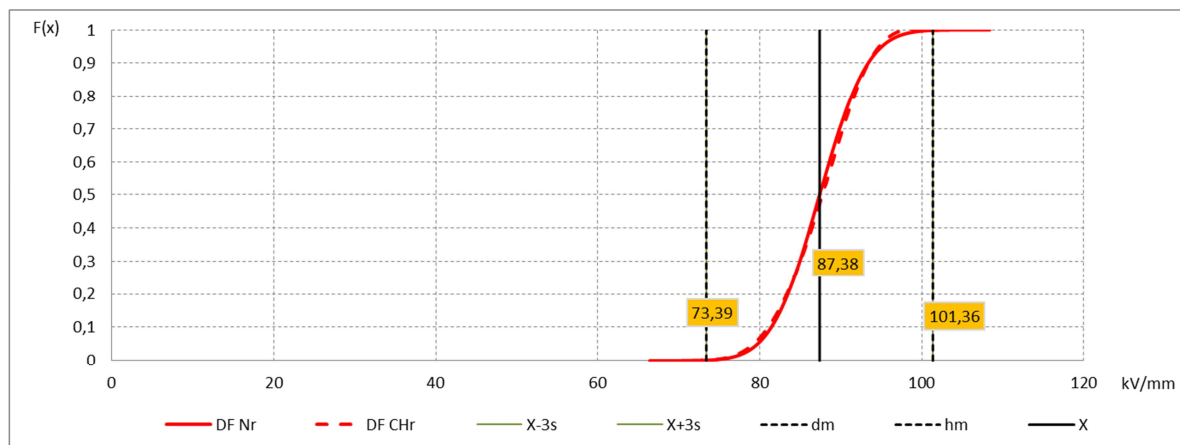
Obr. 6.31 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.32 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.33 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.34 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.31 až 6.34 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.6. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.31 a 6.32 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.33 a 6.34 výsledky krátkodobé zkoušky.

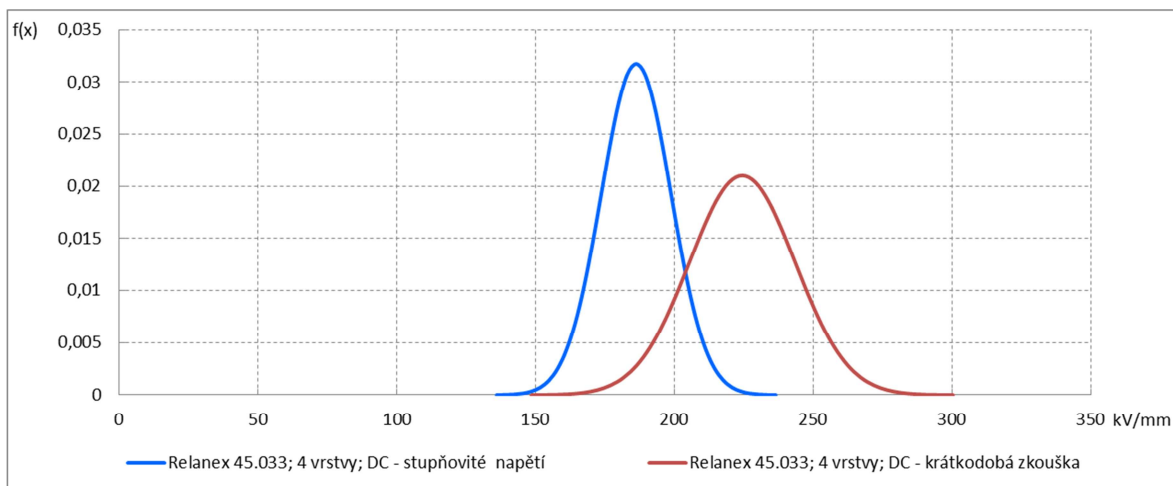
Tab. 6.7 Zkouška stejnosměrným napětím - Relanex; 4 vrstvy

Relanex 45.033														
Počet vrstev izolace: 4 (2x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
CH1	0,532	101	...	190	102	...	192	109	...	205	110	...	207	33,5
J1	0,496	115	...	232	124	...	250	102	...	206	114	...	230	38,0
J2	0,499	122	...	244	122	...	243	119	...	238	121	...	241	37,6
J3	0,519	123	...	237	116	...	224	115	...	221	104	...	200	35,1
J4	0,504	108	...	214	101	...	199	109	...	216	118	...	234	37,0
J5	0,495	115	...	232	118	...	238	126	...	255	119	...	240	38,1
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
CH2	0,521	105	1	192	95	6	176	95	12	179	95	10	178	34,9
CH3	0,496	80	20	161	85	10	166	95	6	184	100	11	197	38,0
CH4	0,503	95	8	183	90	20	179	90	20	179	90	8	173	37,1
CH5	0,496	95	5	184	95	10	186	105	1	202	95	1	182	38,0
CH6	0,509	105	13	203	100	14	194	100	8	191	95	5	179	36,4
J6	0,524	110	17	208	105	19	200	100	7	185	115	1	210	34,5

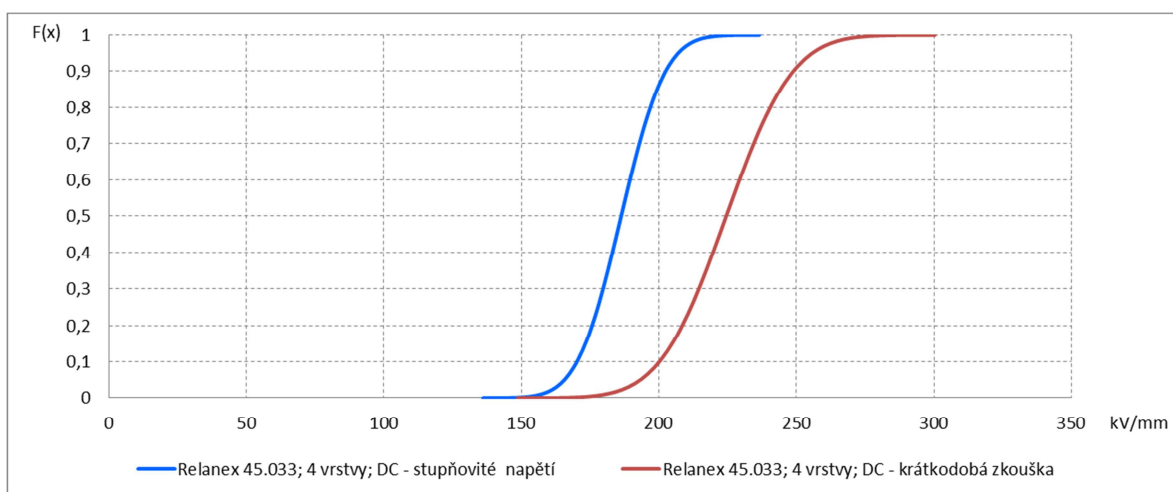
První polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 40kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 20s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.7)

Relanex 45.033; 4 vrstvy; DC - krátkodobá zkouška		Relanex 45.033; 4 vrstvy; DC - stupňovité napětí	
Stř. hodnota	224.500	Stř. hodnota	186.292
Chyba stř. hodnoty	3.875	Chyba stř. hodnoty	2.565
Medián	231	Medián	184
Modus	232	Modus	179
Směr. odchylka	18.985	Směr. odchylka	12.568
Rozptyl výběru	360.435	Rozptyl výběru	157.955
Špičatost	-1.055	Špičatost	-0.339
Šikmost	-0.360	Šikmost	0.153
Rozdíl min. a max.	65	Rozdíl min. a max.	49
Minimum	190	Minimum	161
Maximum	255	Maximum	210
Součet	5388	Součet	4471
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	8.017	Hladina spolehlivosti (95.0%)	5.307
1s	18.985	1s	12.568
2s	37.970	2s	25.136
3s	56.955	3s	37.704
Variační koeficient Vx [%]	8.457	Variační koeficient Vx [%]	6.746
Estř - 3s	167.545	Estř - 3s	148.588
Estř - 2s	186.530	Estř - 2s	161.156
Estř - 1s	205.515	Estř - 1s	173.724
Estř	224.500	Estř	186.292
Estř + 1s	243.485	Estř + 1s	198.860
Estř + 2s	262.470	Estř + 2s	211.428
Estř + 3s	281.455	Estř + 3s	223.996



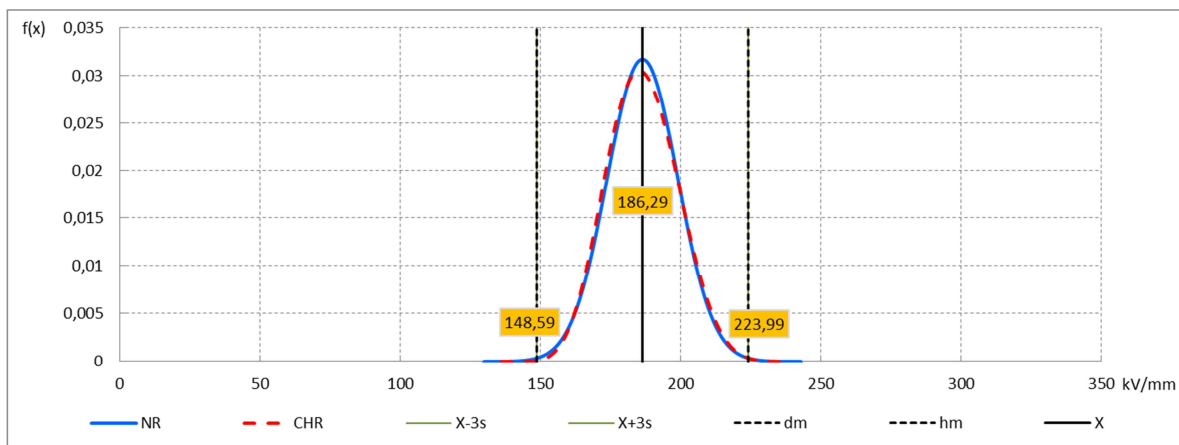
Obr. 6.35 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



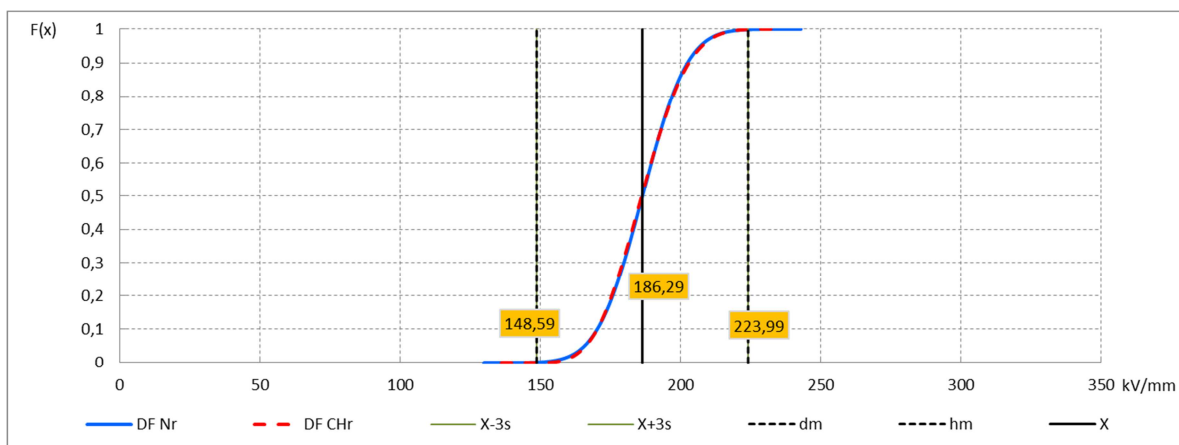
Obr. 6.36 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.35 a 6.36 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.7. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

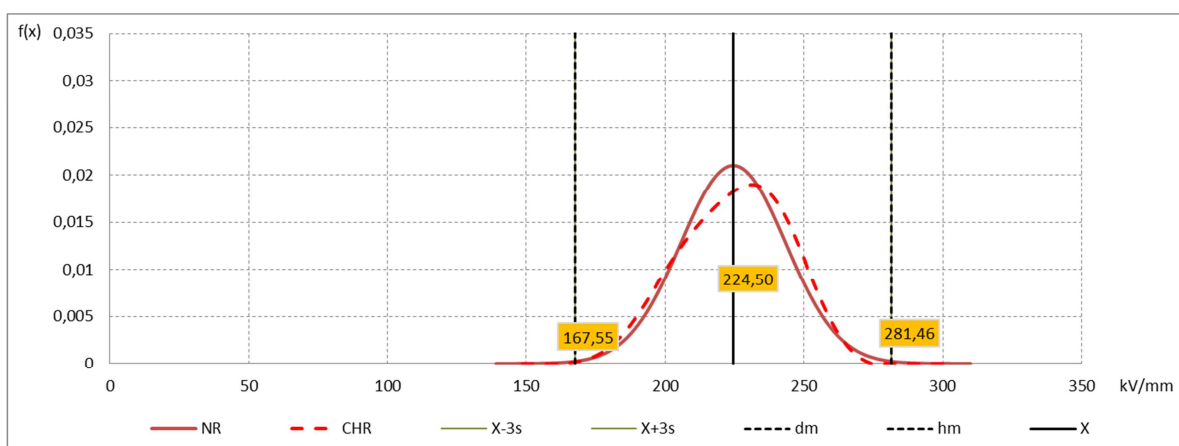
Obr. 6.35 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.36.



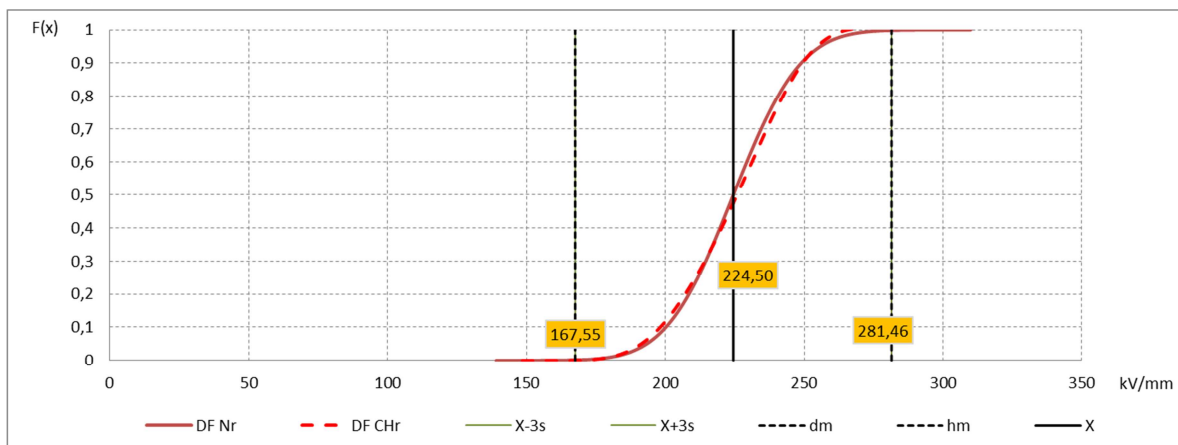
Obr. 6.37 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.38 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



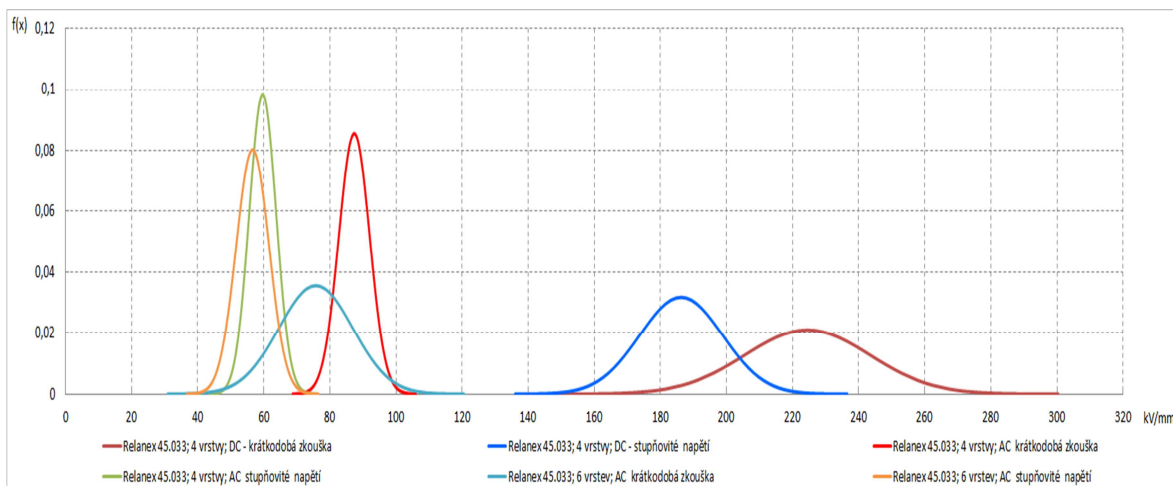
Obr. 6.39 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



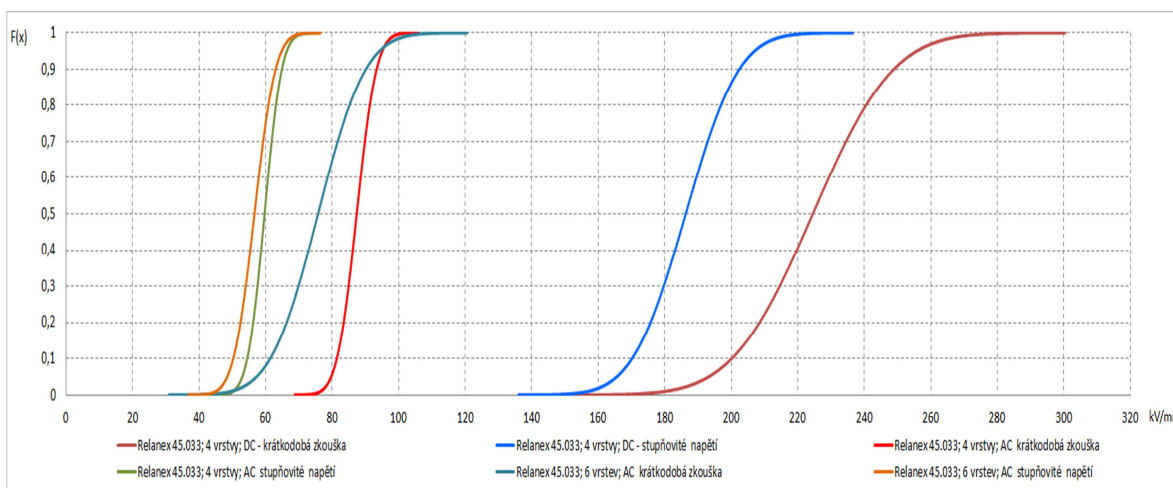
Obr. 6.40 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.37 až 6.40 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.7. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.37 a 6.38 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.39 a 6.40 výsledky krátkodobé zkoušky.

Porovnáním průběhů hustot pravděpodobností a distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení posuzovaných souborů naměřených hodnot (Obr. 6.25 - 6.28, Obr. 6.31 - 6.34, Obr. 6.37 - 6.40) lze považovat za velmi blízké charakteru normálního rozdělení.



Obr. 6.41 Souhrnný graf hustot pravděpodobností normálního rozdělení materiálu Relanex



Obr. 6.42 Souhrnný graf jednotlivých distribučních funkcí normálního rozdělení materiálu Relanex

III. Zkoušený materiál Relastik

Základní údaje:

izolační materiál Relastik 45.036

průměrná tloušťka pásky 0,17mm

šíře pásky 20mm

teplota v průběhu zkoušení 21 až 23°C

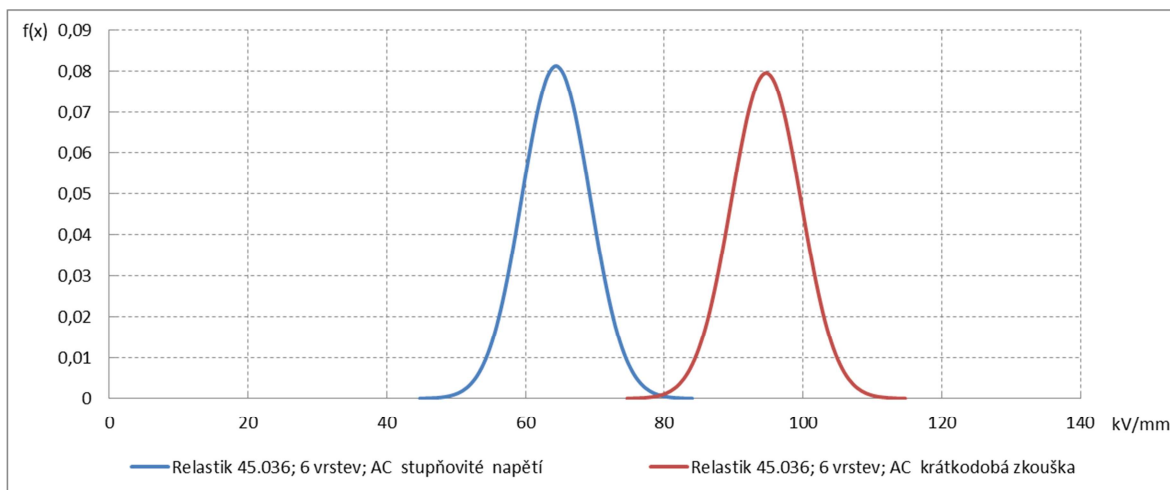
Tab. 6.8 Zkouška střídavým napětím - Relastik; 6 vrstev

Relastik 45.036														
Počet vrstev izolace: 6 (3x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
T1	0,78	75		96	78		100	70		90	73		94	23,5
T2	0,80	69		86	82		102	84		105	79		98	21,3
T3	0,79	73		93	72		92	69		88	77		98	23,0
U1	0,78	70		90	75		97	75		97	73		94	23,8
U2	0,81	81		100	81		100	77		95	74		91	20,2
U3	0,79	69		87	78		98	73		92	71		89	22,2
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
T4	0,78	50	30	67	50	17	63	50	13	62	50	6	60	23,5
T5	0,80	55	1	63	55	13	67	50	15	61	50	44	70	21,7
T6	0,79	50	53	74	45	55	68	45	50	67	55	12	67	22,6
U4	0,79	50	23	64	45	50	67	45	23	58	45	22	58	22,8
U5	0,81	55	16	67	55	1	62	50	12	59	50	10	59	20,7
U6	0,79	50	5	59	50	10	60	50	31	67	50	59	76	22,5

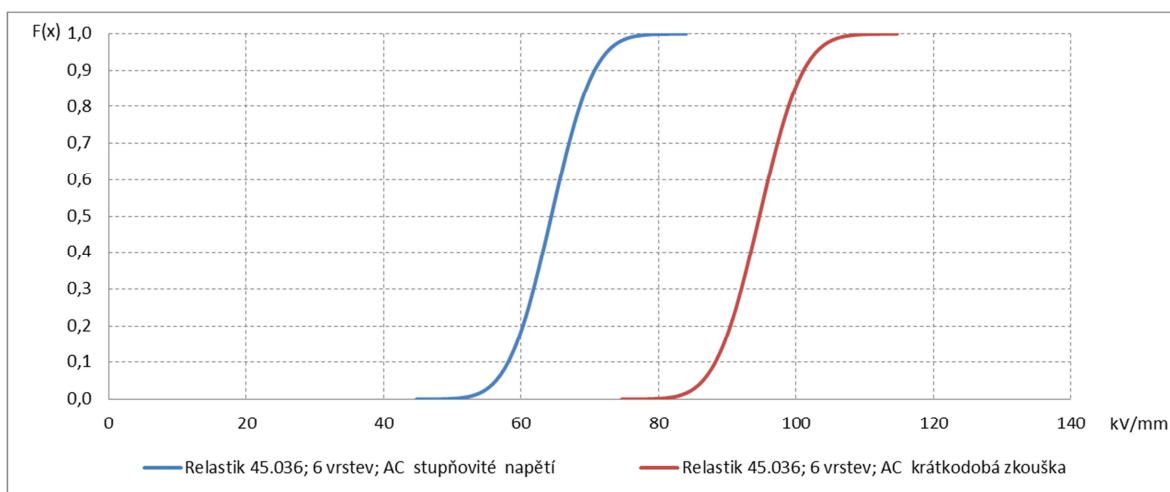
Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 25kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 60s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.8)

Relastik 45.036; 6 vrstev; AC krátkodobá zkouška		Relastik 45.036; 6 vrstev; AC stupňovité napětí	
Stř. hodnota	94.667	Stř. hodnota	64.375
Chyba stř. hodnoty	1.023	Chyba stř. hodnoty	1.001
Medián	94.5	Medián	63.5
Modus	100	Modus	67
Směr. odchylka	5.010	Směr. odchylka	4.906
Rozptyl výběru	25.101	Rozptyl výběru	24.071
Špičatost	-0.702	Špičatost	-0.015
Šikmost	0.082	Šikmost	0.640
Rozdíl min. a max.	19	Rozdíl min. a max.	18
Minimum	86	Minimum	58
Maximum	105	Maximum	76
Součet	2272	Součet	1545
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	2.116	Hladina spolehlivosti (95.0%)	2.072
1s	5.010	1s	4.906
2s	10.020	2s	9.812
3s	15.030	3s	14.719
Variační koeficient Vx [%]	5.292	Variační koeficient Vx [%]	7.621
Estř - 3s	79.636	Estř - 3s	49.656
Estř - 2s	84.646	Estř - 2s	54.563
Estř - 1s	89.657	Estř - 1s	59.469
Estř	94.667	Estř	64.375
Estř + 1s	99.677	Estř + 1s	69.281
Estř + 2s	104.687	Estř + 2s	74.187
Estř + 3s	109.697	Estř + 3s	79.094



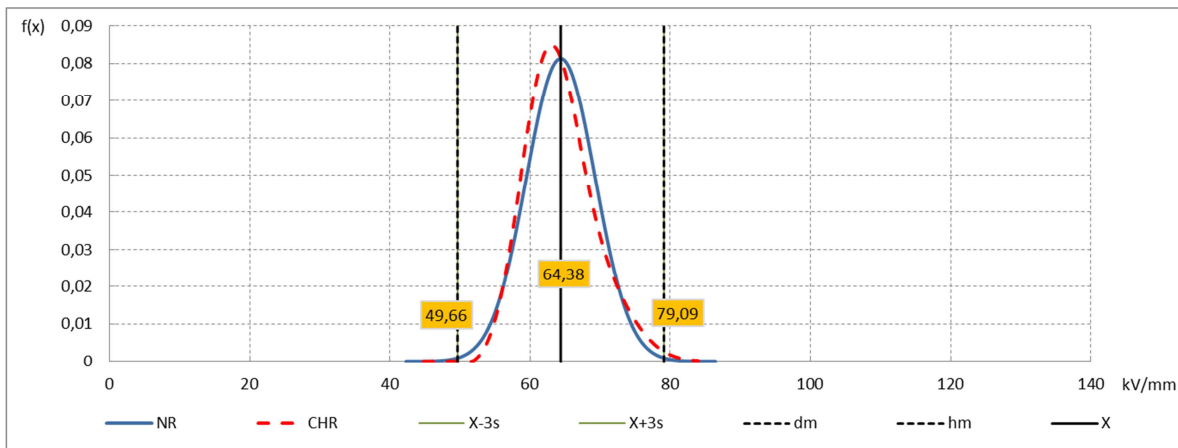
Obr. 6.43 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



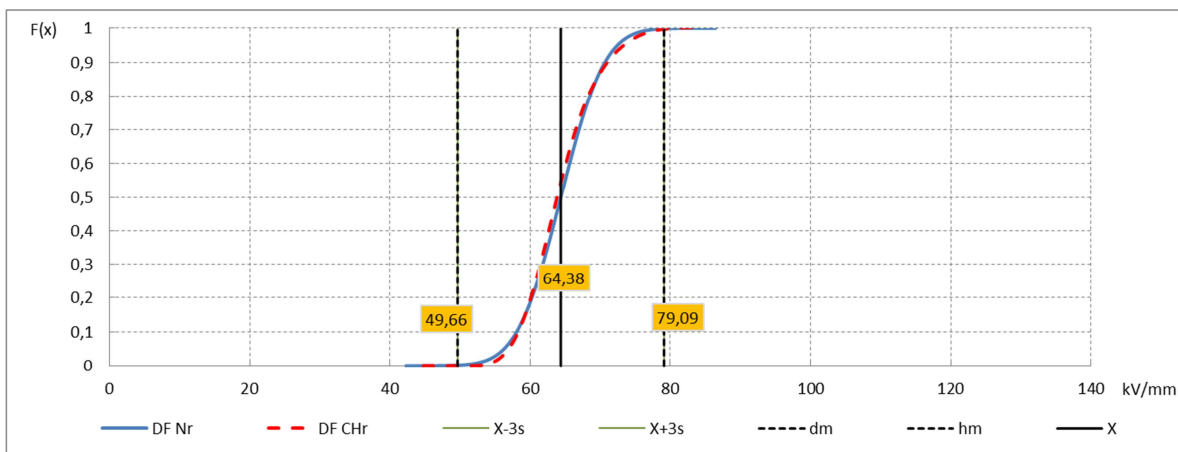
Obr. 6.44 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.43 a 6.44 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.8. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

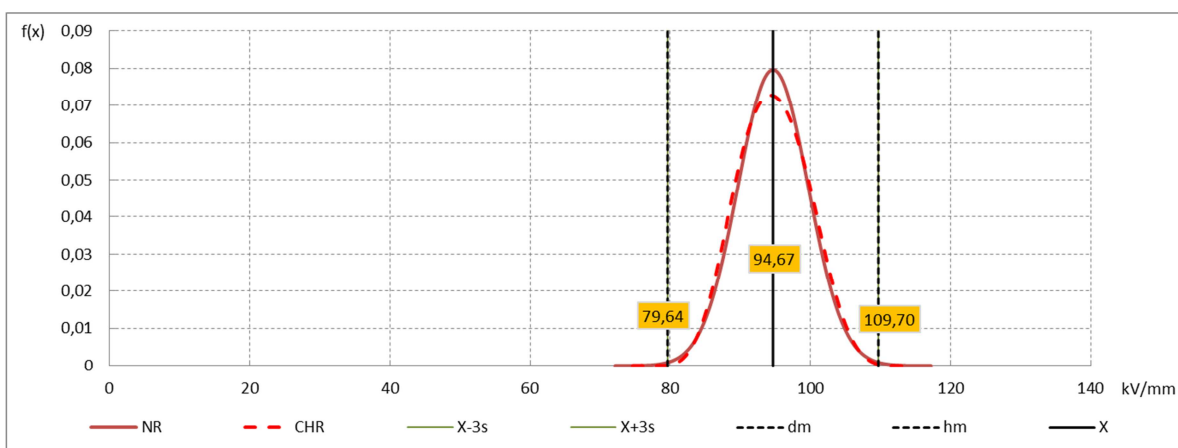
Obr. 6.43 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.44.



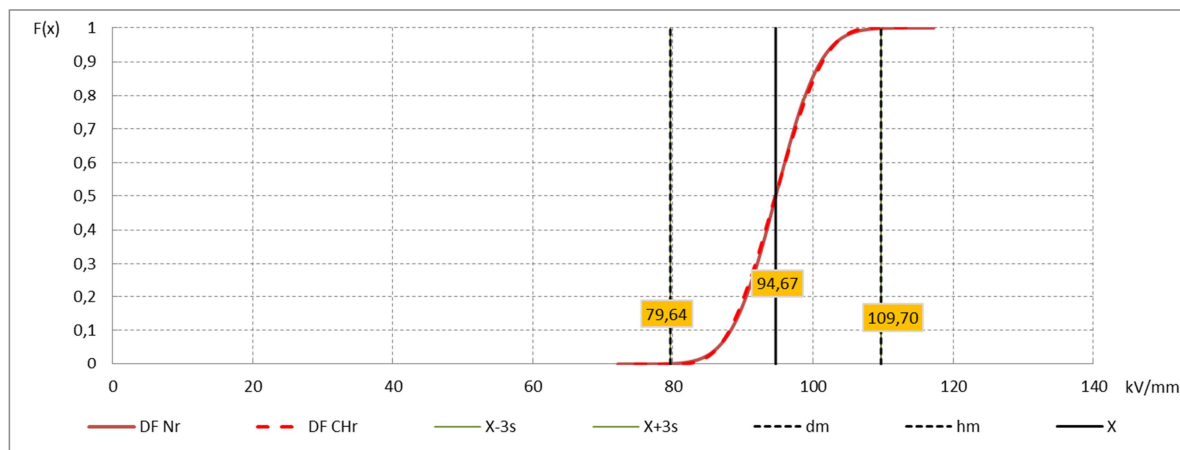
Obr. 6.45 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.46 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.47 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.48 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.45 až 6.48 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.8. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.45 a 6.46 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.47 a 6.48 výsledky krátkodobé zkoušky.

Tab. 6.9 Zkouška střídavým napětím - Relastik; 4 vrstvy

Relastik 45.036														
Počet vrstev izolace: 4 (2x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
G1	0,55	54		97	51		92	49		88	48		87	18,5
G2	0,53	50		94	47		88	47		88	47		88	21,5
G3	0,55	53		97	54		99	49		90	52		95	19,6
K1	0,52	46		88	45		86	48		92	45		86	23,2
K2	0,54	54		101	49		91	46		86	47		88	21,2
K3	0,55	49		90	49		90	47		86	46		84	19,7
Zkušební vzorek	Tloušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
G4	0,54	32	12	58	32	15	59	32	5	57	34	12	62	21,2
G5	0,55	38	11	67	38	1	65	38	13	67	40	14	71	18,5
G6	0,55	34	20	62	32	4	56	34	1	59	36	20	66	19,6
K4	0,53	34	8	62	36	2	65	32	20	61	32	6	58	22,8
K5	0,53	36	18	67	36	20	68	36	1	64	32	16	59	21,6
K6	0,55	36	4	63	34	5	59	32	8	56	32	11	57	19,3

Horní polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí krátkodobé zkoušky. Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 16kV; přírůstek 2kV, čas jednoho stupně 20s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.9)

Relastik 45.036; 4 vrstvy; AC krátkodobá zkouška

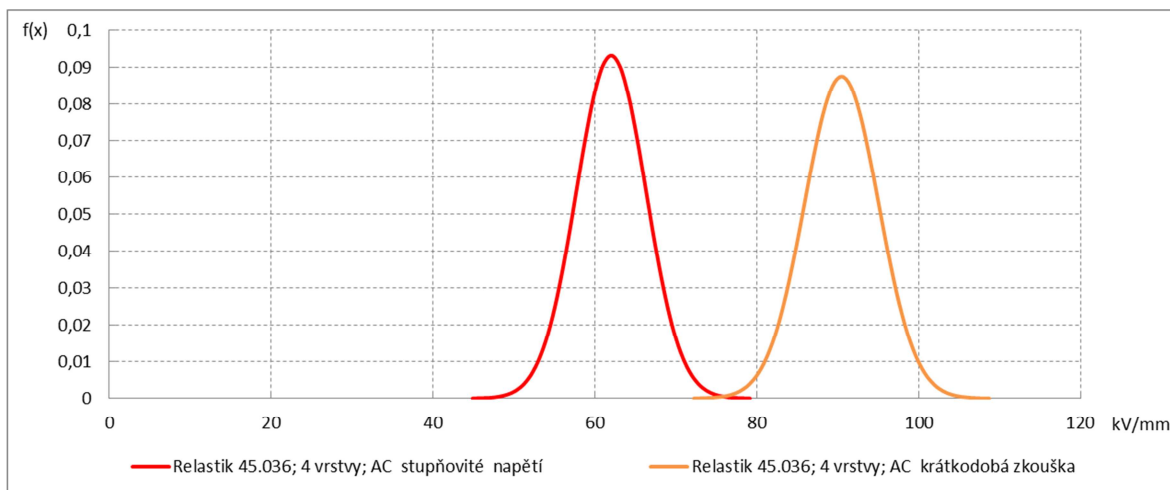
Stř. hodnota	90.458
Chyba stř. hodnoty	0.931
Medián	89
Modus	88
Směr. odchylka	4.559
Rozptyl výběru	20.781
Špičatost	-0.086
Šikmost	0.874
Rozdíl min. a max.	17
Minimum	84
Maximum	101
Součet	2171
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	1.925
1s	4.559
2s	9.117
3s	13.676
Variační koeficient Vx [%]	5.039

Relastik 45.036; 4 vrstvy; AC stupňovité napětí

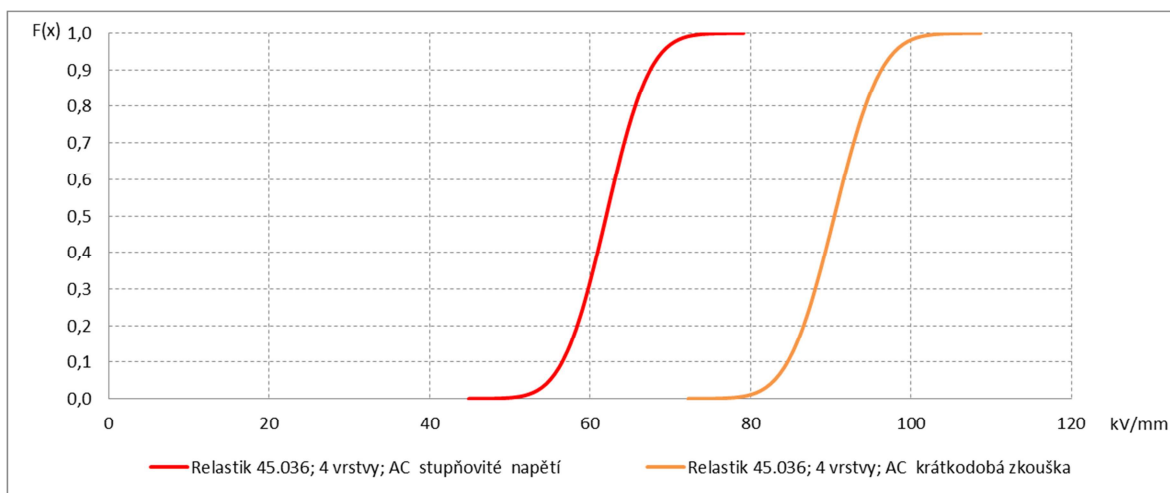
Stř. hodnota	62.000
Chyba stř. hodnoty	0.874
Medián	62
Modus	59
Směr. odchylka	4.283
Rozptyl výběru	18.348
Špičatost	-0.945
Šikmost	0.319
Rozdíl min. a max.	15
Minimum	56
Maximum	71
Součet	1488
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	1.809
1s	4.283
2s	8.567
3s	12.850
Variační koeficient Vx [%]	6.909

Estř - 3s	76.783
Estř - 2s	81.341
Estř - 1s	85.900
Estř	90.458
Estř + 1s	95.017
Estř + 2s	99.576
Estř + 3s	104.134

Estř - 3s	49.150
Estř - 2s	53.433
Estř - 1s	57.717
Estř	62.000
Estř + 1s	66.283
Estř + 2s	70.567
Estř + 3s	74.850



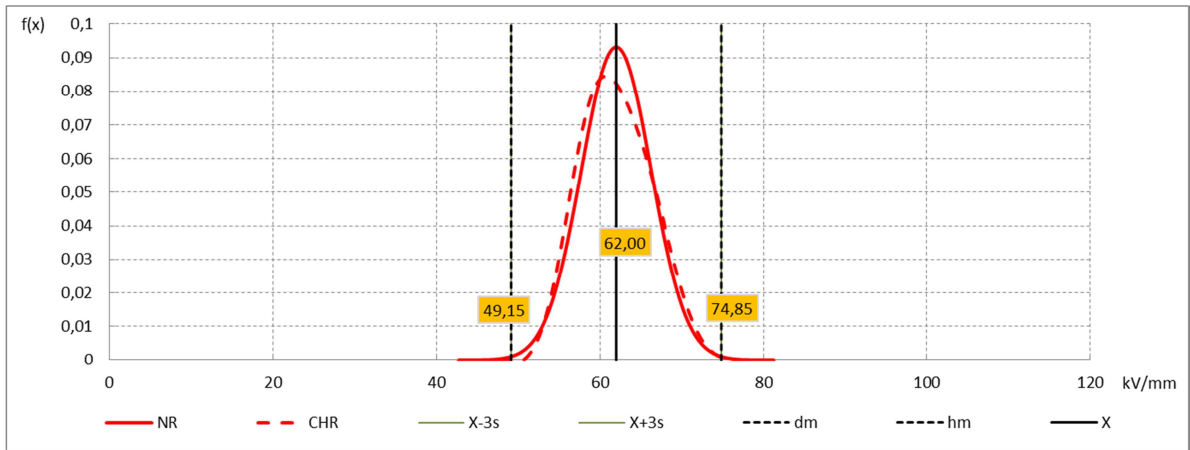
Obr. 6.49 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení



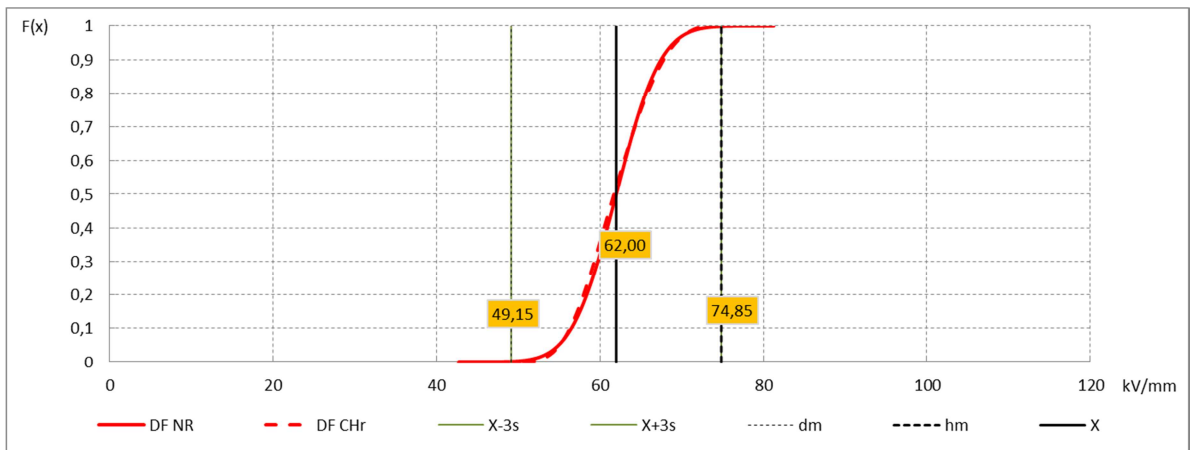
Obr. 6.50 Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení

Grafy Obr. 6.49 a 6.50 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.9. Oba obrázky slouží pro porovnání výsledků krátkodobé zkoušky a zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí.

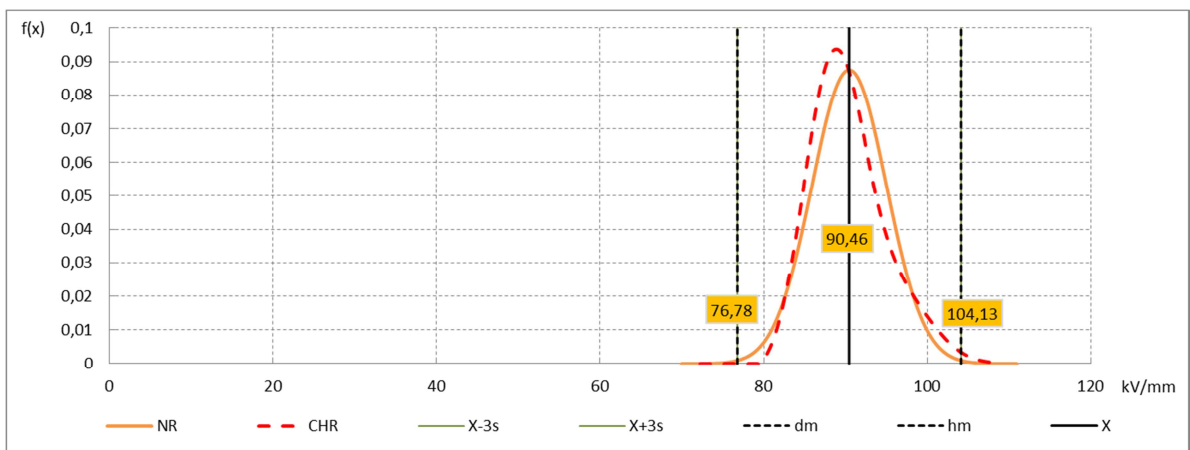
Obr. 6.49 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.50.



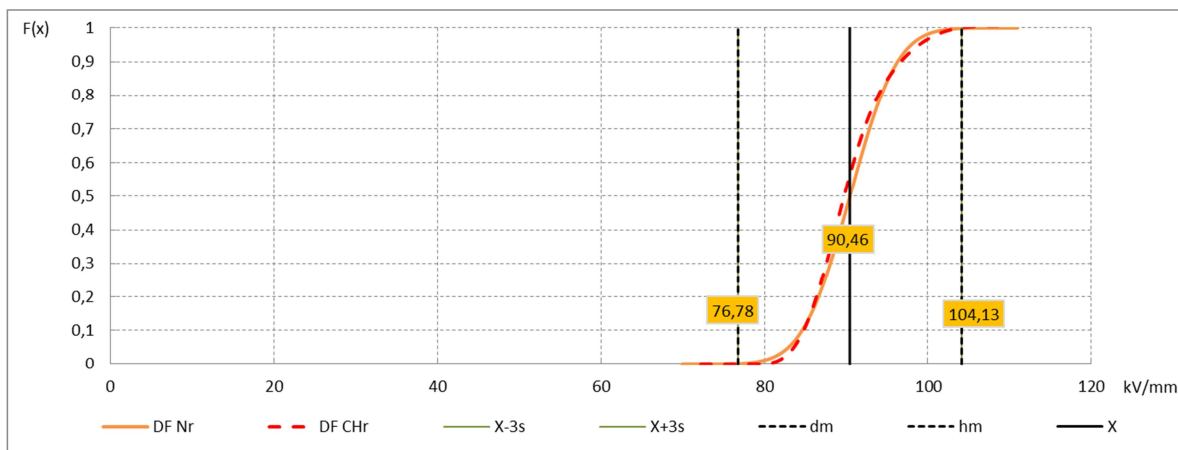
Obr. 6.51 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.52 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.53 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



Obr. 6.54 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.51 až 6.54 vycházejí z hodnot elektrické pevnosti vyhodnocených v tabulce 6.9. Uvedené obrázky slouží pro porovnání hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení a jejich distribučních funkcí. Obr. 6.51 a 6.52 znázorňují výsledky zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí a Obr. 6.53 a 6.54 výsledky krátkodobé zkoušky.

Tab. 6.10 Zkouška stejnosměrným napětím - Relastik; 4 vrstvy

Relastik 45.036														
Počet vrstev izolace: 4 (2x s 1/2 překr.)														
Zkušební vzorek	Ploušťka vzorku [mm]	Up I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Up II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Up III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Up IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
Zkušební vzorek	Ploušťka vzorku [mm]	Ups I. [kV]	Lt I. [s]	E I. [kV/mm]	Ups II. [kV]	Lt II. [s]	E II. [kV/mm]	Ups III. [kV]	Lt III. [s]	E III. [kV/mm]	Ups IV. [kV]	Lt IV. [s]	E IV. [kV/mm]	Stlačitelnost [%]
M1	0,53	115	5	210	115	7	211	120	20	227	135	17	254	22,2
M2	0,54	140	15	259	115	10	210	130	3	235	105	6	190	21,3
M4	0,54	130	16	241	140	20	262	140	16	260	130	19	243	21,3
M6	0,53	120	4	220	115	20	218	130	20	246	140	20	265	22,4
L3	0,54	135	8	244	115	1	203	115	16	210	135	20	249	20,3
L6	0,54	105	8	190	135	13	249	135	20	252	120	2	215	21,2

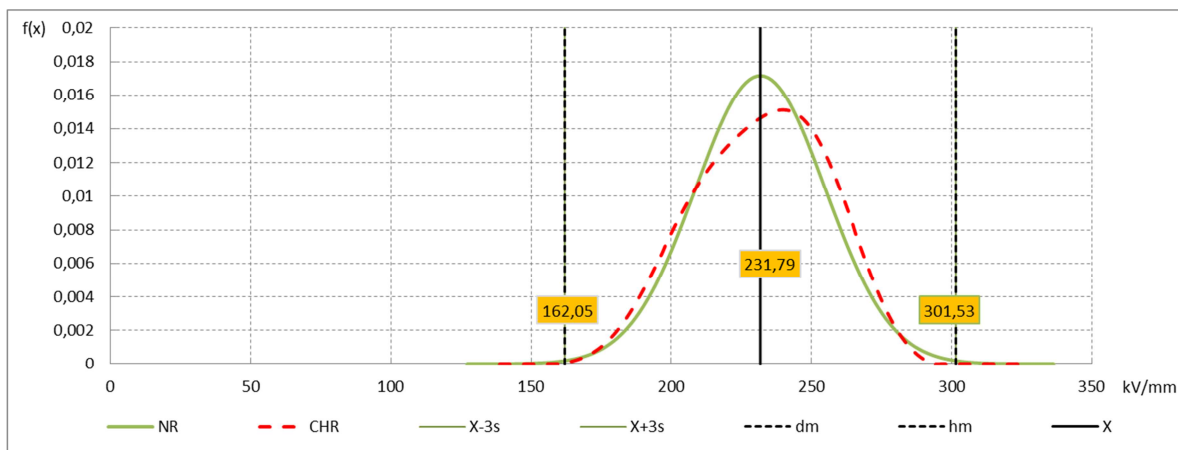
Horní polovina tabulky neobsahuje žádné hodnoty z důvodu nízkého zkušebního napětí (DC max. = 135kV). Druhá polovina tabulky dle popisu značení obsahuje hodnoty průrazného napětí se stupňovitým zvyšováním napětí - počáteční napětí 40kV; přírůstek 5kV, čas jednoho stupně 20s.

Statistické vyhodnocení (tabulky 6.10)

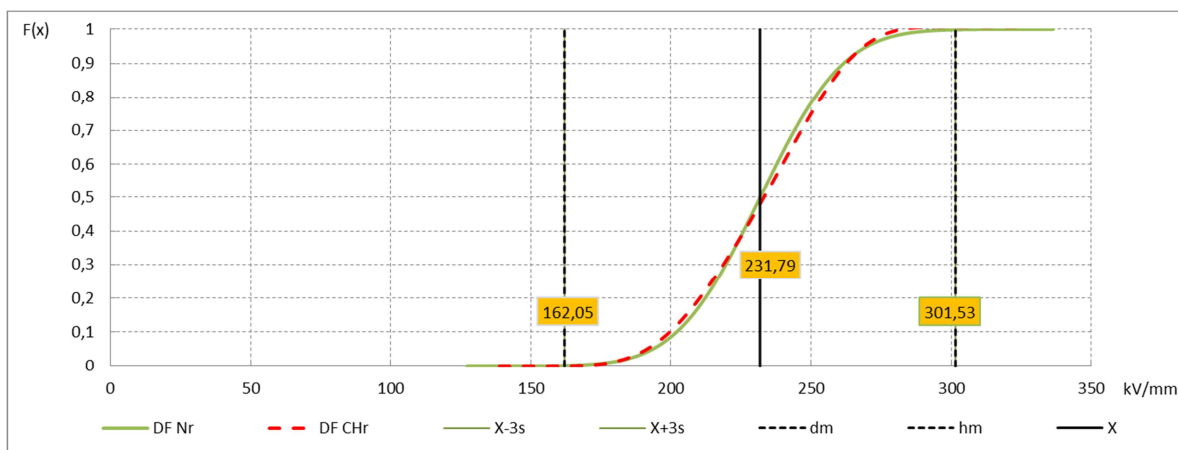
Relastik 45.036; 4 vrstvy; DC - stupňovité napětí

Stř. hodnota	231.792
Chyba stř. hodnoty	4.745
Medián	238
Modus	210
Směr. odchylka	23.247
Rozptyl výběru	540.433
Špičatost	-1.175
Šikmost	-0.287
Rozdíl min. a max.	75
Minimum	190
Maximum	265
Součet	5563
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	9.816
1s	23.247
2s	46.494
3s	69.742
Variační koeficient Vx [%]	10.029

Estř - 3s	162.050
Estř - 2s	185.297
Estř - 1s	208.544
Estř	231.792
Estř + 1s	255.039
Estř + 2s	278.286
Estř + 3s	301.533



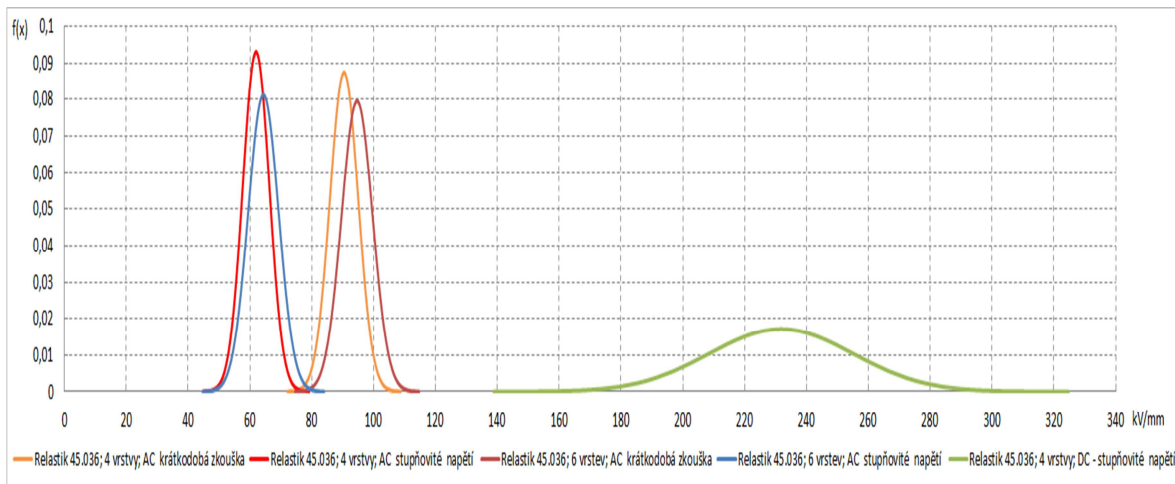
Obr. 6.55 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení



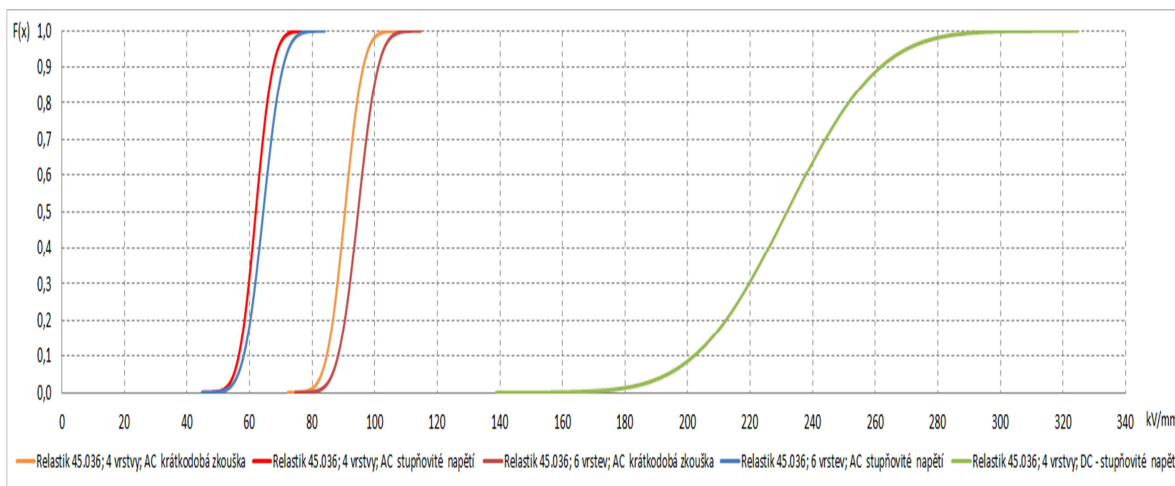
Obr. 6.56 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení

Grafy Obr. 6.55 a 6.56 vycházejí ze statistického vyhodnocení tabulky 6.10. Obr. 6.55 je grafickým znázorněním hustot pravděpodobností normálního a Charlierovo rozdělení, zobrazené hodnoty jsou $\bar{X} \pm 3s$. Průběhy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení určující pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny X jsou na Obr. 6.56.

Porovnáním průběhů hustot pravděpodobností a distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení posuzovaných souborů naměřených hodnot (Obr. 6.45 - 6.48, Obr. 6.51 - 6.54, Obr. 6.55 a 6.56) lze považovat za velmi blízké charakteru normálního rozdělení.



Obr. 6.57 Souhrnný graf hustot pravděpodobností normálního rozdělení materiálu Relastik



Obr. 6.58 Souhrnný graf jednotlivých distribučních funkcí normálního rozdělení materiálu Relastik

7. Určení přepočítávacího koeficientu stejnosměrného a střídavého napětí

Pro stanovení přepočítávacího koeficientu byly použity tři nezávislé statistické metody. Všechny tři vychází z vyhodnocení elektrické pevnosti jednotlivých testovaných vzorků příslušným zkušebním napětím. Vlivem omezení maximální hodnotou stejnosměrného napětí bylo možné vyhodnotit pouze jednu skupinu vzorků vyrobených z materiálu Relastik. Tento materiál obsahuje nosnou fóliovou vrstvu oproti zbývajícím dvou materiálům, které obsahují skleněný nosič. Relastik vykazoval ze všech hodnocených skupin vzorků nejvyšší hodnoty přepočítávacího koeficientu a proto byly vždy uvedeny výsledky bez materiálu Relastik a s ním.

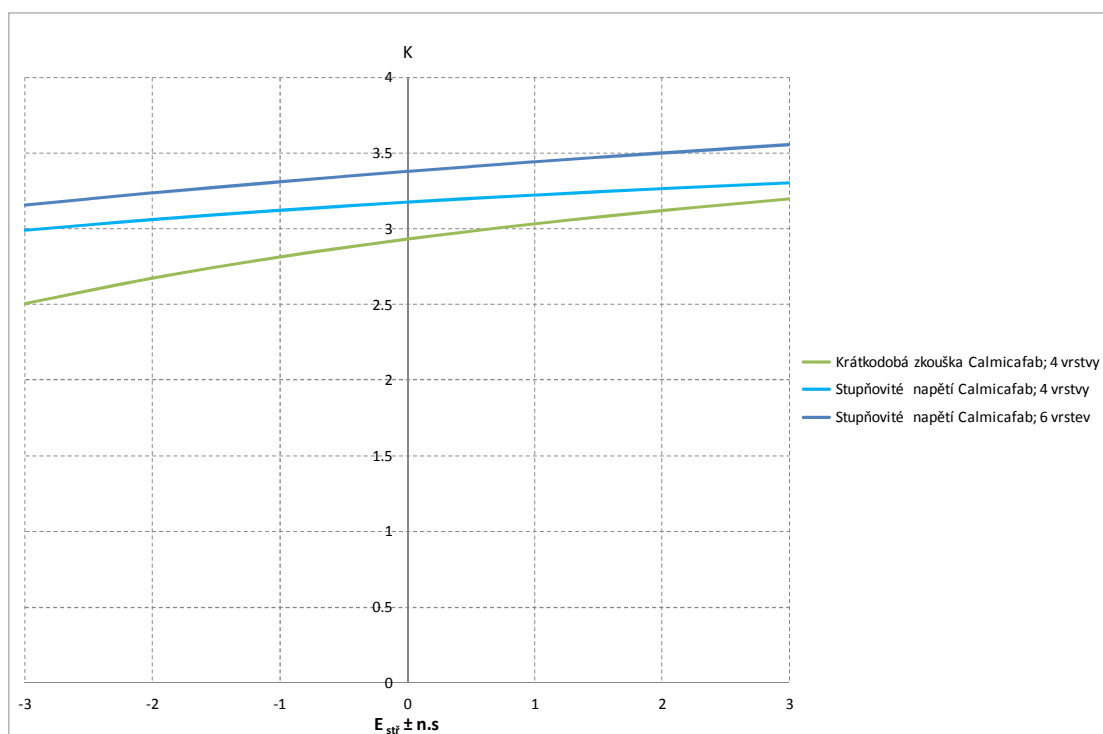
Parametr K , který je použit v následujících vyhodnoceních značí přepočítávací koeficient stejnosměrného a střídavého napětí.

7.1. Metoda vyhodnocení střední hodnoty a směrodatné odchylky

Tato metoda stanovení přepočítávacího koeficientu je založena na podílu hodnot $E_{stř} - 3s$; $E_{stř} - 2s$; $E_{stř} - 1s$; $E_{stř}$; $E_{stř} + 1s$; $E_{stř} + 2s$; $E_{stř} + 3s$; z odpovídajících souborů vyhodnocených v kapitole 6.2, které byly zkoušeny stejnosměrným a střídavým průrazným napětím. Z těchto hodnot lze získat přepočítávací koeficient v závislosti na počtu směrodatných odchylek na obě strany od střední hodnoty elektrické pevnosti $E_{stř}$. Výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 7.1 – 7.4) a grafech (Obr. 7.1 – 7.5).

Tab. 7.1 Přepočítávací koeficient Calmicafab

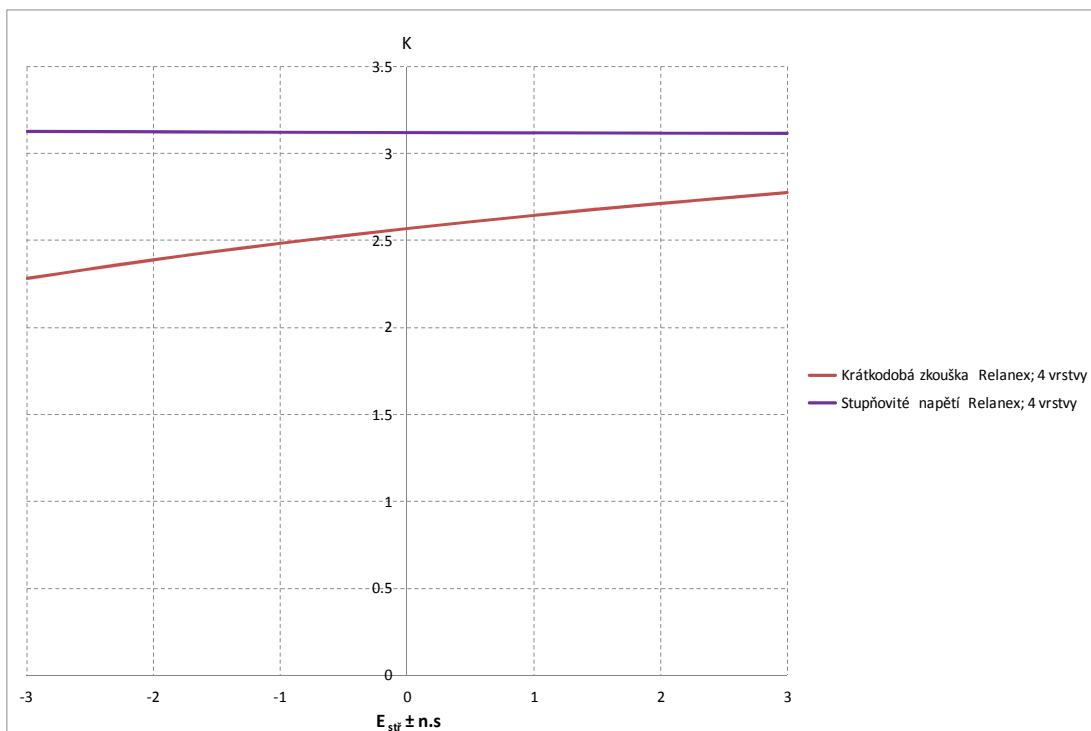
Krátkodobá zkouška Calmicafab; 4 vrstvy		Stupňovité napětí Calmicafab; 4 vrstvy		Stupňovité napětí Calmicafab; 6 vrstev	
K		K		K	
E stř - 3s	2.506	E stř - 3s	2.991	E stř - 3s	3.154
E stř - 2s	2.674	E stř - 2s	3.062	E stř - 2s	3.234
E stř - 1s	2.814	E stř - 1s	3.123	E stř - 1s	3.307
E stř	2.933	E stř	3.177	E stř	3.376
E stř + 1s	3.034	E stř + 1s	3.224	E stř + 1s	3.439
E stř + 2s	3.121	E stř + 2s	3.267	E stř + 2s	3.498
E stř + 3s	3.198	E stř + 3s	3.304	E stř + 3s	3.553



Obr. 7.1 Grafické znázornění poměrů DC/AC – Calmicafab

Tab. 7.2 Přepočítávací koeficient Relanex

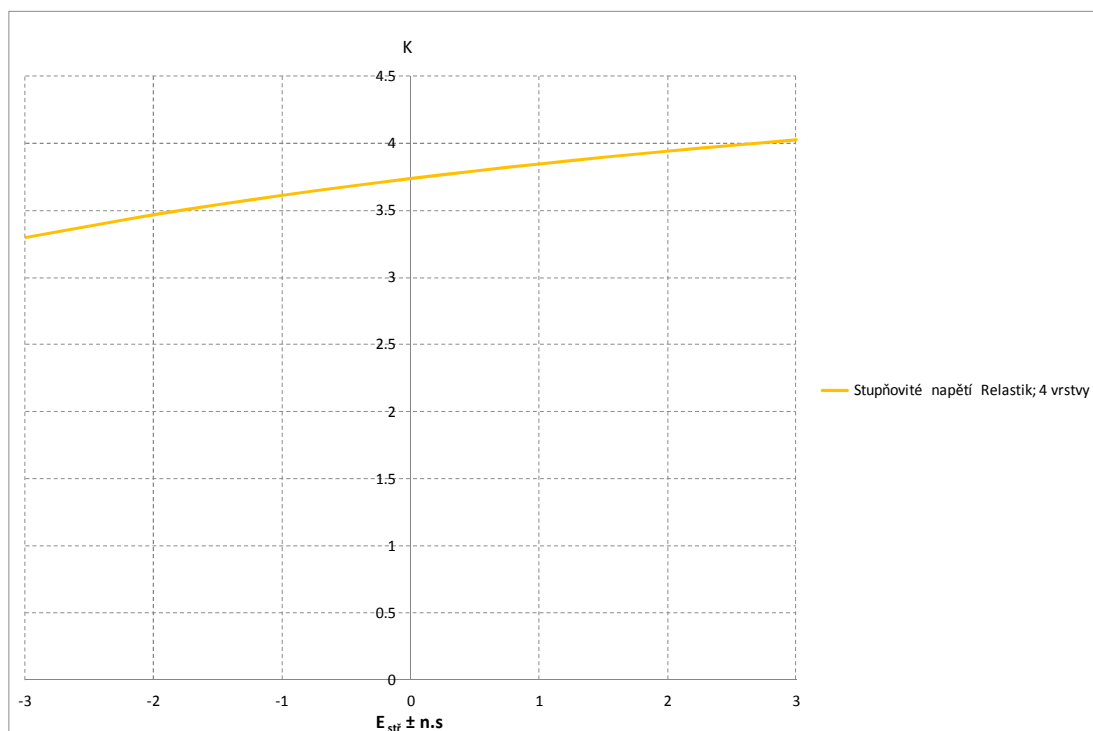
Krátkodobá zkouška Relanex; 4 vrstvy		Stupňovité napětí Relanex; 4 vrstvy	
K		K	
E stř - 3s	2.283	E stř - 3s	3.129
E stř - 2s	2.390	E stř - 2s	3.127
E stř - 1s	2.485	E stř - 1s	3.124
E stř	2.569	E stř	3.122
E stř + 1s	2.646	E stř + 1s	3.120
E stř + 2s	2.714	E stř + 2s	3.119
E stř + 3s	2.777	E stř + 3s	3.118



Obr. 7.2 Grafické znázornění poměrů DC/AC – Relanex

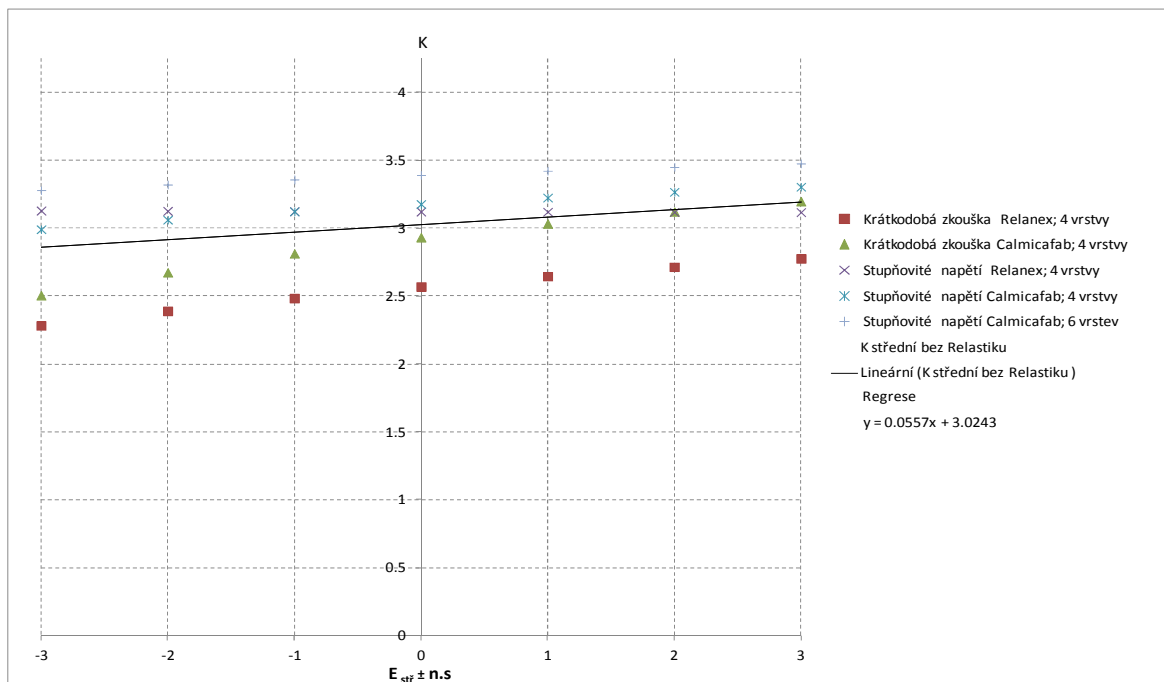
Tab. 7.3 Přepočítávací koeficient Relastik

Stupňovité napětí Relastik; 4 vrstvy	
	K
E stř - 3s	3.297
E stř - 2s	3.468
E stř - 1s	3.613
E stř	3.739
E stř + 1s	3.848
E stř + 2s	3.944
E stř + 3s	4.028

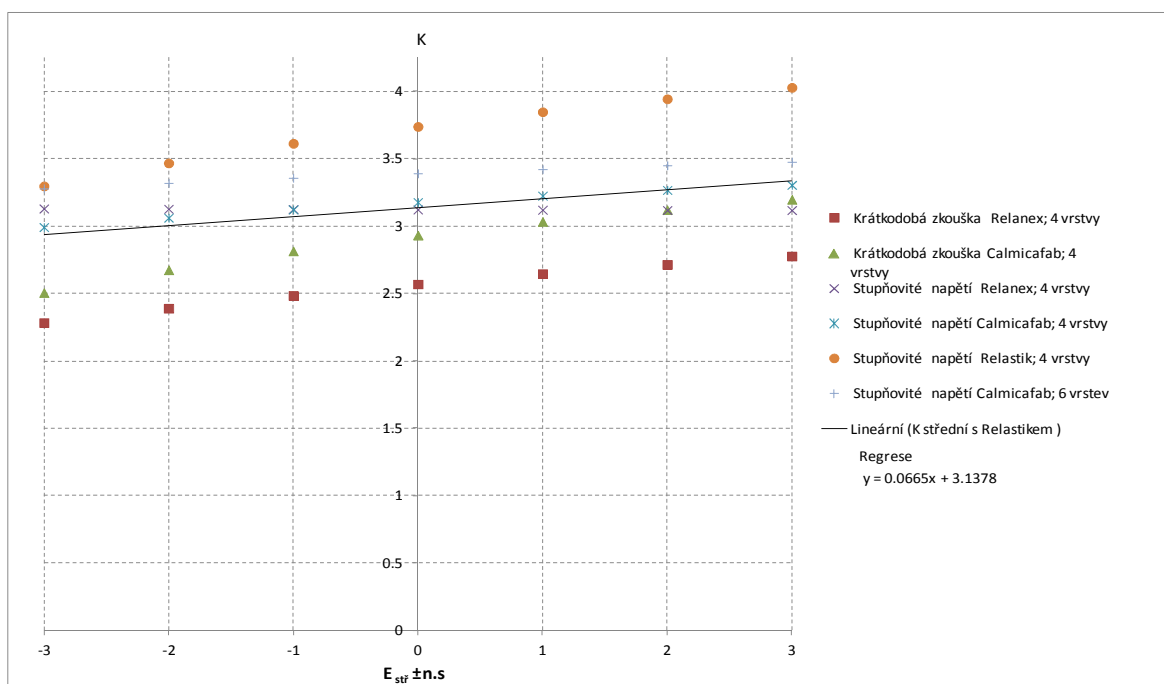
**Obr. 7.3** Grafické znázornění poměru DC/AC – Relastik

Tab. 7.4 Střední hodnoty přepočítávacích koeficientů K

Material	Krátkodobá zk.	Zkouška stupňovitým napětím	
	4 vrstvy	4 vrstvy	6 vrstev
Calmicafab 3417	2.933	3.177	3.376
Relanex 45.033	2.569	3.122	...
Relastik 45.036	...	3.739	...



Obr. 7.4 Souhrnné grafické znázornění poměrů DC/AC, nezahrnující hodnoty Relastiku



Obr. 7.5 Souhrnné grafické znázornění poměrů DC/AC, zahrnující hodnoty Relastiku

7.2. Metoda vyhodnocení intervalových odhadů

Tato metoda vychází z vyhodnocení intervalových odhadů středních hodnot jednotlivých souborů. Byl zde zohledněn omezený počet výběru ($n < 30$) a proto byla použita statistika, která má Studentovo t-rozdělení s $(n-1)$ stupni volnosti - viz následující vztahy. Obdobně s předešlou metodou je vytvořen podíl výsledných hodnot \bar{X} , X_{\min} a X_{\max} srovnatelných souborů zkoušených vzorků stejnosměrným a střídavým napětím. Výsledkem je střední hodnota přepočítávacího koeficientu \bar{K} , K_{\min} a K_{\max} .

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (7.1)$$

kde t je náhodná veličina
 \bar{X} je výběrový průměr
 μ je střední hodnota
 s je výběrová směrodatná odchylka
 n je počet vzorků

Studentovo t – rozdělení s $(n-1)$ stupni volnosti

$$P\left(\bar{X} - t_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \quad (7.2)$$

kde α je hladina významnosti
 $1 - \alpha$ je koeficient spolehlivosti, který byl stanoven na 0,95

Je získán interval, ve kterém se se zvolenou pravděpodobností pohybuje střední hodnota $< X_{\min}; X_{\max} >$. [2, str. 177]

Tab. 7.5 Hodnoty získané intervalovým odhadem – Calmicafab; 4 vrstvy; krátkodobé zkoušky

Calmicafab 3417; 4 vrstvy								
DC krátkodobá zkouška			AC krátkodobá zkouška			Poměr DC/AC		
\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
277.00	263.56	290.44	94.46	91.36	97.56	2.93	2.88	2.98

Tab. 7.6 Hodnoty získané intervalovým odhadem – Calmicafab; 4 vrstvy; zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí s 20 sekundovými stupni

Calmicafab 3417; 4 vrstvy								
DC stupňovité napětí			AC stupňovité napětí			Poměr DC/AC		
\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
219.88	212.64	227.11	69.21	67.40	71.02	3.18	3.16	3.20

Tab. 7.7 Hodnoty získané intervalovým odhadem – Calmicafab; 6 vrstev; zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí s 60 sekundovými stupni

Calmicafab 3417; 6 vrstev								
DC stupňovité napětí			AC stupňovité napětí			Poměr DC/AC		
\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
205.92	200.94	210.89	61.00	60.03	61.97	3.38	3.35	3.40

Tab. 7.8 Hodnoty získané intervalovým odhadem – Relanex; 4 vrstvy; krátkodobé zkoušky

Relanex 45.033; 4 vrstvy								
DC krátkodobá zkouška			AC krátkodobá zkouška			Poměr DC/AC		
\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
224.50	216.48	232.52	87.38	85.41	89.34	2.57	2.53	2.60

Tab. 7.9 Hodnoty získané intervalovým odhadem – Relanex; 4 vrstvy; zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí s 20 sekundovými stupni

Relanex 45.033; 4 vrstvy								
DC stupňovité napětí			AC stupňovité napětí			Poměr DC/AC		
\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
186.29	180.98	191.60	59.67	57.95	61.38	3.12	3.12	3.12

Tab. 7.10 Hodnoty získané intervalovým odhadem – Relastik; 4 vrstvy; zkoušky se stupňovitým zvyšováním napětí s 20 sekundovými stupni

Relastik 45.036; 4 vrstvy								
DC stupňovité napětí			AC stupňovité napětí			Poměr DC/AC		
\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{X}	X_{\min}	X_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
231.79	221.98	241.61	62.00	60.19	63.81	3.74	3.69	3.79

Tab. 7.11 Souhrnné vyhodnocení poměrů DC/AC

Poměr DC/AC					
bez materiálu Relsatik			s materiálem Relsatik		
\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}	\bar{K}	K_{\min}	K_{\max}
3.04	3.01	3.06	3.15	3.12	3.18

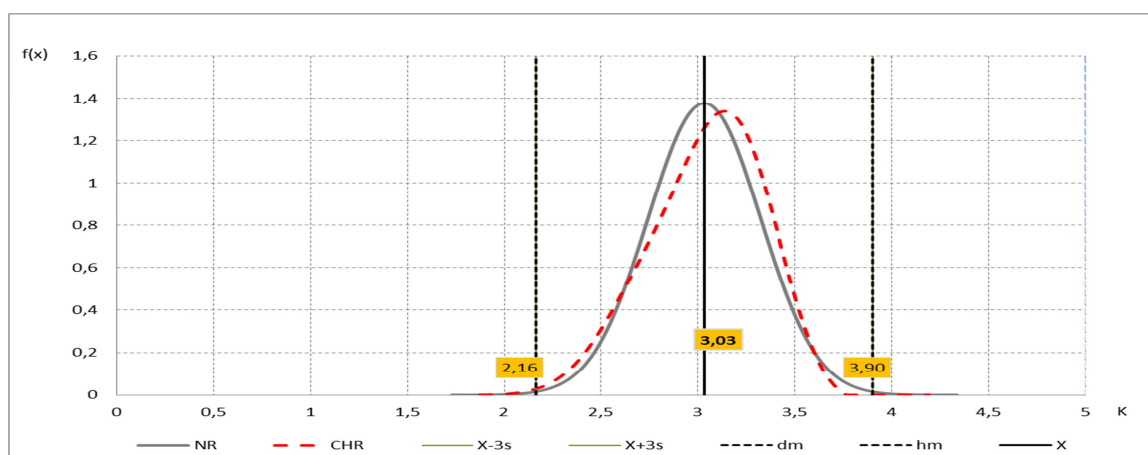
Tabulka 7.11 obsahuje průměrné hodnoty získané intervalovými odhady při zanedbání hodnot fóliového materiálu Relsatik a s jejich zahrnutím.

7.3. Metoda vyhodnocení hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení

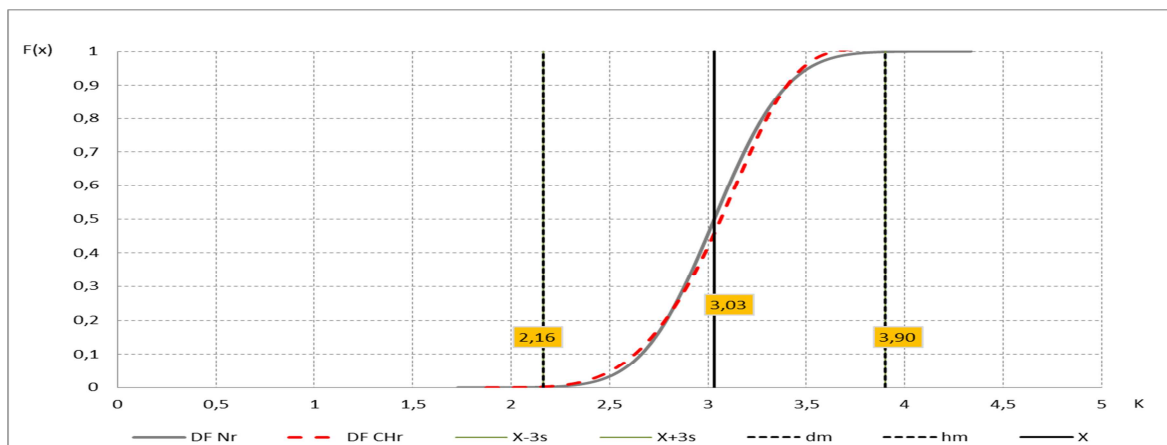
Pro porovnání výsledků přepočítávacího koeficientu stejnosměrného a střídavého napětí byla použita třetí vyhodnocovací metoda, která potvrzuje správnost předešlých výsledků. Tato metoda vychází z vytvoření šesti odpovídajících souborů příslušných parametrů, jako například „Calmicafab 3417; 6 vrstev; DC - stupňovité napětí a Calmicafab 3417; 6 vrstev; AC stupňovité napětí“. Z těchto souborů byly vybrány hodnoty elektrické pevnosti, které byly v daných souborech seřazeny od nejnižší hodnoty po nejvyšší. Poté byly vytvořeny podíly příslušných úrovní a vyhodnoceny jako K_1 až K_n . Zmíněné hodnoty K bylo dále možné vložit do společného souboru, který byl statisticky vyhodnocen shodně s kapitolou 6.2. Z již zmíněného důvodu byly vyhodnoceny dvě varianty - bez použití K hodnot materiálu Relsatik a s využitím těchto hodnot.

Statistické vyhodnocení

K _n nezahrnující hodnoty Relastiku	
Stř. hodnota	3.032
Chyba stř. hodnoty	0.026
Medián	3.106403
Modus	3.1403509
Směr. odchylka	0.290
Rozptyl výběru	0.084
Špičatost	-0.686
Šikmost	-0.587
Rozdíl min. a max.	1.0383703
Mínimum	2.4303797
Maximum	3.46875
Součet	363.86611
Počet	120
Hladina spolehlivosti (95.0%)	0.052
1s	0.290
2s	0.579
3s	0.869
Variační koeficient V _x [%]	9.550
Estř - 3s	2.164
Estř - 2s	2.453
Estř - 1s	2.743
Estř	3.032
Estř + 1s	3.322
Estř + 2s	3.611
Estř + 3s	3.901



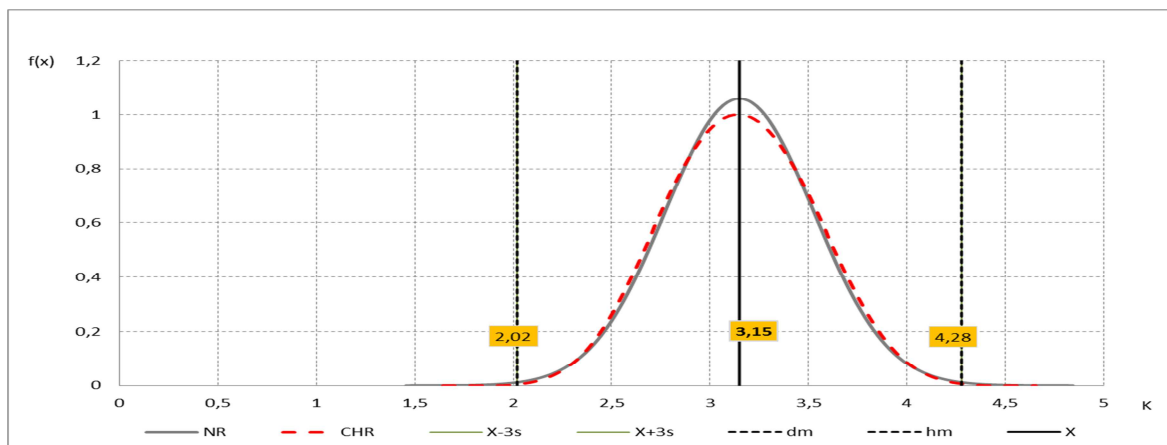
Obr. 7.6 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení nezahrnující hodnoty Relastiku



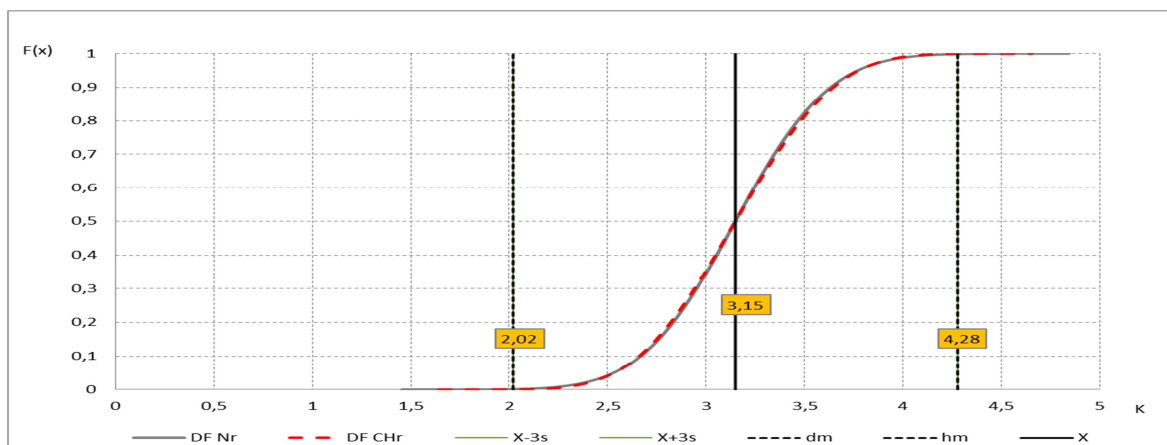
Obr. 7.7 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení nezahrnující hodnoty Relastiku

Statistické vyhodnocení

K _n zahrnující hodnoty Relastiku	
Stř. hodnota	3.149
Chyba stř. hodnoty	0.031
Medián	3.15
Modus	3.1403509
Směr. odchylka	0.376
Rozptyl výběru	0.142
Špičatost	-0.454
Šikmost	0.028
Rozdíl min. a max.	1.4889751
Minimum	2.4303797
Maximum	3.9193548
Součet	453.42011
Počet	144
Hladina spolehlivosti (95.0%)	0.062
1s	0.376
2s	0.753
3s	1.129
Variační koeficient V _x [%]	11.953
Estř - 3s	2.020
Estř - 2s	2.396
Estř - 1s	2.772
Estř	3.149
Estř + 1s	3.525
Estř + 2s	3.901
Estř + 3s	4.278



Obr. 7.8 Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení zahrnující hodnoty Relastiku



Obr. 7.9 Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení zahrnující hodnoty Relastiku

Závěr

Pro ověření přepočítávacího koeficientu mezi střídavým a stejnosměrným napětím byla zvolena metoda založená na zjišťování průrazných napětí jednotlivých vzorků vybraných materiálů. Průrazné napětí bylo dle vztahů uvedených v kapitole 6.1 přepočteno na elektrickou pevnost. Ta byla porovnávána ve vztahu k druhu materiálu, počtu vrstev a zkušebnímu napětí. Srovnáním výsledků materiálů se skleněným nosičem (Calmicafab 3417 a Relanex 45.033) byla potvrzena nepřímá úměrnost elektrické pevnosti na tloušťce materiálu – s rostoucím počtem vrstev (zvětšující tloušťkou izolační stěny zkoušeného vzorku) se snižuje elektrická pevnost střídavého i stejnosměrného napětí. Naopak u materiálu s fóliovým nosičem (Relastik 45.036) se projevil jeho vliv na elektrickou pevnost – s rostoucím počtem vrstev materiálu se zvětšuje elektrická pevnost zkoušeného vzorku. I přes skutečnost, že tato práce obsahuje vyhodnocení pouze dvou tloušťek zkoušených vzorků je obecně známo, že se nejedná ani o lineární závislost elektrické pevnosti na tloušťce materiálu.

Z důvodu konstrukčního řešení zkušebního zařízení a maximálního zkušebního stejnosměrného napětí 135kV, bylo nutné přizpůsobit zkoušky i zkušební vzorky tomuto parametru. U vyráběných vzorků byl snížen počet vrstev na 4 a 6vrstev (2x a 3x s ½ překrytím). Způsoby zvyšování napětí byly zvoleny dle ČSN EN 60243-1, Krátkodobá zkouška a Zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí. Díky tomu mohl být sledován vliv obou zkoušek na elektrickou pevnost. Zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí se vlivem doby působení elektrického napětí na zkoušený objekt blíží minutové zkoušce výdržným napětím prováděné na vinutí točivých elektrických strojů. Další výhodou této zkoušky bylo snížení hladiny průrazného napětí, ale i přesto nebylo však možné některé skupiny vzorků vyhodnotit. Vzhledem k vysokým úrovním zkušebního napětí byl zkoušený objekt (vzorek izolačního materiálu) a celý elektroodový systém ponořen v olejové lázni, tvořené transformátorovým olejem.

Při zkoušce střídavým napětím byla pozorována výrazná výbojová činnost vycházející od dosedací plochy elektrod (od konce zaoblení hran R3) do okolního prostoru. Z erozivních účinků výbojů a doby namáhání elektrickým polem lze hodnotit průraz jako čistě tepelný. U krátkodobé zkoušky stejnosměrným napětím bylo napětí rovnoměrně zvyšováno od nuly až do průrazu. Strmost nárůstu napětí byla dle ČSN EN 60243-1 volena

tak, aby průraz nastal mezi 10 a 20s. I přes poměrně strmý nárůst stejnosměrného napětí bez viditelné výbojové činnosti se též pravděpodobně jednalo o tepelný průraz. Nejednoznačnost určení způsobu průrazu vychází z rozdílných interpretací čistě elektrického průrazu jednotlivými autory. Převládá názor, že velikost průrazného napětí nezávisí na teplotě a době působení napětí na zkoušení izolační materiál. Doba působení homogenního elektrického pole by měla být v řádu 10^{-6} až 10^{-7} s. Proto čistě elektrický průraz lze pozorovat při namáhání rázovým napětím v homogenním elektrickém poli. [11, str. 146]

Uvedené tvrzení je podloženo fotodokumentací vybraných vzorků viz příloha C.

Současně byl testován u materiálů se skleněným nosičem vliv polaritý stejnosměrného napětí na hladinu elektrické pevnosti. Pro zkoušení kladné polaritý bylo nutné použít zbývající části již zkoušených vzorků, čímž muselo dojít ke snížení počtu výsledků průrazného napětí na dvanáct. Přes zmíněné omezení lze konstatovat, že vliv kladné polaritý je zanedbatelný a že uvedené výsledky platí pro obě polaritý. K porovnání hodnot kladné a záporné polaritý jsou v příloze A a B uvedena statistická vyhodnocení obou zkoušek stejnosměrným napětím.

Z dosažených výsledků vyplývá, že izolační materiály obsahující skleněný nosič mají přepočítávací koeficient mezi stejnosměrným a střídavým napětím blízký hodnotě **3,0**. Při zahrnutí výsledků materiálu Relastik se přepočítávací koeficient zvýší na **3,15**.

Zjištěné přepočítávací koeficienty jsou v souladu s normou ČSN EN 60243-2, která uvádí: „Pro většinu materiálů bude průrazné stejnosměrné napětí vyšší než vrcholová hodnota střídavého průrazného napětí průmyslového kmitočtu; pro mnoho, především nehomogenních materiálů, je stejnosměrné průrazné napětí třikrát vyšší než střídavé průrazné napětí, nebo i vícekrát.“ [6, str. 6]

K obdobnému závěru došel i M. Myslík ve své diplomové práci v roce 1975, kde dospěl k názoru, „že bude třeba přehodnotit dosud používaný přepočítávací koeficient 1,7 a tento koeficient zvýšit.“ [10, str. 62] Zmíněná práce obsahuje vyhodnocení přepočítávacího koeficientu pro materiály Relanex 45 750 v nevytvrzeném a vytvrzeném stavu, Kodril a NEN. Pro tuto práci jsou z uvedených materiálů využitelné pouze výsledky zkoušek Relanexu 45 750 ve vytvrzeném stavu. Přepočítávací koeficient byl autorem stanoven jako průměrná hodnota 2,3. Tato hodnota byla však ovlivněna způsobem realizace zkoušek a přípravou vzorků.

Uvedené hodnoty přepočítávacího koeficientu jsou platné pro izolační materiály na bázi slídového papíru a reaktoplastického pojiva izolačního systému resin rich použitého na novém vinutí. U vinutí s již částečně odčerpanou životností by bylo vhodné ověřit, jakým způsobem se projeví tento vliv na přepočítávací koeficient mezi střídavým a stejnosměrným napětím.

V roce 1973 Dr. A. Wichman v knize Heinricha Sequenze, Technologie vinutí elektrických strojů točivých uvedl následující: „Abychom při zkoušce vinutí stejnosměrným napětím dosáhli obdobných výsledků zkoušky jako při napětí střídavém, musíme vycházet z některého ze známých číselných poměrů mezi oběma druhy napětí. Ke stanovení těchto vztahů byla provedena řada pokusů na starých a nových izolacích, které ukazují zřetelnou závislost tohoto poměru na stáří vinutí, rychlosti zvyšování napětí a složení izolace. Tyto poměry byly zjištěny mezi 1,2 a 4 a provádí se porovnání s efektivní hodnotou střídavého napětí při 50 nebo 60 Hz.

Vzhledem k velkým rozdílům v poměru průrazného napětí by nebylo účelné stanovit všeobecně platné číslo. Muselo by se řídit jednotlivými případy a kromě toho respektovat, že i u izolace stejného druhu existuje závislost tohoto poměru na velikosti průrazného napětí s přibývajícím stářím. Zatímco u nových izolací nejsou velké rozdíly v poměru průrazných napětí, “ u starších izolací se tyto rozdíly zvětšují. [12, str. 294]

Tento závěr byl však proveden na základě výsledků zkoušek průrazného napětí dříve používaných izolačních systémů (asfaltového a šelakového mikafólia). Dále Dr. A. Wichman z provedených zkoušek na zmíněných izolačních systémech usuzoval, „ že elektrická pevnost při stejnosměrném napětí se se stárnutím zmenšuje podstatně rychleji než pevnost při střídavém napětí a je tedy lepším ukazatelem dlouhodobých změn. Při napěťové zkoušce stejnosměrným napětím ale vyvstává nebezpečí průrazu vinutí, i když při střídavém provozním napětí by vinutí ještě zcela bezpečně odolalo. Proto se ukázalo, že zkouškou stejnosměrným napětím nedochází k žádné měřitelné redukci elektrické pevnosti pro střídavé napětí, používá se při přezkoušení starších vinutí 1,6násobek zkušebního střídavého napětí a u nových izolací napětí ještě vyšší.“ [12, str. 295]

Zjištění vhodného přepočítávacího koeficientu mezi stejnosměrným a střídavým napětím pro vinutí s částečně odčerpanou životností by bylo nutné zkušební vzorky nejprve podrobit umělému stárnutí a poté opakovat zkoušky průrazným napětím. To však z časových důvodů nebylo možné realizovat v této práci.

Použitá literatura

- [1] ŽIVNÝ, Petr. *Způsob zpracování izolačních materiálů resin rich pro vinutí generátorů*. Plzeň, 2011. Bakalářská práce. Západočeská universita. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektrotechniky a výkonové elektroniky. Vedoucí práce Prof. Ing. Václav MENTLÍK, CSc.
- [2] ARTBAUER, Ján, ŠEDOVIČ, Juraj a ADAMEC, Vladimír. *Izolanty a izolácie*. Bratislava: Nakladateľstvo Alfa, 1969.
- [3] ASTM D149 -97a. *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies*. West Conshohocken (USA): ASTM Committee on Standards, 1998.
- [4] ČSN EN 60034-1. *Točivé elektrické stroje – Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Třídící znak 35 0000.
- [5] ČSN EN 60243-1. *Elektrická pevnost izolačních materiálů – Zkušební metody – Část 1: Zkoušky při průmyslových kmitočtech*. Praha: Český normalizační institut, 1998. Třídící znak 34 6463.
- [6] ČSN EN 60243-2. *Elektrická pevnost izolačních materiálů – Zkušební metody – Část 2: Dodatečné požadavky na zkoušky stejnosměrným napětím*. Praha: Český normalizační institut, 2001. Třídící znak 34 6463.
- [7] IEEE Std 286TM-2000(R2006). *IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation*. IEEE Xplore [online]. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., ©2001. Poslední změna 30. 3. 2006 [cit. 19. 3. 2012]. Dostupné z <http://80.ieeexplore.ieee.org/dialog/cvut.cz/stamp/stamp.jsp?tp=&number=913583>
- [8] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-189-6.

- [9] MENTLÍK, Václav, PIHERA, Josef, POLANSKÝ, Radek, PROSR, Pavel a TRNKA, Pavel. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [10] MYSLÍK, Miloslav. *Zjištění přepočítávacího koeficientu pro stejnosměrné a 50 Hz průrazné napětí na foliových materiálech*. Plzeň, 1975. Diplomová práce. Vysoká škola strojní a elektrotechnická. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektrických strojů a přístrojů. Vedoucí práce Libor KŘÍŽANOVSKÝ.
- [11] POLJAK, František. *Dielektriká izolanty*. Bratislava: Alfa - vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1983.
- [12] SEQUENZ, Heinrich aj. *Technologie vinutí elektrických strojů točivých*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973.
- [13] STAUBER, Jiří. *Návrh a výroba izolačního systému (resin-rich) vn satorových vinutí na bázi předimpregnovaných pásek*. Přednáška na konferenci Diagnostika, 2001.
- [14] STONE, Greg C., BOULTER, Edward A., CULBERT, Ian, DHIRANI, H. *Electrical insulation for rotating machines*, IEEE, 2004.
- [15] ŠOR, J. B. *Statistické metody analýzy a kontroly jakosti a spolehlivosti*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.

Seznam tabulek

Tab. 1.1	Přednosti a nevýhody RR a VPI izolačních systémů.....	14
Tab. 3.1	Zkušební napětí pro jmenovité napětí generátoru 15,75kV.....	22
Tab. 6.1	Zkouška střídavým napětím - Calmicafab; 6 vrstev	41
Tab. 6.2	Zkouška střídavým napětím - Calmicafab; 4 vrstvy	45
Tab. 6.3	Zkouška stejnosměrným napětím - Calmicafab; 6 vrstev.....	49
Tab. 6.4	Zkouška stejnosměrným napětím - Calmicafab; 4 vrstvy.....	51
Tab. 6.5	Zkouška střídavým napětím - Relanex; 6 vrstev.....	56
Tab. 6.6	Zkouška střídavým napětím - Relanex; 4 vrstvy	60
Tab. 6.7	Zkouška stejnosměrným napětím - Relanex; 4 vrstvy	64
Tab. 6.8	Zkouška střídavým napětím - Relastik; 6 vrstev.....	69
Tab. 6.9	Zkouška střídavým napětím - Relastik; 4 vrstvy	73
Tab. 6.10	Zkouška stejnosměrným napětím - Relastik; 4 vrstvy	77
Tab. 7.1	Přepočítávací koeficient Calmicafab	81
Tab. 7.2	Přepočítávací koeficient Relanex	82
Tab. 7.3	Přepočítávací koeficient Relastik.....	83
Tab. 7.4	Střední hodnoty přepočítávacích koeficientů K.....	84
Tab. 7.5	Hodnoty získané intervalovým odhadem – Calmicafab; 4 vrstvy; krátkodobé zkoušky	86
Tab. 7.6	Hodnoty získané intervalovým odhadem – Calmicafab; 4 vrstvy;	86
Tab. 7.7	Hodnoty získané intervalovým odhadem – Calmicafab; 6 vrstev;	86
Tab. 7.8	Hodnoty získané intervalovým odhadem – Relanex; 4 vrstvy;	86
Tab. 7.9	Hodnoty získané intervalovým odhadem – Relanex; 4 vrstvy;	86
Tab. 7.10	Hodnoty získané intervalovým odhadem – Relastik; 4 vrstvy;	86
Tab. 7.11	Souhrnné vyhodnocení poměrů DC/AC	87

Seznam obrázků

Obr. 5.1	Kontrola průsvitem pro vyloučení nekvalitního překrytí jednotlivých vrstev izolace	28
Obr. 5.2	Uspořádání zkušebních elektrod a vzorku	28
Obr. 5.3	Příklad průběhu napětí krátkodobé zkoušky	30
Obr. 5.4	Příklad průběhu napětí zkoušky se stupňovitým zvyšováním	30
Obr. 5.5	Schéma střídavého zkušebního zařízení dle návrhu výrobce	32
Obr. 5.6	Schéma stejnosměrného zkušebního zařízení dle návrhu výrobce	33
Obr. 6.1	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	42
Obr. 6.2	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení	42
Obr. 6.3	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	43
Obr. 6.4	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	43
Obr. 6.5	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	43
Obr. 6.6	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	44
Obr. 6.7	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	46
Obr. 6.8	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení	46
Obr. 6.9	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	47
Obr. 6.10	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	47
Obr. 6.11	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	47
Obr. 6.12	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	48
Obr. 6.13	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	50
Obr. 6.14	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	50
Obr. 6.15	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	52
Obr. 6.16	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení	52
Obr. 6.17	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	53
Obr. 6.18	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	53
Obr. 6.19	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	53
Obr. 6.20	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	54
Obr. 6.21	Souhrnný graf hustot pravděpodobností normálního rozdělení materiálu Calmicafab	55
Obr. 6.22	Souhrnný graf jednotlivých distribučních funkcí normálního rozdělení materiálu Calmicafab	55
Obr. 6.23	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	57
Obr. 6.24	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení	57
Obr. 6.25	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	58
Obr. 6.26	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	58
Obr. 6.27	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	58
Obr. 6.28	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	59
Obr. 6.29	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	61
Obr. 6.30	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení	61
Obr. 6.31	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	62
Obr. 6.32	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	62
Obr. 6.33	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	62
Obr. 6.34	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení	63
Obr. 6.35	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	65
Obr. 6.36	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení	65
Obr. 6.37	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	66

Obr. 6.38	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	66
Obr. 6.39	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	66
Obr. 6.40	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	67
Obr. 6.41	Souhrnný graf hustot pravděpodobností normálního rozdělení materiálu Relanex....	68
Obr. 6.42	Souhrnný graf jednotlivých distribučních funkcí normálního rozdělení materiálu Relanex	68
Obr. 6.43	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	70
Obr. 6.44	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení.....	70
Obr. 6.45	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	71
Obr. 6.46	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	71
Obr. 6.47	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	71
Obr. 6.48	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	72
Obr. 6.49	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení	74
Obr. 6.50	Grafy distribučních funkcí normálního rozdělení.....	74
Obr. 6.51	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	75
Obr. 6.52	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	75
Obr. 6.53	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	75
Obr. 6.54	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	76
Obr. 6.55	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	78
Obr. 6.56	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení.....	78
Obr. 6.57	Souhrnný graf hustot pravděpodobností normálního rozdělení materiálu Relastik....	79
Obr. 6.58	Souhrnný graf jednotlivých distribučních funkcí normálního rozdělení materiálu Relastik	79
Obr. 7.1	Grafické znázornění poměrů DC/AC – Calmicafab	81
Obr. 7.2	Grafické znázornění poměrů DC/AC – Relanex	82
Obr. 7.3	Grafické znázornění poměru DC/AC – Relastik	83
Obr. 7.4	Souhrnné grafické znázornění poměrů DC/AC, nezahrnující hodnoty Relastiku	84
Obr. 7.5	Souhrnné grafické znázornění poměrů DC/AC, zahrnující hodnoty Relastiku.....	84
Obr. 7.6	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení	88
Obr. 7.7	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení nezahrnující hodnoty Relastiku	89
Obr. 7.8	Grafy hustoty pravděpodobnosti normálního a Charlierovo rozdělení zahrnující hodnoty Relastiku	90
Obr. 7.9	Grafy distribučních funkcí normálního a Charlierovo rozdělení zahrnující hodnoty Relastiku	90

Příloha A

Statistické vyhodnocení vlivu polaritý stejnosměrného napětí materiálu Calmicafab

Záporná polarita

Calmicafab 3417; 4 vrstvy; DC - krátkodobá zkouška	
Stř. hodnota	277
Chyba stř. hodnoty	6.499
Medián	279
Modus	249
Směr. odchylka	31.838
Rozptyl výběru	1013.652
Špičatost	-1.048
Šikmost	-0.328
Rozdíl min. a max.	110
Minimum	212
Maximum	322
Součet	6648
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	13.444
Variační koeficient V_x [%]	11.494

Calmicafab 3417; 4 vrstvy; DC - stupňovité napětí	
Stř. hodnota	219.875
Chyba stř. hodnoty	3.496
Medián	220
Modus	228
Směr. odchylka	17.127
Rozptyl výběru	293.332
Špičatost	-0.511
Šikmost	0.039
Rozdíl min. a max.	65
Minimum	189
Maximum	254
Součet	5277
Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	7.232
Variační koeficient V_x [%]	7.789

Kladná polarita

Calmicafab 3417; 4 vrstvy; DC + krátkodobá zkouška	
Stř. hodnota	266.250
Chyba stř. hodnoty	5.759
Medián	266.5
Modus	283
Směr. odchylka	19.951
Rozptyl výběru	398.023
Špičatost	-0.971
Šikmost	-0.393
Rozdíl min. a max.	61
Minimum	229
Maximum	290
Součet	3195
Počet	12
Hladina spolehlivosti (95.0%)	12.676
Variační koeficient V_x [%]	7.493

Calmicafab 3417; 4 vrstvy; DC + stupňovité napětí	
Stř. hodnota	211.750
Chyba stř. hodnoty	5.241
Medián	205
Modus	207
Směr. odchylka	18.157
Rozptyl výběru	329.659
Špičatost	-0.528
Šikmost	0.928
Rozdíl min. a max.	53
Minimum	194
Maximum	247
Součet	2541
Počet	12
Hladina spolehlivosti (95.0%)	11.536
Variační koeficient V_x [%]	8.575

Příloha B

Statistické vyhodnocení vlivu polaritý stejnosměrného napětí materiálu Relanex

Záporná polarita

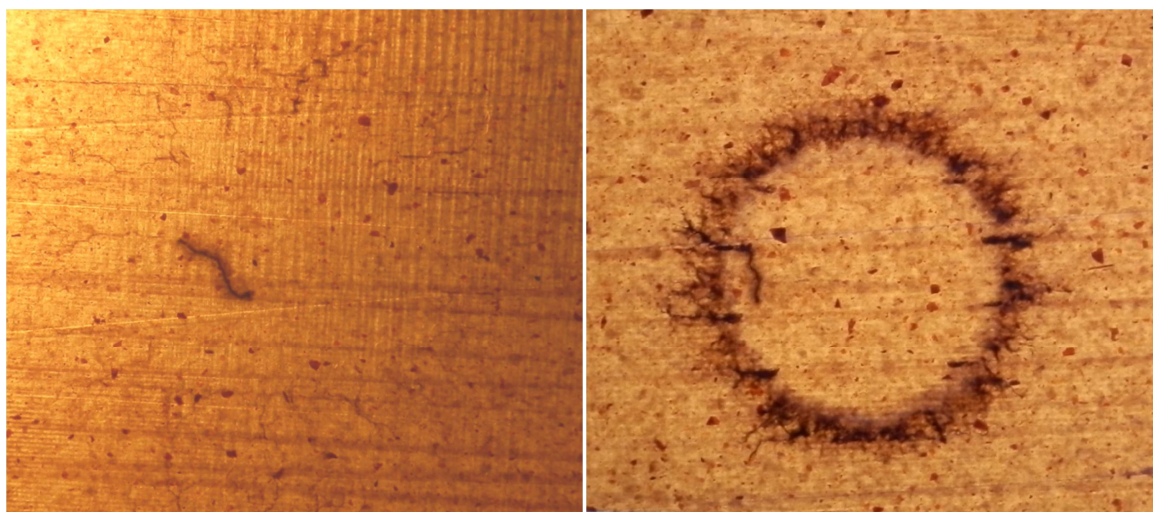
Relanex 45.033; 4 vrstvy; DC - krátkodobá zkouška		Relanex 45.033; 4 vrstvy; DC - stupňovité napětí	
Stř. hodnota	224.500	Stř. hodnota	186.292
Chyba stř. hodnoty	3.875	Chyba stř. hodnoty	2.565
Medián	231	Medián	184
Modus	232	Modus	179
Směr. odchylka	18.985	Směr. odchylka	12.568
Rozptyl výběru	360.435	Rozptyl výběru	157.955
Špičatost	-1.055	Špičatost	-0.339
Šikmost	-0.360	Šikmost	0.153
Rozdíl min. a max.	65	Rozdíl min. a max.	49
Minimum	190	Minimum	161
Maximum	255	Maximum	210
Součet	5388	Součet	4471
Počet	24	Počet	24
Hladina spolehlivosti (95.0%)	8.017	Hladina spolehlivosti (95.0%)	5.307
Variační koeficient V_x [%]	8.457	Variační koeficient V_x [%]	6.746

Kladná polarita

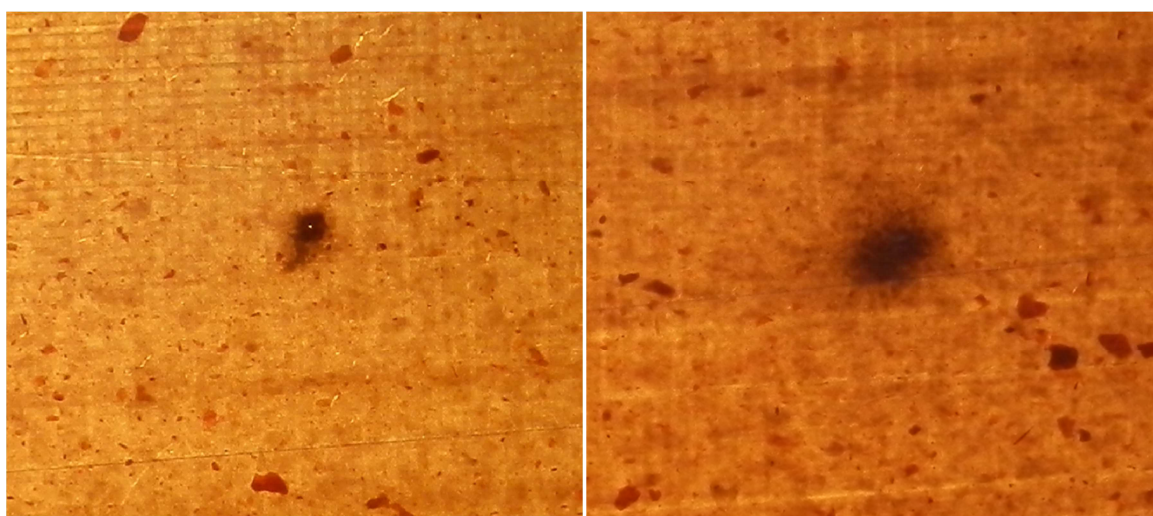
Relanex 45.033; 4 vrstvy; DC + krátkodobá zkouška		Relanex 45.033; 4 vrstvy; DC + stupňovité napětí	
Stř. hodnota	210.417	Stř. hodnota	172.583
Chyba stř. hodnoty	3.817	Chyba stř. hodnoty	2.624
Medián	207	Medián	171.50
Modus	212	Modus	#N/A
Směr. odchylka	13.222	Směr. odchylka	9.090
Rozptyl výběru	174.811	Rozptyl výběru	82.629
Špičatost	0.953	Špičatost	0.345
Šikmost	1.158	Šikmost	0.722
Rozdíl min. a max.	44	Rozdíl min. a max.	31
Minimum	196	Minimum	161
Maximum	240	Maximum	192
Součet	2525	Součet	2071
Počet	12	Počet	12
Hladina spolehlivosti (95.0%)	8.401	Hladina spolehlivosti (95.0%)	5.776
Variační koeficient V_x [%]	6.284	Variační koeficient V_x [%]	5.267

Příloha C

Detailní fotografie proražených vzorků



Obr. B.1 Detail místa průrazu materiálu Calmicafab 3417, střídavé napětí:
a) krátkodobá zkouška, b) zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí



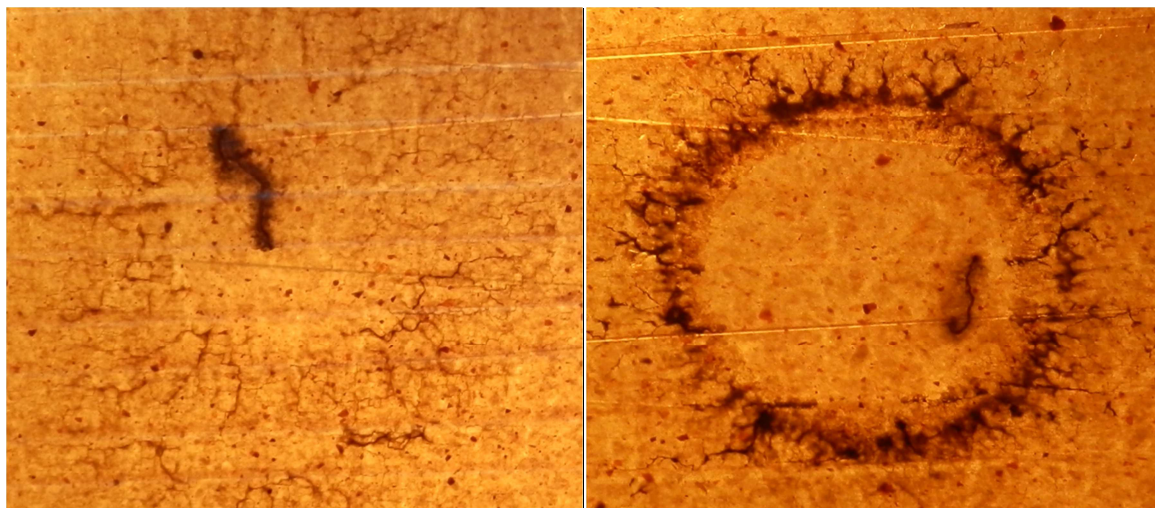
Obr. B.2 Detail místa průrazu materiálu Calmicafab 3417, stejnosměrné napětí:
a) krátkodobá zkouška, b) zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí



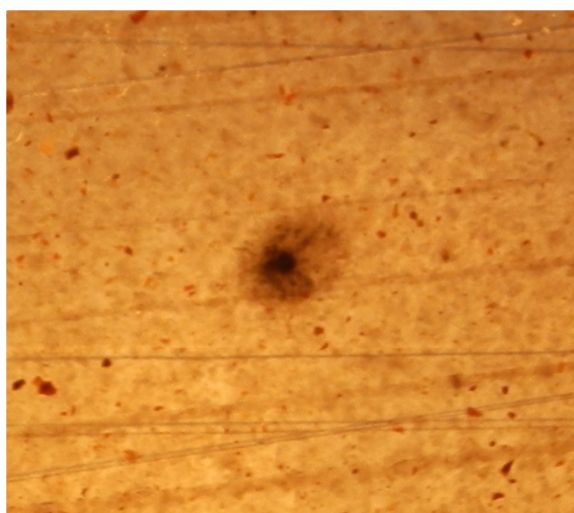
Obr. B.3 Detail místa průrazu materiálu Relanex 45. 033, střídavé napětí:
a) krátkodobá zkouška, b) zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí



Obr. B.4 Detail místa průrazu materiálu Relanex 45. 033, stejnosměrné napětí:
a) krátkodobá zkouška, b) zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí



Obr. B.5 Detail místa průrazu materiálu Relastik 45. 036, střídavé napětí:
a) krátkodobá zkouška, b) zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí



Obr. B.6 Detail místa průrazu materiálu Relastik 45. 036, stejnosměrné napětí:
zkouška se stupňovitým zvyšováním napětí

Příloha D

Materiálový list Relanex 45.033



Relanex 45.033, 45.033 S

Ohebné slídové pásy a fólie

Charakteristika

Relanex 45.033 a 45.033 S je za normální teploty ohebný, za tepla tvrný a leplivý, teplem tvrditelný elektroizolační materiál. Je vyroben z nekalcinovaného slídového papíru Remika® (muskovit) a skleněné tkaniny, vzájemně spojených epoxynovolakovou pryskyřicí. Relanex 45.033 je dodáván bez separační fólie. Relanex 45.033 S je dodáván se separační fólií, která musí být před zpracováním odstraněna.

Použití

Relanex 45.033, 45.033 S se používá pro izolování cívek a tyčí vinutí elektrických točivých strojů, pracujících v podmínkách tepelné izolační třídy 155°C s provozním napětím do 24 kV. Cívky se izolují ovíjením páskou obvykle s polovičním překrytím v potřebném počtu vrstev nebo se ovínou fólií jejich dražkové části. Izolace se vytvrzuje v lisu za zvýšené teploty a tlaku.

Způsob dodání

Relanex 45.033 S

Role všechny tloušťky - šíře 1000 mm \pm 30 mm vyjma tloušťky 0,28 mm
tloušťka 0,28 mm - šíře 980 mm \pm 30 mm
vnitřní průměr dutinky 150 mm
maximální hmotnost návinu 30 kg

Pásy všechny tloušťky vyjma 0,28 mm, šíře od 15 mm
standardní šířky 15, 20, 25 a 30 mm
tolerance šíře pásek – do 20 mm: \pm 0,5 mm, nad 20 mm: \pm 1 mm
vnitřní průměr dutinky 55 mm, standardní délka 50 m nebo 100 m

Relanex 45.033

Pásy všechny tloušťky vyjma 0,28 mm, šíře od 15 mm
standardní šířky 15, 20, 25 a 30 mm
tolerance šíře pásek – do 20 mm: \pm 0,5 mm, nad 20 mm: \pm 1 mm
vnitřní průměr dutinky 55 mm, standardní délka 50 m nebo 100 m

Skladovatelnost

Max. 6 měsíců při teplotě 20 °C.
Max. 12 měsíců při teplotě 5 °C.
Maximální skladovací a transportní teplota je 30°C.

Technické údaje

Jmenovitá tloušťka	mm	0,22	0,24	ČSN EN 60371-2
Tolerance	mm	\pm 0,035	\pm 0,035	ČSN EN 60371-2
Plošná hmotnost	g.m ⁻²	301 \pm 27	331 \pm 33	ČSN EN 60371-2
Slídový papír	g.m ⁻²	160 \pm 12	180 \pm 12	ČSN EN 60371-2
Skleněná tkanina	g.m ⁻²	33 \pm 2	33 \pm 2	ČSN EN 60371-2
Poljvo	g.m ⁻²	108 \pm 13	118 \pm 25	ČSN EN 60371-2
Těkavé látky	%	max. 0,8	max. 0,8	ČSN EN 60371-2
Pevnost v tahu	N/10mm	min. 150	min. 150	ČSN EN 60371-2

mv250206-12

COGEBI n.v.
Huysemanslede 65
B-1651 LOT BELGIUM
Phone : +32 2 334 91 11
Fax : +32 2 378 12 09
E-mail : mica@cogebi.com
www.cogebi.com

COGEBI Inc.
Crosby Road Industrial Park
14 Fareway Drive DOVER N.H.
03820 - USA
Phone : +1 603 749 69 96
Fax : +1 603 749 69 98
E-mail : mica.usa@cogebi.com
mica.usa@cogebi.com

COGEBI a.s.
Vozilka 2104
390 02 TABOR
CZECH REPUBLIC
Phone : +420 381 281 113
Fax : +420 381 281 567
E-mail : mica@cogebi.com
mica@cogebi.com

COGEBI Asia Sdn Bhd - Lot 752,
No. 3, Jalan Subang 3 - Taman
Perindustrian Sungai Penaga
47610 Subang Jaya, Selangor
Darul Ehsan - MALAYSIA
Phone : +603 56 35 08 00
Fax : +603 56 38 21 00
E-mail : mica.asia@cogebi.com
mica.asia@cogebi.com

COGEBI PRC (China)
Shanghai Representative Office
Suite 321, 3/F Apollo Building,
1440 Yanan Road (C), Shanghai
PRC - CHINA
E-mail : mica.china@cogebi.com
mica.china@cogebi.com

www.cogebi.com

Member of the Ellnar Group

Relanex 45.033, 45.033 S

Jmenovitá tloušťka	mm	0,25	0,28	ČSN EN 60371-2
Tolerance	mm	± 0,025	± 0,035	ČSN EN 60371-2
Plošná hmotnost	g.m ⁻²	350 ± 30	423 ± 35	ČSN EN 60371-2
Slidový papír	g.m ⁻²	180 ± 18	250 ± 20	ČSN EN 60371-2
Skleněná tkanina	g.m ⁻²	50 ± 3	33 ± 2	ČSN EN 60371-2
Pojivo	g.m ⁻²	120 ± 15	140 ± 20	ČSN EN 60371-2
Těkavé látky	%	max. 0,8	max. 0,8	ČSN EN 60371-2
Pevnost v tahu	N/10mm	min. 180	min. 150	ČSN EN 60371-2

Vytvrzovací podmínky :

vytvrzovací teplota	130 + 180 °C
čas *	0,5 + 8 hod
tlak	1,5 + 3 MPa
minimální vytvrzovací podmínka:	20 min* při teplotě 165 °C, 1,5 + 3 MPa
doporučená vytvrzovací podmínka:	1 hod* při teplotě 165 °C, 1,5 + 3 MPa

(*po době, kdy materiál dosáhl vytvrzovací teploty)

Maximální hodnoty parametrů izolace jsou dosaženy po 3 hod při teplotě 165 °C.

Vlastnosti po vytvrzení (zkušební deska, tloušťka 1 mm)

Vytvrzovací režim: 3 hod při teplotě 165 °C - tlak (po dosažení 110 ± 10 °C) 1 MPa

Vnitřní odpor	Ω.m	min. 1.10 ¹³	IEC 93
Ztrátový činiteľ tg δ *			IEC 250
(E = 1kV.mm ⁻¹) při teplotě		max. 0,01	
23 °C		max. 0,04	
130 °C		max. 0,10	
155 °C			
Elektrická pevnost *	kV.mm ⁻¹	min. 35	IEC 243
Pevnost v ohybu *	MPa	min. 150	ČSN EN 60371-2
Tepelná vodivost	W.K ⁻¹ .m ⁻¹	cca 0,2	
Odočnost vůči plazivým proudům	CTI	475	IEC 112
- ze strany skleněné tkaniny		200	
- ze strany slidy			
Koeficient délkové roztažnosti	K ⁻¹	(1 + 10).10 ⁻⁵	

* měřeno na vzorku o tloušťce cca 0,25 mm

Hodnoty uvedené v tomto katalogovém listu mají pouze informativní charakter.

mv250209-22

COGEBI n.v.
Huyensdreef 65
S-1651 LOT BELGIUM
Phone : +32 2 334 91 11
Fax : +32 2 378 12 00
E-mail : misa@cogebi.com
www.cogebi.com

COGEBI Inc.
Crosby Road Industrial Park
14 Flaxley Drive DOVER N.H.
03820 - USA
Phone : +1 603 749 66 96
Fax : +1 603 749 69 56
E-mail : misa_inc@cogebi.com
www.inc@cogebi.com

COGEBI a.s.
Voztůvka 2104
390 02 TABOR
CZECH REPUBLIC
Phone : +420 381 281 113
Fax : +420 381 281 567
E-mail : misa@cogebi.com
www.cogebi.com

COGEBI Asia Sdn Bhd - Lot 752
No. 3, Jalan Subang 3 - Taman
Perindustrian Sungai Penaga
47610 Subang Jaya, Selangor
Darul Ehsan - MALAYSIA
Phone : +603 56 35 06 00
Fax : +603 56 36 21 00
E-mail : misa.asia@cogebi.com
www.asia@cogebi.com

COGEBI PRC (China)
Shanghai Representative Office
Suite 321, 3/F Apollo Building,
1440 Yanan Road (C), Shanghai
PRC - CHINA
E-mail : misa.china@cogebi.com
www.china@cogebi.com

www.cogebi.com

Member of the Ellnar Group

Příloha E

Materiálový list Relastik 45.036



Relastik 45.036, 45.036 S

Ohebné slídové pásky

Charakteristika

Relastik 45.036 a 45.036 S je za normální teploty ohebný, za tepla tvárný a lepidlý, teplem tvrditelný elektroizolační materiál. Je vyroben z kalcinovaného slídového papíru Remika (muskovit) a polyetylenetereftalátové (PET) fólie, vzájemně spojených epoxynovolakovou pryskyřicí. Relastik 45.036 je dodáván bez separační fólie. Relastik 45.036 S je dodáván se separační fólií, která musí být před zpracováním odstraněna.

Použití

Relastik 45.036, 45.036 S je určen pro izolování cívek nebo tyčí vinutí elektrických strojů, zejména vysokonapěťových motorů velkých výkonů s provozním napětím do 13,8 kV, pracujících v podmínkách tepelné izolační třídy 155°C. Cívky (tyče) se izolují ovijemím páskou s polovičním překrytím v potřebném počtu vrstev. Konečné vlastnosti získá izolace po vytvrzení za tlaku při teplotě 130 ÷ 160°C po dobu 1 ÷ 8 hod.

Způsob dodání

Pásky šíře od 15 mm, standardní šířky 15, 20, 25 mm
tolerance šíře pásek - do 20 mm: ± 0,5 mm,
nad 20 mm: ± 1,0 mm
vnitřní průměr dutinky 55 mm, standardní délka 50 m

Skladovatelnost

Max. 6 měsíců při teplotě 20 °C.
Max. 8 měsíců při teplotě 5 °C.
Maximální skladovací a přepravní teplota je 30°C.

Technické údaje

Jmenovitá tloušťka	mm	0,16	0,17	ČSN EN 60371-2
Tolerance	mm	: 0,02	± 0,02	ČSN EN 60371-2
Plošná hmotnost	g.m ⁻²	257±18	267±18	ČSN EN 60371-2
Slídový papír	g.m ⁻²	150±8	150±8	ČSN EN 60371-2
PET fólie	g.m ⁻²	32 ± 2	42 ± 2	ČSN EN 60371-2
Pojivo	g.m ⁻²	75 ± 8	75 ± 8	ČSN EN 60371-2
Těkavé látky	%	max. 2	max. 2	ČSN EN 60371-2
Pevnost v tahu	N/10mm	min.25	min. 30	ČSN EN 60371-2

Vlastnosti po vytvrzení (zkušební deska, tloušťka 1 mm)

Vytvrzovací režim: 3 hod při teplotě 160 °C, tlak 2 MPa

Vnitřní odpor	Ω.m	min. 1.10 ¹³	IEC 93
Ztrátový činitel tg δ (E = 1 kV.mm ⁻¹) při teplotě			IEC 250
23 °C		max. 0,010	
130 °C		max. 0,040	
155 °C		max. 0,150	
Elektrická pevnost *	kV.mm ⁻¹	min.30	IEC 243-1
Měrná hmotnost	g.cm ⁻³	1,8 ÷ 2,0	IEC 371-2

* měřeno na vzorku o tloušťce cca 0,25 mm

Hodnoty uvedené v tomto katalogovém listu mají pouze informativní charakter.

AS/15112012

COGEBI n.v.
Huyssenslaan 65
S-1851 LOT BELGIUM
Phone : +32 2 334 91 11
Fax : +32 2 378 12 09
E-mail : mica@cogebi.com
sales@cogebi.com

COGEBI Inc.
Crosby Road Industrial Park
14 Faraday Drive DOVER N.H.
03820 - USA
Phone : +1 603 749 68 96
Fax : +1 603 749 69 58
E-mail : mica.inc@cogebi.com
sales.inc@cogebi.com

COGEBI a.s.
Vozicka 2104
390 02 TABOR
CZECH REPUBLIC
Phone : +420 381 281 113
Fax : +420 381 281 567
E-mail : mica@cogebi.com
sales@cogebi.com

COGEBI Asia Sdn Bhd - Lot 752,
No. 3, Jalan Subang 3 - Taman
Perindustrian Sungai Pening
47610 Subang Jaya, Selangor
Darul Ehsan - MALAYSIA.
Phone : +603 56 35 08 00
Fax : +603 56 36 21 00
E-mail : mica.asia@cogebi.com
sales.asia@cogebi.com

COGEBI PRC (China)
Shanghai Representative Office
Suite 321, 3/F Apollo Building,
1440 Yamen Road (C), Shanghai
PRC - CHINA
E-mail : mica.china@cogebi.com
sales.china@cogebi.com

www.cogebi.com

Member of the Einar Group

Příloha F

Materiálový list Calmicafab 3417



CALMICAFAB® 3417

Description

CALMICAFAB® 3417 consists of mica paper based on calcined muscovite, a special glass cloth and thermosetting epoxy-novolac. CALMICAFAB® 3417 is a very flexible glass mica paper combination, which can be easily wrapped in full width by hand or taped on automatic taping machines.

After curing in a hot press an insulation with excellent dielectric, thermal, mechanical and chemical properties is obtained. Due to the special glass cloth the thermal, electrical and mechanical properties of the final insulation are even further improved compared to the very good properties of standard CALMICAGLAS® tapes.

Depending on the design of the coils and bars an electric field strength of up to 3.5 kV/mm in service is possible.

The improved flexibility gives better taping without wrinkles in the bent area and allows faster taping of the coils and bars.

Application

CALMICAFAB® 3417 is used for the insulation of bars and coils of motors and generators up to highest output and highest nominal voltage. The preheating cycle at minimum pressure (< 0.3 N/mm²), depending on the size of the bars or coils, is given from 20 Minutes at 135 °C up to 5 minutes at 160 °C. Please note, that a fast ascent of pressure can influence the laminating quality. Kneading is not recommended. Curing is possible up to 180 °C in combination with release-film VOTAFILM® 2646 or shrink-release film VOTAFILM® 2645 for rounded corners.

CALMICAFAB® 3417 contains more resin than CALMICAFAB® 3293/3294 which leads to a higher resin flow during curing.

Formats

Rolls: maximum width 1000 mm

Tapes: from 10 mm width upward

CALMICAFAB® 3417 is delivered interleaved.

Storability

Minimum 6 months at 20 °C

Minimum 12 months at 5 °C

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.

**Processing Advice**

Pressing conditions (to achieve form stability):

Temperature: 130 – 180 °C

Pressure: 2 - 3 N/mm²

Time: 8.0 - 0.5 hours

Example: 1 hour, 160 °C and 2 N/mm²

Fully cured status is achieved after 4 hours at 160 °C.

Technical Data

CALMICAFAB® 3417			
Properties	Test method	Unit	Value
Nominal thickness	IEC 60371-2	mm	0.15 ± 0.02
Total substance	IEC 60371-2	g/m ²	241 ± 21
Mica paper	IEC 60371-2	g/m ²	120 ± 8
Glass cloth	IEC 60371-2	g/m ²	26 ± 3
Resin content	IEC 60371-2	g/m ²	95 ± 10
Tensile strength	IEC 60371-2	N/cm	≥ 150
Volatile content (15 min 150 °C)	IEC 60371-2	%	≤ 0.5

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.

Page 2 of 2
Calmicafab 3417_01
Created: 2008-12-01

ISOVOLTA AG - High Voltage • 2355 Wiener Neudorf - Austria
Phone: +43/5/9595-9466 • Fax: +43/5/9595-9477 • high-voltage@isovolta.com • www.isovolta.com
Company No. 80592 v • Commercial register: Wr. Neustadt • VAT: ATU 142 43 102 • DPR 8028