

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vliv ředění na vlastnosti epoxidové pryskyřice**

**vedoucí práce: Prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.  
autor: Bc. Martin Fejt**

**2014**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin FEJT**  
Osobní číslo: **E12N0008P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Vliv ředění na vlastnosti epoxidové pryskyřice**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Uveďte aspekty aplikace epoxidových pryskyřic při opravách vinutí elektrických točivých strojů
2. Specifikujte vhodné typy epoxidových pryskyřic pro uvedený účel
3. Proveďte rozbor používané technologie aplikace pryskyřic pro daný účel
4. Stanovte diagnostický systém pro sledování změn vlastností epoxidových pryskyřic vyvolaných technologickým procesem při opravách vinutí

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Mentlík, V.: Dielektrické prvky a systémy, BEN Praha 2006
2. Mentlík, V. et al: Diagnostika elektrických zařízení, BEN Praha 2008
3. Mentlík, V. et al: Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie, BEN Praha 2011

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.**

Katedra technologií a měření

Konzultant diplomové práce: **Ing. Zdeněk Křelovec**

1.Servis Energo Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce popisuje epoxidové pryskyřice s důrazem na ty druhy, které jsou vhodné pro aplikaci ve velkých točivých strojích. Dále jsou popsány základní technologické postupy aplikace epoxidových pryskyřic a z toho plynoucí požadavky na ředění epoxidových pryskyřic. V praktické části práce je stanoven diagnostický systém pro sledování změn vlastností epoxidových pryskyřic vlivem ředění a jsou provedeny zkoušky za účelem vyhodnocení těchto změn.

## **Klíčová slova**

velké točivé stroje, epoxidové pryskyřice, resin-rich, VPI, statorového vinutí, rázová houževnatost, dielektrické ztráty

## **Abstract**

The master thesis describes different types of epoxy resin with focus on types applicable in field of big rotary machines. Further basic technological procedures of applying epoxy resin are described and also need of dilution of epoxy resin is explained. Diagnostic system for controlling alteration caused by dilution is set in practical part and test are run in order to determinate the alteration.

## **Key words**

big rotary machines, epoxy resin resin-rich, VPI, stator winding, impact resistance, dielectric losses

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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 7.5.2014



.....  
Martin Fejt

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Václavu Mentlíkovi, CSc. za přínosné poznámky, rady a doporučení k této práci. Dále Ing. Zdeňku Křelovcovi za bližší seznámení s tématem a praktické informace přímo z praxe. V neposlední řadě panu Jaroslavu Bartoňovi, za pomoc s přípravou a měřením vzorků.

# Obsah

<b>SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE .....</b>	<b>11</b>
1.1 DIANOVÉ PRYSKYŘICE.....	12
1.2 VYTVRZOVÁNÍ.....	12
<b>2 ROZBOR POUŽÍVANÝCH TECHNOLOGIÍ .....</b>	<b>13</b>
2.1 RESIN-RICH.....	13
2.2 VPI.....	14
2.3 VÝZTUHY ČEL VINUTÍ.....	14
2.4 ASPEKTY OPRAV VINUTÍ .....	15
<b>3 OVĚŘENÍ ZMĚN VLASTNOSTÍ PRYSKYŘICE ŘEDĚNÍM.....</b>	<b>15</b>
<b>4 DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM .....</b>	<b>16</b>
4.1 ZTRÁTOVÝ ČINITEL.....	16
4.2 ABSORPČNÍ CHARAKTERISTIKY .....	17
4.3 RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST .....	18
4.4 ZKOUŠKA V OHYBU .....	20
4.5 PŘÍPRAVA VZORKŮ .....	21
<b>5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....</b>	<b>24</b>
5.1 ZTRÁTOVÝ ČINITEL.....	24
5.2 ABSORPČNÍ CHARAKTERISTIKY .....	25
5.3 RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST .....	26
5.4 ZKOUŠKA V OHYBU .....	27
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>29</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>30</b>
<b>PŘÍLOHA A: KATALOGOVÉ LISTY.....</b>	<b>1</b>
<b>PŘÍLOHA B: NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY ZTRÁTOVÉHO ČINITELE.....</b>	<b>7</b>
<b>PŘÍLOHA C: NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY ABSORPČNÍHO PROUDU.....</b>	<b>9</b>
<b>PŘÍLOHA D: NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI .....</b>	<b>10</b>
<b>PŘÍLOHA E: NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY ZKOUŠKY V OHYBU .....</b>	<b>11</b>
<b>PŘÍLOHA F: NAMĚŘENÉ HODNOTY ROZMĚRŮ VZORKŮ .....</b>	<b>12</b>



## Seznam zkratk a symbolů

$b$	[mm]	Šířka vzorku
$h$	[mm]	Výška vzorku
$\bar{x}$		Aritmetický průměr
$R_x$	[ $\Omega$ ]	Vnitřní odpor
$\rho_v$	[ $\Omega \cdot m$ ]	Vnitřní rezistivita
$P_{i1}$	[-]	Jednominutový polarizační index
$P_{i10}$	[-]	Desetiminutový polarizační index
$W$	[J]	Energie spotřebovaná při přeražení
$ac_U$	[kJ·m <sup>-2</sup> ]	Rázová houževnatost
$F_{max}$	[N]	Maximální síla
$R_{mo}$	[MPa]	Mez pevnosti v ohybu
$s$	[mm]	Průhyb vzorku
$\sigma_f$	[MPa]	Napětí v ohybu
$tg \delta$	[-]	Ztrátový činitel
$s$	[-]	Směrodatná odchylka
$v$	[%]	Variační koeficient
$C_X$	[F]	Kapacita testovaného vzorku
$u_A$	[-]	Standardní nejistota

## Úvod

Tato diplomová práce vznikla ve spolupráci se společností 1. SERVIS ENERGO s.r.o. Plzeň, která se zabývá montáží, servisem a opravou velkých točivých strojů. Během oprav vinutí je z technologických důvodů nutné aplikované epoxidové pryskyřice ředit. Předmětem práce je tedy zjistit, k jakým změnám elektrických a mechanických parametrů dochází vlivem ředění.

V teoretické části je zpracován přehled pryskyřic se zaměřením na ty druhy, které jsou využívány v elektrotechnice. Následují příklady užití pryskyřic během servisu elektrických zařízení.

V praktické části je navržen diagnostický systém pro sledování změn vlastností ředěných pryskyřic a následně jsou popsány provedené zkoušky. Tyto zkoušky byly provedeny na sérii vzorků o třech stupních ředění, aby bylo možné získané výsledky porovnat a diskutovat tak vliv ředění na jednotlivé parametry.

# 1 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice tvoří velkou skupinu materiálů různých vlastností s širokým polem použití, které se začínají objevovat a rozvíjet po druhé světové válce. V této době má rozvíjející se průmysl nové požadavky na používané materiály. Epoxidové pryskyřice mají potenciál tyto požadavky splnit a v následujících letech se postupně vyvíjí různé druhy, které jsou dále uplatněny v široké oblasti průmyslové aplikace od stavebnictví, mechaniky, až po elektrotechniku. Je zajímavé, že Československo a později Česká republika se na vývoji a výrobě pryskyřic podílí jako jeden z předních států na světě. [1], [6]

Z chemického hlediska se jedná o syntetické polymery obsahující zpravidla více než jednu epoxidovou (oxiranovou, ethylenoxidovou) skupinu, v přírodě se nevyskytující. Vznikají na základě umu člověka chemickou syntézou a řadí se mezi reaktoplasty, pro které je typická nevratná chemická reakce měnící uspořádání jejich molekul z lineárního do síťového stavu. Tomuto procesu se říká vytvrzování a dochází k němu zahřátím nebo přidáním vytvrzovacího prostředku.

Reaktivita epoxidových pryskyřic s velkým počtem sloučenin je značná a vznikají tak různorodé zesíťované makromolekulární produkty s velkým spektrem užitečných vlastností, jako je velká adheze k většině povrchů ostatních materiálů. Dále vysoká chemická odolnost vůči zásadám i zředěným roztokům anorganických i organických kyselin a z mechanického hlediska pevné látky s minimálním smrštěním při vytvrzování.

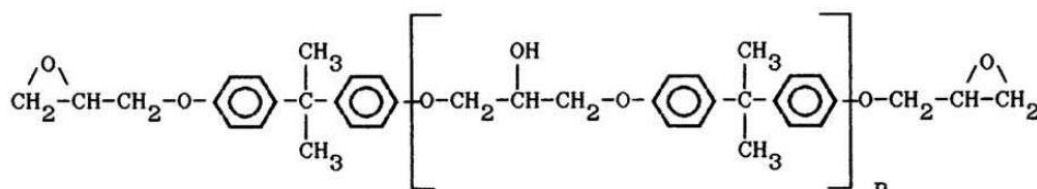
Existuje velké množství výrobních postupů pro produkci pryskyřic, kdy každá metoda s sebou nese určité výhody a specifické vlastnosti. Z hlediska báze, na které je pryskyřice vytvořena, je možné dělení do několika skupin: [1], [6]

- Glycidylethery
- Diany
- Novolaky
- Cykloalifaty
- Dusíkaté sloučeniny

## 1.1 Dianové pryskyřice

Pryskyřice na bázi dianu jsou celosvětově nejpoužívanějším druhem a rovněž vzorky použité v této práci jsou vyrobeny z epoxidové pryskyřice založené na dianové bázi. [1]

Připravují se alkalickou kondenzací dianu s epichlorhydrinem, kde vzájemný molární poměr těchto látek ovlivňuje molekulovou hmotnost, což je důležitý parametr charakterizující vlastnosti výsledného produktu jako je například viskozita a rozpustnost. Dále chemická odolnost, která stoupá s rostoucí molekulovou hmotností a stupněm zesíťování. Ukázka idealizovaného strukturního vzorce je na Obr. 1-1. [6]



Obr. 1-1 Strukturní vzorec epoxidové pryskyřice na bázi dianu [6]

## 1.2 Vytvrzování

Vytvrzování je proces polyadice sloučenin s aktivním vodíkovým atomem na epoxidové skupiny, kdy se většinou kapalné látky mění na pevné bezbarvé, až nažloutlé látky a získávají své konečné vlastnosti. Během vytvrzování je důležitý správný poměr aktivních vodíkových atomů obsažených v tvrdidle a epoxidových skupin v pryskyřici, aby došlo k rovnoměrnému zesíťování a nevznikaly v materiálu nehomogenity. Tento poměr je většinou udáván přímo výrobcem ve formě hmotnostních poměrů jednotlivých složek. [6]

Jak již bylo naznačeno, má tvrdilo značný vliv na vlastnosti pryskyřice po jejím konečném vytvrzení a jedna pryskyřice může použitím různých tvrdidel dosáhnout značně odlišných finálních vlastností. Mezi nejpoužívanější tvrdidla patří: [1], [6]

- Polyaminy
- Polythioly
- Anhydridy polykarboxylových kyselin

Při použití alifatických a cykloalifatických polyaminů dochází k vytvrzování pryskyřice za pokojové teploty. Z větší části je vytvrzení hotové po několika hodinách, kompletní vytvrzení však trvá několik dní. Tento proces lze urychlit zvýšením teploty, při které proces probíhá. Mezi nejpoužívanější tvrdidla patří anhydridy polykarboxylových kyselin, které mají široké uplatnění v zalévacích, impregnačních a laminačních pryskyřicích. Vytvrzování probíhá při teplotě 100°C až 200°C několik hodin. Takto vzniklé pryskyřice obsahují menší koncentraci hydroxylových skupin a jsou tak méně navlhavé. Tvrdidla s aromatickým jádrem pak přinášejí odolnost vůči větším teplotám, než tvrdidla alifatická. [6]

## 2 Rozbor používaných technologií

### 2.1 Resin-rich

V případě použití této technologie se využívá skleněná tkanina jako nosný materiál pro elektrickou bariéru z rekonstruované slídy ve formě slídového papíru a epoxidová pryskyřice plní funkci pojiva s obsahem do 35%. Pryskyřice je již od výrobce nanесena na pásy nosného materiálu v částečně vytvrzeném stavu, tzv. B stavu, aby se zjednodušila aplikace. Tento proces se používá pro izolaci cívek vinutí velkých točivých strojů, kdy může být celá tyč izolována páskou jednoho druhu nebo je na rovné části použit jeden druh a na čela jiný, aby mohlo dojít k vytvrzení v různý okamžik výrobního postupu. [8], [4]

Technologický postup je tvořen třemi kroky. V první řadě je páska nanесena na tyč vinutí a ohřáta na teplotu 90°C, kdy pojivo začíná gelovatět. V této době se forma dotahuje na požadovanou velikost, to zajistí vytvoření jednolité kompaktní izolační vrstvy. Proces pokračuje zahřátím na vytvrzovací teplotu a setrváním po potřebnou dobu na vytvrzení. Poslední fází je postupné ochlazení, aby nedošlo k mechanickému pnutí uvnitř materiálu a porušení izolační vrstvy. Takto připravenou cívku je možno vložit do stroje a v případě poruchy nebo nutného servisu bez větších problémů zase vyjmout. [8], [4]

## 2.2 VPI

Izolovaný systém je opět obalen páskou ze skleněné tkaniny tvořící nosný materiál. I zde je přítomen nekalcinovaný slídový papír jako elektrický izolant a epoxidová pryskyřice jako pojivo do 8% obsahu. Využívá se zde savost nekalcinovaného papíru, který během impregnačního procesu absorbuje další pryskyřici. Tímto postupem je možné impregnovat buď jednotlivé tyče, nebo větší celky. Celkově je tento způsob náročnější na technické vybavení, vytvořená izolační vrstva je ale dokonale homogenní.

Postup se skládá ze čtyř kroků, kdy v prvním se opět tyče obalí izolační páskou. Následuje druhý krok v impregnačním kotli, tzv. autoklávu. Při teplotě vyšší než 100°C je zavedeno vakuum, aby se odstranily vodní páry a další nežádoucí plyny. Poté je autokláv ode dna plněn impregnantem, jehož složení musí být chemicky slučitelné s pojivem izolační pásky. Po naplnění je zaveden přetlak pro podpoření procesu absorpce impregnantu izolační páskou. Nakonec je impregnant vypuštěn a izolovaný systém je přemístěn do sušky. Zde je pomocí horkého vzduchu o příslušné teplotě po stanovené době pryskyřice vytvrzena. [8], [4]

## 2.3 Výztuhy čel vinutí

Čela vinutí jsou komplikované uzly, kde dochází ke spojování vinutí horní a spodní polohy. Dále mohou být v těchto místech zavedeny vstupy pro chladicí médium. Je tedy třeba zajistit kvalitní a kompaktní spojení v jeden celek, který snáze odolá vibračnímu zatížení a nedejde tak k celkovému zhoršení izolačního systému.

Hlavním prvkem zpevnění čel jsou sklotextitové konzole pevně spojené s magnetickým obvodem stroje. Následně zakládáné tyče vinutí jsou fixovány k sobě navzájem pomocí rozpěrných vložek a také ke konzolám. Po dokončení spodní polohy je aplikován ochranný lak. Následuje zakládání tyčí horní polohy, mezi obě vrstvy se umístí textilie napuštěná pryskyřicí, která opět zajistí mechanické spojení obou poloh. [8]

## 2.4 Aspekty oprav vinutí

Po dokončení oprav se tyčové vinutí opět zakládá do drážek, kde se využívá polovodivý materiál pro vymezení vůle mezi tyčí a drážkou stroje, aby nedocházelo k částečným výbojům.

Čela vinutí je třeba také mechanicky upevnit k pomocným sklotextitovým konzolím. I zde je důležité přesné umístění a vymezení vůlí mezi jednotlivými tyčemi. To se provádí pomocí rozpěrných vložek a textilie napuštěné epoxidovou pryskyřicí.

V neposlední řadě se na specifických místech vkládají suché textilie a pryskyřice se nanáší až následně ve formě nástřiku. Po dokončení montáže čel vinutí se rovněž provádí povrchová úprava v podobě nanesení laku.

Pro zajištění dostatku času pro aplikaci samotné pryskyřice se používá tvrdidlo T0563, které samo o sobě prodlužuje dobu zpracovatelnosti pryskyřice před jejím vytvrzením. Toto tvrdidlo dále snižuje množství vyvíjeného tepla během procesu vytvrzování. Doba zpracovatelnosti přesto nebyla dostatečná a je nezbytné ji dále prodloužit užitím technického acetonu. Ten se užívá i pro snížení viskozity v případě aplikace pryskyřice pomocí stříkací pistole.

## 3 Ověření změn vlastností pryskyřice ředěním

Ověření bylo realizováno pomocí vyrobených vzorků a diagnostického systému, který byl navržen tak, aby pokryl hlavní elektrické a mechanické parametry sledovaného epoxidu s ohledem na jeho užití ve velkých točivých strojích.

Z elektrických vlastností je kladen důraz na měření ztrátového činitele a absorpčních proudů, ze kterých jsou dále dopočítány polarizační indexy, vnitřní odpor a vnitřní rezistivita. Protože je epoxidová pryskyřice součástí elektroizolačního systému stroje a lze očekávat zhoršení elektrických parametrů vlivem přidání dalších příměsí, je vhodné pro posouzení vlivu ředění provést výše jmenované zkoušky.

Mechanické zkoušky hodnotí rázovou houževnatost a chování v ohybu. Předpokládá se prodloužení doby tvrdnutí a pravděpodobně nedojde k úplnému odpaření ředidla. To může způsobit snížení pevnosti epoxidu, který při jeho aplikaci ve velkých točivých strojích musí odolávat vibracím a je žádoucí jeho vysoká pevnost.

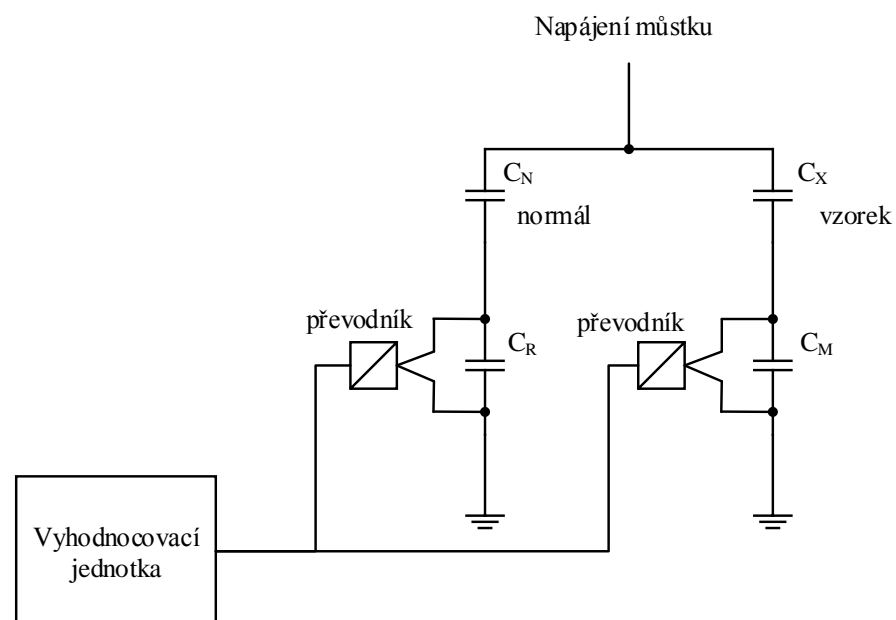
## 4 Diagnostický systém

Následuje přehled jednotlivých diagnostických metod.

### 4.1 Ztrátový činitel

Ztrátový činitel reprezentuje vnitřní chování materiálu po vložení do elektrického pole, kdy většinou dochází k přeměně energie na teplo. Tento jev se nazývá dielektrické ztráty a je velice důležitým ukazatelem kvality izolantů. Uvádí se ve tvaru  $\text{tg } \delta$  – ztrátový úhel dielektrika a je to bezrozměrné číslo. [3]

Měření probíhá na automatickém můstku, který využívá princip klasického Scheringova můstku. Čtyři kondenzátory jsou zapojeny jako kapacitní dělič, kde jsou napětí na kondenzátorech  $C_R$  a  $C_M$  snímána a po optickém kabelu zasílána do vyhodnocovací jednotky, kde se z fázového úhlu mezi změřenými napětími dopočítá ztrátový činitel  $\text{tg } \delta$ . Blokové znázornění funkce je na Obr. 4-1. [3]



Obr. 4-1 Blokové schéma automatického můstku [4]



## 4.2 Absorpční charakteristiky

Absorpční charakteristiky se získávají zaznamenáváním nabíjecích proudů připojeného vzorku. Následně se z nich počítají pro popis izolantů velice důležité parametry, jako jsou vnitřní odpor, vnitřní rezistivita a polarizační indexy. Tyto parametry reflektují množství volných nosičů náboje v materiálu, které se mění přidáním dalších příměsí.

Vnitřní odpor označovaný  $R_x$  [ $\Omega$ ] určíme (1) z velikosti ustáleného proudu a velikosti přiloženého napětí. Po hodině měření se proud již neměnil a byla tedy použita hodnota z 60. minuty. Se znalostí vnitřního odporu je dále možné spočítat (2) vnitřní rezistivitu  $\rho_v$  [ $\Omega \cdot m$ ], která reprezentuje vztah vnitřního odporu na jednotku objemu.

$$R_x = \frac{U}{I_x} \quad (1)$$

$$\rho_v = R_x \cdot \frac{A}{h} \quad (2)$$

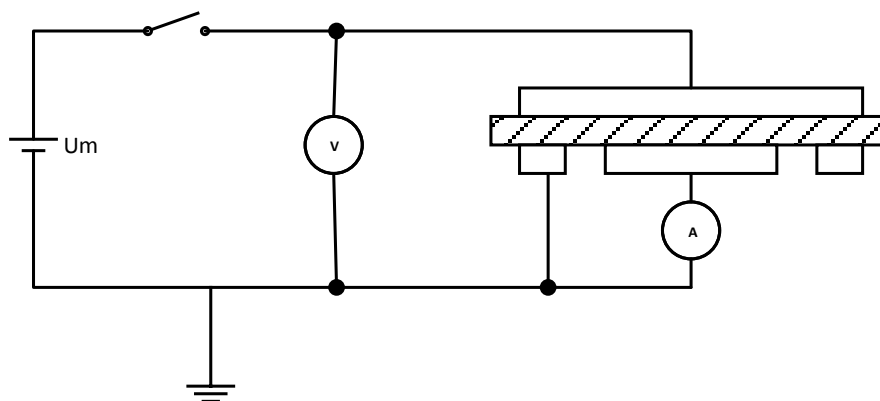
kde	U	je připojené napětí [V]
	$R_x$	je vnitřní odpor [ $\Omega$ ]
	$I_x$	je ustálený proud protékající vzorkem [A]
	$\rho_v$	je vnitřní rezistivita [ $\Omega \cdot m$ ]
	A	je efektivní plocha měrné elektrody [ $m^2$ ]
	h	průměrná tloušťka vzorku [m]

Pro lepší popis časové změny absorpčního proudu určujeme polarizační indexy  $p_{i1}$  a  $p_{i10}$ , které se vypočítají (3) z poměru proudů v 15. a 60. sekundě pro  $p_{i1}$ . Poměrem proudů v 1. a 10. minutě spočítáme  $p_{i10}$ , v obou případech se jedná o bezrozměrná čísla. [4]

$$p_{i1} = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{i_{15}}{i_{60}} = \frac{R_{60} + i_{\infty}}{R_{15} + i_{\infty}} \quad (3)$$

kde	$R_{60}, R_{15}$	jsou odpory v 60. a 15. sekundě po přiložení napětí [ $\Omega$ ]
	$i_{60}, i_{15}$	jsou odpovídající absorpční proudy [A]
	$i_{\infty}$	jsou vodivostní ustálené proudy [A]

Měření předchází uvedení vzorků do dielektricky stabilního stavu vložení do vybíjecí knihy. Kniha je realizována jako uzemněná harmonika složená z měděné fólie, která během 24 hodin odvede povrchové a vnitřní náboje. Vzorky jsou následně měřeny pomocí voltampérové metody, schéma na Obr. 4-2, ve speciálním stíněném elektrodovém systému KEITHLEY.



Obr. 4-2 Blokové schéma voltampérové metody [3]

### 4.3 Rázová houževnatost

Stanovení rázové houževnatosti se provádí na Charpyho padestroji, na obrázku Obr. 4-3. Pomocí této zkoušky získáváme cenné informace o mechanické pevnosti vzorků v případě jejich dynamického namáhání, ke kterému při použití v elektroizolačním systému velkých točivých strojů dochází. [4]

Během zkoušky se zkušební vzorek umístí na podpěry a následně je ve středu přeražen rázovým kladivem. Pro účely této zkoušky byl s ohledem na normu ČSN EN ISO 179-1, použit vzorek bez vrubu se vzdáleností podpěr 62 mm. Detail uložení vzorku je na Obr. 4-4. Na stupnici je měřena energie  $W$  [J], spotřebovaná k přeražení vzorku. Následně se z této hodnoty dopočítává (4) rázová energie spotřebovaná na přeražení  $a_{cU}$  [ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ] vztážená na průřez zkušebního tělesa. [4]

$$a_{cU} = \frac{W}{h \cdot b} \cdot 10^3 \quad (4)$$

kde	$a_{cU}$	je rázová energie [ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
	$W$	je energie spotřebovaná při přeražení zkušebního tělesa [J]
	$h$	je tloušťka zkušebního tělesa [mm]
	$b$	je šířka zkušebního tělesa [mm]



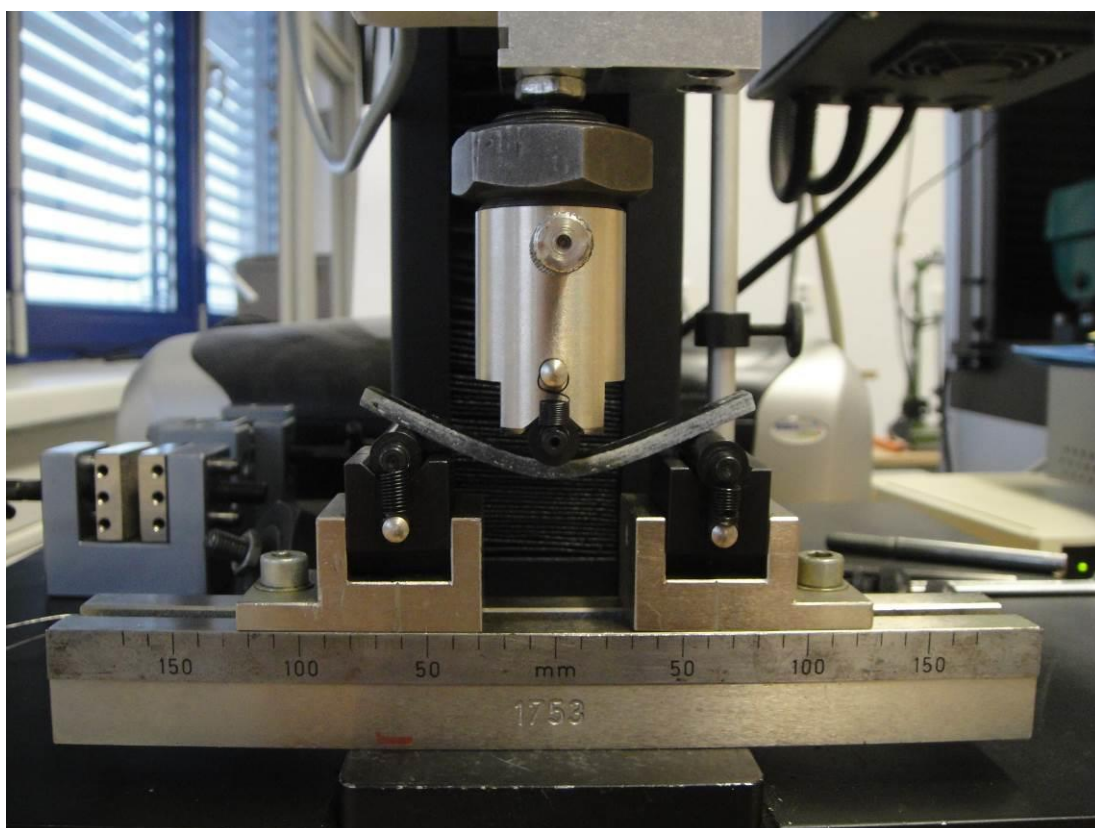
Obr. 4-3 Charpyho padostroj, na kterém probíhalo měření



Obr. 4-4 Detail uložení vzorku na podpěry

#### 4.4 Zkouška v ohybu

Dalším parametrem klasifikace mechanických vlastností je zkouška ohybem. Během této zkoušky je vzorek umístěn na podpěry vzdálené 62 mm a uprostřed na něj působí trn konstantní rychlostí, Obr. 4-5. Průběh síly je zaznamenáván po celou dobu zkoušky, která končí porušením zkušebního tělesa nebo předem stanovenou mírou deformace. [4]



**Obr. 4-5** Detail uložení vzorku během zkoušky v ohybu

## 4.5 Příprava vzorků

Za účelem ověření předpokladů pomocí měření, byly ve spolupráci se společností Trident, s.r.o. vyrobeny vzorky. Tato společnost se zadávající společností dlouhodobě spolupracuje na opravách elektrických vinutí. S ohledem na příslušné normy mají vzorky následující rozměry:

- 100 x 100 x 1 mm po 5 kusech pro elektrická měření
- 80 x 10 x 4 mm po 25 kusech pro mechanická měření

Každá rozměrová varianta byla v příslušném počtu vyrobena ve třech stupních ředění:

- neředěná „A“ - epoxid 33g, tvrdidlo 10g
- částečně ředěná „B“ - epoxid 33g, tvrdidlo 10g, 4,5g technického acetonu
- ředěná „C“ - epoxid 33g, tvrdidlo 10g, 9g technického acetonu

Jako epoxid byl použit 110BG s tvrdidlem T0563, které se při opravách běžně používají. Uvedené množství poměry korespondují s technologickým procesem a jsou odvozeny od doporučeného dávkování výrobce s respektováním stechiometrických koeficientů.

Původně měly být vzorky pro jednotlivá měření vyrobeny rozřezáním jedné desky větších rozměrů. Tento výrobní postup se však nepodařilo realizovat z důvodu velké křehkosti epoxidu bez použití plniva. Ani druhý pokus s formou o přesných rozměrech vzorku nebyl úspěšný. Křehkost epoxidu znemožňovala vyjmutí vzorku z formy bez mechanického poškození.



**Obr. 4-6** První vzorky po vyjmutí z formy

Následně byl jako plnivo použit materiál TIROS. Jedná se o netkanou polyesterovou textilií, která se během technologického procesu oprav standardně užívá. Byly připraveny kusy požadovaných rozměrů, které se ponořily do rozmíchaného epoxidu na dostatečně dlouhou dobu, aby došlo k prosycení. Následovalo vložení do formy a vytvrzení. Na stěny formy byla rovněž natažena separační fólie, která měla usnadnit vyjmutí vzorků z formy. Došlo však k jejímu zvrásnění, což se promítlo do povrchu všech vzorků. S ohledem na zvrásnění povrchu a použití plniva se změny parametry všech vzorků stejně a výsledné porovnání v závislosti ředění epoxidu tedy nebude ovlivněno.

Vzorky pro zkoušky elektrických parametrů byly po prvním měření exponovány po dobu 4 hodin teplotě 80°C a následně byla všechna elektrická měření zopakována. Takto získané hodnoty jsou dále označovány s čarou (A', B', C').





**Obr. 4-7** Vzorky s TIROS použité k měření

Všem vzorkům byly před dalším použitím změřeny základní rozměry pro účely následného dopočítávání parametrů závislých na rozměrech vzorků. U vzorků pro elektrické zkoušky se provedlo měření v každém rohu destičky a ještě jedno ve středu. K výpočtům byl následně použit aritmetický průměr naměřených hodnot. Kompletní přehled naměřených hodnot je možné nalézt v příloze F.

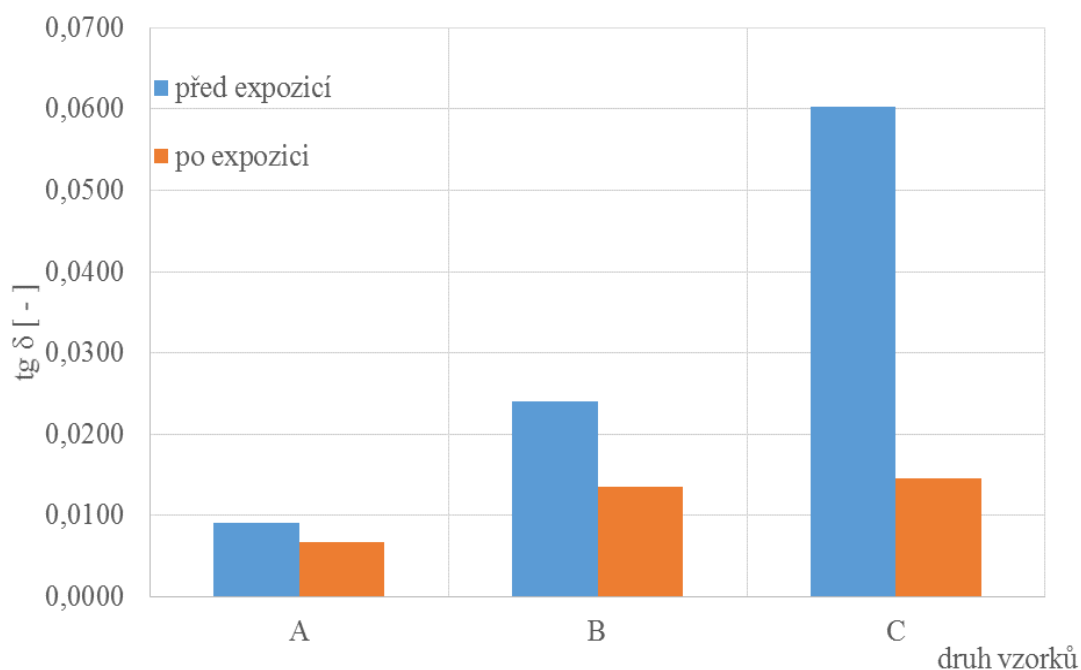
## 5 Výsledky měření

### 5.1 Ztrátový činitel

Měření probíhalo při teplotě 22°C a relativní vlhkosti 42%. Měřený vzorek byl umístěn mezi měděné elektrody kruhového průřezu a následně bylo nastaveno napětí 500 V, 50 Hz. Po zaznamenání naměřených hodnot byl vzorek vyměněn a měření pokračovalo s dalším vzorkem. Tabulka Tab. 5-1 srovnává střední hodnoty šesti měření od každého stupně ředění. Jak je lépe patrné z grafu Obr. 5-1 dochází vlivem ředění ke zvýšení ztrátového činitele šestkrát při porovnání neředěných vzorků A 0,009 a ředěných vzorků C, kde je činitel 0,06. Po expozici se hodnota zlepšuje, stále je však velikost ztrátového činitele u ředěných vzorků C dvojnásobná ve srovnání s neředěnými vzorky A. Všechny naměřené a spočítané hodnoty ztrátového činitele jsou uvedeny v příloze B.

**Tab. 5-1** Srovnání středních hodnot ztrátového činitele  $\text{tg } \delta$

	A	B	C
před expozicí	0,00904	0,024007	0,06034
po expozici	0,00664	0,013521	0,014573



**Obr. 5-1** Porovnání středních hodnot  $\text{tg } \delta$

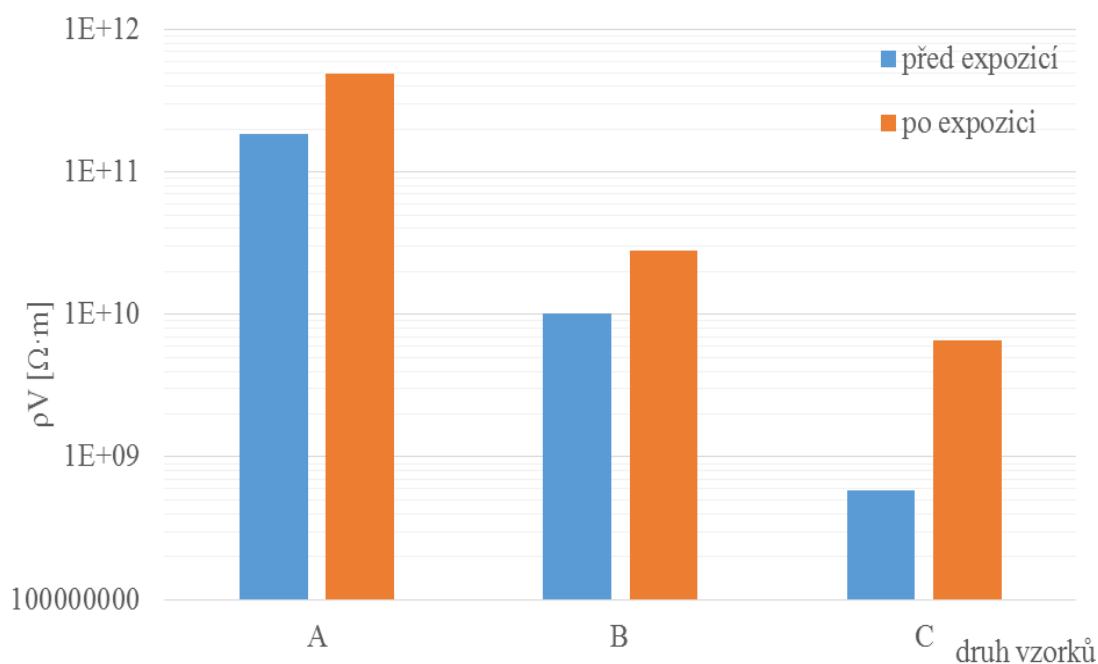


## 5.2 Absorpční charakteristiky

Střední hodnoty výsledků měření šesti vzorků měřených při 500 V a z nich dopočtené parametry jsou v tabulce Tab. 5-2. Je zde vidět značný pokles vnitřní rezistivity, srovnáme-li neředěné vzorky A a ředěné vzorky C dochází k třisetnásobnému poklesu. Celá situace je lépe znázorněna na přehledném grafu Obr. 5-2. Po expozici se velikost ředěné rezistivity zvětšila, stále však je stokrát menší ve srovnání s neředěnými vzorky. Všechny hodnoty spočítané z naměřených absorpčních proudů jsou uvedeny v příloze C. Změření všech vzorků trvalo týden a probíhalo při pokojové teplotě.

**Tab. 5-2** Srovnání středních hodnot vypočítaných parametrů

	A	A'	B	B'	C	C'
$R_x$ [ $\Omega$ ]	1,95E+14	5,08E+14	9,11E+12	2,53E+13	4,77E+11	5,39E+12
$\rho_V$ [ $\Omega \cdot m$ ]	1,86E+11	4,90E+11	1,02E+10	2,79E+10	5,85E+08	6,60E+09
$p_{i1}$ [-]	2,14	2,53	2,00	1,70	1,72	2,13
$p_{i10}$ [-]	3,13	3,07	2,88	2,41	1,29	3,37
$h$ [mm]	1,34	1,34	1,18	1,18	1,07	1,07



**Obr. 5-2** Průměrné hodnoty vnitřního odporu

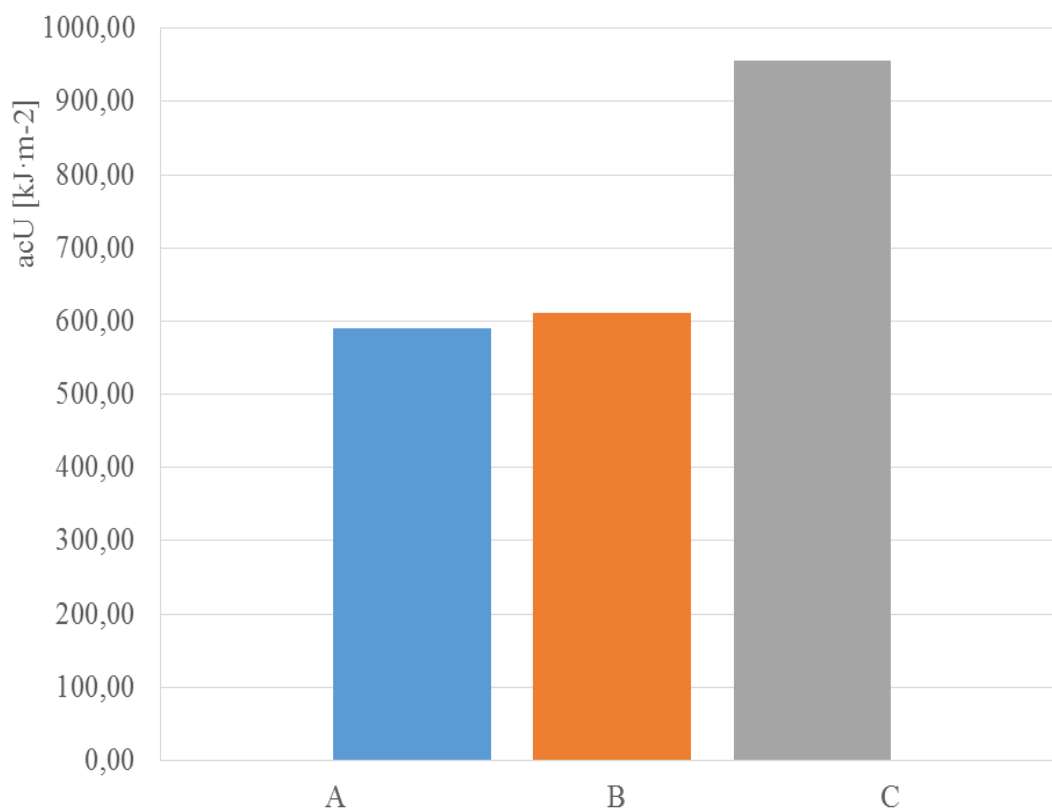
### 5.3 Rázová houževnatost

Měření probíhalo na 10 kusech vzorků od každého stupně ředění a všechny byly rázem zkušebního kladiva přeraženy na dvě části. Kompletní záznam naměřených energií je součástí přílohy D. V tabulce Tab. 5-3 jsou uvedeny střední hodnoty rázové energie, směrodatná odchylka a 95% konfidenční interval průměrné hodnoty.

**Tab. 5-3** Srovnání středních hodnot rázové energie  $a_{cU}$

	A	B	C
$\overline{ac_U}$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	590,30	611,98	955,16
s [-]	45,03	33,42	153,84
95% KI	27,91	20,71	95,35

Z výše uvedené Tab. 5-3 je zřejmé, že se vzrůstajícím stupněm ředění dochází ke zvyšování houževnatosti na úkor pevnosti. V grafu Obr. 5-3 je patrné zvýšení nezbytné energie k přeražení u ředěných vzorků C 955,16  $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  na jeden a půl násobek neředěných vzorků A, kde bylo třeba 590,3  $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ .



**Obr. 5-3** Srovnání průměrných rázových energií spotřebovaných na přeražení vzorku

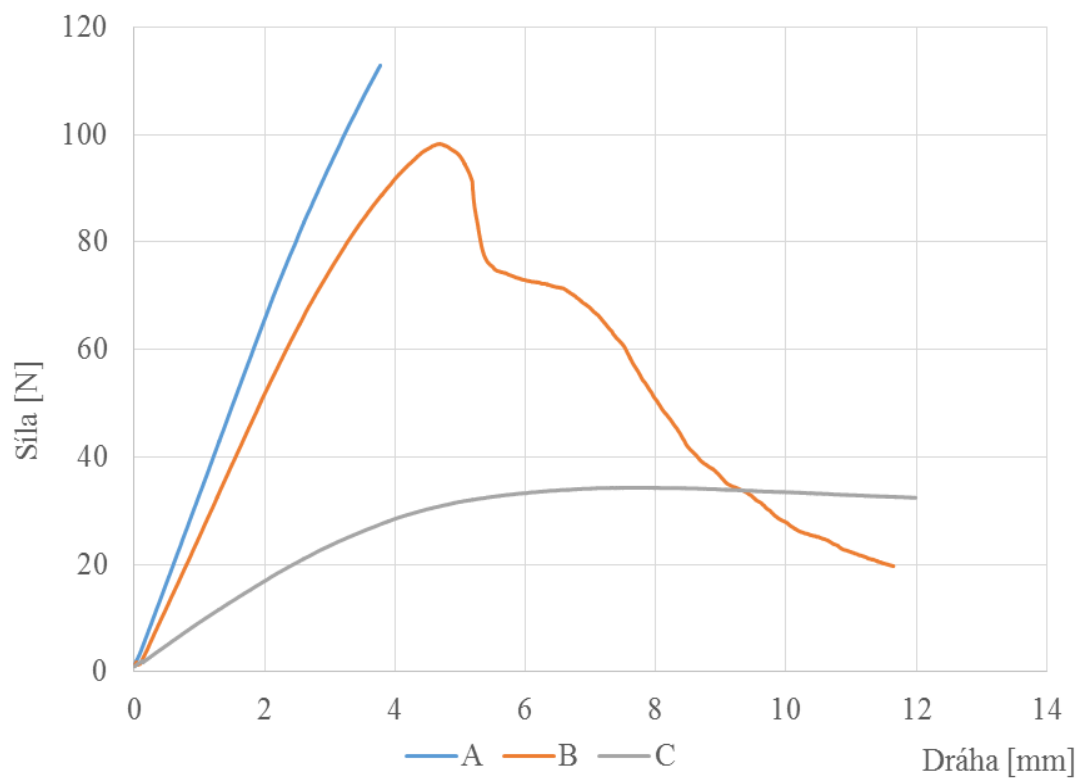
## 5.4 Zkouška v ohybu

Zkouška byla provedena na deseti vzorcích od každého stupně ředění. Automatický systém zaznamenávající průběh síly byl nastaven na průhyb o 12 mm při rychlosti zatěžování  $6 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Ukázkový průběh zkoušky je na Obr. 5-4. Z naměřených hodnot bylo dále spočítáno napětí v ohybu  $\sigma_f$  [MPa], které je spolu s dalšími parametry uvedeno v tabulce Tab. 5-4. Kompletní výsledky měření jsou součástí přílohy E.

**Tab. 5-4** Srovnání středních hodnot sil a napětí během zkoušky v ohybu

	A	B	C
$F_{\max}$ [N]	110,466	93,59	37,35
$R_{\text{mo}}$ [Mpa]	96,70	81,23	37,95
s [mm]	4,39	11,8	12,0
b [mm]	10,82	10,41	10,29
h [mm]	3,90	3,99	3,71
$\sigma_f$ [MPa]	62,46	52,46	24,51

Neředěné vzorky A se v průměru během zkoušky prohnuly o 4,3 mm, než se rozlomily na dvě části, maximální síla se pohybovala okolo 110 N. Částečně ředěné vzorky B se sice prohnuly o 12 mm, došlo však k značnému porušení struktury. Maximální síla byla okolo 93 N. Ředěné vzorky C se rovněž prohnuly o 12 mm při maximální síle 37 N. Tato síla u nich nezpůsobila větší deformace ve struktuře, poté, co na vzorky přestal působit trn se z větší části vrátily do původního tvaru. Na Obr. 5-5 jsou vzorky po provedené zkoušce, první zleva vzorek A je rozlomen na dvě části, které jsou u spodního okraje spojeny tenkou vrstvou. Vzorek B uprostřed je částečně ředěný a přes značné poškození struktury spolu obě části pevně drží pohromadě. Vpravo na kraji je ředěný vzorek C, u kterého po odstranění působící síly zůstaly minimální následky.



**Obr. 5-4** Průběh síly během zkoušky ohybem: A – neředěný, B – částečně ředěný a C – ředěný vzorek



**Obr. 5-5** Vzorky po zkoušce ohybem v pořadí A B C

## Závěr

V souladu se zadáním práce jsou v teoretické části popsány epoxidové pryskyřice a jejich nejpoužívanější aplikace při výrobě a opravách vinutí velkých točivých strojů. Rovněž jsou popsány požadované parametry pryskyřice pro zmíněné účely.

Praktická část práce se zabývá návrhem diagnostického systému pro sledování změn vlastností pryskyřic vyvolaných jejich ředěním. Jsou navrženy vzorky, popsána výroba i následně provedené zkoušky.

Elektrické zkoušky se skládaly z měření ztrátového činitele a absorpčních proudů, ze kterých byly následně určeny polarizační indexy a vnitřní rezistivita. Všechny parametry se se vzrůstajícím stupněm ředění zhoršují, k největšímu zhoršení dochází u vnitřní rezistivity, která se oproti neředěným vzorkům snižuje třístokrát. Vzorky byly dále exponovány a znovu změřeny. U všech parametrů sice došlo ke zlepšení, rozdíl mezi ředěnými a neředěnými vzorky je však stále značný. Konkrétně u vnitřní rezistivity se jedná o rozdíl dvou řádů,  $4,9 \cdot 10^{11} \Omega \cdot m$  pro neředěný epoxid a  $6,6 \cdot 10^9 \Omega \cdot m$  pro ředěný.


Mechanické zkoušky sledovaly rázovou houževnatost a chování v ohybu. I v těchto aspektech dochází vlivem ředění ke změnám chování a mechanicky pevná a křehká neředěná pryskyřice se vlivem ředění mění na houževnatou a ohebnou. Tato změna je dobře zřetelná jak z energie nutné k přeražení vzorku na Charpyho kladivu, tak z maximální síly u zkoušky v ohybu. Pro neředěné vzorky dosahovala síla 110 N a po ohybu o 4 mm zapříčinila jejich destrukci, pro ředěné dosahovala 37 N a po odstranění působící síly se vzorky z větší části vrátily do své původní podoby.

Výsledky práce se shodují s teoretickým předpokladem zhoršení parametrů epoxidových pryskyřic vlivem přidání dalších příměsí. Zhoršení elektrických i mechanických vlastností epoxidových pryskyřic vlivem ředění je jasně popsáno a je tedy na zvážení u každé aplikace, jestli ředěnou pryskyřici použít.

## Použitá literatura

- [1] LINDAŘÍK, M. *Epoxidové pryskyřice*. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha, 1983
- [2] MENTLÍK, V. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. BEN – technická literatura, Praha, 2011
- [3] MENTLÍK, V. *Diagnostika elektrických zařízení*. BEN – technická literatura, Praha, 2008
- [4] MENTLÍK, V. *Dielektrické prvky a systémy*. BEN – technická literatura, Praha, 2006
- [5] SOKOL, J. *Technologické možnosti výztuh čel vinutí velkých točivých elektrických strojů*. FEL Západočeské univerzity v Plzni, Plzeň, 2013
- [6] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006
- [7] Technické specifikace výrobků firmy DCH - Sincolor, a.s. [online]. 2014 [citováno dne 2014-04-15]. [sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)  
Dostupné z WWW <<http://www.sincolor.cz>>.
- [8] SEQUENZ, H. *Technologie vinutí elektrických strojů točivých*. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha, 1980

## Příloha A: Katalogové listy

 TECHNICKO-APLIKAČNÍ LIST		<b>PRYSKYŘICE</b>	
<b>CHS-EPOXY 531</b> <b>EPOXY 110 BG 15</b>			
• <b>POPIS</b>	Směs nízkomolekulárních epoxidových pryskyřic a difunkčního reaktivního rozpouštědla.		
• <b>POUŽITÍ</b>	<p>Zalévání, lepení, laminaci a impregnaci v elektrotechnice, ve stavebnictví, k odlévání a k přípravě stavebních kompozic.</p> <p>Příprava polymermalt, tmelů, polymerbetonů, stěrkových hmot a laminátů, příprava podlahovin, výroba sportovního nářadí apod.</p> <p>Pokud se kompozice po vytvrzení omyje 3%ním roztokem kyseliny citronové a na závěr pitnou vodou, <b>vyhoví podmínkám pro přímý styk s pitnou vodou a potravinami a pokrmy</b>.</p> <p>Splňuje hygienické požadavky na výrobky přicházející do</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>příмого styku s pitnou vodou</b> dle vyhlášky MZ ČR č.37/2001 Sb. a</li> <li>• <b>příмого styku s potravinami, pokrmy</b> dle vyhlášky MZ ČR č.38/2001Sb.</li> </ul> <p>Vytvrzuje se vhodnými tvrdidly při normální nebo mírně zvýšené teplotě (30-60 °C). Po vytvrzení zůstává pryskyřice transparentní.</p> <p>Pryskyřice ani natužená směs před aplikací nesmí být zředována přísadkou jakéhokoliv rozpouštědla či ředidla.</p>		
• <b>VLASTNOSTI</b>	<i>Vzhled:</i> <i>Hustota (20 °C):</i> <i>Viskozita (25 °C):</i> <i>Obsah epoxidových skupin (mol.kg<sup>-1</sup>):</i> <i>Epoxidový hm. ekvivalent (g.mol<sup>-1</sup>):</i> <i>Obsah celkového chloru:</i> Neobsahuje VOC.	slabě nažloutlá čirá nízkoviskózní kapalina 1,16-1,17 g.cm <sup>-3</sup> 1500-2300 mPa.s 5,0-5,3 187-200 max. 0,5 %	
• <b>PŘÍPRAVA POVRCHU</b>	Povrch musí být suchý, čistý, odmaštěný a zbavený mechanických nečistot (prach po broušení, atd.), nejlépe mírně zdrsňený. Teplota podkladu by měla dosahovat 15-25 °C při max. 50% relativní vlhkosti vzduchu. Nevytvrzenou kompozici lze z povrchu nářadí umýt acetonem.		
• <b>TUŽENÍ</b>		poměr hmotností/ poměr objemový	
	CHS-Epoxy 531 : Tvrdidlo P 11	100 : 12	100 : 15,4
	CHS-Epoxy 531 : Tvrdidlo T 0492	100 : 27	100 : 33
	CHS-Epoxy 531 : Tvrdidlo T 0503	100 : 53	100 : 62
	CHS-Epoxy 531 : Tvrdidlo AN 2609	100 : 42	100 : 46
	CHS-Epoxy 531 : Tvrdidlo AN 2712	100 : 53	100 : 62
• <b>ZPRACOVÁNÍ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tvrdidlo P 11</b> je rychlé tvrdidlo s kratší dobou zpracovatelnosti. Vyznačuje se <b>dolepem</b> na povrchu po vytvrzení. Dolep lze odstranit omytím vodou nebo 3% roztokem kyseliny citronové. Vytvrzená kompozice zůstává transparentní.  <i>Doba želatinace:</i> 20 – 30 min. při 23 °C (dle připraveného množství)  <i>Nejnižší doporučená teplota zpracování:</i> 15 °C  <i>Vytvrzení:</i> 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C  <i>Plné vytvrzení:</i> 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C                1-2 dny při 23 ± 5 °C a dotvrzení 3 dny při 50-60 °C (infrazářiče)                uzavřené nádoby: po 7 dnech vytvrzování se dotvrzuje při teplotě 23 ± 5 °C naplněním nádoby vlažnou vodou, jejíž teplota se postupně zvýší až na 60 °C a udržuje se 2-3 dny.</li> <li>• <b>Tvrdidlo T 0503</b> snižuje vývin tepla při reakci, proto je vhodné použití tohoto tvrdidla za účelem prodloužení doby želatinace. Použití tvrdidla T 0503</li> </ul>		

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)
 Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, prodej@dch-sincolor.cz  
 K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, info@dch-sincolor.cz

1 / 4





TECHNICKO-APLIKAČNÍ LIST

PRYSKYŘICE

## CHS-EPOXY 531 EPOXY 110 BG 15

umožňuje natužení a zpracování většího množství pryskyřice najednou. Vytvrzená kompozice je zabarvená do žluta a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 45 - 70 min. při 23 °C (dle připraveného množství)

*Výtvřzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvřzení:* 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo T 0492** snižuje vývin tepla při reakci, proto je vhodné použití tohoto tvrdidla za účelem prodloužení doby želatinace. Vytvrzená kompozice je transparentní a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 50 - 80 minut při 23 °C (dle připraveného množství)

*Výtvřzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvřzení:* 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo AN 2609** je rychlé tvrdidlo vhodné k vytvřzování za snížené teploty (do 5 °C). Vzhledem ke své zvýšené reaktivitě není vhodné pro vytvřzování čistých pryskyřic ve větším množství. Větší odlitky je nutno zhotovovat po částech. Vytvrzená kompozice je transparentní a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 20 – 35 minut. při 23 °C (dle připraveného množství)

*Výtvřzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvřzení:* 5 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo AN 2712** je rychlé tvrdidlo vhodné k vytvřzování za snížené teploty (do 5 °C). Vzhledem ke své zvýšené reaktivitě není vhodné pro vytvřzování čistých pryskyřic ve větším množství. Větší odlitky je nutno zhotovovat po částech. Vytvrzená kompozice je nažloutlá, čirá a bez dolepu.

*Doba želatinace:* 15 – 25 minut. při 23 °C (dle připraveného množství)

*Výtvřzení:* 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C

*Plné vytvřzení:* 5 dní při teplotě 23 ± 5 °C

### • UPOZORNĚNÍ

**POZOR!** Při aplikaci je třeba zajistit takové teplotní podmínky, aby nedošlo k vysrážení vlhkosti na povrchu natíraného předmětu (rosný bod). Větráním je nutné omezit případný výskyt kyselých plynů a par (např. CO<sub>2</sub>), které reagují s tužidlem a znemožňují dokonalé vytvřzení materiálu.

**POZOR!** Natužením velkého množství pryskyřice dochází k vývinu tepla a tím ke zkrácení doby zpracovatelnosti! **Výška odlitku** by neměla přesáhnout **2 cm**. Větší odlitky je nutno zhotovovat po částech. Odvod tepla je možno zlepšit přidávkou vhodného plniva, např., suchého křemičitého písku.

### • UŽITNÉ VLASTNOSTI

<i>Lineární smrštění při vytvřzování:</i>	max. 0,3 %
<i>Mez pevnosti v tahu:</i>	min. 50 MPa
<i>Mez pevnosti v ohybu:</i>	min. 90 MPa
<i>Rázová houževnatost:</i>	min. 25 kJ/m <sup>2</sup>
<i>El. průrazná pevnost (23 °C):</i>	min. 15 kV/mm
<i>Měrný vnitřní odpor (23 °C):</i>	min 10 <sup>13</sup> Ohm.cm
<i>Měrný povrch. odpor (23 °C):</i>	min 10 <sup>13</sup> Ohm
<i>Tvarová stálost dle Martense:</i>	min. 55 °C
<i>Permitivita (50 Hz, 23 °C) :</i>	3,6 - 4,2
<i>Ztrátový činitel (tg δ, 23 °C) :</i>	max. 0,1
<i>Chemické odolnosti:</i>	viz. strana 3

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)

Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)  
K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

2 / 4





## CHS-EPOXY 531 EPOXY 110 BG 15

• <b>BALENÍ</b>	Set 1,12 kg (v setu s Tvrdidlem P11), set 1 kg (v setu s Tvrdidlem AN 2609). Obaly 10 kg, 30 kg. Jiné obaly je možno dohodnout s výrobcem.	
• <b>SKLADOVÁNÍ</b>	12 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech za teploty 15–25 °C. Nevystavovat přímému slunečnímu záření.	
	CHS-Epoxy 531 má sklon ke krystalizaci, která se v první fázi projevuje zakalením. Zákal zmizí po zahřátí pryskyřice na teplotu 80 °C	
• <b>BEZPEČNOST</b>	Podrobné údaje týkající se bezpečného zacházení a ochrany zdraví jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku.	
• <b>DOKUMENTACE</b>	Bezpečnostní list Protokol o ověření shody typu výrobku	Stavební-technické osvědčení Prohlášení o shodě
• <b>ODVOLÁNÍ</b>	Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktické zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti	
• <b>DATUM VYDÁNÍ</b>	11.11.2005	
• <b>DATUM REVIZE</b>	1.9.2013	

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)

Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)  
K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

3 / 4



TECHNICKO-APLIKAČNÍ LIST

**PRYSKYŘICE**

## CHS-EPOXY 531 EPOXY 110 BG 15

### Chemické odolnosti vytvrzené kompozice CHS-Epoxy 531 s Tvrđidlem P 11

Prostředí	Chemická odolnost
Kyselina chlorovodíková 10%	Zhoršená, možné pouze krátkodobé zatížení max. 7 dní.
Kyselina dusičná 10 %	Zhoršená, možné pouze krátkodobé zatížení max. 7 dní.
Kyselina dusičná 40 %	Nevyhovující.
Kyselina sírová 10 %	Zhoršená, možné pouze krátkodobé zatížení max. 7 dní.
Kyselina sírová 30 %	Zhoršená, možné pouze krátkodobé zatížení max. 7 dní.
Kyselina octová 10 %	Nevyhovující, možné pouze krátkodobé zatížení max. 1 den.
Kyselina mléčná 5 %	Zhoršená, možné pouze krátkodobé zatížení max. 7 dní.
Hydroxid sodný 10 %	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Hydroxid sodný 40 %	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Amoniak 10 %	Výborná, možné malé změny napětí v tlaku při dlouhodobém zatížení (min. 180 dní).
Chlorid sodný 10 %	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Chlornan sodný 10 %	Výborná, možné malé změny napětí v tlaku při dlouhodobém zatížení (min. 180 dní).
Peroxid vodíku 10 %	Nevyhovující, možné pouze krátkodobé zatížení max. 1 den.
Fenol 5 %	Nevyhovující, možné pouze krátkodobé zatížení max. 1 den.
Nafta motorová	Výborná, možné malé změny napětí v tlaku při dlouhodobém zatížení (min. 180 dní).
Benzin motorový	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Xylen	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Ethanol 10 %	Výborná, možné malé změny napětí v tlaku při dlouhodobém zatížení (min. 180 dní).
Ethanol 40 %	Velmi dobrá, možné střednědobé zatížení max. 60 dní.
Perchlorthylen	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Ethylacetát	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Voda pitná	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.
Saponát 5%	Výborná, dlouhodobé zatížení min. 180 dní.

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.sincolor.cz](http://www.sincolor.cz)Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, [prodej@dch-sincolor.cz](mailto:prodej@dch-sincolor.cz)K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)

4 / 4



## Tvrdidlo T 0563

### k epoxidovým pryskyřicím a Eprosinům

s prodlouženou dobou zpracovatelnosti a sníženým vývinem tepla při vytvrzování

- Popis:**  
Adukt alifatického aminu s prodlouženou dobou zpracovatelnosti a sníženým exotermickým průběhem vytvrzovací reakce (menší vývin tepla).
- Použití:**  
Tvrdidlo T 0563 se používá k vytvrzování epoxidových pryskyřic a Eprosinů zejména pro oblast stavebnictví, dále při výrobě kompozitů a pro výrobu lepidel. Vytvrzené kompozice dodává velmi dobré mechanické vlastnosti a výbornou houževnatost. Zlepšuje smáčení povrchu výztuží i plniv. Vytvrzuje i za pokojové teploty. Vyznačuje se střední dobou zpracovatelnosti natužené směsi (cca 1-2 hodiny) a nižším vývinem tepla při vytvrzování. Doba zpracovatelnosti se s rostoucím množstvím natužené směsi zkracuje. Transparentní pryskyřice zbarvuje do žluta.
- Vlastnosti tvrdidla:**

Vzhled:	žlutohnědá kapalina s typickým zápachem po aminech.
Aminové číslo:	750 – 950 mg KOH/g
Hustota (25 °C):	1,02 g/cm <sup>3</sup>
Vodíkový ekvivalent:	56 g/ekv
Bod vzplanutí:	> 100 °C

Mísící poměr Tvrdidla T 0563 a příslušné epoxidové pryskyřice nebo Eprosinu je uveden na etiketě.

Příklady mísících poměrů:	hmotnostní poměr	objemový poměr
Tvrdidlo T 0563 – CHS-EPOXY 455 (Epoxy 1505)	27:100	
Tvrdidlo T 0563 – CHS-EPOXY 531 (Epoxy 110BG15)	30:100	
Tvrdidlo T 0563 – CHS-EPOXY 520 (Epoxy 15)	30:100	
Tvrdidlo T 0563 – CHS-EPOXY 324 (Epoxy 1200)	18:100	
Tvrdidlo T 0563 – Eprosin Z 40	14:100	21:100
Tvrdidlo T 0563 – Eprosin KE 1	14:100	21:100
Tvrdidlo T 0563 – Eprosin T 02	8: 100	
Tvrdidlo T 0563 – Eprosin T 13	18:100	
Tvrdidlo T 0563 – Eprosin T 23 S	18:100	
- Balení:**  
150 g, 1 kg, 1,5 kg plastové obaly.
- Doba skladovatelnosti:**  
12 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech na suchém místě při teplotách 15 až 25 °C.
- Bezpečnost a ochrana zdraví při práci:**  
Kompletní informace jsou uvedeny v bezpečnostním listu, který obdržíte s první dodávkou výrobku.
- Dokumentace k výrobku:**  
Bezpečnostní list.

#### Odvolání:

Informace uvedené v tomto technicko-aplikačním listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktickými zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti nebo špatným skladováním.

Datum vydání: 27. 5. 2005

Datum revize: 30.11.09, 14.11.11, 22.12.11

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, [www.dch-sincolor.cz](http://www.dch-sincolor.cz)

Plzeň: ČS.č.ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 512 - 4, fax: +420 377 416 510, mobil: +420 605 247 049, [odbyt@dch-sincolor.cz](mailto:odbyt@dch-sincolor.cz)  
K. Vary: ČSOB č.ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, [info@dch-sincolor.cz](mailto:info@dch-sincolor.cz)



**KATALOGOVÝ  
LIST**

**PLUVITEC**

## TIROS

**POPIS VÝROBKU:** TIROS (INTROS) netkaná textilie, tvořená polyesterovými teplovými vlákny TESIL a chemickým pojivem. Textilie je nejprve zpevněna jehlením a fixována za vysoké teploty s následným propojením síťující polymerní disperzí.

**POUŽITÍ VÝROBKU:** TIROS (INTROS) je výrobek vhodný jako výztužná vložka do izolačních bitumenových střešních pásů. Je též vhodný jako podkladový, separační, dilatační a vyrovnávací materiál pro ploché a šikmé střešní pláště. Materiál se v uvedených konstrukcích klade buď volně či se mechanicky kotví (hřeby, vruty + podložky ...).

TIROS je většinou bílé barvy, různých plošných hmotností (od 160 g/m<sup>2</sup>), šíře cca 100 - 102 cm.

TECHNICKÉ VLASTNOSTI	JEDNOTKA	N	S - 180	S - 220	S - 260
PLOŠNÁ HMOTNOST	g/m <sup>2</sup>	180 - 260	180	220	260
PEVNOST (PODÉL./PŘÍČ.)	N/5 cm	400 - 500	530/380	600/550	720/690
TAŽNOST (PODÉL./PŘÍČ.)	%	20 - 50	23/50	25/50	33/55
STABILITA (PODÉL./PŘÍČ.)	%	+2 / -5	+2 / -4,5	+2 / -4	+1,5 / -3
TEPLOTA TÁNÍ	%	250	250	250	250
STUPEŇ HOŘLAVOSTI		C 3	C 3	C 3	C 3
TLOUŠŤKA VÝROBKU	mm	Dle plošné hmotnosti 1 - 2 mm			

**PLUVITEC**

**BOHEMIA FR SYSTEMS**



## Příloha B: Naměřené a vypočítané hodnoty ztrátového činitele

Tab. B- 1 Naměřené hodnoty  $\text{tg } \delta$  pro neřaděné vzorky

Vzorek	Vrms [V]	$\text{tg } \delta$ [-]	$C_x$ [F]	$\overline{\text{tg } \delta}$ [-]	0,00904
A1	493	0,00902	5,03E-11	s [-]	0,00016
A2	498	0,00905	5,07E-11	v [%]	1,72780
A3	500	0,00918	5,04E-11	Min [-]	0,00884
A4	500	0,00884	4,77E-11	Max [-]	0,00929
A5	499	0,00888	4,58E-11	Medián [-]	0,00903
A6	499	0,00929	5,10E-11	$u_A$ [-]	0,000091
<b>průměr</b>	<b>498</b>	<b>0,00904</b>	<b>4,93E-11</b>		
A1'	497	0,00637	4,53E-11	$\text{tg } \delta$ [-]	0,00664
A2'	501	0,00686	4,83E-11	s [-]	0,00053
A3'	498	0,00621	4,66E-11	v [%]	7,91265
A4'	501	0,00654	4,65E-11	Min [-]	0,00619
A5'	501	0,00771	4,27E-11	Max [-]	0,00771
A6'	503	0,00619	4,71E-11	Medián [-]	0,00645
<b>průměr</b>	<b>500</b>	<b>0,00664</b>	<b>4,61E-11</b>	$u_A$ [-]	0,000306

Tab. B- 2 Naměřené hodnoty  $\text{tg } \delta$  pro částečně řaděné vzorky

Vzorek	Vrms [V]	$\text{tg } \delta$ [-]	$C_x$ [F]	$\overline{\text{tg } \delta}$ [-]	0,02401
B1	500	0,02201	7,56E-11	s [-]	0,00270
B2	500	0,0229	7,83E-11	v [%]	11,22846
B3	502	0,02223	6,67E-11	Min [-]	0,02201
B4	500	0,02233	6,72E-11	Max [-]	0,02962
B5	500	0,02962	7,78E-11	Medián [-]	0,02261
B6	500	0,02496	6,97E-11	$u_A$ [-]	0,001567
<b>průměr</b>	<b>500</b>	<b>0,02401</b>	<b>7,25E-11</b>		
B1'	503	0,01437	6,48E-11	$\text{tg } \delta$ [-]	0,01352
B2'	501	0,01303	6,71E-11	s [-]	0,00083
B3'	503	0,01368	5,64E-11	v [%]	6,11012
B4'	503	0,0133	5,78E-11	Min [-]	0,01215
B5'	500	0,01215	5,04E-11	Max [-]	0,01460
B6'	499	0,0146	6,04E-11	Medián [-]	0,01349
<b>průměr</b>	<b>501</b>	<b>0,01352</b>	<b>5,95E-11</b>	$u_A$ [-]	0,000480

**Tab. B- 3** Naměřené hodnoty  $\text{tg } \delta$  pro ředěné vzorky

Vzorek	Vrms [V]	$\text{tg } \delta$ [-]	Cx [F]	$\overline{\text{tg } \delta}$ [-]	0,06034
C1	500	0,04044	9,64E-11	s [-]	0,01000
C2	501	0,07092	7,33E-11	v [%]	16,57789
C3	499	0,06811	7,14E-11	Min [-]	0,04044
C4	501	0,06422	9,04E-11	Max [-]	0,07092
C5	498	0,05647	7,91E-11	Medián [-]	0,06305
C6	500	0,06188	8,56E-11	$u_A$ [-]	0,005816
<b>průměr</b>	<b>500</b>	<b>0,06034</b>	<b>8,27E-11</b>		
C1'	500	0,02046	7,67E-11	$\overline{\text{tg } \delta}$ [-]	0,01457
C2'	495	0,01362	5,32E-11	s [-]	0,00266
C3'	500	0,01354	5,26E-11	v [%]	18,22160
C4'	503	0,0135	6,80E-11	Min [-]	0,01262
C5'	502	0,01262	5,78E-11	Max [-]	0,02046
C6'	501	0,0137	6,39E-11	Medián [-]	0,01358
<b>průměr</b>	<b>500</b>	<b>0,01457</b>	<b>6,20E-11</b>	$u_A$ [-]	0,001544

## Příloha C: Naměřené a vypočítané hodnoty absorpčního proudu

**Tab. C- 1** Naměřené a vypočítané hodnoty absorpčního proudu pro neředěné vzorky

	min [A]	max [A]	15." [A]	60." [A]	10.' [A]	60.' [A]	h [mm]	Rx [Ω]	$\rho_V$ [Ω·m]	$\rho_{i1}$ [-]	$\rho_{i10}$ [-]
A1	2,28E-12	1,29E-10	3,54E-11	1,71E-11	5,74E-12	2,64E-12	1,35	1,89E+14	1,81E+11	2,07	2,98
A2	1,24E-12	2,27E-10	4,28E-11	2,04E-11	6,80E-12	3,42E-12	1,34	1,46E+14	1,41E+11	2,10	2,99
A3	2,92E-12	2,59E-10	5,04E-11	2,38E-11	7,19E-12	2,96E-12	1,28	1,69E+14	1,70E+11	2,12	3,31
A4	1,48E-12	1,18E-10	3,05E-11	1,36E-11	4,02E-12	1,69E-12	1,35	2,96E+14	2,83E+11	2,25	3,37
A5	1,50E-12	1,20E-10	3,02E-11	1,32E-11	4,02E-12	1,90E-12	1,43	2,63E+14	2,37E+11	2,28	3,29
A6	3,09E-12	2,66E-10	5,58E-11	2,76E-11	9,73E-12	4,76E-12	1,27	1,05E+14	1,07E+11	2,02	2,84
průměr	<b>2,08E-12</b>	<b>1,86E-10</b>	<b>4,08E-11</b>	<b>1,93E-11</b>	<b>6,25E-12</b>	<b>2,90E-12</b>	<b>1,34</b>	<b>1,95E+14</b>	<b>1,86E+11</b>	<b>2,14</b>	<b>3,13</b>
A1'	1,30E-12	1,90E-10	1,73E-11	7,64E-12	2,45E-12	1,33E-12	1,35	3,76E+14	3,59E+11	2,26	3,12
A2'	1,27E-13	1,87E-10	1,38E-11	5,23E-12	1,80E-12	9,67E-13	1,34	5,17E+14	4,98E+11	2,64	2,90
A3'	1,05E-12	1,91E-10	1,48E-11	6,30E-12	2,10E-12	1,11E-12	1,28	4,50E+14	4,54E+11	2,35	3,00
A4'	0,00E+00	1,79E-10	1,22E-11	4,40E-12	1,34E-12	7,21E-13	1,35	6,93E+14	6,63E+11	2,78	3,29
A5'	8,87E-13	1,75E-10	1,26E-11	4,78E-12	1,57E-12	9,55E-13	1,43	5,23E+14	4,72E+11	2,63	3,04
A6'	0,00E+00	7,97E-11	1,52E-11	6,00E-12	1,95E-12	1,02E-12	1,27	4,89E+14	4,96E+11	2,54	3,07
průměr	<b>5,61E-13</b>	<b>1,67E-10</b>	<b>1,43E-11</b>	<b>5,72E-12</b>	<b>1,87E-12</b>	<b>1,02E-12</b>	<b>1,34</b>	<b>5,08E+14</b>	<b>4,90E+11</b>	<b>2,53</b>	<b>3,07</b>

**Tab. C- 2** Naměřené a vypočítané hodnoty absorpčního proudu pro částečně ředěné vzorky

	min [A]	max [A]	15." [A]	60." [A]	10.' [A]	60.' [A]	h [mm]	Rx [Ω]	$\rho_V$ [Ω·m]	$\rho_{i1}$ [-]	$\rho_{i10}$ [-]
B1	5,62E-11	1,57E-09	5,18E-10	2,83E-10	9,25E-11	5,64E-11	1,17	8,87E+12	9,75E+09	1,83	3,06
B2	4,51E-11	1,44E-09	4,63E-10	2,49E-10	7,89E-11	4,54E-11	1,05	1,10E+13	1,35E+09	1,86	3,16
B3	7,77E-11	1,81E-09	5,76E-10	3,03E-10	1,11E-10	7,77E-11	1,27	6,43E+12	6,54E+09	1,90	2,74
B4	5,63E-11	1,87E-09	5,72E-10	2,74E-10	8,54E-11	5,81E-11	1,24	8,61E+12	8,96E+09	2,09	3,20
B5	3,12E-11	1,09E-09	2,69E-10	1,25E-10	4,45E-11	3,12E-11	1,13	1,60E+13	1,82E+09	2,16	2,80
B6	1,07E-10	2,67E-09	8,53E-10	4,00E-10	1,71E-10	1,35E-10	1,20	3,70E+12	3,99E+09	2,13	2,34
průměr	<b>6,22E-11</b>	<b>1,74E-09</b>	<b>5,42E-10</b>	<b>2,72E-10</b>	<b>9,71E-11</b>	<b>6,73E-11</b>	<b>1,18</b>	<b>9,11E+12</b>	<b>1,02E+10</b>	<b>2,00</b>	<b>2,88</b>
B1'	2,14E-11	6,24E-10	1,80E-10	1,08E-10	4,52E-11	2,14E-11	1,17	2,33E+13	2,56E+10	1,67	2,39
B2'	2,64E-11	7,12E-10	2,07E-10	1,28E-10	5,43E-11	2,66E-11	1,05	1,88E+13	2,30E+10	1,62	2,36
B3'	2,14E-11	6,04E-10	1,64E-10	9,51E-11	4,16E-11	2,15E-11	1,27	2,33E+13	2,36E+10	1,73	2,29
B4'	2,24E-11	7,1E-10	2,01E-10	1,19E-10	4,85E-11	2,25E-11	1,24	2,23E+13	2,32E+10	1,68	2,46
B5'	1,16E-11	4,31E-10	1,11E-10	6,22E-11	2,38E-11	1,16E-11	1,13	4,30E+13	4,88E+10	1,79	2,61
B6'	2,33E-11	6,39E-10	1,81E-10	1,07E-10	4,56E-11	2,33E-11	1,20	2,14E+13	2,31E+10	1,69	2,35
průměr	<b>2,11E-11</b>	<b>6,20E-10</b>	<b>1,74E-10</b>	<b>1,03E-10</b>	<b>4,32E-11</b>	<b>2,12E-11</b>	<b>1,18</b>	<b>2,53E+13</b>	<b>2,79E+10</b>	<b>1,70</b>	<b>2,41</b>

**Tab. C- 3** Naměřené a vypočítané hodnoty absorpčního proudu pro ředěné vzorky

	min [A]	max [A]	15." [A]	60." [A]	10.' [A]	60.' [A]	h [mm]	Rx [Ω]	$\rho_V$ [Ω·m]	$\rho_{i1}$ [-]	$\rho_{i10}$ [-]
C1	2,30E-09	1,20E-08	3,47E-09	2,51E-09	2,32E-09	2,36E-09	0,83	2,12E+11	3,29E+08	1,38	1,08
C2	4,21E-09	1,75E-08	5,73E-09	4,44E-09	4,30E-09	4,48E-09	1,21	1,12E+11	1,19E+08	1,29	1,03
C3	2,10E-09	1,39E-08	3,65E-09	2,45E-09	2,24E-09	2,20E-09	1,23	2,28E+11	2,39E+08	1,49	1,09
C4	3,66E-11	7,26E-09	1,73E-09	8,53E-10	5,70E-10	6,12E-10	1,02	8,17E+11	1,04E+09	2,03	1,50
C5	4,12E-10	8,45E-09	1,96E-09	9,79E-10	6,65E-10	6,65E-10	1,12	7,52E+11	8,70E+08	2,00	1,47
C6	5,95E-10	8,53E-09	2,14E-09	1,02E-09	6,63E-10	6,71E-10	1,05	7,45E+11	9,19E+08	2,10	1,54
průměr	<b>1,61E-09</b>	<b>1,13E-08</b>	<b>3,11E-09</b>	<b>2,04E-09</b>	<b>1,79E-09</b>	<b>1,83E-09</b>	<b>1,07</b>	<b>4,77E+11</b>	<b>5,85E+08</b>	<b>1,72</b>	<b>1,29</b>
C1'	8,68E-11	1,75E-09	6,41E-10	3,70E-10	1,22E-10	8,69E-11	0,83	5,76E+12	8,96E+09	1,73	3,03
C2'	1,06E-10	2,91E-09	1,06E-09	4,48E-10	1,46E-10	1,22E-10	1,21	4,10E+12	4,38E+09	2,38	3,08
C3'	4,60E-11	2,19E-09	8,78E-10	3,96E-10	1,08E-10	8,12E-11	1,23	6,16E+12	6,48E+09	2,22	3,67
C4'	9,53E-11	2,16E-09	8,87E-10	4,30E-10	1,22E-10	9,54E-11	1,02	5,24E+12	6,65E+09	2,06	3,52
C5'	6,35E-11	2,13E-09	8,70E-10	3,86E-10	1,02E-10	7,60E-11	1,12	6,58E+12	7,61E+09	2,25	3,79
C6'	1,05E-10	2,22E-09	9,10E-10	4,30E-10	1,37E-10	1,11E-10	1,05	4,50E+12	5,55E+09	2,12	3,15
průměr	<b>8,38E-11</b>	<b>2,23E-09</b>	<b>8,75E-10</b>	<b>4,10E-10</b>	<b>1,23E-10</b>	<b>9,54E-11</b>	<b>1,07</b>	<b>5,39E+12</b>	<b>6,60E+09</b>	<b>2,13</b>	<b>3,37</b>

## Příloha D: Naměřené a vypočítané hodnoty rázové houževnatosti

**Tab. D- 1** Naměření a vypočítané hodnoty rázové houževnatosti pro neřaděné vzorky

	W [J]	h [mm]	b [mm]	$ac_U$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
A11	21,2	3,74	10,49	540,05
A12	27,5	3,92	10,53	666,62
A13	24	3,94	10,97	554,66
A14	26,5	3,77	11,20	627,88
A15	23,9	3,83	10,44	598,56
A16	21	4,03	10,46	498,25
A17	25	3,80	11,04	595,97
A18	25	3,82	10,77	607,77
A19	23,5	3,79	10,26	604,86
A20	22	3,69	10,52	567,57
A21	26	3,77	10,92	631,10

$\overline{ac_U}$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	590,30
s [-]	45,03
95% KI	27,91
$u_a$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	138,58

**Tab. D- 2** Naměření a vypočítané hodnoty rázové houževnatosti pro částečně řaděné vzorky

	W [J]	h [mm]	b [mm]	$ac_U$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
B11	22	4,03	9,76	558,60
B12	26	4,01	10,79	600,68
B13	24	3,91	10,30	595,44
B14	26	3,94	10,09	653,09
B15	26	3,96	10,54	623,48
B16	22	3,92	9,78	574,52
B17	27	4,03	10,34	647,86
B18	24	3,96	10,48	578,43
B19	26	3,93	10,94	605,00
B20	28	3,99	10,50	667,96
B21	26	3,87	10,73	626,68

$\overline{ac_U}$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	611,98
s [-]	33,42
95% KI	20,71
$u_a$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	147,05

**Tab. D- 3** Naměření a vypočítané hodnoty rázové houževnatosti pro řaděné vzorky

	W [J]	h [mm]	b [mm]	$ac_U$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
C11	36	3,72	10,43	926,99
C12	34,2	3,72	10,49	876,59
C13	43	3,71	10,42	1112,93
C14	45	3,75	10,48	1145,37
C15	30	3,76	10,16	784,94
C16	43	3,75	10,10	1136,03
C17	31	3,73	10,37	800,82
C18	26	3,72	10,59	659,91
C19	36	3,63	10,28	965,19
C20	39	3,64	10,51	1018,22
C21	41	3,71	10,24	1079,80

$\overline{ac_U}$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	955,16
s [-]	153,84
95% KI	95,35
$u_a$ [ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	262,16



## Příloha E: Naměřené a vypočítané hodnoty zkoušky v ohybu

**Tab. E- 1** Naměření a vypočítané hodnoty zkoušky v ohybu pro nefeděné vzorky

	$F_{\max}$ [N]	$R_{mo}$ [Mpa]	s [mm]	b [mm]	h [mm]	$\sigma_f$ [MPa]
A1	116,51	104,4	4,2	10,51	3,91	67,42
A2	119,74	103,62	4,3	10,72	3,94	67,00
A3	108,74	93,67	3,9	10,71	3,95	60,50
A4	110,65	88,83	5,6	10,85	4,07	57,37
A5	114,21	99,17	4,1	10,85	3,91	64,04
A6	103,66	100,37	4,2	10,96	3,68	64,82
A7	112,86	93,7	3,8	11,11	3,95	60,51
A8	98,1	86,39	5,1	9,89	4,07	55,79
A9	111,38	102,66	4,6	11,08	3,76	66,30
A10	108,81	94,15	4,2	11,49	3,81	60,81
průměr	110,466	96,70	4,39	10,82	3,90	62,46

**Tab. E- 2** Naměření a vypočítané hodnoty zkoušky v ohybu pro částečně ředěné vzorky

	$F_{\max}$ [N]	$R_{mo}$ [Mpa]	s [mm]	b [mm]	h [mm]	$\sigma_f$ [MPa]
B1	93,25	79,47	12,0	10,37	4,04	51,32
B2	96,42	82,66	11,8	10,13	4,07	53,39
B3	94,97	82,99	11,9	10,14	4,03	53,60
B4	93,81	81,97	12,0	10,34	3,99	52,94
B5	95,56	80,58	10,9	10,40	4,05	52,05
B6	93,25	81,37	11,7	10,73	3,92	52,55
B7	98,23	81,04	11,7	10,83	4,02	52,34
B8	90,81	85,56	12,0	10,54	3,81	55,25
B9	92,99	79,49	12,0	10,49	4,01	51,34
B10	86,56	77,2	12,0	10,10	4,00	49,86
průměr	93,59	81,23	11,8	10,41	3,99	52,46

**Tab. E- 3** Naměření a vypočítané hodnoty zkoušky v ohybu pro ředěné vzorky

	$F_{\max}$ [N]	$R_{mo}$ [Mpa]	s [mm]	b [mm]	h [mm]	$\sigma_f$ [MPa]
C1	41,65	41,97	12,0	10,14	3,75	27,10
C2	36,05	35,42	12,0	10,37	3,76	22,88
C3	37,07	36,16	12,0	10,61	3,73	23,30
C4	37,86	38,1	12,0	10,22	3,74	24,61
C5	35,46	36,64	12,0	10,07	3,72	23,67
C6	34,27	34,56	12,0	10,49	3,69	22,32
C7	34,3	34,8	12,0	10,26	3,72	22,48
C8	36,77	40,61	12,0	9,71	3,67	26,23
C9	40,1	38,59	12,0	10,79	3,72	24,92
C10	39,97	42,66	12,0	10,27	3,62	27,55
průměr	37,35	37,95	12,0	10,29	3,71	24,51

## Příloha F: Naměřené hodnoty rozměrů vzorků

**Tab. F- 1** Naměřené hodnoty vzorků pro elektrické zkoušky

	$h_1$ [mm]	$h_2$ [mm]	$h_3$ [mm]	$h_4$ [mm]	$h_5$ [mm]	$\bar{h}$ [mm]
A1	1,347	1,317	1,338	1,394	1,36	1,351
A2	1,326	1,305	1,405	1,308	1,356	1,340
A3	1,343	1,267	1,225	1,281	1,281	1,279
A4	1,34	1,361	1,321	1,323	1,399	1,349
A5	1,435	1,435	1,455	1,392	1,443	1,432
A6	1,256	1,331	1,271	1,189	1,306	1,271
B1	1,147	0,986	1,253	1,289	1,193	1,174
B2	1,082	1,162	1,153	0,884	0,98	1,052
B3	1,227	1,309	1,331	1,212	1,266	1,269
B4	1,197	1,287	1,279	1,198	1,235	1,239
B5	1,093	1,256	1,15	1,082	1,091	1,134
B6	1,185	1,263	1,321	1,039	1,181	1,198
C1	0,454	1,03	1,058	0,838	0,765	0,829
C2	1,196	1,217	1,205	1,199	1,223	1,208
C3	1,216	1,22	1,224	1,216	1,259	1,227
C4	0,805	1,037	1,159	1,106	0,979	1,017
C5	1,149	1,156	1,14	0,971	1,16	1,115
C6	1,077	1,098	1,203	1,081	0,77	1,046

**Tab. F- 2** Naměřené hodnoty vzorků pro mechanické zkoušky

	b [mm]	h [mm]		b [mm]	h [mm]		b [mm]	h [mm]
A1	10,512	3,91	B1	10,373	4,036	C1	10,141	3,754
A2	10,717	3,938	B2	10,85	4,066	C2	10,365	3,76
A3	10,714	3,95	B3	10,141	4,031	C3	10,613	3,734
A4	10,13	4,072	B4	10,341	3,992	C4	10,224	3,741
A5	10,848	3,91	B5	10,395	4,053	C5	10,074	3,719
A6	10,958	3,684	B6	10,734	3,921	C6	10,493	3,689
A7	11,111	3,951	B7	10,828	4,015	C7	10,261	3,719
A8	10,096	3,999	B8	10,535	3,809	C8	9,707	3,665
A9	11,08	3,755	B9	10,492	4,007	C9	10,789	3,724
A10	11,494	3,805	B10	9,886	4,067	C10	10,274	3,624
A11	10,485	3,744	B11	9,763	4,034	C11	10,434	3,722
A12	10,529	3,918	B12	10,786	4,013	C12	10,485	3,721
A13	10,971	3,944	B13	10,298	3,914	C13	10,417	3,709
A14	11,198	3,769	B14	10,094	3,944	C14	10,477	3,75
A15	10,439	3,825	B15	10,536	3,958	C15	10,162	3,761
A16	10,461	4,029	B16	9,781	3,915	C16	10,099	3,748
A17	11,042	3,799	B17	10,344	4,029	C17	10,367	3,734
A18	10,768	3,82	B18	10,475	3,961	C18	10,594	3,719
A19	10,262	3,786	B19	10,938	3,929	C19	10,275	3,63
A20	10,516	3,686	B20	10,498	3,993	C20	10,511	3,644
A21	10,922	3,772	B21	10,726	3,868	C21	10,24	3,708
průměr	10,726	3,860	průměr	10,420	3,979	průměr	10,333	3,713