

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2017

Kateřina Chudá







# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

## TESTOVÁNÍ ZALÉVACÍCH HMOT PRO ELEKTRICKÉ STROJE

TESTING OF POTTING COMPOUNDS FOR ELECTRICAL MACHINES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Chudá

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.

BRNO 2017

## Bakalářská práce

studijní obor  
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student:

ID: 0

Ročník: 0

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

**Studium eroze kontaktů spínacích přístrojů za reálných podmínek**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište problematiku eroze kontaktů během vypínacího pochodu.
2. Na připraveném modelu kontaktního systému proveďte pokusy za reálných podmínek.
3. Získejte kvalitní přehledně vyhodnotte a analyzujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje, SNTL, 1985
- [2] Havelka, O. a kol.: Podklady a příklady pro navrhování elektrických přístrojů I, VUT v Brně, 1985
- [3] Slade P.G.: Electrical Contacts: Principles and Applications, 2. ed (2014), ISBN 978-1439881309

Termín zadání:

Termín odevzdání:

0

Vedoucí práce: Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI, díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Zalévací hmoty se v elektrotechnice používají k ochraně elektrických strojů a přístrojů před nepříznivými vlivy, zlepšují jejich izolační vlastnosti a zlepšuje odvod tepla vznikajícímu ve stroji při provozu. Zalitou elektroniku můžeme používat v mokřém, prašném nebo jiném prostředí, ve kterém by takhle neošetřená elektronika nemohla fungovat.

## **Klíčová slova**

zalévací hmoty, pryskyřice, silikony, tepelná vodivost, metodika zkoumání zalévacích hmot, tepelná vodivost

## **Abstract**

Potting compounds are used in electrotechnics to protect electric machines from the adverse effect, to improve insulating properties and to better heat transfer that is created in machine during their using. Embedding electronics into encapsulants can be used in wet, dusty or other environment, where normally it cannot be used properly.

## **Keywords**

Potting compounds, Epoxy, Silicon, Thermal conductivity, testing of potting compounds, thermal conductivity

## **Bibliografická citace**

CHUDÁ, K. *Testování zalévacích hmot pro elektrické stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 87 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D..

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Zalévací hmoty pro elektrické stroje jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....31.5.2017      Podpis autora .....

# Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Také panu doc. Radku Vlachovi za zapůjčení zkoumaného vzorku a vysvětlení principů při měření tepelné vodivosti.

V Brně dne .....31.5.2017      Podpis autora .....

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 IZOLANTY A DIELEKTRIKA.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 POLARIZAČNÍ MECHANISMY .....	15
2.1.2 ELEKTRICKÁ VODIVOST V DIELEKTRIKÁCH .....	16
2.1.3 PRŮRAZ IZOLANTŮ.....	17
2.1.4 PŘESTUP TEPLA .....	18
<b>2.2 ZALÉVACÍ HMOTY.....</b>	<b>19</b>
2.2.1 POŽADAVKY NA ZALÉVACÍ HMOTY .....	21
2.2.2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO ZALÉVACÍ HMOTY .....	21
2.2.3 MATERIÁLY S VYSOKOU TEPELNOU VODIVOSTÍ.....	25
<b>2.3 REŠERŠE ZALÉVACÍCH HMOT .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 TEPLOTNÍ TŘÍDY MATERIÁLŮ[4] .....</b>	<b>31</b>
<b>3 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 METODY ZJIŠŤOVÁNÍ PARAMETRŮ HMOT.....</b>	<b>32</b>
3.1.1 STANDARDNÍ PODMÍNKY PŘI DIAGNOSTICE.....	32
3.1.2 MĚŘENÍ REZISTIVITY[4].....	32
3.1.3 MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ PEVNOSTI[4].....	33
3.1.4 MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI.....	33
<b>3.2 ZJIŠŤOVÁNÍ TEPELNÉ VODIVOSTI,„ŠEDÉHO“ VZORKU .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 ZALÉVACÍ HMOTA „BÍLÁ“ .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4 HMOTA PX439XS – ROBNOR.....</b>	<b>37</b>
<b>3.5 HMOTA SC2003 – ELECTROLUBE.....</b>	<b>39</b>
<b>3.6 HMOTA ER 2074 – ELECTROLUBE.....</b>	<b>41</b>
<b>3.7 FEMM.....</b>	<b>44</b>
3.7.1 GEOMETRIE PRVKU .....	46
3.7.2 DEFINICE MATERIÁLŮ A HRANIČNÍCH PODMÍNEK .....	47
3.7.3 VÝSLEDKY .....	47
<b>4 ZÁVĚR.....</b>	<b>52</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>53</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>55</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1: Polarizace dielektrika.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr.2: Zalévací hmota průhledná[12] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr.3: VN izolátor[11].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr.4: Zalévací pryskyřice na bázi epoxidu a polyuretanu[13] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obr.5: Zalévací silikon vhodný pro pouzdrění elektronických součástek[9].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 6: Zkušební těleso pro zjištění tepelné vodivosti.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 7: Oteplovací charakteristika hmoty PX 439 XS .....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 8: Měření hmoty PX 439 XS .....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 9: Oteplovací charakteristika hmoty SC 2003.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 10: Měření hmoty SC 2003 .....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 11: Oteplovací charakteristika hmoty ER 2074 (druhý odlitek).....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 12: Měření hmoty ER 2074 .....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 13: Ukázka hustoty sítě pro výpočet .....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 14: Konečný prvek (trojúhelník) a uzly.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 15: Model pro simulaci přestupu tepla ve hmotě .....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 16: Hodnota teploty na povrchu hmoty .....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 17: Hodnoty teploty na elektrodě.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 18: Rozložení tepla ve hmotě PX 439 XS.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 19: Rozložení teploty na vnější straně zalévací hmoty .....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 20: Teplota na povrchu hmoty.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 21: Teplota na povrchu elektrody.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 22: Rozložení tepla ve hmotě SC 2003.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 23: Rozložení teploty na povrchu hmoty SC2003 .....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 24: Teplota na povrchu hmoty.....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 25: Teplota na povrchu elektrody.....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 26: Rozložení tepla ve hmotě ER 2074 .....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 27: Rozložení teplot na povrchu hmoty v celé její délce.....</i>	<i>51</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Tepelná vodivost a koef teplotní roztažnosti pro různé materiály při pokojové teplotě[7]</i> .....	28
<i>Tabulka 2: Parametry hmoty HUNSTMAN CW2243 / HY2966[14] udávané výrobcem</i> .....	29
<i>Tabulka 3: Parametry hmoty HUNTSMAN CW 5631 / HZ5610[15] udávané výrobcem</i> .....	29
<i>Tabulka 4: Parametry hmoty DOLPHON CB-1128 udávané výrobcem</i> .....	29
<i>Tabulka 5: Parametry hmoty Egel3000[16] udávané výrobcem</i> .....	29
<i>Tabulka 6: Parametry hmoty MC 54700 FR/W 5710 udávané výrobcem</i> .....	29
<i>Tabulka 7: Parametry hmoty Ceramacast 675n[23]</i> .....	30
<i>Tabulka 8: Výsledky simulace a měření[23]</i> .....	30
<i>Tabulka 9: Teplotní klasifikace izolantů[4]</i> .....	31
<i>Tabulka 10: Naměřené hodnoty:</i> .....	35
<i>Tabulka 11: Hodnoty udávané výrobcem:</i> .....	37
<i>Tabulka 12: Hodnoty udávané výrobcem:</i> .....	39
<i>Tabulka 13: Hodnoty udávané výrobcem:</i> .....	41
<i>Tabulka 14: Naměřené hodnoty:</i> .....	41

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	plocha elektrody [ $\text{m}^2$ ]
A	Geometrie částic f
C	tepelná kapacita
c	měrná tepelná kapacita
d	tloušťka, průměr [m]
EIM	elektroizolační materiál
EIS	elektroizolační systém
el.	elektrický
$E_p$	elektrická pevnost [ $\text{kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]
f	geometrie částic
g	vzdálenost mezi elektrodami [m]
h	průměrná tloušťka vzorku [m]
chem.	chemické
$I_0$	konečná hodnoty proudu [A]
$I_s$	ustálený proud [A]
koef.	koeficient
L	délka [m]
m	hmotnost [kg]
p	efektivní obvod
P	příkon [W]
Q	teplo [J]
q	měrná tepelná kapacita [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
r	poloměr [m]
$R_x$	vnitřní odpor [ $\Omega$ ]
S	plocha [ $\text{m}^2$ ]
t	čas [s]
tepl.	tepelné
$T_f$	koncová teplota [K],[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_i$	počáteční teplota [K],[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_o$	teplota okolí [K],[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_s$	termodynamický systém [K],[ $^{\circ}\text{C}$ ]
UV	ultra fialové
$U_x$	použité napětí [V]
$\Delta T$	rozdíl teplot [K],[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
$\lambda_c$	teplená vodivost směsi [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
$\lambda_f$	tepelná vodivost plniče [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
$\lambda_p$	tepelná vodivost polymeru [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
$\rho$	rezistivita [ $\Omega\cdot\text{m}$ ]
$\rho_p$	povrchová rezistivita [ $\Omega\cdot\text{m}$ ]

---

$\rho_v$	vnitřní rezistivita [ $\Omega \cdot m$ ]
$\varphi$	tepelný tok [ $W \cdot m^{-2}$ ]
$\varphi$	nasycení plničem [vol%]
$\varphi_m$	max. nasycení plničem [vol%]

# 1 ÚVOD

V této práci rozebereme problematiku zalévacích hmot. Ty se používají jako ochrana částí elektroniky před vlivy prostředí, především proti vlhkosti, agresivními plyny a kapalinami, vodivým prachem. Dále jsou potřebné pro lepší odvod tepla, který se akumuluje ve stroji a mohlo by dojít k jeho přehřátí či poškození.

Seznámíme se s vlastnostmi zalévacích hmot, a jaké jsou na ně kladeny požadavky. Také je zde popsáno možné vylepšení parametrů hmoty pomocí plniců, které se do hmot přidávají.

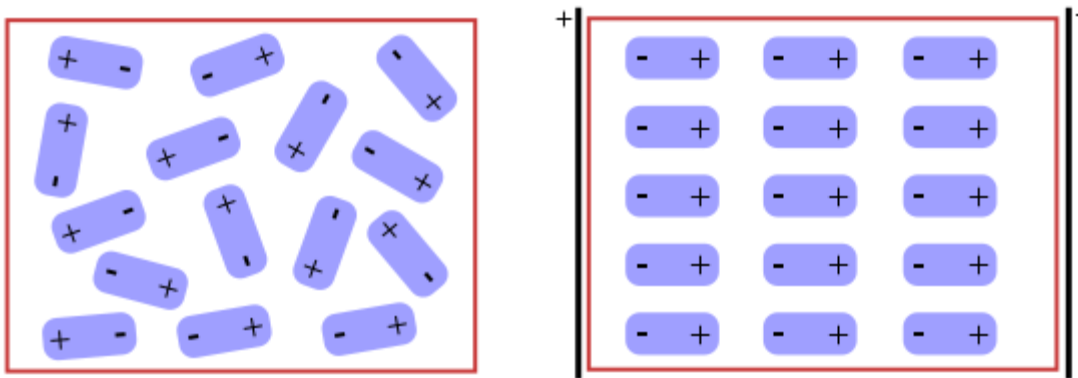
Praktická část je zaměřena na měření tepelné vodivosti několika vzorků zalévacích hmot. Popíšeme si postup pro měření tepelné vodivosti a jaké náležitosti při tom musíme dodržet, abychom dostali co nejpřesnější výsledky. Naměřené hodnoty vzorků byly porovnány s hodnotami udávanými výrobcem. Pro lepší představu přestupu tepla ve hmotě, byla vytvořena i simulace v programu FEMM.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE

### 2.1 Izolanty a dielektrika

Dielektrikum je látka (většinou izolant), která má schopnost polarizace (tedy být polarizována). Izolanty jsou podmnožinou dielektrik, každý izolant je dielektrikem, nikoli však každé dielektrikum izolantem. Dielektrika jsou tvořena atomy, molekulami a ionty. Jejich elektrické vlastnosti závisí na chemickém složení, struktuře, skupenství a stavu. Ideální dielektrikum obsahuje jen vázané náboje. Reálná dielektrika kromě velkého množství volných nábojů obsahuje také malé množství volných nábojů, tyto volné náboje bývají většinou nečistoty materiálu nebo jeho příměsi.[4]

Vložení dielektrika do elektrického pole nastává polarizace dielektrika. To znamená, že při působení vnějšího i vnitřního elektrického pole se přemísťují vázané náboje v dielektriku ze svých rovnovážných poloh do nových na malé vzdálenosti. V případě existence dipólových molekul v dielektriku, se orientují tyto rovněž do směru elektrického pole.[8]



Obr.1: Polarizace dielektrika

#### 2.1.1 Polarizační mechanismy

V dielektriku se vyskytuje současně několik druhů polarizačních mechanismů. Slabší polarizace bývají překryty silnějšími polarizačními mechanismy. Polarizace se klasifikují na základě rychlosti odezvy polarizovaných částic na přiložené elektrické pole:[8]

1. Pružné (elastické) polarizace – jevy s rychlým průběhem ( $10^{-16} - 10^{-12}$ s).

Základem jsou elektrické nosiče (elektrony, ionty), které jsou silně vázány v atomu, či molekule a spočívá ve vychýlení velkého počtu částic z jejich rovnovážných poloh. Jelikož jsou ale elektrické nosiče silně vázány, není jejich pohyb vyvolán elektrickým polem, ale závisí na teplotě a frekvenci, které působí na dielektrikum.

Tyto polarizace jsou elektronové nebo iontové.[8]

2. Relaxační polarizace – jevy s pomalým průběhem  
Základem je, aby dielektrikum mělo slabě vázané polární částice, jež se vlivem tepelného pohybu chaoticky pohybují a mohou zaujmout okolní pozice. Pokud se dielektrikum nenachází v elektrickém poli, je rozložení částic rovnoměrné. Přiložením el.pole se částečně usměrní chaotické tepelné pohyby částic, dochází k natáčení částic ve směru el. pole, protože je to energeticky výhodnější → nerovnoměrné rozložení částic v dielektriku. Polarizace po připojení i odpojení elektrického pole nenastane okamžitě, ale postupně přibývá (ubývá).[8]
3. Zvláštní polarizační mechanismy
  - i) Mezivrstvová polarizace: u látek s makroskopickými nehomogenitami (póry, nečistoty) a u vrstevnatých izolantů (lamináty, plasty s plnivý), jednotlivé složky mají různou elektrickou vodivost a permitivitu a je podmíněna migrací volných nosičů elektrického náboje, jež se na rozhraní vrstev kumulují.
  - ii) Spontánní (samovolná) polarizace: u feroelektrických materiálů (doménová struktura), Domény jsou makroskopické oblasti, v nichž jsou všechny částice spontánně polarizovány v důsledku působení vnitřních výměnných sil (interakcí) mezi částicemi.
  - iii) Permanentní polarizace: u některých polárních látek s malou elektrickou vodivostí, trvale zpolarizovaná tělesa, která jsou schopná po předchozím působení vnějšího elektrického pole vytvářet ve svém okolí po dlouhou dobu elektrické pole
  - iv) Rezonanční polarizace: u všech dielektrických materiálů, Vzniká následkem rezonance vlastních (tepelných) kmitů částic s elektrickým nábojem s kmitů vnějšího elektrického pole. [8]

### 2.1.2 Elektrická vodivost v dielektrikách

Vodivost v dielektrikách spočívá v pohybu volných nebo slabě vázaných elektrických nábojů v elektrickém poli. Úroveň elektrické vodivosti závisí na druhu nosičů elektrického náboje (velikosti náboje  $q$ , driftové pohyblivosti  $\mu$ ) a jejich koncentraci. Nás bude především zajímat elektrická vodivost tuhých izolantů. Pro ně platí, že mají malou konduktivitu (vodivost) ve slabých el. polích za běžných teplot. Ve slabých polích předpokládáme iontovou vodivost (pohyb volných a slabě vázaných iontů nečistot a příměsí) a elektronovou vodivost (vyskytuje se až při kritických hodnotách intenzit el. pole  $10^1$ - $10^2$  kV.mm<sup>-1</sup> nebo vysokých teplotách). U tuhých izolantů mluvíme i o povrchové vodivosti. Ta je způsobena pohybem volných nosičů náboje po povrchu izolantu. Úroveň povrchové vodivosti je ovlivněna čistotou povrchu, množstvím absorbované vlhkosti a strukturou izolantu (schopností vázat nebo odpuzovat vodu). [5],[8]

#### Dielektrické ztráty

Ztráty v dielektriku představují celkovou energii, rozptýlenou v dielektriku v časové jednotce při jeho vložení do elektrického pole. Ztráty se vyskytují při působení stejnosměrného i střídavého pole, jsou provázány ohřevem dielektrika a jsou příčinou změny fázového úhlu mezi napětím a proudem. Celkové ztráty dielektrik jsou součtem několika druhů ztrát, rozdílných svojí fyzikální podstatou, ale souhlasných ve svém konečném působení na dielektrikum.[4]

1. Vodivostní ztráty – pohyb volných nosičů el. náboje  
Vznikají vlivem vodivostního proudu procházejícího dielektrikem a proudem tekoucího po jeho povrchu, jsou podmíněny ohmickou vnitřní a povrchovou vodivostí dielektrika.

Vyskytují se ve stejnoměrném i střídavém el. poli. tyto ztráty způsobují přeměnu el. energie v Joulovo teplo.[8]

## 2. Polarizační ztráty – posuny vázaných nosičů el. náboje

Vyskytují se pouze ve střídavých el. polích a jdou podmíněny polarizačními mechanismy. U elektronové a iontové polarizace jsou ztráty nulové, ale u relaxační iontové jsou velmi vysoké. Nejvíce ztrátovou polarizací je mezivrstvou, kde jsou ztráty tvořeny pohybem volných nosičů el. náboje. Ke ztrátám polarizací patří ještě tzv. rezonanční ztráty, které se v dielektriku vyskytují až při kmitočtech odpovídajících kmitočtu světelného spektra.[8]

## 3. Ionizační ztráty

Vyskytují se v plynech a také často v tuhých a kapalných dielektrických materiálech s plynovými vměstkami. Podmínkou vzniku ztrát je překročení tzv. prahu ionizace daného plynu.[8]

V případě působení stejnosměrného el. pole je pro dielektrické ztráty rozhodující vodivostní proud protékající dielektrikem (případně proud tekoucí po povrchu), které způsobují Jouleovy ztráty. Ve střídavém elektrickém poli se vyskytují nejen ztráty vodivostní, ale i polarizační a ionizační ztráty.[8]

### 2.1.3 Průraz izolantů

Izolant je elektrickým polem namáhán. Přestoupením kritické hodnoty gradientu pole dochází ke vzniku výboje. Výbojem se označuje náhlý jev, spojený se vznikem dokonale vodivé cesty v izolantu.[8]

Průraz tuhých izolantů

#### 1. Čistě elektrický:

Velmi rychlý průraz;  $t = 10^{-7}$  -  $10^{-8}$  s. Proražené místo je tvaru čistého otvoru o průměru řádově 0,01 mm (tzv. propich) beze stop po opálení okolí. K čistě elektrickému průrazu dochází zejména při rázovém namáhání.[8]

#### 2. Tepelný průraz:

Doba rozvinutí trvá sekundy i minuty. Okolí místa průrazu se silně ohřeje. Po průrazu se objeví vypálený otvor (kanál), jehož okolí bývá zuhelnatělé, často materiál popraská, rozkládá se či taví. Tepelný průraz vzniká následkem porušení tepelně elektrické rovnováhy izolantu, jehož příčinou je vzrůst dielektrických ztrát s teplotou.[8]

Elektrickou pevnost  $E_p$  izolantu ovlivňuje teplota, tloušťka izolantu, charakter a druh el. pole, frekvence el. pole, doba působení el. pole, částečné výboje v dielektriku. Elektrická pevnost  $E_p$  s dobou působení klesá. Čím menší napětí působí na izolant, tím delší doba uplyne, než dojde k průrazu. Elektrická pevnost může být rázová, krátkodobá, minutová (sekundová, hodinová) nebo trvalá, která je prakticky nezávislá na době působení napětí a odpovídá napětí, které izolant snese nekonečně dlouhou dobu.[4],[8]

### 2.1.4 Přestup tepla

Termodynamický systém  $T_s$  a jemu příslušné okolí  $T_o$  mají každý určité vlastnosti, jako je tlak  $p$ , objem  $V$  a teplota  $T$ . My se budeme soustředit především na teplotu  $T$ . Pokud není teplota systému  $T_s$  a teplota okolí  $T_o$  rovna, potom se  $T_s$  potažmo  $T_o$  mění tak dlouho, dokud se teploty nevyrovnají a nebude dosaženo tepelné rovnováhy. Tato změna teploty je způsobena přenosem energie mezi systémem a jeho okolím. Tím se mění vnitřní energie systému, což je souhrn potenciální a kinetické energie spojené s náhodným pohybem atomů a molekul zkoumaného systému či předmětu. Tato přenesená energie je teplo  $Q$ . [5]

S tím úzce souvisí tepelná kapacita  $C$ . Vztahuje se vždy určitému předmětu a je to konstanta úměrnosti mezi množstvím tepla dodaného předmětu a tím způsobenou změnou jeho teploty. Obecně platí vztah(2.1):

$$Q = C(T_f - T_i), \quad (2.1)$$

kde  $T_i$  a  $T_f$  jsou počáteční a koncová teplota předmětu. Jednotkou tepelné kapacity je jednotka energie na kelvin K, popřípadě na stupeň Celsia. [5]

Nastává problém, že tepelná kapacita se vztahuje k určitému předmětu, jenže tento předmět není omezen v přijímání tepla, čili se postupem času může roztavit až vypařit. Proto je vhodnější používat měrnou tepelnou kapacitu  $c$ , čili tepelnou kapacitu na jednotku hmotnosti. Měrná tepelná kapacita se nevztahuje k předmětu, ale jen ke konkrétnímu materiálu. Jednotkou měrné tepelné kapacity je jednotka energie na kilogram na kelvin. Platí vztah (2.2). [5]

$$Q = cm(T_f - T_i), \quad (2.2)$$

kde  $m$  je hmotnost tělesa. Měrné tepelné kapacity závisí na teplotě, jsou jiné při 20 °C než při 40°C. Nalezneme je v tabulkách, většinou uvedené pro pokojovou teplotu 20°C. [5]

Přenos tepla ze systému do okolí nebo z okolí do systému může probíhat různými mechanismy: [5]

1. Prouděním – makroskopickým pohybem tekutiny, při němž proudí teplejší části tekutiny do míst o nižší teplotě a naopak,
2. Sáláním – prostřednictvím elektromagnetického záření. Každé těleso, které má teplotu vyšší než absolutní nula, vyzařuje.
3. Vedením – Přenos energie se uskutečňuje vnitřními částicemi (molekulami, ionty), které jsou v neustálém pohybu. [5]

Přenos tepla vedením je typický pro pevné látky (popř. i klidné tekutiny) z místa teplejšího do místa chladnějšího předáváním energie z molekuly na molekulu, aniž jsou v pohybu větší části látky. Nárůst amplitud kmitání a s ním spojená energie se šíří podél tělesa od atomu k atomu prostřednictvím srážek sousedních atomů. Například u tělesa o ploše  $S$  s tloušťkou  $d$ , již probíhá vedení ze strany vyšší teploty  $T_H$  na stranu o nižší teplotě  $T_S$ . Při přenosu tepla  $Q$  za určitý čas  $t$ , mluvíme o tepelném toku  $\phi$  (výkon přenášený při průchodu tepla danou plochou). Pro tepelný tok  $\phi$  platí vztah(2.3). [5]

$$\phi = \frac{Q}{t} = \lambda S \frac{T_H - T_S}{d}, \quad (2.3)$$

kde  $\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti, což je konstanta charakteristická pro daný materiál. Dobrý vodič tepla má vysokou hodnotu  $\lambda$  a naopak.[5]

## 2.2 Zalévací hmoty

Zalévací hmoty jsou látky, které jsou ve většině případů v kapalném stavu a po aplikaci a následném tuhnutí změny své skupenství na pevné. Zalévací hmoty se používají jako ochrana částí elektroniky před vlivy prostředí, především proti vlhkosti, agresivními plyny a kapalinami, vodivým prachem. Jejich použití zlepšuje mechanickou odolnost zalitého stroje a také odvod tepla vzniklého při chodu stroje.[1],[2]



Obr.2: Zalévací hmota průhledná[12]

Zalévací hmoty jsou ve většině případů dvousložkové. To znamená, že se skládá z vlastní hmoty a tvrdidla, které je potřeba smíchat v poměru, který uvádí výrobce, před samotným zaléváním stroje. Při dodržení mísičího poměru se v ideálním případě vytvoří jednaná celistvá molekula. Přidáním menšího množství, než jaké je předepsané, se vytvoří více menších molekul, které mění vlastnosti dané hmoty. Hmota má horší vlastnosti než udává výrobce. Pokud se použije více tvrdidla, vzniknou volné izokyanáty, které dále reagují s okolním prostředím. To má za následek hrudkovitý povrch materiálu, nebo zvětšení objemu. Z tohoto důvodu se míchání řeší strojově naprogramovaným automatem. Připravená hmota se musí aplikovat ještě v době zpracovatelnosti, tedy doby než hmota ztuhne. Tato doba je specifická pro každou hmotu. Po uplynutí této doby nastává želatinace hmoty. K úplnému vytvrzení dojde až po několika týdnech a k vyžrání po několika měsících.[2]

Smícháním tvrdidla s hmotou (polymer) dochází k exotermické reakci. Ta se musí brát v úvahu hlavně při zalévání citlivé elektroniky, protože se součástky by se mohly teplem poškodit nebo dokonce zničit.[2]

Zalévací hmoty se používají například pro zalévání transformátorů. Transformátor s plechovým jádrem se vloží do krabičky a následně se zalije hmotou tak, že pouze přípojovací kontakty zůstanou nezalité. Tohle opatření nezlepšuje pouze mechanickou odolnost transformátoru a zvýšení odvodu tepla, ale také při použití speciálních příměsí samozháší vzniklé oblouky. U toroidních transformátorů se zalévá i střed transformátoru, poté se do zalití vyvrta díra, aby bylo možné uchytit transformátor při montáži do přístroje.[1]

U motorů se rotor i stator zalévají vhodným epoxidem nebo polyuretanem. Důvodem je stejně jako u transformátorů především lepší odvod tepla a ochrana před vlhkostí. Zpevní se tak i vinutí motoru a tím se zvýší jeho mechanická pevnost. Motory, které se používají jako čerpadla nebo v kanalizaci, se stator zalévá do speciální hmoty, která jej chrání před vlhkostí, kyselinami a plyny, které v tomto prostředí vznikají. [1]

Dále se zalévací hmoty používají pro zalévání drobné elektroniky (např. plošné spoje). Zalévá se do speciálních polyuretanů. Tato elektronika je velmi náchylná na mechanické poškození. Také je zapotřebí zajistit odvod tepla a hmoty zajišťuje izolaci dané elektroniky. Drobná elektronika se hojně využívá např. v automobilovém průmyslu, kde musí vydržet působení olejů, prachu, zimního posypu apod. [2]



Obr.3: VN izolátor[11]

## 2.2.1 Požadavky na zalévací hmoty

Pro zalévací hmoty jsou důležité tyto parametry: vysoká tepelná vodivost  $\lambda$ , nízký koeficient teplotní roztažnosti, nízká dielektrická konstanta, vysoká rezistivita, vysoká odolnost proti průrazu a v dnešní době čím dál tím důležitější nízká cena.[4],[7]

Hlavním materiálem zalévacích hmot jsou polymerní materiály, které se velmi snadno zpracovávají, mají dobrou teplotní izolaci, teplotní vodivost  $\lambda$  se pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,5  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Aby se zvýšila  $\lambda$ , přidávají se do základních polymerních materiálů plniče s vyšší  $\lambda$ . [7]

Tepelná vodivost  $\lambda$  – od zalévacích hmot chceme, aby měli co největší tepelnou vodivost, protože chceme, aby byl zaručen co nejlepší odvod tepla vznikajícím při provozu stroje. Tepelná vodivost zalévacích hmot se pohybuje v rozmezí 0,6 – 0,8  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ . [8]

Teplotní roztažnost – při provozování el. stroje vznikají elektrické, mechanické, ale i tepelné ztráty. Je tedy důležité, aby měl materiál nízkou hodnotu konstanty teplotní roztažnosti, protože nechceme, aby se izolace vlivem teploty deformovala. Což by mělo za následek snížení mechanické odolnosti a také el. vlastností materiálu.[4],[7]

Mechanická odolnost – další významné namáhání je mechanické (vlivy při výrobě vinutí, změny teploty při provozu el. zařízení, mech. rázy vyvolané zkratovými proudy, namáhání vibracemi). Protože je materiál namáhán rozličnými druhy namáhání, posuzuje se jeho odolnost vůči tahu, ohybu, při statickém namáhání a odolnost proti dynamickému namáhání. Pokud materiál není dostatečně mechanicky odolný, snižují se tím i jeho el. vlastnosti.[4]

Elektrická pevnost – jde především o odolnost proti průrazu izolace. Odvíjí se od délky přiloženého napětí a délce trvání přiloženého napětí. El. pevnost klesá s tloušťkou materiálu mezi elektrodami a s dobou působení napětí. Snižování el. pevnosti může způsobovat chem. znečištění materiálu, vznik el. výbojů za tepla nebo vlhka a také přirozeným stárnutím materiálu.[4],[8]

Rezistivita – ideální zalévací hmota by měla mít nekonečně velký odpor, aby jí neprotékal žádný proud, v realu ale chceme, ab byla rezistivita hmoty co možná největší[4]

Odolnost proti vlhkosti – zalévací hmoty musí být odolné proti vlhkosti, protože kdyby do sebe vážali vodu, zhoršovali by se jejich izolační vlastnosti a mohlo by dojít k průrazu a následnému zničení izolace.[4]

## 2.2.2 Materiály používané pro zalévací hmoty

### 2.2.2.1 Epoxidy

Epoxidy, jinak známé i jako oxirany, jsou cyklické ethery s tříčlenným kruhem. Díky velkému pnutí v tříčlenném kruhu jsou velmi reaktivní především s hydroxyly (karboxyly, hydroxyly a amino skupinami). Epoxidy tvoří silnější polymery a tím zvyšují i teplotní stabilitu.[2]

### Epoxidové pryskyřice a lepidla

Polymer obsahující nezreagované epoxidové jednotky se nazývá polyepoxid nebo epoxidová pryskyřice (někdy jen epoxid). Epoxidové pryskyřice a lepidla jsou dvousložkové. Jednu složku tvoří kapalný „prepolymer“, který obsahuje na konci každého řetězce epoxyskupinu. Aby došlo k vzájemnému spojení „prepolymerů“ použije se druhá složka – „tužidlo“, které způsobí

zatuhnutí prepolymeru. Po přidání tužidla nejprve narůstá teplota a klesá viskozita, poté dojde k želatinaci hmoty. Dojde k zesíťování řetězce. Díky čemuž je hmota enormně chemicky stálá, pevná a tepelně odolná. Proto se používají jako ochrana proti dlouhodobému působení vyšších teplot, vyššího napětí a chemicky agresivnímu prostředí.[2],[13]

### **Impregnační laky**

Využívají se k impregnaci vinutí motorů, transformátorů a cívek. Impregnace slouží jako ochrana před chemickými vlivy, prachem, vlhkostí, zlepšuje odvod tepla a zpevňuje vinutí. Impregnované stroje jsou méně náročné na údržbu, zvyšuje se spolehlivost stroje a také se může používat i v extrémních podmínkách.[2]

Samotná impregnace se provádí namáčením, stříkáním nebo pod tlakem ve vakuu. Jelikož je lak těkavý, kvůli čemu vznikají okapové ztráty, provádí se impregnace alespoň dvakrát. Druhá impregnace se provádí po vytvrzení laku po prvním impregnování. Vakuotlaká impregnace se provádí pomocí dvou nádob. V jedné se nachází impregnační lak a ve druhé je impregnované vinutí, ze které se odsátím vzduchu vytvoří vakuum. Poté je zespodu nádoby vpuštěn impregnační lak z první nádoby. Po napuštění laku do nádoby se vpustí vysoký tlak, aby lak mohl lépe proniknout do vinutí. Zbylý lak se odčerpá zpět do první nádoby, vinutí se nechá okapat a vytvrdí se ve vytvrzovací peci při cca 150 °C. Při vytvrzování se část rozpouštědla odpaří a druhá část se sušinou polymerizuje (tuhne) a vytváří pevné molekuly.[2]

Kvalitou impregnace se rozumí, kolik laku se dostalo do vinutí. To se zjišťuje pomocí váhového přírůstku. Impregnovaný výrobek se zváží před impregnací a po impregnaci. Tímto způsobem zjišťuje, kolik gramů impregnačního laku se dostalo mezi jednotlivé vrstvy vinutí. Impregnovaný lak se může kontrolovat i vizuálně kvůli vzduchovým mezerám. Část laku se vyřízne a pozoruje se pod mikroskopem. Tato kontrola se provádí na pokusných dílech, aby se zjistilo, jestli je impregnační stroj dobře nastaven. Na kvalitu impregnace se klade důraz hlavně kvůli ochraně před vznikem koróny.[2]

#### **2.2.2.2 Pryskyřice**

Slouží jako mechanická ochrana, izolace, ochrana proti vlhkosti a nepříznivým vlivům prostředí. V pryskyřicích se nevytvářejí póry (jsou neporézní), rychle se vytvrzují, mají dobré elektrické vlastnosti. Jsou odolné proti mechanickým a teplotním šokům a vyznačují se dobrou přilnavostí k ostatním materiálům.[1],[2]



*Obr.4: Zalévací pryskyřice na bázi epoxidu a polyuretanu[13]*

### **Pryskyřice práškové jednosložkové**

Používají se jako drážková izolace menších elektromotorků. Dodávají se v předem namíchané práškové směsi, aby došlo k rovnoměrné a homogenní aplikaci. Pryskyřice se nanáší ponořováním stroje, ručním stříkáním a elektrostatickým naprašováním.[2]

Aby byla pryskyřice správně nanášena je potřeba komponent dobře očistit a odmastit. U některých typů pryskyřic je potřeba nejprve ošetřovaný stroj (komponent) předeheat, aby se pryskyřice roztavila, tedy částečně rozlila, a tím byla nanášena rovnoměrněji.[2]

### **Pryskyřice tekuté dvousložkové**

Používají se na ochranu elektrických částí stroje a také jejich zatěsňování proti vlhkosti. Dvousložkové pryskyřice mohou být epoxidové nebo polyuretanové a mohou být vytvrzeny za pokojové teploty nebo za tepla. Pryskyřice vytvrzované za tepla mají lepší zpracovatelnost a lépe se u nich kontroluje viskozita.[2]

Tyto pryskyřice se mohou doplňovat plnidly, viz kapitola 2.2.3.1. Plnidla redukují scvrkávání materiálu, kde by materiál mohl být vystaven teplotním šokům, ale snižuje stékavost pryskyřice, takže by se takhle upravená pryskyřice nedostala do hůře přístupných míst.[2]

### **Polyuretany**

Polyuretany mají dobrou dielektrickou vlastnosti, vysokou teplotní odolnost běžně do 120°C, ale existují i speciální typy do 160°C. Vyznačují se dobrou přilnavostí k materiálům. Polyuretany se smršťují, čímž vyvíjejí malý tlak na zalité komponenty. Neabsorbují vlhkost a mají velkou chemickou odolnost. I při pokojových teplotách dosahují nízké viskozity, takže se komponenty nemusí předeheat. Na rozdíl od epoxidů nejsou hodnoceny jako nebezpečný odpad, protože nejsou tak emisně agresivní. Tvrdost se polyuretany pohybují od měkkých materiálů až po materiály tvrdé jako epoxid. [1],[2],[7]

Polyuretany i jejich tvrdidla se uchovávají mimo dosah vlhkosti a teploty pod 5°C. Pokud by tvrdidlo bylo uchováváno v teplotách pod 5°C, vznikaly by v něm krystalky a tím se tvrdidlo znehodnotilo. Při dlouhodobém skladování se ve hmotě tvoří usazeniny. Proto se musí kontrolovat piketrem (v objemově normovaném kalíšku) a váhami. Rozmíchaná hmota se vlije do kalíšku, zváží se a vypočte se hustota, která se porovná s údaji v data sheetu.[2]

Polyuretany se používají pro zapouzdřování transformátorů, optických prvků, ponorných čerpadel a odrušovacích filtrů.[2]

### **Silikony**

Mají výborné elektroizolační vlastnosti, jsou odolné vůči UV záření, proti chemickému působení, vlhkosti. Celkem jednoduše se zpracovávají a mají nízkou toxicitu. Pokud bychom chtěli i odolnost proti hoření, vyšší tepelnou vodivost nebo lepší dielektrické vlastnosti, museli bychom použít plniče. Plniči je možné snížit nebo zvýšit teplotu tvrzení.[9]



*Obr.5: Zalévací silikon vhodný pro pouzdření elektronických součástek[9]*

### **Kondenzační silikony**

Mohou být dvousložkové nebo jednosložkové. Při jejich tvrzení se využívá vzdušné vlhkosti z atmosféry. Kolísání teploty má nepříznivý vliv na vytvrzování. Proto je potřeba provádět vytvrzování v místnosti svíce méně stálou teplotou. Kondenzačními silikony nelze zalévat vrstvy vyšší než 1 cm, protože vrstva, která ztuhne rychleji, by zabránila přístupu vlhkosti do nižší vrstvy a došlo by ke špatnému vytvrzení. Jelikož kondenzační silikony používají mnoho zesilujících katalyzátorů, které tvoří vedlejší produkty poškozující zejména citlivou elektroniku, je vhodnější používat „Alkoxo“ a „Acetonové“ jednosložkové silikony.[9]

Jednosložkové kondenzační silikony mají výhodu v tom, že není nutné míchat, tím pádem se nemusíme bát, že bychom dali špatný poměr, protože máme pouze jednu složku. Zato ale musíme přesně dodržovat dobu tvrdnutí, při hermetickém uzavření se hmota vrací do tekutého stavu a vrstvu silikonu můžeme nanášet pouze do výšky 1 cm.[9]

Dvousložkové kondenzační silikony se oproti jednosložkovým mohou používat ve velkých vrstvách. Mohou se používat urychlovače vytvrzení a poměr katalyzátoru má určitou toleranci. Nevýhodu mají v tom, že pokud dojde k zahřátí v uzavřené nádobě, hmota se vrátí do tekutého stavu. Navíc mají velké limity smrštění.[9]

### Adiční silikony

Ke svému vytvrzení používají platinový katalyzátor. Během vytvrzování nevznikají žádné vedlejší produkty (zplodiny). Oproti kondenzačním silikonům mohou být vytvrzovány i při hermetickém uzavření. Stejně jako kondenzační silikony se dělí na jednosložkové a dvousložkové. Platinový katalyzátor se nemusí chránit před stykem s některými prvky či sloučeninami, jako je síra dusík nebo fosfor, protože nedochází k žádným negativním vlivům při vytvrzování hmoty. [9]

Jednosložkové adiční silikony není nutné při přípravě hmoty míchat, lze je použít v tenké i v silné vrstvě a mají dobrou mechanickou pevnost. Nevýhodou je, že při vytvrzování se musí používat vyšších teplot než pokojových, hůře dosahují spojení s jinými materiály. Mají omezenou dobu použitelnosti.[9]

Dvousložkové adiční silikony mohou být použity ve větších vrstvách, mohou být i hermeticky uzavřeny a málo se smršťují. Tuhnutí lze zrychlit zvýšením teploty. Při přípravě hmoty se musí dbát na přesném poměru smíchání. Hůře se pojí s jinými materiály.[9]

### 2.2.3 Materiály s vysokou tepelnou vodivostí

Jak již bylo řečeno, ke zvýšení tepelné vodivosti polymeru se přimíchávají plniče s vyšší  $\lambda$  než má samotný polymer. K tomuto účelu se plniče vybírají na základě tvaru a velikosti částic plniče, jeho možnosti nasycení plničem, schopností rozptylu v látce a jeho tepelné vnitřní rezistence. Nielsenův teoretický model předpokládá nejlepší vodivost, pokud nasycení dojde k 0,6, protože tehdy je poměr teplotních vodivostí směsi a polymeru v rozmezí 10 – 100. Po dosáhnutí nasycení 0,6 se poměr rychle zvyšuje nad 100, kdy směs jako taková neexistuje a je zde přítomna pouze keramika, což je velice křehký materiál a jako zalévací hmotu ji nelze použít. [3],[6],[7]

$$\frac{\lambda_c}{\lambda_p} = \frac{1 + AB\Phi}{1 - B\psi\Phi'} \quad (2.4)$$

$$B = \frac{\lambda_f / \lambda_p - 1}{\lambda_f / \lambda_p + A} \quad (2.5)$$

$$\psi = 1 + \left( \frac{1 - \Phi_m}{\Phi_m^2} \right) \cdot \Phi, \quad (2.6)$$

kde  $\lambda_c$  je tepelná vodivost směsi,  $\lambda_p$  je tepelná vodivost polymeru,  $\lambda_f$  je tepelná vodivost plniče,  $\Phi_m$  je max. nasycení plničem,  $\Phi$  je nasycení plničem,  $A$  je  $f$  (geometrie částic).[6]

### Princip přestupu tepla ve směsích s plniči

Polymerní směsi předávají teplo na bázi fononů neboli kvazičástic, tedy přenos tepla probíhá na základě elastických vibrací mřížky. Teplo se velice rychle přesouvá podél plničů s vysokou teplotní vodivostí, vzniká i teplotní rezistence z důvodu rozdílů fononového spektra polymeru a plniče. Tepelná vodivost směsi se určí právě termální rezistence a rozptylem částic plniče ve hmotě. Tepelná vodivost je dána vodivostními cestami, které vznikají dotyky mezi částicemi. Čím dokonalejší jsou vodivostní cesty, tím více roste tepelná vodivost  $\lambda$  a klesá tepelná rezistence. Také se snižuje vnitřní rezistence mezi plničem a polymerem.[7]

#### 2.2.3.1 Plniče

Při výběru plničů k určitému polymeru se hledají prvky nebo molekuly, které mají podobný tvar a velikost jako částice polymeru, aby měly i správný poměr, čili aby  $\lambda$  směsi a  $\lambda$  polymeru byly v poměru pod 100. Vysoká tepelná vodivost není nezbytná.[3],[6],[7]

Velikost částic také rozhoduje, očekávalo by se, že čím větší částice, tím lepší bude tepelná vodivost, protože větší částice lépe vyplní mřížku polymeru, tedy částice jsou si blíže a přechod tepla by měl být jednodušší. Nicméně na základě experimentů se zjistilo, že vyšších hodnot se dosáhne při použití drobnějších částic. Zatím není přesně zjištěno proč, ale hypotéza je taková, že malé částice jsou lepší pro tvorbu vodivých cest. Dále se řeší i orientace částic plniče. Při výrobě se také cílí na malé póry mezi plniči, toho se docílí působením vysokého tlaku za vysoké teploty.[7]

Z mikroskopického hlediska se lepší vodivosti dosáhne, pokud jsou částice plničů dobře orientovány podél mřížky polymeru.[7]

U zalévacích hmot se neřeší pouze teplotní vodivost materiálu, ale i jeho teplotní vodivost. Polymery mají velký koeficient tepl. roztažnosti, proto musíme najít plniče s malými tepl. koeficienty, aby se nám zalévací hmota působením tepla neroztekla nebo neroztavila. Zmenšování teplotní roztažnosti hmoty závisí na podílu nasycení, velikosti a tvaru částic, rozptylu částic plniče ve hmotě a dobrou adhezí (přilnavostí) mezi plničem a hmotou.[6],[7]

Dalším důležitým aspektem je odolnost proti elektrickému průrazu. Zvláště důležitý je u vysokonapěťových instalací. Závisí na podílu nasycení, velikosti a tvaru částic plniče, rozptylu částic ve hmotě, chemickému složení, povrchu hmoty a el. vlastnostem plniče. K průrazu dochází, pokud mají plnič a polymer rozdílné dielektrické konstanty ( $\epsilon$ ) nebo el. vodivosti mezi anorganickými a organickými hmotami. Čím větší rozdíl tím dochází intenzivnějšímu narušení el. pole a tím pádem i k průrazu a porušení izolace. Abychom docílili větší odolnosti proti průrazu, musíme vybírat plniče s podobnými el. vlastnostmi, jako má polymer.[6],[7]

### 2.2.3.2 Materiály používané jako plniče

Zde jsou uvedeny sloučeniny, které se používají jako plniče + jejich vlastnosti. (Celá tato kapitola je odcitovaná ze zdroje [7])

Oxidy:

$\text{Al}_2\text{O}_3$  –

$\text{SiO}_2$  – pro velmi vodivé komponenty, má malou dielektrickou konstantu

$\text{ZnO}$  – vysoká dielektrická konstanta, nesmí být použit ve vysokonapěťových izolacích

$\text{BeO}$  – protikorozivní, dobré izolační vlastnosti, vysoká tepelná vodivost, nevýhodou je vysoká toxicita a vysoká cena

Nitridy:

$\text{AlN}$  – vysoká vnitřní tepelná vodivost, malý koeficient tepelné roztažnosti, vysoká rezistivita, korozivní, vysoká dielektrická konstanta

$\text{BN}$  – používá se jako plnič pro velmi vodivé kompozity, vysoká tepelná vodivost  $\lambda$ , vysoká rezistivita, malá dielektrická konstanta, vysoká teplotní rezistence, malá hustota, může být amorfni nebo krystalický, zvyšuje odolnost proti průrazu, snižuje rostoucí relativní permitivitu

$\text{Si}_3\text{N}_4$  – malý koeficient tepelné roztažnosti, úpravou struktury se dá jeho  $\lambda$  zvýšit  
používá se jako plnič pro velmi vodivé kompozity a přimíchává se do PE, PS a pryskyřice

$\text{SiC}$  – má vysokou  $\lambda$ , velký dielektrický koef., používá se pro VN izolace, ve vinutí generátorů, snižuje dielektrickou pevnost

Oxid grafenu– hybridní karbon ( $\text{sp}^2$ ) – elektrický vodič, je nevhodný jako příměs do izolačních směsí, ale po zoxidování je dobrý izolant právě kvůli hybridizaci  $\text{sp}^2$ , velice vysoká vnitřní  $\lambda$ , za tepla se redukuje a tím vzrůstá jeho el. vodivost

Diamant – vysoká  $\lambda$ , nejvíce se používá v polovodičích, aby se nepřehřivaly, je zřídka používán kvůli ceně

$\text{BaTiO}_3$  – malá  $\lambda$ , velká dielektrická konst., většinou používán pouze na povrchu hmoty, ale i přesto dokáže zvýšit tepelnou vodivost o 300 % při 50vol% $\text{BaTiO}_3$

Tabulka 1: Tepelná vodivost a koef. teplotní roztažnosti pro různé materiály při pokojové teplotě [7]

Materiál	Tepelná vodivost [W/(mK)]	Koef. teplotní roztažnosti [ppm/°C]
Polyethylen s nízkou hustotou (LDPE)	0,33	180-400
Polyethylen s vysokou hustotou (HDPE)	0,45-0,52	106-198
Polypropylen (PP)	0,14	143
Polystyren (PS)	0,04-0,14	90-150
Polyethylentereftalát (PET)	0,29	117
Polymethylmethakrylát (PMMA)	0,15-0,25	90-162
Polytetrafluorethylen (PTFE)	0,25	126-216
Polyvinylchlorid (PVC)	0,12-0,17	90-180
Polyetherketonová vlákna (PEEK)	0,25	72-85
Polykarbonát (PC)	0,19	122
Polybutylentereftalát (PBT)	0,25	108-171
Epoxydová pryskyřice	0,17-0,21	81-117
Nylon 6,6	0,25	144
Nylon 1,1	0,36	184
Křemíková guma	0,17-0,26	270
Tavený oxid křemičitý	1,5-1,6	0,4-0,5
Krystalický oxid křemičitý	3	10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38-42	7
BeO	300	5,5
ZnO	60	2,0-3,0
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	86-120	2,7-3,1
BN	29-300	1,1-4,3
AlN	150-220	2,5-5
SiC	85	4,1-4,7
BaTiO <sub>3</sub>	6,2	6
Diamant	2000	0,11-1,23

## 2.3 Rešerše zalévacích hmot

V téhle kapitole jsou ukázky zalévacích hmoty a jejich parametrů, které nás nejvíce zajímají, z hlediska požadavků na zalévací hmoty. Kompletní data-sheety jsou uvedeny v přílohách.

Tabulka 2: Parametry hmoty HUNSTMAN CW2243 / HY2966[14] udávané výrobcem

Viskozita	4000 - 12000	mPas
Tepelná vodivost	0,8	W/mK
Dielektrická pevnost	15	kV/mm
Dielektrická konstanta	5,7	
Rezistivita	$10^{14}$	$\Omega$ cm

Tabulka 3: Parametry hmoty HUNTSMAN CW 5631 / HZ5610[15] udávané výrobcem

Viskozita	3400 - 5100	mPas
Tepelná vodivost	F	
Tepelná vodivost	0,6	W/mK
Dielektrická pevnost	29	kV/mm
Dielektrická konstanta	4,5	
Rezistivita	$7 \cdot 10^{14}$	$\Omega$ cm

Tabulka 4: Parametry hmoty DOLPHON CB-1128 udávané výrobcem

Viskozita		
Tepelná vodivost		
Dielektrická pevnost	660	V/mm*0,025
Rezistivita	$1,75 \cdot 10^{15}$	$\Omega$ cm

Tabulka 5: Parametry hmoty Egel3000[16] udávané výrobcem

Viskozita	630	MPas
Rezistivita	$2 \cdot 10^{15}$	$\Omega$ cm
dielektrická pevnost	> 18,5	kV/mm
Koef. Tepl. Roztažnosti	930	ppm/C

Tabulka 6: Parametry hmoty MC 54700 FR/W 5710 udávané výrobcem

Viskozita	6000 - 10000	mPas
Tepelná vodivost	0,85 - 0,95	W/mK
Dielektrická konstanta	4,5 - 5,5	
Rezistivita		
Dielektrická pevnost	19 - 21	kV/mm

### Zalévací hmota Ceramacast 675n

Zalévací hmota na bázi keramiky Ceramacast675n se vyznačuje velkou tepelnou vodivostí –  $\lambda$  100 W/mK. Její hlavní složkou je nitrid hliníku AlN. Ten je sice korozivní, ale má malý koeficient tepelné roztažnosti, vysokou tepelnou vodivost a velkou rezistivitu.[23]

Tato zalévací hmota je jednosložková, dodává se v prášku, míchá se s vodou a musí se nechat tuhnout minimálně 8 hodin při teplotě 22°C. Hmota je velice jemně zrnitá, takže se při zalévání předejde nechtěnému broušení součástek stroje.[23]

Tabulka 7: Parametry hmoty Ceramacast 675n[23]

Tepelná vodivost	100	W/m.K
Elektrická pevnost	1,8	kV/mm
Rezistivita	$10^{11}$	$\Omega$ .m
Maximální teplota	1200	°C
Hustota	3260	kg/m <sup>3</sup>

Tato hmota byla použita k zalití vinutí statoru axiálního motoru s permanentními magnety, aby určili tepelné chování stroje. Stroj navíc byl navíc chlazen i vodou s teplotou 18°C, která proudila 6,2 l/min. Voda spolu s hmotou jsou na statoru a vinutí, koef. přenosu tepla konvekcí je 480 W/m<sup>2</sup>.K.[22]

Byla vytvořena 3D simulace a měření teplot při provozu stroje se zalévací hmotou a bez ní. Chlazení vodou bylo v obou případech ponecháno. Rozdíl mezi vykalkulovanými a změřenými hodnotami byly 4–7 K. [22]

Tabulka 8: Výsledky simulace a měření[23]

Část stroje	Teplota [°C]			
	Bez zalévací hmoty – simulace	Bez zalévací hmoty – měření	Se zalévací hmotou – simulace	Se zalévací hmotou – měření
Koncové vinutí ve vzduchové mezeře	138	145	132	125
Koncové vinutí na konstrukci	138	138	132	125
Vinutí v drážkách	140	140	135	136

Z tabulky je vidět, že pokud byla použita i zalévací hmota, teplota ve vinutí se snížila o 4 až 20 °C. [23]

## 2.4 Teplotní třídy materiálů[4]

Dielektrický systém je nejcitlivější z hlediska působení teploty, protože způsobuje stárnutí izolace. Proto je základním měřítkem pro třídění izolantů. Z tohoto důvodu vznikly teplotní třídy, podle nichž je provedena klasifikace materiálů.

Elektroizolační materiál (EIM) – látka se zanedbatelně nízkou elektrickou vodivostí, nebo kombinace takových látek, používaná v elektrických zařízeních k oddělení vodivých částí s elektrickým potenciálem.

Elektroizolační systém (EIS) – izolační struktura obsahující jeden neb více elektroizolačních materiálů s přidruženými vodivými částmi-, použitá v elektrickém zařízení.

Relativní index teplotní odolnosti (RTE) – číselná hodnota teploty ve stupních Celsia, při níž má materiál po předpokládanou dobu svého života uspokojivé vlastnosti v porovnání se známým standardním materiálem.

Teplotní třídou je pak označení EIM/EIS, které je číselně rovno maximální teplotě použití ve stupních Celsia, pro kterou je EIM/EIS vhodný. V izolačním materiálu bývá použito více materiálů, přičemž třída jednoho materiálu jednoho z nich neznámá, že celý systém má stejnou třídu. Stejně jako teplotní třída systému nemusí odpovídat teplotní třídě použitého materiálu nejnižší teplotní odolnosti. Teplotní třída systému je výslednicí a průnikem tříd jednotlivých komponent systému.

Tabulka 9: Teplotní klasifikace izolantů[4]

Relativní index teplotní odolnosti RTE	Teplotní třída	Předchozí označení
< 90	70	
> 90-150	90	Y
> 105-120	105	A
> 120-130	120	E
> 130-155	130	B
> 155-180	155	F
> 180-200	180	H
> 200-220	200	
> 220-250	220	
> 250	250	

## 3 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

### 3.1 Metody zjišťování parametrů hmot

Pro elektrické stroje je potřeba správného výběru izolačních materiálů, aby bylo zajištěno jejich správné fungování a bezpečnost jejich provozu. Proto potřebujeme znát vlastnosti materiálu, který chceme použít. Proto provádíme diagnostiku daných materiálů. Používají se dva přístupy k diagnostikovanému objektu – fenomenologický a strukturální. Fenomenologický přístup se zaměřuje jen na reakce zkoumaného objektu na vstupní diagnostické signály. Feromagnetický je jednodušší a není náročný na obsluhu, ve většině případů nevyžaduje speciální aparatury. Strukturální oproti feromagnetickému navíc zkoumá děje v systému (struktuře), ale vyžaduje speciální aparatury. [4],[6]

Dále se vzorky dají testovat destruktivně nebo nedestruktivně. Destruktivní zkoušky mají velkou výpovědní hodnoty, ale velkou spotřebu materiálu, který je zkouškami znehodnocen. Při nedestruktivních zkouškách můžeme experimenty znovu opakovat.[4]

Metody, které používáme, musí splňovat určitou výpovědihodnost – vydatnost a ekvivalenci informace a také reprodukovatelnost hodnot, které můžeme opakovat, a které zaručují možné znovuzískání odpovídajících informací.[4]

#### 3.1.1 Standardní podmínky při diagnostice

Před vlastním měření je nutné odstranit nebo neutralizovat minulé vlivy vzhledem k teplotám a vlhkosti, kterým byl vzorek vystaven v minulosti. Nadále je potřeba provést kondicionování vzorku. To znamená, že daný vzorek vystavíme okolnímu prostředí se stanovenou vlhkostí či ponoření do kapaliny při stanovené teplotě na stanovenou dobu.[4]

Vlastní zkušební podmínky jsou dány teplotou, vlhkostí a atmosférickým tlakem. Jako standardní referenčním prostředím je dáno prostředí s teplotou 20 °C, vlhkostí 65 % a tlakem 1013 mbar.[4]

#### Požadavky na diagnostické aparatury:

Elektrodové systémy musí zajistit správný kontakt se vzorkem, nesmí ovlivňovat vlastnosti zkoušeného materiálu, korodovat ani vnášet chybu do měření. Elektrody musí mít vysokou vodivost. Doporučují se materiály s vodivým stříbrným nátěrem, kov nanesený nástřikem, ve vakuu napařený nebo naprášený kov, koloidní grafit, vodivá guma, kovová folie.[4]

Zkušební tělesa (vzorky pro měření) mohou mít jakýkoli tvar s tím, že musí být možno správně připojit elektrody. Při měření vnitřního odporu musí být průměr či délka měrné elektrody alespoň desetinásobek tloušťky zkušební tělesa.[4]

#### 3.1.2 Měření rezistivity[4]

Před samotným měřením je nutné uvést vzorek do dielektricky stabilního stavu – neutralizovat povrchový a vnitřní náboj, zkratování elektrod, měření zkratového proudu do ustáleného stavu. Proud se odečítá po sekundách, dále v 1, 2, 10, ..., 50, ..., 100 minutě, Pokud jsou 2 po sobě následující hodnoty stejné, tak se tento proud používá pro výpočet vnitřní rezistivity  $\rho_v$ .

$$\rho_v = R_x \cdot \frac{A}{h} = \frac{U_x}{(I_s - I_0)} \cdot \frac{A}{h}, \quad (3.1)$$

kde  $R_x$  je vnitřní odpor,  $A$  je plocha měrné elektrody,  $h$  je průměrná tloušťka tělesa,  $U_x$  je použité napětí,  $I_s$  je ustálený proud a  $I_0$  je konečná hodnota vybíjecího proudu.

Pro výpočet povrchového odporu platí rovnice (3.2)

$$\rho_p = R_x \cdot \frac{p}{g}, \quad (3.2)$$

kde  $\rho_p$  je povrchová rezistivita,  $R_x$  je povrchový odpor,  $p$  je efektivní obvod ochranné elektrody,  $g$  je vzdálenost mezi elektrodami.

### 3.1.3 Měření elektrické pevnosti[4]

U většiny materiálů záleží na délce přiloženého napětí a na jeho intenzitě. Elektrická pevnost obecně klesá s tloušťkou materiálu mezi elektrodami a dobou působení napětí. Elektrody pro měření musí být hladké, bez vad materiálu a čisté. Nesmějí způsobovat tlak na zkoušeném vzorku. Nesmějí jej nijak naklánět ani posouvat.

Zkoušky provádíme na vzduchu, jestliže se jedná o nízké hodnoty elektrické pevnosti. Častěji se provádí v transformátorovém oleji, aby se zabránilo přeskokům. Teplota kolem vzorku musí být dostatečně stabilní –  $\pm 2$  °C.

Při zkouškách stejnosměrným napětím nesmí být zvlnění zkušebního napětí větší než 2 %. Zdroj musí umožňovat volbu kladné nebo záporné polaritě zkušebního napětí. Omezovací proudový odpor musí být zapojen do série se vzorkem. Průraz zjišťujeme z rychlého vzrůstu proudu nebo proudem přesahujícím určitou stanovenou hodnotu.

Zkoušky střídavým napětím provádíme s vysokonapěťovým transformátorem jako zdroj. Je napájen proměnlivým sinusovým napětím nízkonapěťového zdroje. Regulace napětí musí být dostatečně jemná. Zdroj musí být vybaven vypínacím zařízením a ochranou pro rázové vlně při průrazu vzorku. Celková chyba měření nesmí překročit 5 % měřené hodnoty včetně chyby odezvy voltmetru.

### 3.1.4 Měření tepelné vodivosti

Měření tepelné vodivosti provádíme nejčastěji na vzorku válcovitého tvaru o daném poloměru  $r$  a délce, která je stejná jako délka elektrody. Do válce je udělána díra, která odpovídá rozměrům použité elektrody. Elektroda se vloží do vzorku, připojí se stejnosměrné napětí a dochází k zahřívání vzorku. Vzorek musí být ve svislé poloze, aby nedošlo k ovlivňování zahřívání.

Na elektrodu připojíme jeden termočlánek a druhý na povrch vzorku, abychom měřili rozdíly jejich teplot. Musíme ale počkat, dokud se teploty neustálí, to znamená, že teplota se po dobu 5 min nezmění více jak o 1 °C. Rozdíl teplot a rozměry vzorku jsou hlavní pro stanovení tepelné vodivosti. Odvození pro výpočet tepelné vodivosti  $\lambda$  je v rovnicích (3.3)

$$q = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dr} = -\lambda \cdot 2\pi r \cdot L \frac{dT}{dr}, \quad (3.3)$$

$$q = \lambda \cdot 2\pi \cdot L \cdot \frac{\Delta T}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3.4)$$

$$\frac{\Delta T}{q} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda \cdot 2\pi \cdot L'} \quad (3.5)$$

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda \cdot 2\pi \cdot L'} \quad (3.6)$$

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L'} \quad (3.7)$$

kde  $q$  je měrná tepelná kapacita,  $S$  je plocha vzorku,  $r_1$  a  $r_2$  jsou vnitřní a vnější poloměry,  $L$  je délka,  $\Delta T$  je rozdíl teplot,  $P$  je příkon a  $\lambda$  je zjišťovaná tepelná vodivost.

### 3.2 Zjišťování tepelné vodivosti „šedého“<sup>1</sup> vzorku

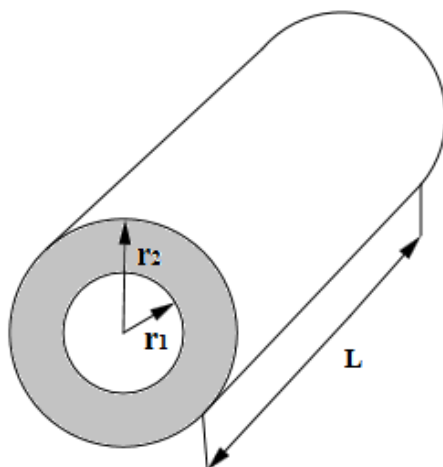
Jak již bylo řečeno, při zjišťování tepelné vodivosti materiálu používáme elektrody o poloměru  $r_1$ , které nám budou zahřívat daný vzorek. U daného vzorku jsme neznali žádné jeho parametry kromě rozměrů. Zkoušený vzorek měl tvar válce (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

Do daného vzorku jsme vložily válcovité elektrody, kterými jsme danou hmotu zahřívali. Ze stejnosměrného zdroje DC – Manson SDP2405 jsme pouštěli do vzorku příkon  $P = 10,27 \text{ W}$ . Pro měření teploty jsme použili termočláanky typu  $k$ . Jeden se připojil na vnitřek válce (v podstatě byl na povrchu elektrody), který měřil teplotu  $T_1$ , a druhý na povrch hmoty, který měřil teplotu  $T_2$ . Oba konce soustavy (vzorek + elektrody) jsme navíc odizolovali polystyrenem, aby nic neovlivňovalo rovnoměrné oteplování hmoty.

Při samotném měření jsme nejprve museli počkat na ustálený stav oteplení vzorku. Tento stav nastává, pokud se teplota zvyšuje jen o  $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$  po dobu cca 5 min. Ke stanovení tepelné vodivosti  $\lambda$  se počítá s rozdílem teplot  $T_1 - T_2 = \Delta T$ , dále je potřeba znát rozměry zahřívaného vzorku a hodnotu příkonu  $P$ .

---

<sup>1</sup> Vzorek byl zapůjčen panem doc. Radkem Vlachem, ale nepodařilo se nám dohledat dokumentaci ke zkoumanému vzorku. Proto pouze pracovní název: Vzorek „šedý“.



Obr. 6: Zkušební těleso pro zjištění tepelné vodivosti

### Vlastní výpočet:

Tabulka 10: Naměřené hodnoty:

r1 [mm]	17.5
r2 [mm]	4
L [mm]	100
P [W]	10.27
T1 [°C]	108.2
T2 [°C]	76.7
$\Delta T$ [°C]	31.5

Výpočet tepelné vodivosti podle rovnice (3.7)

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L} = \frac{\ln \frac{35 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-3}} \cdot 10,27}{31,5 \cdot 2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 0,766 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelná vodivost daného vzorku vyšla  $0,766 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tato hodnota je obvyklá u zalévacích hmot, jejich hodnoty se v průměru pohybují od  $0,6$  až do  $0,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### 3.3 Zalévací hmota „bílá“

Tato hmota byla rovněž zapůjčena docentem Vlachem. Nevíme, o jaký druh zalévací hmoty se jedná a neznáme ani její parametry. Postup a použité přístroje jsou stejné, jako u „šedého“ vzorku v kapitole 3.2. Tepelná vodivost této hmoty vyšla 0,48 W/m.K, tato hodnota je poněkud menší, oproti „šedému“ vzorku a celkově hmotám, které se objevují na trhu. Protože neznáme hodnotu tepelné vodivosti od výrobce, je těžké říct, jestli je tato hodnota správná. Lze pouze předpokládat, že jsme postupovali správně a nedopustili jsme se nějakých vážných chyb měření, tedy i námi naměřená hodnota  $\lambda$  je správná. Parametry a výpočet tepelné vodivosti je v textu níže.

Parametry „bílého“ vzorku	
r1 [mm]	8
r2 [mm]	35
L [cm]	10
P [W]	10,06
T1 [°C]	127,4
T2 [°C]	78,9
$\Delta T$ [°C]	48,4

*Výpočet tepelné vodivosti podle rovnice (3.7)*

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L} = \frac{\ln \frac{35 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^{-3}} \cdot 10,06}{48,4 \cdot 2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 0,48 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Dále v práci budeme zkoumat tepelné vodivosti konkrétních zalévacích hmot, k nimž máme i údaje od výrobce. Měření bude probíhat stejně i se stejnými přístroji jako u vzorku „šedého“ a „bílého“. Jen s rozdílem, že si hmoty sami smícháme a odlijeme do připravených forem ve tvaru válce. Použité přístroje jsou stejné, jako u předchozích měření.

### 3.4 Hmota PX439XS – Robnor

Jde o epoxidovou tuhoun hmotu černé barvy, již výrobce popisuje jako velice odolnou hmotu proti působení tepla a elektrickému průrazu, má vysoké izolační vlastnosti. Používá se k zalití desek plošných spojů a materiálů, u kterých může dojít k velkému nárůstu teplot během provozu zařízení. Výrobce dále uvádí, že hmota je odolná vůči chemickému působení prostředí, je netoxická, neobsahuje halogeny ani těžké kovy, při tuhnutí se jen málo srazí.[19]

Hmota se dodává v sáčku spolu s tvrdidlem, už v předem nachystaném poměru. Tvrdidlo a samotnou hmotu odděluje malá přepážka, která se před mícháním odstraní. Samotné míchání probíhá v sáčku, ve kterém je hmota dodávána, dokud se tvrdidlo zcela nespojí s hmotou. Doba tvrdnutí hmoty je 36 hodin při 25 °C. Po vytvrdnutí je hmota tvrdá, nijak se neohýbá.[19]

Při aplikaci hmoty je nutné dávat pozor, protože při kontaktu s kůží nebo při v dechnutí může způsobit poleptání.[19]

Tabulka 11: Hodnoty udávané výrobcem:

Tepelná vodivost	1,3 W/m.K
Rozsah teplot	-40 až +200 °C
Dielektrická pevnost	20 kV/mm

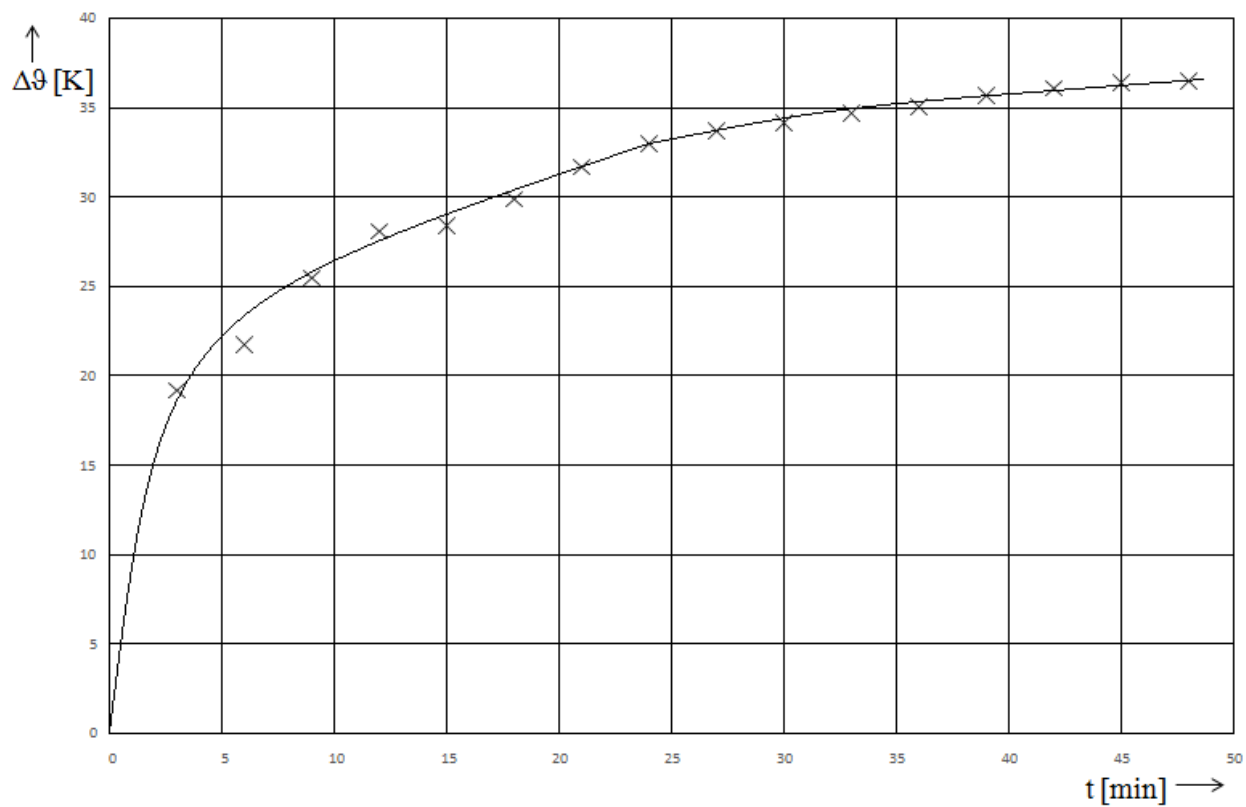
Hmota byla odlita do formy, kde po vytvrdnutí měla parametry v níže uvedené tabulce. Pro další hmoty byly formy stejné, jejich rozměry jsou uvedeny v tabulkách u každé hmoty.

Naměřené parametry PX439XS	
r1 [mm]	4
r2 [mm]	16,75
L [cm]	10,4
P [W]	10,06
T1 [°C]	126,9
T2 [°C]	90,4
ΔT [°C]	36,5

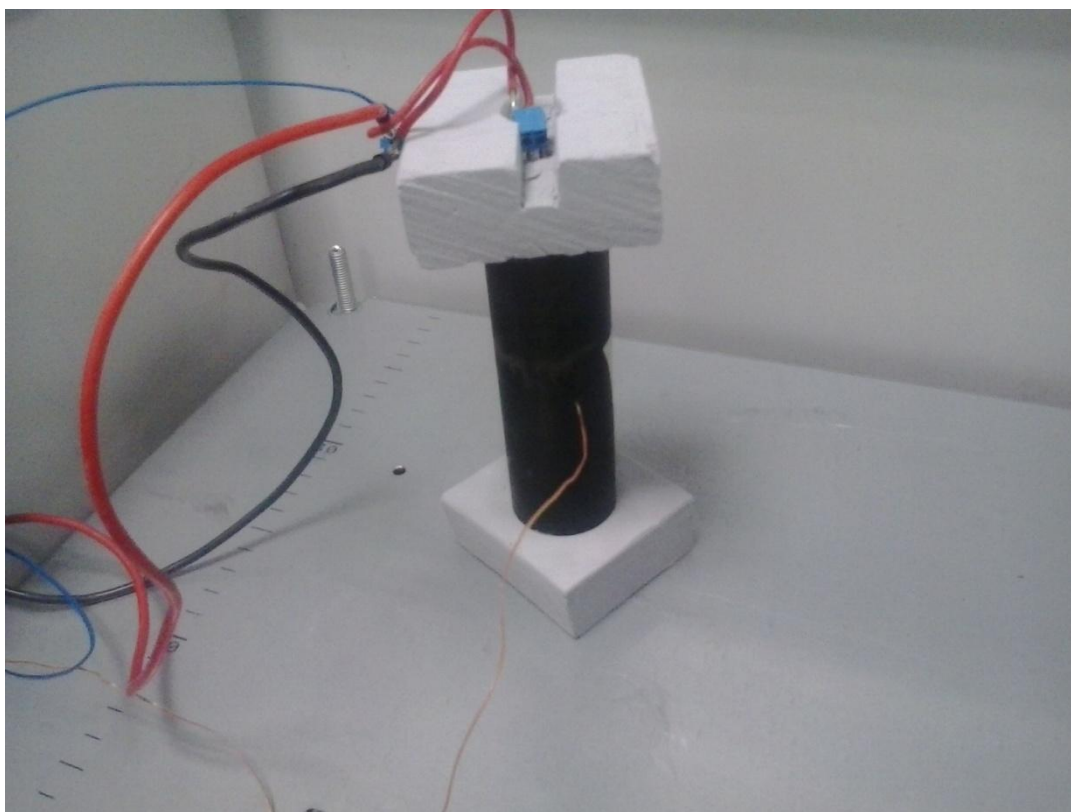
Výpočet tepelné vodivosti podle rovnice (3.7)

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L} = \frac{\ln \frac{16,75 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 10,06}{36,5 \cdot 2\pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-2}} = 0,604 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Vypočtená hodnota z měření hmoty se liší od hodnoty udávané výrobcem. Tato změřená hodnota je menší o polovinu než jak ji uvádí výrobce. Při měření mohly nastat chyby měření, například teplotní čidlo nemuselo dokonale přiléhat na měřený povrch. Při vylévání hmoty do formy a následném tvrdnutí, se mohly vytvořit menší bubliny ve hmotě a tím by mohla být narušena její celistvost. Ale zmenšení tepelné vodivosti až na polovinu je nepravděpodobné.



Obrázek 7: Oteplovací charakteristika hmoty PX 439 XS



Obrázek 8: Měření hmoty PX 439 XS

### 3.5 Hmota SC2003 – Electrolube

Dvousložková silikonová hmota, tixotropická<sup>2</sup> zalévací a zapouzdřovací hmota pro ochranu zařízení, je vysoce odolná proti působení tepla, vydrží teploty do 200°C. Má vysokou tepelnou vodivost, proto je vhodná k zalití komponent, které jsou náchylné k naakumulovanému tepla. Je odolná proti chemickému působení prostředí a je voděodolná. Protože jde o tixotropickou hmotu, je vhodná k aplikaci na systémy, které potřebují vysokou viskozitu.[17]

Hmota má jednoduchý poměr hmoty ku tvrdidlu – 1:1. Samotná hmota je černá a tvrdidlo je bílé. Po smíchání těchto složek je výsledná hmota šedá. Tvrzení pobíhá 24 hodin při teplotě 23°C. Výrobce hmotu opět dodávána v sáčku, kde je silikon oddělen od tvrdidla přepážkou (klipem), který po uvolnění umožňuje smíchání obou složek, které probíhá v sáčku. Po vytvrzení je hmota celkem pružná oproti epoxidovým hmotám, které nevykazují žádnou pružnost.[17]

Tabulka 12: Hodnoty udávané výrobcem:

Tepelná vodivost	0,8 W/Mk
Rozsah teplot	-60 až +200 °C
Dielektrická pevnost	20 kV/mm

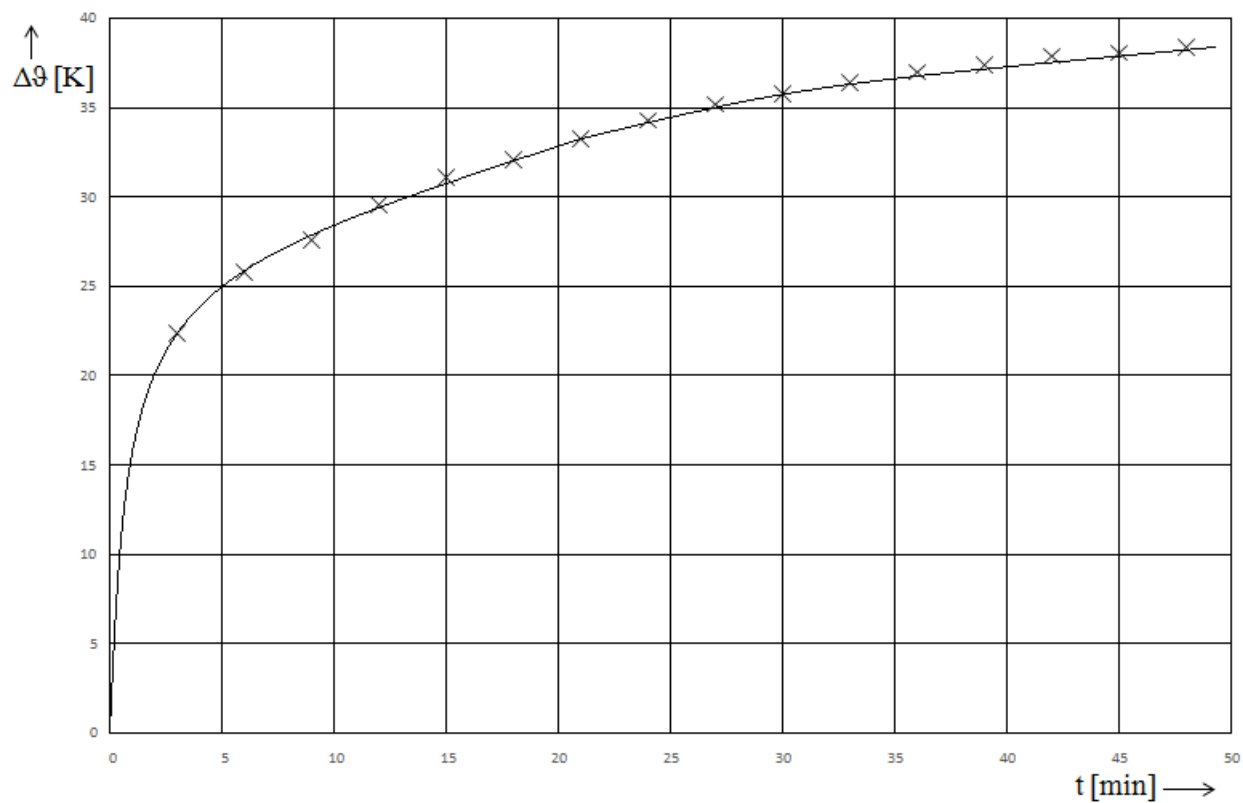
Parametry SC2003	
r1 [mm]	4
r2 [mm]	16,75
L [cm]	10,4
P [W]	10,02
T1 [°C]	127,3
T2 [°C]	88,8
ΔT [°C]	38,5

Výpočet tepelné vodivosti podle rovnice (3.7)

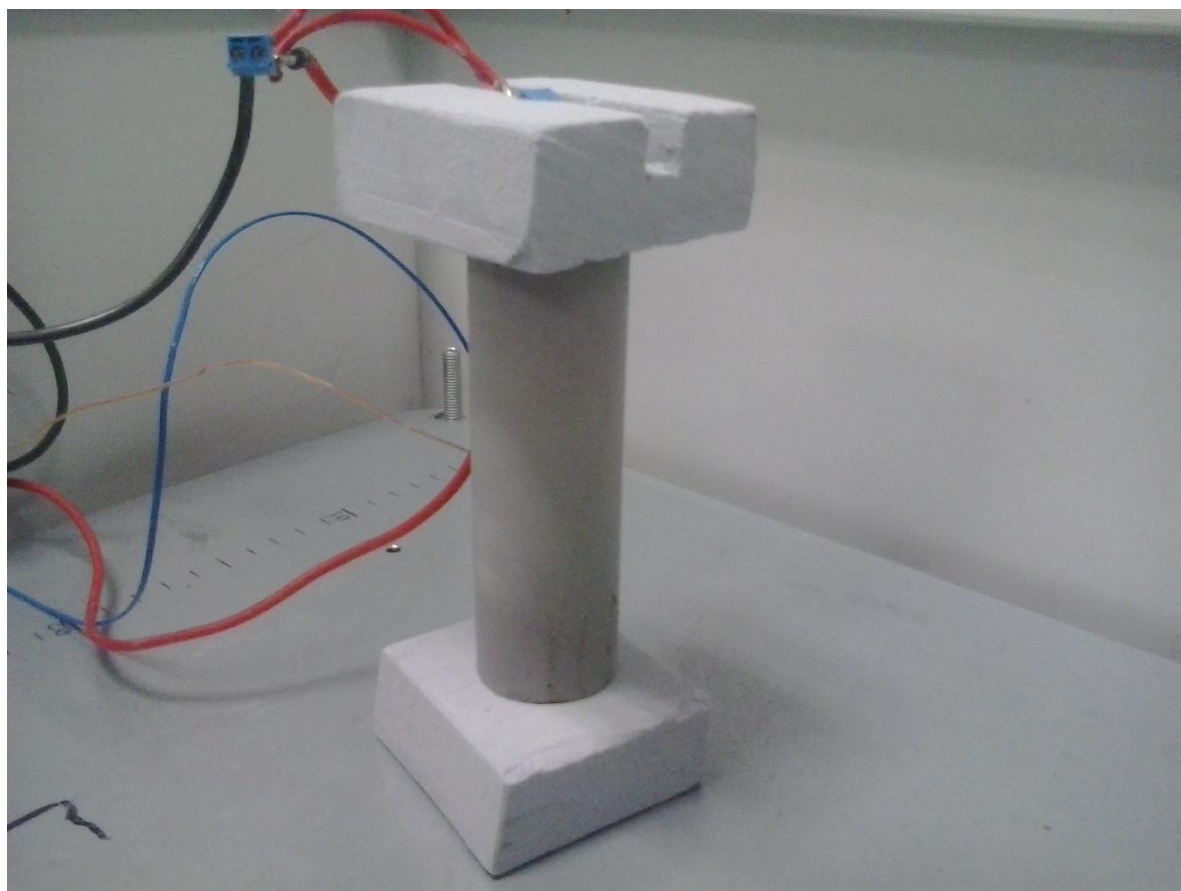
$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L} = \frac{\ln \frac{16,75 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 10,02}{38,5 \cdot 2\pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-2}} = 0,57 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

I u této hmoty vyšla tepelná vodivost menší, než jak ji uvádí výrobce a to o 0,23 W/m.K, tedy přibližně o třetinu. Opět mohlo dojít k chybám měření, nebo špatnému vylití hmoty, či nějakému jejímu poškození, když se s ní manipulovalo. Ale vzhledem k tomu, že jsme při míchání postupovali podle pokynů výrobce a odlévali jsme co nejopatrněji, je hodnota  $\lambda = 0,57$  W/m.K velmi malá.

<sup>2</sup> Tixotropie je vlastnost některých koloidních látek (velikost částic je od 1 nm po 1000 nm, jsou schopny tvořit gely) přecházet za nezměněné teploty třepáním, ultrazvukem, zářením apod. z pevného stavu do kapalného a zpět.



Obrázek 9: Oteplovací charakteristika hmoty SC 2003



Obrázek 10: Měření hmoty SC 2003

### 3.6 Hmota ER 2074 – Electrolube

Dvousložková epoxidová hmota s vysokou tepelnou vodivostí. Je ohnivzdorná, výrobce ale uvádí, že při styku s plamenem je možné očekávat relativně málo toxické výpary a pouze trochu uvolněného kouře. Hmoty je dále odolná proti chemickému působení prostředí a vodě. Neobsahuje žádná abrazivní plnidla, nedochází k nechtěnému obrušování při zalévání zařízení.[18]

Hmota je opět dodávána v sáčku, kde tvrdidlo a epoxid jsou od sebe odděleny přepážkou. V sáčku je již připraveno potřebné množství tvrdidla a hmoty v určeném poměru. Samotná hmota je bílá a tvrdidlo je průhledné nažloutlé barvy. Doba tvrdnutí je 24 hodin při 23°C.[18]

Tabulka 13: Hodnoty udávané výrobcem:

Tepelná vodivost	1,26 W/m.K
Rozsah teplot	-40 až +130 °C
Dielektrická pevnost	10 kV/mm

Tabulka 14: Naměřené hodnoty:

Parametry ER 2074	
r1 [mm]	4
r2 [mm]	16,75
L [cm]	10,4
P [W]	10,06
T1 [°C]	124,7
T2 [°C]	88,5
ΔT [°C]	36,2

Výpočet tepelné vodivosti podle rovnice (3.7)

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L} = \frac{\ln \frac{16,75 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 10,06}{36,2 \cdot 2\pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-2}} = 0,606 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Protože se naměřené hodnoty opět neshodovaly s hodnotami udávanými výrobcem, rozhodli jsme se odlít hmotu ER 2074 ještě jednou pro ověření, jestli jsme někde neudělali nějakou velkou chybu při míchání, odlévání nebo měření, protože naměřené hodnoty tepelné vodivosti jsou o polovinu menší, než které najdeme v data-sheetu. Bohužel tenhle problém nastal u všech měřených hmot, kde jsme znaly parametry udávané výrobcem.

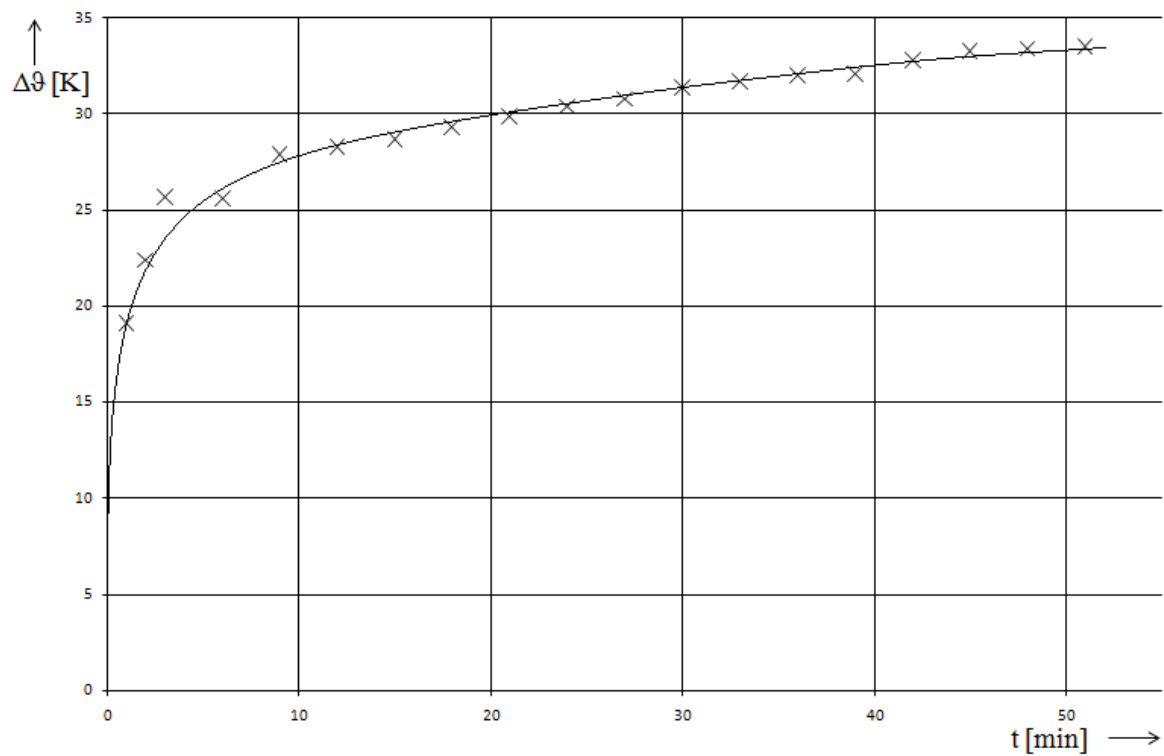
Parametry ER 2074 (druhý odlitek)	
r1 [mm]	4
r2 [mm]	16,75
L [cm]	10,4
P [W]	10,06
T1 [°C]	122,1
T2 [°C]	88,6
ΔT [°C]	33,5

Výpočet tepelné vodivosti podle rovnice (3.7)

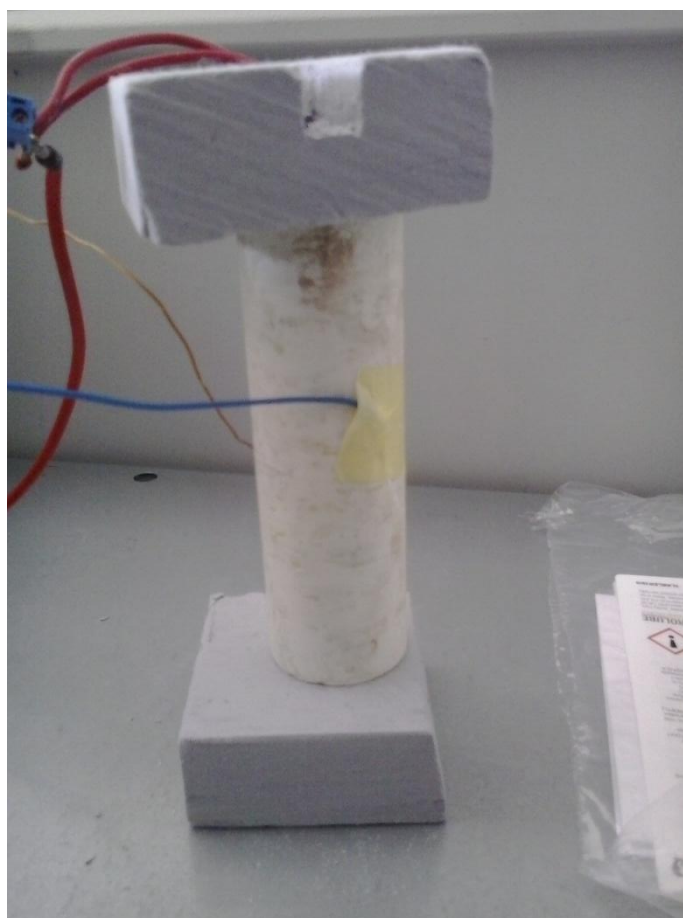
$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot P}{\Delta T \cdot 2\pi \cdot L} = \frac{\ln \frac{16,75 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 10,06}{33,5 \cdot 2\pi \cdot 10,4 \cdot 10^{-2}} = 0,65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Jak je vidět, hodnota  $\lambda$  vyšla 0,65 W/m.K, to není tolik výrazná změna oproti minulému výsledku. Při míchání jsme dodržovali postup udávaný výrobcem, při vylití jsme se snažili eliminovat tvorbu bublinek v hmotě skleпáváním hmoty ve formě. Tepelný článek, který měřil vnitřní hodnotu T1, byl vsunut mezi zahřívací elektrodu a hmotu, jak nejtěsněji to šlo a pro připevnění druhého článku jsme použili navíc teplovodivou pastu. Nicméně tepelná vodivost druhého odlitku je opět o polovinu menší, než jakou najdeme v dokumentaci.

V ní se ale nedozvíme žádný popis tvrdila, které se používá ke smíchání s hmotou. Samotný epoxid má tepelnou vodivost do 0,21 W/m.K, jak je uvedeno v Tabulka 1. Navíc výrobce neudává, že by použil nějaké plniče pro zvýšení tepelné vodivosti. Z toho, co se dočteme v dokumentaci a z toho, co jsme změřili, je hodnota  $\lambda_{\text{ER 2074}}=1,26 \text{ W/m.K}$  značně nadsazená.



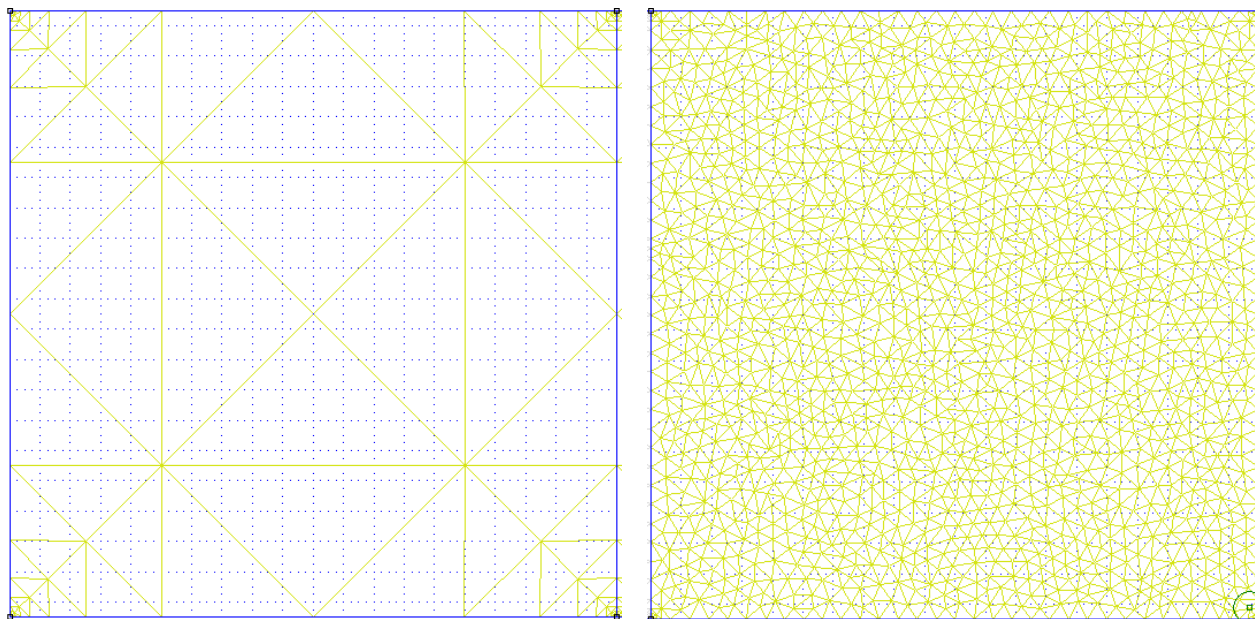
Obrázek 11: Oteplovací charakteristika hmoty ER 2074 (druhý odlitek)



Obrázek 12: Měření hmoty ER 2074

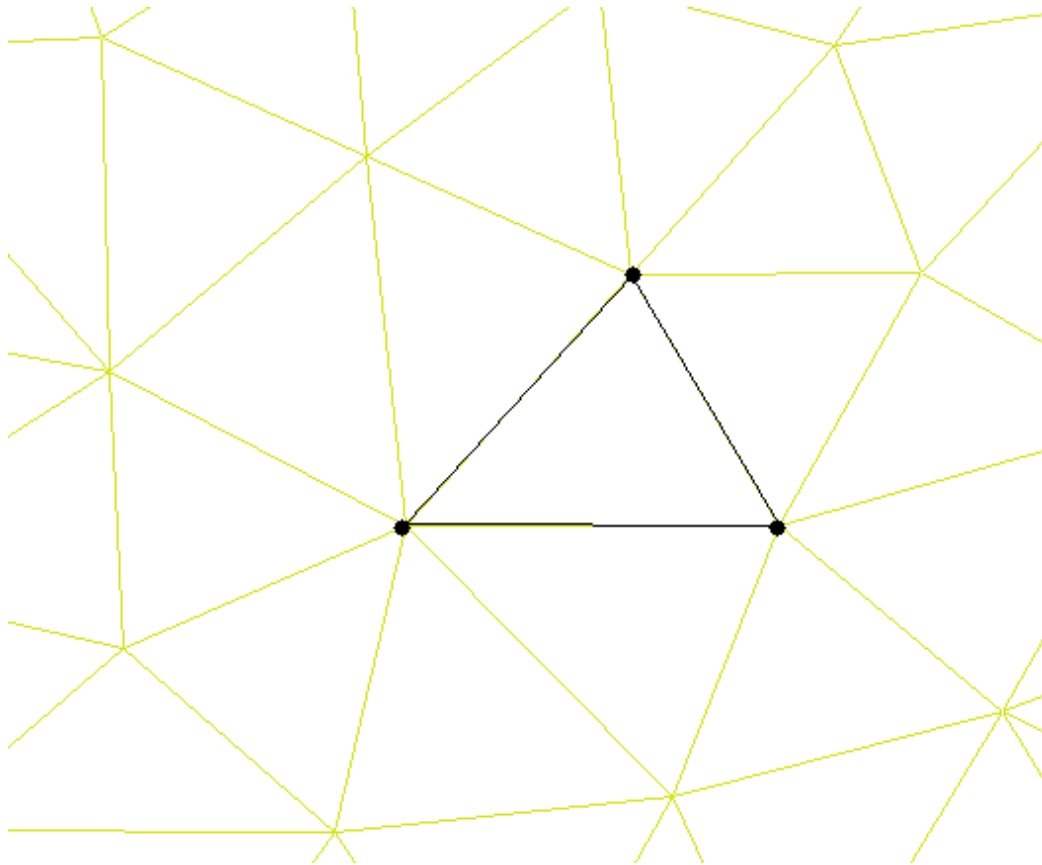
### 3.7 FEMM

Program FEMM se používá k řešení elektromagnetických, nízkofrekvenčních úloh popsanych diferenciálními rovnicemi. K tomu je zapotřebí dvourozměrného modelu, který je řešen metodou konečných prvků. Tato metoda se vyvinula koncem padesátých let k řešení úloh z pružnosti a pevnosti v leteckém průmyslu. Poté se rozšířila do oblasti strojírenství, stavebnictví a elektrotechnice. Zavádějí se oblasti, kde se počítá pole, uzly a uzlové potenciály. Uzly mohou být rozloženy nerovnoměrně, tím pádem mohou počítat i s hraničními plochami. Pro přesnější výsledky se zavádí větší hustota sítě, např. u prvků, kde očekáváme prudkou změnu pole.[21]



Obrázek 13: Ukázka hustoty sítě pro výpočet

Vytvořením sítě, program vlastně sestaví soustavu rovnic pro neznámé uzlové hodnoty. Koeficienty matice soustavy a pravých stran se nepočítají z diferencií, ale jako integrály přes elementární plošky nebo objemy, v jejich vrcholech jsou uzly. Tyto elementární útvary jsou nazývány konečné prvky.[21]



Obrázek 14: Konečný prvek (trojúhelník) a uzly

Metoda konečných prvků se sestává z těchto kroků:[21]

1. vygenerování sítě s uzly,
2. aproximace potenciálu na jednotlivých prvcích z uzlových hodnot,
3. dosazení zvolené aproximace do diferenciální rovnice nebo jejího ekvivalentu a sestavení soustavy rovnic pro neznámé uzlové hodnoty,
4. vyřešení soustavy rovnic
5. výpočet dalších (dodatečných) veličin a zobrazení výsledků.

Metoda konečných prvků je založena na myšlence využít co nejnižší stupeň aproximačního polynomu. Tato metoda nevyužívá aproximaci polynomů vyšších řádů na dlouhém intervalu, ale na mnoha malých lineárních intervalech nebo nejvýše kvadratickou aproximací, protože tuhle rovnici 2. řádu jde přes metodu per partes snížit o jeden řád.[21]

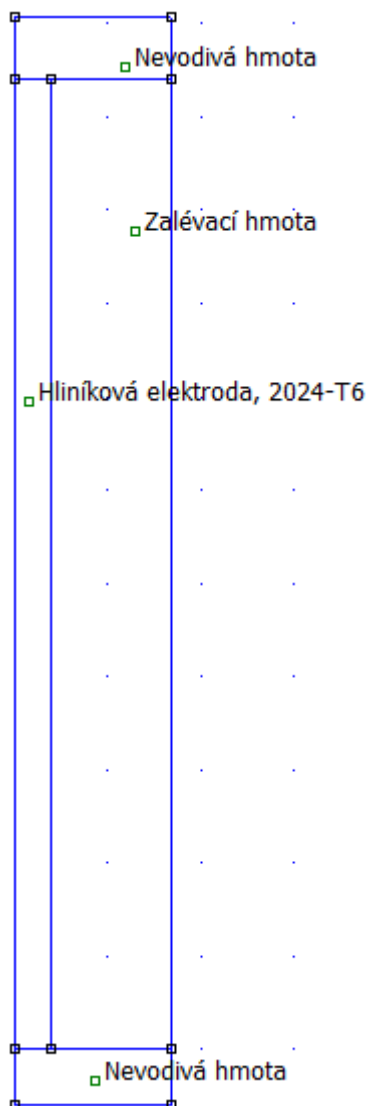
Tento program řeší 2D a axisymetrické magnetické, elektrostatické, tepelné a proudové problémy s grafickým vyhodnocením. FEMM nemá žádnou technickou podporu. Existuje pouze nezávislá skupina <http://groups.yahoo.com/group/femm/>, která řeší otázky vztažené k programu FEMM.[20]

FEMM je schopen interagovat s programy Octave, Matlab, Scilab a Mathematica. U Matlabu stačí přidat data z femu jako mfile při použití příkazu *pathool*. Pro program Octave je třeba při instalaci vybrat interakci FEMMu s Octave. SciFEMM interface je automaticky zahrnut, jen je důležité, aby oba programy měli stejné bitové verze. [20]


Program je volně dostupný ke stažení a používání. Licence programu FEMM podléhá Aladdin Free Public License. Generátor trojúhelníkové sítě a skriptovací jazyk Lua zase podléhají svým vlastním licenčním podmínkám.[20]


### 3.7.1 Geometrie prvku


Ve FEMMu jsme si připravili axisymetrický model, pro simulaci přestupu tepla ve hmotě. Model se sestával z elektrody, která zahřívala zalévací hmotu, ze samotné hmoty a dvou azbestových čtverců, které měli zabránit unikání tepla do okolí.



Při spuštění FEMMU jsme zvolili řešit *Heat Flow Problem*. Dále jsme v záložce *Problem* zvolili typ problému *Axisymmetric* a nastavili jsme jednotky milimetry. Ostatní hodnoty jsme nechali stejné, jaké nabízí program.

Pro samotné kreslení musíme kliknout na ikonu bodu , poté pomocí tabulátoru zadávat hodnoty bodů podle rozměrů, jaké jsme měli při měření v laboratoři.

Tyto body se musí propojit pomocí funkce čára , po propojení nám vznikne model, který je vidět na Obrázek 15. Pro určení, jaký bude materiál, v jakém objektu se musí zvolit

funkce . Pro přiřazení daného materiálu, dále na vzniklý bod klikneme pravým tlačítkem myši, zmáčkneme mezerník a přiřadíme danému objektu daný materiál, jak je vidět na obrázku modelu.

Aby nám simulace fungovala, je třeba nastavit i hraniční podmínky. Na vnější straně obou azbestů je nastavena *Konstantní teplota*. Na vnější straně zalévací hmoty je dána podmínka *Konvekce*. U elektrody je na hraně, která ohřívá zalévací hmotu nastaven pouze výkon.

Bližší popis materiálů a hraničních podmínek je uveden v další kapitole.

Obrázek 15: Model pro simulaci přestupu tepla ve hmotě

### 3.7.2 Definice materiálů a hraničních podmínek

Pro nadefinování materiálů musíme kliknout na záložku *Properties* a dále *Materials*. Zobrazí se nám tabulka, kde vybereme *Add Property*:



1. Nadefinování materiálu Nevodivá hmota:  
V kolonce *T-k Curve* jsme zvolili *Constant Thermal Conductivity* a nastavili jsme tepelnou vodivost 0,11 W/m.K pro *Kr i Kz*.
2. Nadefinování materiálu Hliníková elektroda, 2024-T6:  
U kolonky *T-k Curve* jsme tentokrát nastavili *Thermal Conductivity Depends on Temperature* a nastavili jsme tepelnou kapacitu na 3 MJ/m<sup>3</sup>.K.
3. Nastavení materiálu zalévací hmoty:  
Pro nastavení zalévacích hmot zvolíme v kolonce *T-k Curve* *Constant Thermal Conductivity*.  
Pro každou hmotu nastavíme takovou tepelnou vodivost, jaká nám vyšla při měření.  
PX 439 XS – 0,604 W/m.K  
ER 2074 – 0,65 W/m.K  
SC2003 – 0,57 W/m.K

Dále potřebujeme nadefinovat okrajové podmínky. Ty najdeme v záložce *Properties*, klikneme na *Boundary*. Pro vytvoření nové okrajové podmínky klikneme na *Add Property*:

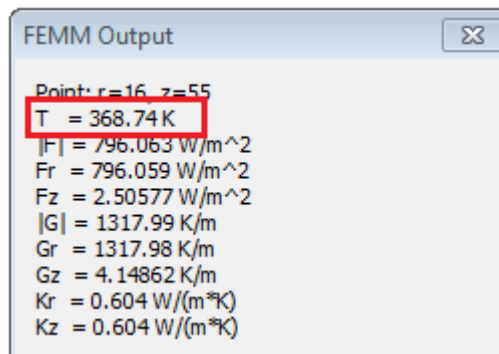
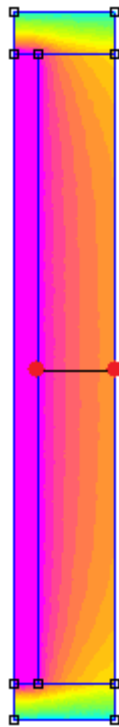
1. Nadefinování Konstantní teploty:  
V kolonce *BC Type* nastavíme *Fixed Temperature* a v okýnku *Fixed Temperature* nastavíme 293 K (20°C) – teplota v laboratoři při měření.
2. Nastavení Konvekce:  
U *BC Type* zvolíme *Convection* a nastavíme součinitel přestupu tepla  $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  a teplotu  $T_0 = 293 \text{ K}$ .

Protože nám v elektrodě teče proud, potřebujeme nastavit výkon, který nám zahříval měřenou hmotu. To vytvoříme opět přes záložku *Properties*, zvolíme *Conductor*, klikneme na *Add Property*, zaškrtneme *Total Heat Flow*, kde nastavíme 10 W, stejná hodnota s jakou jsme prováděli měření.

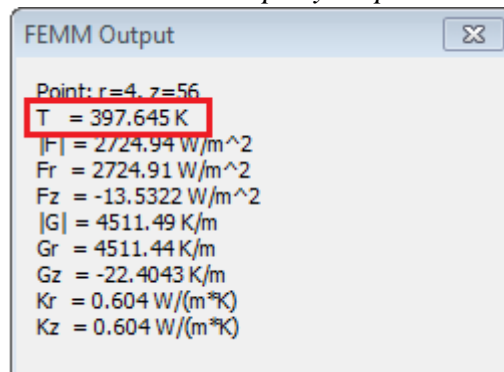
### 3.7.3 Výsledky

Pokud máme nadefinovány materiály, hraniční podmínky a výkon v elektrodě, musíme soubor nejprve uložit. Poté můžeme provést samotný výpočet pomocí ikony klička . Proběhne výpočet a výsledky si zobrazíme přes ikonu brýle . Otevře se nám nové okno, kde je možné vidět rozložení tepla v modelu. Když se klikne levým tlačítkem na určité místo, program ukáže, jaká je teplota v tom daném bodě. Pro naše zkoumání jsme volili 2 body, jeden uprostřed na hraně elektrody a druhý opět uprostřed na vnější straně zalévací hmoty. Tyto 2 body jsou názorně ukázány na *Obrázek 18*.

## 3.7.3.1 PX 439XS – Robnor



Obrázek 16: Hodnota teploty na povrchu hmoty



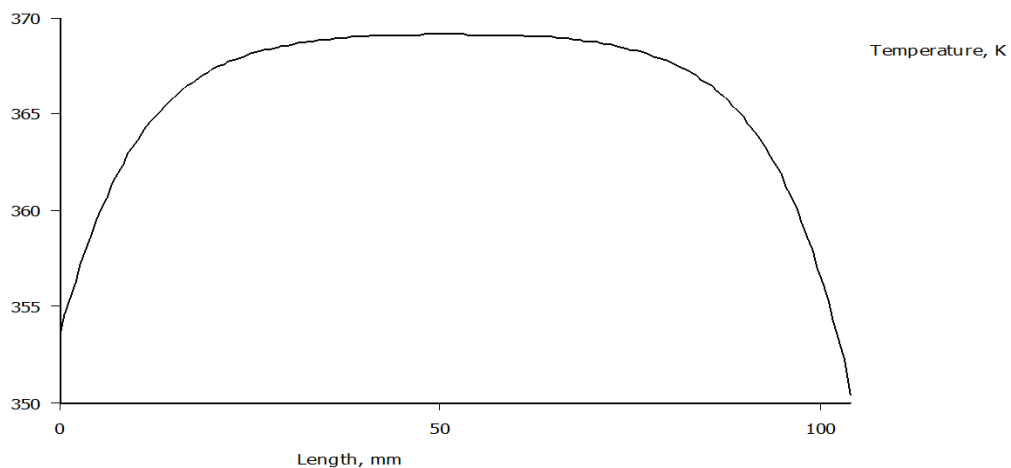
Obrázek 17: Hodnoty teploty na elektrodě

Obrázek 18: Rozložení tepla ve hmotě PX 439 XS

Jak je vidět, největší teplo se ve hmotě rozkládá ve vnitřní straně u elektrody. Teplota zde dosahuje 397,645 K, to se rovná 124,495 °C. Teplota na vnější straně zalévací hmoty je 368,74 K, tedy 95 °C. Tyto hodnoty se příliš neliší od naměřených hodnot. Teplota vnitřku zalévací hmoty byla 126,9 °C a na vnějšku 90,4 °C.

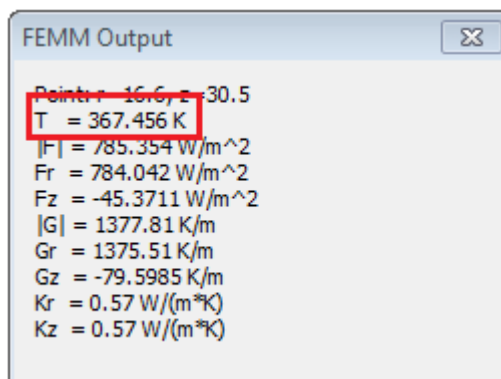
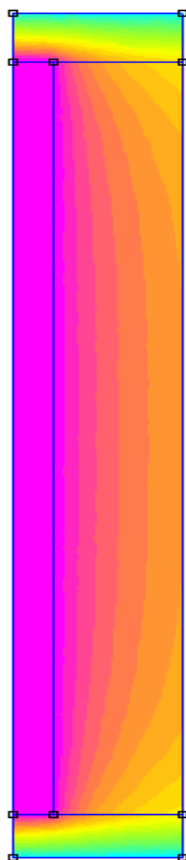
Tyto rozdíly v teplotách mohou být způsobeny tím, že v programu lze na jednu část modelu nastavit jen jedna okrajová podmínka, u nás to byla Konvekce, ale je třeba uvážit i přestup tepla sáláním do okolí, která nám v tomhle i v dalších případech chyběla.

Dále je vidět, že teplota na vnější straně hmoty není konstantní v celé délce. U konců je chladnější, ale uprostřed je teplota největší. Na grafu níže lze vidět rozložení teploty, na vnější straně zalévací hmoty PX 439 XS.

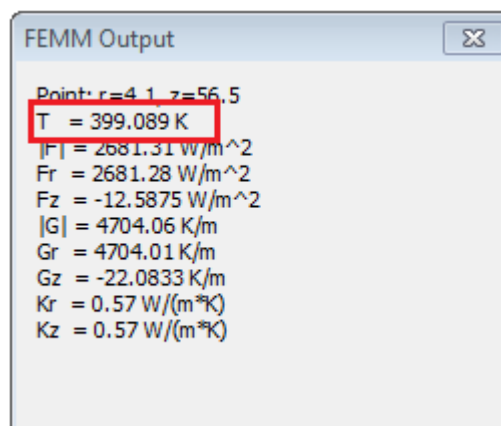


Obrázek 19: Rozložení teploty na vnější straně zalévací hmoty

## 3.7.3.2 SC 2003 – Electrolube



Obrázek 20: Teplota na povrchu hmoty

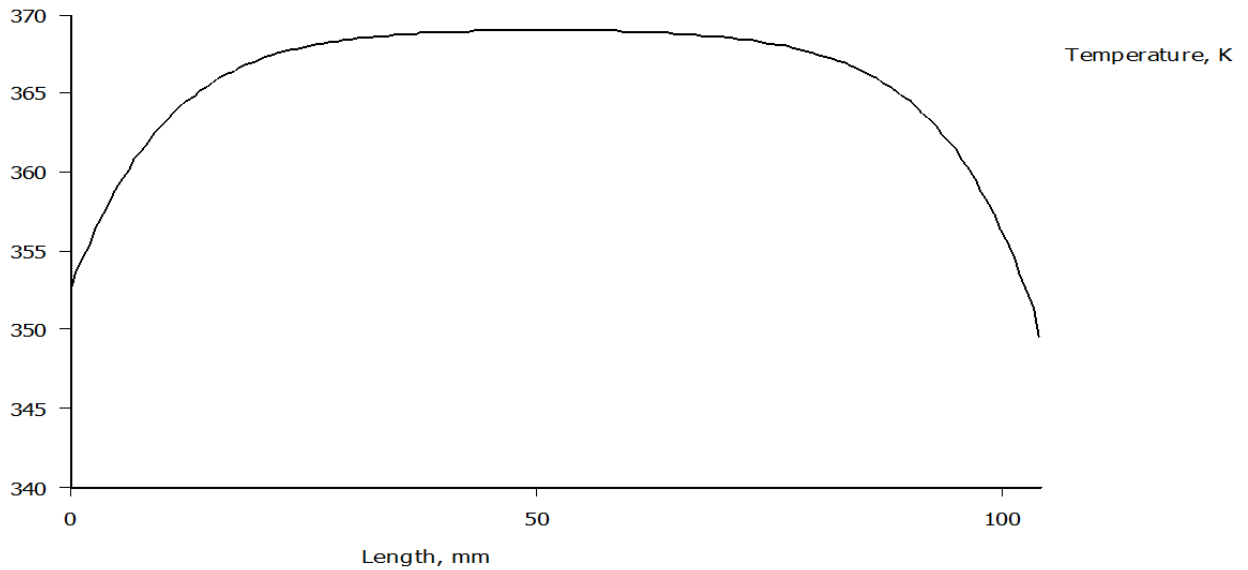


Obrázek 21: Teplota na povrchu elektrody

Obrázek 22: Rozložení tepla ve hmotě SC 2003

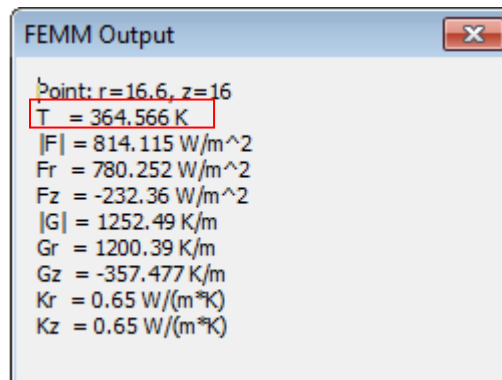
U této hmoty je největší teplota na vnitřní straně hmoty (na povrchu elektrody). Teplota zde dosahuje 399,089 K, tedy 125,94 °C. Což je jen o 2 °C menší než naměřená hodnota v laboratoři. Taktéž se liší i hodnoty na vnější straně hmoty. Hodnota z FEMMu je 367,456 K, 94,306 ° a naměřená hodnota je 88,8 °C. Tento rozdíl byl způsoben nezapočítáním vlivu přestupu tepla sáláním.

Opět je vidět, že teplota na vnější straně hmoty není stejná v celé její délce. Chladnější místa jsou u kraje hmoty, přičemž prostředek hmoty je nejteplejší.

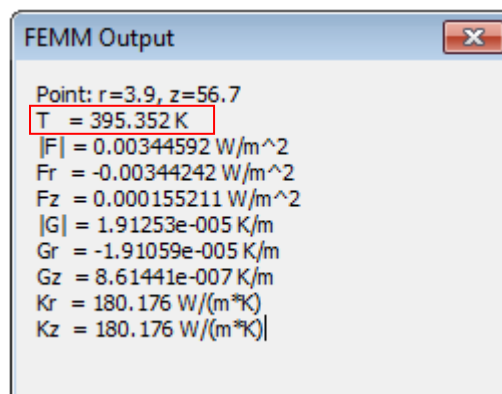


Obrázek 23: Rozložení teploty na povrchu hmoty SC2003

### 3.7.3.3 ER 2074 – Electrolube (2. odlitek)



Obrázek 24: Teplota na povrchu hmoty



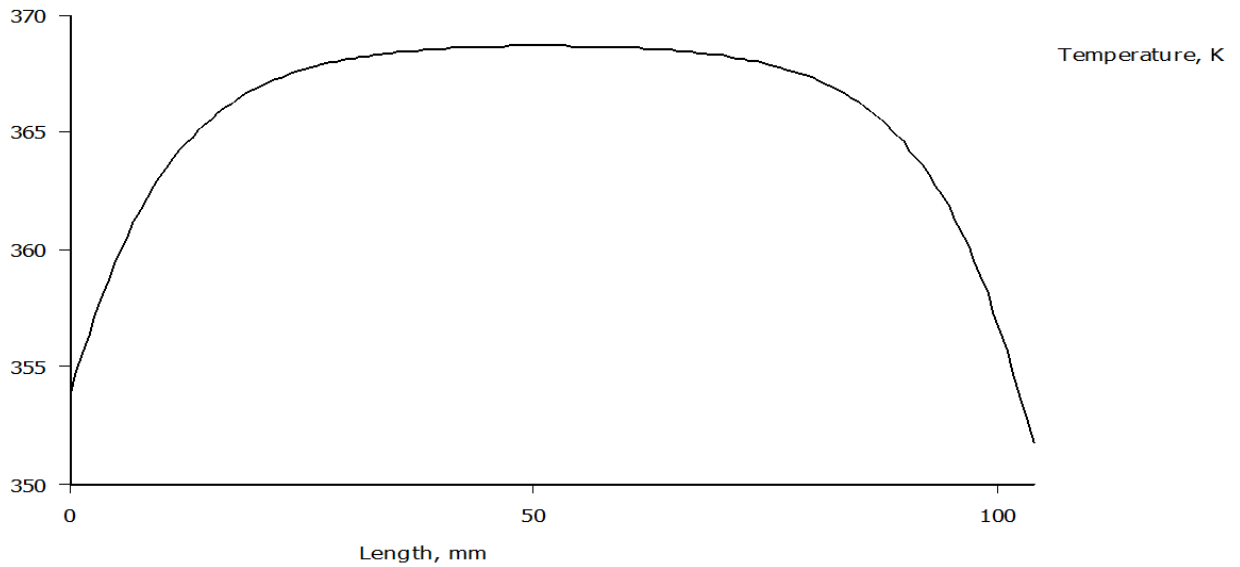
Obrázek 25: Teplota na povrchu elektrody

Obrázek 26: Rozložení tepla ve hmotě ER 2074

Tato hmota má stejné rozložení tepla jako ty před tím. Vnitřní strana hmoty je nejteplejší s teplotou 395,352 K, tedy 122,2 °C. Povrch hmoty má teplotu 364,566 K, to se rovná 91,42 °C.

Tyto hodnoty se opět liší oproti naměřeným hodnotám. Teplota na elektrodě je vcelku zanedbatelně o 0,1 °C menší než hodnota udávaná FEMMem a teplota na povrchu hmoty byla změřena 88,6 °C.

I zde je vidět rozdílnost teplot na povrchu hmoty v její celé délce. Na koncích je hmota chladnější než uprostřed, rozsah teplot podél délky hmoty je ukázáno v grafu níže.



Obrázek 27: Rozložení teplot na povrchu hmoty v celé její délce

## 4 ZÁVĚR

V této práci jsme rozebírali problematiku zalévacích hmot, jejich vlastností a jejich použití. První kapitola se věnuje obecné problematice izolantů, jak se chovají v el. poli, jejich odolnost a možné poškození. Také se zde věnujeme přestupu tepla, protože od zalévacích hmot chceme, aby odváděli teplo od zalitých součástek. Druhá kapitola se věnuje samotným zalévacím hmotám. Jsou zde popsány jejich vlastnosti, jaké se na ně kladou požadavky, jejich druhy a možné zlepšení tepelné vodivosti.

Praktická část se zabývá metodami zkoušek vlastností zalévacích hmot. Nadále je zde zpracování zkoušky pro zjištění tepelné vodivosti u pěti zalévacích hmot – vzorek „šedý“, vzorek „bílý“, hmota PX 439 XS, hmota SC 2003 a hmota ER 2074. U „šedého“ a „bílého“ vzorku neznáme tepelnou vodivost od výrobce, protože jsme k nim neměli příslušnou dokumentaci. Lze pouze předpokládat, že jsme při měření postupovali správně a tedy i námi naměřené hodnoty tepelné vodivosti jsou správné.

Nastal nám ale problém u dalších tří hmot. U epoxidové hmoty PX 439 XS výrobce uvádí tepelnou vodivost 1,3 W/m.K, nám ale vyšla hodnota 0,604 W/m.K, tedy o více jak polovinu menší než jakou by měla mít. Ten samý problém nastal i u další epoxidové hmoty ER 2074, kde výrobce uvádí hodnotu 1,26 W/m.K, ale naměřili jsme hodnotu 0,606 W/m.K. Další silikonová hmota má mít tepelnou vodivost rovnu 0,8 W/m.K, ale nám vyšla hodnota  $\lambda = 0,57$  W/m.K.

Pro kontrolu jsme udělali ještě jeden odlitek hmoty ER 2074, abychom si ověřili, jestli jsme neudělali chybu při samotném míchání hmoty, odlévání nebo měření. Tentokrát nám tepelná vodivost vyšla 0,65 W/m.K, to se ale ani zdaleka neblíží udávané hodnotě  $\lambda = 1,26$  W/m.K. Samotný epoxid má  $\lambda$  do 0,21 W/m.K, výrobce neuvádí, že by hmota obsahovala nějaké plniče, na zvýšení tepelné vodivosti a neuvádí žádné informace k použitému tvrdidlu. Nicméně je velmi nepravděpodobné, že by samotné tvrdidlo bylo schopné vyhnat tepelnou vodivost hmoty na hodnotu 1,26 W/m.K. Ani hmoty PX 439 XS a SC 2003 není uvedeno, že by hmoty obsahovaly plniče. Také u nich nejsou uvedeny parametry tvrdidla.

Výrobci své hmoty míchají ve vakuu, také jejich aplikaci provádějí nejčastěji pod tlakem ve vakuu a zkoušky provádějí v laboratořích, kde jsou schopni co nejlépe eliminovat působení vnějšího prostředí. Možná tedy jsou schopni v takto ideálních podmínkách dostat hodnoty, které uvádějí v dokumentaci. Nicméně v záhlaví dokumentace uvádějí, že hodnoty parametrů hmoty nejsou závazné a mohou se lišit.

V programu FEMM jsme vytvořili simulaci přestupu tepla zkoumanou hmotou. Simulace odpovídali našemu měření, pouze se lišili některé hodnoty teplot. To ale bylo způsobeno tím, že se v simulaci počítalo pouze s přestupem tepla pomocí konvekce. Program totiž není chopen počítat s konvekcí i sáláním zaráz.

Závěrem lze říci, že zalévací hmoty je vhodné používat, jako ochranu zařízení před působením tepla. Hmoty vydrží poměrně vysoké teploty (záleží, jakou hmotu si zvolíte) a jsou schopny dobře odvádět naakumulované teplo od chráněného zařízení. Podle našeho měření, se tepelná vodivost zalévacích hmot pohybuje v rozmezí od 0,6 do 0,8 W/m.K pro epoxidové a silikonové hmoty. Pokud je potřeba vyšší tepelná vodivost je vhodnější používat hmotu s plniči. U nich je jistota, že hodnota daná tepelné vodivosti, odpovídá skutečnosti.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PYRHÖNEN, Juha, Tapani JOKINEN a Valéria HRABOVCOVÁ. *Design of rotating electrical machines*. Second edition. Chichester, WestSussex, United Kingdom: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-70162-1.
- [2] STONE, Greg C., Ian CULBERT, Edward A. BOULTER a Hussein DHIRANI. *Electrical insulation for rotating machines: design, evaluation, aging, testing, and repair*. Second edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2014. ISBN 978-1-11-8057-063.
- [3] KOZAKO, Masahiro, Yuta OKAZAKI a Masayuki HIKITA. Preparation and Evaluation of Epoxy Composite Insulating Material toward High Thermal Conductivity. *IEEE*. 2010, **10**(10), 1-4.
- [4] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0189-6.
- [5] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER, DUB, Petr, ed. *Fyzika*. 2., přeprac. vyd. Brno: VUTIUM, c2013. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [6] PROCTER, Philip a Jitka SOLC. Improved Thermal Conductivity in Microelectronic Encapsulants. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. 1991.
- [7] HUANG, Xingyi, Pingkai JIANG a Toshikatsu TANAKA. A review of Dielectric Polymer Composites with High Thermal Conductivity. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. 2011, **27**(4), 8-16.
- [8] JIRÁK, Josef, Rudolf AUTRATA, Karel LIEDERMANN, Zdenka ROZSÍVALOVÁ a SEDLAŘÍKOVÁ. *Materiály a technická dokumentace: Část Materiály v elektrotechnice* [online]. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=99380](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=99380)
- [9] Accsiliconeseurope: Silikonové zalévací a pouzdrící hmoty. [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.acc-silicones.cz/>
- [10] ERMEG [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.ermeg.cz/>
- [11] DRIBO [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/vyrobniprogram/a55-podperne-izolatory-pro-venkovni-prostredi/>
- [12] TSI SYSTÉM [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.tsisystem.cz/zalvacihmota-technovit-4000/variant/4000-bila-tvrdidlo-1-1/>
- [13] VK LOŽISKA [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.vkloziska.cz/zalvacipriskyrice>
- [14] TEM Electronic Components: HUNTSMAN CW2243 / HY2966 [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/ep118/zalvacihmoty/huntsman/cw2243-hy2966/>
- [15] TEM Electronic Components: HUNTSMAN CW5631/HY5610 [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/ep232a/zalvacihmoty/huntsman/cw5631-hy5610/>
- [16] TEM Electronic Components: EGEL3000 [online]. [cit. 2016-12-24]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/details/egel3000\\_025/zalvacihmoty/acc-silicones/egel3000/](http://www.tme.eu/cz/details/egel3000_025/zalvacihmoty/acc-silicones/egel3000/)

- 
- [17] Data-sheet SC 2003 - Electrolube. Electrolube [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.electrolube.com/core/components/products/tds/044/SC2003.pdf>
- [18] Data-sheet ER 2074 - Electrolube. Electrolube [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.electrolube.com/core/components/products/tds/044/ER2074.pdf>
- [19] Data-sheet PX 439 XS - Robnor. Farnell [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/92294.pdf>
- [20] Finite Element Method Magnetics. Femm [online]. 2016 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.femm.info/wiki/download>
- [21] PEŠEK, Michal. Program FEMM - Podklady pro výuku v elektronické formě. Brno, 2009. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.
- [22] POLIKARPOVA, Mariia, Pia LINDH, Chris GERADA, Marko RILLA, Ville NAUMANEN a Juha PYRHÖNEN. Thermal effects of stator potting in an axial-flux permanent magnet synchronous generator. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.044. ISBN 10.1016/j.applthermale
- [23] High Temperature Potting and Casting Materials. Aremco [online]. 2017 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.aremco.com/potting-casting-materials/>

## PŘÍLOHY



### Technical Data Sheet PX439XS

**Description**

PX439XS is a rigid, thermally conductive epoxy resin with excellent heat resistance and dimensional stability. PX439XS is compatible with most circuit board components and materials over a wide temperature range. The combination of properties and the ease of use of the material will lend itself to a wide range of electrical insulation applications. The standard colour is Black but other colours are available on request.

**Features**

High thermal conductivity  
High electrical insulating characteristics  
Non-toxic  
High dimensional stability  
Low shrinkage  
Approved to UL94-V0  
Excellent chemical & heat resistance  
Does not contain halogens or heavy metals  
WEEE and RoHS compliant

**Property**

Property	Resin	Hardener	Mixed
Colour	Black	Amber	Black
Specific Gravity g/ml	2.16	0.96	1.96
Viscosity mPa.s. @ 23°C	50000	200	9500

**Specification**

Mix Ratio by Weight	9.6: 1
Mix Ratio by Volume	4.3: 1
Usable life (150g @ 25°C)	240 minutes
Gel time (150g @ 25°C)	360 minutes

**Cure Schedule**

Minimum cure	Full cure	Post Cure
36 hours @ 25°C	2 weeks	12 hours @ 100°C
8 hours @ 60°C	16 hours	6 hours @ 120°C
4 hours @ 80°C	8 hours	3 hours @ 150°C
2 hours @ 100°C	4 hours	

The above are typical values and will vary depending on the cured mass and application.

Hotter temperatures may be used for faster cure but will result in higher post cure shrinkage and higher cure exotherm.

Experimentation and testing is suggested to avoid side effects.

For maximum properties a post cure may be required - call Robnor Technical Service Department for advice.

**Typical Properties**

Peak Exotherm (150g @ 25°C)	40	
Shrinkage % (Volume)	0.3	
Thermal conductivity (W/mK)	1.3	
Operating temperature range	-40 to +200°C	(application & geometry dependent)
Dielectric strength (kV/mm)	20	
Volume Resistivity (ohm.cm)	12	
Shore D hardness	92	
Flame retardant	Approved to UL94-V0	
Tensile strength (MPa)	70	
Deflection Temperature (°C)	145	
Co-efficient of expansion (ppm/°C)	30 - 40	
Loss Tangent @ 50 Hz	0.040	
Permittivity @ 50 Hz	4.8	
Continuous tracking index V	>850	
Water absorption (30 days @ 20°C)	0.1	
Elongation at break %	1-3	
Flexural strength	90 - 100	
Glass transition temperature	140 - 150°C	

Robnor Resins Ltd, Hunts Rise, South Marston Park, Swindon, Wiltshire, SN3 4TE, United Kingdom

Tel: +44 (0) 1793 823741

Fax: +44 (0) 1793 827033

Email: [sales@robnor.co.uk](mailto:sales@robnor.co.uk)

Web: [www.robnor.co.uk](http://www.robnor.co.uk)



Buy On-line: [www.resins-online.com](http://www.resins-online.com)

**Packaging**

PX439XS is available in Bulk, Twinpacks & kits

**Availability:**

Available through distribution and [sales@robnor.co.uk](mailto:sales@robnor.co.uk)

**Twinpacks**

Twinpacks are pre-weighed resin and hardener components contained in a tough flexible film, separated by a removable clip and rail.

Once the clip and rail is removed the resin and hardener can be thoroughly mixed within the bag and is then ready for use.

Mixing will normally take ~ 3 minutes depending on the operator and viscosity of the material.

Twinpacks are ideal for small to medium production runs, prototyping and on-site or field use.

The twinpack weight/volume may also be tailored to a specific size on request.

For further mixing details please visit [www.robnor.co.uk](http://www.robnor.co.uk)

**Bulk Material**

PX439XS is a filled system and formulated to avoid sedimentation.

However, if sediment is found after storage, this must be re-dispersed in the original container before use.

Failure to do so may result in defective product.

Long-term sedimentation will be aggravated by storage above 25°C and should be avoided.

In bulk or kit form gentle mixing with a paddle or spatula will homogenise the material.

In bulk or kit form evacuation may be necessary for best results.

**Kits**

In kit form, resin and hardener are provided in separate containers to the correct ratio.

In most cases, pour the hardener into the larger resin container and use it as a mixing vessel.

Stir well using an appropriate mixer until homogeneous.

**Note:** Incomplete mixing will be characterised by variable/partial cure (even after extended time periods).

**Cleaning**

All equipment contaminated with mixed material should be cleaned before the material has hardened.

Robnor Resins TS130 is suitable non-flammable cleaning agent, although other solvents may be found suitable.

TS130 will also remove cured material provided it is allowed to soak for a number of hours.

**Storage and Shelf Life**

Material stored in the original unopened containers under cool dry condition between 10 and 25°C will have a shelf life of at least one-year.

Once used the containers must be kept sealed to prevent effects from water, air or contaminants.

**Health and Safety**

Epoxy resin systems may cause sensitisation by skin contact or inhalation may be corrosive, harmful or toxic.

It is therefore strongly recommended that skin and eye contact is avoided by the using of appropriate personal protective equipment; such as gloves, safety glasses or goggles and overalls.

Wash any contamination from the skin immediately and thoroughly and do not eat, smoke or drink in the working vicinity.

Under normal working conditions a good source of ventilation is adequate, however if the material is heated then local exhaust ventilation (LEV) may be required especially for curing ovens.

The above is given as a guide only; please refer to RX/HX439XS Health and Safety data or our Technical Service Department for individual/specific advice.

**Copyright Robnor Resins Limited**

The results and information above does not constitute a specification and is given in good faith and without warranty. The information is derived from test / or extrapolations believed to be reliable and is quoted for guidance only. The product is offered for evaluation on the understanding the customer satisfies himself that the product is suitable for his intended by proper evaluation and testing.

Robnor Quality System BS EN ISO 9001 (2000) Issue 3: January 2008 Page 2 of 2

## Encapsulation Resins

# Technical Data Sheet

**ELECTROLUBE**  
THE SOLUTIONS PEOPLE

## SC2003 Silicone Resin

SC2003 is a two-part, thixotropic potting and encapsulating compound designed for the protection of electronic devices. It has exceptional high temperature properties, suitable for use in applications where the operating temperature will be up to 200°C.

- Thixotropic resin; ideal for applications requiring high viscosity systems
- High thermal conductivity; ideal for applications requiring efficient heat dissipation
- Simple 1:1 mix ratio; aids ease of processing
- Exceptionally wide temperature range; ideal for applications reaching very high temperatures

**Approvals**                      **RoHS-2 Compliant (2011/65/EU):**                      **Yes**  
**UL Approval:**                      **Meets UL94 V-0**

### Typical Properties

Liquid Properties:	Base material	Silicone
	Appearance Part A	Black liquid
	Appearance Part B	White liquid
	Density Part A (g/ml)	1.6
	Density Part B (g/ml)	1.6
	Viscosity, Part A (mPa s @ 23°C)	30 000
	Viscosity, Part B (mPa s @ 23°C)	30 000
	Viscosity, Mixed System (mPa s @ 23°C)	30 000
	Mix Ratio (Weight)	1:1
	Mix Ratio (Volume)	1:1
	Usable Life (20 °C)	40 minutes
	Cure Time (23°C)	24 hours
	Cure Time (70°C)	25 minutes
	Cure Time (100°C)	10 minutes
	Storage Conditions	Above 15°C, Below 30°C
	Shelf Life	24 months

#### Copyright Electrolube 2013

All information is given in good faith but without warranty. Properties are given as a guide only and should not be taken as a specification.

Electrolube cannot be held responsible for the performance of its products within any application determined by the customer, who must satisfy themselves as to the suitability of the product.

Ashby Park, Coalfield Way,  
Ashby de la Zouch,  
Leicestershire LE65 1JR  
T +44 (0)1530 419 600  
F +44 (0)1530 416 640  
BS EN ISO 9001:2008  
Certificate No. FM 32082

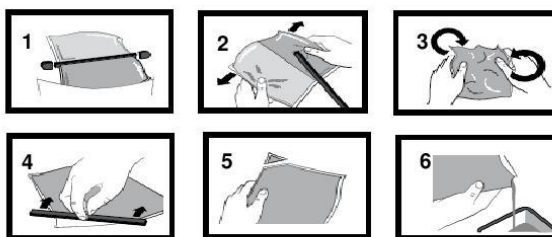
**ELECTROLUBE**  
THE SOLUTIONS PEOPLE

Cured System:	Colour (Mixed System)	Dark grey
	Cured Density (g/ml)	1.6
	Temperature Range (°C)	-60 to 200
	Max Temperature Range (Short Term (°C)/30 Mins) (Application and Geometry Dependent)	+225
	Shore Hardness	A50
	Thermal Conductivity (W/m.K)	0.8
	Flame retardancy	Yes, meets UL94 V-0
	Dielectric Strength (kV/mm)	20
	Permittivity (50 kHz)	3.2
	Loss Tangent (50 kHz)	0.002

### Mixing Procedures

#### **Resin Packs**

When in Resin pack form, the resin and hardener are mixed by removing the clip and moving the contents around inside the pack until thoroughly mixed. To remove the clip, remove both end caps, grip each end of the pack and pull apart gently. By using the removed clip, take special care to push unmixed material from the corners of the pack. Mixing normally takes from two to four minutes depending on the skill of the operator and the size of the pack. Both the resin and hardener are evacuated prior to packing so the system is ready for use immediately after mixing. The corner may be cut from the pack so that it may be used as a simple dispenser.



#### **Copyright Electrolube 2013**

All information is given in good faith but without warranty. Properties are given as a guide only and should not be taken as a specification.

Electrolube cannot be held responsible for the performance of its products within any application determined by the customer, who must satisfy themselves as to the suitability of the product.

Ashby Park, Coalfield Way,  
Ashby de la Zouch,  
Leicestershire LE65 1JR  
T +44 (0)1530 419 600  
F +44 (0)1530 416 640  
BS EN ISO 9001:2008  
Certificate No. FM 32082

**Bulk Mixing**

When mixing, care must be taken to avoid the introduction of excessive amounts of air. Automatic mixing equipment is available which will not only mix both the resin and hardener accurately in the correct ratio but do this without introducing air. Containers of Part A (Resin) and Part B (Hardener) should be kept sealed at all times when not in use to prevent the ingress of moisture. Bulk material must be thoroughly mixed before use. Incomplete mixing will result in erratic or partial curing.

**General**

Sedimentation of the resin has been minimised by careful attention to the formulation. However, any sediment which may have occurred over long periods of time must be dispersed before removing any material from the container. This dispersion can be carried out (if necessary) by stirring with a broad bladed spatula or gently rolling the can. Take care not to introduce excessive amounts of air during this operation or it may be necessary to re-evacuate the resin. Sedimentation will be accelerated by storage at high temperatures. Sedimentation found in resin packs forms no problem since the sediment is re-mixed when the pack is used.

**Additional Information**

- Cleaning:** It is far easier for machines & containers to be cleaned before the resin has been allowed to cure. Electrolube's RRS is suitable for cleaning machines and containers and cured resin may be slowly softened and removed by soaking in our RRS. All surfaces must be clean before resin is applied. Certain materials, chemicals, curing agents and plasticizers can inhibit the cure of silicone encapsulants. Most notable of these include:
- Organotin and other organometallic compounds
  - Silicone rubber containing organotin catalyst
  - Sulphur, polysulphides, polysulphones or other sulphur containing materials
  - Amines, urethanes or amine-containing materials
  - Unsaturated hydrocarbon plasticisers
  - Some solder flux residues
- Curing:** Do not heat cure large volumes immediately. Allow these to gel at room temperature and post-cure at high temperature if required (refer to liquid properties for details). Small volumes (250ml) may be heat cured immediately.
- Storage:** When storing under very cold conditions, the hardener may crystallise. If this occurs, simply warm (40 °C) the container gently until all crystals have re-melted.
- Health & Safety:** Always refer to the Health & Safety data sheet before use. These can be downloaded from [www.electrolube.com](http://www.electrolube.com)

Revision 1: Oct 2013

**Copyright Electrolube 2013**

All information is given in good faith but without warranty. Properties are given as a guide only and should not be taken as a specification.

Electrolube cannot be held responsible for the performance of its products within any application determined by the customer, who must satisfy themselves as to the suitability of the product.

Ashby Park, Coalfield Way,  
Ashby de la Zouch,  
Leicestershire LE65 1JR  
T +44 (0)1530 419 600  
F +44 (0)1530 416 640  
BS EN ISO 9001:2008  
Certificate No. FM 32082

## Encapsulation Resins

**Technical Data Sheet****ELECTROLUBE**  
THE SOLUTIONS PEOPLE**ER2074  
Epoxy Resin**

ER2074 is a flame retardant, thermally conductive, two part potting and encapsulating compound. The flame retardant technology used is of a 'clean' type leading to relatively low toxicity fumes and low smoke emission.

- High thermal conductivity; ideal for heat dissipation within LED applications
- Good environmental protection; water and chemical resistance
- Does not contain abrasive fillers; low wear on dispensing machinery
- Meets UL94 V-0 approval; high level of flame retardancy

**Approvals**      **RoHS-2 Compliant (2011/65/EU):**      **Yes**  
**UL Approval:**      **Meets UL94 V-0**

**Typical Properties**

Liquid Properties:	Base Material	Epoxy
	Density Part A - Resin (g/ml)	2.25
	Density Part B - Hardener (g/ml)	0.94
	Part A Viscosity (mPa s 23 °C)	200000
	Part B Viscosity (mPa s 23 °C)	58
	Mixed System Viscosity (mPa s 23 °C)	16700
	Mix Ratio (Weight)	17.31:1
	Mix Ratio (Volume)	7.23:1
	Usable Life (20 °C)	90 mins
	Gel Time (23 °C)	5 hours
	Cure Time (23 °C)	24 hours
	Cure Time (60 °C)	4 hours
	Cure Time (100 °C)	1 hour
	Colour Part A - Resin	White
	Colour Part B - Hardener	Clear
	Storage Conditions	Dry Conditions: Above 15°C, Below 30°C
	Shelf Life	24 Months (bulk) 18 months (resin pack)
	Exotherm	< 35°C
	(Measured on 100ml sample in a cylinder of diameter 49.4mm @ 23°C)	
	Shrinkage	< 1%

**Copyright Electrolube 2013**

All information is given in good faith but without warranty. Properties are given as a guide only and should not be taken as a specification.

Electrolube cannot be held responsible for the performance of its products within any application determined by the customer, who must satisfy themselves as to the suitability of the product.

Ashby Park, Coalfield Way,  
Ashby de la Zouch,  
Leicestershire LE65 1JR  
T +44 (0)1530 419 600  
F +44 (0)1530 416 640  
BS EN ISO 9001:2008  
Certificate No. FM 32082

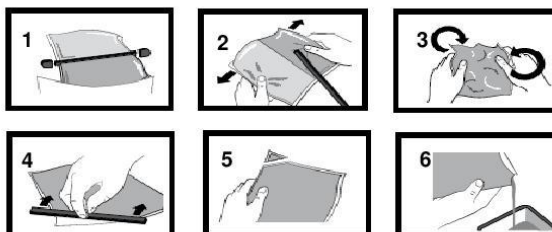


Cured System:	Thermal Conductivity (W/m.K)	1.26
	Cured Density (g/ml)	2.09
	Temperature Range (°C)	-40 to +130
	Max Temperature Range (Short Term (°C)/30 Mins) (Application and Geometry Dependent)	+150
	Dielectric Strength (kV/mm)	10
	Volume Resistivity (ohm-cm)	10 <sup>15</sup>
	Shore Hardness	D80
	Colour (Mixed System)	White
	Flame Retardancy	Meets UL94 V-0
	Tensile Strength (MPa)	82
	Compressive Strength (MPa)	120
	Deflection Temperature (°C)	60
	Coefficient of Expansion (ppm/°C)	30
	Loss Tangent @ 50 Hz	0.05
	Permittivity @ 50 Hz	6.00
	Comparative Tracking Index	>850 Volts
	Water Absorption (9.7mm thick disk, 51mm diameter) 10 days @ 20°C / 1 hour @ 100°C	< 0.5% / < 1%
	Elongation At Break	0.3%

### Mixing Procedures

#### **Resin Packs**

When in Resin pack form, the resin and hardener are mixed by removing the clip and moving the contents around inside the pack until thoroughly mixed. To remove the clip, remove both end caps, grip each end of the pack and pull apart gently. By using the removed clip, take special care to push unmixed material from the corners of the pack. Mixing normally takes from two to four minutes depending on the skill of the operator and the size of the pack. Both the resin and hardener are evacuated prior to packing so the system is ready for use immediately after mixing. The corner may be cut from the pack so that it may be used as a simple dispenser.



#### **Copyright Electrolube 2013**

All information is given in good faith but without warranty. Properties are given as a guide only and should not be taken as a specification.

Electrolube cannot be held responsible for the performance of its products within any application determined by the customer, who must satisfy themselves as to the suitability of the product.

Ashby Park, Coalfield Way,  
 Ashby de la Zouch,  
 Leicestershire LE65 1JR  
 T +44 (0)1530 419 600  
 F +44 (0)1530 416 640  
 BS EN ISO 9001:2008  
 Certificate No. FM 32082

**Bulk Mixing**

When mixing, care must be taken to avoid the introduction of excessive amounts of air. Automatic mixing equipment is available which will not only mix both the resin and hardener accurately in the correct ratio but do this without introducing air. Containers of Part A (Resin) and Part B (Hardener) should be kept sealed at all times when not in use to prevent the ingress of moisture. Bulk material must be thoroughly mixed before use. Incomplete mixing will result in erratic or partial curing.

**General**

Sedimentation of the resin has been minimised by careful attention to the formulation. However, any sediment which may have occurred over long periods of time must be dispersed before removing any material from the container. This dispersion can be carried out (if necessary) by stirring with a broad bladed spatula or gently rolling the can. Take care not to introduce excessive amounts of air during this operation or it may be necessary to re-evacuate the resin. Sedimentation will be accelerated by storage at high temperatures. Sedimentation found in resin packs forms no problem since the sediment is re-mixed when the pack is used.

**Additional Information**

- Cleaning:** It is far easier for machines & containers to be cleaned before the resin has been allowed to cure. Electrolube's RRS is suitable for cleaning machines and containers and cured resin may be slowly softened and removed by soaking in our RRS.
- Curing:** Do not heat cure large volumes immediately. Allow these to gel at room temperature and post-cure at high temperature if required (refer to liquid properties for details). Small volumes (250ml) may be heat cured immediately.
- Storage:** When storing under very cold conditions, the hardener may crystallise. If this occurs, simply warm (40 °C) the container gently until all crystals have re-melted.
- Health & Safety:** Always refer to the Health & Safety data sheet before use. These can be downloaded from [www.electrolube.com](http://www.electrolube.com)

Revision 1 : Oct 2013

**Copyright Electrolube 2013**

All information is given in good faith but without warranty. Properties are given as a guide only and should not be taken as a specification.

Electrolube cannot be held responsible for the performance of its products within any application determined by the customer, who must satisfy themselves as to the suitability of the product.

Ashby Park, Coalfield Way,  
Ashby de la Zouch,  
Leicestershire LE65 1JR  
T +44 (0)1530 419 600  
F +44 (0)1530 416 640  
BS EN ISO 9001:2008  
Certificate No. FM 32082

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

**Advanced Materials**

<b>Araldite<sup>®</sup> CW 2243-2 L</b>	<b>100</b>	<b>pbw</b>
<b>Aradur<sup>®</sup> HY 2966</b>	<b>11</b>	<b>pbw</b>

Optimally filled casting system for processing and curing at slightly higher temperatures.

**Application**

Voltage regulators.  
Suppressor chokes.  
Proximity switches.  
Ferrite core transformers.

**Processing methods**

Casting; vacuum casting.

**Key Properties**

Low viscosity.  
Flexible castings.  
Good thermal shock resistance.  
Flammability: UL 94 V-0 (6 mm).

**Product Data (Guideline Values)****Araldite® CW 2243-2 L Blue**

Modified, solvent free epoxy resin containing an inorganic filler.

Viscosity at 25 °C	ISO 2555	mPa*s	4000 – 12000*
Specific gravity at 20 °C	ISO 2811	g/cm <sup>3</sup>	1.610 – 1.650*
Appearance	Visual		Blue, viscous liquid*

**Aradur® HY 2966**

Formulated, low viscosity polyamine hardener.

Viscosity at 25 °C	ISO 12058	mPa*s	300 – 600*
Specific gravity at 25 °C	ISO 2811	g/cm <sup>3</sup>	0.97
Appearance	Visual		Clear liquid*

\*Specified range

## Processing Data (Guideline Values)

### Mix Ratio

		Parts by weight	Parts by volume
CW 2243-2 L	Resin	100	100
HY 2966	Hardener	11	18

### Gel Time, Viscosity and Curing

Mix Viscosity at 25 °C	CW 2243-2 L / HY 2966	Höppler	mPa*s	4400
Mix Viscosity at 40 °C			mPa*s	1600
Gel time at 60 °C	CW 2243-2 L / HY 2966	ISO 9396	min	13 – 20*
Pot life at 25 °C	CW 2243-2 L / HY 2966	Time to reach 15000 mPa*s	min	40
Pot life at 40 °C			min	25
Minimum Curing Cycle	24 hours at RT or 6 hrs at 60 °C			

\*Specified range

## Processing and Storage (Guideline Values)

### Preparation

CW 2243-2L contains fillers, which tend to settle over time. It is therefore recommended to carefully homogenize the complete contents of the container before use.

In the storage vessels of the production equipment, the pre-filled products should be stirred up from time to time to avoid sedimentation and irregular metering.

### Mixing

The casting mix is best prepared by heating the resin up to 40 – 50 °C before stirring in the hardener.

Brief degassing of the mix under 5 – 10 mbar vacuum improves the mixture homogeneity and enhances the dielectric properties of the castings.

### Curing

To determine whether cross-linking has been carried to completion and the final properties are optimal, it is necessary to carry out relevant measurements on the actual object or to measure the glass transition temperature. Different gel and cure cycles in the customer's manufacturing process could lead to a different degree of cross-linking and thus a different glass transition temperature.

### Storage Conditions

Store the components in a dry place according to the storage conditions stated on the label in tightly sealed original containers. Under these conditions, the shelf life will correspond to the expiry date stated on the label. After this date, the product may be processed only after reanalysis. Partly emptied containers should be tightly closed immediately after use.

For information on waste disposal and hazardous products of decomposition in the event of a fire, refer to the Material Safety Data Sheets (MSDS) for these particular products.

### Mechanical and Physical Properties (Guideline Values)

Determined on standard test specimen at 23°C. Cured for 24h/RT + 6h/60°C.

Glass transition temperature	ISO 6721	°C	37
Shear modulus G'	ISO 6721	MPa	1900
Tensile modulus	ISO 527	MPa	1000
Tensile strength	ISO 527	MPa	16
Elongation at break	ISO 527	%	15
Flexural Strength	ISO 178	MPa	24
Thermal linear coefficient	ISO 11359-2		
Alpha 1		ppm/K	43
Alpha 2			131
Thermal conductivity	ISO 8894-1	W/mK	0.8
Hardness	DIN 53505	Shore D	70
Flammability	UL 94		V-0 (6 mm)
Test of fire reaction	NF F 16-102	Classification	F 1 / I 3
Water absorption	ISO 62/80		
1 day at 23°C		% by wt.	0.2
30 min at 100°C			0.4

### Electrical Properties (Guideline Values)

Determined on standard test specimen at 23°C. Cured for 24h/RT + 6h/60°C.

Dielectric strength (2 mm specimen)	IEC 60243-1	kV/mm	15
Dielectric loss factor (tan $\delta$ , 50Hz, 25°C)	IEC 60250	%	5
Dielectric constant ( $\epsilon_r$ , 50Hz, 25°C)	IEC 60250		5.7
Volume resistivity ( $\rho$ , 25°C)	IEC 60093	$\Omega$ cm	$10^{14}$
Tracking resistance CTI	IEC 60112	grade	> 600
Electrolytic corrosion	IEC 60426	grade	AN/1.2

## Legal Notice

### Huntsman Advanced Materials

(Switzerland) GmbH  
Klybeckstrasse 200  
4057 Basel  
Switzerland

Tel: +41 (0)61 299 11 11  
Fax: +41 (0)61 299 11 12

[www.huntsman.com/advanced\\_materials](http://www.huntsman.com/advanced_materials)

Email:  
[advanced\\_materials@huntsman.com](mailto:advanced_materials@huntsman.com)



Huntsman Advanced Materials warrants only that its products meet the specifications agreed with the user. Specified data are analysed on a regular basis. Data which is described in this document as 'typical' or 'guideline' is not analysed on a regular basis and is given for information purposes only. Data values are not guaranteed or warranted unless if specifically mentioned.

The manufacture of materials is the subject of granted patents and patent applications; freedom to operate patented processes is not implied by this publication. While all the information and recommendations in this publication are, to the best of Huntsman Advanced Material's knowledge, information and belief, accurate at the date of publication, nothing herein is to be construed as a warranty, whether express or implied, including but without limitation, as to merchantability or fitness for a particular purpose. In all cases, it is the responsibility of the user to determine the applicability of such information and recommendations and the suitability of any product for its own particular purpose.

The behaviour of the products referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which are not known to Huntsman Advanced Materials. It is the responsibility of the user to evaluate the manufacturing circumstances and the final product under actual end-use requirements and to adequately advise and warn purchasers and users thereof.

Products may be toxic and require special precautions in handling. The user should obtain Safety Data Sheets from Huntsman Advanced Materials containing detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards.

Hazards, toxicity and behaviour of the products may differ when used with other materials and are dependent on manufacturing circumstances or other processes. Such hazards, toxicity and behaviour should be determined by the user and made known to handlers, processors and end users.

Except where explicitly agreed otherwise, the sale of products referred to in this publication is subject to the general terms and conditions of sale of Huntsman Advanced Materials LLC or of its affiliated companies including without limitation, Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA, Huntsman Advanced Materials Americas Inc., Huntsman Advanced Materials (UAE) FZE, Huntsman Advanced Materials (Guangdong) Company Limited, and Huntsman Advanced Materials (Hong Kong) Ltd.

Huntsman Advanced Materials is an international business unit of Huntsman Corporation. Huntsman Advanced Materials trades through Huntsman affiliated companies in different countries including but not limited to Huntsman Advanced Materials LLC in the USA and Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA in Europe.

All trademarks mentioned are either property of or licensed to Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all, countries.

Copyright © 2012 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

**Advanced Materials**

<b>Arathane® CW 5631</b>	<b>100</b>	<b>pbw</b>
<b>Arathane® HY 5610</b>	<b>25</b>	<b>pbw</b>

**Thermal Class F casting and impregnating system for high temperature applications**  
**Processing and curing at room temperature.**

**Application** Transformers, filters, capacitors etc.  
Electrical devices working in potentially explosive environment

**Processing Methods** Casting / Impregnating.  
Manually or with automatic mixing and dosing equipment.

**Key Properties** High thermal endurance.  
Excellent flow properties.  
Good thermal conductivity.  
Non abrasive casting system.  
Good thermal shock resistance.  
Flammability: UL 94 V-0 (6 mm).

**Product Data (Guideline Values)****Arathane® CW 5631**

Polyol, containing mineral filler

Viscosity at 25°C	ISO 3219	mPa*s	3400 – 5100*
Specific Gravity at 25°C	ISO 1675	g/cm <sup>3</sup>	1.48
As supplied form	Black liquid*.		

**Arathane® HY 5610**

Isocyanate

Viscosity at 25°C	PU / VIS-1	mPa*s	80 – 120*
Specific Gravity at 25°C	ISO 1675	g/cm <sup>3</sup>	1.23
As supplied form	Brown liquid.		

\*Specified range

## Processing Data (Guideline Values)

### Mix Ratio

		Parts by weight	Parts by volume
CW 5631	Polyol	100	100
HY 5610	Isocyanate	25	30

### Gel Time, Viscosity and Curing

Mix Viscosity at 25°C	CW 5631 / HY 5610	Rheomat	mPa*s	3000
Gel time at 25°C	CW 5631 / HY 5610	Gelnorm	min	60
Pot life (Time to reach 5000 mPa*s)	CW 5631 / HY 5610	Rheomat	min	14
Minimum Curing Cycle	24 hours at RT or 6 hours at 80°C			

## Processing and Storage (Guideline Values)

### Preparation

CW 5631 contains fillers, which tend to settle over time. It is therefore recommended to carefully homogenize the complete contents of the container before use.

In the storage vessels of the production equipment, the pre-filled products should be stirred up from time to time to avoid sedimentation and irregular metering.

### Mixing

The casting mix is best prepared by heating the resin up to 40 – 50 °C before stirring in the hardener.

Brief degassing of the mix under 5 – 10 mbar vacuum improves the mixture homogeneity and enhances the dielectric properties of the castings.

### Curing

To determine whether cross-linking has been carried to completion and the final properties are optimal, it is necessary to carry out relevant measurements on the actual object or to measure the glass transition temperature. Different gel and cure cycles in the customer's manufacturing process could lead to a different degree of cross-linking and thus a different glass transition temperature.

### Storage Conditions

Store the components in a dry place at RT, in tightly sealed original containers. Under these conditions, the shelf life will correspond to the expiry date stated on the label. After this date, the product may be processed only after reanalysis. Partly emptied containers should be tightly closed immediately after use.

HY 5610 must be protected from moisture. Storage tanks should be blanketed with dry air or nitrogen. Storage at temperatures above 50°C is not recommended, since this can lead to the formation of insoluble solids and also the viscosity build-up increases on extended storage. Storage at low temperature is not recommended because it may lead to some crystallisation. Crystallised material must be melted out immediately by short time heating.

For information on waste disposal and hazardous products of decomposition in the event of a fire, refer to the Material Safety Data Sheets (MSDS) for these particular products.

### Mechanical and Physical Properties (Guideline Values)

Determined on standard test specimen at 23°C. Cured for 24h/RT + 6h/80°C

Glass transition temperature	ISO 6721	°C		47
Shear modulus G'	ISO 6721	MPa		1260
Max. service temperature	IEC 60085			Class F
Temperature index TI	IEC 60216	°C		159
Tensile modulus	ISO 527	MPa		2100
Tensile strength	ISO 527	MPa		30
Elongation at break	ISO 527	%		6
Flexural Modulus	ISO 178	MPa		2300
Flexural Strength	ISO 178	MPa		53
Thermal linear coefficient	ISO 11359-2			
Alpha 1		ppm/K		70
Alpha 2				135
Thermal conductivity	ISO 8894-1	W/mK		0.6
Hardness	DIN 53505	Shore D		80
Glow-wire test (850°C)	IEC 60695-2-11		VDE 0471	passed
Flammability	UL 94			V-0 (6 mm)
	ISO 1210			passed
Test of fire reaction	NF F 16-102		Classification	I3/F1 (≥ 19mm)
Water absorption	ISO 62/80			
1 day at 23°C		% by wt.		0.1
10 days at 23°C				0.28
30 min at 100°C				0.3

### Electrical Properties (Guideline Values)

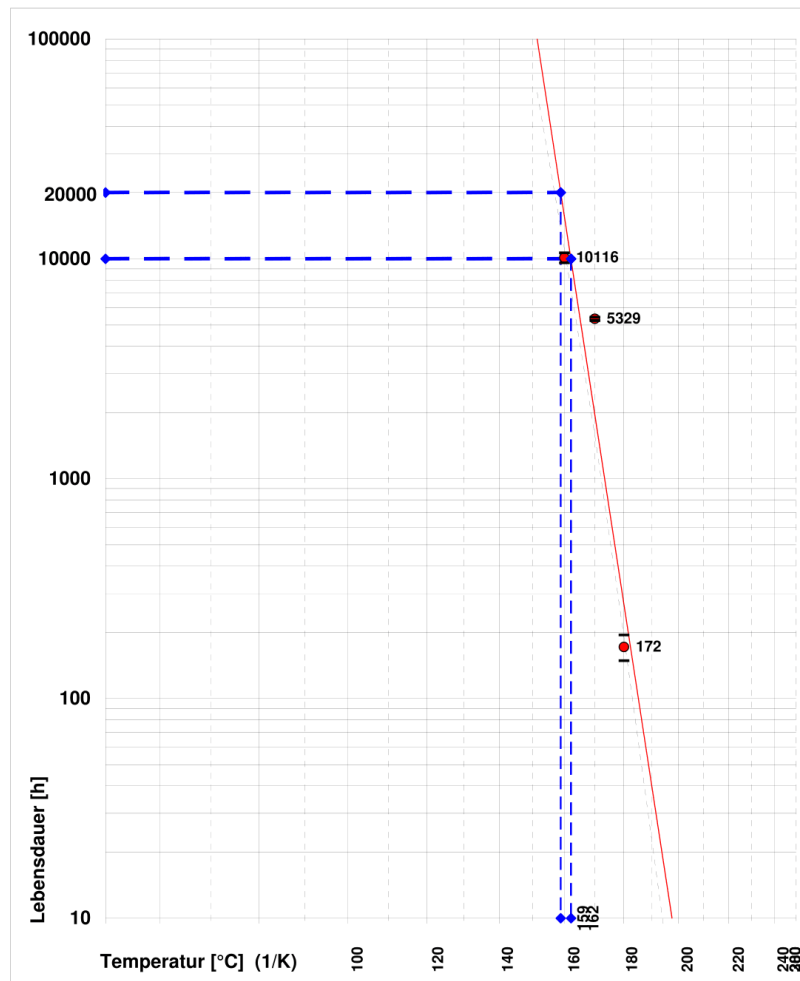
Determined on standard test specimen at 23°C. Cured for 24h/RT + 6h/80°C

Dielectric strength (2 mm specimen)	IEC 60243-1	kV/mm		29
Dielectric strength; 4 kV @ 140 °C	EN 50 028	sec		> 300; passed
Dielectric loss factor (tan δ, 50Hz, 25°C)	IEC 60250	%		3
Dielectric constant (ε <sub>r</sub> , 50Hz, 25°C)	IEC 60250			4.5
Volume resistivity (ρ, 25°C)	IEC 60093	Ω cm		7 x 10 <sup>14</sup>
Tracking resistance	IEC 60112	grade		CTI > 600 <1
Electrolytic corrosion	IEC 60426	grade		A/1

**Thermal Endurance Profile IEC 60216 (Guideline Values)**

System tested: CW 5631 / HY 5610

Investigated Property:	Flexural strength (ISO 178)
Selected end point:	50% of initial value (60.9 Mpa)
<b>T I g :</b>	<b>159            159 / 165 (164.14)</b>
<b>H I C g :</b>	<b>3</b>
Statistical test variables:	CHI <sup>2</sup> =        22.60
	F=            1904.17
----- :	Lower 95% confidence curve /    TC: 157°C
<b>Comments:</b>	160°C extrapolated up to 400 days



## Legal Notice

### Huntsman Advanced Materials

(Switzerland) GmbH  
Klybeckstrasse 200  
4057 Basel  
Switzerland

Tel: +41 (0)61 299 11 11  
Fax: +41 (0)61 299 11 12

[www.huntsman.com/advanced\\_materials](http://www.huntsman.com/advanced_materials)

Email:  
[advanced\\_materials@huntsman.com](mailto:advanced_materials@huntsman.com)



Huntsman Advanced Materials warrants only that its products meet the specifications agreed with the user. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be treated as specifications.

The manufacture of materials is the subject of granted patents and patent applications; freedom to operate patented processes is not implied by this publication.

While all the information and recommendations in this publication are, to the best of Huntsman Advanced Material's knowledge, information and belief, accurate at the date of publication, **nothing herein is to be construed as a warranty, whether express or implied, including but without limitation, as to merchantability or fitness for a particular purpose. In all cases, it is the responsibility of the user to determine the applicability of such information and recommendations and the suitability of any product for its own particular purpose.**

The behaviour of the products referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which are not known to Huntsman Advanced Materials. It is the responsibility of the user to evaluate the manufacturing circumstances and the final product under actual end-use requirements and to adequately advise and warn purchasers and users thereof.

Products may be toxic and require special precautions in handling. The user should obtain Safety Data Sheets from Huntsman Advanced Materials containing detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards.

Hazards, toxicity and behaviour of the products may differ when used with other materials and are dependent on manufacturing circumstances or other processes. Such hazards, toxicity and behaviour should be determined by the user and made known to handlers, processors and end users.

Except where explicitly agreed otherwise, the sale of products referred to in this publication is subject to the general terms and conditions of sale of Huntsman Advanced Materials LLC or of its affiliated companies including without limitation, Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA, Huntsman Advanced Materials Americas Inc., and Huntsman Advanced Materials (Hong Kong) Ltd.

Huntsman Advanced Materials is an international business unit of Huntsman Corporation. Huntsman Advanced Materials trades through Huntsman affiliated companies in different countries including but not limited to Huntsman Advanced Materials LLC in the USA and Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA in Europe.

Aradur and Araldite are registered trademarks of Huntsman Corporation or an affiliate thereof.

Copyright © 2010 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.



SISTEMA DI GESTIONE  
QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001:2000  
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

- TECHNICAL DATA SHEET -

**DOLPHON CB-1128**  
FLEXIBLE MOTOR COMPOUND 155°C

**DESCRIPTION**

Dolphon CB-1128 is a new product formulated to replace epoxies and silicones for motor encapsulation and coating. This unique flexible compound cures to a tough, resilient, glossy black coating that seals against moisture and chemicals attacks. DOLPHON CB-1128 is exceptionally resistant to abrasion because it absorbs the impact of flying metallic particles. DOLPHON CB-1128 can be applied by brushing or spraying and cures to form a protective seal coat having the following outstanding characteristics:

- Elasticity that absorbs impacts and resists abrasion.
- Good thermal conductivity helps offset overheating.
- Superior resistance to water and moisture vapor transmission.
- High-low temperature flexibility that prevents cracking.
- Excellent resistance to chemicals attacks including acids and alkali.

**Recommended uses**

This tough, flexible coating is recommended for use on motors and other devices that will operate in harsh environments such as stone quarries, mines, cement factories, steel plants, meat processing and packing, dairies, breweries, paper mills and chemical plants.

**CHARACTERISTICS**

**Physical properties**

Specific gravity at 25°C	1.100+50 gr./lt.
Viscosity Brookfield RVT/Mod.II/25°C/Sp.TA/Rpm1 (Cps)	80.000/120.000
Tensile strength, p.s.i.(ASTM D-638-60T)	1.260
Thermal conductivity (cal/sec/cm <sup>2</sup> /°C/cm)	12.2x10 <sup>-4</sup>
Water absorption, (ASTM D-570-59T)	0,01%
Hardness, Shore "A" at 20°C	40-50
Chemical Resistance (most solvent, acids and bases)	excellent

**Electrical Properties**

Dielectric Strength, 1/8" specimen	660 Volts/mm.0.025
Surface Resistivity (ohms)	3,06 x 10 <sup>14</sup>
Volume Resistivity (ohm-cm)	1,78 x 10 <sup>15</sup>



ALBESIANO SISA vernici S.r.l. – Via Rigolfo, 73 - 10028 Trofarello (TO) – Italy  
Tel. +39 011 6493111 – Fax +39 011 6493112 – E-mail info@albesiano.com  
Licenziataria per la produzione in Italia della JOHN C. DOLPH Co. Monmouth Junction – New Jersey - USA



SISTEMA DI GESTIONE  
QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001:2000  
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

**APPLICATION**

**Mix ratio**

Dolphon CB-1128 should be mixed in the ratio of 100 parts of resin to 6 parts of Reactor by weight. For brushing applications it will be enough to mix thoroughly the two components, stirring slowly to avoid air incorporation. Make sure to scrape sides and bottom of the container to assure that the mixture is uniform.

For spraying thin the mixed compound with 10-20% of xylene or with our thinner 4012 bringing it to a viscosity suitable for spraying application. We suggest to use spray guns having large nozzles.

The pot-life of the mixed compound is approximately 45 minutes at 20°C; for the diluted compound of approximately 1 hour at 20°C.

**By brushing**

1. Dip and bake the unit in an impregnation varnish or resin;
2. Cool to 40-50°C;
3. Apply the resin in the slot area and clean laminations with a solvent soaked cloth;
4. Apply the resin on the winding heads making sure that the slots ends are completely sealed;
5. Allow to cure at room temperature for 10-12 hours.

**By spraying**

1. Dip and bake the unit in an impregnation varnish or resin;
2. Cool to 40-50°C;
3. Apply the resin with a spray gun;
4. Clean the resin excess from the laminations with a solvent soaked cloth;
5. Allow to cure at room temperature for 10-12 hours.

In case of previously impregnated units DOLPHON CB-1128 can be applied on the winding at room temperature.

When cured DOLPHON CB-1128 is very resistant to strippers and solvents, and is difficult to remove by sand blasting or machining: so it is important to eliminate the resin excess and clean the tools before the resin to cure completely.

**Cure**

After initial cure, the resin will become firm and tack free. Units may be handled and assembled. In the meantime the resin continues its hardening, and after some days at room temperature will reach a harder and tougher condition. After the initial cure at room temperature the hardening can be accelerated by baking the unit into an oven for some hours at 80-90°C.

Warning: All the information and application instructions concerning this product are based on technical specifications that we consider reliable, and are provided by way of example, according to our application experience. They do not establish any guarantee but only represent a starting point subject to alterations, according to the application and the kind of material to be treated. Before the product's use the user must determine the suitability for the intended use undertaking all risks and responsibility for whatever may happen in connection with the application. The producer and/or seller will not be considered responsible for any accident, loss or damage (immediate or consequent) originating from the use and/or the inability to use the concerned product. Albesiano Sisa Vernici srl reserves the right to change or modify at any time and without any notice the technical specifications of the product described in this data sheet.

File: CB-1128 ing	Issued: 14.02.02	Updated: 06.04.05	Drawer: Michele Aragno	This document cancels and replaces all previous ones.
----------------------	---------------------	----------------------	---------------------------	---



ALBESIANO SISA vernici S.r.l. – Via Rigolfo, 73 - 10028 Trofarello (TO) – Italy  
Tel. +39 011 6493111 – Fax +39 011 6493112 – E-mail info@albesiano.com  
Licenziataria per la produzione in Italia della JOHN C. DOLPH Co. Monmouth Junction – New Jersey - USA

Technical Data Sheet
----------------------



## EGel3000 Low viscosity silicone gel

### Introduction

**EGel3000** is one of a family of soft, adherent, clear silicone elastomeric gels designed for the encapsulation and protection of electronics components. It is a low viscosity, 2-component system that is readily mixed in a 1:1 ratio.

It is used to provide protection from vibration, thermal or mechanical shock. It has excellent dielectric properties and also gives excellent protection from water and many environmental contaminants

### Key Features

- **Simple 1 to 1 mix ratio**
- **Very low viscosity**
- **Soft but resilient gel**
- **Flexible down to -55°C**
- **Surface tension of 21.1 dynes/cm**
- **0.35 water absorption at 23°C over 30 days**

### Use and Cure Information

#### How to Use

**EGel3000** is supplied in several pack sizes and consists of kits containing equal quantities of Parts 'A' and 'B'. Containers should always be kept sealed when not in use, and all mixing equipment must be clean and free from contaminants such as organo-tin, -sulphur, -nitrogen compounds which can poison the catalyst and prevent proper cure.

#### Application and Cure

Each of the **EGel3000** component parts should be mixed in the recommended one-to-one ratio (by volume or weight). This can be done readily either by hand or using a powered mixer, avoiding excessive aeration.

The curing process begins as soon as the components are mixed and the working or pot life of the mixed system is dependent on the ambient temperature conditions.

Note: Chilling the separate component parts, before and after mixing, will extend the pot life, but not indefinitely.

#### Adhesion

Fully cured **EGel3000** exhibits good adhesion to most substrates such as:

Aluminium, stainless steel, ABS, polycarbonate, PCB boards, Nylon 6,6

#### Inhibition of Cure

Great care must be taken when handling and mixing all addition cured silicone elastomer systems, that all the mixing tools (vessels and spatulas) are clean and constructed in materials which do not interfere with the curing mechanism. The cure of the rubber can be inhibited by the presence of compounds of nitrogen, sulphur, phosphorus and arsenic; organotin catalysts and PVC stabilizers; epoxy resin catalysts and even contact with materials containing certain of these substances e.g. moulding clays, sulphur vulcanised rubbers, condensation cure silicone rubbers, onion and garlic.

Property	Test Method	Value
<b>Uncured Product</b>		
Colour:		<b>Transparent</b>
Appearance:		<b>Transparent liquid</b>
Viscosity A Part:	Brookfield	<b>630 mPa.s</b>
Viscosity B Part:	Brookfield	<b>630 mPa.s</b>
Catalysed viscosity:	Brookfield	<b>630mPa.s</b>
Pot Life:		<b>&gt;45 minutes *</b>
<b>SG 'A'Part</b>		<b>0.97</b>
<b>SG 'B'Part</b>		<b>0.97</b>
* measured at 23+/-2°C and 65% relative humidity		
<b>Cured Elastomer</b>		
<i>(after 7 days cure at 23+/-2°C and 65% relative humidity)</i>		
Penetration (Cone Weight):		<b>19.5/2.5mm mm</b>
Specific Gravity:	BS 903 Part A1	<b>0.97</b>
Min. Service Temperature:		<b>-55°C</b>
Max. Service Temperature:	AFS 1540B	<b>200 °C</b>
CTE Volumetric		<b>930 ppm/C</b>
CTE Linear		<b>310 ppm/C</b>
<b>Electrical Properties</b>		
Volume Resistivity:	ASTM D-257	<b>2.0E+15 Ω.cm</b>
Dielectric Strength:	ASTM D-149	<b>&gt;18.5 kV/mm</b>

### Curing Time

Temperature °C	Time
<b>25</b>	<b>&lt;24 hrs</b>
<b>100</b>	<b>&lt;60 mins</b>

All values are typical and should not be accepted as a specification.

**Health and Safety** - Material Safety Data Sheets available on request.

#### Packages –

Gels are normally packed in 2kg, 10kg and 40kg kits

**Storage and Shelf Life** – Expected to be **18 months** in original, unopened containers below 40°C.

Revision Date: 27/06/2013

The information and recommendations in this publication are to the best of our knowledge reliable. However nothing herein is to be construed as a warranty or representation. Users should make their own tests to determine the applicability of such information or the suitability of any products for their own particular purposes. Statements concerning the use of the products described herein are not to be construed as recommending the infringement of any patent and no liability for infringement arising out of any such use is to be assumed.

ACC Silicones Ltd, Amber House,  
Showground Road, Bridgwater, Somerset, UK  
Tel. +44(0)1278 411400 Fax. +44(0)1278 411444

Treco S.R.L., Via Romagna N.8,  
20098 Sesto Ulteriano (MI), Italia.  
Tel. 39/02/9880913 Fax. +39/02/98280413

[www.acc-silicones.com](http://www.acc-silicones.com)

**PRODUCT INFORMATION****Elan-tron<sup>®</sup>****MC 5470 FR/W 5710**  
(Rhenatech<sup>®</sup> EP 5470 FR)

100:9

2-component epoxy potting compound

**Application:**

Encapsulation of electrical components working in severe conditions, industrial magnets, electro-magnetic brakes, etc.

**Processing:**

Manual and/or automatic casting. Room temperature or moderate temperature curing.

**Description:**

Two component epoxy system, solvent free. High thermal conductivity. Good adhesion to various substrates. Best properties are achieved after heat post-cure. The system is UL 94 V-0 listed (File E116643 and E140720). The system is RoHS conform (European directive 2002/95/EC).

**Instructions:**

In pre-filled products it is good practice to check and carefully rehomogenize the material if some settlement is present. Add the appropriate quantity of hardener to the resin, mix carefully. Avoid air trapping. For some applications it can be useful to pre-heat the components and/or carry out a deaeration step under vacuum of the mixture before casting.

**Curing / Post-curing:**

During the curing process it is advisable to avoid thermal variations higher than 10°C/hour.

**Storage:**

Filled epoxy resins and relative hardeners can be stored for minimum 9 months in the original sealed containers, stored in a cool, dry place. After that period or if the material has been stored in anomalous conditions, pre-filled resins can be settled down and their use is possible, only if they are accurately re-homogenized with the help, if necessary, of a mechanical mixer. The hardeners are moisture sensitive therefore it is good practice to close the vessel immediately after each use.

**Handling precautions:**

Refer to the data sheet and comply with regulations relating to industrial health and waste disposal.



### SYSTEM SPECIFICATIONS

Property	Conditions	Method	Resin MC 5470 FR	Hardener W 5710	UM
Viscosity at:	25°C (9 sec -1)	IO-10-50 (EN13702-2)	6.000÷10.000	-	
Density at:	25°C	IO-10-51 (ASTM D 1475)	1,69÷1,79	-	g/ml
FTIR spectrum (correlation factor)		IO-10-75	-	0,990÷1,000	
Gelation time	50°C 100 ml	IO-10-52b (UNI 8701)	50÷60	-	min

### TYPICAL SYSTEM CHARACTERISTICS

Property	Conditions	Method	Value	UM
Mixing ratio by weight		for 100 g resin	100:9	g
Mixing ratio by volume		for 100 ml resin	100:17	ml
Resin Colour			Beige	
Hardener Colour			Colourless	
Viscosity resin	25°C 1,7 sec-1	IO-10-50 (EN13702-2);	14.000÷20.000	mPas
Viscosity hardener	25°C	IO-10-50 (EN13702-2)	20÷40	mPas
Density hardener	25°C	IO-10-51 (ASTM D 1475)	0,90÷0,94	g/ml
Pot life (doubled initial viscosity)	40°C	IO-10-50 (EN13702-2) (*)	30÷40	min
Initial mixture viscosity at:	25°C	IO-10-50 (EN13702-2)	2.200÷3.200	mPas
	40°C	IO-10-50 (EN13702-2)	800÷1.200	mPas
Gelation time	25°C (15ml;6mm)	IO-10-73 (*)	4,0÷5,0	h
Post-curing	100°C	(**)	(1-6)	h
	80°C	(**)	4-6	h
Suggested curing cycles		(**)	48h TA + 6h 80-100°C	

### TYPICAL CURED SYSTEM PROPERTIES

Properties determined on specimens cured: 48h TA + 6h 100°C

Property	Conditions	Method	Value	UM
Surface			Bright	
Density	25°C	IO-10-54 (ASTM D 792)	1,66÷1,70	g/ml
Hardness	25°C	IO-10-58 (ASTM D 2240)	84÷88	Shore D/15
Glass transition (T <sub>g</sub> )		IO-10-69 (ASTM D 3418)	90÷100	°C
Linear thermal expansion (T <sub>g</sub> -10°C)		IO-10-71 (ASTM E 831)	35÷45	10 <sup>-6</sup> /°C
Linear thermal expansion (T <sub>g</sub> +10°C)		IO-10-71 (ASTM E 831)	110÷120	10 <sup>-6</sup> /°C
Flammability		IO-10-68 (UL 94 V-0)	2,95	mm
Thermal conductivity		IO-10-87 (ASTM C518)	0,85÷0,95	W/(m°K)
Dielectric constant at:	25°C	IO-10-59 (ASTM D 150)	4,5÷5,5	
Loss factor at:	25°C	IO-10-59 (ASTM D 150)	35÷45	x 10 <sup>-3</sup>
Volume resistivity at:	25°C	IO-10-60 (ASTM D 257)	3 x 10 <sup>14</sup> ÷6 x 10 <sup>14</sup>	Ohm x cm
Dielectric strength	25°C	IO-10-61 (ASTM D 149)	19÷21	kV/mm
Tracking index		IEC 60112	>600	CTI
Flexural strength		IO-10-66 (ASTM D 790)	75÷85	MN/m <sup>2</sup>
Strain at break		IO-10-66 (ASTM D 790)	1,3÷2,3	%
Flexural elastic modulus		IO-10-66 (ASTM D 790)	6.500÷7.500	MN/m <sup>2</sup>
Tensile strength		IO-10-63 (ASTM D 638)	40÷50	MN/m <sup>2</sup>
Elongation at break		IO-10-63 (ASTM D 638)	1,2÷2,2	%
Compressive strength		IO-10-72 (ASTM D 695)	95÷105	MN/m <sup>2</sup>

**Sales office South Europe:**

ELANTAS Camattini S.p.A.  
Strada Antolini n° 1 loc. Lemignano  
43044 Collecchio (PR)  
Italy  
Tel +39 0521 304711  
Fax +39 0521 804410  
info.elantas.camattini@altana.com  
www.elantas.com

**Sales office Central Europe:**

ELANTAS Beck GmbH  
Grossmannstr. 105  
20539 Hamburg  
Germany  
Tel +49 40 78946 0  
Fax +49 40 78946 349  
info.elantas.beck@altana.com  
www.elantas.com

**Sales office North Europe:**

ELANTAS UK Ltd  
Keate House  
1 Scholar Green Road  
Cobra Court  
Manchester M32 0TR  
United Kingdom  
Tel +44 161 848 8411  
Fax +44 161 848 0966  
sales.elantas.uk@altana.com  
www.elantas.com

**Legenda:**

IO-00-00 = Elantas Camattini's test method. The correspondent international method is indicated whenever possible.

nd = not determined      na = not applicable      RT = TA = laboratory room temperature (23±2°C)

Conversion units:      1 mPas = 1 cPs      1MN/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup> = 1 MPa

(\*) for larger quantities pot life is shorter and exothermic peak increases

(\*\*) the brackets mean optionality

(\*\*\*) The maximum operating temperature is given on the basis of laboratory information available being it function of the curing conditions used and of the type of coupled materials. For further possible information see post-curing paragraph.

**Disclaimer:**

The information given in this publication is based on the present state of our technical knowledge but buyers and users should make their own assessments of our products under their own application conditions.

**Manufactured: ELANTAS Camattini S.p.A. Strada Antolini n° 1 loc. Lemignano, 43044 Collecchio (PR), Italy**  
**www.elantas.com**

**BEZPEČNOSTNÍ LIST**  
dle (ES) č. 1907/2006**WEVO-CHEMIE GmbH**Platný od : 25.02.2010  
Nahrazuje vydání z : 25.09.2008Počet stran : 5  
Datum vydání:**\*1. IDENTIFIKACE LÁTKY / PŘÍPRAVKU A SPOLEČNOSTI / PODNIKU****Informace o výrobku**Obchodní jméno : **WEVO – ZALÉVACÍ HMOTA PU 403**  
Použití : **Pryskyřičná komponenta na výrobu polyuretanů**Firma : WEVO -CHEMIE GmbH  
Schönbergstrasse 14  
D - 73760 Ostfildern - Kernat  
Telefon : +49 711 - 16761 - 0  
Fax č. : +49 711 - 16761 - 44  
e-mail : [MSDS@wevo-chemie.de](mailto:MSDS@wevo-chemie.de)  
Informace pro případ nouze : +49 711 – 16761 – 0**2. IDENTIFIKACE NEBEZPEČNOSTI**Dráždí oči a kůži.  
Může vyvolat sensibilizaci při styku s kůží  
Škodlivé pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí.

Označení nebezpečí: Xi – N – R 36/38 – R 43 – R 52/53

**3. SLOŽENÍ / INFORMACE O SLOŽKÁCH**

Chemická charakteristika: Minerály plněná směs na bázi polyetherpropyolenu, obsahující epoxidovou pryskyřici na bázi bisphenolu A.

Složky	Číslo CAS	Symbol nebezpečí	R-věta	Obsah
epoxidová pryskyřice z Bisfenolu A a epichlorhydrinu průměrná molekulová hmotnost < 700 Číslo ES (NLP): 500-033-5	25068-38-6	Xi, N	R 36/38 – R 43 – R 51/53	< 15 %

**4. POKYNY PRO PRVNÍ POMOC**

**Všeobecné pokyny :** Zbytky pryskyřice znečištěný oděv ihned svléci a použít opět po vyčištění.

**Při zasažení očí :** Okamžitě minimálně 15 minut nepřetržitě proplachovat vodou. Vyhledat očního lékaře.

**Při zasažení pokožky :** Znečištěný oděv ihned odstranit. Postiženou pokožku dostatečně umýt vodou za použití jemného mycího prostředku. Při trvalém podráždění vyhledat lékaře.

**Při požití :** Nevyvolávat zvracení. Pít v malých douškách vodu (vyvolat zředovací účinky). Konzultovat lékaře.

**Při vdechnutí :** Zraněného dopravit na čerstvý vzduch. Uvést do klidné polohy - uvolnit dýchací cesty. Vyhledat lékaře.

**5. OPATŘENÍ PRO HAŠENÍ POŽÁRU**

**Zvláštní nebezpečí :** V případě požáru mohou kromě hlavních hořavin oxidu uhelnatého a monoxidu uhelnatého vzniknout další zdravotně závadné hořlavé plyny a páry.

**Hasicí prostředky :** Oxid uhelnatý, pěna, suché hasicí prostředky (hasicí prášek), vodní pěna.

**Ochranné vybavení :** Použít dýchací přístroj nezávislý na ozduší. Obléci ochranný chemický oděv.

**BEZPEČNOSTNÍ LIST**  
dle (ES) č. 1907/2006**WEVO-CHEMIE GmbH**Platný od : 25.02.2010  
Nahrazuje vydání z : 25.09.2008Počet stran : 5  
Datum vydání:**Obchodní jméno: WEVO – ZALÉVACÍ HMOTA PU 403****5. OPATŘENÍ PRO HAŠENÍ POŽÁRU****Nevhodné hasicí prostředky :** Silný proud vody (z bezpečnostních důvodů)**Doplňující údaje :** Hasící vodu nevypouštět do kanalizace, půdy nebo povodí. Zabezpečit proto dostatečnou možnost zadržení hasící vody. Kontaminovaná hasící voda a půda musí podle místních předpisů zajištěna.**6. OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU****Opatření na ochranu osob:**

Použití ochranné vybavení (viz kap. 8). Zajistit dostatečné pro-/odvětrání. Zamezit přítomnosti nepovolaných osob.

**Opatření na ochranu životního prostředí:** Zamezit proniknutí do povrchových i spodních vod, odpadních vod nebo do zeminy.**Metody čištění:** Zachytit chemickým pojivem, případně suchým pískem a skladovat v uzavřených nádobách.**Další pokyny:** Další zneškodnění látky viz kapitola 13.**7. ZACHÁZENÍ A SKLADOVÁNÍ****Zacházení**

Dodržovat obvyklá bezpečnostní opatření pro zacházení s chemikáliemi. Zamezit styku s pokožkou a očima.

Na pracovištích, příp. na částech aparatury, kde mohou vznikat aerosoly a/nebo páry ve vyšších koncentracích (např. místo uvolnění tlaku odvodušňování forem, profouknutí mísících hlav tlakovým vzduchem), je nutno zajistit účinné (cílené) odsávání vzduchu. Proudění vzduchu musí probíhat směrem od osob. Účinnost zařízení musí být přezkušována v pravidelných intervalech.

Všeobecně je nutno zajistit opatření proti elektrostatickému náboji, v závislosti na aparatuře, manipulaci a obalu produktu.

**Skladování**

Uchovávejte obal těsně uzavřený a suchý

Skladovací teplota v souladu s ochranou osob: max. 50 °C.

**Doporučení – optimální skladovací teploty: 15°C až 25°C**

Německá třída skladování (VCI = Verband der 10 - životnímu prostředí škodlivá tekutina Chemischen Industrie):

**8. OMEZOVÁNÍ EXPOZICE / OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY****Osobní ochranné prostředky:****Všeobecná ochranná a hygienická opatření:** Zdržovat od potravin, nápojů a krmiv. Zašpiněné, nasáknuté šaty ihned vysvléci. Před přestávkami a po práci umýt ruce. Zamezit styku s pokožkou a zrakem. Během práce nejíst a nepít. Ochranný oděv odděleně přechovávat. Plyny/páry/aerosoly nevdechovat.**Ochrana dýchacího ústrojí:** Při nedostatečném větrání ochrana dýchacího ústrojí. Filtr AX-P2

**BEZPEČNOSTNÍ LIST**  
dle (ES) č. 1907/2006**WEVO-CHEMIE GmbH**Platný od : 25.02.2010  
Nahrazuje vydání z : 25.09.2008Počet stran : 5  
Datum vydání:**Obchodní jméno: WEVO – ZALÉVACÍ HMOTA PU 403****8. OMEZOVÁNÍ EXPOZICE / OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY****Ochrana rukou:**Používat jen rukavice pro chemikálie podle normy EN 374 (Evropa), F739 (SSA)  
Správný výběr rukavic nezávisí jen na materiálu, ale také na dalších kritériích, která se liší podle výrobce.Ostatní údaje viz [www.gisbau.de](http://www.gisbau.de)**Pro trvalý kontakt jsou vhodné rukavice z následujícího materiálu (BTT >480 min):**

Butylkaučuk, Ethylvinylalkohollaminat (EVAL), Rukavice z PVC

**Při krátkodobém kontaktu jsou vhodné rukavice z následujícího materiálu****(10min<BTT<480min):**

Nitrilkaučuk, Ethylvinylalkohollaminat (EVAL), Rukavice z neoprénu. Rukavice z PVC

**Ochrana očí:** Použijte osobní ochranné prostředky pro oči a obličej.**Ochrana kůže a těla:** Použijte vhodný ochranný oděv.**9. FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI**

Forma	:	kapalné		
Barva	:	přírodní, černá, bílá		
Zápach	:	charakteristický		
Hustota	:	1,74 – 1,80	g/cm <sup>3</sup>	při 22°C
Viskozita	:	20.000 – 30.000	mPa.s	při 22°C
Bod vzplanutí	:	> 190	°C	
Meze výbuchu	:	Meze nezjištěny		
Mísitelnost s vodou	:	mísitelný		

**10. STÁLOST A REAKTIVITA****Nebezpečné reakce:** Může reagovat s aminy, merkaptany a isocyanaty při vytvoření značného tepla.**Vyhýbatí se látkám:** Silným oxidačním prostředkům, silným kyselinám a silným zásadám.**Vyhýbatí se podmínkám:** Statické odládování**Nebezpečné produkty při rozpadu:** Oxydy uhlíku. Hořením vzniká škodlivý jedovatý kouř.**Termický rozklad :** Nenastane do bodu varu.**11. TOXIKOLOGICKÉ INFORMACE**

Výrobek dosud nebyl toxikologicky vyšetřován. Na základě výrobků podobného složení lze odvodit očekávanou akutní toxicitu LD 50 krysa oral v oblasti &gt; 2000 mg/kg.

Dráždivý/leptavý účinek je analogický jako u srovnatelného výrobku.

**Působení na oči:** dráždící**Působení na kůži:** dráždící**Doplňující údaje:** Možné sensibilizující působení kožním kontaktem**Zkušenosti z praxe:** Nízkomolekulové epoxidové pryskyřice se ukázaly jako Dráždivé pro kůži a oči. Alergické reakce byly rovněž pozorovány.

**BEZPEČNOSTNÍ LIST**  
dle (ES) č. 1907/2006**WEVO-CHEMIE GmbH**Platný od : 25.02.2010  
Nahrazuje vydání z : 25.09.2008Počet stran : 5  
Datum vydání:**Obchodní jméno: WEVO – ZALÉVACÍ HMOTA PU 403****12. EKOLOGICKÉ INFORMACE**

Ekotoxikologická vyšetření přípravku nejsou k dispozici.

Zamezit proniknutí do povrchových i spodních vod, odpadních vod nebo do zeminy.

Protože sloučenina není biologicky snadno odbouratelná, musí se počítat s delšími dobami setrvání produktu ve vodě.

**13. POKYNY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ**

Likvidace při dodržení všech příslušných mezinárodních, národních a místních zákonů, předpisů a stanov.

Při zneškodňování v rámci EU je doposud platný odpadní klíč dle evropského katalogu odpadů (EWC).

**EAK-kód: 080409**

Prázdné obaly mohou být po vyprázdnění zbytku (vylití, setření, vysušení), dle charakteru balení, vráceny ve sběrnách určených pro sběr odpadů z chemického průmyslu. Zhodnocení musí odpovídat národním zákonům a předpisům o ochraně životního prostředí.

**14. INFORMACE PRO PŘEPRAVU****ADR/RID :** --**ADNR :** --**IATA :** --**IMDG :** --Další informace : Není přepravně nebezpečným zbožím.  
Uchovávat odděleně od potravin, pochutin, kyselin a alkálií.**15. INFORMACE O PŘEDPÍSECH****Označení podle právních linií EHS:****Poznávací písmeno a označení nebezpečnosti produktu:**

<b>Symboly nebezpečí:</b>	<b>Xi</b>	<b>Dráždivý</b>
<b>R-věty:</b>	R 36/38 R 43 R 52/53	Dráždí oči a pokožku Může vyvolat sensibilizaci při styku s kůží Škodlivé pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí.
<b>S-věty:</b>	S 28 S 37/39 S 61	Při styku s pokožkou se ihned umýt s mýdlem a velkým množstvím vody Používejte vhodné ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít. Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy.

**BEZPEČNOSTNÍ LIST**  
dle (ES) č. 1907/2006**WEVO-CHEMIE GmbH**Platný od : 25.02.2010  
Nahrazuje vydání z : 25.09.2008Počet stran : 5  
Datum vydání:**Obchodní jméno: WEVO – ZALÉVACÍ HMOTA PU 403****15. INFORMACE O PŘEDPÍSECH****Národní předpisy****Třída znečištění vod (Německo):** 2 vodu ohrožující (vlastní zařazení)**16. DALŠÍ INFORMACE**

Ochranná opatření při manipulaci s čerstvě vyrobenými polyuretanovými tvarovkami:

Za použití této suroviny mohou vyrobené polyuretanové tvarovky s nezakrytým povrchem v závislosti na parametrech zpracování při výrobě obsahovat na povrchu ještě stopy (např. výchozích a reakcí vzniklých katalyzátorů, separátorů) s nebezpečnými vlastnostmi. Musí být zamezeno kontaktu pokožky se stopami těchto látek. Při vyjímání dílů z formy a další manipulaci s čerstvě vyrobenými díly by měly být používány alespoň textilní ochranné rukavice, které jsou především v oblasti dlaně z vnější strany opatřeny vrstvou z nitrilkaučuku, PVC nebo PUR. Ochranné rukavice je nutno denně vyměňovat. Doporučuje se za podmínek obvyklého zacházení s čerstvými polyuretanovými tvarovkami používat odpovídající ochranný oděv

R-věty s příslušnými čísly z kapitoly 2 a 3

- |         |  |
|---------|--|
| R 36/38 | Dráždí oči a pokožku   |
| R 43    | Může vyvolat sensibilizaci při styku s kůží  |
| R 51/53 | Toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí.  |
| R 52/53 | Škodlivé pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí. |

V zájmu bezpečné manipulace s polyuretanem věnujte pozornost následujícím věstníkům:

Věstník M 044 : Zpracování polyuretanu a izokyanátu (vydalo profesní sdružení chemického průmyslu)

Věstník M 053 : Všeobecná pracovní-bezpečnostní opatření pro zacházení s nebezpečnými látkami (vydalo profesní sdružení chemického průmyslu)

**\* Údaje oproti předchozí verzi změněny**

Náš výrobek je popsán shora uvedenými údaji, které odpovídají dnešnímu stavu znalostí a zkušeností, a se zřetelem k dalším bezpečnostním požadavkům a k označování ve smyslu platné legislativy. Není s tím však spojeno zaručení vlastností. Pro zpracování důležitá data výrobku se musí zjistit v technickém datovém listu a specifikacích. V těchto materiálech uvedené údaje se vztahují jen na označený výrobek. Pokud se tento výrobek používá společně s jinými látkami nebo i v nějakém zpracovatelském procesu, pak tyto údaje už nemohou odpovídat skutečnosti.