

Elektricky vodivá lepidla

Electrically Conductive Adhesives

Bc. Michal Pořízek

Diplomová práce
2016

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Pořízek**
Osobní číslo: **A13386**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Elektrovodivá lepidla**
Téma anglicky: **Electrically Conductive Adhesives**

Zásady pro vypracování:

1. Popište fyzikální vlastnosti lepidel s ohledem na jejich strukturu.
2. Provedte analýzu trhu s elektrovodnými lepidly.
3. Popište základní způsoby aplikace těchto lepidel.
4. Navrhněte desky plošných spojů, které budou použity při ověřování parametrů lepidel.
5. Ověřte parametry vybraných lepidel v laboratoři.
6. Doporučte způsoby využití elektrovodivých lepidel pro aplikace v bezpečnostních technologiích.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. SANDLER, J.K.W., J.E. KIRK, I.A. KINLOCH, M.S.P. SHAFFER a A.H. WINDLE. Ultra-low electrical percolation threshold in carbon-nanotube-epoxy composites. *Polymer* [online]. 2003, 44(19), 5893-5899 [cit. 2016-02-04]. DOI: 10.1016/S0032-3861(03)00539-1. ISSN 00323861. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0032386103005391>.
2. PREAULT, Valentin, Romain CORCOLLE, Laurent DANIEL a Lionel PICHON. Effective Permittivity of Shielding Composite Materials for Microwave Frequencies. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2013, 55(6), 1178-1186 [cit. 2016-02-04]. DOI: 10.1109/TEMC.2013.2265173. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6532368>.
3. TZONG-LIN WU, Frits BUESINK a Flavio CANAVERO. Overview of Signal Integrity and EMC Design Technologies on PCB: Fundamentals and Latest Progress. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* [online]. 2013, 55(4), 624-638 [cit. 2016-02-04]. DOI: 10.1109/TEMC.2013.2257796. ISSN 0018-9375. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6511981>.
4. RIEKE, G. *Detection of light: from the ultraviolet to the submillimeter*. 2nd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2003, xi, 363 p. ISBN 0521017106.
5. PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006, xxi, 983 p. ISBN 9780471755005.

Vedoucí diplomové práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

5. února 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2016

Ve Zlíně dne 5. února 2016

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce „Elektricky vodivá lepidla“ je ověřit parametry elektricky vodivých lepidel používaných, mimo jiné, při realizaci vodivých spojení mezi elektronickými součástkami a deskami plošných spojů. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá analýzou trhu aktuálně nabízených výrobků v oblasti elektricky vodivých lepidel a popisem vlastností udávaných výrobcem. Praktická část práce se zaměřuje na ověření vodivostních parametrů v laboratoři a na základě výsledků měření probíhá výběr vhodného typu lepidla pro aplikace v bezpečnostních technologiích. Práce není zaměřena na lepidla používaná při řešení antistatických podlah.

Klíčová slova: kompozity, nanotechnologie, epoxidová pryskyřice, reaktoplasty, termoplasty, elektrická vodivost, elektrický odpor, elektricky vodivé lepidlo, elektricky vodivý lak, matrice, plnivo

ABSTRACT

The goal of the thesis "The electricity conductive glue" is to verify the parameters of adhesives conducting electricity, that are used, beside other uses, in creating conductive connections between electronic components and circuit boards. The thesis is organized into a theoretical and a practical section. The theoretical part deals with market analysis of currently available products in the field of electrically conductive adhesives and descriptions of the properties by the manufacture. Practical work will focus on verifying the conductivity parameters in the laboratory, and based on the measurement results, the selection of a suitable type of adhesive for applications in security technologies. Work is not focused on adhesives that are used in antistatic flooring.

Keywords: composites, nanotechnology, epoxid resin, reaktoplastics, thermoplastics, electrical conductivity, electrical resistance, electrically conductive adhesive, electrically conductive lacquer, matrix, filler

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc., za odborné rady, vedení při tvorbě práce a trpělivost, kterou mi věnoval.

Dále bych rád poděkoval panu Ing. Milanu Navrátilovi, Ph.D., za věcné připomínky v problematice laboratorních měření.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

I	TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1	STRUKTURA ELEKTRICKY VODIVÉHO LEPIDLA.....	11
1.1	VAZEBNÍ SLOŽKA	11
1.2	VODIVÁ SLOŽKA.....	11
2	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL.....	14
2.1	PERKOLAČNÍ TEORIE	14
2.2	IZOTROPNÍ A ANIZOTROPNÍ ELEKTRICKY VODIVÁ LEPIDLA	15
2.3	ELEKTRICKÁ REZISTIVITA A VODIVOST	15
2.3.1	Mechanismy ovlivňující rezistivitu lepeného spoje.....	16
3	ANALÝZA TRHU.....	17
3.1	M.G. CHEMICALS LTD.	17
3.1.1	Parametry lepidel Silver Conductive Epoxy 8330, 8330s, 8331 a 8331s	17
3.2	AMEPOX MICROELECTRONICS LTD.	18
3.2.1	Parametry lepidla ELPOX 656 S	19
3.2.2	Parametry lepidla ELPOX AX 12EV	19
3.2.3	Parametry lepidla ELPOX AX 12LVT	19
3.2.4	Parametry lepidla ELPOX AX 15S.....	19
3.2.5	Parametry lepidla ELPOX ER 55MN	19
3.2.6	Parametry lepidla ELPOX ER 63MN	20
3.2.7	Parametry lepidla ELPOX SC 24D.....	20
3.2.8	Parametry lepidla ELPOX SC 65MN	20
3.2.9	Parametry lepidla ELPOX SC 70MN	20
3.2.10	Parametry lepidla ELPOX SC 515.....	20
3.3	PERMACOL B.V.....	21
3.3.1	Parametry lepidel Permacol	21
3.3.2	Parametry vodivých laků.....	21
3.4	HENKEL AG & Co. KGAA.....	21
3.4.1	Eccobond 56C	22
3.4.2	Eccobond 57C	22
3.4.3	Eccobond 59C	22
3.4.4	Eccobond 83C	22
3.4.5	Eccobond 64C	22
3.4.6	Loctite 3888	22
3.4.7	Loctite 3863	23
3.5	ELCHEMCo, SPOL. S R. O.	23
3.5.1	Wire Glue	23
3.5.2	Elektricky vodivý lak EL-2.....	23
3.5.3	Elektricky vodivý lak EL-3.....	24
4	ZPŮSOBY APLIKACE LEPIDEL	25

4.1	DISPENZNÍ NANÁŠENÍ	25
4.2	NANÁŠENÍ LEPIDLA ŠABLONOVÝM TISKEM /SÍTOTISKEM.....	26
4.3	NANÁŠENÍ LEPIDLA HROTEM	28
4.4	ZAJIŠTĚNÍ ČISTOTY DPS.....	29
4.5	DODRŽENÍ PROFILU VYTVRZOVÁNÍ	29
II	PRAKTICKÁ ČÁST	30
5	NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	31
5.1	NÁVRHOVÝ SOFTWARE	31
5.1.1	Parametry desek	31
5.2	APLIKACE LEPIDLA.....	32
5.3	NÁVRH DESKY PRO FOTOCITLIVÝ PRVEK.....	33
5.4	EXPERIMENT VYTVOŘENÍ OSCILÁTORU ODPOROVÝM DĚLIČEM A VYHŘÍVACÍM REZISTOREM.....	34
5.5	EXPERIMENT VYTVOŘENÍ TERMOSTATU S ODPOROVÝM DĚLIČEM	37
6	OVĚŘENÍ PARAMETRŮ LEPIDEL V LABORATOŘI.....	39
6.1	PŘÍSTROJE PRO PROVEDENÍ MĚŘENÍ.....	39
6.1.1	Pec Memert UNP 200	39
6.1.2	Multimetr HP 34401A.....	39
6.1.3	Multimetr ROHDE & SCHWARZ 8112-3.....	40
6.2	PRŮBĚH MĚŘENÍ ODPORU VZORKŮ	40
6.2.1	Naměřené hodnoty pro teploty od 25 do 100 °C.....	41
6.2.2	Naměřené hodnoty pro teploty od 85 do 100 °C.....	46
6.3	CYKlickÉ OHŘÍVÁNÍ A CHLAZENÍ	49
6.4	MĚŘENÍ ZÁVISLOSTI ODPORU NA TEPLITĚ U VRATNÝCH POJISTEK.....	53
6.5	MĚŘENÍ ZMĚNY ODPORU FOTODETEKTORU	55
6.6	MĚŘENÍ FREKVENCE OSCILÁTORU S VYHŘÍVACÍM REZISTOREM	57
6.7	MĚŘENÍ TERMOSTATU	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

ÚVOD

V posledním století dochází k velmi rychlému rozvoji vědních a technických oborů, což otevírá stále nové možnosti v těchto oborech. Tento vývoj umožňuje realizovat aplikace, které mohly být před několika lety neproveditelné, nebo proveditelné jen velmi složitě, což znemožňovalo masové nasazení v sériových a velkosériových výrobcích, ať už by byla důvodem cena nebo nestabilní kvalita produkovaných výrobků.

Elektricky vodivá lepidla určitě patří do předem zmíněných odvětví, jsou to kompozitní materiály a jsou jednou z možných variant vyhnutí se například olovnatému pájení, jehož užívání v Evropské unii není doporučeno od 1. července 2006 směrnicí RoHS, přičemž bezolovnaté pájecí pasty mají mírně odlišné vlastnosti než pasty olovnaté, zejména tavicí teplotu, ale také mají v určitých aspektech nižší odolnost. Kompozitní materiály v sobě spojují dvě či více složek, patří mezi ně i elektricky vodivá lepidla, která jsou svou podstatou a vlastnostmi velmi odlišná od pájených spojů. Obecně můžeme říci, že pájené spoje mohou být vystaveny prostředí s vyšší vlhkostí, výkyvy teplot a mechanickým namáháním, než je tomu u spojů tvořených vodivými lepidly. Ovšem existují aplikace, kde se bez těchto lepidel nelze obejít, mezi majoritní zastoupení použití ECA patří technologie chip on the glass, využívaná při výrobě zobrazovacích jednotek LCD displejů, vodivé spojování na DPS a tvorba stínění při ochraně před EMI. [38, 40]

Velmi důležitým rokem pro ECA se stal rok 1991, kdy dr. Sumiijo Iijima objevil duté válcové útvary, jejichž rozměry jsou v řádech 10^{-9} m, tzv. nanotuby. [36]

Tato diplomová práce je v teoretické části zaměřena na popis složení lepidel a laků, analýzu trhu aktuálně dostupných ECA. V praktické části pak na měření elektrických vlastností lepidel a laků a závislostí těchto vlastností na teplotě, dále se práce zaměřuje na možnosti rozšíření portfolia možných aplikací elektricky vodivých lepidel.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STRUKTURA ELEKTRICKY VODIVÉHO LEPIDLA

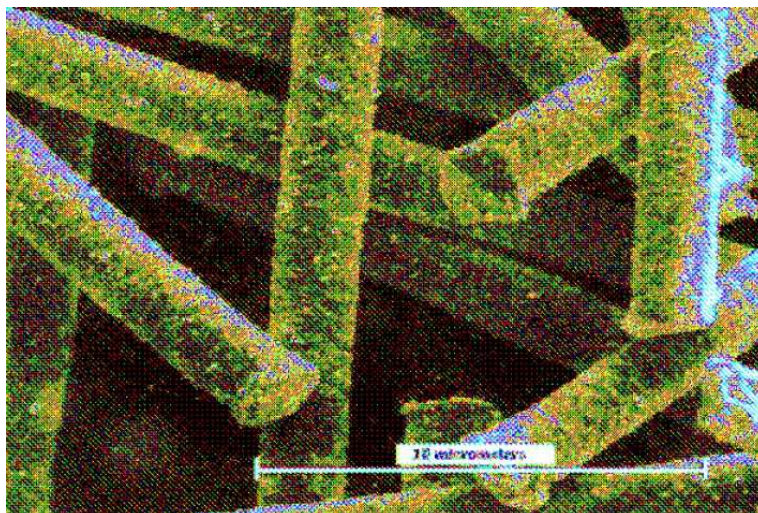
Všechna aktuálně na trhu dostupná elektricky vodivá lepidla se skládají ze dvou částí, a to pojiva a plniva.

1.1 Vazební složka

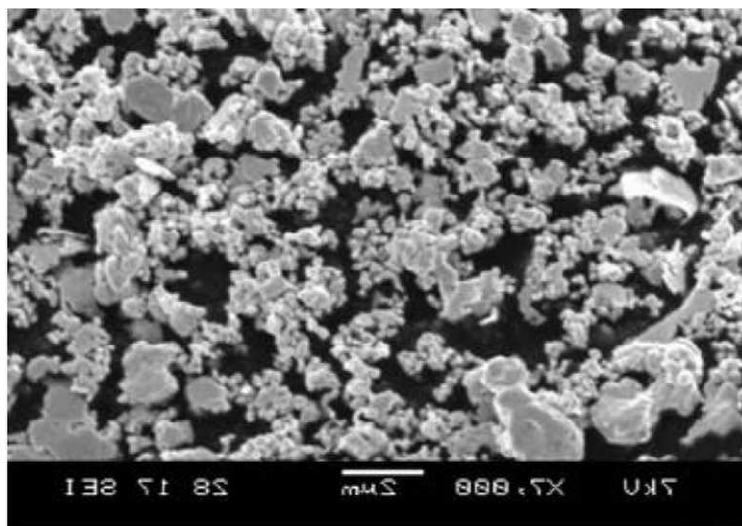
Pojivo neboli vazební složka (binder) má po vytvrzení vodivému spoji zajistit mechanickou pevnost a stálost, udržet vodivé částice na stále stejném místě a zamezit tím jejich pohybu, který by mohl negativně ovlivnit elektrické a mechanické vlastnosti tohoto spoje. Jako pojivo se v drtivé většině používají reaktoplastické epoxidové pryskyřice, patřící mezi polymery. Výhoda těchto pryskyřic je v jejich tvrdosti a naopak za nevýhodu lze považovat jejich křehkost, kterou lze částečně snížit použitím vhodného plniva (karbonová vlákna apod.). Druhou vlastností, kterou lze také označit za nevýhodu, je nemožnost pozdějšího opětovného rozpuštění pojiva například zahřátím, protože v reaktoplastech, pokud je tváření trojrozměrné vazební sítě jednou dokončeno, nelze již vazby rozdělit jinak než destruktivně. V ostatních méně častých případech se můžeme setkat s pojivem silikonovým, akrylátovým, polyimidovým u vodivých laků alkydovým a polyimidovým. Lze se také setkat s lepidly založenými na bázi termoplastů, kde je výhoda lépe proveditelných pozdějších oprav, protože termoplasty lze dodáním tepelné energie opět rozpustit. Pojivo samotné je izolant a tvoří tzv. izolační matici lepidla.

1.2 Vodivá složka

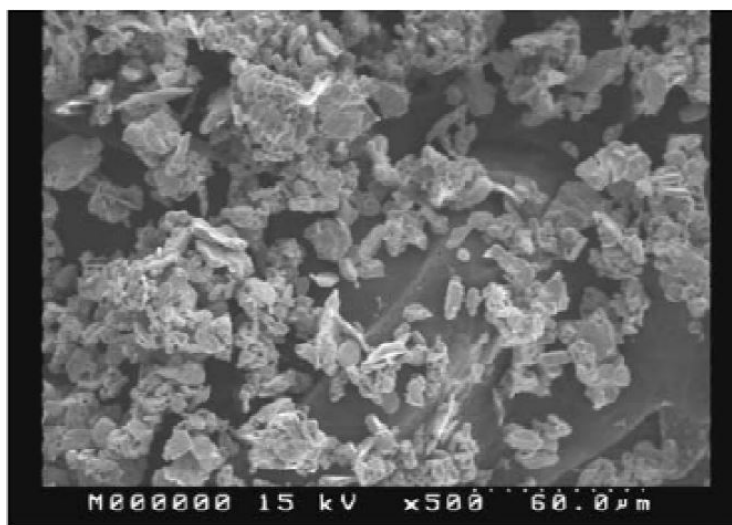
Funkce plniva neboli vodivé složky (filler) spočívá ve vytvoření vodivých cest v izolační matici lepidla za účelem průchodu elektrického proudu. Tato složka bývá tvořena elektricky vodivými částicemi kovů, případně uhlíkového prachu nebo vláken v nejméně častých případech nevodivými částicemi s elektricky vodivým povrchem. Nejlepších elektrických vlastností dosahují lepidla, kde jako plnidlo jsou použity částice zlata, ovšem toto řešení se jeví kvůli ceně zlata jako příliš drahé. Na následujících obr. 1–5 je možno vidět příklady vodivých částic obsažených v lepidlech.



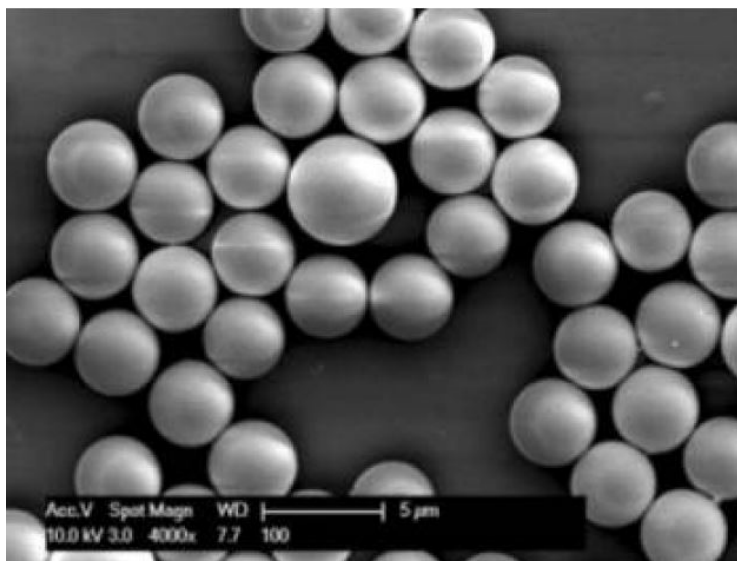
Obr. 1 – Bazaltová vlákna pokrytá stříbrem [18]



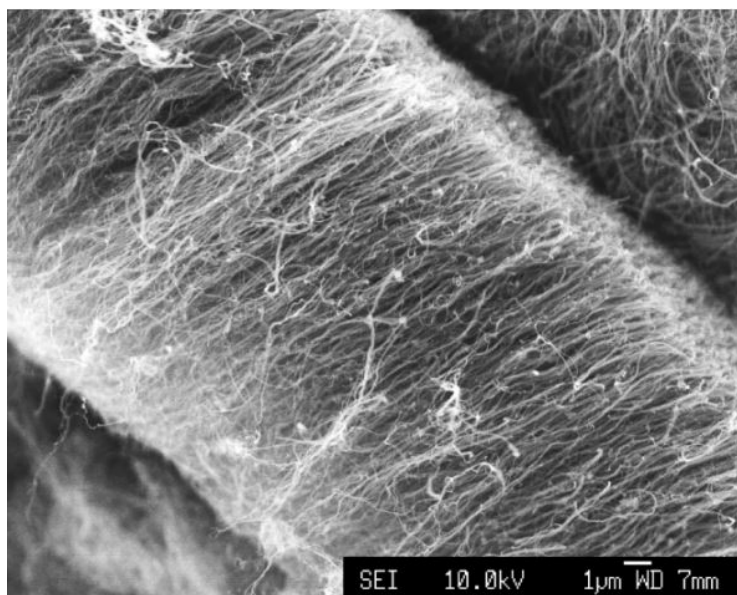
Obr. 2 – Stříbrné nanošupinky [18]



Obr. 3 – Pozlacené nanočástice mědi [18]



Obr. 4 – Stříbrné nanokuličky [18]



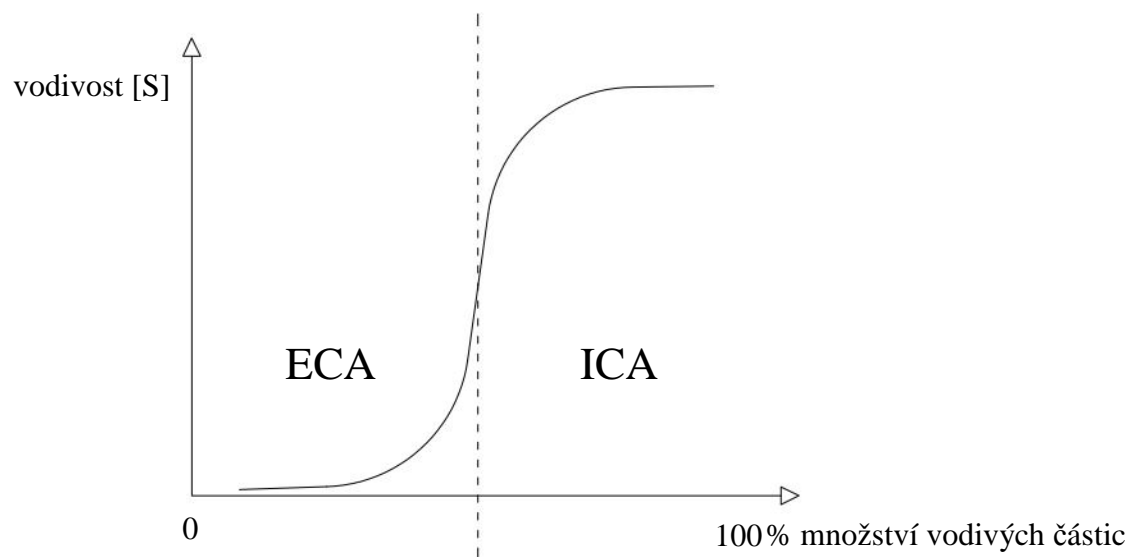
Obr. 5 – Karbonové nanotrubičky [19]

2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL

Elektricky vodivá lepidla lze rozdělit podle „typu vodivosti“ do dvou základních skupin, a to na lepidla izotropní (ICA – Isotropic Conductive Adhesives) a anizotropní (ACA – Anisotropic Conductive Adhesives). Rozdílné vlastnosti těchto lepidel jsou způsobeny existencí tzv. perkolační teorie, která bude samostatně popsána dále.

2.1 Perkolační teorie

Plnění pojiva elektricky vodivými částicemi určitého prvku doprovází zajímavý jev, který vysvětluje právě teorie perkolace. Velká většina polymerů jsou za normálních okolností izolanty, pokud ale začneme například epoxidovou pryskyřici plnit elektricky vodivými nanočásticemi, nejprve se bude materiál chovat, jako bychom do něj vůbec nic nepřidali, bude to tedy stále izolant. V určitém % bodě objemu vodivých částic, například v epoxidovém pojidle lepidla, ale začne docházet k velmi prudkému zvýšení vodivosti, a to i za dalšího malého zvýšení objemu částic v pojidle lepidla. Tomuto „úseku“ říkáme oblast perkolačního prahu. Po překonání perkolačního prahu už dochází jen k velmi malému zvyšování vodivosti a další zvyšování koncentrace vodivých částic nemá příliš smysl. Jinak můžeme definovat perkolační práh jako takovou koncentraci plniva v pojidle, při které dojde k vytvoření první vodivé cesty přes celý objem materiálu [17]. Problematika perkolační teorie je velmi složitá, blíže se jí zabývají publikace [19, 37].



Obr. 6 – Perkolační křivka

2.2 Izotropní a anizotropní elektricky vodivá lepidla

- Izotropní elektricky vodivá lepidla – Vodivou složkou v těchto lepidlech jsou souměrné vodivé částice např. kulového tvaru a vodivost těchto lepidel je ve všech směrech stejná. Základní matricí těchto lepidel s izotropní vodivostí bývají většinou epoxidové pryskyřice.
- Anizotropní elektricky vodivá lepidla – Vodivou složkou jsou většinou vodivé částice nesouměrného tvaru, například uhlíková vlákna, záleží zde na jejich orientaci, kdy se vlákna například po nanesení štětcem podélně seřadí v jednom směru. Vodivost ve směru tahu štětcem by potom měla být vyšší než ve směrech ostatních. Publikace [17, 18, 19, 38] popisují různé možnosti, jak anizotropní vodivosti dosáhnout, základní myšlenka, že takové lepidlo vykazuje různé vodivosti v různých směrech, je ale vždy zachována.

2.3 Elektrická rezistivita a vodivost

Elektrickou rezistivitu můžeme jinak nazvat také měrný elektrický odpor, je to fyzikální veličina charakterizující elektrické odporové či vodivostní, protože rezistivita je převrácená hodnota vodivosti, vlastnosti látek vedoucích elektrický proud. Značka této veličiny doporučená normou ČSN EN 80000:2008 je ρ a její jednotka [$\Omega \cdot m$], před zjednodušením [$\Omega \cdot m^2 \cdot m^{-1}$].

Pro výpočet měrné elektrické rezistivity platí následující vztah:

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

kde R je elektrický odpor vodiče v [Ω], S je obsah průřezu vodiče v [m^2], l je délka vodiče [m].

Jak je již napsáno výše, elektrická vodivost je převrácená hodnota rezistivity, je to fyzikální veličina jinak nazývaná také jako konduktivita. Tato veličina popisuje, jak dobře je daný materiál schopen vést elektrický proud, respektive udává velikost proudu procházejícího vodičem při určitém napětí na jeho koncích.

Měrnou elektrickou vodivost lze vypočítat vztahem:

$$\sigma = \frac{lG}{S}$$

kde G je elektrická vodivost vodiče [S].

2.3.1 Mechanismy ovlivňující rezistivitu lepeného spoje

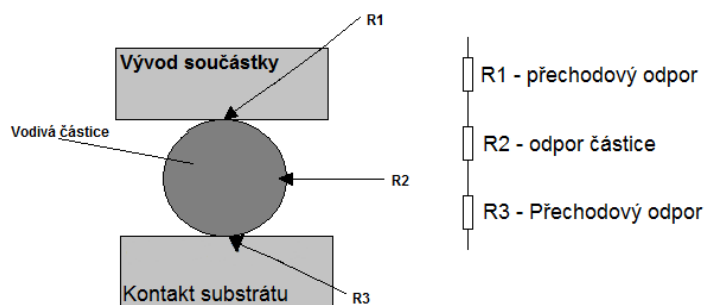
Aby prováděná měření odporu byla přesnější, můžeme do měření zavést další faktor, a to změnu odporu látky v závislosti na teplotě vodivých částic.

Pro výpočet měrné elektrické rezistivity se závislostí na teplotě platí potom vztah:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t)$$

kde ρ_0 je počáteční měrný odpor (zpravidla při teplotě 20–25 °C, teplota se odvíjí od použitých tabulek), α je teplotní součinitel elektrického odporu (udává míru změny rezistivity při změně o 1 °C), poslední činitel ze vztahu Δt je rozdíl teplot (mezi 20–25 °C, jak jsme si řekli, závisí na tom, při jaké teplotě je udáváno ρ_0), Δt může nabývat kladných i záporných hodnot.

Obecně lze skladbu odporu lepeného spoje popsat následujícím obrázkem:



Obr. 7 – Odpor lepeného spoje

Na přecházejícím obrázku *Obr. 7* je vyobrazeno složení celkového odporu lepeného spoje, jedná se o zjednodušený model, mezi kontakty součástky a substrátu pravděpodobně nebude nikdy jen jedna částice a lepidlo se po aplikaci součástek na DPS bude pravděpodobně nacházet i po stranách kontaktů připojené součástky, základní princip je ale z obrázku zřejmý.

Pro zlepšení elektrických vlastností lepených spojů se využívá různých technik – od větší plochy kontaktních ploch, přes výběr vhodného tvaru a velikosti vodivých částic, až po způsob míchání před nanesením nebo metodu nanášení. [18]

3 ANALÝZA TRHU

Touto analýzou nemáme na mysli analýzu z pohledu marketingu, ale analýzu trhu aktuálně dostupných elektrovedivých lepidel. Přínosem této analýzy má být vytvoření uceleného přehledu subjektů produkujících ECA a sestavení jejich produktového portfolia. Z důvodu velkého množství aktuálně produkovaných ECA nebylo možno zahrnout do analýzy všechny na trhu dostupné výrobky.

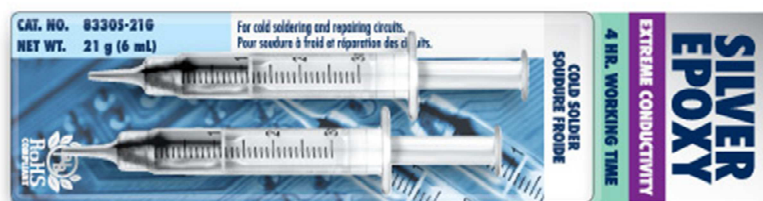
3.1 M.G. Chemicals Ltd.

Kanadský výrobce a prodejce chemických produktů pro elektronický průmysl, mimo elektrovedivých lepidel vyrábí například silikony, mazadla, EMI a RFI stínící nátěry, teplovodivá lepidla. Distributorská síť této firmy se nachází v Kanadě, USA a v některých dalších zemích.

3.1.1 Parametry lepidel Silver Conductive Epoxy 8330, 8330s, 8331 a 8331s

Protože jsou si jednotlivé varianty dle mého názoru příliš podobné, rozhodl jsem se nepopisovat jejich vlastnosti u každého zvlášť (rozdíly jsou dobře patrné z datasheetu). Podle dostupných informací vyrábí tento výrobce elektricky vodivá lepidla, kde je vodivá složka v pojivu zastoupena stříbrem. Lepidlo vyrábí ve čtyřech variantách, kde hlavním odlišovacím parametrem každé varianty je elektrická rezistivita, doba tuhnutí a vytvrzování. Všechna elektricky vodivá lepidla tohoto výrobce jsou dvousložková s poměrem mísení 1:1. Pracovní čas těchto lepidel se pohybuje v rozmezí od deseti minut až do čtyř hodin v závislosti na typu použitého lepidla. Lepidlo s pracovním časem čtyři hodiny lze namíchat a ve výrobním procesu s ním dále zacházet jako s lepidlem jednosložkovým, ovšem se zachováním výhody vytvrzování lepidla za nižších teplot, než je tomu u lepidel jednosložkových. Těchto vlastností se využívá především pro studené „pájení“ tepelně citlivých součástek na desky PCB. Tato lepidla mají dobrou přilnavost k materiálům jako hliník, bronz, mosaz, měď, ocel, sklo, dřevo, plasty, papír, tkaniny a pryžové povrchy. Vytvrzené lepidlo má dobrou odolnost vůči tepelnému a mechanickému namáhání, za stálého zachování nízkého elektrického odporu. Lepidlo může být použito i jako tepelně vodivé. Výrobky jsou standardně dodávány v balení 6, 50 a 200 ml. Parametry těchto lepidel je také předurčují k použití při tvorbě EMI a RFI stínění a jsou velmi efektivní při vyplňování mezer mezi kovovými deskami. Jejich primárními aplikacemi jsou montáž elektroniky v mikroelektronice a optoelektronice. Toho se hojně

využívá v automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, přístrojích pro vojenskou komunikaci, přístrojové technice a v průmyslových řídicích zařízeních. [1] Parametry jednotlivých variant lepidel tohoto výrobce jsou specifikovány v tabulkách *Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4.*



Obr. 8 – Nejmenší z možných variant balení lepidla – 6 gramů [1]

3.2 Amepox Microelectronics Ltd.

Tato společnost byla založena roku 1991 v Polsku, konkrétně ve druhém nejlidnatějším polském městě Lodž, kde se společnost nachází až do dnešní doby. Zaměřením společnosti od začátku bylo vyrábět vodivá lepidla pro aplikaci v elektronice a mikroelektronice. Od počátku zahrnuje výrobní program Amepoxu výrobu různých typů stříbrných prášků a šupin s vysokou hodnotou „čistoty“ materiálu až pod 5 ppm příměsí a právě se dokončuje příprava výroby nových typů prášků a šupin stříbra. Společnost Amepox Microelectronics nevyrobí jen elektricky vodivá lepidla, ale také:

- **Elpox** – vodivá lepidla, kterými se budeme dále zabývat,
- **Glass-silver** – pasty pro aplikace ve výrobě solárních panelů,
- **Electon** – pružné pasty, které jsou elektricky vodivé a flexibilní po polymeraci a mohou být použity při výrobě klávesnic a v elastických tištěných obvodech,
- **Thermopox** – tepelně vodivé a elektricky izolační pasty,
- **Fluxpox** – pasty vodící magnetický tok, což výrobek předurčuje pro použití v ochraně proti radiolokaci.

Za zmínku stojí také aktuální zaměření společnosti na nanotechnologie, částice jejich nanoprášku používaného jako vodivá výplň v lepidlech dosahují 3–8 nm, což zlepšuje vlastnosti produktů.

V současnosti se dle svých slov tento výrobce zaměřil na možnost výroby prášku atomové velikosti, což je docela zajímavé, uvažíme-li, že velikost atomu je přibližně 10^{-10} m.

3.2.1 Parametry lepidla ELPOX 656 S

Dvousložkové lepidlo, použitelné pro vytvoření vodivých spojů v elektronických obvodech. Vyznačuje se dokonalou přilnavostí na různé materiály, zejména sklo, křemen, polovodičové čipy, některé plasty a kovy. Toto lepidlo bylo vytvořeno primárně pro lepení elektronických součástek, jako jsou rezistory, kondenzátory, tranzistory, diody a LE diody. Minimální balení tohoto lepidla je 100 gramů a skladování se doporučuje v prostorách s teplotou neklesající pod 10 °C. Další parametry jsou specifikovány v příložené tabulce *Tab. 5*.

3.2.2 Parametry lepidla ELPOX AX 12EV

Dvousložkové epoxidové lepidlo, bez ředidel, obsahující čisté stříbrné šupinky, jeho využití je primárně určeno do výrobních procesů elektroniky. Jedná se o jednu z modifikací typu ELPOX AX 12. Má jemnou konzistenci pasty a velmi dobrou přilnavost zejména k materiálům jako sklo, křemen, čipy a oxidem pokryté kovy. Lepidlo je snadno použitelné a má dlouhou dobu zpracovatelnosti po namíchání. Doplňující parametry najdeme v tabulce *Tab. 6*.

3.2.3 Parametry lepidla ELPOX AX 12LVT

Proti předchozí variantě je hlavním rozdílem nižší viskozita. Odkaz na tabulku parametrů *Tab. 7*.

3.2.4 Parametry lepidla ELPOX AX 15S

Dvousložkové lepidlo, 100% pevné, bez ředidel, velká viskozita. Epoxidové pojivo obsahuje stříbrné šupinky té nejvyšší čistoty. Určeno zejména pro ruční aplikaci a krátké výrobní série. Možnost aplikace na pružné substráty. Tabulka parametrů lepidla *Tab. 8*.

3.2.5 Parametry lepidla ELPOX ER 55MN

Jedná se o jednosložkové, elektricky vodivé, stříbrem plněné lepidlo na epoxido-fenolovém základě. Lepidlo bylo vytvořeno pro spojování měděných ploch a dosahuje vysoké teplotní odolnosti. Navrženo pro spojování typu „sandwich“ mezi křemíkem, sklem, keramikou a kovy. Lepidlo se používá pro rychlé výrobní procesy a dá se s ním pracovat celou směnu, aniž by předčasně vyschlo. Parametry lepidla najdeme v příložené tabulce *Tab. 9*.

3.2.6 Parametry lepidla ELPOX ER 63MN

Jedná se o jednosložkové, elektricky vodivé, stříbrem plněné lepidlo na epoxidofenolovém základě. Lepidlo bylo vytvořeno primárně pro spojování měděných povrchů a využívá se při osazování oboustranných PCB. Má vysokou a stabilní elektrickou vodivost. Lepidlo se používá pro rychlé výrobní procesy a dá se s ním pracovat celou směnu, aniž by předčasně vyschlo. Parametry lepidla najdeme v příložené tabulce *Tab. 10*.

3.2.7 Parametry lepidla ELPOX SC 24D

Jedná se o jednosložkové lepidlo bez ředidel s velmi rychlým profilem vytvrzení. Epoxidová báze naplněná stříbrnými šupinkami, velmi hladká, měkká a tixotropní pasta. Toto lepidlo udržuje velmi přesný tvar, má velmi dobrou přilnavost především na křemen, polovodičové čipy a kovy. Vytvořeno pro lepení kondenzátorů, tranzistorů, LE diod, CMOS čipů. Lepidlo je určeno pro použití v nanášecích a osazovacích strojích. Tabulka parametrů *Tab. 11*.

3.2.8 Parametry lepidla ELPOX SC 65MN

Jedná se o jednosložkové, elektricky vodivé, stříbrem plněné lepidlo na epoxidofenolovém základě. Lepidlo bylo vyvinuto pro spojování měděných povrchů, může být použito v průchodech oboustranných PCB. Používá se v procesech s velkou rychlostí výroby. Odkaz na tabulku parametrů *Tab. 12*.

3.2.9 Parametry lepidla ELPOX SC 70MN

Jedná se o jednosložkové, elektricky vodivé, stříbrem plněné lepidlo na epoxidofenolovém základě. Opět jde o pastu určenou ke spojování měděných ploch a k vytváření propojů u oboustranných PCB. Pasta je určena pro vysokorychlostní výrobní procesy. Nemění viskozitu ani na velké ploše pokryté tenkou vrstvou tohoto lepidla. Odkaz na tabulku parametrů *Tab. 13*.

3.2.10 Parametry lepidla ELPOX SC 515

Jednosložkový, epoxidový základ tohoto lepidla je plněný stříbrem pro získání elektricky vodivých vlastností. Přípravek je určen pro lepení čipů v mikroelektronických a optoelektronických aplikacích. Výhodou je jeho snadné a rychle vytvrzení při teplotách kolem 150 °C. Pasta je velmi měkká, s aktivním rozpouštědlem a velmi nízkou viskozitou. Parametry jsou specifikovány v příložené tabulce *Tab. 14*.

3.3 Permacol B.V.

Tato firma byla založena v roce 1974 v Nizozemí a je už více jak 30 let dodavatelem průmyslových lepidel. Nabízí rozsáhlé portfolio lepidel pro lepení kovů, plastů, keramických materiálů, skla a pryže. Mimo tuto oblast se firma zaměřuje i na speciální SMD lepidla, tato lepidla jsou určena pro montáž DPS. Dlouholeté zkušenosti na poli průmyslového lepení, a to především v oblasti chemie polymeračních soustav a reologie materiálů, tvoří stabilní základnu pro výrobu kvalitních lepidel. Vyrábí se zde lepidla pro lepení SMD součástek k DPS před procesem pájení pájecí vlnou, ale jak nás bude zajímat, tak i lepidla elektricky vodivá. Dále Permacol vyrábí například licí pryskyřice k ochraně komponentů nebo celých obvodů před nepříznivými vlivy.

3.3.1 Parametry lepidel Permacol

Jedno- nebo dvousložková elektricky vodivá lepidla, plněná ze 70–80 % stříbrnými šupinkami. Jedná se o lepidla na bázi epoxidových pryskyřic nebo akrylátu, jsou určena jako náhrada pájecích past a k opravám DPS. [15] Zde je přiložena tabulka parametrů těchto lepidel *Tab. 15*.

3.3.2 Parametry vodivých laků

Kvůli podobnosti elektricky vodivých lepidel a laků jsem se rozhodl zahrnout do diplomové práce také vodivé laky tohoto výrobce. [15] Odkaz na parametry elektricky vodivých laků *Tab. 16*.

3.4 Henkel AG & Co. KGaA

Společnost Henkel byla založena v roce 1876 a sídlí v německém městě Düsseldorfu. Ve své mezinárodní působnosti zaměstnává cca 50 tisíc zaměstnanců a poskytuje své výrobky ve třech oblastech, mezi které patří prací a čisticí prostředky, kosmetika a lepidla především pro průmyslové aplikace. Vůbec první dodávka lepidel opustila brány závodu 22. července roku 1923. Tento historický mezník předznamenal zrození obchodní divize, ve které je dnes tato společnost světovou jedničkou. Dále se budeme zaměřovat pouze na vybraná elektricky vodivá lepidla tohoto výrobce.

3.4.1 Eccobond 56C

Jedná se o stříbrem plněné, dvousložkové epoxidové lepidlo s velmi dobrým vedením tepla. Pro dosažení optimálních parametrů vyžaduje tvrzení v prostředí se zvýšenou teplotou, je učeno pro použití tam, kde je horké pájení nepraktické nebo z určitých důvodů není možné. Parametry lepidla jsou uvedeny v tabulce *Tab. 17*.

3.4.2 Eccobond 57C

Dvousložkové, epoxidové lepidlo s velkou adhezí k různým substrátům, které lze tvrdit při pokojové teplotě. Jeho určení je pro ty aplikace, kde není možné horké pájení. Poměr mísení tohoto lepidla je 1:1 váhových nebo objemových procent. Parametry lepidla jsou uvedeny v *Tab. 18*.

3.4.3 Eccobond 59C

Jednosložkové, silikonové lepidlo citlivé na tlak, dosahuje velmi velké flexibility a velmi vysoké lepivosti. Parametry lepidla se nachází v *Tab. 19*.

3.4.4 Eccobond 83C

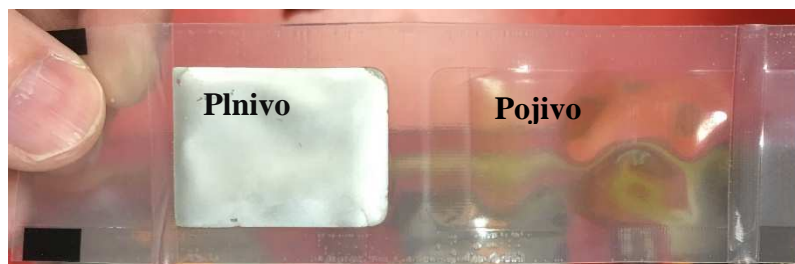
Dvousložkové, stříbrnými částicemi plněné epoxidové lepidlo. Před použitím má konzistenci jemné pasty. Poskytuje dobrou tepelnou vodivost a vyžaduje pro dosažení optimálních vlastností tvrzení při zvýšené teplotě. Odkaz na parametry lepidla *Tab. 20*.

3.4.5 Eccobond 64C

Dvousložkové lepidlo, plněné jemnými částicemi niklu, které lze správně vytvrdit při pokojové teplotě. Jedná se o levné lepidlo s dostatečnou vodivostí. Doporučeno pro aplikace, kde dochází ke kontaktu se slanou vodou a u částic stříbra by docházelo k rychlé korozi. Lepidlo má epoxidový základ. Přiložená tabulka s parametry lepidla *Tab. 21*.

3.4.6 Loctite 3888

Epoxidová báze plněná stříbrem, lze jej vytvrdit při pokojové teplotě. Určeno k lepení kovů, keramiky, gumy a plastů. [33] Lepidlo dosahuje také dobré tepelné vodivosti, ostatně jako většina lepidel plněných kovovými částicemi v závislosti na jejich obsahu v lepidle. Jedná se o dvousložkové lepidlo a je poměrně drahé, na nadcházejícím obrázku vidíme 2,5gramové balení za cca 1 400 Kč. Parametry se nachází v *Tab. 23*.



Obr. 9 – 2,5gramové balení lepidla Loctite

3.4.7 Loctite 3863

Jde o elektricky vodivý lak, kde jsou jako vodivá složka použity částice stříbra, určený pro použití primárně při opravách poškozených vyhřívání oken automobilů. Aplikace tohoto vodivého laku není doporučena v systémech pracujících s kyslíkem nebo k těsnění chlůru. Optimální teplota pro aplikaci je od 8 do 21 °C, při aplikaci při teplotách pod 8 °C a nad 28 °C může dojít k negativnímu ovlivnění výsledných vlastností laku.

3.5 ELCHEMCo, spol. s r. o.

Firma byla založena v roce 1992 v České republice, jejím prvotním účelem byla výroba a distribuce chemických přípravků pro domácí řemeslníky a kutily zejména v oboru elektrotechniky. Šlo o pájecí kapaliny usnadňující pájení mosazi, hliníku a mědi. Dále pak různé přípravky na výrobu desek. [25]

3.5.1 Wire Glue

Lepidlo určené pro vývoj, výrobu a opravy elektronických zařízení a jejich DPS. Nanáší se ručně párátkem, tyčinkou nebo jehlou. [25] Dle výrobce lze lepidlo používat i ve venkovním prostředí. Jako vodivá složka jsou v tomto lepidle použity mikro uhlíkové částice, jejich pojivo je založeno na vodouředitelné bázi. Vzhledem k jeho poměrně nízké vodivosti je určeno pro nízkoproudové aplikace. Parametry lepidla Tab. 24.

3.5.2 Elektricky vodivý lak EL-2

Elektricky vodivý lak, který se používá na opravy elektricky vodivých cest nebo na vytváření nových, dále je určen k vytváření vodivých vrstev při tvorbě elektromagnetických stínění, k odvádění elektrostatických nábojů apod. Plnivo v tomto laku je stříbro a je nutné ho před použitím důkladně promíchat, nanášet jej pak lze hrotem, nebo štětečkem. [25] Prodává se v balení 4 ml. Naleptává některé plasty, např. polystyren

kvůli v laku použitému ředidlu, kterým je podle zápachu pravděpodobně aceton. Parametry lepidla uvedeny v příloze *Tab. 25*.

3.5.3 Elektricky vodivý lak EL-3

Opět dle výrobce určeno k opravám vodivých cest například na DPS nebo vytváření nových. Dále na vytváření stínících vrstev na nevodivých materiálech, podstatný rozdíl proti EL-2 je v odolnosti vodivé vrstvy proti otěru, která je zde nižší, než je tomu u laku EL-2. Vodivostní parametry tohoto lepidla jsou horší než u EL-2 a vodivá složka je tvořena grafitovým prachem. [25] Parametry lepidla uvedeny v přílohouvé části práce *Tab. 26*.

4 ZPŮSOBY APLIKACE LEPIDEL

Následující kapitola bude popisovat možné způsoby nanášení lepidel na DPS. Proces nanášení elektricky vodivého lepidla má velmi velký vliv na kvalitu výsledného spoje, přesněji řečeno na jeho elektrické a také mechanické vlastnosti. Před samotnými způsoby nanášení lepidel bude dobré specifikovat některé možné chyby a jejich následky:

1. **Příliš malé množství lepidla** – elektrický odpor spoje zde může být zbytečně vysoký a mechanická pevnost příliš malá, může docházet k odpadnutí součástek z DPS, spoj může být náchylný k praskání.
2. **Příliš velké množství lepidla** – mechanická pevnost zde bude pravděpodobně v pořádku, odpor spoje také. Může ale dojít ke zkratu, vlivem přetečení lepidla a vytvoření vodivé cesty v nežádoucím místě. Za zmínku stojí také zbytečně velká spotřeba lepidla, poměrně drahého materiálu, při osazování DPS.
3. **Neodmaštěné kontaktní plochy** – při aplikaci na nedostatečně čistou plochu mohou být ovlivněny obě vlastnosti, jak mechanická pevnost, tak odpor spoje.
4. **Nesprávný profil vytvrzení** – většina lepidel vyžaduje specifický profil vytvrzení, přesněji řečeno velmi záleží na době a teplotě vytvrzování, trvání působení teploty, jejím náběhu i ochlazení. [39]

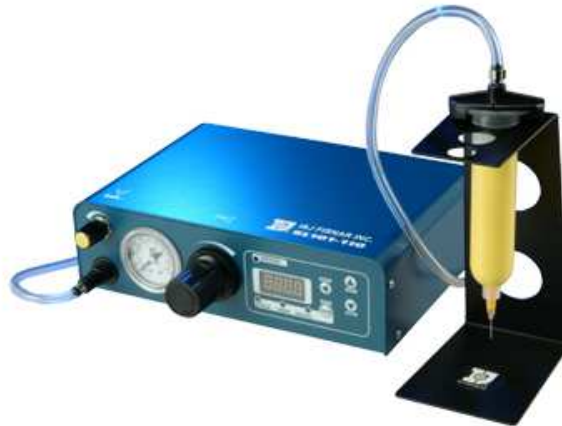
Prvních dvou chyb, které jsem popsal, je možno se vyvarovat použitím správného způsobu nanášení lepidla. Rozhodl jsem se proto popsat tři nejčastější způsoby nanášení těchto lepidel, kterými jsou:

- Dispenzní nanášení
- Sítotisk
- Nanášení hrotem

4.1 Dispenzní nanášení

Tento způsob nanášení lepidla se provádí dispenzním zařízením. Jde o zařízení, které pomocí přetlaku vytvořeného v nádobě s lepidlem vytlačuje lepidlo kapilárou na kontaktní plochy DPS. Pro dokonalejší nanášení je možno vybavit nanášecí kapiláru zdrojem

ultrazvuku, který zapříčiní snížení viskozity lepidla při průtoku kapilárou a také napomáhá k promíchání lepidla. Viskozita lepidla se po nanesení lepidla na substrát vrátí na původní hodnoty, takže k nežádoucímu roztékání lepidla by nemělo docházet. Dispenzní přístroj může být ruční, nebo automatizovaný s robotem.



Obr. 10 – Ruční dispenzer SL 101-220 [28]

Dispenzer na předchozím obrázku je určen pro ruční nanášení pájecích past a lepidel na plošky DPS určených pro součástky SMD. Samozřejmě lze upravovat velikost tlaku a dobu vytlačování, kterou lze nastavit od hodnot 0,01 s až do 9999 s. Tento dispenzer také umožňuje funkci cyklování, kdy v pravidelných cyklech vytlačuje předem definované množství lepidla nebo pasty. [26]



Obr. 11 – Robotizovaný dispenzer [27]

4.2 Nanášení lepidla šablonovým tiskem /sítotiskem

Poněkud méně přesné než nanášení automatizovaným dispenzním robotem, přesnost je ale stále dostačující pro většinu aplikací, poskytuje jednu velkou výhodu proti dispenznímu

nanášení lepidla, a tou je nepoměrně vyšší rychlost nanášení. Při procesu nanášení lepidla je DPS překryta šablonou, ve které jsou na přesně definovaných místech laserem vypáleny otvory, přes tyto otvory je stěrkou protlačeno požadované množství lepidla, toto množství nejvíce ovlivňuje tloušťka šablony a viskozita lepidla. Po nanesení lepidla je šablona nadzvednuta směrem vzhůru a odejmuta (používá se zde tzv. odtrh cca 10 mm/s), aby nedošlo k rozmazání lepidla, po odejmutí je možno na DPS umístit elektronické součástky.

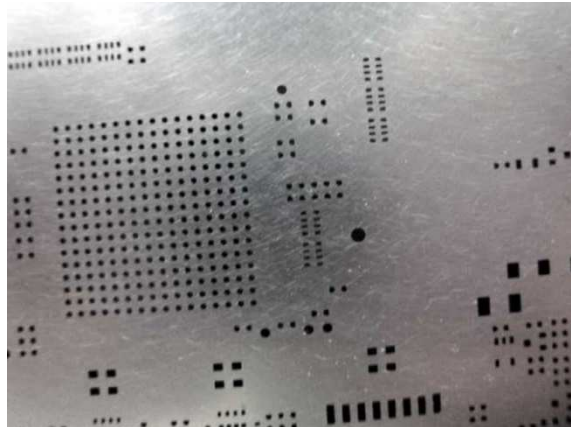


Obr. 12 – Manuální nanášecí zařízení pro šablonový tisk [29]

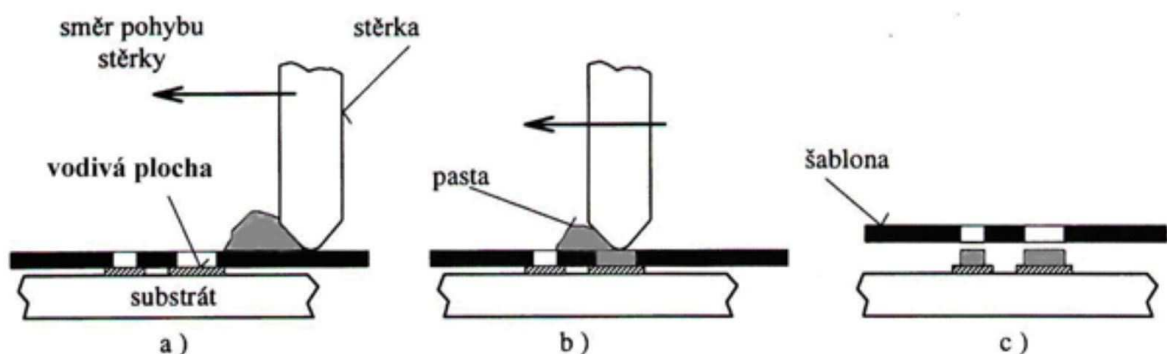


Obr. 13 – Automatické síťotiskové zařízení [30]

Rozdíl mezi šablonovým tiskem a síťotiskem spočívá v tom, že u síťotisku jsou na požadovaných místech překryty otvory sítěmi, přes tato místa potom není lepidlo protlačeno stěrkou až na DPS, ostatní principy této metody jsou totožné se šablonovým tiskem.



Obr. 14 – Příklad šablony pro šablonové nanášení lepidla [31]



Obr. 15 – Průběh nanášení elektricky vodivého lepidla šablonovým tiskem – a) před tiskem, b) během tisku, c) stav po nanesení a odejmutí šablony [32]

Velikost volných ploch v šabloně (při nanášení pájecí pasty je souhlasná s velikostí pájecích plošek) a tloušťka šablony definuje množství nanášené pasty. Používané tloušťky šablon se volí podle velikosti a uspořádání pájecích plošek, a to od běžně používaného provedení o tloušťce 0,15 mm (používá se pro pasivní součástky kvádrového a válcového tvaru, jako jsou např. kondenzátory, rezistory, trimry apod.), až po minimální tloušťky 0,1 mm (pro součástky s velmi malými pájecími ploškami, jako jsou např. „Fine Pitch“, u nichž je rozteč vývodů 0,5 mm a méně). [32]

4.3 Nanášení lepidla hrotem

Nanášení hrotem patří mezi nejméně technologicky náročné způsoby aplikace, je pomalé a přesnost je ovlivněna obsluhou více, než je tomu u předchozích způsobů aplikování lepidla. Provádí se pomocí hrotu nebo i více hrotů najednou, jejichž konce se ponoří do mělké nádoby s lepidlem. Lepidlo ulpí na konci hrotu a je přeneseno na požadovanou kontaktní plochu na DPS. Při kontaktu hrotu a kontaktní plošky spoje dojde k přenesení

části lepidla na kontaktní plošku, kde je později přiložena elektronická součástka. Je možno použít jeden, nebo více hrotů naráz, samozřejmě s použitím více hrotů se manipulace stává složitější.

4.4 Zajištění čistoty DPS

Pokud je DPS z nějakého důvodu znečištěna mastnotou, je možné ji odmastit např. izopropanolem. Z praxe jsem se dověděl, že se problém znečištěných desek ve firmách zabývajících se osazováním nových DPS příliš nevyskytuje, při provádění oprav už by ale tento problém nastat mohl, potom bude desku před aplikací lepidla nutno nejprve očistit a vysušit.

4.5 Dodržení profilu vytvrzování

Vhodná pec pro vytvrzování elektricky vodivých lepidel je pec průběžná s možností nastavení několika zón, protože některé typy lepidel vyžadují předehřívání na začátku tvrdícího procesu a následně pozvolné chlazení na jeho konci. Obecně lze říci, že postupné zvyšování, respektive snižování teplot je k materiálům šetrnější než skokové změny teplot.



Obr. 16 – Pájecí pec R460 [35]

Při prudkém ohřívání nebo ochlazení může dojít mimo jiné k popraskání materiálů. Bylo by možno používat například průběžnou horkovzdušnou pájecí pec R460 určenou pro pájení pájecími pastami.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

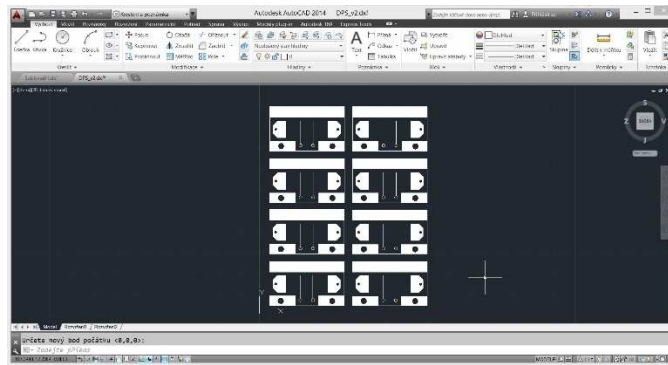
Dalším bodem diplomové práce je návrh DPS pro následnou aplikaci elektricky vodivých lepidel nebo laků. První možností bylo podle náčrtu nechat návrh a vyhotovení desky provést firmu zabývající se výrobou DPS, od toho jsem upustil kvůli složitosti pozdějších možných úprav, protože jsem si nebyl jistý tím, že hned první verze těchto desek budou vyhovovat nanášení lepidel nebo laků a následnému provádění měření na nich. V případě změn by se totiž musel zaplatit kompletní „přířez“ čítající minimálně cca 30 x 20 cm, což by navíc zapříčinilo velké množství nepoužitelných desek. Cena takového návrhu a vyhotovení desek by přesahovala 3 000 Kč bez DPH, což by v případě neúspěchu bylo příliš mnoho. Rozhodl jsem se proto zakoupit cuprexitové desky s fotocitlivou vrstvou, pozitivní vývojkou a leptací roztok a desky použité pro měření vzorků navrhnout a zhotovit kompletně sám, za podstatně nižších nákladů.

5.1 Návrhový software

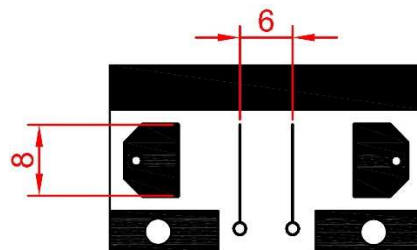
K návrhu DPS pro měření vlastností lepidel jsem se rozhodl, vzhledem k jejich nepříliš velké složitosti, použít software Autocad, který jsem měl už nainstalovaný. Přestože není k tomuto účelu primárně určen, je možné jej použít. Nepotřeboval jsem funkce jako trasování cest a knihovny patric potřebné při vytváření složitých DPS určených pro pozdější osazení elektronickými součástkami.

5.1.1 Parametry desek

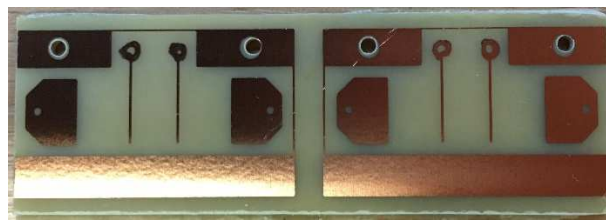
Desky by neměly být příliš malé, aby se dostatečně projevil měrný odpor, ale ani příliš velké, bral jsem ohled na cenu lepidel, která jsou poměrně drahá, a na menší desce ho spotřebujeme méně, odhadem jsem stanovil spotřebu lepidla na jednu desku cca 100 mm³. Jako vhodnou metodu pro měření vodivostních, respektive odporových parametrů jsem zvolil čtyřbodové měření, které při správném použití eliminuje dílčí odpory před měřeným vzorkem, bylo tedy nutno navrhnout desku se čtyřmi přípojnými body. V posledním bodě návrhu jsem se zabýval připevněním měřeného vzorku k nevodivé podložce, aby nedocházelo k převrácení vzorku vlivem tahu měřících vodičů. Desky budou vždy dvojité, na dva vzorky jednoho lepidla. Průběh je částečně vidět na následujících obrázcích obr. 16–18.



Obr. 17 – Pohled na návrhový systém Autocad



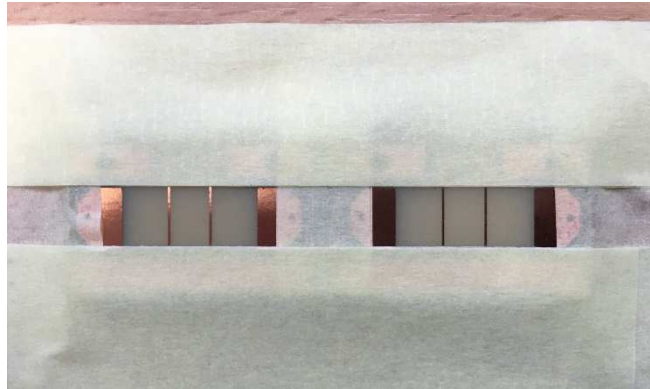
Obr. 18 – Náčrt DPS



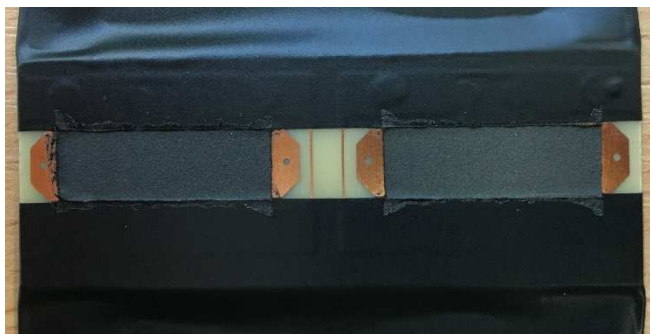
Obr. 19 – Výsledná měřicí deska, ze které je smytý UV citlivý lak

5.2 Aplikace lepidla

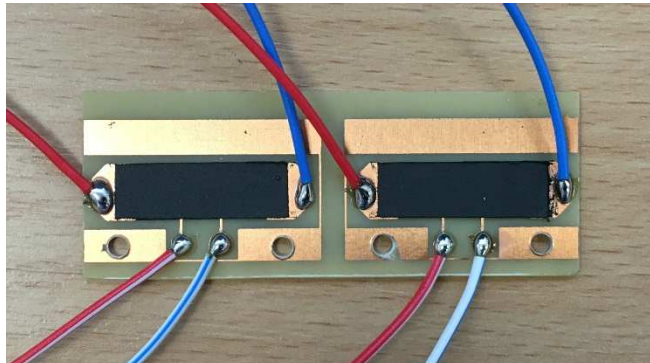
Dobře promíchané laky a lepidla jsem nanesl nerezovým páskem na desky přelepené páskem a následně setřel stěrkou. Po zaschnutí jsem odstranil krycí pásy, které bránily roztečení lepidel, bylo důležité, aby byla vodivá cesta mezi napěťovými elektrodami ve tvaru kvádru. Průběh aplikace je zobrazen na následujících obrázcích obr. 19–21. Lepidlo je nanášeno přes celou šířku proudových elektrod, tj. 8 mm, jak je patrné z *Obr. 18*.



Obr. 20 – Deska připravená na nanášení lepidla



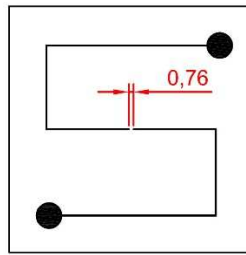
Obr. 21 – Nanesené lepidlo, krycí pásy jsou částečně odlepeny



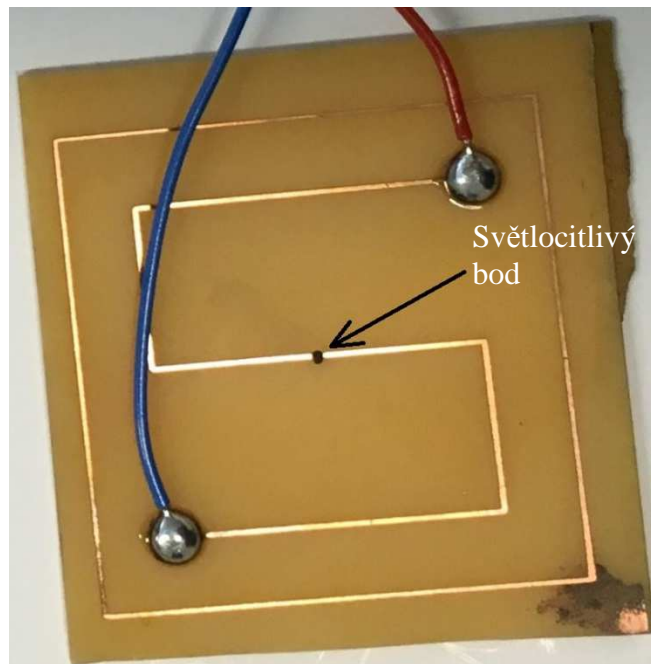
Obr. 22 – Deska připravená na měření

5.3 Návrh desky pro fotocitlivý prvek

Pro experiment, kde se budeme pokoušet s pomocí elektricky vodivého laku vytvořit fotocitlivý prvek, budeme potřebovat desku se dvěma vývody. Vodivé cesty vedoucí k těmto vývodům by měly být co možná nejtenčí, aby docházelo jen k malému odvodu tepla. Vytvořená součástka by měla dopadající světlo absorbovat, tím se zahřát a v důsledku toho zvýšit svůj elektrický odpor. Návrh desky je vyobrazen na následujícím obrázku, tloušťka čar je 0,5 mm.



Obr. 23 – Výstup návrhu desky fotocitlivého prvku

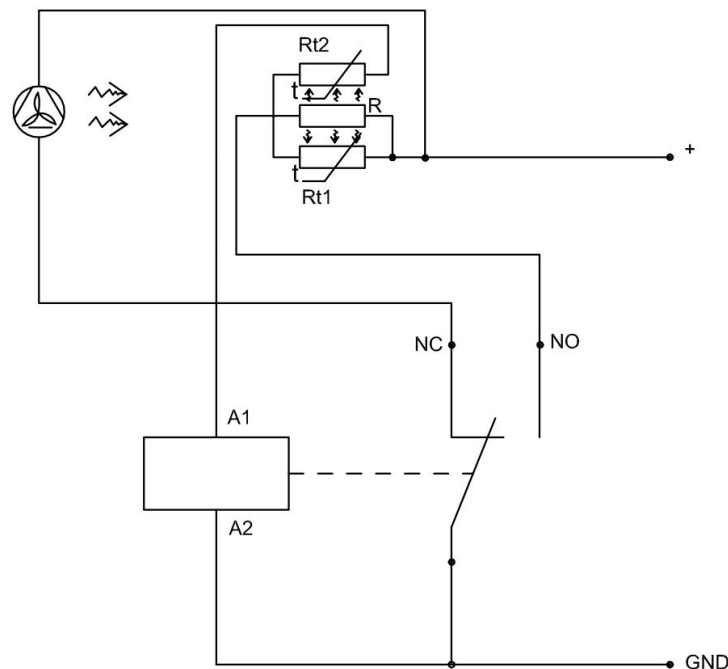


Obr. 24 – Vyleptaná deska s aplikovaným vodivým lakem EL-3

Po vyleptání desky jsem hrotem nanesl malé množství lepidla a laků do mezery přerušující elektricky vodivou cestu. Celkem byly vytvořeny 3 vzorky, z laků EL-2, EL-3 a lepidla Wire glue.

5.4 Experiment vytvoření oscilátoru odporovým děličem a vyhřívacím rezistorem

Cílem tohoto experimentu je vytvoření obvodu, který bude v časových cyklech spínat a rozpínat relé. Pro zajištění této funkce bude využit tepelně závislý rezistor vytvořený elektricky vodivým lakem EL-3 od společnosti ELCHEMCo, protože z předchozích měření vyplynulo, že má největší teplotní závislost, a proto bude jeho použití v tomto experimentu nejvhodnější.



Obr. 25 – Schéma oscilátoru s dvěma vyhřívacími rezistory

Rozhodl jsem se použít v tomto zapojení dva teplotně závislé rezistory (R_{t1} a R_{t2}), jelikož se při zkušebních měřeních projevilo, že zvyšování odporu teplotně závislého rezistoru není dostatečně velké, respektive se vlivem ochlazování rezistoru okolním vzduchem nepovede tento rezistor dostatečně ohřát.

Obvod bude mít dva astabilní stavy (za předpokladu, že bude stále připojeno napájecí napětí a na teplotně závislé rezistory nebudou příliš působit okolní vlivy, zejména proudění okolního vzduchu).

Popis možných stavů obvodu:

1. Stav – po připojení zdroje 22 V je napětí na cívce větší než 10,5 V, což je napětí nutné k sepnutí kontaktu NO, dojde k sepnutí kontaktu NO, začne procházet proud rezistorem R, což povede k jeho zahřívání, prostup tepla bude mít za následek zvyšování teploty k němu přiložených rezistorů R_{t1} a R_{t2} . Tím bude zvyšována rezistivita a úbytek napětí na rezistorech R_{t1} a R_{t2} , až se napětí na cívce dostane pod mezní hodnotu 4 V, což je nejnižší přídržná hodnota cívky, kdy je stále ještě kontakt NO průchozí, dojde k rozpojení kontaktu NO a ke spojení kontaktu NC.
2. Stav – napětí na cívce relé kleslo pod hranici 4 V, kontakt NO je rozpojený a NC je spojený, vyhřívacím rezistorem neprochází proud a nedochází k jeho zahřívání. Ventilátor připojený ke kontaktu NC je v provozu a zajišťuje oběh vzduchu, což

vede k ochlazování rezistorů R , R_{t1} a R_{t2} . Odporová hodnota rezistorů R_{t1} a R_{t2} klesá, úbytek napětí na těchto rezistorech tím pádem také, napětí na cívce relé roste, po dosažení 10,5 V obvod přechází do stavu 1.

Výpočet hodnot R_{t1} a R_{t2} :

Zapojení je sériové, platí, že proud v celém obvodu je stejný.

Hodnoty na počátku 1. stavu:

$$I_c = \frac{U_c}{R_c}$$

$$I_c = \frac{10,5}{2830,9}$$

$$I_c = \frac{10,5}{2830,9}$$

$$I_c = 0,37 \times 10^{-2} \text{ A}$$

$$U_{R_{t1}+R_{t2}} = U_{cc} - R_c \times I_c$$

$$U_{R_{t1}+R_{t2}} = 22 - 2830,9 \times 0,37 \times 10^{-2}$$

$$U_{R_{t1}+R_{t2}} = 11,5 \text{ V}$$

$$R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{R_{t1}+R_{t2}}}{I_c}$$

$$R_{t1} + R_{t2} = \frac{11,5}{0,37 \times 10^{-2}}$$

$$R_{t1} + R_{t2} = 3108,1 \Omega$$

Hodnoty na počátku 2. stavu:

$$I_c = \frac{U_c}{R_c}$$

$$I_c = \frac{4}{2830,9}$$

$$I_c = \frac{4}{2830,9}$$

$$I_c = 0,14 \times 10^{-2} \text{ A}$$

$$U_{R_{t1}+R_{t2}} = U_{cc} - R_c \times I_c$$

$$U_{R_{t1}+R_{t2}} = 22 - 2830,9 \times 0,14 \times 10^{-2}$$

$$U_{R_{t1}+R_{t2}} = 18 \text{ V}$$

$$R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{R_{t1}+R_{t2}}}{I_c}$$

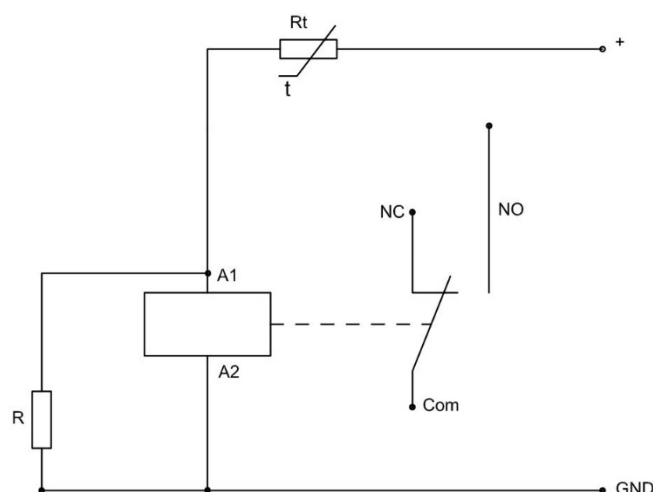
$$R_{t1} + R_{t2} = \frac{18}{0,14 \times 10^{-2}}$$

$$R_{t1} + R_{t2} = 12857,1 \text{ } \Omega$$

Hodnota rezistorů R_{t1} a R_{t2} je při teplotě $22 \text{ }^\circ\text{C}$ rovna $944 \text{ } \Omega$, dle výpočtů by tedy zapojení s těmito hodnotami součástek mělo fungovat.

5.5 Experiment vytvoření termostatu s odporovým děličem

Další experiment spočívá v sestavení teplotně spínaného/rozpínaného prvku.



Obr. 26 – Schéma termostatu

Princip fungování je následující, při úbytku napětí na cívce vyšším než $10,5 \text{ V}$ dojde k sepnutí relé, pokud pak úbytek napětí na cívce klesne vlivem zahřívání rezistoru R_t pod

cca 4,2 V, dojde k jeho rozepnutí. Po opětovném ochlazení rezistoru R_t pod určitou hodnotu relé opět sepne. Hodnota mnou vytvořeného teplotně závislého rezistoru je při 22,5 °C cca 1976 Ω .

Výpočet hodnoty rezistoru R_2 :

Uvažujeme, že úbytek napětí na rezistoru R_t bude při napájecím napětí 25 V cca 14,5 V, a potom platí:

$$U_{cc} = R_t \times I + R_{2c} \times I$$

$$25 = 1976 \times I + 10,5$$

$$14,5 = 1976 \times I$$

$$I = 0,734 \text{ mA}$$

Zjednodušíme paralelní zapojení rezistoru R a cívky relé na jeden rezistor s úbytkem 10,5 V a počítáme obvod jako sériový.

$$R_{R+cívka} = \frac{U_{R+cívka}}{I}$$

$$R_{R+cívka} = \frac{10,5}{0,734 \times 10^{-2}}$$

$$R_{R+cívka} = 1430,518 \Omega$$

Při paralelním zapojení rezistorů platí:

$$\frac{1}{R_{R+cívky}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_{cívky}}$$

$$\frac{1}{1430,518} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2830,9}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1430,518} - \frac{1}{2830,9}$$

$$R = 2891,821 \Omega$$

6 OVĚŘENÍ PARAMETRŮ LEPIDEL V LABORATOŘI

Ověřování vodivostních, respektive odporových parametrů vzorků jsem prováděl v laboratoři. Vzorky jsem umístil do pece, kde jsem pozvolna zvyšoval teplotu po pěti stupních Celsia, měření začínalo od teploty prostředí v laboratoři, tj. cca 25 °C až 160 °C. Pro měření odporu jsem zvolil kvůli zajištění vyšší přesnosti čtyřbodovou metodu. Měření odporových vlastností jsem prováděl na třech druzích vodivých laků a jednom lepidle. Z každého druhu jsem zhotovil dva vzorky.

6.1 Přístroje pro provedení měření

6.1.1 Pec Memert UNP 200

Univerzální elektrická pec Memert UNP 200 o vnitřním objemu 32 litrů a elektrickém příkonu 1 100 W. Minimální nastavitelná teplota je 5 °C nebo teplota okolí, pokud přesahuje zmíněných 5 °C. Maximální teplota 260 °C.



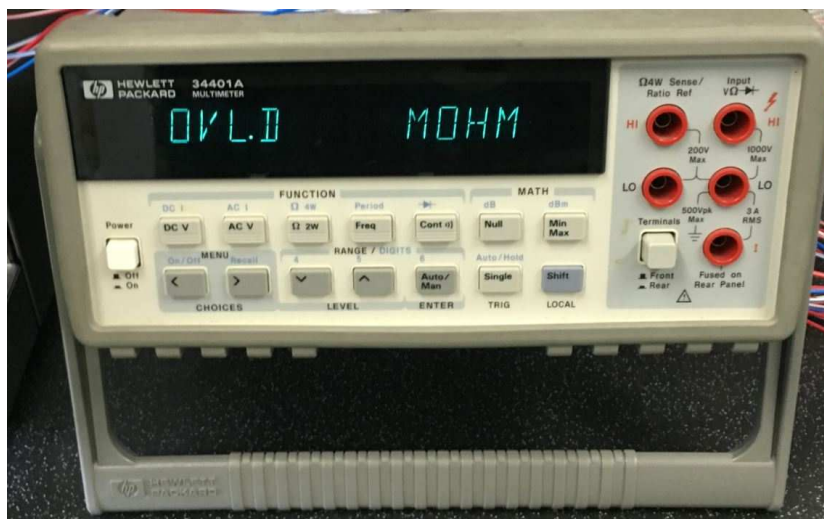
Obr. 27 – Obrázek univerzální pece Memert UNP 200, uvnitř se nachází měřené vzorky

Pec jsem využíval k temperování vzorků, abych mohl změřit jejich teplotně závislou charakteristiku. Maximální teploty pece jsem nevyužil, protože jsem bohužel neměl dostatečně teplotně odolnou izolaci vodičů.

6.1.2 Multimetr HP 34401A

Jedná se o 6digitový multimetr umožňující měření napětí, proudu a čtyřbodové měření odporu. Právě čtyřbodové měření odporu jsem využil při měření vlastností vzorků, jeho

výhoda spočívá v samostatném připojení napěťových sond přímo na vzorek, tím dojde k eliminaci přechodových a jiných odporů, což zvýší přesnost měření.

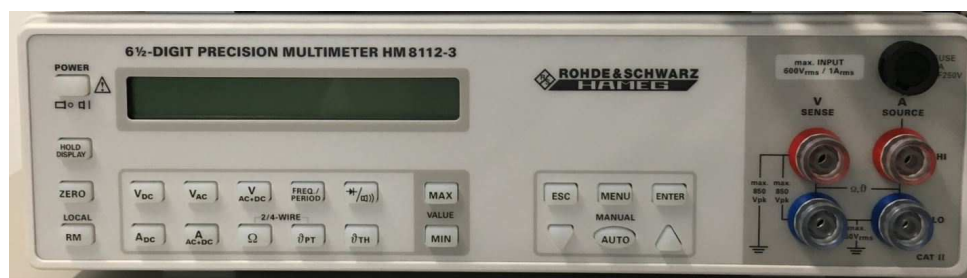


Obr. 28 – Multimetr HP34401A

Multimetr umožňuje také připojení k počítači přes PCI kartu pro automatizované vyčítání měřených hodnot.

6.1.3 Multimetr ROHDE & SCHWARZ 8112-3

Opět 6digitový multimetr, který byl dostupný v laboratoři, kde jsem měřil citlivost vzorků na dopadající optické záření.

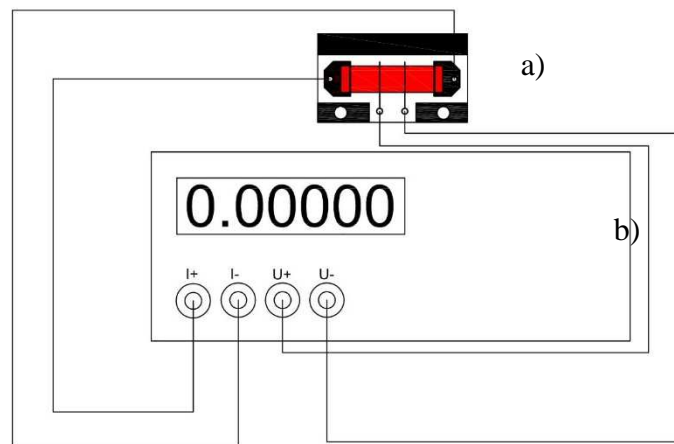


Obr. 29 – Multimetr ROHDE & SCHWARZ 8112-3

6.2 Průběh měření odporu vzorků

1. Vložení vzorků do pece,
2. zvyšování teploty v peci,
3. temperování 5 minut,
4. odečet hodnot a zápis do tabulky,
5. opakování bodů 2 až 4.

Schéma zapojení měřicího obvodu:



Obr. 30 – a) měřený vzorek b) multimetr

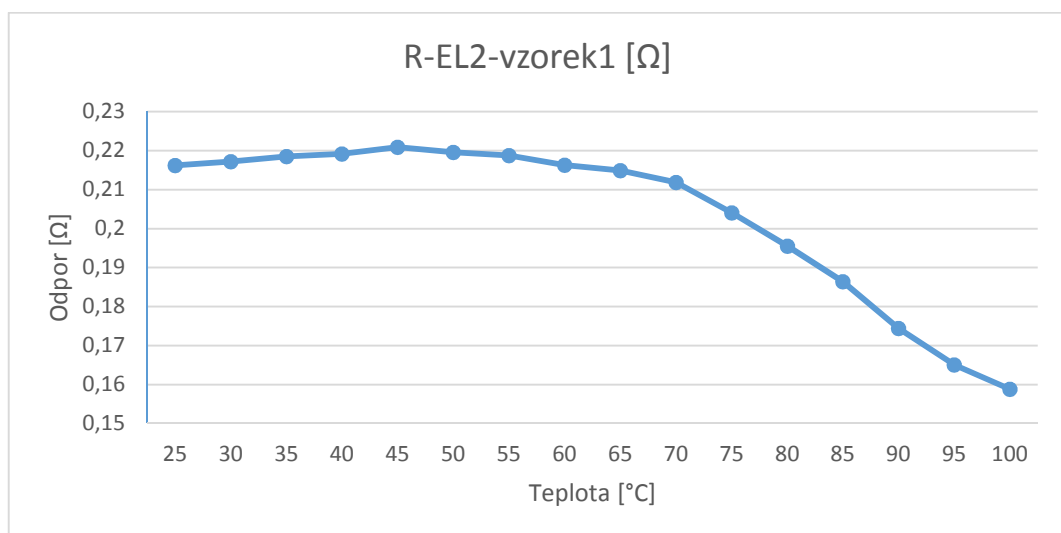
Použité přístroje:

Pec UNP 200

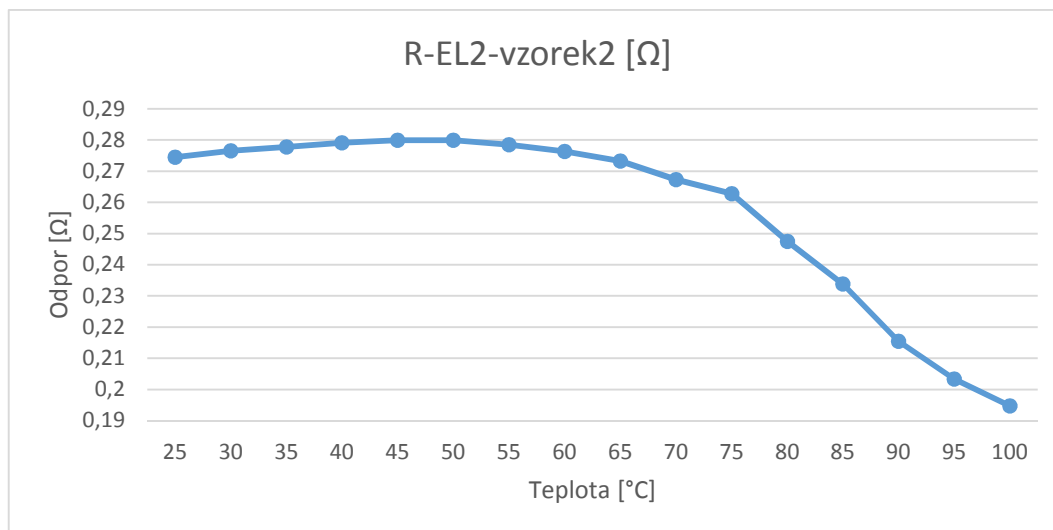
Multimetr HP 34401A

6.2.1 Naměřené hodnoty pro teploty od 25 do 100 °C

Odkaz na tabulku hodnot Tab. 27.

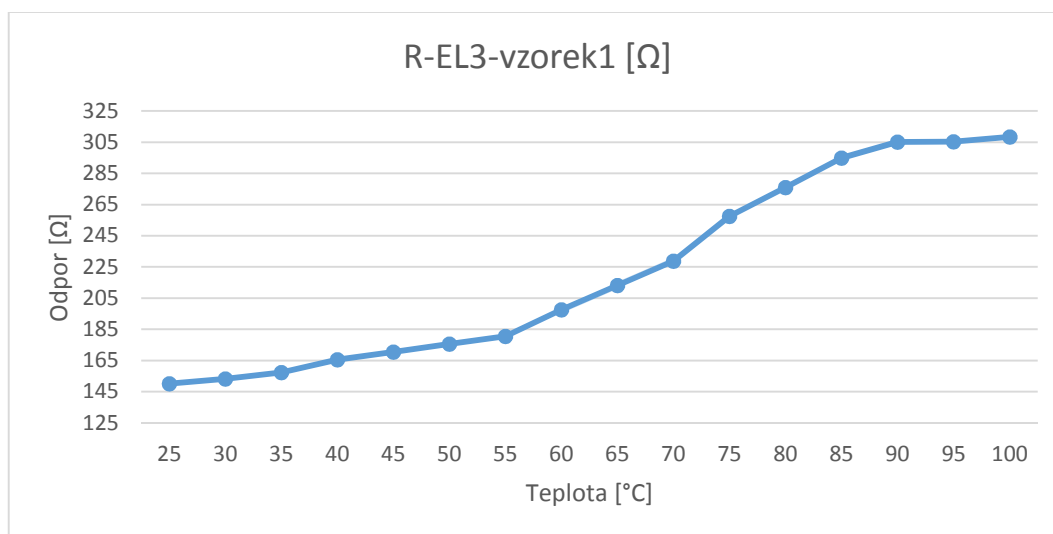


Obr. 31 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-2, vzorku 1

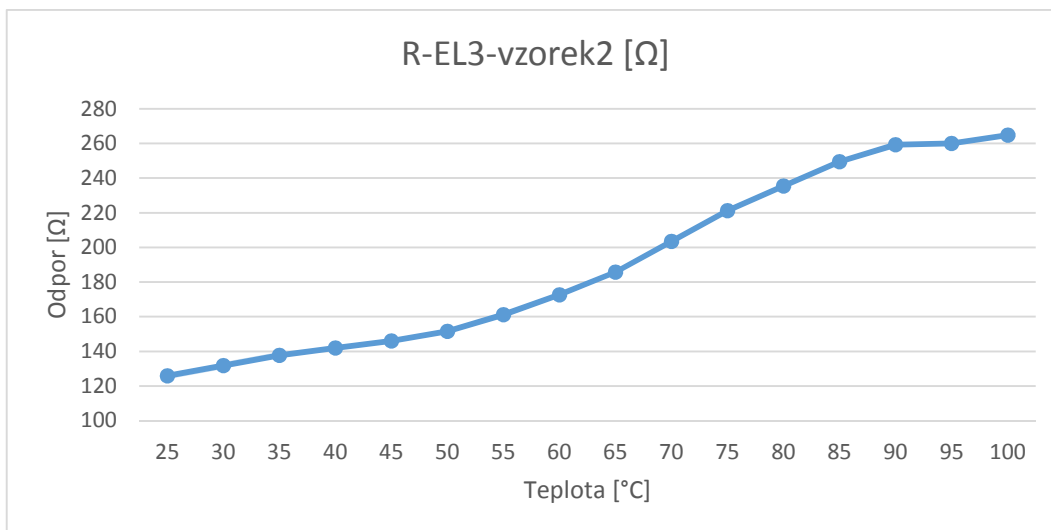


Obr. 32 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-2, vzorek 2

Z grafu je patrné, že odpor vzorku má od teploty asi 55 °C klesající tendenci. Především grafy zobrazují závislost dvou vzorků stejného laku a navzájem se kopírují.

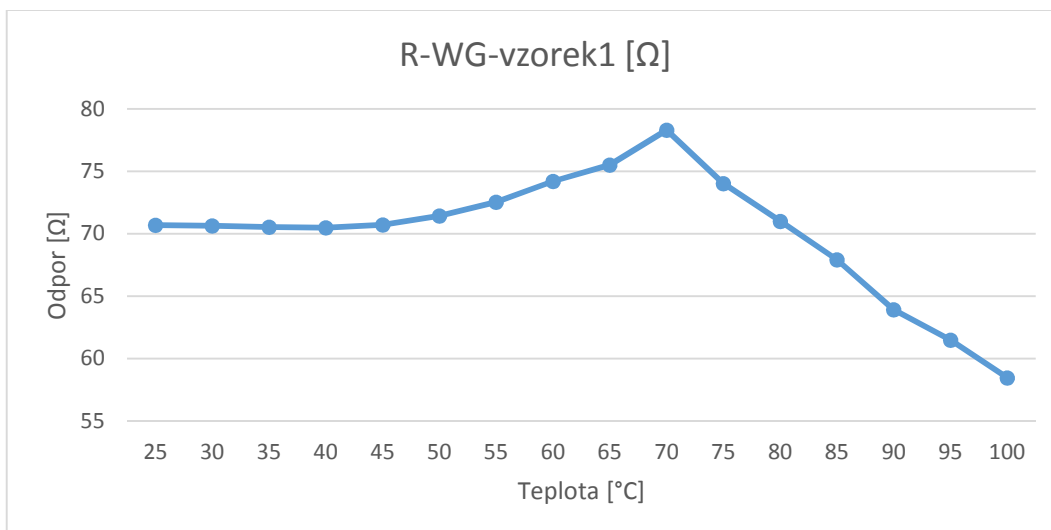


Obr. 33 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-3, vzorek 1

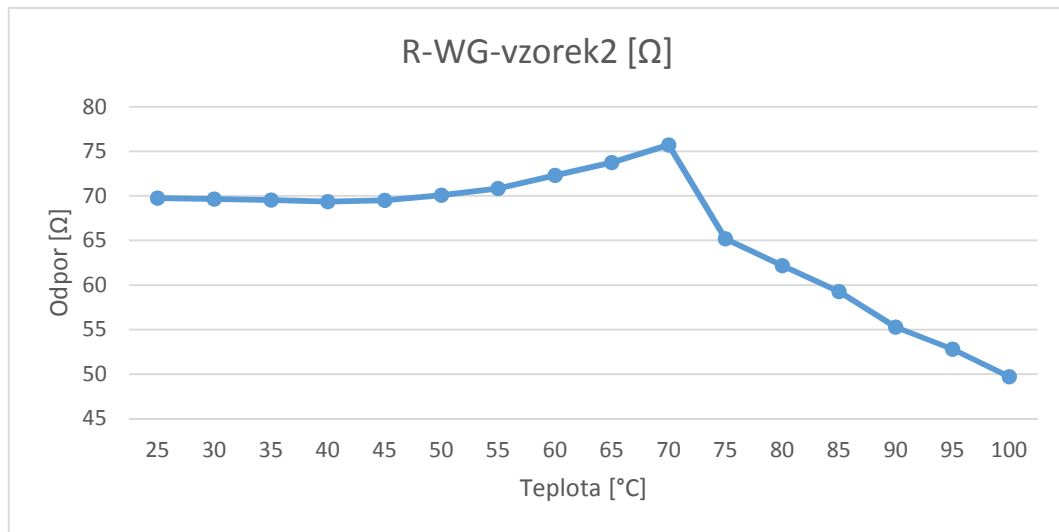


Obr. 34 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-3, vzorek 2

Z grafu vyplývá, že při rostoucí teplotě odpor vzorku roste. Očekávání bylo, že v určitých úsecích rostoucí teploty bude odpor vzorku klesat, jedná se totiž o lak, kde je plnivo uhlík, polovodič se záporným teplotním součinitelem odporu. Zde se jednalo o první zahřívání aplikovaného lepidla, vlivem vyšší roztažnosti matrice než vodivých částic odpor lepidla roste.

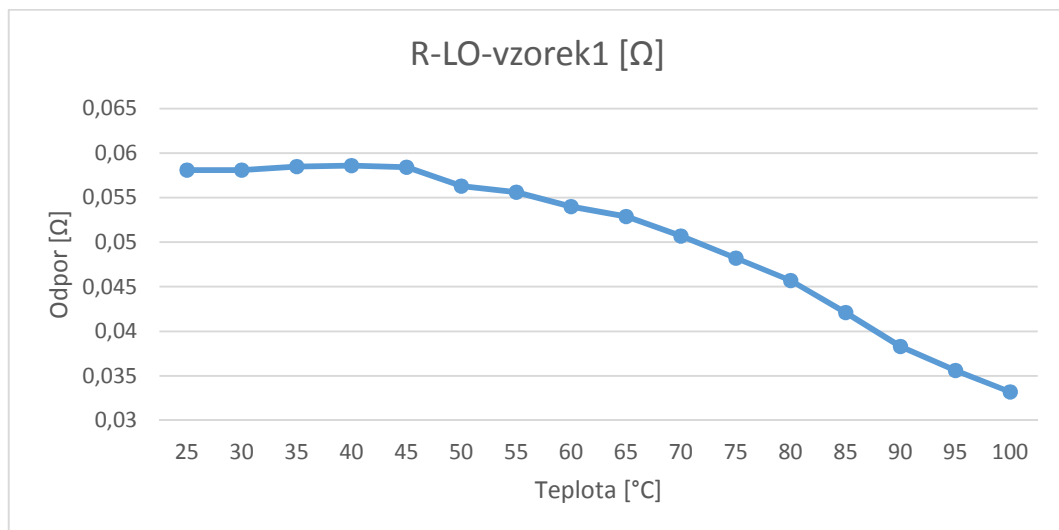


Obr. 35 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 1

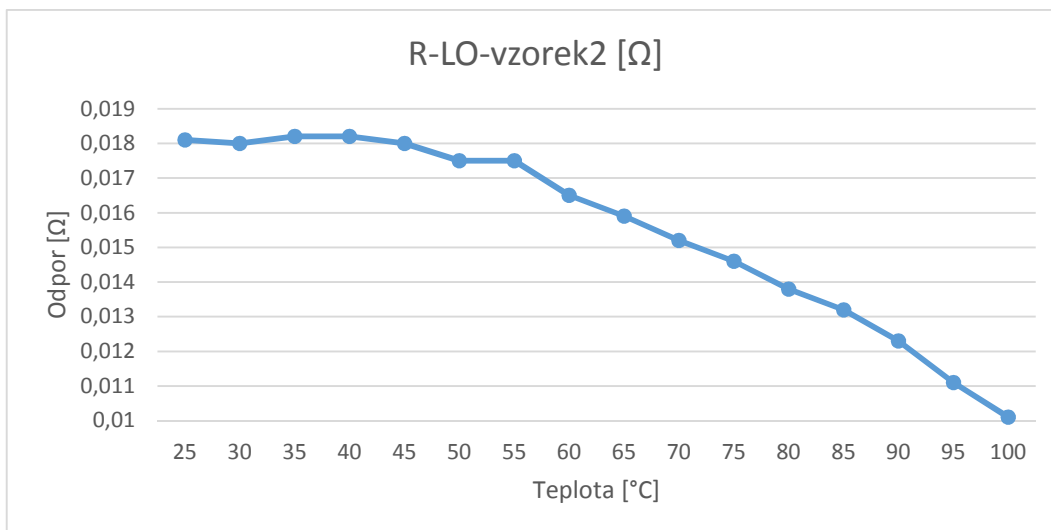


Obr. 36 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 2

Na předcházejících grafech je patrný zlom při teplotě 70 °C. Jedná se lepidlo, kde je filler polovodič, takže klesající tendence by odpovídala, ovšem při aplikaci vzorce pro závislost odporu na teplotě by zde u uhlíku došlo ke snížení odporu o necelé 3 Ω při koeficientu $\alpha = -0,0012$, což je navíc nejvyšší hodnota, kterou jsem v literatuře našel, takže snižování odporu zahříváním bude způsobeno spíše změnami v matrici, která pak ovlivňuje přítlak jednotlivých vodivých částic k sobě, respektive od 70 stupňů matrice přítlak zvětšuje, tím snižuje kontaktní odpor.

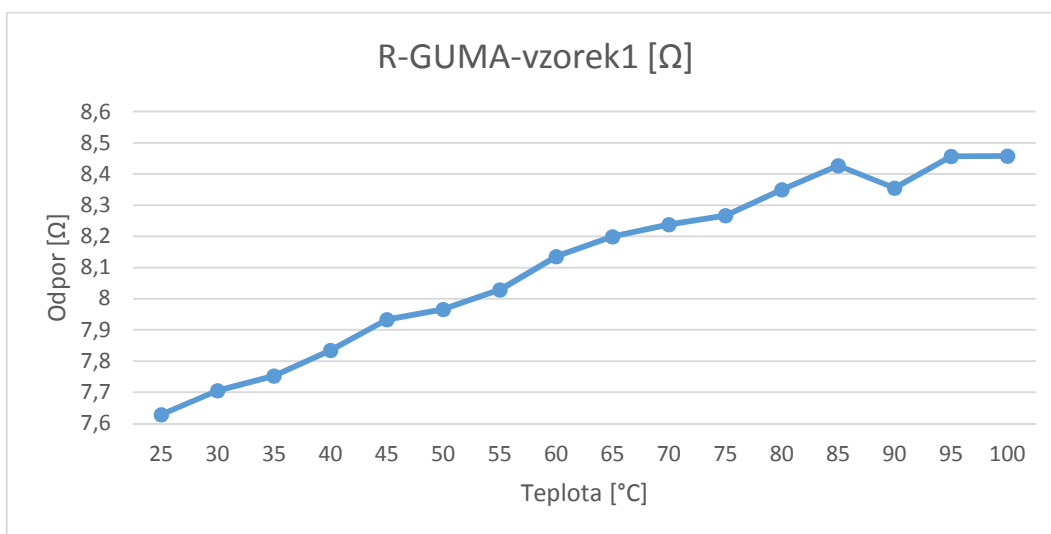


Obr. 37 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak Loctite 3863, vzorek 1



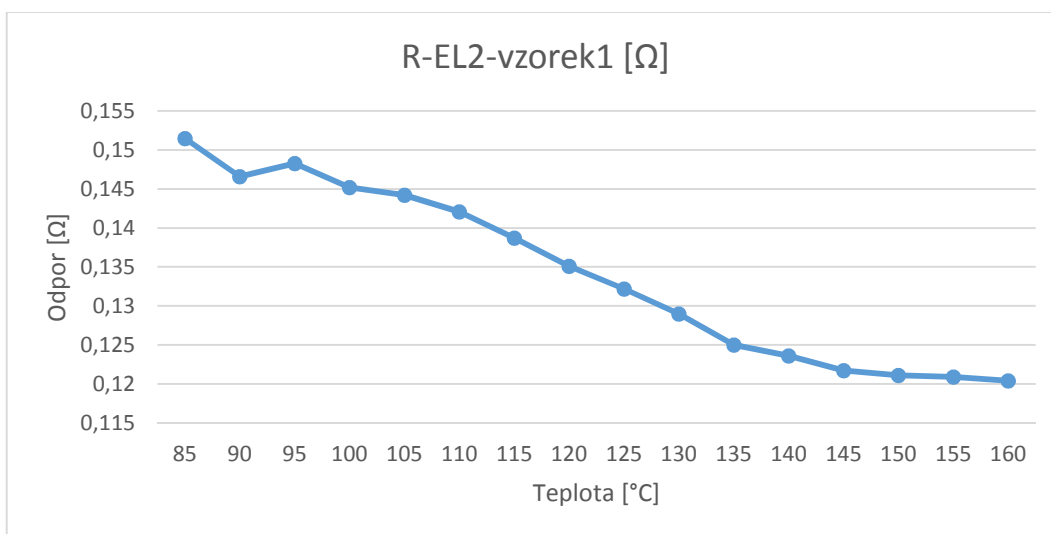
Obr. 38 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak Loctite 3863, vzorek 2

Lak Loctite 3836 navzdory očekávání při zvyšující se teplotě snižuje svůj odpor, to bude opět dáno změnami v matici v závislosti na teplotě. Prokazatelně se jedná o lak s nejnižším odporem ve všech prováděných měřeních a při všech měřených teplotách.

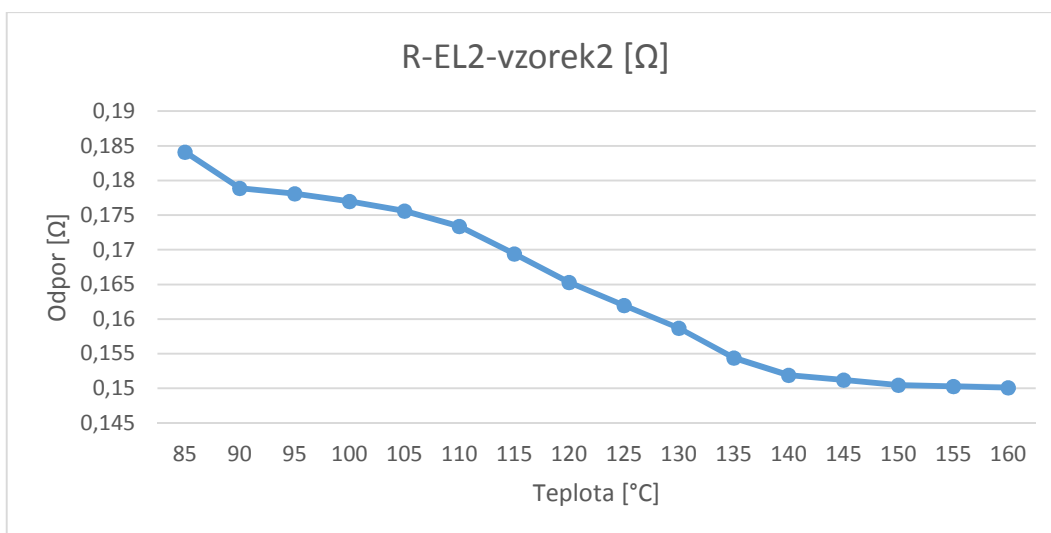


Obr. 39 – Graf závislosti odporu na teplotě, vodivá pryž

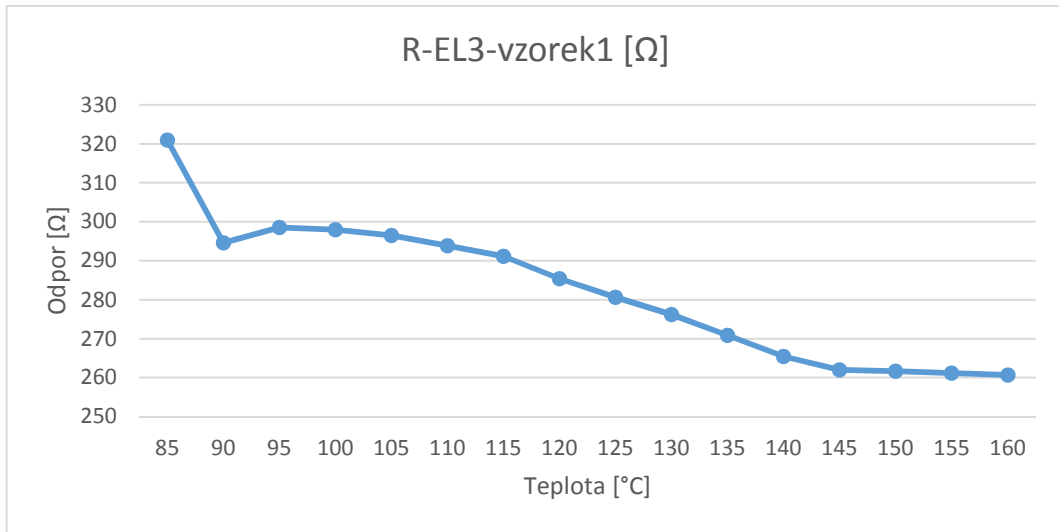
6.2.2 Naměřené hodnoty pro teploty od 85 do 100 °C



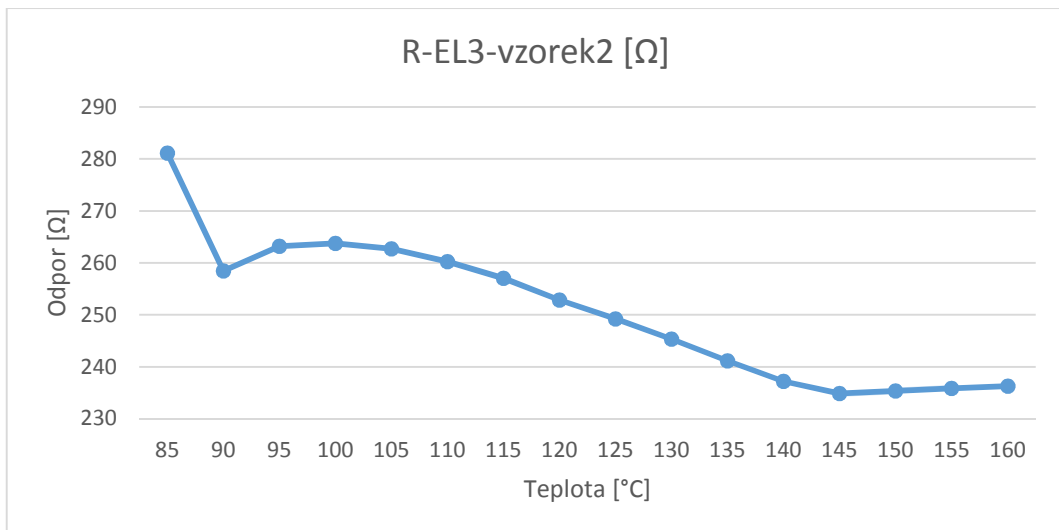
Obr. 40 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-2, vzorek 1



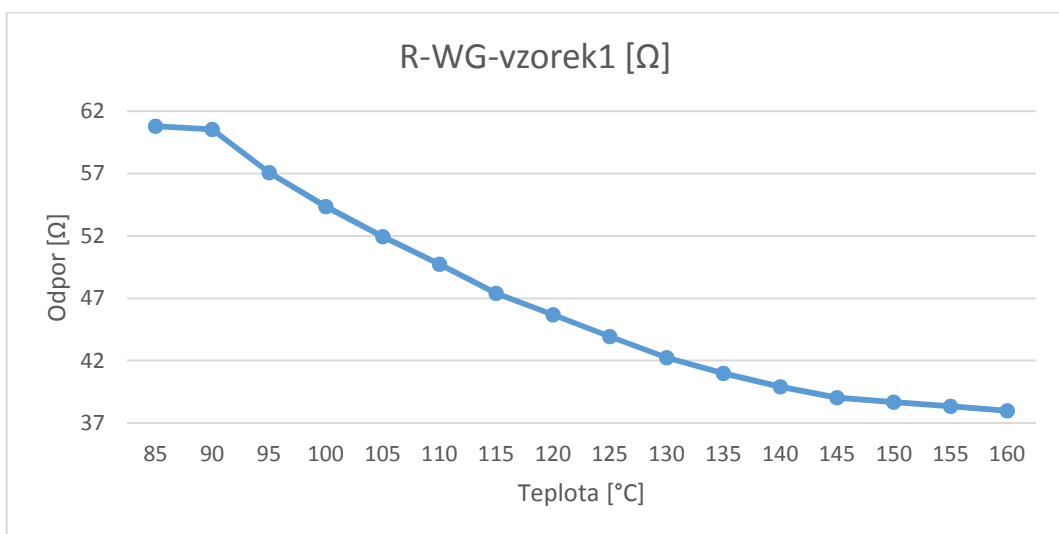
Obr. 41 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-2, vzorek 2



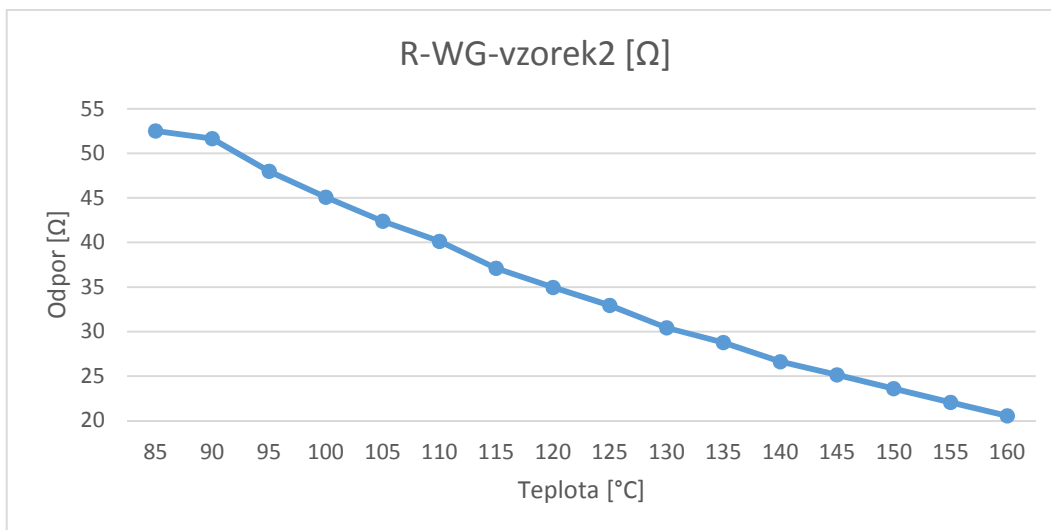
Obr. 42 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-3, vzorek 1



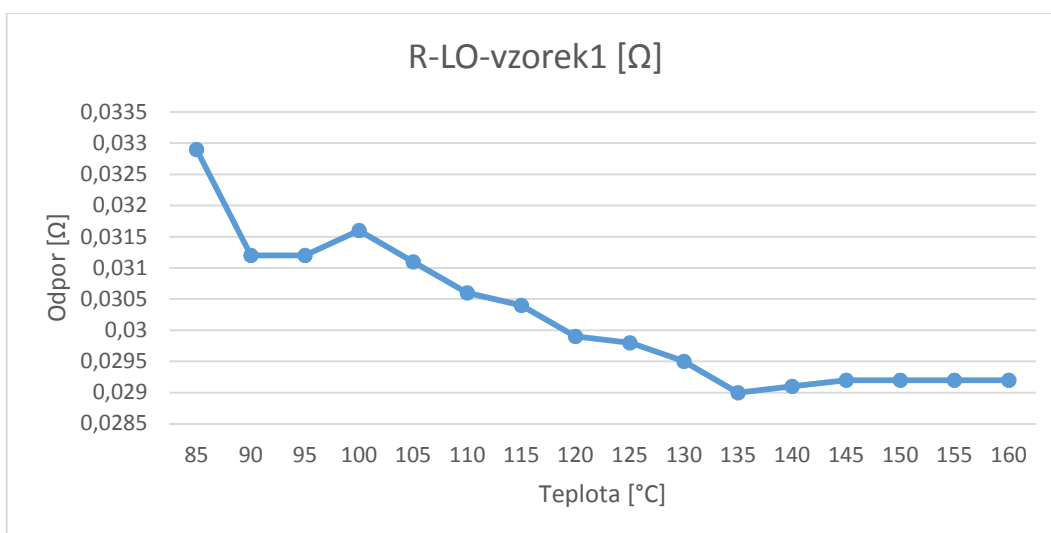
Obr. 43 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak EL-2, vzorek 2



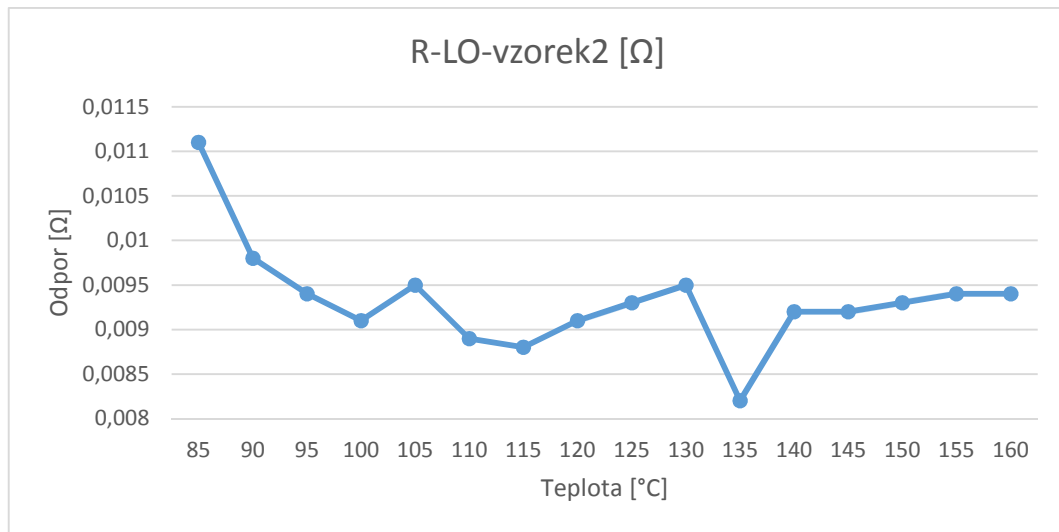
Obr. 44 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 1



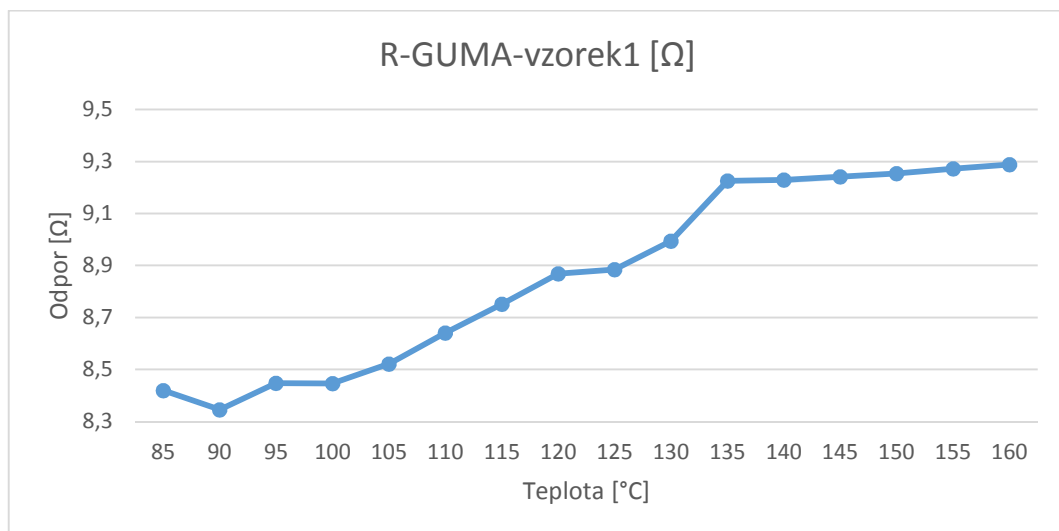
Obr. 45 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 2



Obr. 46 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 1



Obr. 47 – Graf závislosti odporu na teplotě, lak Loctite 3863, vzorek 2



Obr. 48 – Graf závislosti odporu na teplotě, vodivá pryž

Při druhém měření se projevila u všech lepidel klesající tendence odporových hodnot vzorků, jako vysvětlení mě napadá pouze pnutí ve vazební matici laků. Bohužel jsem nebyl schopen použitím pece dosáhnout takového chování matrice, kdy se projeví její řádově větší teplotní roztažnost takovým způsobem, že dojde k prudkému nárůstu odporu. Dosáhl jsem toho až při použití horkovzdušného fénu nastaveného na teplotu 250 °C a více, zde je třeba uvažovat o trvalé degradaci matrice, ke které by mohlo dojít při překročení určité teploty.

6.3 Cyklické ohřívání a chlazení

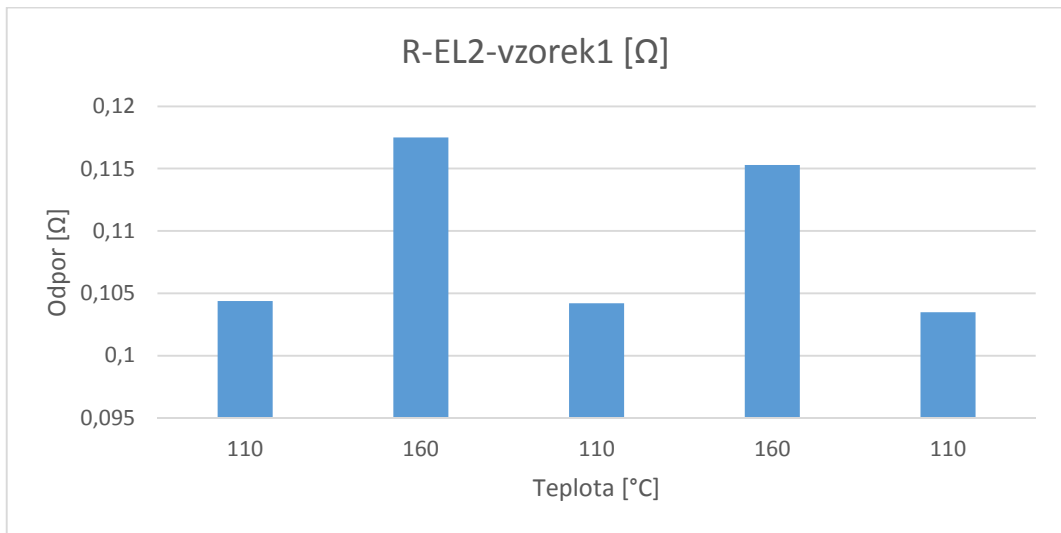
Účelem tohoto měření bylo zjistit, zda se projeví hystereze odporu v lepidlech. Vzorky jsem vložil do pece, ohříval, doba temperace na uvedené teplotě byla vždy 5 minut,

a následně chladil. Schéma zapojení je totožné s předešlým měřením. Průběh hodnot je vidět na příložených grafech. Odkaz na tabulku hodnot *Tab. 29*.

Použité přístroje:

Pec UNP 200

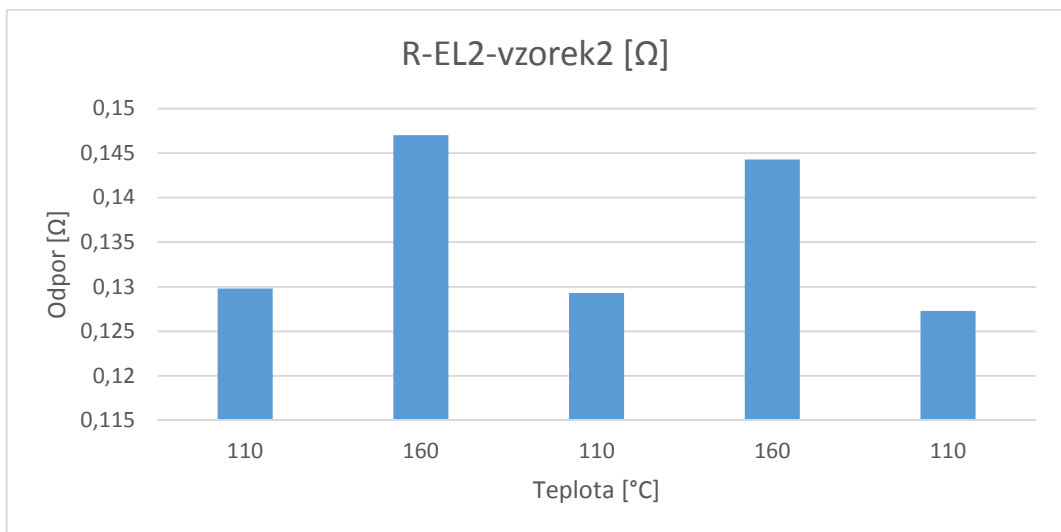
Multimetr HP 34401A



Obr. 49 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lak EL-2, vzorek 1

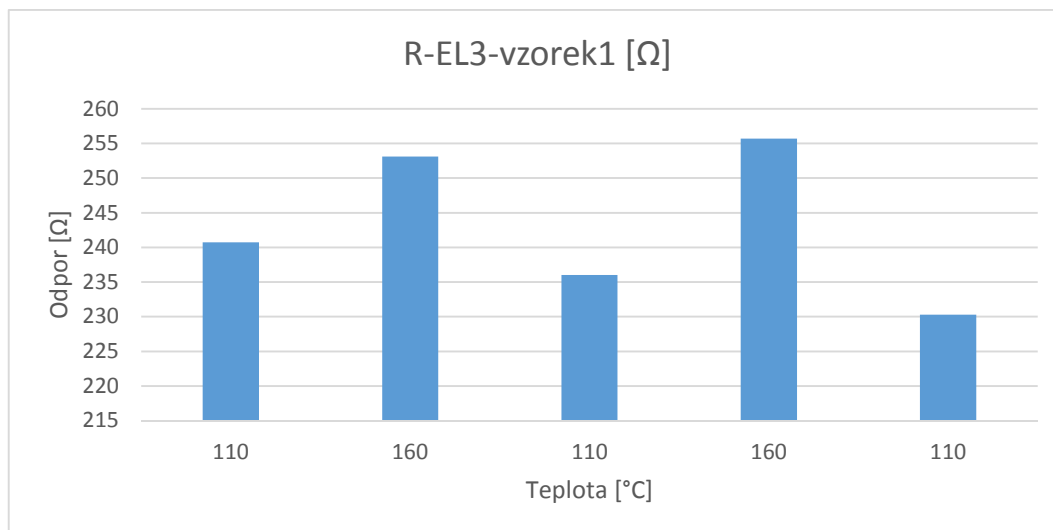
Vztah pro výpočet hystereze: $H[\%] = (R_{max} - R_{min}) \times \frac{R_{max}}{100}$

Po dosazení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku $2,585 \times 10^{-6} \%$.



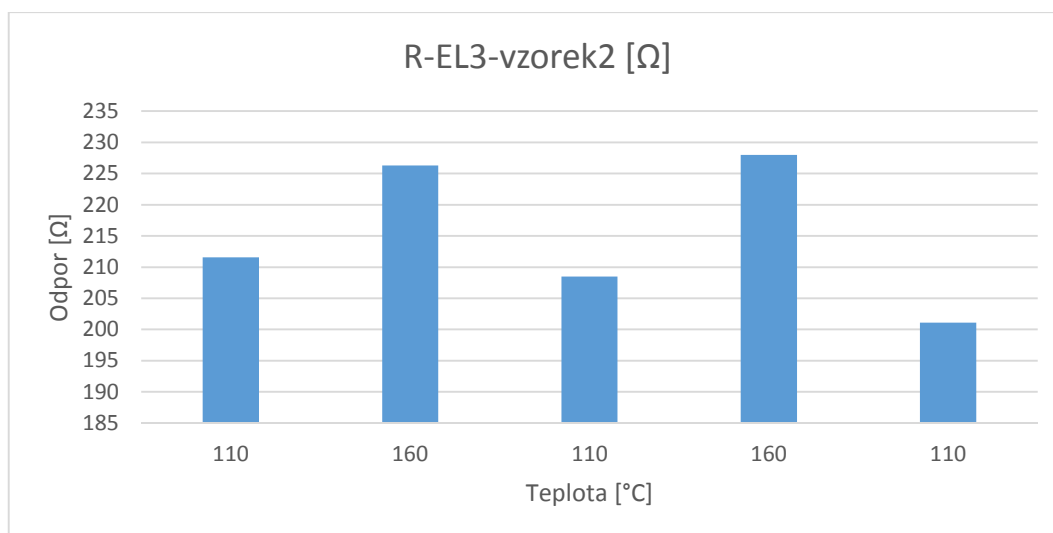
Obr. 50 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lak EL-2, vzorek 2

Po dosazení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku $3,969 \times 10^{-6} \%$.



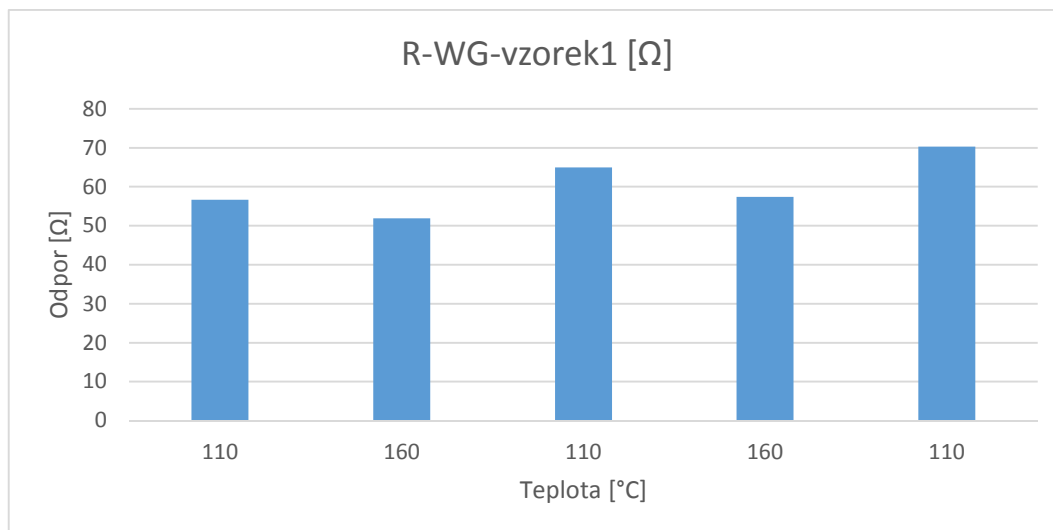
Obr. 51 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lak EL-3, vzorek 1

Po dosažení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku 6,594 %.



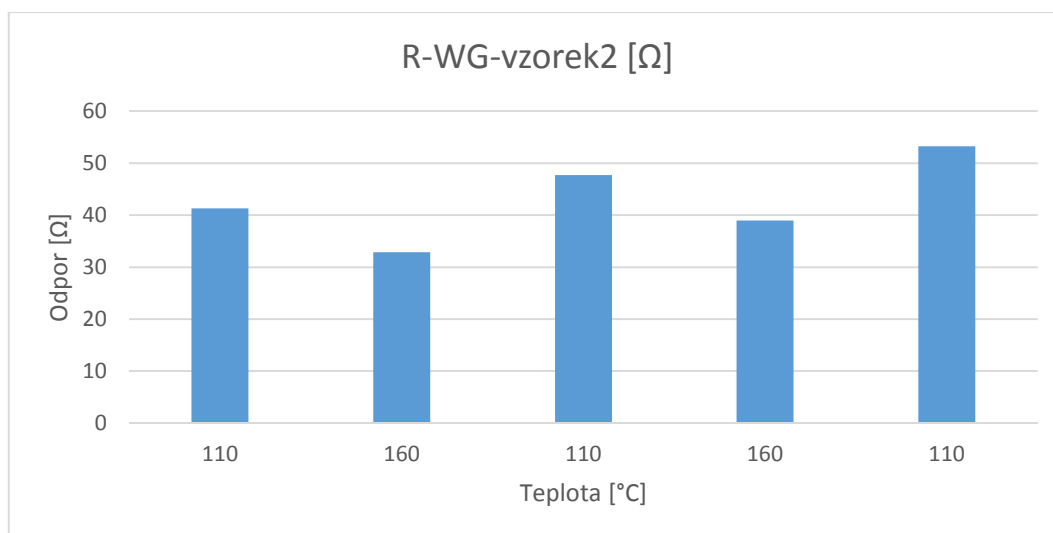
Obr. 52 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, vodivý lak EL-3, vzorek 2

Po dosažení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku 3,741 %.



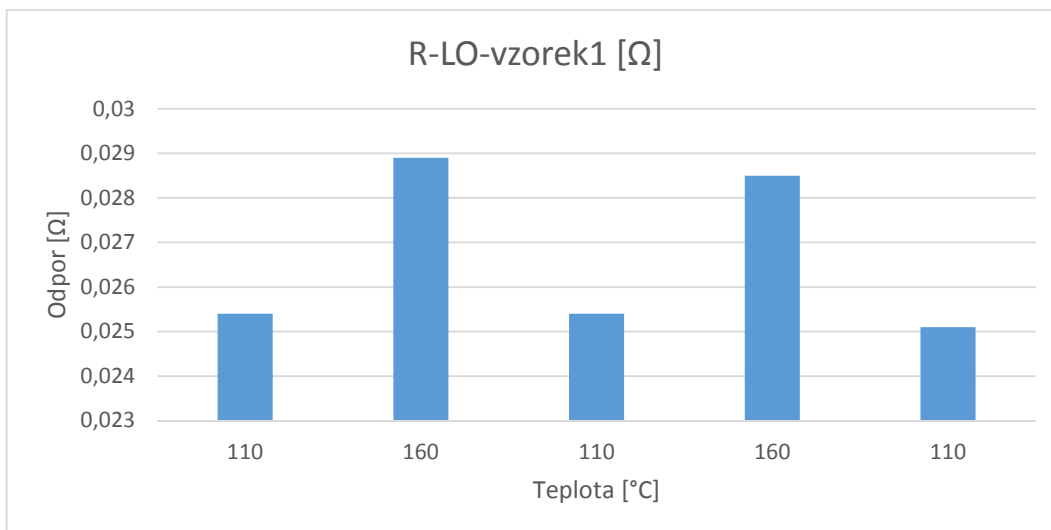
Obr. 53 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lepidlo Wire glue, vzorek 1

Po dosažení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku 3,142 %.



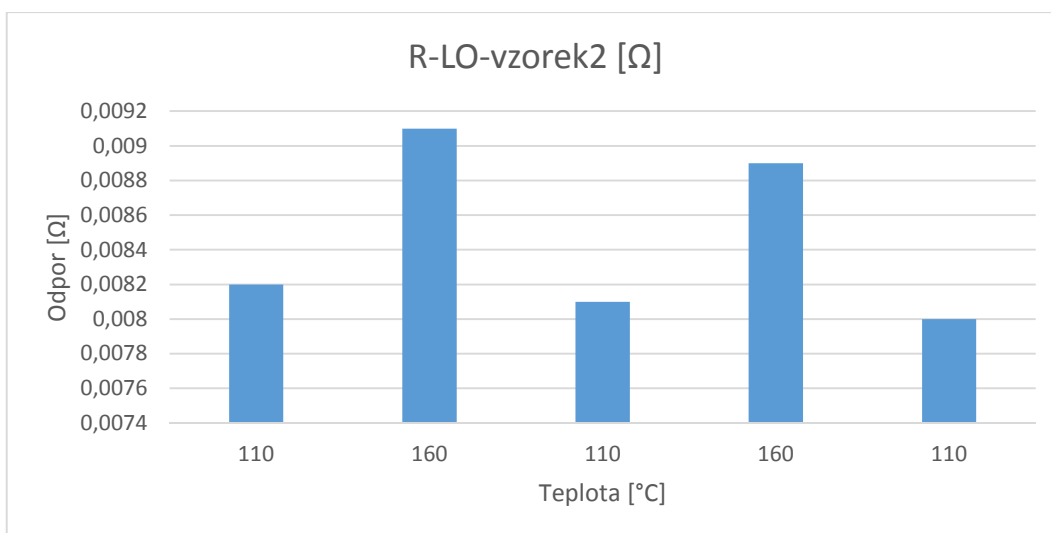
Obr. 54 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lepidlo Wire glue, vzorek 2

Po dosažení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku 2,388 %.



Obr. 55 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lak Loctite 3863, vzorek 1

Po dosažení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku $1,156 \times 10^{-7}$ %.



Obr. 56 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lak Loctite 3863, vzorek 2

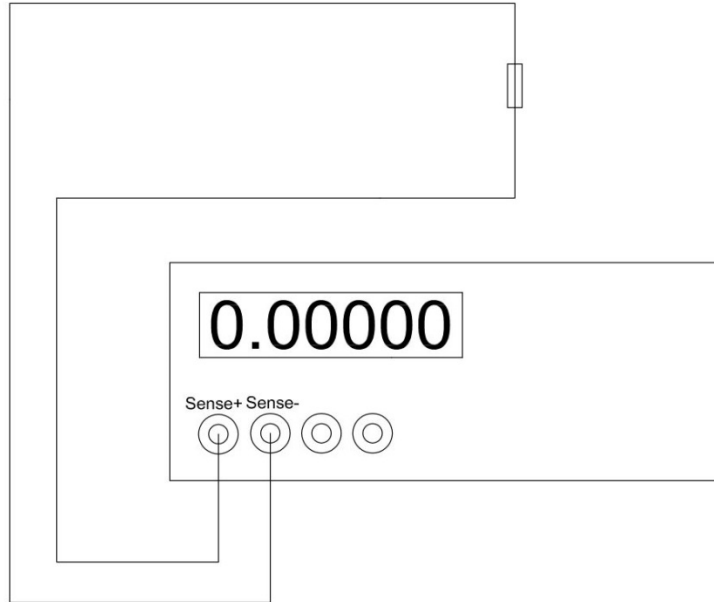
Po dosažení hodnot z grafu vyjde hystereze pro 160 °C u tohoto laku $1,82 \times 10^{-8}$ %.

6.4 Měření závislosti odporu na teplotě u vratných pojistek

Rozhodl jsem se provést měření charakteristiky odporu vratných pojistek a pokusit se ověřit, jestli by bylo možno vytvořit pojistku použitím elektricky vodivého lepidla nebo laku.

Při průchodu proudem většího, než pro který je pojistka určena, dojde k jejímu nadměrnému zahřívání a pojistka začne prudce zvětšovat svůj odpor, tímto dojde k mezení proudu procházejícího přes pojistku. Měření bude probíhat tak, že budu jednotlivé pojistky ohřívát

teplem, dodávaným externím zdrojem, nepůjde tedy o teplo generované ztrátovým výkonem elektrického proudu procházejícího pojistkou. Schéma měřícího obvodu je na následujícím obrázku *Obr. 57*.



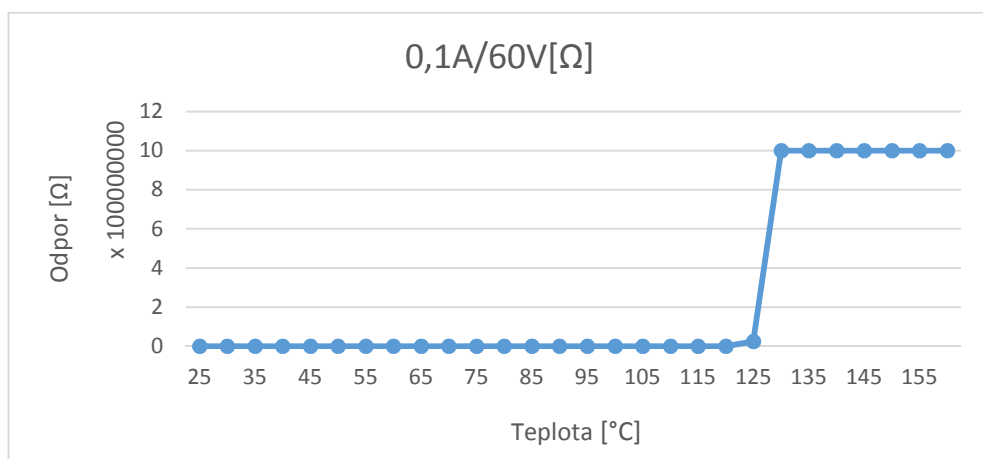
Obr. 57 – Schéma měřícího obvodu vratných pojistek

Použité přístroje:

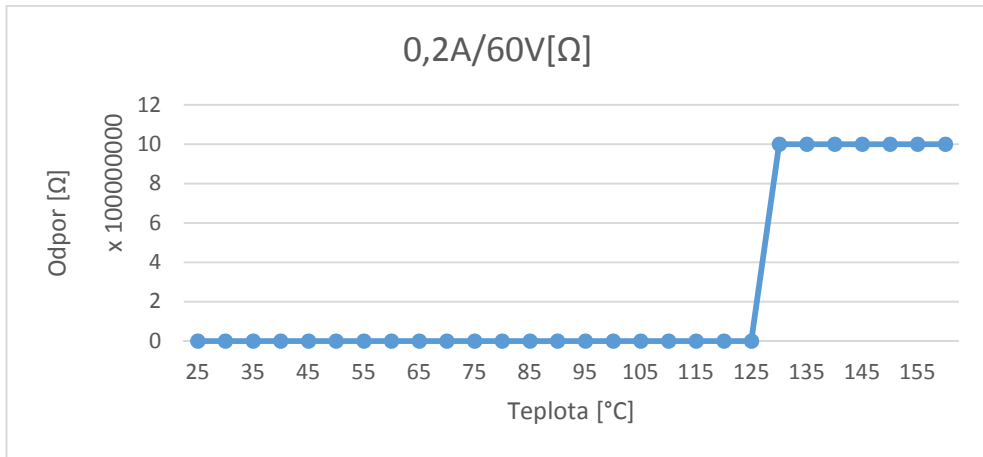
Pec UNP 200

Multimetr HP 34401A

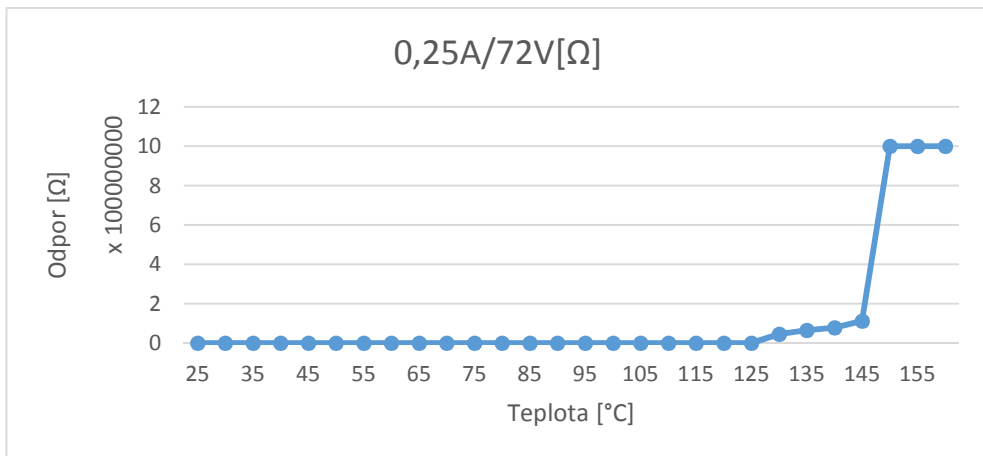
Měření jsem prováděl zahříváním pojistek v peci po 5 °C od 25 do 160 °C. Po dosažení teploty jsem nechal vždy sadu pojistek 5 minut temperovat a poté provedl měření jejich elektrického odporu, výsledky měření jsou uvedeny v *Tab. 30*. Naměřené výsledky jsou dobře viditelné v následujících grafech.



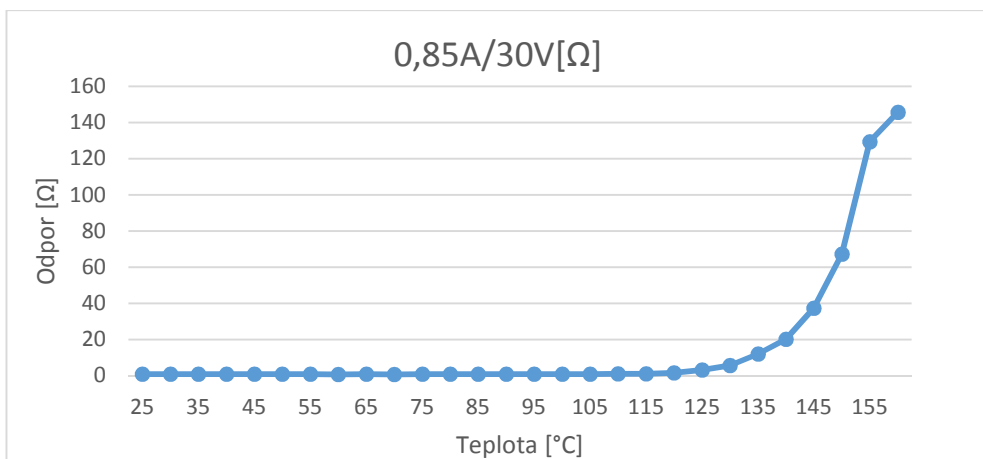
Obr. 58 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,1A/60V



Obr. 59 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,2A/60V



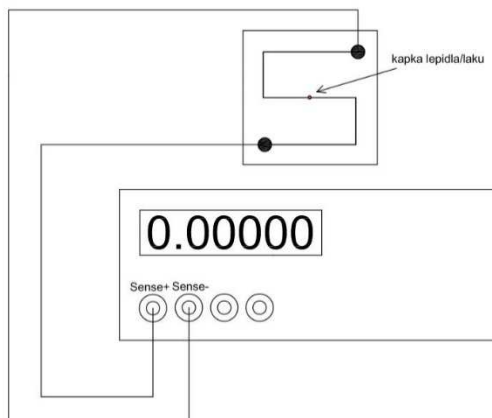
Obr. 60 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,25A/72V



Obr. 61 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,85A/30V

6.5 Měření změny odporu fotodetektoru

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jak ovlivní odpor vzorku určitého lepidla nebo laku dopadající světelné záření.



Obr. 62 – Schéma měřicího obvodu fotodetektoru

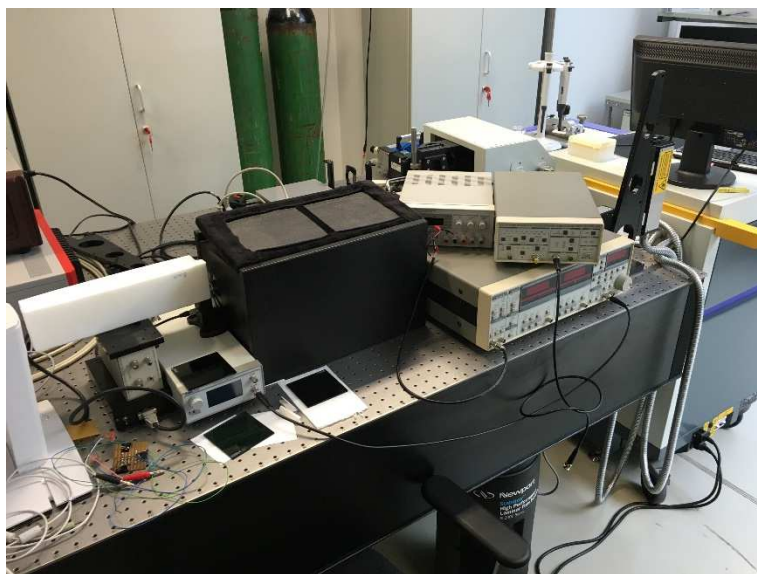
Použité přístroje:

Multimetr ROHDE & SCHWARZ 8112-3

Laser DPGL 3020T

Před začátkem samotného měření bylo nutno zjistit časovou konstantu lepidla, která popisuje, za jak dlouhou dobu od počátku osvětlování dojde k ustálení hodnot měřeného vzorku.

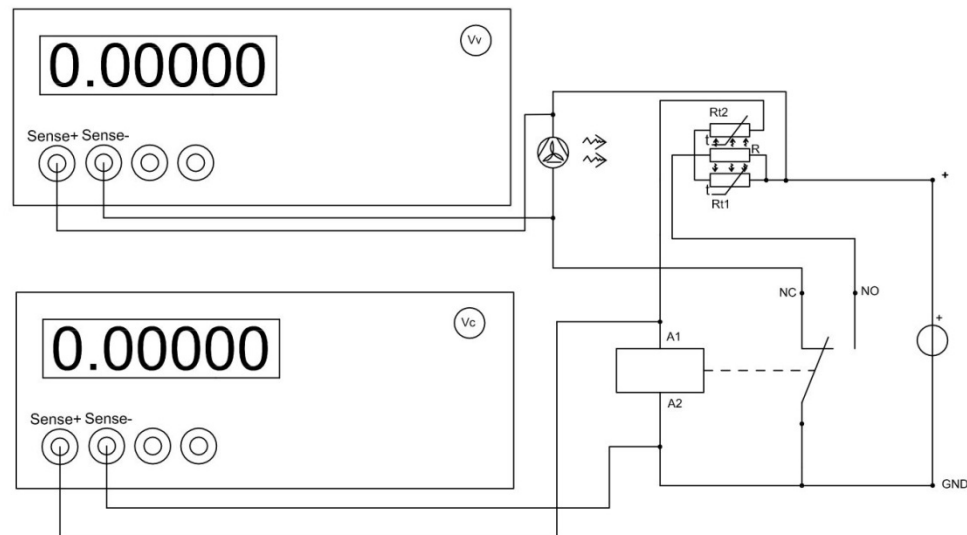
Jelikož časová konstanta vzorků vyšla příliš velká (cca 4 s), což odpovídá frekvenci 0,25 Hz, nemohl jsem použít střídavou metodu měření. Dostupný chopper neumožňoval nastavení takto nízké frekvence, rozhodl jsem se proto použít klasické měření odporu vzorku multimetrem. Samotný vzorek byl osvětčován zeleným laserem o změřeném výkonu 31,3 mW.



Obr. 63 – Pohled na pracoviště optických měření

Při dopadání světelného záření na vzorek by mělo docházet k absorpci záření a přeměně energie v něm obsažené na teplo, zahříváním dostatečně malého množství lepidla s dostatečně malým odvodem tepla, a mělo by docházet ke změně odporových vlastností vzorků. Naměřené hodnoty jsou dostupné v *Tab. 31*.

6.6 Měření frekvence oscilátoru s vyhřívacím rezistorem



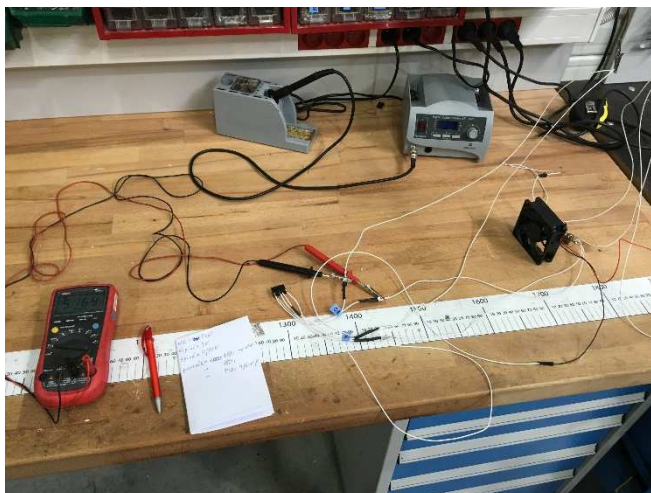
Obr. 64 – Schéma zapojení oscilátoru s vyhřívacím rezistorem

Použité přístroje:

Zdroj Manson NP-9615

Multimetr Unit UT61C 2x

Po připojení zdroje nastaveného na napětí 22 V obvodem procházel proud 0,87 A. Počáteční napětí na cívce relé bylo 12,2 V, vlivem ohřívání rezistorů začalo klesat. Voltmetrem připojeným k ventilátoru jsem v podstatě jen ověřoval změnu stavu relé. Následně napětí na cívce kolísalo v časových intervalech mezi 10,5 V a 4 V, což byly hodnoty, kdy docházelo ke změně stavů relé. Z naměřených hodnot jsem vypočítal periodu kmitů. Naměřené hodnoty jsou zapsány v této tabulce *Tab. 32*. Průběh napětí cívky relé je viditelný v příloženém grafu.

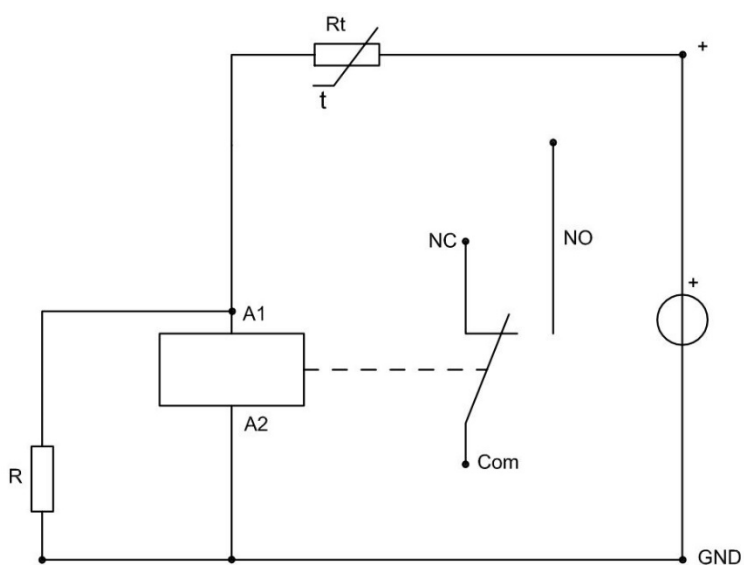


Obr. 65 – Náhled měření oscilačního obvodu



Obr. 66 – Graf oscilačního obvodu s vyhřívacím rezistorem

6.7 Měření termostatu



Použité přístroje:

Zdroj Manson NP-9615

Multimetr HP 34401A

Ohřívání termistoru R_t jsem prováděl horkovzdušným fénem s nastavitelnou teplotou. K rozpínání docházelo přibližně při teplotě $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a k opětovnému spínání kontaktů relé při teplotě kolem $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měření jsem opakoval 10x, vždy se stejným výsledkem.

ZÁVĚR

V diplomové práci jsou popsány základní fyzikální vlastnosti elektricky vodivých lepidel, laků a vlastnosti spojů jimi vytvořených. Dále byla zpracována analýza trhu včetně výrobcem deklarovaných vlastností lepidel, která jsou uvedena v přílohové části práce, na základě této analýzy byly vybrány laky a lepidla s nižší cenou, ke kterým nelze v dokumentacích výrobků nalézt dostatečně popsané vodivostní parametry. Analýza neobsahuje všechny na trhu dostupné laky a lepidla, protože v dnešní době dochází k velkému rozvoji tohoto sortimentu a často také může být jedno a totéž lepidlo prodáváno více výrobci pod různými označeními. V průběhu aplikace lepidel na DPS jsem zjistil, že nejsem schopen zajistit stejnou kvalitu aplikace lepidla nebo laku, aby vzorky jednoho lepidla vykazovaly dostatečně shodné odporové vlastnosti, proto jsem v průběhu měření zanedbal chyby měření způsobené přístroji, jelikož přístroje, na kterých jsem měření prováděl, měly přesnost o několik řádů výše, než byla opakovatelná přesnost vzorků. Výsledky měření jsem zpracoval do grafů obsahujících slovní popisy na nich vyobrazených průběhů. V závěru práce jsem se pokusil zpracovat funkční aplikace lepidel a laků, zde velmi dobře vyšel experiment s relé, které relativně stabilně kmitalo, doba kmitů byla ovlivněna okolní teplotou a prouděním vzduchu kolem výkonového rezistoru a jím vyhřívaných prvků, přesné hodnoty jsou uvedeny v tabulce v přílohové části práce. Jako další využitelné použití se jeví výroba teplotních vratných pojistek, protože při teplotách nad 200 °C se u laků a lepidel především s uhlíkovým plnivem začíná projevovat řádově vyšší teplotní roztažnost vazební matrice a takto vyrobená pojistka začne prudce zvyšovat svůj odpor, průběh odporu v závislosti na teplotě je velmi podobný vratným pojistkám měřeným v této práci. Problém se projevil při pokusu zahřívat pojistky procházejícím proudem, kdy v důsledku nehomogenity vrstvy naneseného lepidla začaly vzorky hořet. Neznamená to, že toto použití není možné, ale zřejmě by vyžadovalo další vývoj. Stejně tomu bylo při použití laků a lepidel jako fotosenzoru u optických bran apod. Takto vyrobený senzor podle měření prokazatelně při dopadajícím záření mění své odporové vlastnosti, ovšem časová konstanta fotosenzoru byla příliš velká. Zmenšení časové konstanty bychom mohli docílit zmenšením hmoty senzoru, výroba malého senzoru je však technologicky náročná. Z důvodu velké časové konstanty jsem byl nucen upustit od střídavého měření, protože nebylo možno na chopperu nastavit takto nízkou frekvenci. Vhodné využití pro elektricky vodivá lepidla a laky je v případech, jakými jsou například vytvoření vodivé vrstvy na nevodivém materiálu za účelem stínění EMI, utěsnění prasklin

ve stínících obalech proti EMI, vodivými lepidly lze vytvářet vodivá propojení na deskách plošných spojů, případně provádět jejich opravy. Lze je použít místo pájecích past při spojování součástek pro povrchovou montáž plošných spojů. Vodivé laky se používají k vytvoření vodivých cest u vyhřívání autoskel. Využití lepidel pro aplikace v bezpečnostních technologiích bych doporučil po dalším vývoji ve fotosenzorech optických bran a termostatech. Hlavní další využití elektricky vodivých lepidel je v oblasti elektromagnetické kompatibility.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *M.G. Chemicals Ltd.* [online]. Canada, 2014, 2014-10-10 [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: www.mgchemicals.com
- [2] *Datasheet: Silver Conductive Epoxy Adhesive 8330.* 2. Ontario, 2014, 6 s. Dostupné také z: <http://www.mgchemicals.com/downloads/tds/tds-8330-2parts.pdf>
- [3] *Datasheet: Silver Conductive Epoxy Adhesive 8330s.* 2. Ontario, 2014, 6 s. Dostupné také z: <http://www.mgchemicals.com/downloads/tds/tds-8330s-2parts.pdf>
- [4] *Datasheet: Silver Conductive Epoxy Adhesive 8331.* 3. Ontario, 2015, 6 s. Dostupné také z: <http://www.mgchemicals.com/downloads/tds/tds-8331-2parts.pdf>
- [5] *Datasheet: Silver Conductive Epoxy Adhesive 8331s.* 2. Ontario, 2014, 6 s. Dostupné také z: <http://www.mgchemicals.com/downloads/tds/tds-8331s-2parts.pdf>
- [6] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX 656 S.* Lodž, 2 s. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_656_S.pdf
- [7] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX AX 12EV.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_AX_12EV.pdf
- [8] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX AX 12LVT.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_AX_12LVT.pdf
- [9] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX AX 15S.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_AX_15S.pdf
- [10] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX ER55MN.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_ER55MN.pdf
- [11] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX ER63MN.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_ER63MN.pdf
- [12] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX SC 24D.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_SC_24D.pdf
- [13] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX SC65MN.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_SC65MN.pdf
- [14] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX SC70MN.* Lodž. Dostupné také z: http://www.amepox-mc.com/files/ELPOX_SC70MN.pdf
- [15] *Datasheet: SILVER EPOXY ELPOX SC515.* Lodž. Dostupné také z: <http://www.amepox-mc.com/files/ELPOXSC515.pdf>

- [16] *Lieferprogramm: PERMACOL B.V.* Nizozemsko, 2013. Dostupné také z: http://www.g-werner.at/de/downloads/permacol_lieferprogramm.pdf
- [17] VILČÁKOVÁ, Jarmila. *Elektrické a magnetické vlastnosti polymerních kompozitů: Electrical and magnetic properties of polymer composites : teze habilitační práce.* Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2007. ISBN 978-80-7318-519-0.
- [18] MACH, Pavel. Modifikovaná elektricky vodivá lepidla. *Electroscope.* 2009, **2009**(2), 4. Dostupné také z: http://ek702p10-ket.fel.zcu.cz/images/PDF/Rocnik2009/cislo2_2009_Diagnostika/r3c2c7.pdf
- [19] SANDLER, J.K.W., J.E. KIRK, I.A. KINLOCH, M.S.P. SHAFFER a A.H. WINDLE. Ultra-low electrical percolation threshold in carbon-nanotube-epoxy composites. *Polymer.* 2003, **44**(19), 5893-5899. DOI: 10.1016/S0032-3861(03)00539-1. ISSN 00323861. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0032386103005391>
- [20] *Datasheet: Eccobond 56C.* Dostupné také z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=40d225ec060d4106945b276efed0dc16&ckck=1>
- [21] *Datasheet: Eccobond 57C.* Dostupné také z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=871b0e61918f444995d38ffee1ef34af>
- [22] *Datasheet: Eccobond 59C.* Dostupné také z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=5cf934e42db7409e93ee8229ca9dbed3>
- [23] *Datasheet: Eccobond 83C.* Dostupné také z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=6e44baa54e294870a95baa3f27b5f65f>
- [24] *Datasheet: Eccobond 64C.* Dostupné také z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=fa49c84c9e894cabb49141d222f48b0f>
- [25] *ELCHEMCo* [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://web.elchemco.cz>
- [26] *ČVUT: Prototypové pracoviště* [online]. Praha [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://technology.feld.cvut.cz:8080/xwiki/bin/view/K13113/labrework?xpage=print&language=cs>

- [27] *MARTIN GmbH* [online]. 2016 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.martin-smt.de/en/dispensing/products/dotliner.html>
- [28] *INTERSTATE Handels GmbH* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: http://www.dosierzubehor.de/html/dosiergerat_sl101-220.html
- [29] *Pájecí technika* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.pajeci-technika.cz/www-pajeci-technika-cz/eshop/18-1-SMT-sitotisky/0/5/306-SMT-sitotisk-SAB-69>
- [30] *PBT Rožnov p.R., s.r.o.* [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.pbt.cz/detail/versaprint-b1/326/?path=produkty/tisk-a-dispens/sitotiskova-zarizeni/>
- [31] *Elektricky vodivá lepidla*. Praha, 2014. Individuální projekt. ČVUT.
- [32] *Multimediální výukový systém* [online]. Brno [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/virtualni-laborator/sablonovy-tisk/technologie/>
- [33] *Datasheet: Loctite 3888*. 2003. Dostupné také z: [https://tds.us.henkel.com/NA/UT/HNAUTTDS.nsf/web/8CA2F0C535869B3A882571870000D73E/\\$File/3888-EN.pdf](https://tds.us.henkel.com/NA/UT/HNAUTTDS.nsf/web/8CA2F0C535869B3A882571870000D73E/$File/3888-EN.pdf)
- [34] *Datasheet: Loctite 3863*. 2009. Dostupné také z: tds.loctite.com/tds5/docs/3863-EN.PDF
- [35] *P2J Technology* [online]. [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: <http://www.p2jtechnology.cz>
- [36] *Nature*. 1991-11-7, **354**(6348). ISSN 0028-0836. Dostupné také z: <http://www.nature.com/doi/10.1038/354056a0>
- [37] PREAULT, Valentin, Romain CORCOLLE, Laurent DANIEL a Lionel PICHON. Effective Permittivity of Shielding Composite Materials for Microwave Frequencies. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2013, **55**(6), 1178-1186. DOI: 10.1109/TEMC.2013.2265173. ISSN 0018-9375. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6532368>
- [38] TZONG-LIN WU, Frits BUESINK a Flavio CANAVERO. Overview of Signal Integrity and EMC Design Technologies on PCB: Fundamentals and Latest Progress. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2013, **55**(4), 624-

638. DOI: 10.1109/TEMPC.2013.2257796. ISSN 0018-9375. Dostupné také z:
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6511981>

- [39] RIEKE, G. H. *Detection of light: from the ultraviolet to the submillimeter*. 2nd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2003. ISBN 0521017106.
- [40] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2006. ISBN 978-047-1755-005.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ECA	Elektricky vodivé lepidlo (<i>Electrically Conductive Adhesive</i>)
EMI	Elektromagnetické rušení (<i>Electromagnetic Interference</i>)
RFI	Rušení rádiových kmitočtů (<i>Radio Frequency Interference</i>)
PPM	Počet částic na jeden milion (<i>Parts Per Million</i>)
ACA	Anizotropní vodivé lepidlo (<i>Anisotropic Conductive Adhesive</i>)
ICA	Izotropní vodivé lepidlo (<i>Isotropic Conductive Adhesive</i>)
LE	Světlo emitující (<i>Light Emitting</i>)
IR	Infra červený (<i>Infra Red</i>)
SMD	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů (<i>Surface Mount Device</i>)
UV	Ultrafialové záření (<i>Ultraviolet Radiation</i>)
LCD	Display z tekutých krystalů (<i>Liquid Crystal Display</i>)
Ucc	Napájecí napětí
cca	Asi
cps	Cyklů za sekundu (<i>Cycles per Second</i>)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Bazaltová vlákna pokrytá stříbrem [18]</i>	12
<i>Obr. 2 – Stříbrné nanošupinky[18].....</i>	12
<i>Obr. 3 – Pozlacené nanočástice mědi [18].....</i>	12
<i>Obr. 4 – Stříbrné nanokuličky [18]</i>	13
<i>Obr. 5 – Karbonové nanotrubičky [19]</i>	13
<i>Obr. 6 – Perkolační křivka</i>	14
<i>Obr. 7 – Odpor lepeného spoje.....</i>	16
<i>Obr. 8 – Nejmenší z možných variant balení lepidla – 6 gramů [1]</i>	18
<i>Obr. 9 – 2,5gramové balení lepidla Loctite</i>	23
<i>Obr. 10 – Ruční dispenzer SL 101-220 [28].....</i>	26
<i>Obr. 11 – Robotizovaný dispenzer [27].....</i>	26
<i>Obr. 12 – Manuální nanášecí zařízení pro šablonový tisk [29]</i>	27
<i>Obr. 13 – Automatické sítotiskové zařízení [30]</i>	27
<i>Obr. 14 – Příklad šablony pro šablonové nanášení lepidla [31]</i>	28
<i>Obr. 15 – Průběh nanášení elektricky vodivého lepidla šablonovým tiskem – a) před tiskem, b) během tisku, c) stav po nanesení a odejmutí šablony [32]</i>	28
<i>Obr. 16 – Pájecí pec R460 [35].....</i>	29
<i>Obr. 17 – Pohled na návrhový systém Autocad.....</i>	32
<i>Obr. 18 – Náčrt DPS.....</i>	32
<i>Obr. 19 – Výsledná měřicí deska, ze které je smytý UV citlivý lak.....</i>	32
<i>Obr. 20 – Deska připravená na nanášení lepidla.....</i>	33
<i>Obr. 21 – Nanesené lepidlo, krycí pásy jsou částečně odlepeny</i>	33
<i>Obr. 22 – Deska připravená na měření</i>	33
<i>Obr. 23 – Výstup návrhu desky fotocitlivého prvku.....</i>	34
<i>Obr. 24 – Vyleptaná deska s aplikovaným vodivým lakem EL-3.....</i>	34
<i>Obr. 25 – Schéma oscilátoru s dvěma vyhřívacími rezistory</i>	35
<i>Obr. 26 – Schéma termostatu</i>	37
<i>Obr. 27 – Obrázek univerzální pece Memert UNP 200 uvnitř se nachází měřené vzorky.....</i>	39
<i>Obr. 28 – Multimetr HP34401A</i>	40
<i>Obr. 29 – Multimetr ROHDE & SCHWARZ 8112-3</i>	40
<i>Obr. 30 – a) měřený vzorek b) multimetr.....</i>	41

<i>Obr. 31 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-2, vzorek 1</i>	41
<i>Obr. 32 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-2, vzorek 2</i>	42
<i>Obr. 33 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-3, vzorek 1</i>	42
<i>Obr. 34 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-3, vzorek 2</i>	43
<i>Obr. 35 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 1</i>	43
<i>Obr. 36 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 2</i>	44
<i>Obr. 37 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku Loctite 3863, vzorek 1</i>	44
<i>Obr. 38 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku Loctite 3863, vzorek 2</i>	45
<i>Obr. 39 – Graf závislosti odporu na teplotě, vodivá pryž.....</i>	45
<i>Obr. 40 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-2, vzorek 1</i>	46
<i>Obr. 41 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-2, vzorek 2</i>	46
<i>Obr. 42 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-3, vzorek 1</i>	47
<i>Obr. 43 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku EL-2, vzorek 2</i>	47
<i>Obr. 44 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 1</i>	47
<i>Obr. 45 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 2</i>	48
<i>Obr. 46 – Graf závislosti odporu na teplotě, lepidlo Wire glue, vzorek 1</i>	48
<i>Obr. 47 – Graf závislosti odporu na teplotě, laku Loctite 3863, vzorek 2</i>	49
<i>Obr. 48 – Graf závislosti odporu na teplotě, vodivá pryž.....</i>	49
<i>Obr. 49 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, laku EL-2, vzorek 1</i>	50
<i>Obr. 50 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, laku EL-2, vzorek 2</i>	50
<i>Obr. 51 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, laku EL-3, vzorek 1</i>	51
<i>Obr. 52 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, vodivý lak EL-3, vzorek 2</i>	51
<i>Obr. 53 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lepidlo Wire glue, vzorek 1</i>	52
<i>Obr. 54 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, lepidlo Wire glue, vzorek 2</i>	52
<i>Obr. 55 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, laku Loctite 3863, vzorek 1</i>	53
<i>Obr. 56 – Graf cyklického ohřívání a chlazení, laku Loctite 3863, vzorek 2</i>	53
<i>Obr. 57 – Schéma měřicího obvodu vratných pojistek</i>	54
<i>Obr. 58 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,1A/60V.....</i>	54
<i>Obr. 59 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,2A/60V.....</i>	55
<i>Obr. 60 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,25A/72V.....</i>	55
<i>Obr. 61 – Graf závislosti odporu na teplotě, vratná pojistka 0,85A/30V.....</i>	55
<i>Obr. 62 – Schéma měřicího obvodu fotodetektoru</i>	56
<i>Obr. 63 – Pohled na pracoviště optických měření.....</i>	56

<i>Obr. 64 – Schéma zapojení oscilátoru s vyhřívacím rezistorem.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 65 – Náhled měření oscilačního obvodu</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 66 – Graf oscilačního obvodu s vyhřívacím rezistorem</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 – Parametry vytvrzeného lepidla 8330 udávané výrobcem [2]</i>	72
<i>Tab. 2 – Parametry vytvrzeného lepidla 8330s udávané výrobcem [3]</i>	72
<i>Tab. 3 – Parametry vytvrzeného lepidla 8331 udávané výrobcem [4]</i>	73
<i>Tab. 4 – Parametry vytvrzeného lepidla 8331 udávané výrobcem [5]</i>	73
<i>Tab. 5 – Parametry lepidla Elpox 656 S udávané výrobcem [6]</i>	74
<i>Tab. 6 – Parametry lepidla Elpox AX 12EV udávané výrobcem [7]</i>	75
<i>Tab. 7 – Parametry lepidla Elpox AX 12LVT udávané výrobcem [8]</i>	75
<i>Tab. 8 – Parametry lepidla Elpox AX 15S udávané výrobcem [9]</i>	76
<i>Tab. 9 – Parametry lepidla Elpox ER 55MN udávané výrobcem [10]</i>	77
<i>Tab. 10 – Parametry lepidla Elpox ER63MN udávané výrobcem [11]</i>	77
<i>Tab. 11 – Parametry lepidla Elpox SC24D udávané výrobcem [12]</i>	78
<i>Tab. 12 – Parametry lepidla Elpox SC65MN udávané výrobcem [13]</i>	78
<i>Tab. 13 – Parametry lepidla Elpox SC 70MN udávané výrobcem [14]</i>	79
<i>Tab. 14 – Parametry lepidla Elpox SC 515 udávané výrobcem [15]</i>	79
<i>Tab. 15 – Parametry lepidel Permacol [16]</i>	80
<i>Tab. 16 – Parametry laků Permacol [16]</i>	80
<i>Tab. 17 – Parametry lepidla Eccobond 56C udávané výrobcem [20]</i>	80
<i>Tab. 18 – Parametry lepidla Eccobond 57C udávané výrobcem [21]</i>	81
<i>Tab. 19 – Parametry lepidla Eccobond 59C udávané výrobcem [22]</i>	81
<i>Tab. 20 – Parametry lepidla Eccobond 83C udávané výrobcem [23]</i>	81
<i>Tab. 21 – Parametry lepidla Eccobond 64C udávané výrobcem[24]</i>	81
<i>Tab. 22 – Parametry lepidla Loctite 3888 [33]</i>	81
<i>Tab. 23 – Parametry laku Loctite 3683 [34]</i>	82
<i>Tab. 24 – Parametry lepidla Wire Glue [25]</i>	82
<i>Tab. 25 – Parametry laku EL-2 [25]</i>	82
<i>Tab. 26 – Parametry laku EL-3[25]</i>	82
<i>Tab. 27 – Tabulka naměřených hodnot vzorků lepidel a laků pro teploty 25-100 °C</i>	83
<i>Tab. 28 – Tabulka naměřených hodnot vzorků lepidel a laků pro teploty 85-160 °C</i>	84
<i>Tab. 29 – Měření hystereze laků a lepidel cyklickým ohříváním a chlazením</i>	85
<i>Tab. 30 – Měření vratných proudových pojistek</i>	86
<i>Tab. 32 – Naměřené hodnoty fotosensoru</i>	87
<i>Tab. 33 – Naměřené a vypočtené hodnoty oscilačního obvodu s výhřevem</i>	87

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: TABULKY PARAMETRŮ LEPIDEL A LAKŮ

PŘÍLOHA P II: TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

PŘÍLOHA P I: TABULKY PARAMETRŮ LEPIDEL A LAKŮ

Označení výrobku:	Silver Conductive Epoxy Adhesive: 8330
Pracovní čas [min]	10
Skladovatelnost [let]	≥3
Tvrzení do možnosti manipulovatelnosti s PCB [hod] @ 22 °C	6
Doba do plného vytvrzení [hod] @ 22 °C	24
Doba do plného vytvrzení [min] @ 65 °C	20
Skladovací teplota nezamíchaných částí [°C]	22 - 27
Rezistivita [Ω .cm]	0,001
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 25 °C	1,63
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 50 °C	1,79
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 100 °C	1,65
Hustota [g/cm ³]	3,3
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ nerezová ocel - třída 2	6,5
Tvrдость	83D
Barva	Stříbřitě šedá
Typ lepidla [poměr]	Dvousložkové 1:1

Tab. 1 – Parametry vytvrzeného lepidla 8330 udávané výrobcem [2]

Označení výrobku:	Silver Conductive Epoxy Adhesive: 8330s
Pracovní čas [min]	240
Skladovatelnost [let]	≥3
Doba do plného vytvrzení [hod] @ 22 °C	96
Doba do plného vytvrzení [min] @ 65 °C	120
Doba do plného vytvrzení [min] @ 80 °C	60
Skladovací teplota nezamíchaných částí [°C]	22 - 27
Rezistivita [Ω .cm]	0,0007
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 25 °C	1,748
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 50 °C	1,750
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 100 °C	1,684
Hustota [g/cm ³]	2,82
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ nerezová ocel 304	1,3
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ hliník 5052	2,6
Tvrдость	73D
Barva	Stříbřitě šedá
Typ lepidla [poměr]	Dvousložkové 1:1

Tab. 2 – Parametry vytvrzeného lepidla 8330s udávané výrobcem [3]

Označení výrobku:	Silver Conductive Epoxy Adhesive: 8331
Pracovní čas [min]	10
Skladovatelnost [let]	≥3
Tvrzení do možnosti manipulovatelnosti s PCB [hod] @ 22 °C	5
Doba do plného vytvrzení [hod] @ 22 °C	24
Doba do plného vytvrzení [min] @ 65 °C	15
Doba do plného vytvrzení [min] @ 90 °C	12
Doba do plného vytvrzení [min] @ 125 °C	7
Doba do plného vytvrzení [min] @ 150 °C	5
Skladovací teplota nezamíchaných částí [°C]	16 - 27
Rezistivita [Ω.cm]	0,007
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 25 °C	0,903
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 50 °C	0,893
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 100 °C	0,813
Hustota [g/cm ³]	2,44
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ hliník 5052	8,0
Tvrdost	70D
Barva	Stříbřitě šedá
Typ lepidla [poměr]	Dvousložkové 1:1
Pracovní čas [min]	10

Tab. 3 – Parametry vytvrzeného lepidla 8331 udávané výrobcem [4]

Označení výrobku:	Silver Conductive Epoxy Adhesive: 8331s
Pracovní čas [min]	240
Skladovatelnost [let]	≥3
Doba do plného vytvrzení [hod] @ 22 °C	96
Doba do plného vytvrzení [min] @ 65 °C	120
Doba do plného vytvrzení [min] @ 90 °C	50
Skladovací teplota nezamíchaných částí [°C]	22 - 27
Rezistivita [Ω.cm]	0,006
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 25 °C	0,850
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 50 °C	0,826
Tepelná vodivost [W/m.K] @ 100 °C	0,961
Hustota [g/cm ³]	2,191
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ nerezová ocel 304	1,1
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ hliník 5052	4,8
Tvrdost	73D
Barva	Stříbřitě šedá
Typ lepidla [poměr]	Dvousložkové 1:1
Pracovní čas [min]	240

Tab. 4 – Parametry vytvrzeného lepidla 8331 udávané výrobcem [5]

Označení výrobku	ELPOX 656 S
Počet složek	2
Poměr mísení A:B [váhový poměr]	10:0,5
Konzistence po mísení A+B	Hladká pasta
Barva	Jasně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	70 ± 1
Viskozita část A [cps] @ 25 °C	800 000 – 880 000
Viskozita část A+B [cps] @ 25 °C	750 000 – 800 000
Thixotropický index části A @ 1/10 rpm, 25 °C	7,0 – 7,5
Thixotropický index části A+B @ 1/10 rpm, 25 °C	6,0 – 6,5
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 140 °C	60
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 180 °C	15
Doporučený plán tvrzení ve vyhřívaném tunelu	Předehřívání: ~3 min. 20 -> 100 °C Tvrzení: ~5 min. 100 -> 180 °C Dochlazování: ~1 min. 180 -> 30 °C
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25 °C	2,5 - 3
Skladovatelnost [měsíců]	12
Hustota [g/cm ³]	2,95 – 3,10
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	15 - 20
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,0001 – 0,002
Rezistivita při tvrzení v tunelu [Ω.cm]	0,00007 – 0,0001
Ztráta váhy [%] @ 190 °C	0,5
Tepelná vodivost [W/m.K]	4,2 – 4,8
Přechod zesklenění [°C]	105

Tab. 5 – Parametry lepidla Elpox 656 S udávané výrobcem [6]

Označení výrobku:	ELPOX AX 12EV
Počet složek	2
Poměr mísení A:B [váhový poměr]	3:2
Konzistence po mísení A+B	Hladká pasta
Barva	Jasně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	60 ± 1
Viskozita část A [cps] @ 25 °C	12 000 – 13 500
Viskozita část A+B [cps] @ 25 °C	7 000 – 8 200
Thixotropický index části A @ 1/10 rpm, 25 °C	Neudáno
Thixotropický index části A+B @ 1/10 rpm, 25 °C	4,5
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 120 °C	120
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 140 °C	100
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Tvrzení: ~5 min. vrchol při 180 °C
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25°C	8
Skladovatelnost [měsíců]	6
Hustota [g/cm ³]	2,25 – 2,35
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	Neudáno
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,0004 – 0,0006
Rezistivita při tvrzení v tunelu [Ω.cm]	0,0004 – 0,0006
Ztráta váhy [%] @ 190 °C	Neudáno
Tepelná vodivost [W/m.K]	3,0 – 4,8
Přechod zesklenění [°C]	Neudáno

Tab. 6 – Parametry lepidla Elpox AX 12EV udávané výrobcem [7]

Označení výrobku:	ELPOX AX 12LVT
Počet složek	2
Poměr mísení A:B [váhový poměr]	1:1
Konzistence po mísení A+B	Hladká pasta
Barva	Jasně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	55 ± 1
Viskozita část A [cps] @ 25 °C	Neudáno
Viskozita část A+B [cps] @ 25 °C	250 000 – 290 000
Thixotropický index části A @ 1/10 rpm, 25 °C	Neudáno
Thixotropický index části A+B @ 1/10 rpm,	5,4 – 6,0
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 80 °C	25
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 100 °C	15
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 120 °C	10
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Tvrzení: ~5 min. vrchol při 150 °C
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25°C	5
Skladovatelnost [měsíců] @ 25°C	6
Hustota [g/cm ³]	2,35 – 2,65
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	Neudáno
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,00015 – 0,00025
Rezistivita při tvrzení v tunelu [Ω.cm]	0,00015 – 0,00025
Ztráta váhy [%]	Neudáno
Tepelná vodivost [W/m.K]	3,0 – 3,5
Přechod zesklenění [°C]	≥95

Tab. 7 – Parametry lepidla Elpox AX 12LVT udávané výrobcem [8]

Označení výrobku:	ELPOX AX 15S
Počet složek	2
Poměr mísení A:B [váhový poměr]	1:1
Konzistence po mísení A+B	Hladká pasta
Barva	Temně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	55 ± 1
Viskozita část A [cps] @ 25 °C	25 000 – 28 000
Viskozita část B [cps] @ 25 °C	120 000 – 140 000
Viskozita část A+B [cps] @ 25 °C	28 000 – 30 000
Thixotropický index části A @ 1/10 rpm, 25 °C	Neudáno
Thixotropický index části A+B @ 1/10 rpm,	4,2 – 5,0
Doporučená doba tvrzení v [hod] @ 20 °C	24
Doporučená doba tvrzení v [min] @ 60 °C	120
Doporučená doba tvrzení v [min] @ 80 °C	100
Doporučená doba tvrzení v [min] @ 120 °C	30
Doporučená doba tvrzení v [min] @ 150 °C	15
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25°C	1,5
Skladovatelnost [měsíců] @ 25°C	6
Hustota části A [g/cm ³]	2,35 – 2,65
Hustota části B [g/cm ³]	1,55 – 1,65
Hustota části A+B [g/cm ³]	1,95 – 2,50
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	Neudáno
Rezistivita při tvrzení @ 20 °C, 24 hod [Ω.cm]	0,001 – 0,0012
Rezistivita při tvrzení @ 60 °C, 120 min [Ω.cm]	0,0008 – 0,0009
Rezistivita při tvrzení @ 150 °C, 15 min [Ω.cm]	0,00017 – 0,00018
Ztráta váhy [%]	Neudáno
Tepelná vodivost [W/m.K]	3,0 – 3,5
Přechod zesklenění [°C]	78

Tab. 8 – Parametry lepidla Elpox AX 15S udávané výrobcem [9]

Označení výrobku:	ELPOX ER 55MN
Počet složek	1
Konzistence	Tekutá pasta
Barva	Stříbrná
Plnění stříbrem [%]	70 ± 1
Viskozita část [cps] @ 25 °C	24 500 – 48 000
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 150 °C	15-20
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 180 °C	7-8
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 200 °C	3-4
Doporučený plán tvrzení ve vyhřívaném tunelu	Tvrzení: ~5 min. vrchol při 180 °C
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25°C	Neudáno
Skladovatelnost [měsíců] @ 5°C	6
Hustota [g/cm ³]	3,2 – 3,5
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	Neudáno
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,00004 – 0,000075
Rezistivita při tvrzení v tunelu [Ω.cm]	0,00004 – 0,000075
Ztráta váhy [%] @ 190 °C	Neudáno
Tepelná vodivost [W/m.K]	Neudáno
Přechod zesklenění [°C]	Neudáno

Tab. 9 – Parametry lepidla Elpox ER 55MN udávané výrobcem [10]

Označení výrobku:	ELPOX ER 63MN
Počet složek	1
Konzistence	Tekutá pasta
Barva	Temně stříbrná
Plnění stříbrem (uvnitř připravené pasty) [%]	63 ± 1
Plnění stříbrem suchý extrakt [%]	78 ± 1
Viskozita část [cps] @ 25 °C	28 500 – 30 000
Čas sušení před tvrdícím procesem @ 25 °C [hod]	6 – 8
Čas sušení před tvrdícím procesem @ 80 °C [min]	5
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 180 °C	40-60
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 200 °C	20
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Tvrzení: ~5 min. vrchol při 150 °C
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25°C	Neudáno
Skladovatelnost [měsíců] @ 10°C	6
Hustota [g/cm ³]	2,5 – 2,7
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	Neudáno
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,00005 – 0,000065
Rezistivita při tvrzení v tunelu [Ω.cm]	0,00005 – 0,000065
Ztráta váhy [%] @ 190 °C	Neudáno
Tepelná vodivost [W/m.K]	Neudáno
Přechod zesklenění [°C]	Neudáno

Tab. 10 – Parametry lepidla Elpox ER63MN udávané výrobcem [11]

Označení výrobku:	ELPOX SC 24D
Počet složek	1
Konzistence	Tekutá pasta
Barva	Stříbrná
Plnění stříbrem [%]	75 ± 1
Viskozita [cps] @ 25 °C	360 000 – 400 000
Thixotropický index	3,3 – 3,5
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 140 °C	30
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 170 °C	5
Doba zpracovatelnosti [měsíců]	1 (uzavřený prostor)
Skladovatelnost [měsíců] @ 25°C	6
Hustota [g/cm ³]	2,1 – 2,3
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	7 – 8
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,0002 – 0,0005
Ztráta váhy [%] @ 300 °C	1,6
Tepelná vodivost [W/m.K]	2,5 – 3,0
Přechod zesklenění [°C]	≥95

Tab. 11 – Parametry lepidla Elpox SC24D udávané výrobcem [12]

Označení výrobku:	ELPOX SC 65MN
Počet složek	1
Konzistence	Tekutá pasta
Barva	Jasně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	65 ± 1
Viskozita část A [cps] @ 25 °C	Neudáno
Viskozita část A+B [cps] @ 25 °C	245 000 – 265 000
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 180 °C	40 - 60
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 200 °C	20
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Tvrzení: ~10 min. vrchol při 200 °C
Doba zpracovatelnosti [hodin] @ 25°C	Neudáno
Skladovatelnost [měsíců] @ 10°C	6
Hustota [g/cm ³]	2,1 – 2,4
Pevnost ve smyku [N/mm ²]	Neudáno
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,0004 – 0,00055
Rezistivita při tvrzení v tunelu [Ω.cm]	0,0004 – 0,00055
Ztráta váhy [%] @ 190 °C	Neudáno
Tepelná vodivost [W/m.K]	Neudáno
Přechod zesklenění [°C]	Neudáno

Tab. 12 – Parametry lepidla Elpox SC65MN udávané výrobcem [13]

Označení výrobku:	ELPOX SC 70MN
Počet složek	1
Konzistence	Tekutá pasta
Barva	Jasně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	70 ± 1
Viskozita [cps] @ 25 °C	530 000 – 560 000
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 180 °C	40 - 60
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 200 °C	20
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Tvrzení: ~10 min. vrchol při 200 °C
Skladovatelnost [měsíců] @ 10 °C	6
Hustota [g/cm ³]	2,1 – 2,4
Rezistivita [Ω.cm]	0,00015 – 0,00025
Max. operační teplota [°C]	300

Tab. 13 – Parametry lepidla Elpox SC 70MN udávané výrobcem [14]

Označení výrobku:	ELPOX SC 515
Počet složek	1
Konzistence	Jemná, hladká pasta
Barva	Jasně stříbrná
Plnění stříbrem [%]	66 ± 2
Viskozita [cps] @ 25 °C	130 000 – 140 000 (1 rpm)
Viskozita [cps] @ 25 °C	45 000 – 55 000 (5 rpm)
Viskozita [cps] @ 25 °C	25 000 – 35 000 (10 rpm)
Thixotropický index části 1/10 @ 25 °C	4,7
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 150 °C	120
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 180 °C	15
Doporučená doba tvrzení v peci [min] @ 200 °C	5
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Rampa: 20 - 120°C – 2,5 min
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Rampa: 120 - 180°C – 5 min
Doporučený plán tvrzení v IR vyhřívaném tunelu	Rampa: 180 - 20°C – 3,5 min
Skladovatelnost [měsíců] @ 15°C	12
Hustota [g/cm ³]	2,6 – 2,7
Pevnost ve smyku [N/mm ²] @ Al-Al	14 – 17
Rezistivita při tvrzení v peci [Ω.cm]	0,0006 – 0,003
Ztráta váhy [%] @ 190 °C	0,4
Tepelná vodivost [W/m.K]	3,0 – 3,2
Přechod zesklenění [°C]	≥90

Tab. 14 - Parametry lepidla Elpox SC 515 udávané výrobcem [15]

Typ	Aplikační oblasti					
PERMACOL® 2369/2	1-Komp., stříbrem plněné epoxidové lepidlo, pro všeobecné aplikace					
PERMACOL® 2369/10	1-Komp., stříbrem plněné epoxidové lepidlo, pro síťový a šablonový tisk					
PERMACOL® 2805 A/B	2-Komp., stříbrem plněné epoxidové lepidlo se zvýšenou viskozitou					
PERMACOL® 2810 A/B	2-Komp., stříbrem plněné epoxidové lepidlo, náhrada pájecí pasty při aplikaci tepelně citlivých součástek					
PERMACOL® 8845/3	Akrylátová báze, stříbrem plněné lepidlo, pro flexibilní DPS					
PERMACOL® 2855 A/B	2-Komp., grafitem plněné epoxidové lepidlo, náhradá pájecí pasty při aplikaci tepelně citlivých součástek					
Typ	Báze	1 nebo 2 komponentní	Rezistivita ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Tvrdoost	Doba Zprac.	Tvrzení ($t/^\circ\text{C}$)
PERMACOL® 2369/2	Expoxid	1	$<3 \times 10^{-4}$	85D	-	6m/125
PERMACOL® 2369/10	Expoxid	2	$<3 \times 10^{-4}$	80D	-	6m/125
PERMACOL® 2805 A/B	Expoxid	2 (100:40)	$<3 \times 10^{-4}$	85D	2 hod	48hod/20
PERMACOL® 2810 A/B	Expoxid	2 (100:100)	$<3 \times 10^{-4}$	70D	2 hod	48hod/20
PERMACOL® 8845/3	Akrylát	1	$<3 \times 10^{-4}$	60D	-	20m/150
PERMACOL® 2855 A/B	Epoxid	2 (100:100)	$<4 \times 10^{-4}$	70D	2 hod	48m/20

Tab. 15 – Parametry lepidel Permacol [16]

Typ	Aplikační oblasti					
PERMACOL® 1815/2	Stříbrem plněný, alkydový lak, určený k opravám vodivých cest v DPS					
PERMACOL® 1828 A/B	2-Komp., stříbrem plněný epoxidový lak, určený k opravám plošných spojů					
Typ	Báze	1 nebo 2 komponentní	Rezistivita ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Tvrdoost	Doba Zprac.	Tvrzení ($t/^\circ\text{C}$)
PERMACOL® 1815/2	Alkyd	1	$<3 \times 10^{-3}$	65D	-	24h/20 1h/120
PERMACOL® 1828 A/B	Expoxid	2 (100:55)	$<5 \times 10^{-4}$	70D	1-2h	48h/120

Tab. 16 – Parametry laků Permacol [16]

Typ	Eccobond 56C		
Hustota:	3,5g/cm ³	Maximální provozní teplota:	130°C
Adhezivní síla spoje:	5,52 Mpa	Minimální provozní teplota:	-40°C
Barva:	Stříbrná	Viskozita:	Tixotropní
Rezistivita	0,0002 $\Omega \cdot \text{cm}$	Doba tvrzení:	30min při 100°C
		Doba tvrzení:	60min při 65°C

Tab. 17 – Parametry lepidla Eccobond 56C udávané výrobcem [20]

Typ		Eccobond 57C	
Hustota:	3,5g/cm ³	Maximální provozní teplota:	90°C
Adhezivní síla spoje:	4,83 Mpa	Minimální provozní teplota:	-40°C
Barva:	Stříbrná	Viskozita:	Tixotropní pasta
Rezistivita	0,0006Ω.cm	Doba tvrzení:	180min při 65°C
Doba tvrzení:	45min při 100°C	Doba tvrzení:	960min při 25°C

Tab. 18 – Parametry lepidla Eccobond 57C udávané výrobcem [21]

Tab. 19 – Parametry lepidla Eccobond 59C udávané výrobcem [22]

Typ		Eccobond 83C	
Hustota:	3,0g/cm ³	Maximální provozní teplota:	90°C
Adhezivní síla spoje:	6,89 Mpa	Minimální provozní teplota:	-40°C
Barva:	Stříbrná	Viskozita:	Tixotropní pasta
Rezistivita	0,0004Ω.cm	Doba tvrzení:	30min při 100°C
		Doba tvrzení:	60min při 65°C

Tab. 20 – Parametry lepidla Eccobond 83C udávané výrobcem [23]

Typ		Eccobond 64C	
Hustota:	3,2g/cm ³	Maximální provozní teplota:	130°C
Adhezivní síla spoje:	5,52 Mpa	Minimální provozní teplota:	-40°C
Barva:	Stříbrná	Viskozita:	Tixotropní pasta
Rezistivita	0,02Ω.cm	Doba tvrzení:	60min při 65°C
Doba tvrzení:	30min při 100°C	Doba tvrzení:	1440min při 25°C

Tab. 21 – Parametry lepidla Eccobond 64C udávané výrobcem [24]

Typ		Loctite 3888	
Hustota při 25 °C:	2.50 g/cm ³	Max. pracovní teplota:	nad 80°C
Báze:	Epoxid	Smyková pevnost @ Al:	≥12 N.cm ²
Počet složek:		2 Rezistivita:	<0.001 Ω.cm
Vzhled pryskyřice:	Stříbrná pasta	Viskozita:	Tuhá pasta
Vzhled tužidla:	Číré	Koef. tepl. vodivosti:	>1.50 W/m.°C
Doba tvrzení:	60min při 125°C	Doba tvrzení:	24hod při 22°C
Skladovací teplota:	oddělené části @22°C 6 měs.	Skladovací teplota:	A+B smícháno @-40°C déle než rok
		Vodivá složka	Stříbro

Tab. 22 – Parametry lepidla Loctite 3888 [33]

Typ	Loctite 3863
Technologie:	Rozpouštědlový lak
Vzhled:	Stříbrná kapalina
Vytvrzení:	Vyschnutí na vzduchu
Hmotnost:	při 25°C 0,965 g/cm ³
Skladování:	8 až 21°C
Skladování:	nad 28°C může negativně ovlivnit vlastnosti
Vodivá složka:	Stříbro

Tab. 23 – Parametry laku Loctite 3683 [34]

Typ		Wire Glue	
Hustota:	0,6g/cm ³	Maximální provozní teplota:	83°C
Adhezivní síla spoje:	5,52 Mpa	Minimální provozní teplota:	-18°C
Barva:	Černá	Viskozita:	Tixotropní pasta
Rezistivita	13,16Ω.cm	Doba tvrzení:	12-48 hod

Tab. 24 – Parametry lepidla Wire Glue [25]

Typ	EL-2
Typ laku:	n/a
Ředidlo:	Toluen
Plněno:	Stříbrem
Vzhled:	Nažloutlé barvy
Doba tvrzení:	cca 60min při 25°C
Rezistivita:	desítky Ω.cm
Balení	4ml

Tab. 25 – Parametry laku EL-2 [25]

Typ	EL-3
Typ laku:	n/a
Ředidlo:	Toluen
Plněno:	Grafitem
Vzhled:	Černé barvy
Doba tvrzení:	cca 60min při 25°C
Rezistivita:	desítky Ω.cm
Balení	8ml

Tab. 26 – Parametry laku EL-3 [25]

PŘÍLOHA P II: TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

Temperatura °C	R-EL2-vzorek1 [Ω]	R-EL2-vzorek2 [Ω]	R-EL3-vzorek1 [Ω]	R-EL3-vzorek2 [Ω]	R-WG-vzorek1 [Ω]	R-WG-vzorek2 [Ω]	R-LO-vzorek1 [Ω]	R-LO-vzorek2 [Ω]	R-GUMA-vzorek1 [Ω]
25	0,2162	0,2745	150,1	125,945	70,695	69,752	0,0581	0,0181	7,628
30	0,2172	0,2765	153,165	131,801	70,655	69,6596	0,0581	0,018	7,705
35	0,2185	0,2778	157,333	137,657	70,54	69,528	0,0585	0,0182	7,753
40	0,2192	0,2791	165,539	141,996	70,494	69,3634	0,0586	0,0182	7,835
45	0,2209	0,2799	170,526	145,966	70,7276	69,4929	0,0584	0,018	7,933
50	0,2196	0,2799	175,513	151,632	71,4487	70,073	0,0563	0,0175	7,966
55	0,2188	0,2785	180,5	161,243	72,53	70,85	0,0556	0,0175	8,029
60	0,2163	0,2763	197,498	172,565	74,2002	72,296	0,054	0,0165	8,135
65	0,2149	0,2733	213,135	185,724	75,523	73,726	0,0529	0,0159	8,199
70	0,2119	0,2673	228,775	203,489	78,316	75,707	0,0507	0,0152	8,238
75	0,2041	0,2628	257,431	221,255	74,0327	65,2001	0,0482	0,0146	8,267
80	0,1955	0,2475	275,939	235,354	70,9999	62,183	0,0457	0,0138	8,35
85	0,1864	0,2338	294,885	249,481	67,9323	59,258	0,0421	0,0132	8,427
90	0,1744	0,2155	305,206	259,302	63,9086	55,2743	0,0383	0,0123	8,355
95	0,1651	0,2033	305,381	260,06	61,4725	52,8151	0,0356	0,0111	8,457
100	0,1588	0,1947	308,388	264,911	58,4429	49,7001	0,0332	0,0101	8,458

Tab. 27 – Tabulka naměřených hodnot vzorků lepidel a laků pro teploty 25-100 °C

Temperatura °C	R-EL2-vzorek1 [Ω]	R-EL2-vzorek2 [Ω]	R-EL3-vzorek1 [Ω]	R-EL3-vzorek2 [Ω]	R-WG-vzorek1 [Ω]	R-WG-vzorek2 [Ω]	R-LO-vzorek1 [Ω]	R-LO-vzorek2 [Ω]	R-GUMA-vzorek1 [Ω]
85	0,1515	0,1841	320,943	281,126	60,805	52,513	0,0329	0,0111	8,419
90	0,1466	0,1789	294,62	258,465	60,539	51,665	0,0312	0,0098	8,345
95	0,1483	0,1781	298,539	263,188	57,071	47,986	0,0312	0,0094	8,447
100	0,1452	0,177	298	263,736	54,35	45,087	0,0316	0,0091	8,446
105	0,1442	0,1756	296,442	262,695	51,932	42,367	0,0311	0,0095	8,521
110	0,1421	0,1734	293,889	260,221	49,723	40,113	0,0306	0,0089	8,641
115	0,1387	0,1694	291,111	257,021	47,399	37,111	0,0304	0,0088	8,752
120	0,1351	0,1653	285,421	252,867	45,676	34,956	0,0299	0,0091	8,868
125	0,1322	0,162	280,643	249,222	43,946	32,946	0,0298	0,0093	8,885
130	0,129	0,1587	276,207	245,363	42,238	30,433	0,0295	0,0095	8,994
135	0,125	0,1544	270,844	241,145	40,975	28,775	0,029	0,0082	9,226
140	0,1236	0,1519	265,411	237,222	39,901	26,613	0,0291	0,0092	9,229
145	0,1217	0,1512	261,995	234,855	39,031	25,135	0,0292	0,0092	9,242
150	0,1211	0,1505	261,654	235,343	38,682	23,586	0,0292	0,0093	9,254
155	0,1209	0,1503	261,133	235,831	38,333	22,063	0,0292	0,0094	9,273
160	0,1204	0,1501	260,701	236,321	37,982	20,525	0,0292	0,0094	9,288

Tab. 28 – Tabulka naměřených hodnot vzorků lepidel a laků pro teploty 85-160 °C

Temperatur °C	R-EL2-vzorek1 [Ω]	R-EL2-vzorek2 [Ω]	R-EL3-vzorek1 [Ω]	R-EL3-vzorek2 [Ω]	R-WG-vzorek1 [Ω]	R-WG-vzorek2 [Ω]	R-LO-vzorek1 [Ω]	R-LO-vzorek2 [Ω]
110	0,1044	0,1298	240,727	211,561	56,646	41,303	0,0254	0,0082
160	0,1175	0,147	253,102	226,303	51,913	32,848	0,0289	0,0091
110	0,1042	0,1293	236,005	208,511	64,991	47,729	0,0254	0,0081
160	0,1153	0,1443	255,681	227,994	57,388	38,974	0,0285	0,0089
110	0,1035	0,1273	230,291	201,118	70,283	53,229	0,0251	0,008

Tab. 29 – Měření hystereze laků a lepidel cyklickým ohříváním a chlazením

Temperatur °C	0,1A/60V[Ω]	0,2A/60V[Ω]	0,25A/72V[Ω]	0,85A/30V[Ω]
25	4,133	2,139	2,198	0,933
30	4,178	2,159	2,232	0,924
35	4,292	2,228	2,291	0,898
40	4,403	2,29	2,352	0,895
45	4,534	2,36	2,42	0,883
50	4,659	2,429	2,486	0,863
55	4,882	2,537	2,583	0,863
60	5,061	2,624	2,686	0,851
65	5,415	2,816	2,841	0,868
70	5,743	2,985	3,005	0,849
75	6,042	3,149	3,121	0,866
80	6,54	3,369	3,347	0,877
85	7,022	3,567	3,441	0,881
90	7,459	3,963	3,772	0,888
95	8,626	4,597	4,241	0,894
100	9,792	5,205	4,637	0,931
105	12,963	6,632	5,824	0,99
110	21,185	11,823	9,876	1,097
115	40,127	15,605	15,789	1,197
120	177,29	124,29	55,643	1,631
125	25000000	850,666	735,903	3,308
130	99999999	99999999	45810000	5,743
135	99999999	99999999	65426000	12,04
140	99999999	99999999	78524000	20,239
145	99999999	99999999	112640000	37,421
150	99999999	99999999	99999999	67,342
155	99999999	99999999	99999999	129,37
160	99999999	99999999	99999999	145,62

Tab. 30 – Měření vratných proudových pojistek

Vzorek:	WG[Ω]	EL-3[Ω]	EL-2[Ω]	WG s filtrem 3 [Ω]
Detektor v klidu [Ω]	140,8	465,8	0,91321	141,425
Detektor při dopadajícím záření [Ω]	142,22	544,3	0,92691	141,565
Časová konstanta [s]	4	4	2	4
Rozdíl [Ω]	1,42	78,5	0,0137	0,14
Výkon laseru [mW]	31,3	31,3	31,3	31,1
[Ω*W ⁻¹]	45,36741	2507,987	0,4377	4,47284345

Tab. 31 – Naměřené hodnoty fotosensoru

Čas t [s]	Uc [V]	Uv [V]	Ohřev [s]	Chlazení [s]	Perioda [s]	f [Hz]
1	12,2	22				
20	10,5	22				
72	4	0	52			
180	10,5	22		108	160	0,00625
241	4	0	61			
320	10,5	22		79	140	0,007143
390	4	0	70			
440	10,5	22		50	120	0,008333
540	4	0	100			
615	10,5	22		75	175	0,005714
690	4	0	75			
760	10,5	22		70	145	0,006897
835	4	0	75			
910	10,5	22		75	150	0,006667
990	4	0	80			
1060	10,5	22		70	150	0,006667
1140	4	0	80			
1215	10,5	22		75	155	0,006452
1290	4	0	75			
1375	10,5	22		85	160	0,00625
1455	4	0	80			
1535	10,5	22		80	160	0,00625
1615	4	0	80			
1695	10,5	22		80	160	0,00625
1780	4	0	85			

Napájecí napětí obvodu 22V po celou dobu měření.

Tab. 32 – Naměřené a vypočtené hodnoty oscilačního obvodu s výhřevem