



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrotechnologie

## Vlastnosti vodivých adhezních spojů po různých typech namáhání

## Properties of conductive adhesive joints after different types of stress

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Technologické systémy

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Mach, CSc.

**Bc. Jiří Sokol**

**Praha 2022**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sokol** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **466340**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Technologické systémy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Vlastnosti vodivých adhezivních spojů po různých typech namáhání**

Název diplomové práce anglicky:

**Properties of conductive adhesive joints after different types of stress**

Pokyny pro vypracování:

- Navrhnete testovací desku plošného spoje, která umožní pro měření odporu spojů využít jak čtyřbodového, tak třibodového, připojení.
- Vytvořte adhezivní spoje na testovací desce adhezivní montáží odporů nulové hodnoty (jumperů).
- Změřte odpor spojů s využitím čtyřbodové a třibodové metody.
- Změřte teplotní závislost odporu spojů v rozsahu teplot 24 – 90 °C a diskutujte její průběh.
- Spoje zatěžujte teplotními šoky.
- Zjistěte vliv uvedeného typu zatěžování na odpor spojů. Případné změny vysvětlete.
- Zjistěte koeficient teplotní roztažnosti vodivého lepidla v ose z.

Seznam doporučené literatury:

- [1] R. Aradhana, S. Mohanty, S. K. Nayak, "A review on epoxy-based electrically conductive adhesives", International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 99, pp. 1-18, June 2020.
- [2] H.M. Ren, K. Zhang, Y.M.F. Matthew, X. Fu, R. Sun, C.P. Wong, "Preparation and performance of Ag-coated Cu flakes filled epoxy as electrically conductive adhesives," Journal of Solid-State Lighting, Vol. 1, pp. 1-7, September 2014.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Pavel Mach, CSc. katedra elektrotechnologie FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **06.01.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **20.05.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

doc. Ing. Pavel Mach, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis díkarsky

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

**V Praze dne**

**Podpis autora**

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl bych poděkovat svému vedoucímu panu doc. Ing. Pavlu Machovi, CSc. za vedení při tvorbě této diplomové práce, za cenné rady a za jeho trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Denisovi Frošovi za provedení termomechanické analýzy v experimentální části této práce a paní za Ing. Ivaně Beshajové Pelikánové za rady při realizaci experimentální části. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu při studiu.

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá vlivem teploty a teplotních šoků na elektrický odpor vodivých lepidel. V teoretické části je popsáno složení elektricky vodivých lepidel. V teoretické části je dále popsáno rozdělení elektricky vodivých lepidel podle principu vodivosti. Dále je zde popsán vliv teploty a teplotních šoků na odpor adhezních spojů. Experimentální část se zaměřuje na vytvoření vzorků adhezních spojů, měření elektrického odporu čtyřbodovou a třibodovou metodou, měření teplotní závislosti elektrického odporu, měření teplotního koeficientu roztažnosti a sledování vlivu šoků na elektrický odpor spojů.

**Klíčová slova: elektricky vodivá lepidla, teplotní šoky, teplotní závislost elektrického odporu, teplotní koeficient roztažnosti**

## **Annotation**

This diploma thesis deals with the influence of temperature and thermal shocks on the electrical resistance of conductive adhesives. The theoretical part describes the composition of electrically conductive adhesives. The theoretical part further describes the distribution of electrically conductive adhesives according to the principle of conductivity. Furthermore, the influence of temperature and temperature shocks on the resistance of adhesive joints is described here. The experimental part focuses on the creation of samples of adhesive joints, measurement of electrical resistance by four-point and three-point method, measurement of temperature dependence of electrical resistance, measurement of temperature coefficient of expansion and monitoring of the effect of thermal shocks on electrical resistance of joints.

**Key words: electrically conductive adhesives, thermal shocks, temperature dependence of electrical resistance, thermal coefficient of expansion**

Úvod .....	10
1. Teoretická část .....	11
1.1. Složení elektricky vodivých lepidel (ECA) .....	11
1.1.1. Vazební složka elektricky vodivých lepidel.....	11
1.1.2. Plnivo elektricky vodivých lepidel.....	11
1.2. Rozdělení elektricky vodivých lepidel podle druhu vodivosti.....	13
1.2.1 Perkolační teorie.....	13
1.2.2. Lepidla s izotropní vodivostí (ICA).....	14
1.2.3. Lepidla s anizotropní vodivostí (ACA).....	15
1. 4. Teplotní závislost odporu elektricky vodivých lepidel .....	17
1.5. Zkouška teplotními šoky.....	19
1.6 Termomechanická analýza (TMA).....	19
2. Experimentální část .....	20
2.1. Příprava experimentu.....	20
2.1.1. Návrh desek plošných spojů.....	20
2.1.2. Rezistory 0R0 .....	21
2.1.3. Použitá lepidla .....	22
2.1.3.1. ELPOX SC 515 .....	22
2.1.3.2 ELPOX AX 15S.....	22
2.1.4. Nanesení lepidel a osazení rezistory 0R0 .....	23
2.1.5 Vytvrzení vzorků .....	25
2.2. Zkouška teplotními šoky.....	25
2.3. Měření teplotní závislosti odporu.....	26
2.5. Měření elektrického odporu .....	27
2.6. Rozdělení vzorků.....	29
2.7. Zpracování dat .....	30
2.7.1. Zpracování dat pro zkoušku teplotními šoky.....	30
2.7.2. Zpracování dat pro teplotní závislost odporu a termomechanické analýzy .....	32
3. Výsledky měření .....	33
3.1. Výsledky pro zkoušku teplotními šoky .....	33
3.2. Výsledky pro měření teplotní závislosti odporu.....	38
3.3 Výsledky termomechanické analýzy .....	40
Diskuse výsledků.....	42
Závěr.....	44
Seznam obrázků.....	46
Seznam tabulek.....	47



<b>Seznam symbolů a zkratk</b> .....	47
<b>Literatura</b> .....	48
<b>Přílohy</b> .....	50
<b>Seznam příloh</b> .....	50

## Úvod

Při výrobě elektrických a elektronických zařízení jsou kladeny velké požadavky na vytváření elektricky vodivých spojů. Dlouho dobu byla pro vytvoření elektricky vodivých spojů používána olovnatá pájka (sloučenina cínu a olova). Důvodem byla dobře zvládnutá technologie pájení, cenová dostupnost pájky a kvalita spojů z hlediska elektrických a mechanických vlastností.

S příchodem směrnice RoHS (Restriction of Hazardous Substances), která ve značné míře omezuje použití olova při výrobě elektrických a elektronických zařízení, bylo potřeba přijít s jiným řešením při vytváření elektricky vodivých spojů bez přítomnosti olova.

Jednou z možností, která v dnešní době převažuje, je použití bezolovnatých pájek. Druhou možností, která se používá ve specifických aplikacích, je použití elektricky vodivých lepidel. Mezi tyto aplikace patří spojování součástek citlivých na vyšší teploty, kontaktování fólie a skla a propojování součástek s velmi malou roztečí sousedních kontaktů.

Nevýhodou elektricky vodivých lepidel jsou horší elektrické a mechanické vlastnosti, vyšší cena a omezená doba použitelnosti. Dále pak potřeba skladování některých lepidel při nižší než pokojové teplotě.

Elektricky vodivé lepidlo není technologie, která vznikla jako důsledek přechodu k technologiím neobsahujících olovo. Spojení epoxidové pryskyřice a stříbra jako vodivého lepidla bylo patentováno v 50. letech 20. století [1].

# 1. Teoretická část

## 1.1. Složení elektricky vodivých lepidel (ECA)

Elektricky vodivé lepidlo (ECA – Electrically Conductive Adhesive) je kompozitní materiál skládající ze dvou složek. Těmito složkami jsou vazební složka neboli pojivo (binder) a elektricky vodivá částicová složka neboli plnivo (filler). Pro snadnější aplikaci může být přidáno rozpouštědlo.

### 1.1.1. Vazební složka elektricky vodivých lepidel

Cílem vazební složky je zajistit především mechanické vlastnosti lepidla jako je pevnost, adheze – přilnutí k povrchu a houževnatost. Hlavním cílem vazební složky je ochrana vodivé složky před nežádoucími vlivy okolního prostředí. K ochraně vodivé složky dochází až po vytvrzení, kdy dojde k vytvoření ochranné matrice kolem plniva, která zabraňuje pohybu vodivých částic.

Z hlediska pojiva lze ECA rozdělit na jednosložkovou a dvousložkovou. Jednosložková lepidla se vytvrzují při teplotě v rozsahu obvykle 100 °C až 200 °C. Dvousložková lepidla navíc obsahují tvrdidlo (hardener), které umožňuje vytvrzení i při pokojové teplotě. Tvrdidlo bývá dodáváno od lepidla odděleně a přidává se do lepidla až před aplikací v poměru udávaném výrobcem.

Jako pojivo jsou nejčastěji využívány reaktoplastické pryskyřice především epoxidové. Výhody epoxidové pryskyřice jsou v její tvrdosti, adhezi a tepelné odolnosti. Nevýhody jsou křehkost a náchylnost k navlhání, která může vést k nežádoucímu zvýšení rezistivity [2] [3].

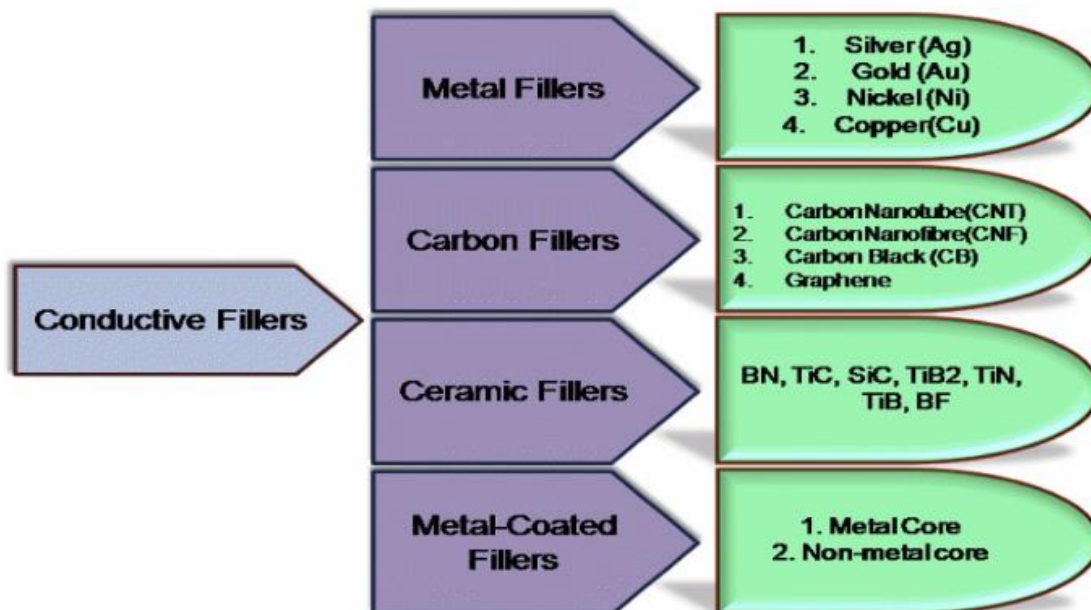
Pro flexibilní aplikace se pak využívá kombinace flexibilní a tuhé epoxidové pryskyřice nebo kombinace epoxidových pryskyřic s různou délkou řetězce. Lepidla pro flexibilní aplikace se pak označují jako FCA (Flexible Conductive Adhesive) [4].

Jako další možnost je využití termoplastů. Termoplasty lze po vytvrzení opětovným zahřátím rozpustit. Tato vlastnost je výhodná zejména při opravách spojů, při opětovném rozpouštění však dochází ke snižování adheze. Dále dochází ke vzniku voidů v důsledku odpařování rozpouštědla obsaženého v lepidle [10].

### 1.1.2. Plnivo elektricky vodivých lepidel

Částicové plnivo elektricky vodivých lepidel zajišťuje elektrické vlastnosti především elektrickou vodivost. Částice mají nejčastěji tvar šupin (flakes), kuliček (balls), nanotrubic nebo nanovláken. Plniva

můžeme podle použitého materiálu dělit na kovová, uhlíková, keramická a plniva potažená kovem. Přehled materiálů používaných jako plnivo ECA je na Obr. 1 [5] [6].



Obr. 1: Typy plniv [5]

Nejvíce používaným kovovým plnivem je stříbro. Stříbro má vysokou elektrickou a tepelnou vodivost. Další výhodou je snadná tvarovatelnost do požadovaných tvarů. Nevýhodou stříbra je náchylnost k elektrochemické migraci, kdy může dojít k uvolnění iontů stříbra z matrice, což je nebezpečné zejména pro zařízení, kde se objevuje malá rozteč sousedních kontaktů. Při elektrochemické migraci vlivem působení vlhkosti a stejnosměrného napětí mohou narůstat můstky z uvolněných iontů stříbra mezi sousedními kontakty. Tím dojde k překlenutí kontaktů a následnému zkratu. Tento jev lze potlačit pasivací stříbrných částic homogenní vrstvou SAM (Self – Assembled Monolayer) [5] [7].

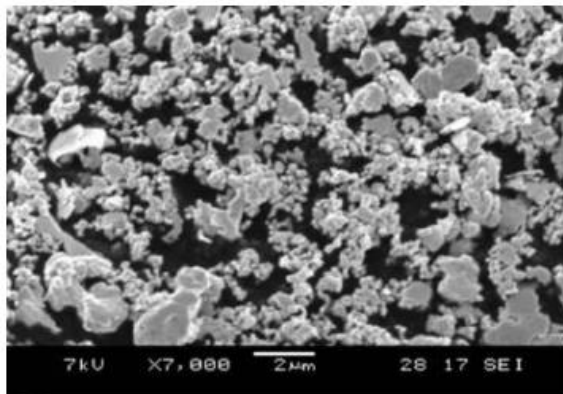
Dalším možným použitelným kovem je zlato. Zlato je na rozdíl od stříbra více stabilní a nepodléhá oxidaci. Jeho nevýhodou je vysoká cena, a proto je používán jako povlakový materiál [5].

Levnějšími alternativami stříbra jsou měď a nikl. Měď vykazuje vysokou elektrickou vodivost, ale je náchylná k oxidaci při působení vlhkosti. Nikl má nižší vodivost než stříbro, ale je odolný vůči oxidaci.

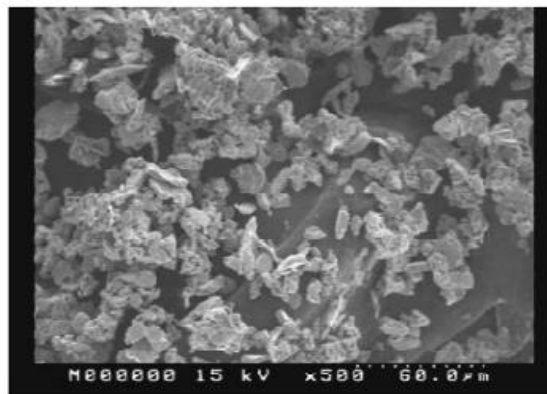
Uhlíková plniva se používají ve formě nanotrubic a nanovláken v rozměrech menších než 100 nm. V těchto rozměrech mají díky vysokému poměru povrchu vůči objemu vysokou vodivost.

Plniva potažená kovem se využívají jako levnější alternativa ke stříbrnému plnivu, kdy je jako jádro použita levnější alternativa, která je potažena drahým kovem pro zlepšení vlastností. Jako příklad lze uvést pozlacenou nebo postříbřenou měď a postříbřený uhlík.

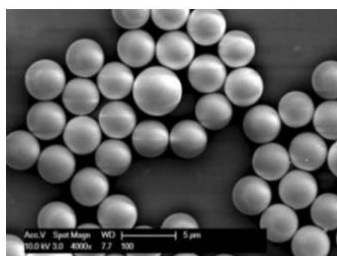
Poslední skupinou jsou keramická plniva, která vynikají nad ostatními svojí vysokou tepelnou odolností a odolností vůči elektrochemické korozi v kyselých prostředích. Mají však nízkou vodivost [5]. Příklady plniv jsou uvedeny na Obr. 2 – 6.



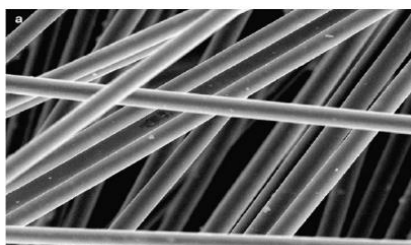
Obr. 2: Stříbrné šupiny [2]



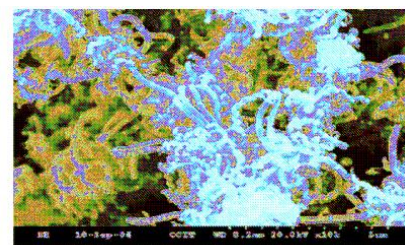
Obr 3: Pozlacené Cu částice [2]



Obr. 4: Stříbrné nanokuličky [2]



Obr. 5: Stříbrná nanovlákna [2]



Obr. 6: Uhlíkové nanotrubičky [2]

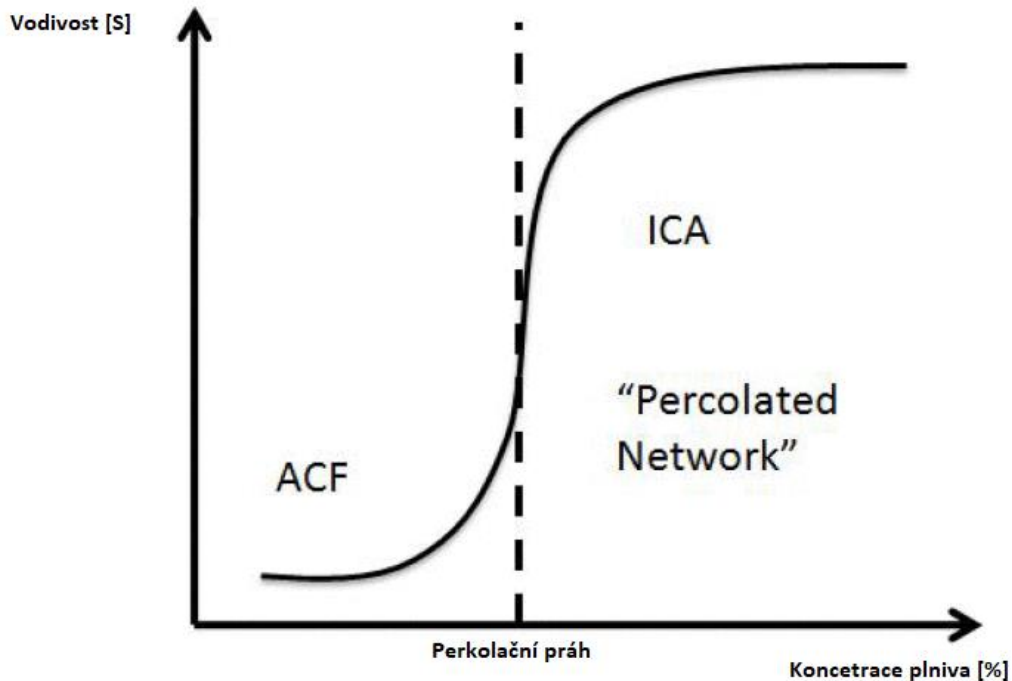
## 1.2. Rozdělení elektricky vodivých lepidel podle druhu vodivosti

Elektricky vodivá lepidla ECA lze podle druhu rozdělit na izotropní vodivá lepidla ICA (Isotropic Conductive Adhesive), anizotropní vodivá lepidla ACA (Anisotropic Conductive Adhesive), nevodivá lepidla NCA (Nonconductive Adhesive) [8] a organické vodivé polymery. Nevodivá lepidla slouží pouze k fixaci vodivého spojení dvou kovů a neobsahují tedy vodivé plnivo. Organické polymery jsou vodivé díky své vnitřní struktuře. Tato práce se strukturou organických polymerů nezabývá. Tyto polymery a NCA jsou zde uvedeny pouze pro úplnost. Dále bude vysvětlen rozdíl mezi izotropními a anizotropními lepidly.

### 1.2.1 Perkolační teorie

Samotná vazební složka se za normálních okolností chová jako izolant. Postupným přidáváním vodivého plniva začne narůstat elektrická vodivost lepidla. Při nízkých koncentracích plniva dojde k malému nárůstu vodivosti. S dalším přidáváním se dostane koncentrace plniva k bodu, kdy dojde k prudkému nárůstu vodivosti. Tato koncentrace plniva se nazývá perkolační práh. S dalším přidáváním plniva roste vodivost pozvolně. Koncentrace plniva u ICA je nad perkolačním prahem, zatímco u ACA

je koncentrace pod tímto prahem. Závislost vodivosti lepidla na koncentraci plniva se nazývá perkolační křivka viz. Obr. 7 (Na obrázku je uvedena zkratka ACF – Anisotropic Conductive Film jako možná forma ACA) [10].

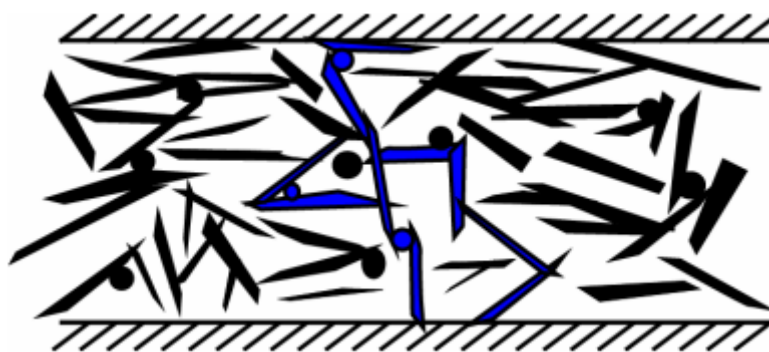


Obr. 7: Perkolační křivka [9]

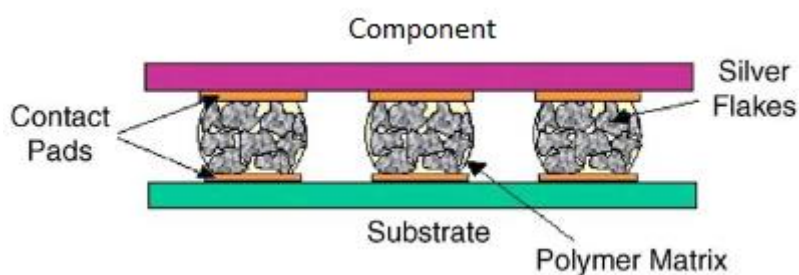
Toto vysvětlení perkolační teorie je pouze intuitivní. Samotná perkolační teorie je složitější, než je v této práci uvedeno. Perkolační teorie je více rozebrána v publikaci [9].

### 1.2.2. Lepidla s izotropní vodivostí (ICA)

U těchto lepidel je nejčastějším použitým plnivem stříbro ve formě šupin o velikosti v rozmezí 1 – 10  $\mu\text{m}$ . Koncentrace plniva bývá v rozmezí 60 – 80 % hmotnosti lepidla. Díky takto vysoké koncentraci dojde k vytvoření vodivé sítě a lepidlo je tak vodivé ve všech směrech. Tato lepidla se používají v běžnějších aplikacích a jejich použití je limitováno roztečí sousedních kontaktů. Princip vodivosti a principiální schéma adhezního spoje s izotropní vodivostí jsou vidět na Obr. 8 a Obr. 9 [2] [10] [11] [12].



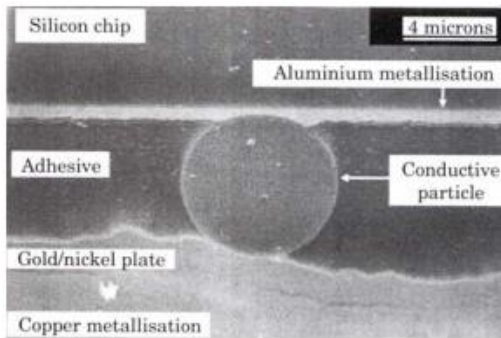
Obr. 8: Princip vodivosti ICA [8]



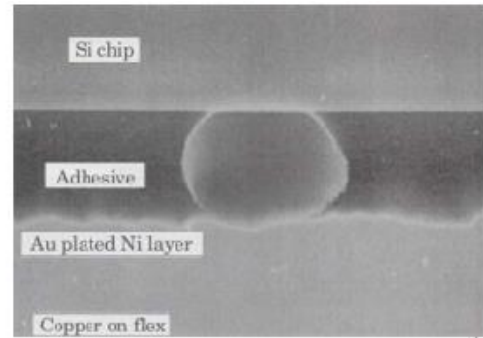
Obr. 9: Principiální schéma adhezního spoje vytvořeného pomocí ICA [10]

### 1.2.3. Lepidla s anizotropní vodivostí (ACA)

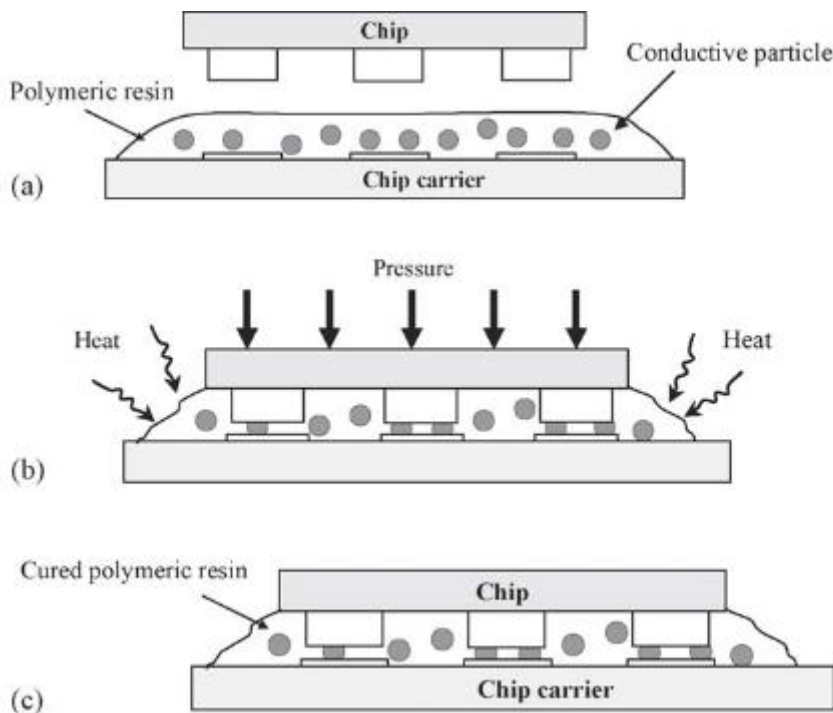
U těchto lepidel se jako plnivo používají kovové nebo pokovené kuličky. Koncentrace plniva se pohybuje v rozmezí 5 – 20 % objemu lepidla nebo 8 – 15 % hmotnosti lepidla. Takto nízká koncentrace je pod perkolačním prahem a nestačí pro vytvoření vodivé sítě a zajištění vodivosti ve všech směrech jako v případě ICA. U těchto lepidel je vodivost zajištěna sevřením vodivé částice mezi kontaktem komponentu a kontaktem substrátu. Proto jsou tato lepidla vodivá pouze v jednom směru. ACA se vytvrzují za zvýšeného tlaku, aby bylo zajištěno spolehlivé sevření vodivé částice mezi spojovanými kontakty. Tato lepidla se používají ke kontaktování LCD (Liquid Crystal Display), fólií a skel. Také se používají pro kontaktování vývodů integrovaných obvodů s malou roztečí. Detaily spojů a principiální schéma vytvoření spoje s izotropní vodivostí jsou vedeny na Obr. 10 – Obr. 12 [2] [10].



Obr. 10: Detail spoje s ACA s Ni částicí [8]



Obr. 11: Detail spoje s ACA s pokovenou polymerovou částicí [8]



Obr. 12: Principiální schéma vytvoření spoje s ACA vodivostí [10]

### 1.3. Elektrický odpor vodivých lepidel

Elektrický odpor vodivých lepidel se skládá ze tří složek. Těmito složkami jsou odpor vodivých částic plniva, kontaktní odpor mezi částicemi plniva a kontaktní odpor mezi částicemi a kontaktovanou plochou.

Odpor vodivých částic je dán především použitým materiálem. Na výsledný odpor má potom také vliv velikost a tvar částic.

Kontaktní odpor mezi vodivými částicemi plniva se skládá z úžinového odporu a tunelového odporu. V případě úžinového odporu je velikost dána rozměrem kontaktních ploch dotýkajících se částic. O tunelovém odporu mluvíme v případě, že jsou částice blízko u sebe, ale nemají fyzický kontakt.



Elektrony s dostatečnou energií mohou tuto tenkou bariéru (<10 nm) překonat. Tento efekt se nazývá tunelový jev. Na Obr. 13 je naznačen rozdíl mezi úžinovým a tunelovým odporem.

Poslední složkou je odpor mezi částicemi lepidla a kontaktní plochou, kde dochází ke styku dvou vodivých materiálů s různým elektrochemickým potenciálem. Při průniku vlhkosti může dojít ke vzniku galvanického článku a elektrochemické korozi, která má za následek nežádoucí nárůst odporu [5] [11] [13].

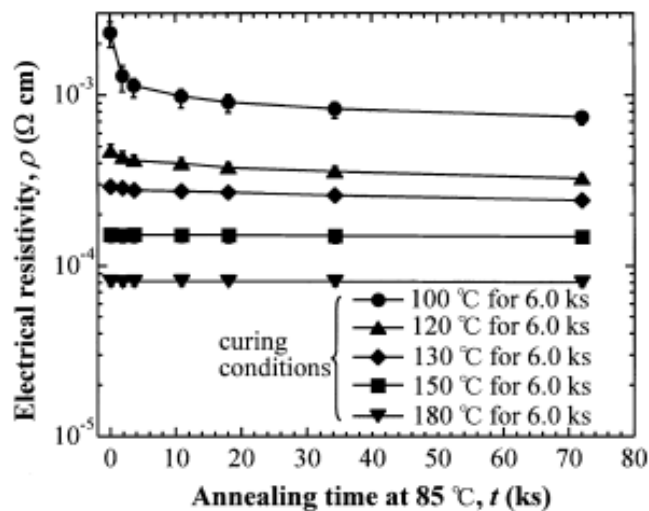


Obr. 13: Mechanismus vodivosti ECA: styk dvou kovových částic (vlevo) a tunelový jev (vpravo) [5]

Negativní vlivy a možnosti zlepšování adhezních spojů jsou více rozebrány v publikaci [10].

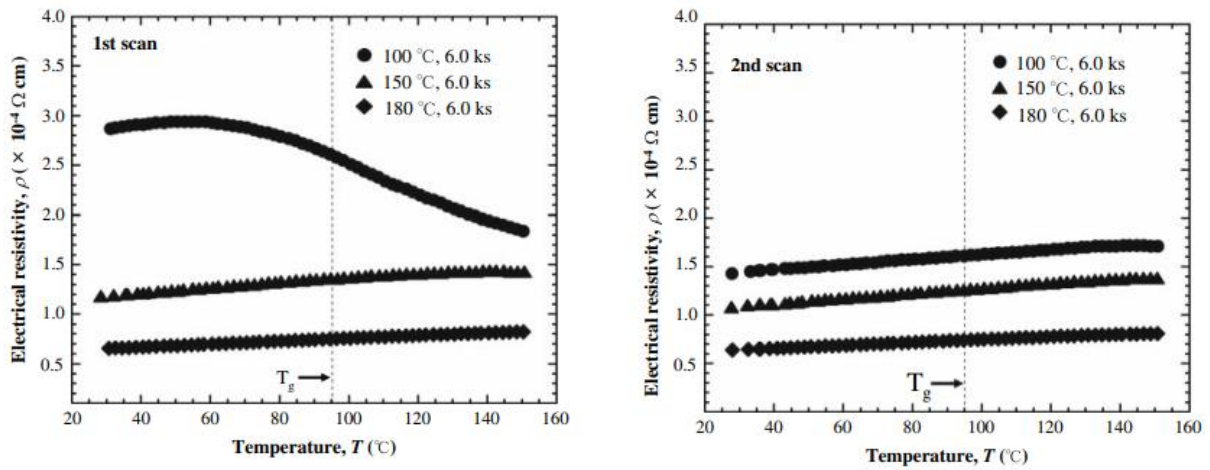
#### 1. 4. Teplotní závislost odporu elektricky vodivých lepidel

Velikost elektrického odporu ECA je také ovlivněna vytvrzovacími podmínkami a dotvrzováním. Při dotvrzování je lepidlo vystaveno blízké nebo vyšší teplotě, než je teplota skelného přechodu  $T_g$ . Při dotvrzení dochází ke smršťování vazební matrice snížení odporu lepidla. Na Obr. 14 je vidět vliv dotvrzení lepidla na odpor epoxidového ECA při 85 °C.



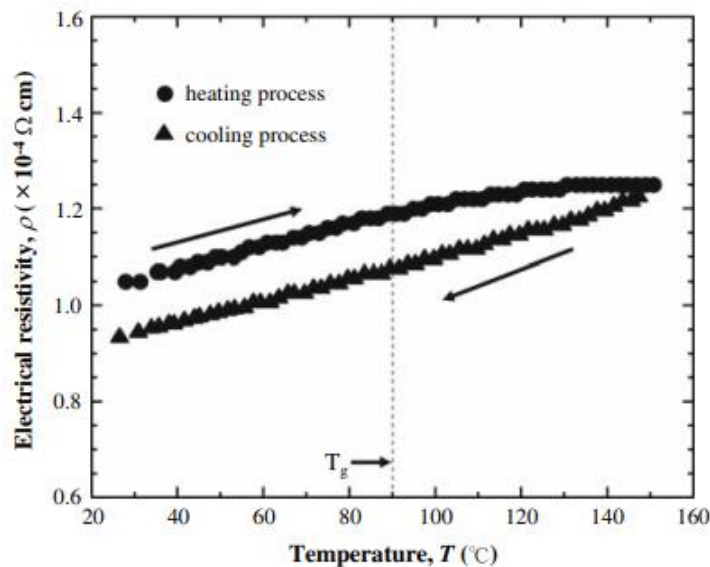
Obr. 14: Změna odporu ECA vlivem dotvrzení [14]

Z Obr. 14 je vidět, že k největší změně došlo u vzorku vytvrzeného při 100 °C. Efekt dotvrzení je také vidět z porovnání Obr. 15, kde byla změřena teplotní závislost odporu vzorků vytvrzovaných při různých teplotách (vlevo) a po vychladnutí bylo měření opakováno (vpravo).



Obr. 15: Teplotní závislost odporu ECA při různých vytvrzovacích podmínkách [15]

Na Obr. 16 je vidět teplotní závislost odporu při ohřevu a následném chlazení. Teplotní závislost byla měřena v rozsahu od teploty okolí do 150 °C. Z průběhu je vidět, že se odpor po zchladnutí ustálil na nižší hodnotě, než byla původní hodnota na začátku měření.



Obr. 16: Teplotní závislost odporu ECA při ohřevu a chlazení [15]

Všechny vzorky pro experimenty na Obr. 14 – 16 publikované v [14] a [15] byly plně vytvrzeny.

## 1.5. Zkouška teplotními šoky

Tato zkouška patří mezi klimatické zkoušky. Při této zkoušce je lepidlo vystaveno rychlé změně teploty okolí z jednoho extrémního stavu do druhého. Parametry této zkoušky jsou maximální a minimální teplota, mezi kterými změna probíhá a počet cyklů, který zkoumaný vzorek podstupuje. Doba, kdy vzorek setrvá v jednom extrémním stavu je např. 15 min a doba přechodu mezi teplotními extrémy je v jednotkách až desítkách sekund. Př zahrnutí času přechodu do času setrvání v ustáleném stavu trvá cyklus 30 min.

Adhezní spoje jsou na zkoušku teplotními šoky velice citlivé. Díky rychlé změně teploty dochází k namáhání spoje, které může vést k poškození vazební matrice a delaminaci lepidla od povrchu kontaktu [16].

## 1.6 Termomechanická analýza (TMA)

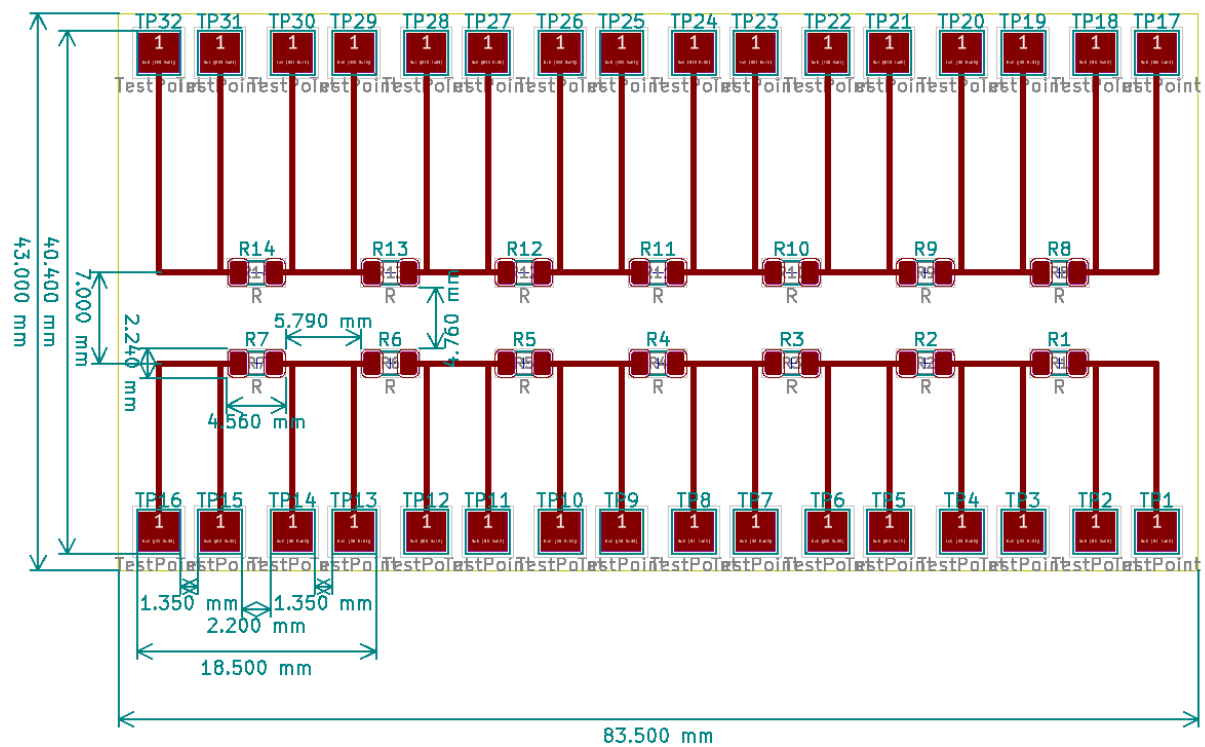
Pro měření teplotního koeficientu roztažnosti se používá termomechanická analýza (TMA). TMA patří do skupiny termických analýz. Při testu je vzorek umístěn v malé komoře s definovanou teplotou. Vzorek je staticky nebo mechanicky namáhán definovanou silou. Na vzorek je shora připojena sonda, která měří změnu rozměru vzorku ve svislém směru. V komoře je postupně měněna teplota podle nastaveného teplotního profilu. Výsledkem TMA je závislost změny rozměru na teplotě, ze které je následně vypočítán teplotní koeficient roztažnosti.

## 2. Experimentální část

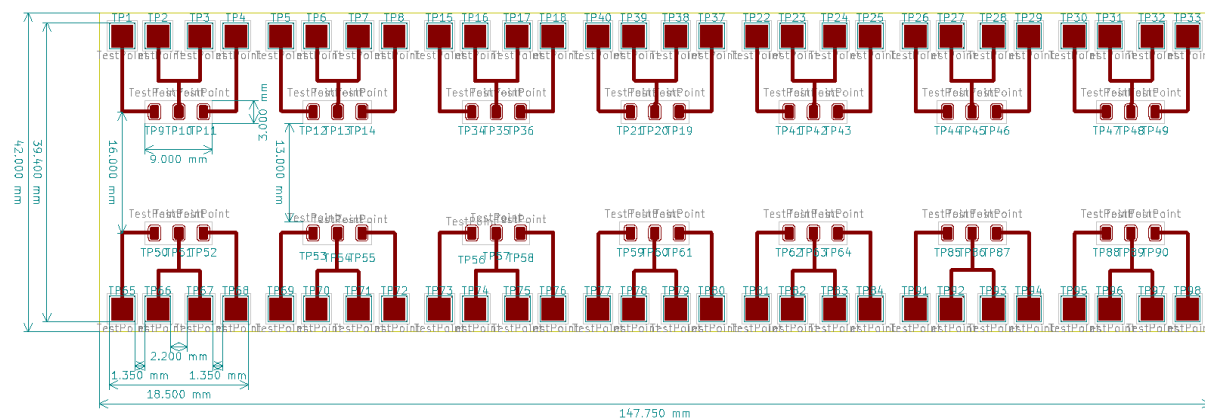
### 2.1. Příprava experimentu

#### 2.1.1. Návrh desek plošných spojů

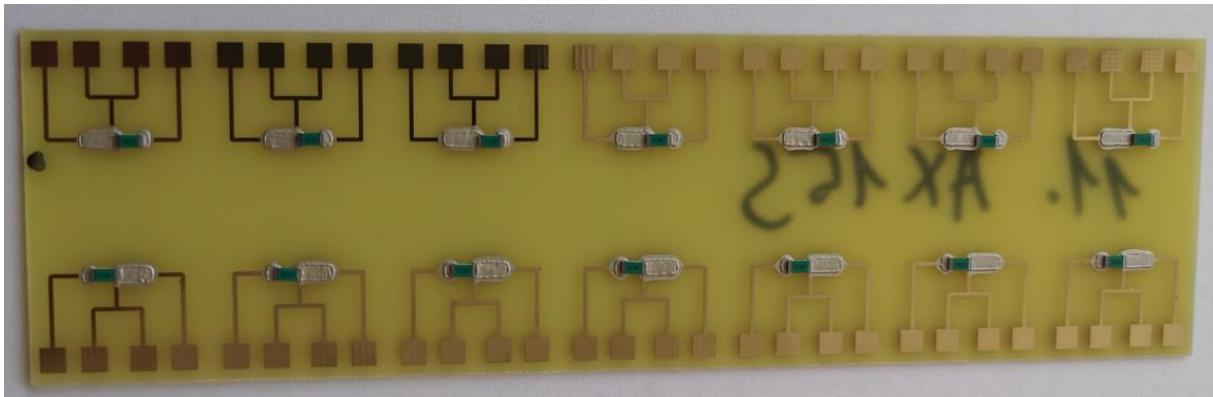
V této práci byly použity dva návrhy testovacích desek pro vytvoření adhezních spojů. Jeden návrh je určen pro měření elektrického odporu třibodovou metodou a druhý pro měření elektrického odporu čtyřbodovou metodou. Na Obr. 17 a 18 jsou vidět layouts DPS (Deska Plošného Spoje). Na Obr. 19 a 20 jsou vidět osazené desky.



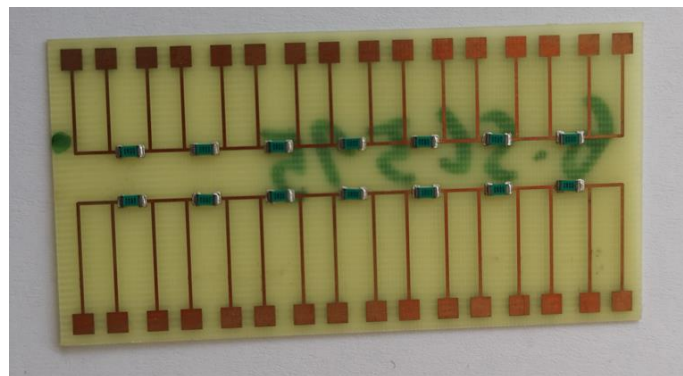
Obr. 17: Layout DPS pro čtyřbodovou metodu měření odporu



Obr. 18: Layout DPS pro třibodovou metodu měření odporu



Obr. 19: Osazená deska pro třibodové měření odporu, zlatá povrchová úprava



Obr. 20: Osazená deska pro čtyřbodové měření odporu, měděná povrchová úprava

Návrhy obou desek byly vytvořeny ve volně dostupném programu KiCAD. Desky jsou vyrobené z materiálu FR4 a jsou uzpůsobeny pro osazení nulovými rezistory 0R0 pro povrchovou montáž s velikostí pouzdra 1206. Desky je možné osadit čtrnácti rezistory (dvě řady po sedmi rezistorech). Pady pro měření jsou čtvercového tvaru o rozměrech 3x3 mm. Tento rozměr byl vybrán z knihovny programu KiCAD. Rozteč padů pro měření je uzpůsobena pro měřicí přípravky na prototypovém pracovišti katedry elektrotechnologie. Desky pro čtyřbodové měření elektrického odporu mají pouze měděnou povrchovou úpravu, desky pro třibodové měření elektrického odporu mají měděnou a zlatou povrchovou úpravu. Desky a šablony pro šablonový tisk na tyto desky byly vyrobeny ve firmě PRINTED s. r. o.

### 2.1.2. Rezistory 0R0

Pro osazení desek byly použity SMD rezistory 0R0 typu CDF-K s velikostí pouzdra 1206 s povrchovou úpravou vhodnou pro vytváření lepených spojů. U tohoto typu rezistorů byla kontrolním měřením naměřena hodnota 16 mΩ.

### 2.1.3. Použitá lepidla

V této práci bylo použito jedno jednosložkové izotropní lepidlo ELPOX SC 515 a jedno dvousložkové izotropní lepidlo ELPOX AX 15S.

#### 2.1.3.1. ELPOX SC 515

ELPOX SC 515 je jednosložkové lepidlo od firmy amepox Microelectronics LTD. Vazební složku lepidla tvoří epoxidová pryskyřice. Vodivou složku v lepidle tvoří vodivé částice s podílem  $66 \pm 2$  % hmotnosti lepidla. Lepidlo je možné vytvrzovat v tunelové peci i v peci s cirkulací vzduchu. Udávaná rezistivita po vytvrzení je v rozsahu 0,006 – 0,03 m $\Omega$ m. Lepidlo je dodáváno v kontejneru ve formě pasty viz Obr. 21 [17].



Obr. 21: ELPOX SC 515

#### 2.1.3.2 ELPOX AX 15S

ELPOX AX 15S je dvousložkové lepidlo od firmy amepox Microelectronics LTD. Vazební složku lepidla tvoří epoxidová pryskyřice. Vodivou složku tvoří stříbrné šupinky s podílem  $60 \pm 1$  % hmotnosti lepidla. Udávaná rezistivita po vytvrzení při teplotě 150 °C po dobu 15 minut je v rozsahu 0,00017 – 0,00018  $\Omega$ cm. Lepidlo je také možné vytvrzovat při pokojové teplotě 20 °C po dobu 24 hodin. Lepidlo je dodáváno společně s tvrdidlem v oddělených kontejnerech viz Obr. 22. Před použitím se obě složky mixují v poměru 1:1 [18]. (Pozn. Lepidlo bylo dodáno v kontejnerech se starším označením ELPOX AX 15N.)



Obr. 22: ELPOX SC 515

#### 2.1.4. Nanesení lepidel a osazení rezistory ORO

Na DPS určených pro zkoušku teplotními šoky byla lepidla nanášena pomocí šablonového tisku viz.

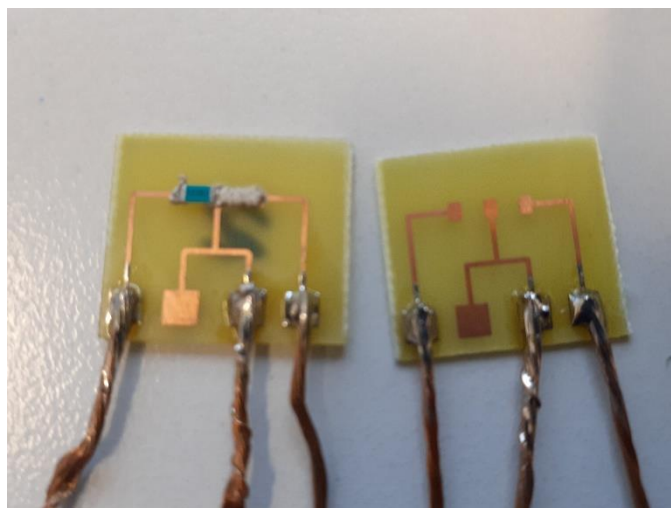
Obr. 23. Pro zkoušku teplotními šoky byly použity oba návrhy desek.



Obr. 23: Stencil printer SPIDÉ SD240 [19]

Vzorky pro měření teplotní závislosti byly vytvořeny tak, že byly nejprve rozřezány desky pro tříbodovou metodu měření na jednotlivé spoje. Následně byly na měřicí pady připájeny holé měděné vodiče pro uchycení kabelů pro měření. Lepidlo bylo nanášeno ručně pomocí injekční stříkačky. Z desek pro měření čtyřbodovou metodou nebyly vytvořeny žádné vzorky. Na Obr. 24 je vidět osazený vzorek a prázdný vzorek.





*Obr. 24: Osazený vzorek pro měření teplotní závislosti odporu a prázdný vzorek*

Lepidlo bylo na všechny vzorky pro měření tříbodovou metodu nanášeno tak, že na levý a prostřední pad bylo nanášeno lepidlo a mezera mezi nimi byla překlenuta rezistorem 0R0. Prostřední a pravý pad pak byly spojeny vodivým pruhem lepidla. To je vidět z Obr. 19 a 24.

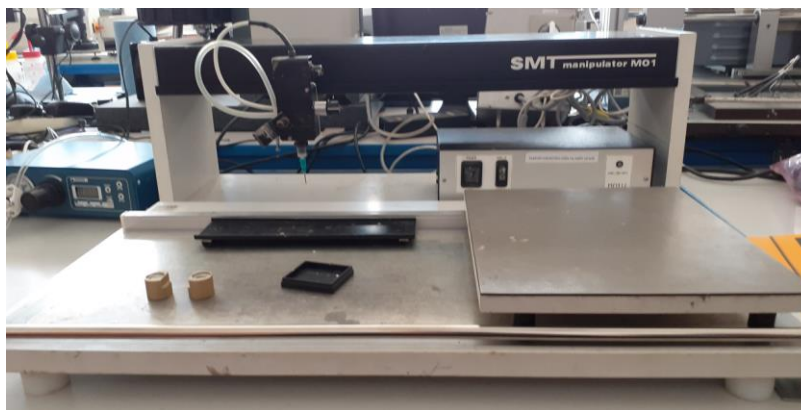
Vzorky pro termomechanickou analýzu byly vytvořeny pomocí šablony nanášením na pásku. Následně byly vzorky (i se šablonou) vloženy do pece a vytvrzeny. Po vychladnutí byla sloupnuta páska a vzorky vyjmuty ze šablony. Pro vytvoření vzorků byla použita šablona dostupná na prototypovém pracovišti katedry elektrotechnologie. Vzorky mají kruhový tvar o průměru 4 mm a tloušťce 1 mm viz. Obr. 25.



*Obr. 25: Vzorky pro termomechanickou analýzu*

Nulové rezistory byly na DPS pro zkoušku teplotními šoky a kusové spoje pro měření teplotní závislosti osazeny pomocí ručního manipulátoru viz. Obr. 26.





Obr. 26: SMT manipulátor MO1

## 2.1.5 Vytvrzení vzorků

V tabulce Tab. 1 jsou uvedeny teploty a doby vytvrzování. Pro obě lepidla byla použita nejvyšší dovolená vytvrzovací teplota od výrobcem dodaných možných vytvrzovacích postupů.

Tab. 1: Vytvrzovací teploty a doby pro všechny vzorky

Lepidlo	Teplota [°C] / Čas [min]
ELPOX SC 515	180/15
ELPOX AX 15S	150/15

## 2.2. Zkouška teplotními šoky

Pro tuto zkoušku byla použita komora firmy CTS série TSS viz. Obr. 27. Horní extrémní teplota byla nastavena na 115 °C. Dolní extrémní teplota byla nastavena na - 40 °C. Čas setrvání při jedné extrémní teplotě byl 15 minut. Tuto zkoušku podstoupily kromě DPS také samotné rezistory.



Obr. 27: Šoková komora série TSS [20]

### 2.3. Měření teplotní závislosti odporu

Pro měření závislosti byl použit kombinovaný vzduchový termostat Labio LS 80 viz. Obr. 28. Teplotní závislost odporu byla měřena od teploty 25 °C do teploty 83 °C (maximální možná teplota, které termostat dosáhl) s teplotním krokem 5 °C. Po dosažení maximální teploty byla změřena i teplotní závislost od maximální teploty do teploty 25 °C se stejným teplotním krokem. Po ustálení teploty na displeji termostatu bylo vyčkáno dalších 5 min, pro zajištění správné teploty vzorku.



*Obr. 28: Kombinovaný vzduchový termostat Labio LS 80*

### 2.4. Parametry termomechanické analýzy

Pro určení teplotního koeficientu roztažnosti byl použit přístroj Q400 TMA (TA Instruments, New Castle, DE, United States). Byla použita makro-expanzní sonda o průměru 6 mm. Síla působící na vzorek během měření byla nastavena na 0,01 N. Do vyhřívací pece byl v průběhu měření vháněn dusík (100 ml/min). Vzorek se ohřál na 30 °C, kde setrval po dobu 10 minut. Poté následoval ohřev na 90 °C s nárůstem teploty 2 °C za minutu. Chlazení probíhalo se stejným teplotním gradientem. Na Obr. 29 je vidět detail sondy a vzorku umístěného na stage přístroje Q400 TMA. Měření na tomto přístroji provedl pan Ing. Denis Froš.

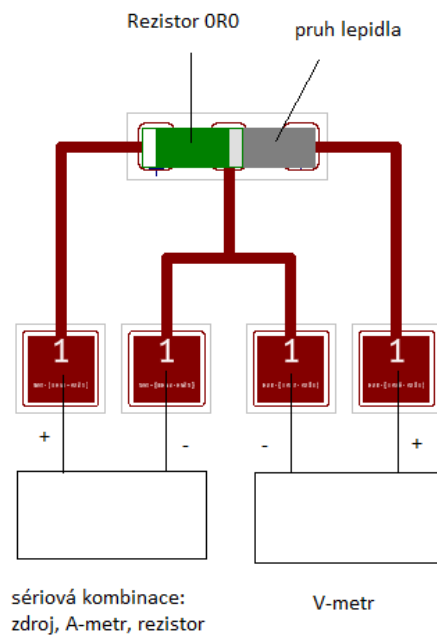


Obr. 29: Detail sondy a vzorku umístěného na stage Q400 TMA

## 2.5. Měření elektrického odporu

### Měření elektrického odporu na DPS určených pro zkoušku teplotními šoky

Pro měření odporu spojů byla použita přímá čtyřbodová metoda vhodná pro měření malých odporů a nepřímá tříbodová metoda. Při přímé metodě byla odečítána hodnota elektrického odporu  $R$ . U nepřímé metody byly odečítány hodnoty stejnosměrného elektrického napětí  $U$  a stejnosměrného elektrického proudu  $I$ , hodnota elektrického odporu  $R$  pak byla následně vypočítána. Nepřímá metoda byla zapojena tak, že byl mezi levý a levý střední měřicí pad zapojen sériově zdroj konstantního stejnosměrného napětí 0,5 V, ampérmetr a ochranný proměnný rezistor. Mezi pravý a pravý střední pad byl připojen voltmetr. Principiální zapojení je na Obr. 30. Při měření na tříbodových DPS pro šoky byly naměřené hodnoty odečítány po 15 vteřinách protékání proudu obvodem. Měření bylo provedeno před a po zkoušce teplotními šoky. Dále bylo provedeno měření odporu samotných rezistorů před a po zkoušce teplotními šoky.



Obr. 30: Principiální schéma zapojení třibodové metody měření odporu

### Měření při teplotní závislosti odporu

Při měření teplotní závislosti třibodovou metodou byl proud připojen po celou dobu měření s výjimkou přepojování zdroje, protože teplotní závislost byla pro kontrolu měřena pro obě polarity zdroje.

### Použité vybavení

Pro měření odporu čtyřbodovou metodou byl použit KUST DC RESISTANCE TESTER MM2030 viz. Obr. 31. DPS byla umístěna pod jehly měřicího přípravku. Dále byly tímto přístrojem změřeny nulové rezistory pomocí měřicích kleští viz Obr. 32.

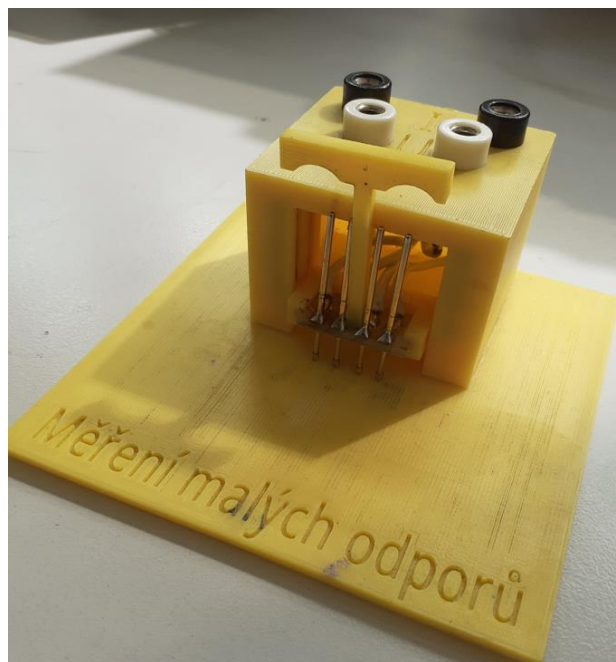


Obr. 31: KUST DC RESISTANCE TESTER MM2030 s přípravkem pro měření malých odporů



Obr. 32: KUST DC RESISTANCE TESTER MM2030 s měřicími kleštěmi

Pro tříbodovou metodu měření byl použit zdroj stejnosměrného napětí HAMEG Instruments TRIPLE POWER SUPPLY HM 7042 – 5 a dva multimetry HP 34401A a Agilent 34410A. Pro uchycení desky byl použit přípravek pro měření malých odporů s konektory pro připojení měřícího obvodu viz. Obr. 33.



Obr. 33: Přípravek pro měření malých odporů

## 2.6. Rozdělení vzorků

V Tab. 2 je vidět rozpis DPS pro zkoušku teplotními šoky. Pro každé lepidlo byl vytvořen stejný počet desek, a to pět desek pro čtyřbodovou metodu měření, pět desek pro tříbodovou metodu měření s měděnou povrchovou úpravou a pět desek pro tříbodovou metodu měření se zlatou povrchovou

úpravou. Celkem tedy bylo vytvořeno třicet desek. Číslování desek je pro obě lepidla stejné a rozpis je tak stejný pro obě lepidla.

Tab. 2: Rozdělení DPS pro zkoušku teplotními pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 155

Metoda měření	Povrchová úprava	Číslo desky	Počet teplotních šoků
Tříbodová	Měděná	1	200
		2	200
		3	200
		4	500
		5	500
	Zlatá	1	200
		2	200
		3	200
		4	500
		5	500
Čtyřbodová	Měděná	1	200
		2	200
		3	200
		4	500
		5	500

V Tab. 3 je uveden rozpis jednotlivých spojů pro měření teplotní závislosti. Pro každé lepidlo byl vytvořen stejný počet spojů, a to tři spoje s měděnou povrchovou úpravou a tři spoje se zlatou povrchovou úpravou. Celkem tedy bylo vytvořeno 12 plošných spojů.

Tab. 3: Rozpis jednotlivých spojů pro měření teplotní závislosti odporu pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 155

Povrchová úprava	Číslo spoje
Měděná	1
	2
	3
Zlatá	1
	2
	3

## 2.7. Zpracování dat

### 2.7.1. Zpracování dat pro zkoušku teplotními šoky

Z naměřených hodnot stejnosměrného napětí  $U$  a stejnosměrného proudu  $I$  pomocí nepřímé tříbodové metody měření byly vypočítány hodnoty odporu  $R$ . U vypočítaných hodnot odporu bylo následně

provedeno matematické vyrovnání, tak že ze souboru hodnot pro každou desku byla odebrána nejnižší a nejvyšší vypočítaná hodnota odporu.

U naměřených hodnot odporu přímou čtyřbodovou metodou se postupovalo tak, že byla od naměřených hodnot nejprve odečtena hodnota odporu nulového rezistoru 16 mΩ a následně byly naměřené hodnoty vyděleny dvěma. Tyto dva další kroky byly udělány proto, aby byla z naměřených hodnot získány hodnoty odporu jednoho spoje. Dále bylo provedeno matematické vyrovnání, kdy byla ze souboru hodnot desky odebrána nejnižší a nejvyšší hodnota.

Z takto upravených souborů hodnot byly následně pro každou desku vypočítány mediány a aritmetické průměry a ty graficky vyneseny v kapitole 3.1.

Naměřené hodnoty čtyřbodovou metodou před a po šocích jsou uvedeny v přílohách č. 1 a 3. Upravené hodnoty před a po šocích jsou uvedeny v přílohách č. 2 a 4. Hodnoty naměřené třibodovou metodou měření jsou uvedeny v přílohách č. 5 – 8.

Naměřené hodnoty odporu samotných rezistorů před a po zkoušce teplotními šoky jsou uvedeny v příloze č. 9. Vliv teplotních šoků na hodnotu odporu nulových rezistorů 0R0 je podle měření zanedbatelný.

Jako příklad jsou zde uvedeny 2 soubory naměřených hodnot Tab. 4 a Tab. 5.

Tab. 4: Soubor naměřených hodnot čtyřbodovou metodou pro jednu desku

<b>Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515</b>							
<b>Naměřené hodnoty R [mΩ]</b>							
<b>horní řada</b>	86,26	94,22	81,35	86,76	91,36	120,93	84,28
<b>dolní řada</b>	88,11	87,07	81,46	83,32	74,96	85,54	209,60

Tab. 5: Soubor naměřených hodnot třibodovou metodou pro jednu desku

<b>Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava</b>							
<b>Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]</b>							
horní řada U [mV]	0,60	0,38	0,47	0,35	0,34	0,24	0,62
horní řada I [mA]	70,48	69,08	72,71	74,04	64,98	55,56	64,54
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>8,5</b>	<b>5,5</b>	<b>6,5</b>	<b>4,7</b>	<b>5,2</b>	<b>4,2</b>	<b>9,7</b>
dolní řada U [mV]	0,59	0,74	0,50	0,89	1,03	0,57	0,45
dolní řada I [mA]	67,53	68,71	68,42	73,26	61,31	62,63	61,49
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>8,7</b>	<b>10,7</b>	<b>7,2</b>	<b>12,1</b>	<b>16,8</b>	<b>9,1</b>	<b>7,3</b>

## 2.7.2. Zpracování dat pro teplotní závislost odporu a termomechanickou analýzu

Pro každý z dvanácti vzorků byla změřena teplotní závislost. Následně byla pro každé lepidlo a povrchovou úpravu vypočítána výsledná závislost, kdy je graficky vynesena průměrná hodnota odporu v závislosti na teplotě v kapitole 3.2. Vynášeny jsou jen hodnoty pro kladnou polaritu napájecího zdroje. Tabulky naměřených hodnot teplotních závislostí odporu spojů pro obě polarity zdroje jsou uvedeny v přílohách 10 a 11. Tabulka výsledných teplotních závislostí odporu je uvedena v příloze 12. Příklad naměřených hodnot je uveden ve zkrácené podobě v Tab. 6.

Tab. 6: Zkrácený soubor naměřených hodnot teplotní závislosti odporu jednoho spoje

	Spoj č. 3 ELPOX SC 515, zlatá úprava						
		Kladná polarita zdroje			Opačná polarita zdroje		
	t [°C]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,82	79,97	<b>10,3</b>	0,79	79,97	<b>9,9</b>
<b>Ohřev</b>	<b>45</b>	0,91	80,01	<b>11,4</b>	0,88	80,01	<b>11,0</b>
	<b>50</b>	0,93	79,99	<b>11,7</b>	0,90	79,97	<b>11,3</b>
	<b>55</b>	0,95	79,92	<b>11,9</b>	0,92	79,88	<b>11,6</b>
	<b>60</b>	0,97	79,89	<b>12,2</b>	0,95	79,90	<b>11,8</b>
	<b>80</b>	1,05	79,78	<b>13,1</b>	1,03	79,77	<b>12,9</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,06	79,75	<b>13,3</b>	1,04	79,76	<b>13,1</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,05	79,73	<b>13,2</b>	1,03	79,75	<b>12,9</b>
	<b>55</b>	0,96	79,89	<b>12,0</b>	0,93	79,88	<b>11,6</b>
	<b>50</b>	0,94	79,90	<b>11,7</b>	0,91	79,90	<b>11,3</b>
	<b>45</b>	0,92	79,91	<b>11,5</b>	0,89	79,91	<b>11,1</b>
	<b>25</b>	0,83	79,99	<b>10,3</b>	0,79	80,01	<b>9,9</b>

V případě termomechanické analýzy byly použity naměřené křivky a vypočítané teplotní koeficienty roztažnosti přístrojem Q400 TMA, které jsou uvedeny v kapitole 3.3.



### 3. Výsledky měření

#### 3.1. Výsledky pro zkoušku teplotními šoky

V Tab. 7 – 9 jsou uvedeny mediány a aritmetické průměry odporů spojů jednotlivých desek podrobených zkoušce teplotními šoky. Na Obr. 34 – 39 jsou pak tyto hodnoty vyneseny graficky. Pro každou desku jsou tedy vyneseny čtyři hodnoty. Na vodorovné ose je pak vyznačeno číslo desky a počet šoků, který deska podstoupila. V každém grafu jsou vyneseny hodnoty pro pět desek (tři desky, které podstoupily dvě stě šoků a dvě desky, které podstoupily pět set šoků). V jednom grafu jsou tak vyneseny hodnoty pro jedno lepidlo, jednu povrchovou úpravu desek, jednu metodu měření a dva počty šoků. Desky pro měření tříbodovou metodou mají zlatou a měděnou povrchovou úpravu, desky pro měření čtyřbodovou metodou mají pouze měděnou povrchovou úpravu.

Tab. 7: Vypočítané hodnoty mediánů a aritmetických průměrů odporu spojů jednotlivých desek měřených čtyřbodovou metodou před a po teplotních šocích

ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15 S čtyřbodová metoda měření						
Lepidlo	Číslo desky	Počet šoků	Před šoky		Po šocích	
			Aritmetický průměr [mΩ]	Medián [mΩ]	Aritmetický průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
ELPOX SC 515	1	200	34,7	35,0	46,2	36,8
	2	200	41,3	35,6	34,8	32,3
	3	200	33,3	31,9	33,0	32,4
	4	500	34,9	35,0	35,6	35,6
	5	500	32,5	31,3	32,3	33,0
ELPOX AX 15S	1	200	39,2	37,4	53,2	50,2
	2	500	36,8	35,3	48,1	48,6
	3	200	35,4	36,4	44,8	43,6
	4	500	39,4	37,6	57,1	57,1
	5	500	38,1	38,1	53,8	52,9

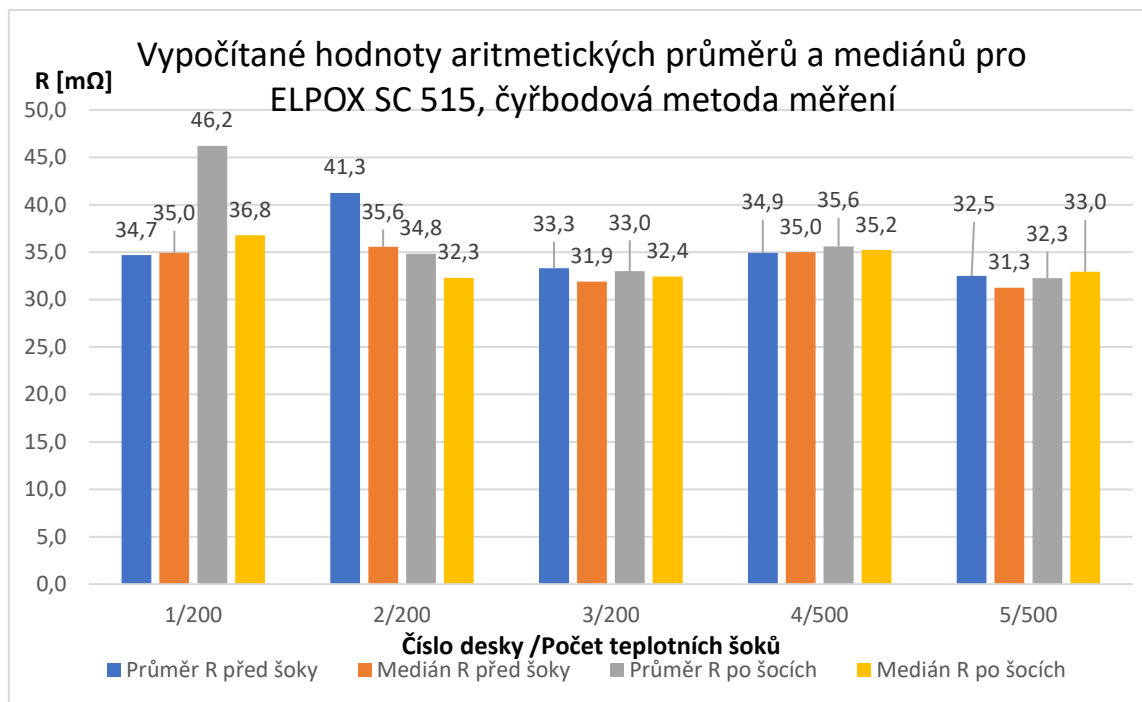
Tab. 8: Vypočítané hodnoty mediánů a aritmetických průměrů odporu spojů jednotlivých desek měřených třibodovou metodou před a po teplotních šocích pro ELPOX SC 515

ELPOX SC 515 třibodová metoda měření						
Povrchová úprava	Číslo desky	Počet šoků	Před šoky		Po šocích	
			Aritmetický průměr [mΩ]	Medián [mΩ]	Aritmetický průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Měděná	1	200	7,9	7,9	17,4	11,8
	2	200	6,0	5,4	7,8	5,6
	3	200	4,8	4,9	5,0	5,4
	4	500	6,9	7,0	10,1	10,6
	5	500	5,9	5,4	8,0	6,4
Zlatá	1	200	3,5	3,4	3,5	3,6
	2	500	2,9	2,9	2,9	2,9
	3	200	3,2	3,2	3,1	3,1
	4	500	3,9	4,0	3,9	4,0
	5	500	3,1	3,0	3,1	3,1

Tab. 9: Vypočítané hodnoty mediánů a aritmetických průměrů odporu spojů jednotlivých desek měřených třibodovou metodou před a po teplotních šocích pro ELPOX AX 155

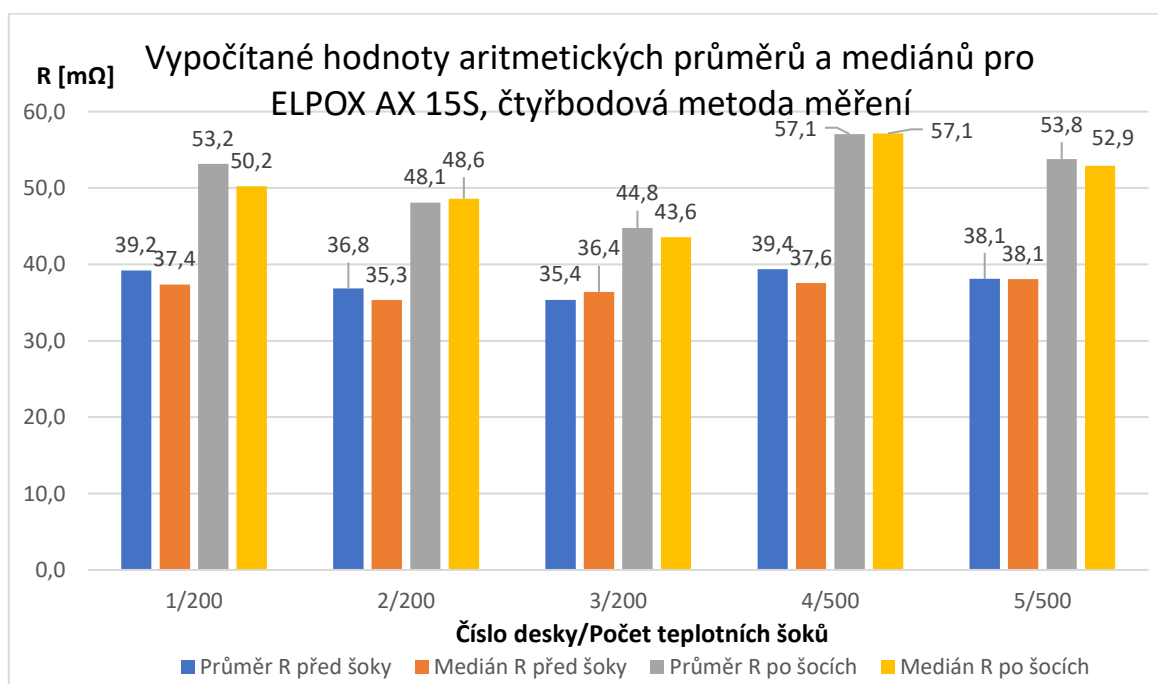
ELPOX AX 155 třibodová metoda měření						
Povrchová úprava	Číslo desky	Počet šoků	Před šoky		Po šocích	
			Aritmetický průměr [mΩ]	Medián [mΩ]	Aritmetický průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Měděná	1	200	5,0	5,2	4,9	5,0
	2	200	4,6	4,6	4,7	4,7
	3	200	4,5	4,2	4,6	4,6
	4	500	4,7	4,7	4,9	5,0
	5	500	4,7	4,6	4,7	4,7
Zlatá	1	200	3,3	3,3	3,3	3,2
	2	500	3,4	3,5	3,4	3,5
	3	200	3,3	3,1	3,3	3,4
	4	500	3,1	3,1	3,1	3,2
	5	500	3,4	3,5	3,3	3,6

Z Obr. 34 pro ELPOX SC 515 měřeného čtyřbodovou metodou je vidět pouze jeden výraznější nárůst u průměru desky č. 1 (200 šoků), zároveň je ale vidět, že nedošlo k výraznému nárůstu mediánu. Z toho lze usoudit, že nedošlo k výraznému nárůstu odporu u většiny spojů na desce. U desky č. 2 (200 šoků) je naopak vidět pokles průměru i mediánu. U ostatních desek není vidět výrazná změna.



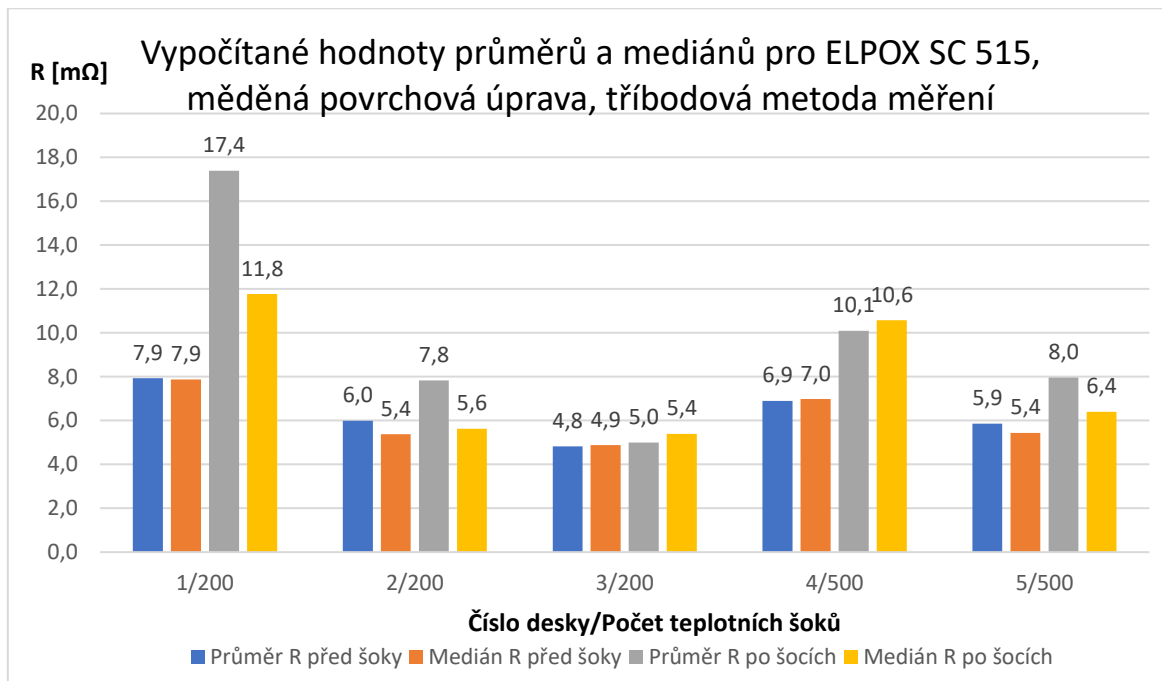
Obr. 34: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, čtyřbodová metoda

Z Obr. 35 pro ELPOX AX 15S měřeného čtyřbodovou metodou je vidět jednoznačné zhoršení kvality spojů, u všech testovaných desek došlo k nárůstu mediánů i aritmetických průměrů odporu. Z toho lze usoudit, že došlo ke zhoršení u většiny testovaných spojů. Při srovnání hodnot desky č. 1 (200 šoků) s deskami č. 4 a 5 (500 šoků) je vidět podobný nárůst hodnot. Oproti tomu u desek č. 2 a 3 (200 šoků) je vidět nižší nárůst. Nejvyšší nárůst je u desky č. 4 (500 šoků).

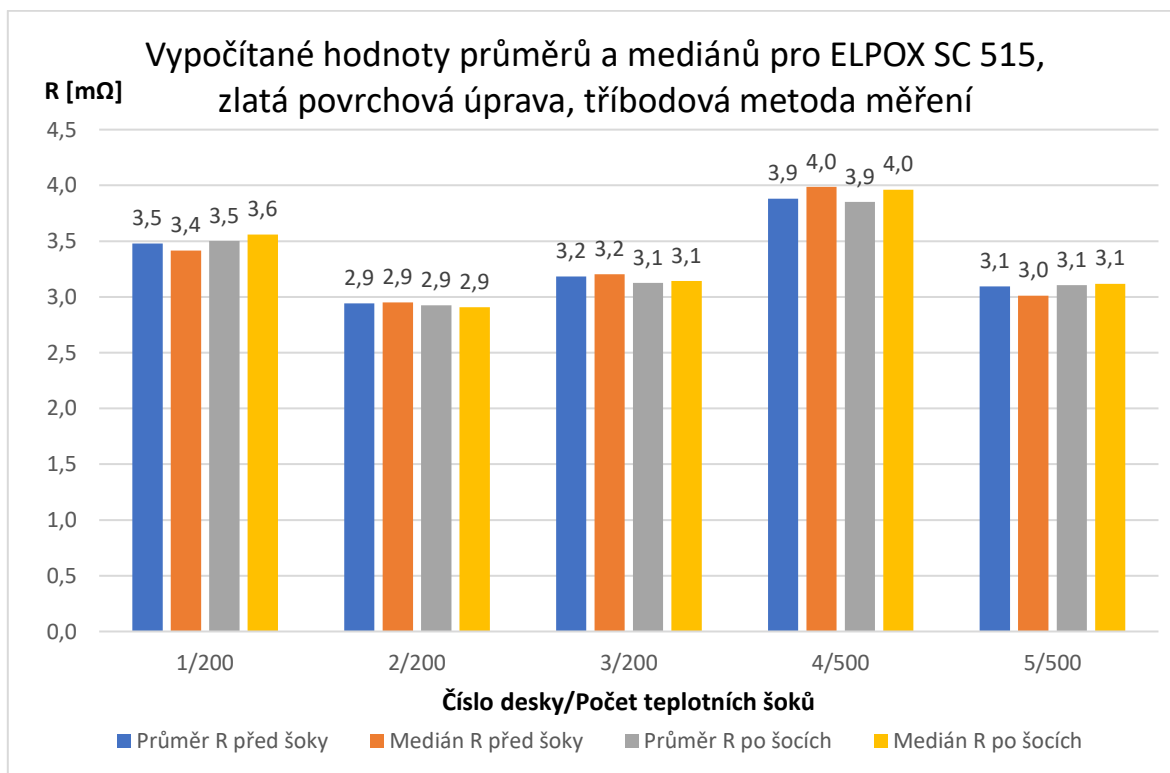


Obr. 35: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, čtyřbodová metoda

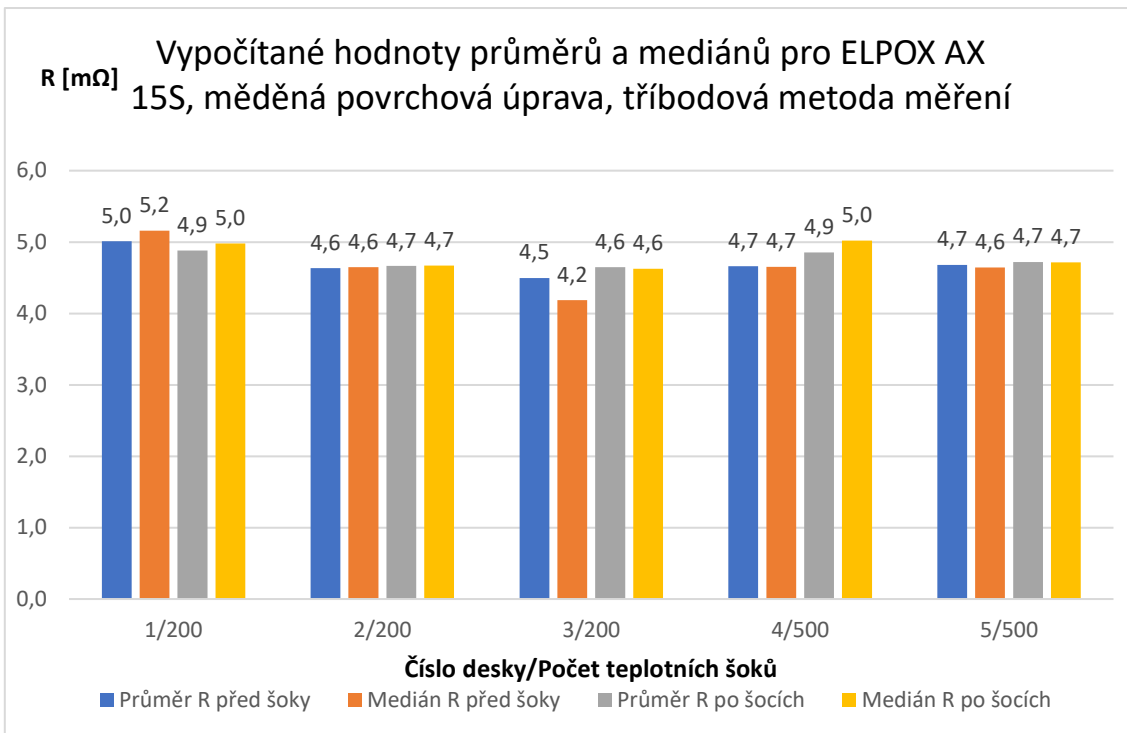
Z Obr. 36 pro ELPOX SC 515 měřeného tříbodovou metodou je vidět, že k největšímu nárůstu průměru i mediánu došlo u desky č. 1 (200 šoků). K menšímu nárůstu pak došlo u desky č. 4 (500 šoků). U desek č. 2 (200 šoků) a 5 (500 šoků) došlo k podobným nárůstům hodnot. U Obr. 37 – 39 jsou vidět pouze nepatrné změny mediánů a průměrů.



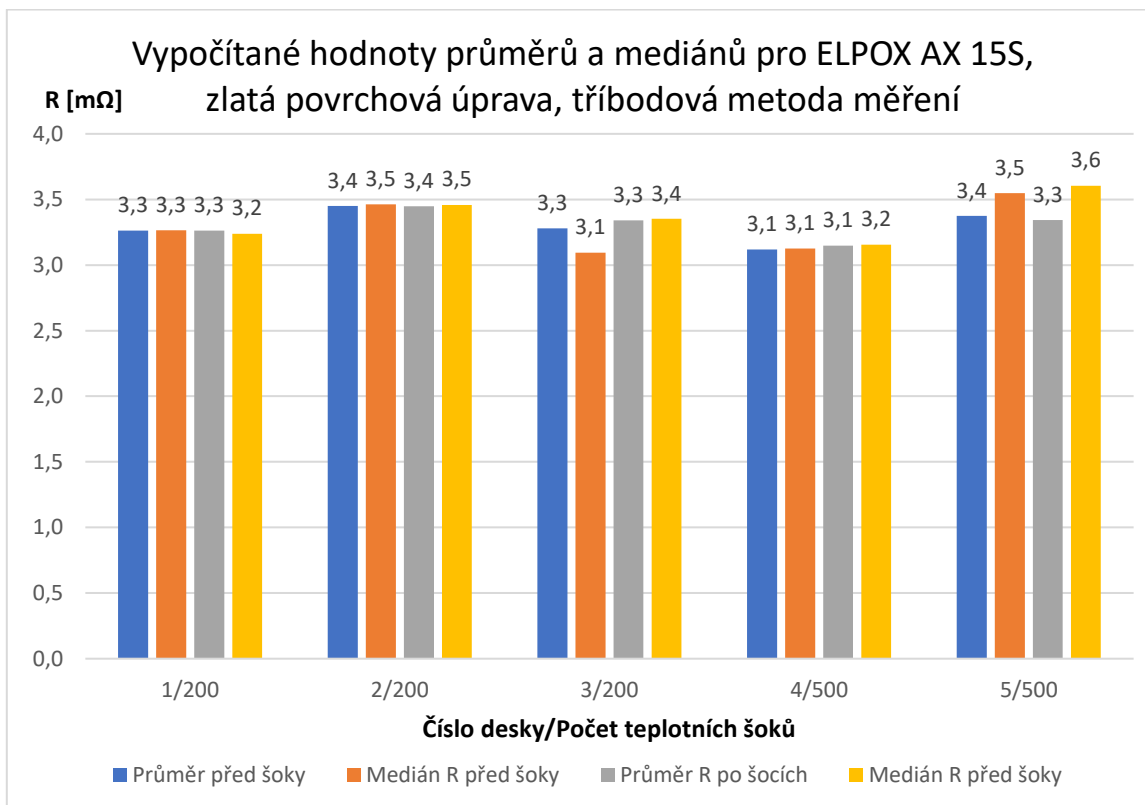
Obr. 36: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, tříbodová metoda, měděná povrchová úprava



Obr. 37: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, tříbodová metoda, zlatá povrchová úprava



Obr. 38: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX AX 15S, tříbodová metoda, měděná povrchová úprava



Obr. 39: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX AX 15S, tříbodová metoda, zlatá povrchová úprava

Při porovnání obou metod měření je vidět, že u čtyřbodové metody byly i po úpravě zjištěny vyšší hodnoty odporu. To může být způsobeno tím, že naměřená hodnota čtyřbodovou metodou v sobě zahrnuje (na rozdíl od třibodové metody) kontaktní odpor mezi lepidlem a připojeným rezistorem.

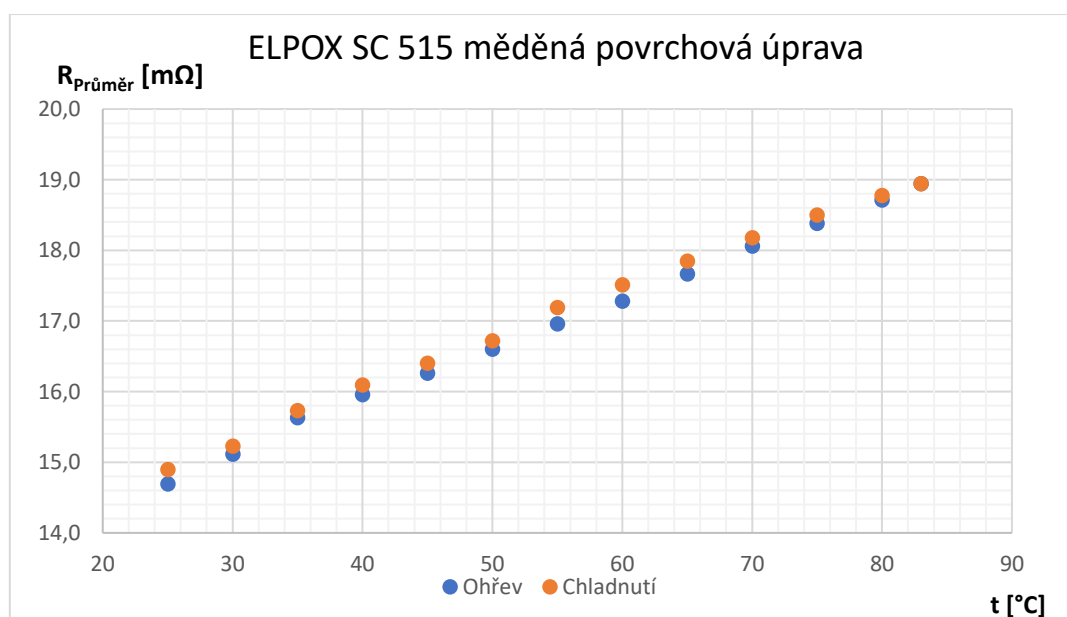
Při srovnání povrchových úprav je vidět, že hodnoty naměřené třibodovou metodou jsou u zlatého povrchu nižší než u měděného povrchu. Také je vidět, že výsledné hodnoty odporu spojů vytvořených na zlatém povrchu desek jsou stabilní pro obě lepidla a nedochází zde k výrazným změnám.

Ke změnám výsledných hodnot vlivem šoků došlo u spojů vytvořených na měděném povrchu měřených čtyřbodovou metodou v případě obou lepidel a u spojů měřených třibodovou metodou v případě lepidla ELPOX SC 515.

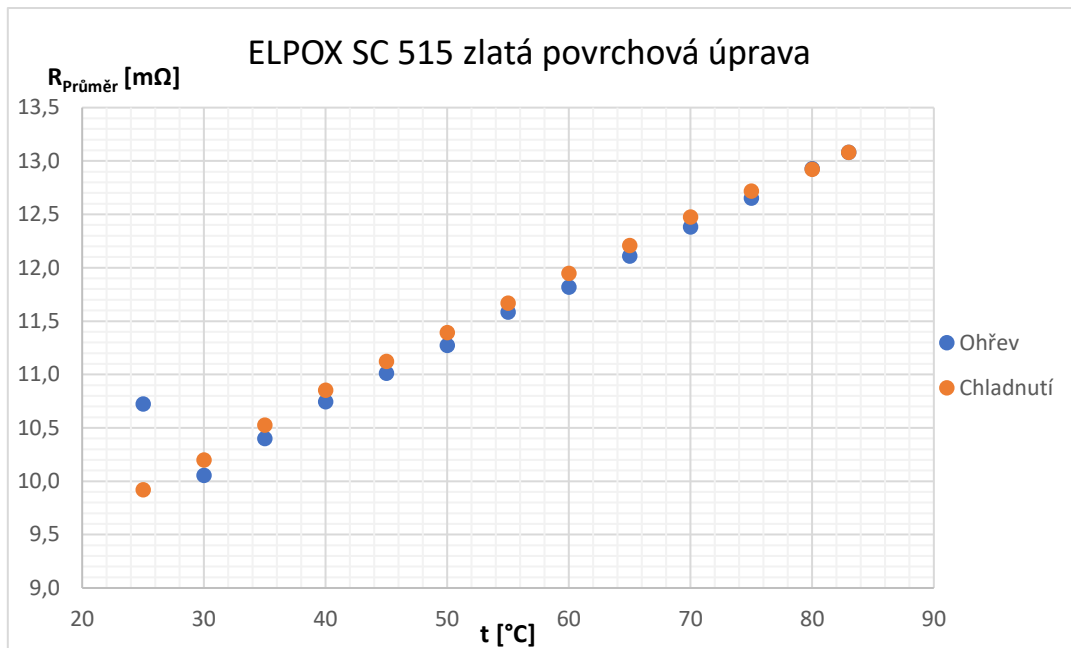
### 3.2. Výsledky pro měření teplotní závislosti odporu

Na Obr. 40 – 43 jsou vyneseny průměrné teplotní závislosti pro jednotlivá lepidla povrchové úpravy.

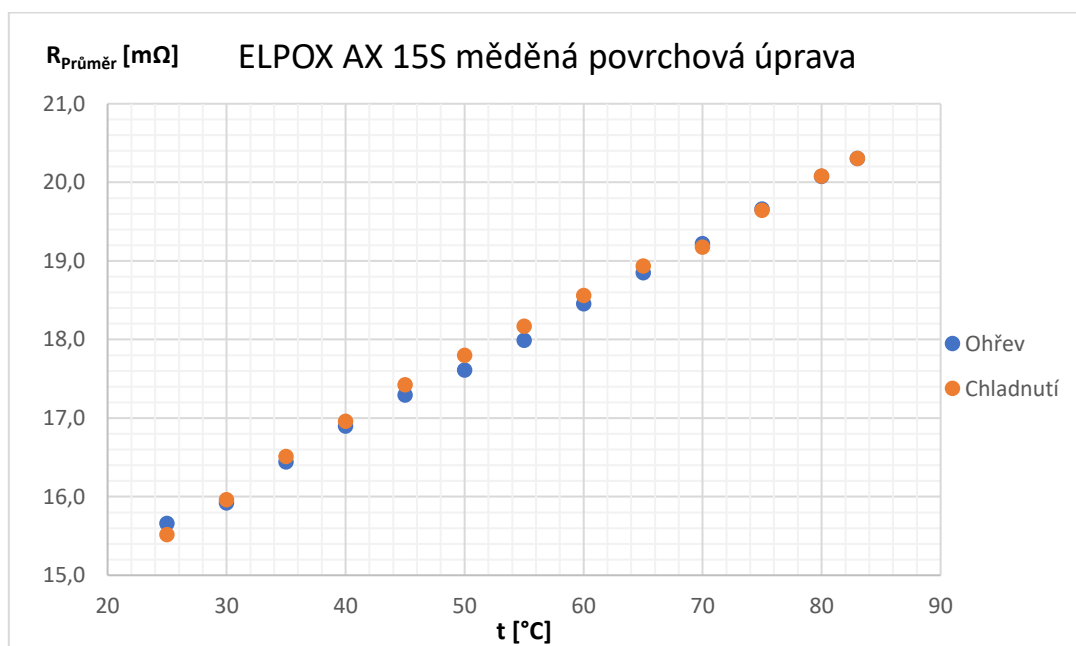
Z porovnání grafů je vidět, že u spojů vytvořených na zlatém povrchu došlo k nižšímu nárůstu odporu vlivem teploty oproti spojům vytvořených na měděném povrchu. Z průběhů je patrná lineární závislost odporu na teplotě. Z průběhů je také patrné, že se hodnota odporu spoje po vychladnutí ustálila přibližně na stejné hodnotě jako na začátku měření (kromě Obr. 41 kde se hodnota výrazně liší pravděpodobně kvůli chybě měření). Hodnoty odporu naměřené při počáteční teplotě jsou vyšší, než hodnoty odporu měřené třibodovou metodou na DPS pro šoky, to může být způsobeno odlišnou přípravou vzorků.



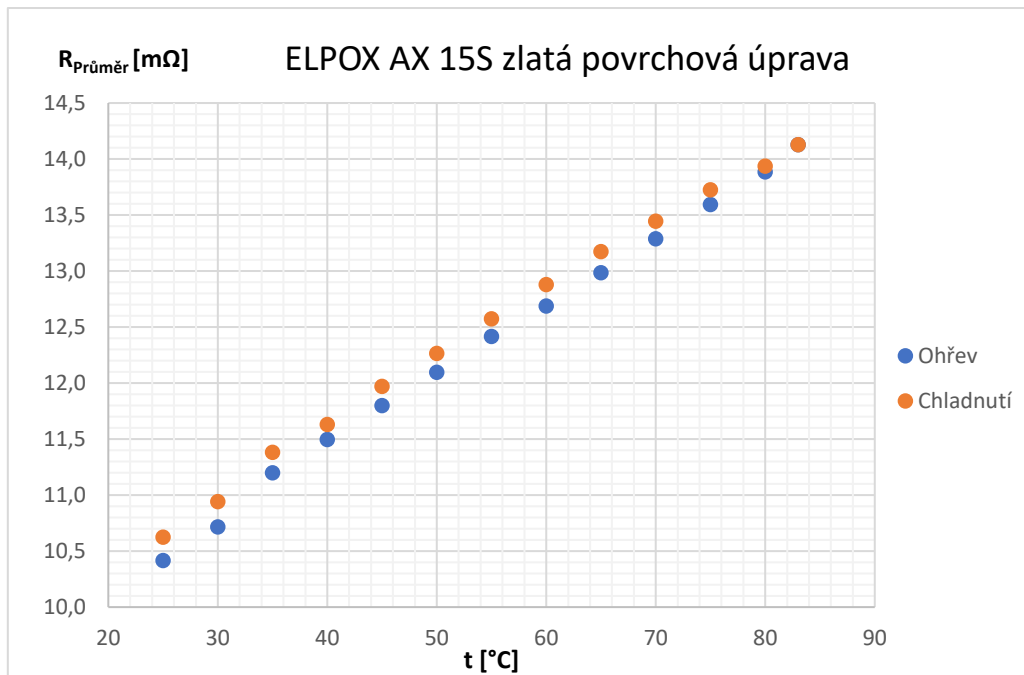
Obr. 40: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX SC 515, měděná povrchová úprava



Obr. 41: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX SC 515, zlatá povrchová úprava



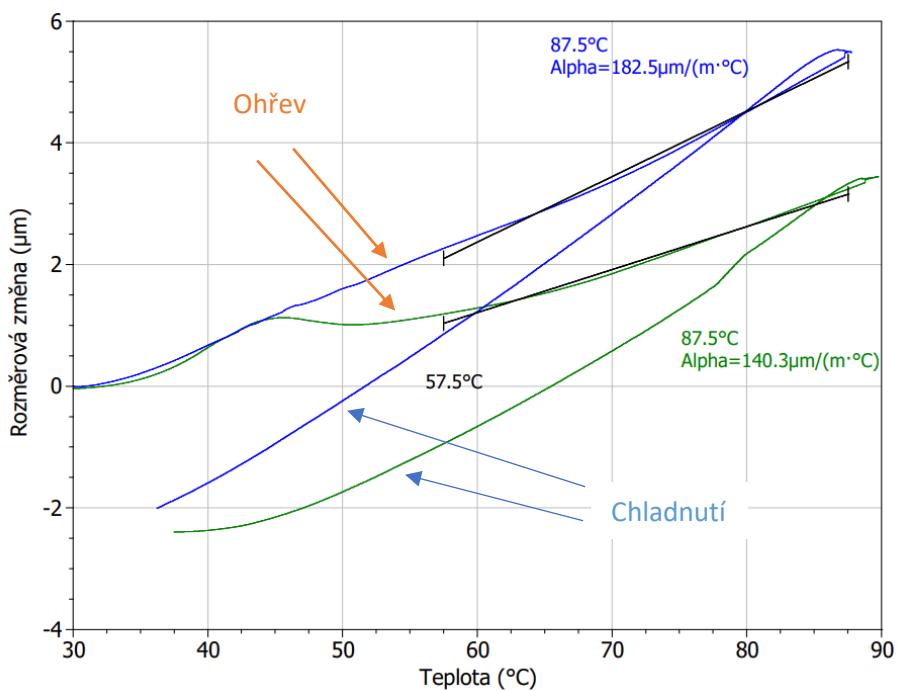
Obr. 42: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX AX 15S, měděná povrchová úprava



Obr. 43: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX AX 15S, zlatá povrchová úprava

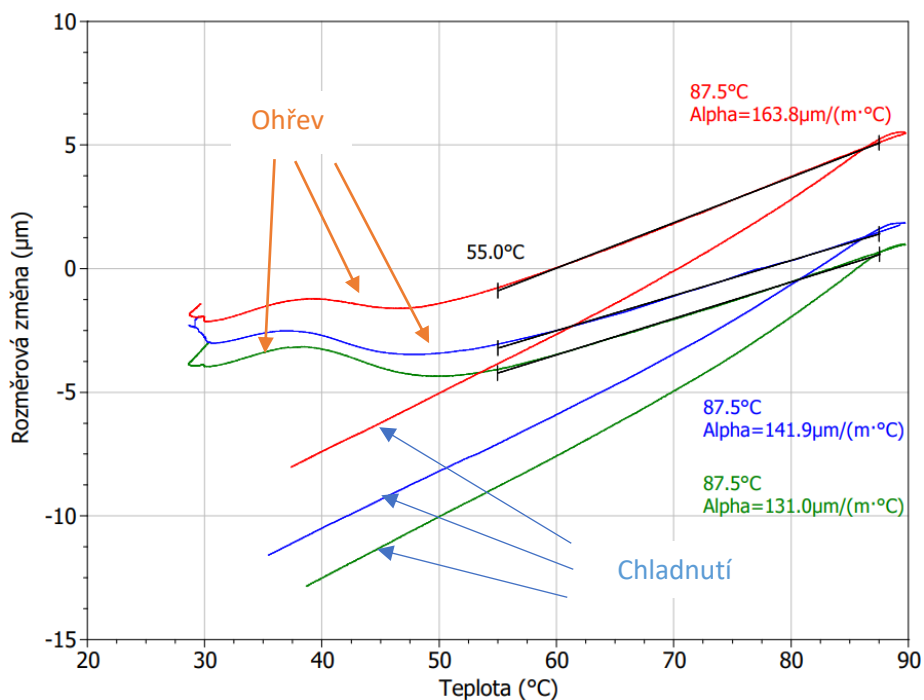
### 3.3 Výsledky termomechanické analýzy

Na Obr. 44 a 45 jsou zobrazeny závislosti změny rozměrů na teplotě a vypočítané teplotní koeficienty roztažnosti pro obě lepidla.



Obr. 44: Výsledek TMA pro ELPOX SC 515





Obr. 45: Výsledek TMA pro ELPOX AX 15S

Z naměřených průběhů na Obr. 44 byly vypočítány přístrojem Q400 TMA teplotní koeficienty roztažnosti pro dva vzorky lepidla ELPOX SC 515. Z naměřených průběhů na Obr. 45 pak byly vypočítány teplotní koeficienty roztažnosti pro tři vzorky lepidla ELPOX AX 15S. Z průběhů je patrné, že nejsou lineární v celém svém průběhu. Koeficienty teplotní roztažnosti proto byly vypočítány z lineární části (černé úsečky) průběhu při ohřevu – pro ELPOX SC 515 v rozsahu teplot 57,5 °C – 87,5 °C a pro ELPOX AX 15S v rozsahu 55 °C – 87,5 °C. Koeficienty teplotní roztažnosti vyšly pro lepidlo ELPOX SC 515 140,3 μm/(m·°C) a 182,5 μm/(m·°C). Pro lepidlo AX 15S pak teplotní koeficienty roztažnosti vyšly 131 μm/(m·°C), 141,9 μm/(m·°C) a 163, 8 μm/(m·°C).

## Diskuze výsledků

### Zkouška teplotními šoky

U plošných spojů měřených třibodovou metodou je vidět nárůst vypočítaných hodnot mediánů a průměrů odporu pouze u lepidla ELPOX SC 515 na deskách s měděnou povrchovou úpravou. Největší změna je pak vidět u desky č. 1, kde došlo k největšímu nárůstu průměru ze 7,9 mΩ na 17,4 mΩ a mediánu ze 7,9 na 11,8 mΩ. Dále je patrná výraznější změna u desky č. 4, kde došlo k nárůstu průměru z 6,9 mΩ na 10,1 mΩ a mediánu ze 7,0 mΩ na 10,6 mΩ. U zbylých desek došlo k nárůstu v řádu desetin mΩ. U desek se zlatým povrchem nebyly zaznamenány výrazné změny mediánů a průměrů odporu. U lepidla ELPOX AX 15S pak nebyly zaznamenány výrazné změny mediánů a průměrů odporu ani u jednoho povrchu.

U plošných spojů měřených čtyřbodovou metodou je vidět nárůst vypočítaných hodnot mediánů a průměrů odporu u všech testovaných desek pro lepidlo ELPOX AX 15S. Hodnoty průměrů narostly v rozsahu od 9,4 mΩ do 17,7 mΩ a hodnoty mediánů v rozsahu od 7,2 mΩ do 19,5 mΩ. U lepidla ELPOX SC 515 došlo k výraznému zvýšení průměru pouze u desky č. 1 ze 34,7 mΩ na 46,2 mΩ, ale medián vzrostl pouze o 1,8 mΩ. Z toho lze usoudit, že nedošlo k výraznému nárůstu odporu u většiny spojů na desce. U desky č. 2 pak došlo ke snížení průměru ze 41,3 mΩ na 34,8 mΩ a mediánu ze 35,6 na 32,3 mΩ. U zbylých desek nejsou vidět výraznější změny mediánů a průměrů – změny jsou v řádu desetin mΩ.

Zvýšení odporu může být způsobeno poškozením vazební matrice, která při rychlé změně teplot nedokáže rychle přijmout nebo odevzdat tepelnou energii do okolí. Může tak dojít ke vzniku mikrotrhlin ve vazební matici. Snížení odporu může být způsobeno dotvrzením lepidla, kdy dojde vlivem zvýšené teploty k smrštění vazební matrice.

Při porovnání obou metod je vidět, že hodnoty naměřené čtyřbodovou metodou jsou i po odečtení hodnoty odporu rezistoru vyšší než hodnoty naměřené třibodovou metodou. To může být způsobeno tím, že naměřené hodnoty čtyřbodovou metodou v sobě zahrnují i hodnotu kontaktního odporu mezi lepidlem a připojeným rezistorem.

Při porovnání obou povrchů je vidět, že hodnoty naměřené třibodovou metodou na deskách se zlatým povrchem jsou nižší než na deskách s měděným povrchem. U zlatého povrchu se vliv šoků téměř neprojevil. U měděného povrchu se projevil vliv šoků pouze lepidla ELPOX SC 515.

### **Teplotní závislost odporu**

Z naměřených průběhů je vidět lineární závislost pro obě lepidla i pro oba povrchy v celém rozsahu teplot od 25 °C do 83 °C jak při ohřevu, tak při chlazení. Naměřené hodnoty odporu spojů na zlatém povrchu jsou nižší než naměřené hodnoty odporu spojů na měděném povrchu. Po vychladnutí vzorku na teplotu 25 °C byla naměřena přibližně stejná hodnota odporu spoje jako na začátku měření. Z toho lze usoudit, že ani v případě jednoho lepidla nedošlo k trvalé změně odporu.

### **Termomechanická analýza**

Vypočítané teplotní koeficienty pro jednotlivá lepidla se od sebe liší o desítky  $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ . Nelinearita naměřených průběhů a pokles do záporných hodnot mohou být způsobeny nedostatečným vytvrzením vzorků lepidla i přes dodržení doporučené vytvrzovacích dob a vytvrzovacích teplot uvedených výrobcem.

Vypočítané hodnoty teplotních koeficientů roztažnosti vyšší než koeficienty teplotní roztažnosti samotného epoxidu ( $55 \mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ) a stříbra ( $19,5 \mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ) [21].

## Závěr

Práce v teoretické části popisuje složení elektricky vodivých lepidel z hlediska používaných materiálů. Dále je uvedeno rozdělení vodivých lepidel z hlediska principu vodivosti na izotropní a anizotropní i se stručným popisem těchto principů.

Experimentální část je rozdělena na tři dílčí části, a to měření teplotní závislosti elektrického odporu plošných spojů, sledování vlivu teplotních šoků na elektrický odpor a termomechanickou analýzu pro měření teplotního koeficientu roztažnosti.

V práci byla použita dvě izotropní vodivá lepidla na epoxidové bázi plněna stříbrnými částicemi od firmy amepox Microelectronics LTD: jednosložkové lepidlo ELPOX SC 515 a dvousložkové lepidlo ELPOX AX 15S. Dále byly navrženy 2 typy testovacích desek pro čtyřbodové a tříbodové měření elektrického odporu adhezních spojů, které byly použity k měření teplotní závislosti odporu a sledování vlivu teplotních šoků měřením odporu spojů před a po zkoušce.

### **Zkouška teplotními šoky**

Při této zkoušce byly soubory DPS rozděleny na dvě skupiny. Jedna skupina podstoupila 200 šoků a druhá skupina 500 šoků. V testovací komoře byly nastaveny teplotní extrémy  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ . U zkoušky teplotními šoky byly zaznamenány výraznější změny výsledných hodnot elektrického odporu jen spojů realizovaných na deskách s měděnou povrchovou úpravou. K jasnému zvětšení výsledných hodnot odporu spojů došlo u lepidla ELPOX AX 15S měřeného čtyřbodovou metodou viz. Obr. 35. Dále byly zaznamenány výraznější změny odporu u části desek měřených tříbodovou i čtyřbodovou metodou měření u lepidla ELPOX SC 515. Spoje realizované na zlatém povrchu testovacích desek vykazovaly stabilní výsledky pro obě lepidla.

### **Teplotní závislost odporu**

Teplotní závislost odporu byla měřena od  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $83\text{ }^{\circ}\text{C}$  (maximální možná teplota termostatu) s krokem  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  jak při ohřevu na maximální teplotu, tak při chlazení na minimální teplotu. Závislost byla měřena pro obě polarity zdroje. Z Obr. 40 – 43 je patrna lineární závislost pro obě lepidla na obou površích. U spojů na zlatém povrchu došlo k nižšímu nárůstu odporu než u spojů na měděném povrchu. Ani jedno měření neukázalo trvalé změny elektrického odporu spoje.

### **Termomechanická analýza – teplotní koeficient roztažnosti**

Při měření závislosti změny rozměru vzorku ve svislé ose na teplotě nebyly naměřeny lineární průběhy v celém rozsahu teplot. Při chladnutí se pak naměřené hodnoty změny rozměru dostaly do záporných hodnot. Proto byly teplotní koeficienty roztažnosti změřeny pouze z lineární části průběhu při ohřevu. Vypočítané teplotní koeficienty pro jednotlivá lepidla se od sebe liší o desítky  $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Nelineární průběhy a pokles do záporných hodnot mohou být způsobeny nedostatečným vytvrzením lepidla a jeho dodatečným vytvrzováním během měření. V této práci nebyl stupeň vytvrzení lepidla nijak zjišťován.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Typy plniv [5] .....	12
Obr. 2: Stříbrné šupiny [2].....	13
Obr. 3: Pozlacené Cu částice [2] .....	13
Obr. 4: Stříbrné nanokuličky [2].....	13
Obr. 5: Stříbrná nanovlákná [2].....	13
Obr. 6: Uhlíkové nanotrubičky [2] .....	13
Obr. 7: Perkolační křivka [9] .....	14
Obr. 8: Princip vodivosti ICA [8] .....	15
Obr. 9: Principiální schéma adhezního spoje vytvořeného pomocí ICA [10] .....	15
Obr. 10: Detail spoje s ACA s Ni částicí [8].....	16
Obr. 11: Detail spoje s ACA.....	16
Obr. 12: Principiální schéma vytvoření spoje s ACA vodivostí [10] .....	16
Obr. 13: Mechanismus vodivosti ECA: styk dvou kovových částic (vlevo) a tunelový jev (vpravo) [5].	17
Obr. 14: Změna odporu ECA vlivem dotvrzení [14].....	17
Obr. 15: Teplotní závislost odporu ECA při různých vytvrzovacích podmínkách [15] .....	18
Obr. 16: Teplotní závislost odporu ECA při ohřevu a chlazení [15] .....	18
Obr. 17: Layout DPS pro čtyřbodovou metodu měření odporu.....	20
Obr. 18: Layout DPS pro třibodovou metodu měření odporu .....	20
Obr. 19: Osazená deska pro třibodové měření odporu, zlatá povrchová úprava .....	21
Obr. 20: Osazená deska pro čtyřbodové měření odporu, měděná povrchová úprava.....	21
Obr. 21: ELPOX SC 515.....	22
Obr. 22: ELPOX SC 515.....	23
Obr. 23: Stencil printer SPIDÉ SD240 [19] .....	23
Obr. 24: Osazený vzorek pro měření teplotní závislosti odporu a prázdný vzorek.....	24
Obr. 25: Vzorky pro termomechanickou analýzu.....	24
Obr. 26: SMT manipulátor MO1 .....	25
Obr. 27: Šoková komora série TSS [20] .....	25
Obr. 28: Kombinovaný vzduchový termostat Labio LS 80.....	26
Obr. 29: Detail sondy a vzorku umístěného na stage Q400 TMA .....	27
Obr. 30: Principiální schéma zapojení třibodové metody měření odporu.....	28
Obr. 31: KUST DC RESISTENCE TESTER MM2030 s přípravkem pro měření malých odporů .....	28
Obr. 32: KUST DC RESISTENCE TESTER MM2030 s měřicími kleštěmi .....	29
Obr. 33: Přípravek pro měření malých odporů .....	29
Obr. 34: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, čtyřbodová metoda .....	35
Obr. 35: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, čtyřbodová metoda .....	35
Obr. 36: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, třibodová metoda, měděná povrchová úprava.....	36
Obr. 37: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX SC 515, třibodová metoda, zlatá povrchová úprava.....	36
Obr. 38: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX AX 15S, třibodová metoda, měděná povrchová úprava.....	37
Obr. 39: Mediány a průměry odporu spojů pro ELPOX AX 15S, třibodová metoda, zlatá povrchová úprava.....	37
Obr. 40: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX SC 515, měděná povrchová úprava .....	38
Obr. 41: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX SC 515, zlatá povrchová úprava .....	39

Obr. 42: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX AX 15S, měděná povrchová úprava .....	39
Obr. 43: Teplotní závislost průměru odporu pro ELPOX AX 15S, zlatá povrchová úprava.....	40
Obr. 44: Výsledek TMA pro ELPOX SC 515 .....	40
Obr. 45: Výsledek TMA pro ELPOX AX 15S .....	41

## Seznam tabulek

Tab. 1: Vytvrzovací teploty a doby pro všechny vzorky .....	25
Tab. 2: Rozdělení DPS pro zkoušku teplotními pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S .....	30
Tab. 3: Rozpis jednotlivých spojů pro měření teplotní závislosti odporu pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S .....	30
Tab. 4: Soubor naměřených hodnot čtyřbodovou metodou pro jednu desku .....	31
Tab. 5: Soubor naměřených hodnot tříbodovou metodou pro jednu desku .....	31
Tab. 6: Zkrácený soubor naměřených hodnot teplotní závislosti odporu jednoho spoje.....	32
Tab. 7: Vypočítané hodnoty mediánů a aritmetických průměrů odporu spojů jednotlivých desek měřených čtyřbodovou metodou před a po teplotních šocích.....	33
Tab. 8: Vypočítané hodnoty mediánů a aritmetických průměrů odporu spojů jednotlivých desek měřených tříbodovou metodou před a po teplotních šocích pro ELPOX SC 515.....	34
Tab. 9: Vypočítané hodnoty mediánů a aritmetických průměrů odporu spojů jednotlivých desek měřených tříbodovou metodou před a po teplotních šocích pro ELPOX AX 15S .....	34

## Seznam symbolů a zkratk

RoHS – Restriction of Hazardous Substances       $T_g$  – Teplota skelného přechodu

ECA – Electrically Conductive Adhesive

FCA – Flexible Conductive Adhesive

SAM – Self – Assembled Monolayer

ICA – Isotropic Conductive Adhesive

ACA – Anisotropic Conductive Adhesive

NCA – Nonconductive Adhesive

ACF – Anisotropic Conductive Film

LCD – Liquid Crystal Display

DPS – Deska Plošného Spoje

SMD – Surface Mount Device

SMT – Surface Mount Technology

R – Elektrický odpor

U – Stejnoseměrné elektrické napětí

I – Stejnoseměrný elektrický proud

TMA – Termomechanická Analýza

## Literatura

- [1] H. Wolfson and G. Elliott, *Electrically Conducting Cements Containing Epoxy Resins and Silver*, 1956.
- [2] Pavel Mach, *Modifikovaná elektricky vodivá lepidla*, vol. Číslo II, Prague: ElectroScope, 2009.
- [3] E. Zschech, C. Whelan, T. Mikolajick, *Electrically Conductive Adhesives as Solder Alternative: A Feasible Challenge*, London: Springer, 2005.
- [4] Rongwei Zhang, Yiqun Duan, Wei Lin, Kyoung-sik Moon and C. P. Wong, "New electrically conductive adhesives (ECAs) for flexible interconnect applications," *2009 59th Electronic Components and Technology Conference*, 2009, pp. 1356-1360
- [5] R. Aradhana, S. Mohanty, S. K. Nayak, "A review on epoxy-based electrically conductive adhesives", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 99, pp. 1-18, June 2020.
- [6] Li, Y., Moon, Ks.(., Wong, C. (2010). Nano-conductive Adhesives for Nano-electronics Interconnection. In: Wong, C., Moon, KS., Li, Y. (eds) *Nano-Bio- Electronic, Photonic and MEMS Packaging*. Springer, Boston, MA.
- [7] Yi Li and C. P. Wong, "Silver migration control in electrically conductive adhesives," *Conference on High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis, 2006. HDP'06.*, 2006, pp. 206-212
- [8] Morris J. E., Liu J. Electrically Conductive Adhesives (ECAs) [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: [http://web.cecs.pdx.edu/~jmorris/Research%20&%20Publications/Electrically%20Conductive%20Adhesives/Chapter%20ECA%20Review%20in%20Suhir Wong Lee%20\(Springer\).pdf](http://web.cecs.pdx.edu/~jmorris/Research%20&%20Publications/Electrically%20Conductive%20Adhesives/Chapter%20ECA%20Review%20in%20Suhir%20Wong%20Lee%20(Springer).pdf)
- [9] J. C. Agar *et al.*, "Deconstructing the myth of percolation in electrically conductive adhesives and its implications," *2010 Proceedings 60th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, 2010, pp. 1713-1718
- [10] Yi Li, C.P. Wong, Recent advances of conductive adhesives as a lead-free alternative in electronic packaging: Materials, processing, reliability and applications, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, Volume 51, Issues 1–3, 2006, Pages 1-35, ISSN 0927-796X,
- [11] Žalská, Pavlína. Stárnutí spojů vytvořených elektricky vodivými lepidly. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Mach, CSc.
- [12] Ren, HM., Zhang, K., Matthew, Y.M. *et al.* Preparation and performance of Ag-coated Cu flakes filled epoxy as electrically conductive adhesives. *J Sol State Light* **1**, 10 (2014).
- [13] Sancaktar, E.; Bai, L. Electrically Conductive Epoxy Adhesives. *Polymers* **2011**, *3*, 427-466.
- [14] Inoue, M., Sukanuma, K. The Dependence on Thermal History of the Electrical Properties of an Epoxy-Based Isotropic Conductive Adhesive. *J. Electron. Mater.* **36**, 669–675 (2007).
- [15] Inoue, M., Muta, H., Maekawa, T. *et al.* Temperature Dependence of Electrical and Thermal Conductivities of an Epoxy-Based Isotropic Conductive Adhesive. *J. Electron. Mater.* **37**, 462–468



- [16] L. Frisk, S. Lahokallio, M. Mostofizadeh, J. Kiilunen and K. Saarinen, "Reliability study of isotropic electrically conductive adhesives under thermal cycling testing," *2013 IEEE 63rd Electronic Components and Technology Conference*, 2013, pp. 1794-1799
- [17] amepox Microelectronics LTD ELPOX SC 515 [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://amepox-mc.pl/wp-content/uploads/2020/12/ELPOXSC515.pdf>
- [18] amepox Microelectronics LTD ELPOX AX 15S [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: [https://amepox-mc.pl/wp-content/uploads/2020/12/ELPOX\\_AX\\_15S.pdf](https://amepox-mc.pl/wp-content/uploads/2020/12/ELPOX_AX_15S.pdf)
- [19] Stencil printer SPIDÉ SD240 [online]. [cit. 22-05-14]. Dostupné z: <https://spide-smt.nl/portfolio-item/sd240/>
- [20] Thermal Shock Test Chambers, Series TSS [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.cts-umweltsimulation.de/en/products/shock-tss.html>
- [21] J. Kratina, Lineární teplotní roztažnost materiálů [online]. [cit. 22-05-19]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/linearni-teplotni-roztaznost-mateialu>

## Přílohy

### Seznam příloh

<b>Příloha 1: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S před šoky, čtyřbodová metoda..</b>	<b>51</b>
<b>Příloha 2: Upravené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S před šoky, čtyřbodová metoda ...</b>	<b>52</b>
<b>Příloha 3: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S po šocích, čtyřbodová metoda ..</b>	<b>53</b>
<b>Příloha 4: Upravené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S po šocích, čtyřbodová metoda ....</b>	<b>55</b>
<b>Příloha 5: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 před šoky, třibodová metoda .....</b>	<b>56</b>
<b>Příloha 6: Naměřené hodnoty pro ELPOX AX 15S před šoky, třibodová metoda.....</b>	<b>59</b>
<b>Příloha 7: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 po šocích, třibodová metoda .....</b>	<b>61</b>
<b>Příloha 8: Naměřené hodnoty pro ELPOX AX 15S po šocích, třibodová metoda .....</b>	<b>64</b>
<b>Příloha 9: Naměřené hodnoty odporu samotných rezistorů .....</b>	<b>67</b>
<b>Příloha 10: Teplotní závislosti odporu jednotlivých spojů pro ELPOX SC 515 .....</b>	<b>68</b>
<b>Příloha 11: Teplotní závislosti odporu jednotlivých spojů pro ELPOX SC AX 15S .....</b>	<b>74</b>
<b>Příloha 12: Výsledná průměrná teplotní závislost odporu.....</b>	<b>80</b>

Příloha 1: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S před šoky, čtyřbodová metoda

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	86,26	94,22	81,35	86,76	91,36	120,93	84,28
dolní řada	88,11	87,07	81,46	83,32	74,96	85,54	209,60

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	82,37	78,94	79,04	71,26	129,79	89,36	84,95
dolní řada	177,81	90,31	123,22	117,06	150,65	80,77	75,79

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	87,81	91,59	95,76	94,01	79,87	81,95	77,55
dolní řada	79,33	77,56	83,25	79,76	79,52	77,4	79,15

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	81,98	87,46	95,5	82,92	71,99	106,91	84,89
dolní řada	87,36	90,52	79,77	79,79	87,11	82,03	90,73

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	95,45	75,88	89,15	79,43	76,75	77,05	97,19
dolní řada	77,6	84,76	72,9	75,93	79,02	85,89	78,02

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	96,37	77,39	83,41	123,11	90,12	95,52	91,33
dolní řada	107,22	86,45	85,67	83,58	112,78	72,57	123,78

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	131,78	86,02	94,55	103,82	78,52	101,58	87,32
dolní řada	80,34	80,99	85,68	79,11	93,01	84,7	98,99

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	89,13	99,38	86,61	162,46	77,12	83,07	75,49
dolní řada	76,59	90,85	90,82	93,92	89,03	88,61	73,39

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	90,88	94,09	85,04	87,75	102,03	91,34	114,85
dolní řada	111,37	100,56	87,27	81,55	111,93	89,29	85,76

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	187,56	105,74	85,48	91,89	86,41	93,63	95,04
dolní řada	82,32	92,45	96,88	88,87	83,81	84,58	101,61

## Příloha 2: Upravené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S před šoky, čtyřbodová metoda

Žlutě jsou vyznačeny hodnoty vyloučené matematickým vyrovnáním. Zde jsou uvedeny hodnoty po odečtení hodnoty nulového rezistoru 16 mΩ a vydělení dvěma.

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	35,13	39,11	32,68	35,38	37,68	52,47	34,14
dolní řada	36,06	35,54	32,73	33,66	29,48	34,77	96,80

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	33,19	31,47	31,52	27,63	56,90	36,68	34,48
dolní řada	80,91	37,16	53,61	50,53	67,33	32,39	29,90

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	35,91	37,80	39,88	39,01	31,94	32,98	30,78
dolní řada	31,67	30,78	33,63	31,88	31,76	30,70	31,58

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	32,99	35,73	39,75	33,46	28,00	45,46	34,45
dolní řada	35,68	37,26	31,89	31,90	35,56	33,02	37,37

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	39,73	29,94	36,58	31,72	30,38	30,53	40,60
dolní řada	30,80	34,38	28,45	29,97	31,51	34,95	31,01

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	40,19	30,70	33,71	53,56	37,06	39,76	37,67
dolní řada	45,61	35,23	34,84	33,79	48,39	28,29	53,89

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	57,89	35,01	39,28	43,91	31,26	42,79	35,66
dolní řada	32,17	32,50	34,84	31,56	38,51	34,35	41,50

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	36,57	41,69	35,31	73,23	30,56	33,54	29,75
dolní řada	30,30	37,43	37,41	38,96	36,52	36,31	28,70

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	37,44	39,05	34,52	35,88	43,02	37,67	49,43
dolní řada	47,69	42,28	35,64	32,78	47,97	36,65	34,88

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	85,78	44,87	34,74	37,95	35,21	38,82	39,52
dolní řada	33,16	38,23	40,44	36,44	33,91	34,29	42,81

Příloha 3: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S po šocích, čtyřbodová metoda

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	109,02	86,85	82,74	88,52	92,54	300	93,72
dolní řada	100,86	90,69	83,45	86,93	76,19	86,09	375

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	80,12	73,84	77,29	68,45	95,56	80,73	80,43
dolní řada	177,75	85,08	90,01	93,91	119,05	78,19	74,18

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	90,45	90,24	90,16	92,19	76,24	81,16	79,13
dolní řada	78,96	76,24	82,36	81,25	80,63	76,27	77,02

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	81,42	83,12	95,29	90,52	73,12	98,84	81,41
dolní řada	87,61	108,81	77,97	85,29	90,94	78,58	95,39

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	85,38	74,29	86,82	83,58	75,33	78,37	84,77
dolní řada	75,17	84,66	72,89	74,42	82,22	90,89	81,58

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	164,71	87,35	117,16	164,37	115,69	108,64	114,52
dolní řada	141,05	92,13	125,07	106,82	134,87	100,12	147,17

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	250,00	97,72	120,19	126,66	89,01	132,98	112,52
dolní řada	104,28	114,07	113,91	90,64	110,35	105,02	119,78

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	113,84	149,88	110,19	42900	82,21	102,29	110,09
dolní řada	103,12	101,86	102,49	121,49	111,23	99,14	85,69

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	132,11	103	132,84	110,79	141,96	118,67	189,47
dolní řada	104,18	103,74	128,42	133,77	116,53	168,11	170,13

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Naměřené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	571	135,93	120,31	123,31	111,39	152,76	110,01
dolní řada	106,31	104,25	132,42	141,96	100,35	102,49	141,6

Příloha 4: Upravené hodnoty pro ELPOX SC 515 a ELPOX AX 15S po šocích, čtyřbodová metoda

Žlutě jsou vyznačeny hodnoty vyloučené matematickým vyrovnáním. Zde jsou uvedeny hodnoty po odečtení hodnoty nulového rezistoru 16 mΩ a vydělení dvěma. Zeleně je označen nevodivý spoj.

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	46,51	35,43	33,37	36,26	38,27	142,00	38,86
dolní řada	42,43	37,35	33,73	35,47	30,10	35,05	179,50

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	32,06	28,92	30,65	26,23	39,78	32,37	32,22
dolní řada	80,88	34,54	37,01	38,96	51,53	31,10	29,09

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	37,23	37,12	37,08	38,10	30,12	32,58	31,57
dolní řada	31,48	30,12	33,18	32,63	32,32	30,14	30,51

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	32,71	33,56	39,65	37,26	28,56	41,42	32,71
dolní řada	35,81	46,41	30,99	34,65	37,47	31,29	39,70

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	34,69	29,15	35,41	33,79	29,67	31,19	34,39
dolní řada	29,59	34,33	28,45	29,21	33,11	37,45	32,79

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	74,36	35,68	50,58	74,19	49,85	46,32	49,26
dolní řada	62,53	38,07	54,54	45,41	59,44	42,06	65,59

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	117,00	40,86	52,10	55,33	36,51	58,49	48,26
dolní řada	44,14	49,04	48,96	37,32	47,18	44,51	51,89

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	48,92	66,94	47,10	x	33,11	43,15	47,05
dolní řada	43,56	42,93	43,25	52,75	47,62	41,57	34,85

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	58,06	43,50	58,42	47,40	62,98	51,34	86,74
dolní řada	44,09	43,87	56,21	58,89	50,27	76,06	77,07

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S							
Upravené hodnoty R [mΩ]							
horní řada	277,50	59,97	52,16	53,66	47,70	68,38	47,01
dolní řada	45,16	44,13	58,21	62,98	42,18	43,25	62,80

## Příloha 5: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 před šoky, tříbodová metoda

Žlutě jsou vyznačeny hodnoty vyloučené matematickým vyrovnáním.

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,60	0,38	0,47	0,35	0,34	0,24	0,62
horní řada I [mA]	70,48	69,08	72,71	74,04	64,98	55,56	64,54
horní řada R [mΩ]	8,5	5,5	6,5	4,7	5,2	4,2	9,7
dolní řada U [mV]	0,59	0,74	0,50	0,89	1,03	0,57	0,45
dolní řada I [mA]	67,53	68,71	68,42	73,26	61,31	62,63	61,49
dolní řada R [mΩ]	8,7	10,7	7,2	12,1	16,8	9,1	7,3



Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,33	0,37	0,35	0,37	0,56	0,44	0,33
horní řada I [mA]	60,7	70,48	65,28	68,86	72,27	64,48	61,97
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>	<b>5,3</b>	<b>5,4</b>	<b>7,8</b>	<b>6,9</b>	<b>5,4</b>
dolní řada U [mV]	0,32	0,27	0,33	0,23	0,50	0,72	0,61
dolní řada I [mA]	69,53	67,91	71,18	54,27	62,23	50,72	67,7
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,6</b>	<b>4,0</b>	<b>4,7</b>	<b>4,3</b>	<b>8,0</b>	<b>14,2</b>	<b>9,0</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,33	0,39	0,33	0,31	0,25	0,32	0,39
horní řada I [mA]	57,23	71,98	59,74	49,47	45,86	59,41	70,88
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,7</b>	<b>5,4</b>	<b>5,6</b>	<b>6,2</b>	<b>5,5</b>	<b>5,4</b>	<b>5,4</b>
dolní řada U [mV]	0,32	0,26	0,30	0,28	0,26	0,29	0,29
dolní řada I [mA]	71,77	64,46	70,29	68,06	66,01	73,52	70,87
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,4</b>	<b>4,0</b>	<b>4,2</b>	<b>4,1</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,31	0,47	0,34	0,51	0,32	0,56	0,43
horní řada I [mA]	54,88	57,37	70,757	64,84	67,7	71,27	61,67
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,6</b>	<b>8,1</b>	<b>4,7</b>	<b>7,9</b>	<b>4,7</b>	<b>7,9</b>	<b>6,9</b>
dolní řada U [mV]	0,43	0,49	0,45	0,50	0,36	0,32	0,75
dolní řada I [mA]	70,56	61,68	70,31	70,73	47,38	48,64	72,86
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>6,1</b>	<b>7,9</b>	<b>6,4</b>	<b>7,1</b>	<b>7,7</b>	<b>6,5</b>	<b>10,3</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,50	0,36	0,40	0,57	0,43	0,35	0,52
horní řada I [mA]	69,32	66,45	58,98	68,13	70,25	65,61	66,78
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>7,2</b>	<b>5,5</b>	<b>6,8</b>	<b>8,3</b>	<b>6,1</b>	<b>5,4</b>	<b>7,8</b>
dolní řada U [mV]	0,29	0,30	0,35	0,58	0,23	0,18	0,28
dolní řada I [mA]	57,36	72,67	69,24	53,4	54,66	39,67	64,3
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,0</b>	<b>4,1</b>	<b>5,0</b>	<b>10,9</b>	<b>4,3</b>	<b>4,6</b>	<b>4,3</b>

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,23	0,22	0,24	0,22	0,19	0,22	0,23
horní řada I [mA]	75,39	75,2	75,88	66,33	60,8	74,47	74,55
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>
dolní řada U [mV]	0,23	0,21	0,30	0,30	0,28	0,28	0,30
dolní řada I [mA]	65,41	53,01	74,89	74,93	72,07	73,7	74,29
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,5</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,0</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,19	0,19	0,11	0,19	0,19	0,16	0,15
horní řada I [mA]	74,35	74,8	74,16	74,51	75,05	60,57	59,78
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>1,5</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>
dolní řada U [mV]	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
dolní řada I [mA]	73,86	72,77	74,28	72,92	75,03	74,25	75,13
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,21	0,12
horní řada I [mA]	75,02	74,81	75,27	75,37	74,85	75,2	43,2
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>3,0</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>
dolní řada U [mV]	0,20	0,20	0,27	0,28	0,25	0,26	0,24
dolní řada I [mA]	55,37	55,3	74,53	74,7	60,22	75,3	67,27
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>4,1</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,32	0,32	0,38	0,38	0,33	0,31	0,26
horní řada I [mA]	75,31	75,02	75,05	75,34	74,38	75	62,14
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,2</b>	<b>4,3</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>4,4</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>
dolní řada U [mV]	0,23	0,24	0,28	0,29	0,24	0,23	0,19
dolní řada I [mA]	74,51	75,25	74,51	75,38	74,05	75,21	59,16
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>3,2</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,23	0,26	0,27	0,64	0,25	0,25	0,25
horní řada I [mA]	64,61	73,63	75,35	74,88	79,55	74,06	75,15
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>8,5</b>	<b>3,1</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>
dolní řada U [mV]	0,20	0,20	0,21	0,22	0,21	0,19	0,20
dolní řada I [mA]	74,6	73,01	74,19	74,41	75,48	69,56	71,93
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>

## Příloha 6: Naměřené hodnoty pro ELPOX AX 15S před šoky, tříbodová metoda

Žlutě jsou vyznačeny hodnoty vyloučené matematickým vyrováním. Zeleně je označen nevodivý spoj.

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,28	0,29	0,28	0,28	0,34	0,37	0,29
horní řada I [mA]	64,1	64,67	62,47	65,39	65,2	64,77	63,28
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,2</b>	<b>5,2</b>	<b>5,7</b>	<b>4,6</b>
dolní řada U [mV]	0,31	0,36	0,37	0,35	0,34	0,31	0,38
dolní řada I [mA]	55,39	67,65	68	68,33	68,91	60,75	68,29
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>	<b>5,0</b>	<b>5,2</b>	<b>5,6</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,36	0,34	0,30	0,28	0,34	0,35	0,28
horní řada I [mA]	68,48	67,51	59,63	55,25	66,35	66,58	52,62
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,3</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>5,2</b>	<b>5,3</b>
dolní řada U [mV]	0,20	0,28	0,28	0,27	0,28	0,19	0,19
dolní řada I [mA]	47,35	66,85	67,88	66,77	67,59	46,7	43,76
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,27	0,27	0,27	0,25	0,27	0,25	0,27
horní řada I [mA]	66,18	66,42	68	62,16	67,61	63,33	63,38
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,1</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>4,0</b>	<b>4,2</b>
dolní řada U [mV]	0,31	0,34	0,33	0,34	0,28	0,33	0,35
dolní řada I [mA]	57,21	65,93	65,34	66,25	67,87	67,42	66,81
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,5</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>4,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,3</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
0,27	0,29	0,25	0,23	0,27	0,22	0,21	0,28
horní řada I [mA]	67,32	61,37	56,77	67,14	55	49,55	66,69
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,0</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>
dolní řada U [mV]	0,31	0,35	0,33	0,30	0,33	0,34	0,31
dolní řada I [mA]	58,79	65,91	62,83	58,2	64,67	67,49	59,49
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,2</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,26	0,30	0,34	0,29	0,25	0,28	0,36
horní řada I [mA]	50,37	54,86	63,31	55,05	48,67	50,99	65,57
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,2</b>	<b>5,5</b>	<b>5,4</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>5,5</b>	<b>5,4</b>
dolní řada U [mV]	0,21	0,24	0,18	0,23	0,24	0,26	0,22
dolní řada I [mA]	52,48	57,51	43,67	56,22	60,12	65,25	54,12
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>4,0</b>

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,23	0,24	0,25	0,18	0,26	0,25	0,27
horní řada I [mA]	63,61	68,35	68,77	49,93	69,37	69,77	70,27
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>3,8</b>
dolní řada U [mV]	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19
dolní řada I [mA]	69,7	69,39	68,67	66,82	70,63	68,81	63,21
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>3,0</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,27	0,27	0,29	0,25	0,27	0,26	0,17
horní řada I [mA]	69,15	71,01	69,05	59,65	68,63	70,15	46,61
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9</b>	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>
dolní řada U [mV]	0,19	0,21	0,23	0,23	0,18	0,19	0,20
dolní řada I [mA]	64,42	70,33	70,56	70,87	62,12	69,97	69,44
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,23	0,27	0,23	0,26	0,27	0,27	0,25
horní řada I [mA]	69,49	70,35	60,48	69,91	69,25	66,24	66,06
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,3</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>	<b>3,8</b>
dolní řada U [mV]	0,19	0,19	0,17	0,13	0,17	0,17	0,15
dolní řada I [mA]	66,4	64,46	61,33	47,51	62,49	65,07	55,92
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,18
horní řada I [mA]	67,06	66,73	63,09	66,58	66,59	66,25	66,64
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>
dolní řada U [mV]	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,23
dolní řada I [mA]	65,97	63,18	66,23	64,82	63,86	66,07	66,09
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,15	0,27	0,24	0,26	0,26	0,20	0,26
horní řada I [mA]	41,99	65,89	65,82	66,32	65,33	52,61	64,11
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,5</b>	<b>4,1</b>	<b>3,7</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,1</b>
dolní řada U [mV]	0,19	0,19	0,18	0,17	0,19	0,16	x
dolní řada I [mA]	65,86	66,58	66,21	61,37	66,37	64,02	x
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,5</b>	<b>x</b>

## Příloha 7: Naměřené hodnoty pro ELPOX SC 515 po šocích, tříbodová metoda

Žlutě jsou vyznačeny hodnoty vyloučené matematickým vyrovnáním.

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	9,251	0,667	0,424	0,367	0,587	0,417	0,919
horní řada I [mA]	63,31	75,51	67,34	54,72	71,59	79,67	63,36
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>146,1</b>	<b>8,8</b>	<b>6,3</b>	<b>6,7</b>	<b>8,2</b>	<b>5,2</b>	<b>14,5</b>
dolní řada U [mV]	3,797	1,51	0,572	2,74	1,396	0,487	0,866
dolní řada I [mA]	81,65	54,6	74,95	76,8	60,2	42,8	71,21
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>46,5</b>	<b>27,7</b>	<b>7,6</b>	<b>35,7</b>	<b>23,2</b>	<b>11,4</b>	<b>12,2</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,423	0,431	0,262	0,421	1,049	0,601	0,426
horní řada I [mA]	79,44	82,81	49,1	78,19	82,45	77,69	79,93
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>5,3</b>	<b>5,4</b>	<b>12,7</b>	<b>7,7</b>	<b>5,3</b>
dolní řada U [mV]	0,403	0,274	0,473	0,304	1,216	1,12	0,92
dolní řada I [mA]	60,49	61,35	80,57	62,2	79,71	57,3	64,5
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>6,7</b>	<b>4,5</b>	<b>5,9</b>	<b>4,9</b>	<b>15,3</b>	<b>19,5</b>	<b>14,3</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,291	0,307	0,256	0,463	0,438	0,399	0,461
horní řada I [mA]	49,4	57,28	47,2	59,6	79,31	71,64	84,57
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,9</b>	<b>5,4</b>	<b>5,4</b>	<b>7,8</b>	<b>5,5</b>	<b>5,6</b>	<b>5,5</b>
dolní řada U [mV]	0,504	0,329	0,359	0,276	0,304	0,248	0,241
dolní řada I [mA]	85,13	77,7	83,1	67,1	76,2	64,4	58,21
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,9</b>	<b>4,2</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,584	0,662	0,461	0,944	0,332	0,883	0,728
horní řada I [mA]	80,4	77,6	67,1	79,3	72,9	64,2	72,3
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>7,3</b>	<b>8,5</b>	<b>6,9</b>	<b>11,9</b>	<b>4,6</b>	<b>13,8</b>	<b>10,1</b>
dolní řada U [mV]	0,807	0,776	0,602	0,485	0,675	1,136	0,793
dolní řada I [mA]	68,1	62,8	76,6	61,7	60,9	68,5	67,8
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>11,9</b>	<b>12,4</b>	<b>7,9</b>	<b>7,9</b>	<b>11,1</b>	<b>16,6</b>	<b>11,7</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,672	0,398	0,741	0,915	0,549	0,452	0,579
horní řada I [mA]	62,9	71,1	79,5	82,3	80,1	79,3	53,7
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>10,7</b>	<b>5,6</b>	<b>9,3</b>	<b>11,1</b>	<b>6,9</b>	<b>5,7</b>	<b>10,8</b>
dolní řada U [mV]	0,767	0,299	0,351	1,873	0,347	0,378	0,369
dolní řada I [mA]	54,9	71,3	59,8	70,2	74,3	63,6	74,1
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>14,0</b>	<b>4,2</b>	<b>5,9</b>	<b>26,7</b>	<b>4,7</b>	<b>5,9</b>	<b>5,0</b>

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,227	0,225	0,269	0,284	0,273	0,234	0,261
horní řada I [mA]	76,9	75,5	85,44	85,32	85,88	78,6	86,1
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>
dolní řada U [mV]	0,342	0,297	0,252	0,323	0,249	0,227	0,342
dolní řada I [mA]	86,5	75,82	64,9	82	64,7	59,9	85,8
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>4,0</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,217	0,212	0,214	0,208	0,207	0,212	0,211
horní řada I [mA]	86,2	86,3	85,2	81,9	81,1	83	85,8
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>
dolní řada U [mV]	0,287	0,279	0,278	0,274	0,279	0,361	0,266
dolní řada I [mA]	84,4	85,5	82,2	80,6	84,02	79,31	81,6
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>	<b>4,6</b>	<b>3,3</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,229	0,228	0,239	0,239	0,245	0,239	0,221
horní řada I [mA]	86,3	85,4	85,3	85,4	86,7	95,4	82,8
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>
dolní řada U [mV]	0,297	0,268	0,302	0,278	0,299	0,298	0,297
dolní řada I [mA]	85,9	76,1	84,7	75,4	83,8	84,7	85,9
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,345	0,352	0,433	0,423	0,371	0,355	0,357
horní řada I [mA]	81,4	83,7	85,6	83,4	85,5	85,8	85,9
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>	<b>4,2</b>
dolní řada U [mV]	0,269	0,268	0,319	0,328	0,245	0,252	0,269
dolní řada I [mA]	86,8	84,3	85,5	86,6	76,7	82,4	86,4
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,7</b>	<b>3,8</b>	<b>3,2</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX SC 515, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,296	0,288	0,297	0,294	0,299	0,291	0,292
horní řada I [mA]	86,1	84,7	84,5	84,3	85,4	85,4	85,5
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>
dolní řada U [mV]	0,222	0,234	0,236	0,237	0,237	0,234	0,234
dolní řada I [mA]	85,7	85,9	83,7	83,6	84,5	86,5	86,55
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>

## Příloha 8: Naměřené hodnoty pro ELPOX AX 15S po šocích, tříbodová metoda

Žlutě jsou vyznačeny hodnoty vyloučené matematickým vyrovnáním. Zeleně je značen nevodivý spoj.

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,341	0,273	0,376	0,312	0,281	0,375	0,237
horní řada I [mA]	78,5	63,1	84,1	73,4	60,6	71,56	52,6
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>4,6</b>	<b>5,2</b>	<b>4,5</b>
dolní řada U [mV]	0,475	0,243	0,431	0,362	0,368	0,382	0,432
dolní řada I [mA]	86,5	45,5	79,6	70,1	74,7	75,9	81,9
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>	<b>4,9</b>	<b>5,0</b>	<b>5,3</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,325	0,366	0,416	0,293	0,351	0,262	0,257
horní řada I [mA]	61,1	73,3	82,3	58,2	68,8	50,3	47,9
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,3</b>	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,2</b>	<b>5,4</b>
dolní řada U [mV]	0,209	0,222	0,229	0,258	0,227	0,231	0,299
dolní řada I [mA]	49,6	54,1	55,4	62,7	52,8	55,7	68,7
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,2</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>	<b>4,4</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,329	0,329	0,343	0,337	0,239	0,287	0,321
horní řada I [mA]	79,5	77,4	81,9	81,9	56,5	67,3	77,1
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>	<b>4,2</b>	<b>4,1</b>	<b>4,2</b>	<b>4,3</b>	<b>4,2</b>
dolní řada U [mV]	0,317	0,217	0,412	0,311	0,392	0,262	0,359
dolní řada I [mA]	59,5	43,5	81,7	60,7	77,1	52,4	67,4
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,3</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,3</b>



Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,265	0,252	0,242	0,262	0,347	0,412	0,264
horní řada I [mA]	62,7	60,9	58,5	57,8	80,6	86,1	52,7
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,2</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>4,8</b>	<b>5,0</b>
dolní řada U [mV]	0,298	0,326	0,342	0,306	0,412	0,296	0,377
dolní řada I [mA]	54,1	62,7	66,1	58,6	80,7	58,8	67,4
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>5,5</b>	<b>5,2</b>	<b>5,2</b>	<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,6</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S, měděná úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,338	0,337	0,296	0,292	0,256	0,289	0,465
horní řada I [mA]	63,2	61,7	55,8	54,7	49,3	53,4	85,1
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>5,3</b>	<b>5,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>5,4</b>	<b>5,5</b>
dolní řada U [mV]	0,267	0,315	0,291	0,341	0,251	0,287	0,322
dolní řada I [mA]	64,5	74,4	69,6	84,6	62,9	71,4	79,9
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>4,1</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>

Deska č. 1 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,192	0,219	0,187	0,238	0,291	0,227	0,207
horní řada I [mA]	53,2	62,2	50,7	62,7	79,3	63,1	54,2
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,7</b>	<b>3,8</b>	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>3,8</b>
dolní řada U [mV]	0,239	0,239	0,232	0,202	0,245	0,233	0,209
dolní řada I [mA]	83,6	83,2	79,7	68,3	85,5	84,2	80,5
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>3,0</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>

Deska č. 2 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,331	0,317	0,355	0,329	0,324	0,311	0,315
horní řada I [mA]	85,2	83,1	83,6	74,6	82,3	84,9	85,89
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,2</b>	<b>4,4</b>	<b>3,9</b>	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>
dolní řada U [mV]	0,255	0,238	0,273	0,261	0,248	0,226	0,232
dolní řada I [mA]	85,1	79,5	83,9	80,3	84,72	82,4	84,4
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>

Deska č. 3 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,332	0,335	0,292	0,274	0,316	0,271	0,232
horní řada I [mA]	83,1	85,4	76,9	72,8	81,4	63,32	61,8
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>3,9</b>	<b>4,3</b>	<b>3,8</b>
dolní řada U [mV]	0,251	0,255	0,246	0,237	0,203	0,187	0,212
dolní řada I [mA]	85,1	86,8	86,5	85,3	76,7	68,3	78,2
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>

Deska č. 4 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,213	0,227	0,236	0,242	0,219	0,233	0,213
horní řada I [mA]	82,8	83,8	84,9	85,1	77,4	80,9	76,1
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>
dolní řada U [mV]	0,249	0,272	0,274	0,241	0,283	0,273	0,292
dolní řada I [mA]	70,8	76,1	79,5	70,3	82,1	76,3	83,1
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>

Deska č. 5 - lepidlo ELPOX AX 15S, zlatá úprava							
Naměřené hodnoty U [mV] a I [mA], Vypočítané hodnoty R [mΩ]							
horní řada U [mV]	0,231	0,308	0,313	0,311	0,332	0,305	0,301
horní řada I [mA]	64,1	83,1	83,7	80,5	83,9	77,2	79,4
<b>horní řada R [mΩ]</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>	<b>3,9</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>3,8</b>
dolní řada U [mV]	0,236	0,239	0,227	0,214	0,241	0,076	x
dolní řada I [mA]	81,9	85,5	81,4	77,2	83,9	30,8	x
<b>dolní řada R [mΩ]</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,5</b>	x

Příloha 9: Naměřené hodnoty odporu samotných rezistorů

Naměřené hodnoty rezistorů 0R0							
200 šoků				500 šoků			
Před šoky		Po šocích		Před šoky		Po šocích	
R [mΩ]	R <sub>Průměr</sub> [mΩ]	R [mΩ]	R <sub>Průměr</sub> [mΩ]	R [mΩ]	R <sub>Průměr</sub> [mΩ]	R [mΩ]	R <sub>Průměr</sub> [mΩ]
13	17	14	17	18	16	17	15
16		16		15		14	
17		16		14		19	
12		11		20		15	
27		15		18		16	
18		15		10		15	
12		14		19		14	
22		24		13		13	
12		24		13		15	
						17	

Příloha 10: Teplotní závislosti odporu jednotlivých spojů pro ELPOX SC 515

Spoj č.1 ELPOX SC 515, měděná úprava							
	t [°C]	Kladná polarita zdroje			Opačná polarita zdroje		
		U [mV]	I [mA]	R [mΩ]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	1,22	77,55	<b>15,7</b>	1,20	77,59	<b>15,5</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	1,26	77,37	<b>16,2</b>	1,32	79,44	<b>16,7</b>
	<b>35</b>	1,30	77,67	<b>16,8</b>	1,27	77,59	<b>16,3</b>
	<b>40</b>	1,32	77,58	<b>17,0</b>	1,29	77,55	<b>16,6</b>
	<b>45</b>	1,35	77,45	<b>17,4</b>	1,31	77,44	<b>17,0</b>
	<b>50</b>	1,37	77,36	<b>17,7</b>	1,34	77,34	<b>17,3</b>
	<b>55</b>	1,40	77,35	<b>18,0</b>	1,36	77,28	<b>17,6</b>
	<b>60</b>	1,42	77,31	<b>18,4</b>	1,39	77,28	<b>18,0</b>
	<b>65</b>	1,45	77,32	<b>18,8</b>	1,42	77,27	<b>18,4</b>
	<b>70</b>	1,49	77,39	<b>19,3</b>	1,45	77,41	<b>18,8</b>
	<b>75</b>	1,52	77,3	<b>19,6</b>	1,49	77,44	<b>19,2</b>
<b>80</b>	1,55	77,33	<b>20,0</b>	1,51	77,34	<b>19,6</b>	
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,56	77,23	<b>20,2</b>	1,52	77,06	<b>19,7</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,54	76,93	<b>20,0</b>	1,50	76,94	<b>19,5</b>
	<b>75</b>	1,51	76,8	<b>19,7</b>	1,47	76,79	<b>19,2</b>
	<b>70</b>	1,49	76,83	<b>19,4</b>	1,46	76,84	<b>19,0</b>
	<b>65</b>	1,46	76,72	<b>19,0</b>	1,42	76,7	<b>18,5</b>
	<b>60</b>	1,43	76,61	<b>18,6</b>	1,39	76,61	<b>18,1</b>
	<b>55</b>	1,40	76,53	<b>18,2</b>	1,36	76,54	<b>17,7</b>
	<b>50</b>	1,33	75,82	<b>17,5</b>	1,29	75,82	<b>17,0</b>
	<b>45</b>	1,31	76,08	<b>17,3</b>	1,27	76,09	<b>16,7</b>
	<b>40</b>	1,29	76,22	<b>17,0</b>	1,25	76,21	<b>16,4</b>
	<b>35</b>	1,26	76,23	<b>16,5</b>	1,22	76,21	<b>16,0</b>
	<b>30</b>	1,22	76,12	<b>16,0</b>	1,18	76,11	<b>15,4</b>
<b>25</b>	1,19	76,17	<b>15,7</b>	1,15	76,13	<b>15,1</b>	

<b>Spoj č.2 ELPOX SC 515, měděná úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	1,15	79,65	<b>14,4</b>	1,12	79,59	<b>14,0</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	1,19	79,87	<b>14,8</b>	1,15	79,85	<b>14,4</b>
	<b>35</b>	1,23	79,96	<b>15,4</b>	1,20	79,95	<b>15,0</b>
	<b>40</b>	1,26	79,85	<b>15,8</b>	1,23	79,85	<b>15,4</b>
	<b>45</b>	1,28	79,57	<b>16,0</b>	1,24	79,60	<b>15,6</b>
	<b>50</b>	1,31	79,66	<b>16,4</b>	1,28	79,70	<b>16,0</b>
	<b>55</b>	1,34	79,69	<b>16,8</b>	1,31	79,78	<b>16,4</b>
	<b>60</b>	1,37	79,67	<b>17,1</b>	1,33	79,69	<b>16,7</b>
	<b>65</b>	1,40	79,76	<b>17,6</b>	1,37	79,71	<b>17,2</b>
	<b>70</b>	1,43	79,61	<b>17,9</b>	1,40	79,57	<b>17,5</b>
	<b>75</b>	1,46	79,66	<b>18,3</b>	1,43	79,62	<b>17,9</b>
	<b>80</b>	1,48	79,58	<b>18,6</b>	1,45	79,60	<b>18,2</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,51	79,65	<b>18,9</b>	1,48	79,63	<b>18,5</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,49	79,72	<b>18,7</b>	1,46	79,66	<b>18,3</b>
	<b>75</b>	1,47	79,69	<b>18,4</b>	1,43	79,64	<b>18,0</b>
	<b>70</b>	1,44	79,69	<b>18,1</b>	1,41	79,67	<b>17,6</b>
	<b>65</b>	1,42	79,69	<b>17,8</b>	1,38	79,70	<b>17,3</b>
	<b>60</b>	1,39	79,73	<b>17,4</b>	1,35	79,68	<b>17,0</b>
	<b>55</b>	1,37	79,73	<b>17,1</b>	1,33	79,68	<b>16,6</b>
	<b>50</b>	1,34	79,74	<b>16,8</b>	1,30	79,72	<b>16,3</b>
	<b>45</b>	1,31	79,73	<b>16,4</b>	1,27	79,70	<b>15,9</b>
	<b>40</b>	1,28	79,69	<b>16,1</b>	1,24	79,68	<b>15,6</b>
	<b>35</b>	1,26	79,71	<b>15,8</b>	1,22	79,74	<b>15,3</b>
	<b>30</b>	1,22	79,75	<b>15,3</b>	1,18	79,77	<b>14,7</b>
	<b>25</b>	1,19	79,79	<b>14,9</b>	1,15	79,76	<b>14,4</b>

<b>Spoj č.3 ELPOX SC 515, měděná úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	1,11	79,81	<b>13,9</b>	1,08	79,79	<b>13,6</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	1,14	79,99	<b>14,3</b>	1,11	79,98	<b>13,8</b>
	<b>35</b>	1,18	79,98	<b>14,7</b>	1,15	80,02	<b>14,3</b>
	<b>40</b>	1,20	79,92	<b>15,1</b>	1,17	79,94	<b>14,6</b>
	<b>45</b>	1,23	79,78	<b>15,4</b>	1,19	79,81	<b>14,9</b>
	<b>50</b>	1,25	79,74	<b>15,7</b>	1,21	79,75	<b>15,2</b>
	<b>55</b>	1,28	79,68	<b>16,0</b>	1,24	79,63	<b>15,5</b>
	<b>60</b>	1,30	79,66	<b>16,3</b>	1,26	79,66	<b>15,8</b>
	<b>65</b>	1,32	79,60	<b>16,6</b>	1,29	79,63	<b>16,2</b>
	<b>70</b>	1,35	79,59	<b>16,9</b>	1,31	79,59	<b>16,4</b>
	<b>75</b>	1,37	79,58	<b>17,3</b>	1,34	79,57	<b>16,8</b>
<b>80</b>	1,40	79,59	<b>17,6</b>	1,36	79,59	<b>17,1</b>	
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,41	79,58	<b>17,8</b>	1,38	79,60	<b>17,3</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,41	79,67	<b>17,7</b>	1,37	79,65	<b>17,2</b>
	<b>75</b>	1,39	79,64	<b>17,4</b>	1,35	79,62	<b>16,9</b>
	<b>70</b>	1,36	79,60	<b>17,1</b>	1,32	79,59	<b>16,6</b>
	<b>65</b>	1,34	79,64	<b>16,8</b>	1,30	79,67	<b>16,3</b>
	<b>60</b>	1,32	79,78	<b>16,5</b>	1,28	79,76	<b>16,0</b>
	<b>55</b>	1,29	79,76	<b>16,2</b>	1,25	79,76	<b>15,7</b>
	<b>50</b>	1,27	79,78	<b>15,9</b>	1,22	79,78	<b>15,3</b>
	<b>45</b>	1,24	79,83	<b>15,5</b>	1,20	79,83	<b>15,0</b>
	<b>40</b>	1,22	79,85	<b>15,2</b>	1,18	79,82	<b>14,7</b>
	<b>35</b>	1,19	79,84	<b>14,9</b>	1,15	79,79	<b>14,4</b>
	<b>30</b>	1,15	79,87	<b>14,4</b>	1,11	79,87	<b>13,9</b>
	<b>25</b>	1,13	79,88	<b>14,1</b>	1,08	79,88	<b>13,5</b>

<b>Spoj č. 1 ELPOX SC 515, zlatá úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,91	81,15	<b>11,3</b>	0,88	81,17	<b>10,8</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	0,67	74,99	<b>9,0</b>	0,64	74,90	<b>8,6</b>
	<b>35</b>	0,69	74,65	<b>9,2</b>	0,68	74,97	<b>9,0</b>
	<b>40</b>	0,72	74,99	<b>9,7</b>	0,70	74,99	<b>9,3</b>
	<b>45</b>	0,75	74,99	<b>10,0</b>	0,72	74,98	<b>9,6</b>
	<b>50</b>	0,77	75,00	<b>10,2</b>	0,74	75,00	<b>9,9</b>
	<b>55</b>	0,79	75,07	<b>10,5</b>	0,77	75,09	<b>10,2</b>
	<b>60</b>	0,81	75,08	<b>10,8</b>	0,78	74,89	<b>10,4</b>
	<b>65</b>	0,84	75,27	<b>11,1</b>	0,81	75,26	<b>10,8</b>
	<b>70</b>	0,86	75,27	<b>11,4</b>	0,84	75,27	<b>11,1</b>
	<b>75</b>	0,88	75,28	<b>11,7</b>	0,86	75,28	<b>11,4</b>
	<b>80</b>	0,91	75,49	<b>12,0</b>	0,89	75,47	<b>11,8</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	0,92	75,46	<b>12,2</b>	0,90	75,46	<b>12,0</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	0,90	75,35	<b>12,0</b>	0,88	75,37	<b>11,7</b>
	<b>75</b>	0,89	75,36	<b>11,8</b>	0,87	75,36	<b>11,5</b>
	<b>70</b>	0,86	74,98	<b>11,4</b>	0,84	75,04	<b>11,1</b>
	<b>65</b>	0,83	74,89	<b>11,1</b>	0,81	74,85	<b>10,8</b>
	<b>60</b>	0,81	74,89	<b>10,8</b>	0,78	74,60	<b>10,4</b>
	<b>55</b>	0,79	74,90	<b>10,5</b>	0,77	74,91	<b>10,3</b>
	<b>50</b>	0,77	74,96	<b>10,3</b>	0,75	74,96	<b>10,0</b>
	<b>45</b>	0,75	75,04	<b>10,0</b>	0,73	75,05	<b>9,7</b>
	<b>40</b>	0,73	75,02	<b>9,8</b>	0,71	75,02	<b>9,4</b>
	<b>35</b>	0,70	74,92	<b>9,3</b>	0,68	74,89	<b>9,1</b>
	<b>30</b>	0,68	74,92	<b>9,1</b>	0,65	74,89	<b>8,7</b>
	<b>25</b>	0,65	74,91	<b>8,7</b>	0,63	74,89	<b>8,5</b>

	Spoj č. 2 ELPOX SC 515, zlatá úprava						
	Kladná polarita zdroje				Opačná polarita zdroje		
	t [°C]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,85	79,72	<b>10,6</b>	0,82	79,70	<b>10,2</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	0,86	79,62	<b>10,8</b>	0,83	79,63	<b>10,4</b>
	<b>35</b>	0,89	79,62	<b>11,2</b>	0,86	79,59	<b>10,8</b>
	<b>40</b>	0,91	79,57	<b>11,4</b>	1,06	79,48	<b>13,4</b>
	<b>45</b>	0,93	79,54	<b>11,7</b>	0,90	79,51	<b>11,4</b>
	<b>50</b>	0,95	79,53	<b>11,9</b>	0,92	79,47	<b>11,6</b>
	<b>55</b>	0,98	79,54	<b>12,3</b>	1,05	79,56	<b>13,2</b>
	<b>60</b>	1,00	79,72	<b>12,5</b>	0,97	79,73	<b>12,2</b>
	<b>65</b>	1,02	79,68	<b>12,8</b>	0,99	79,63	<b>12,5</b>
	<b>70</b>	1,04	79,66	<b>13,1</b>	1,02	79,64	<b>12,8</b>
	<b>75</b>	1,06	79,67	<b>13,3</b>	1,04	79,66	<b>13,0</b>
	<b>80</b>	1,08	79,67	<b>13,6</b>	1,06	79,65	<b>13,3</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,09	79,64	<b>13,7</b>	1,07	79,61	<b>13,4</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,08	79,70	<b>13,6</b>	1,06	79,77	<b>13,3</b>
	<b>75</b>	1,07	79,78	<b>13,4</b>	1,05	79,81	<b>13,1</b>
	<b>70</b>	1,06	79,83	<b>13,2</b>	1,03	79,82	<b>12,9</b>
	<b>65</b>	1,04	79,87	<b>13,0</b>	1,01	79,87	<b>12,7</b>
	<b>60</b>	1,02	79,88	<b>12,8</b>	0,99	79,88	<b>12,4</b>
	<b>55</b>	1,00	79,87	<b>12,5</b>	0,97	79,87	<b>12,1</b>
	<b>50</b>	0,97	79,93	<b>12,2</b>	0,95	79,94	<b>11,8</b>
	<b>45</b>	0,95	79,92	<b>11,9</b>	0,92	79,94	<b>11,6</b>
	<b>40</b>	0,93	79,92	<b>11,6</b>	0,90	79,93	<b>11,3</b>
	<b>35</b>	0,91	79,94	<b>11,3</b>	0,88	79,95	<b>11,0</b>
	<b>30</b>	0,88	79,98	<b>11,0</b>	0,85	80,00	<b>10,6</b>
<b>25</b>	0,86	80,01	<b>10,7</b>	0,83	80,02	<b>10,4</b>	



<b>Spoj č. 3 ELPOX SC 515, zlatá úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,82	79,97	<b>10,3</b>	0,79	79,97	<b>9,9</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	0,84	79,97	<b>10,4</b>	0,80	79,97	<b>10,1</b>
	<b>35</b>	0,87	80,03	<b>10,8</b>	0,84	80,03	<b>10,5</b>
	<b>40</b>	0,89	80,05	<b>11,1</b>	0,86	80,01	<b>10,8</b>
	<b>45</b>	0,91	80,01	<b>11,4</b>	0,88	80,01	<b>11,0</b>
	<b>50</b>	0,93	79,99	<b>11,7</b>	0,90	79,97	<b>11,3</b>
	<b>55</b>	0,95	79,92	<b>11,9</b>	0,92	79,88	<b>11,6</b>
	<b>60</b>	0,97	79,89	<b>12,2</b>	0,95	79,90	<b>11,8</b>
	<b>65</b>	0,99	79,87	<b>12,4</b>	0,97	79,84	<b>12,1</b>
	<b>70</b>	1,01	79,80	<b>12,7</b>	0,99	79,77	<b>12,3</b>
	<b>75</b>	1,03	79,77	<b>12,9</b>	1,01	79,78	<b>12,6</b>
	<b>80</b>	1,05	79,78	<b>13,1</b>	1,03	79,77	<b>12,9</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,06	79,75	<b>13,3</b>	1,04	79,76	<b>13,1</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,05	79,73	<b>13,2</b>	1,03	79,75	<b>12,9</b>
	<b>75</b>	1,04	79,82	<b>13,0</b>	1,01	79,84	<b>12,7</b>
	<b>70</b>	1,02	79,86	<b>12,8</b>	0,99	79,84	<b>12,4</b>
	<b>65</b>	1,00	79,87	<b>12,5</b>	0,97	79,87	<b>12,2</b>
	<b>60</b>	0,98	79,87	<b>12,3</b>	0,95	79,85	<b>11,9</b>
	<b>55</b>	0,96	79,89	<b>12,0</b>	0,93	79,88	<b>11,6</b>
	<b>50</b>	0,94	79,90	<b>11,7</b>	0,91	79,90	<b>11,3</b>
	<b>45</b>	0,92	79,91	<b>11,5</b>	0,89	79,91	<b>11,1</b>
	<b>40</b>	0,89	79,88	<b>11,2</b>	0,86	79,87	<b>10,8</b>
	<b>35</b>	0,87	79,89	<b>10,9</b>	0,84	79,90	<b>10,5</b>
	<b>30</b>	0,85	79,96	<b>10,6</b>	0,81	79,97	<b>10,2</b>
<b>25</b>	0,83	79,99	<b>10,3</b>	0,79	80,01	<b>9,9</b>	

Příloha 11: Teplotní závislosti odporu jednotlivých spojů pro ELPOX SC AX 15S

	Spoj č. 1 ELPOX AX 15S, měděná úprava						
		Kladná polarita zdroje			Opačná polarita zdroje		
	t [°C]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	1,09	80,22	<b>13,6</b>	1,05	80,22	<b>13,1</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	1,10	80,20	<b>13,7</b>	1,06	80,18	<b>13,2</b>
	<b>35</b>	1,14	80,09	<b>14,2</b>	1,10	80,09	<b>13,7</b>
	<b>40</b>	1,17	79,94	<b>14,6</b>	1,13	80,00	<b>14,2</b>
	<b>45</b>	1,20	79,91	<b>15,0</b>	1,16	79,92	<b>14,5</b>
	<b>50</b>	1,22	79,89	<b>15,3</b>	1,19	79,87	<b>14,8</b>
	<b>55</b>	1,25	79,77	<b>15,6</b>	1,21	79,74	<b>15,1</b>
	<b>60</b>	1,27	79,71	<b>16,0</b>	1,23	79,69	<b>15,5</b>
	<b>65</b>	1,30	79,69	<b>16,3</b>	1,26	79,69	<b>15,8</b>
	<b>70</b>	1,33	79,65	<b>16,7</b>	1,29	79,58	<b>16,2</b>
	<b>75</b>	1,35	79,63	<b>17,0</b>	1,31	79,61	<b>16,5</b>
	<b>80</b>	1,38	79,67	<b>17,3</b>	1,34	79,64	<b>16,8</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,38	79,75	<b>17,3</b>	1,34	79,77	<b>16,8</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,38	79,87	<b>17,2</b>	1,34	79,85	<b>16,7</b>
	<b>75</b>	1,35	80,04	<b>16,9</b>	1,32	80,05	<b>16,5</b>
	<b>70</b>	1,33	80,18	<b>16,6</b>	1,29	80,13	<b>16,1</b>
	<b>65</b>	1,31	80,27	<b>16,3</b>	1,27	80,28	<b>15,8</b>
	<b>60</b>	1,28	80,36	<b>16,0</b>	1,24	80,38	<b>15,5</b>
	<b>55</b>	1,26	80,47	<b>15,6</b>	1,22	80,48	<b>15,1</b>
	<b>50</b>	1,21	80,25	<b>15,1</b>	1,17	80,23	<b>14,6</b>
	<b>45</b>	1,19	80,34	<b>14,8</b>	1,14	80,31	<b>14,2</b>
	<b>40</b>	1,17	80,49	<b>14,5</b>	1,13	80,50	<b>14,0</b>
	<b>35</b>	1,14	80,58	<b>14,2</b>	1,10	80,59	<b>13,7</b>
	<b>30</b>	1,11	80,72	<b>13,7</b>	1,06	80,68	<b>13,2</b>
<b>25</b>	1,07	80,80	<b>13,3</b>	1,03	80,78	<b>12,8</b>	

Spoj č. 2 ELPOX AX 15S, měděná úprava							
		Kladná polarita zdroje			Opačná polarita zdroje		
	t [°C]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	1,64	80,67	<b>20,4</b>	1,62	80,57	<b>20,1</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	1,66	80,48	<b>20,7</b>	1,64	80,43	<b>20,4</b>
	<b>35</b>	1,70	80,18	<b>21,2</b>	1,68	80,21	<b>20,9</b>
	<b>40</b>	1,73	80,15	<b>21,6</b>	1,72	80,22	<b>21,4</b>
	<b>45</b>	1,77	80,13	<b>22,1</b>	1,75	80,16	<b>21,8</b>
	<b>50</b>	1,78	79,75	<b>22,3</b>	1,76	79,78	<b>22,0</b>
	<b>55</b>	1,82	79,92	<b>22,8</b>	1,80	79,94	<b>22,5</b>
	<b>60</b>	1,87	79,75	<b>23,5</b>	1,85	79,77	<b>23,1</b>
	<b>65</b>	1,90	79,63	<b>23,8</b>	1,87	79,62	<b>23,5</b>
	<b>70</b>	1,94	79,66	<b>24,3</b>	1,91	79,64	<b>24,0</b>
	<b>75</b>	1,99	79,58	<b>25,0</b>	1,96	79,59	<b>24,6</b>
	<b>80</b>	2,04	79,94	<b>25,6</b>	2,02	79,93	<b>25,2</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	2,11	80,42	<b>26,2</b>	2,07	80,26	<b>25,8</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	2,06	80,41	<b>25,7</b>	2,04	80,35	<b>25,4</b>
	<b>75</b>	2,01	80,36	<b>25,0</b>	1,98	80,36	<b>24,7</b>
	<b>70</b>	1,92	79,27	<b>24,2</b>	1,89	79,27	<b>23,8</b>
	<b>65</b>	1,95	80,98	<b>24,1</b>	1,84	80,94	<b>22,8</b>
	<b>60</b>	1,92	80,98	<b>23,8</b>	1,89	80,98	<b>23,4</b>
	<b>55</b>	1,89	81,03	<b>23,4</b>	1,86	80,99	<b>23,0</b>
	<b>50</b>	1,88	81,17	<b>23,1</b>	1,85	81,17	<b>22,7</b>
	<b>45</b>	1,85	81,21	<b>22,7</b>	1,81	81,22	<b>22,3</b>
	<b>40</b>	1,79	81,29	<b>22,0</b>	1,76	81,29	<b>21,7</b>
	<b>35</b>	1,73	81,25	<b>21,2</b>	1,73	81,26	<b>21,2</b>
	<b>30</b>	1,68	81,24	<b>20,6</b>	1,69	81,24	<b>20,7</b>
<b>25</b>	1,64	81,27	<b>20,1</b>	1,64	81,27	<b>20,1</b>	

Spoj č. 3 ELPOX AX 15S, měděná úprava							
	Kladná polarita zdroje			Opačná polarita zdroje			
	t [°C]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]	U [mV]	I [mA]	R [mΩ]
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	1,13	86,50	<b>13,0</b>	1,10	86,56	<b>12,7</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	1,16	86,40	<b>13,4</b>	1,13	86,45	<b>13,1</b>
	<b>35</b>	1,20	86,34	<b>13,9</b>	1,17	86,25	<b>13,6</b>
	<b>40</b>	1,25	86,39	<b>14,4</b>	1,22	86,39	<b>14,1</b>
	<b>45</b>	1,29	86,53	<b>14,9</b>	1,25	86,22	<b>14,4</b>
	<b>50</b>	1,31	86,26	<b>15,2</b>	1,28	86,28	<b>14,8</b>
	<b>55</b>	1,34	86,20	<b>15,5</b>	1,30	86,01	<b>15,1</b>
	<b>60</b>	1,37	86,21	<b>15,9</b>	1,34	86,22	<b>15,6</b>
	<b>65</b>	1,42	86,28	<b>16,4</b>	1,38	86,30	<b>16,0</b>
	<b>70</b>	1,43	86,05	<b>16,6</b>	1,40	86,06	<b>16,3</b>
	<b>75</b>	1,46	86,03	<b>17,0</b>	1,43	85,98	<b>16,7</b>
	<b>80</b>	1,49	86,01	<b>17,4</b>	1,47	86,05	<b>17,0</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,50	85,91	<b>17,4</b>	1,46	85,90	<b>17,0</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,49	85,90	<b>17,3</b>	1,46	85,87	<b>17,0</b>
	<b>75</b>	1,46	85,82	<b>17,0</b>	1,43	85,81	<b>16,7</b>
	<b>70</b>	1,43	85,84	<b>16,7</b>	1,40	85,79	<b>16,3</b>
	<b>65</b>	1,41	85,86	<b>16,4</b>	1,37	85,86	<b>16,0</b>
	<b>60</b>	1,37	85,87	<b>16,0</b>	1,33	85,65	<b>15,5</b>
	<b>55</b>	1,33	85,57	<b>15,5</b>	1,30	85,68	<b>15,1</b>
	<b>50</b>	1,30	85,51	<b>15,2</b>	1,26	85,40	<b>14,7</b>
	<b>45</b>	1,27	85,58	<b>14,8</b>	1,23	85,53	<b>14,4</b>
	<b>40</b>	1,23	85,67	<b>14,4</b>	1,20	85,70	<b>14,0</b>
	<b>35</b>	1,21	85,71	<b>14,1</b>	1,17	85,70	<b>13,7</b>
	<b>30</b>	1,16	85,77	<b>13,6</b>	1,13	85,81	<b>13,2</b>
<b>25</b>	1,13	85,81	<b>13,2</b>	1,10	85,78	<b>12,8</b>	

<b>Spoj č. 1 ELPOX AX 15S, zlatá úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,84	79,82	<b>10,5</b>	0,81	79,81	<b>10,2</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	0,86	79,63	<b>10,7</b>	0,83	79,64	<b>10,4</b>
	<b>35</b>	0,89	79,59	<b>11,2</b>	0,86	79,59	<b>10,8</b>
	<b>40</b>	0,92	79,49	<b>11,5</b>	0,89	79,51	<b>11,1</b>
	<b>45</b>	0,94	79,45	<b>11,8</b>	0,90	79,41	<b>11,4</b>
	<b>50</b>	0,96	79,41	<b>12,1</b>	0,93	79,41	<b>11,7</b>
	<b>55</b>	0,98	79,43	<b>12,4</b>	0,95	79,44	<b>12,0</b>
	<b>60</b>	1,00	79,29	<b>12,6</b>	0,97	79,32	<b>12,3</b>
	<b>65</b>	1,02	79,29	<b>12,9</b>	0,99	79,31	<b>12,4</b>
	<b>70</b>	1,05	79,27	<b>13,2</b>	1,01	79,23	<b>12,8</b>
	<b>75</b>	1,07	79,20	<b>13,5</b>	1,03	79,19	<b>13,1</b>
	<b>80</b>	1,08	79,19	<b>13,7</b>	1,06	79,19	<b>13,3</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,10	79,13	<b>14,0</b>	1,07	79,11	<b>13,5</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,09	79,06	<b>13,7</b>	1,05	79,05	<b>13,3</b>
	<b>75</b>	1,07	79,08	<b>13,6</b>	1,03	79,06	<b>13,1</b>
	<b>70</b>	1,05	79,13	<b>13,3</b>	1,01	79,09	<b>12,8</b>
	<b>65</b>	1,03	79,10	<b>13,0</b>	0,99	79,13	<b>12,6</b>
	<b>60</b>	1,01	79,19	<b>12,8</b>	0,97	79,21	<b>12,3</b>
	<b>55</b>	0,99	79,24	<b>12,5</b>	0,95	79,17	<b>12,0</b>
	<b>50</b>	0,97	79,19	<b>12,2</b>	0,93	79,19	<b>11,7</b>
	<b>45</b>	0,95	79,21	<b>12,0</b>	0,91	79,23	<b>11,4</b>
	<b>40</b>	0,92	79,30	<b>11,6</b>	0,88	79,25	<b>11,1</b>
	<b>35</b>	0,90	79,31	<b>11,4</b>	0,86	79,28	<b>10,9</b>
	<b>30</b>	0,87	79,28	<b>10,9</b>	0,83	79,30	<b>10,5</b>
	<b>25</b>	0,84	79,29	<b>10,6</b>	0,80	79,29	<b>10,1</b>

<b>Spoj č. 2 ELPOX AX 15S, zlatá úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,89	78,85	<b>11,2</b>	0,85	78,86	<b>10,8</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	0,92	78,83	<b>11,6</b>	0,87	78,81	<b>11,1</b>
	<b>35</b>	0,96	78,79	<b>12,1</b>	0,91	78,72	<b>11,6</b>
	<b>40</b>	0,98	78,64	<b>12,4</b>	0,93	78,64	<b>11,9</b>
	<b>45</b>	1,00	78,55	<b>12,7</b>	0,96	78,55	<b>12,2</b>
	<b>50</b>	1,03	78,49	<b>13,1</b>	0,98	78,47	<b>12,5</b>
	<b>55</b>	1,05	78,44	<b>13,4</b>	1,00	78,42	<b>12,8</b>
	<b>60</b>	1,08	78,45	<b>13,7</b>	1,03	78,47	<b>13,1</b>
	<b>65</b>	1,10	78,46	<b>14,0</b>	1,05	78,39	<b>13,4</b>
	<b>70</b>	1,13	78,44	<b>14,4</b>	1,08	78,45	<b>13,8</b>
	<b>75</b>	1,16	78,46	<b>14,7</b>	1,11	78,44	<b>14,1</b>
	<b>80</b>	1,18	78,42	<b>15,1</b>	1,14	78,45	<b>14,5</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,20	78,42	<b>15,3</b>	1,16	78,45	<b>14,7</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,19	78,48	<b>15,1</b>	1,14	78,43	<b>14,5</b>
	<b>75</b>	1,17	78,46	<b>14,9</b>	1,12	78,45	<b>14,3</b>
	<b>70</b>	1,14	78,49	<b>14,6</b>	1,10	78,49	<b>14,0</b>
	<b>65</b>	1,12	78,48	<b>14,3</b>	1,07	78,50	<b>13,6</b>
	<b>60</b>	1,10	78,51	<b>13,9</b>	1,05	78,53	<b>13,3</b>
	<b>55</b>	1,07	78,56	<b>13,6</b>	1,02	78,51	<b>13,0</b>
	<b>50</b>	1,04	78,51	<b>13,3</b>	0,99	78,49	<b>12,6</b>
	<b>45</b>	1,02	78,59	<b>12,9</b>	0,96	78,54	<b>12,3</b>
	<b>40</b>	0,99	78,56	<b>12,6</b>	0,94	78,56	<b>12,0</b>
	<b>35</b>	0,98	78,58	<b>12,4</b>	0,92	78,59	<b>11,8</b>
	<b>30</b>	0,93	78,62	<b>11,9</b>	0,88	78,62	<b>11,2</b>
	<b>25</b>	0,91	78,61	<b>11,6</b>	0,86	78,59	<b>10,9</b>

<b>Spoj č. 3 ELPOX AX 15S, zlatá úprava</b>							
	<b>Kladná polarita zdroje</b>				<b>Opačná polarita zdroje</b>		
	<b>t [°C]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>	<b>U [mV]</b>	<b>I [mA]</b>	<b>R [mΩ]</b>
<b>Počáteční teplota</b>	<b>25</b>	0,74	78,16	<b>9,5</b>	0,73	78,17	<b>9,3</b>
<b>Ohřev</b>	<b>30</b>	0,76	77,98	<b>9,8</b>	0,75	78,03	<b>9,6</b>
	<b>35</b>	0,80	78,05	<b>10,3</b>	0,79	78,04	<b>10,1</b>
	<b>40</b>	0,82	77,88	<b>10,6</b>	0,81	77,87	<b>10,4</b>
	<b>45</b>	0,85	77,72	<b>10,9</b>	0,83	77,71	<b>10,7</b>
	<b>50</b>	0,86	77,60	<b>11,1</b>	0,85	77,58	<b>10,9</b>
	<b>55</b>	0,89	77,53	<b>11,5</b>	0,87	77,54	<b>11,3</b>
	<b>60</b>	0,91	77,51	<b>11,7</b>	0,90	77,48	<b>11,6</b>
	<b>65</b>	0,93	77,45	<b>12,0</b>	0,91	77,42	<b>11,8</b>
	<b>70</b>	0,96	77,43	<b>12,3</b>	0,95	77,63	<b>12,3</b>
	<b>75</b>	0,97	77,37	<b>12,6</b>	0,96	77,26	<b>12,4</b>
	<b>80</b>	1,00	77,23	<b>12,9</b>	0,98	77,27	<b>12,7</b>
<b>Maximální teplota</b>	<b>83</b>	1,01	77,29	<b>13,1</b>	1,00	77,27	<b>12,9</b>
<b>Chladnutí</b>	<b>80</b>	1,00	77,35	<b>13,0</b>	0,99	77,36	<b>12,7</b>
	<b>75</b>	0,99	77,42	<b>12,7</b>	0,97	77,44	<b>12,5</b>
	<b>70</b>	0,97	77,46	<b>12,5</b>	0,95	77,45	<b>12,3</b>
	<b>65</b>	0,95	77,51	<b>12,2</b>	0,93	77,50	<b>12,0</b>
	<b>60</b>	0,93	77,47	<b>11,9</b>	0,91	77,42	<b>11,7</b>
	<b>55</b>	0,90	77,46	<b>11,6</b>	0,88	77,46	<b>11,4</b>
	<b>50</b>	0,88	77,44	<b>11,3</b>	0,86	77,46	<b>11,1</b>
	<b>45</b>	0,85	77,48	<b>11,0</b>	0,83	77,41	<b>10,7</b>
	<b>40</b>	0,83	77,42	<b>10,7</b>	0,81	77,43	<b>10,4</b>
	<b>35</b>	0,80	77,47	<b>10,4</b>	0,78	77,46	<b>10,1</b>
	<b>30</b>	0,78	77,41	<b>10,0</b>	0,76	77,43	<b>9,8</b>
	<b>25</b>	0,75	77,47	<b>9,7</b>	0,73	77,49	<b>9,4</b>

Příloha 12: Výsledná průměrná teplotní závislost odporu

Výsledná průměrná teplotní závislost pro obě lepidla a povrchy					
		ELPOX SC 515		ELPOX AX 15S	
		měděná úprava	zlatá úprava	měděná úprava	zlatá úprava
	t [°C]	R <sub>průměr</sub> [mΩ]		R <sub>průměr</sub> [mΩ]	
<b>Počáteční teplota</b>	25	14,7	10,7	15,7	10,4
<b>Ohřev</b>	30	15,1	10,1	15,9	10,7
	35	15,6	10,4	16,4	11,2
	40	16,0	10,7	16,9	11,5
	45	16,3	11,0	17,3	11,8
	50	16,6	11,3	17,6	12,1
	55	17,0	11,6	18,0	12,4
	60	17,3	11,8	18,5	12,7
	65	17,7	12,1	18,8	13,0
	70	18,1	12,4	19,2	13,3
	75	18,4	12,7	19,7	13,6
	80	18,7	12,9	20,1	13,9
<b>Maximální teplota</b>	83	18,9	13,1	20,3	14,1
<b>Chladnutí</b>	80	18,8	12,9	20,1	13,9
	75	18,5	12,7	19,6	13,7
	70	18,2	12,5	19,2	13,4
	65	17,8	12,2	18,9	13,2
	60	17,5	11,9	18,6	12,9
	55	17,2	11,7	18,2	12,6
	50	16,7	11,4	17,8	12,3
	45	16,4	11,1	17,4	12,0
	40	16,1	10,9	17,0	11,6
	35	15,7	10,5	16,5	11,4
	30	15,2	10,2	16,0	10,9
25	14,9	9,9	15,5	10,6	