



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektrotechnologie**

**Stárnutí spojů vytvořených elektricky vodivými lepidly
Ageing of joints formed of electrically conductive adhesives**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Technologické systémy

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

Pavčina Žalská

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Žalská** Jméno: **Pavčina** Osobní číslo: **393364**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Technologické systémy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Stárnutí spojů vytvořených elektricky vodivými lepidly

Název diplomové práce anglicky:

Ageing of joints formed of electrically conductive adhesives

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s typy, složením, aplikacemi a teorií vodivosti elektricky vodivých lepidel.
2. Vytvořte soubory elektricky vodivých adhezivních spojů alespoň z jednoho typu jednosložkového lepidla a jednoho typu dvousložkového lepidla. Spoje vytvořte adhezivní povrchovou montáží odporů s nulovou hodnotou.
3. Změřte základní elektrické charakteristiky spojů: odpor a nelinearitu VA charakteristiky.
4. Část odporů podrobte trvalému mechanickému namáhání ohybem.
5. Proveďte klimatické stárnutí obou skupin odporů dle pokynů vedoucího práce.
6. Opět změřte základní elektrické charakteristiky spojů: odpor a nelinearitu VA charakteristiky a vyhodnoťte změny.
7. Zjištěné změny vysvětlete.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Yi Li, Daniel Wu, C. P. Wong: Electrical Conductive Adhesives with Nanotechnologies, Springer Science + Business Media, N.Y., 2010
[2] P. Mach, A. Duraj: Behavior of Conductive Adhesive Joints under Combined Load, Proc. ISSE 2016, ZCU Pilsen, Czech Rep., 2016, p. 129

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: **02.09.2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna 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 studentky

Prohlášení

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

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Machovi, CSc. za pomoc při její tvorbě, užitečné rady a nekonečnou trpělivost s mojí osobou. Dále chci poděkovat paní Ing. Ivaně Beshajové Pelikánové, Ph.D. za poskytnutí prostor a potřebného vybavení a také za cenné rady při laboratorních pracích. A v neposlední řadě musím poděkovat i Ing. Martinu Horákovi za ochotu a pomoc s řešením problémů během vytváření vzorků a jejich následném testování.

Anotace

Tato diplomová práce se v teoretické části zaměřuje na popis elektricky vodivých lepidel. Zaměřuje se na jejich typy a složení, zmiňuje jejich aplikace v praxi a vysvětluje teorii vodivosti těchto lepidel. V experimentální části popisuje postup přípravy vzorků, průběh měření elektrického odporu a nelinearity voltampérové charakteristiky a hlavně shrnuje výsledky těchto měření. Měřením sleduje především vliv různých faktorů (typ použitého lepidla, materiál povrchu vodivých cest na DPS, různé vytvrzovací teploty, dodatečné žihání, typ použitých rezistorů, mechanické namáhání ohybem, klimatické stárnutí) na kvalitu vodivého adhezního spoje. Pro účely tohoto testování byla použita tři dvousložková a dvě jednosložková lepidla objednaná celkem od třech různých výrobců.

Annotation

Theoretical part of this thesis is focused on description of electrically conductive adhesives. It is focused on types and structure of these adhesives, their real applications are mentioned and a conductivity theory of electrically conductive adhesives is explained. Experimental part describes preparation procedure of testing samples, the measurement of electrical resistance and nonlinearity of the volt-ampere characteristics and summarizes the results of these measurements. The measurement follows up especially influence of many factors (adhesive type, material of the surface of conductive paths on PCB, different curing temperatures, additional annealing, resistor type, mechanical bending stress, climate aging) to conductive adhesive joint quality. For the purpose of this testing have been used three two-component and two one-component adhesives from three different producers.

Obsah

Úvod	7
1. Teoretická část	8
1.1. Materiály vodivých lepidel	8
1.2. Tvary mikročástic plniva	10
1.3. Typy vodivosti elektricky vodivých lepidel	11
1.3.1. Izotropně vodivá lepidla	11
1.3.2. Anizotropně vodivá lepidla	11
1.4. Vlastnosti elektricky vodivých lepidel	12
1.4.1. Elektrický odpor	12
1.4.2. Tepelná vodivost	13
1.4.3. Mechanické vlastnosti	13
2. Experimentální část	13
2.1. Měřené parametry jednotlivých vzorků	13
2.2. Popis měření vlastností adhezních spojů	14
2.2.1. Měření elektrického odporu	14
2.2.2. Měření nelinearity VA charakteristiky	15
2.3. Výroba vzorků pro následné měření	16
2.3.1. Návrh layoutu testovací desky pro hodnocení vlastností spojů	16
2.3.2. Návrh masky pro nanesení adheziva šablonovým tiskem	19
2.3.3. Realizace testovacích desek	20
2.4. Průběh mechanického namáhání a klimatického stárnutí	23
2.5. Naměřené hodnoty - první část	24
2.5.1. Měření elektrického odporu	24
2.5.2. Měření nelinearity	37
2.6. Naměřené hodnoty - druhá část	39
2.6.1. Měření elektrického odporu	39
2.6.2. Měření nelinearity	46
Závěr	55
Seznam obrázků	56
Literatura	56

Úvod

Elektrická lepidla jsou jedním z několika nástrojů, kterými lze vytvářet vodivé spoje. Na tyto spoje jsou kladeny velké nároky, protože jsou často místem v elektrickém obvodu, kde dochází k největším ztrátám. Také jsou často místem poruchy elektrického zařízení, protože jsou obvykle málo odolné vůči mechanickému poškození. Například kvůli vibracím způsobených vnějším prostředím tak může dojít k přerušení obvodu a omezení činnosti celého zařízení. Dalším faktorem degradujícím kvalitu spoje mohou být různé klimatické vlivy. Je tedy stále snaha o další zdokonalování materiálů, vlastností a postupů výroby vodivých spojů, aby se tato rizika co nejvíce snížila.

V elektrotechnice se vodivé spoje vytváří stále ještě nejčastěji pomocí pájení. Ještě před několika lety byly nejrozšířenější pájky na bázi cín-olovo (obvykle 63% Sn + 37 % Pb). Nařízením Evropského parlamentu však bylo zakázáno v nových výrobcích používat některé nebezpečné látky, včetně olova. Začal se tak klást důraz na vývoj nových bezolovnatých pájek. V dnešní době je ale tendence hledat i jiná řešení, která by nahradila neekologické olovnaté pájky. Jedním z těchto řešení je vytváření vodivých spojů pomocí elektricky vodivých lepidel. Bohužel má tato technologie zatím stále mnoho nevýhod oproti pájeným spojům, jako je horší elektrická vodivost, menší mechanická pevnost, absence vlastnosti smáčení a v neposlední řadě také vyšší cena.

Lepidla zatím našla své uplatnění především u aplikací se součástkami citlivými na vysoké teploty, protože lepidla stačí vytvrzovat při nižších vytvrzovacích teplotách, než jaké jsou potřeba u pájek. Lepidla se využívají například při kontaktování LCD displejů technologií Chip on glass nebo Chip on foil, při kontaktování tepelných fólií, při montáži některých integrovaných obvodů nebo při rychlých opravách vodivých spojů.

1. Teoretická část

Elektricky vodivé spoje se v současné době stále ještě nejčastěji realizují pájením, dnes již bezolovnatým. V některých aplikacích ale tuto technologii nelze použít, například z důvodu nízké tepelné odolnosti součástek v blízkosti spoje. V takových případech se pájky obvykle nahrazují elektricky vodivými lepidly. S jejich použitím se také velmi často setkáme při kontaktování LCD displejů technologií Chip on glass nebo Chip on foil, při montáži některých integrovaných obvodů, při kontaktování tepelných fólií, případně při rychlých opravách vodivých spojů a obecně při práci s malou roztečí kontaktů.

Nevýhodou lepidel oproti bezolovnatým pájkám je stále ještě vyšší cena, horší elektrické i mechanické vlastnosti a také fakt, že u lepidel není patrná vlastnost smáčení. Schopnost smáčení totiž dokáže zajistit lepší napozicování součástky a také omezit riziko „roztečení“ pájky pod součástkou, tedy propojení obou kapek pájky a vznik zkratu.

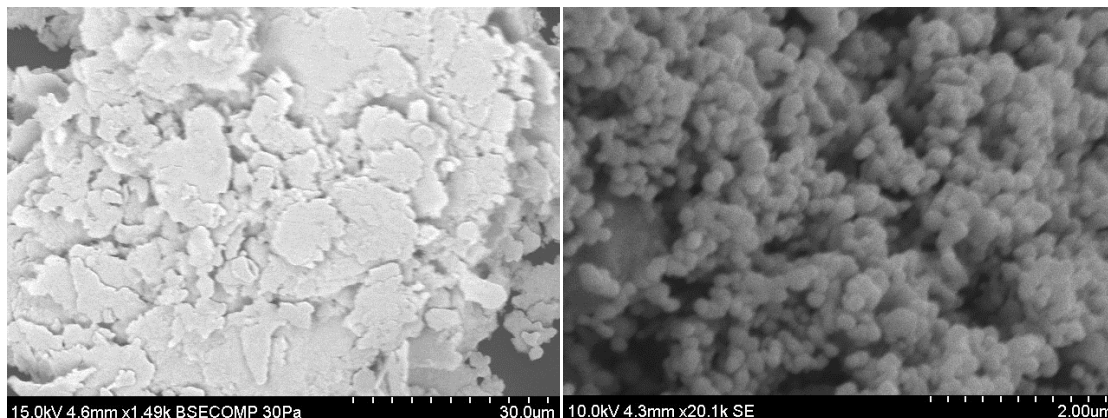
1.1. Materiály vodivých lepidel

Elektricky vodivá lepidla jsou kompozitním materiálem, složeným z pojiva (binder) a plniva (filler). Pojivo, které tvoří asi 80% objemu lepidla, je izolační matrice vytvořená obvykle z reaktoplastické pryskyřice, nejčastěji epoxidové. To je příčinou nižší odolnosti vůči navlhání a tím i zvyšování rezistivity a zhoršení mechanických vlastností spoje.

Pojiva lze dále dělit na jednosložková a dvousložková. Lepidla s jednosložkovým pojivem je potřeba vytvrdit při teplotě v obvyklém rozsahu 100 °C až 150 °C. Při použití dvousložkového pojiva, které navíc obsahuje ještě tvrdidlo (kolem 5% objemu pryskyřice), lze ale lepidlo vytvrdit i při pokojové teplotě. Tepelná odolnost vytvrzených spojů se pak pohybuje v rozmezí -30 °C až 150 °C. Pro rozšíření tohoto rozmezí je možné nahradit epoxidové pryskyřice za polyamidové nebo silikonové pryskyřice. Spoje pak dovedou krátkodobě snést až 470 °C.

Plnivo je tvořeno elektricky i tepelně vodivými částicemi, nejčastěji stříbrnými. Používá se ale i zlato, nikl, palladium či grafit. Je možné se setkat i s měděnými či polymerovými částicemi se stříbrným povlakem.

Stříbro je oblíbené především pro svou velikou elektrickou i tepelnou vodivost. Také se snadno zpracovává do různých tvarů a velikostí částic. Je ale náchylné na efekt zvaný migrace stříbra, při kterém ionty stříbra migrují z vytvrzené pryskyřice do obvodu a mohou tak vytvořit můstky přes izolační mezery plošného spoje. Tím se sníží povrchový odpor a může dojít i ke zkratu. Pro potlačení tohoto jevu se využívá homogenní vrstva molekul SAM (Self-assembled monolayer).



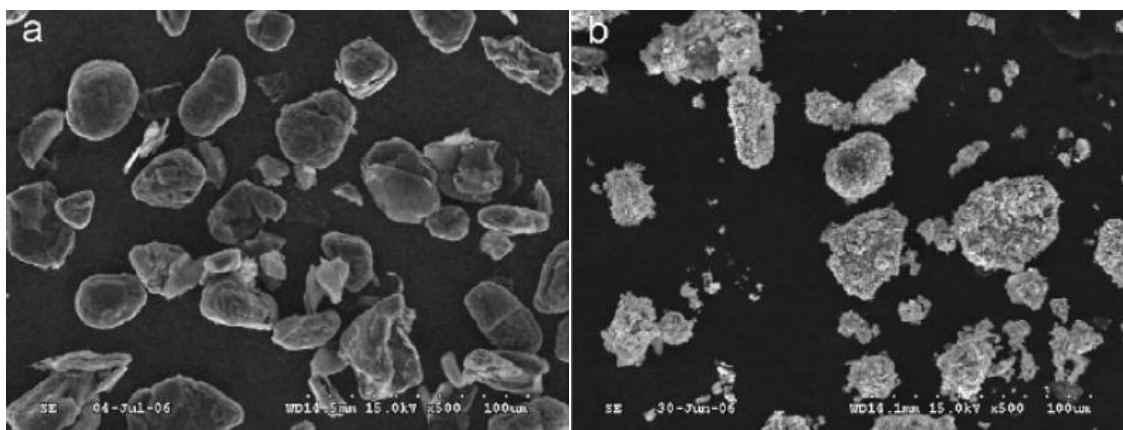
Obr. 1.1 Stříbrné šupinky [7]

Mezi další materiály vhodné k výrobě plniva řadíme zlato. To je v porovnání se stříbrem více chemicky stabilní, ale disponuje o něco horší elektrickou a tepelnou vodivostí. Hlavním důvodem, proč se zlato v oblasti elektricky vodivých lepidel příliš nepoužívá, je ale jeho vysoká cena.

Také je možné použít měď. Vykazuje dobrou elektrickou i tepelnou vodivost, ale je náchylnější k oxidaci, především ve vlhkém a horkém prostředí. Tu je však možné do jisté míry omezit pomocí antioxidantů. Vlastnosti měděných částic se také dají zlepšit nanesením slabé vrstvy stříbra, zlata, nebo cínu na jejich povrch. Nikdy ale nebudou dosahovat takových kvalit, jako částice stříbrné.

Další výhodnou alternativou stříbra je nikl. V porovnání s mědí je chemicky i tepelně stabilnější a méně podléhá oxidaci. Oproti stříbru je značně levnější, ale zato má zhruba o čtvrtinu horší vodivé vlastnosti. Niklové částice mají často jehličkovou strukturu povrchu, která se vyrábí například chemickou metodou redukce solí kovů nebo oxidů redukčním činidlem. Jehličky ale mají pouze malou vzájemnou kontaktní plochu, což lze zlepšit žiháním. Tím dosáhneme lepších vodivých vlastností.

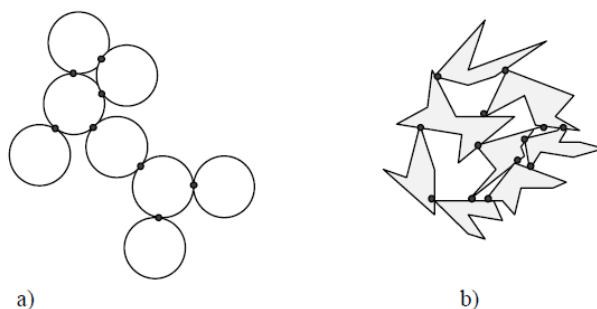
Dalším materiálem vhodným k výrobě plniva je grafit. Ten je výhodný především cenově, protože je nízká nejen cena materiálu, ale k zajištění vodivosti lepidla stačí i mnohem méně částic než u jiných materiálů. Díky kulatému tvaru částic vyniká také vyšší tažností a pevností v tahu. Kromě kuliček se grafit používá také v podobě uhlíkových nanovláken nebo nanotrubic, je to ale spíše vzácností. Grafit sice vykazuje nižší vodivost, to se ale stejně jako u mědi řeší nanesením stříbrné vrstvy na povrch částic. Díky procesu pokovení se pro výrobu plniva dají použít i různé nekovové anorganické materiály, jako například čedič, neboli bazalt, nejčastěji ve tvaru vláken.



Obr. 1.2 Grafítové částice a) bez úpravy povrchu, b) s povrchem pokoveným stříbrem [5]

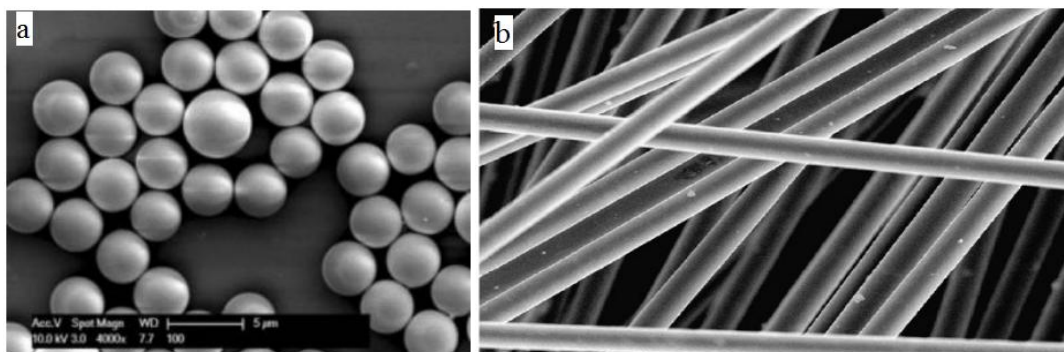
1.2. Tvary mikročástic plniva

Existuje celá řada možných tvarů mikročástic plniva a je stále diskutováno, který tvar je pro který materiál ten neoptimálnější. Správná volba tvaru mikročástic totiž vede ke zlepšení vodivosti lepidla. V případě anizotropně vodivých lepidel obvykle vítězí kulatý tvar, u izotropně vodivých lepidel je to složitější. Zejména u stříbra jsou nejčastější volbou šupinky díky jejich velkému povrchu. Čím větší povrch, tím lépe mohou vytvářet vzájemná propojení.



Obr. 1.3 a) Kontaktní body mezi mikrokuličkami obsaženými v lepidle, b) kontaktní body mezi šupinkami [2]

Velmi rozšířenou variantou jsou také kuličky, které se jednoduše vyrábí, ale vytváří méně vzájemných propojení než šupinky. Mezi další možnosti patří různé oválné tvary, vlákna, trubičky nebo jehličky, které vynikají především svými mechanickými vlastnostmi.

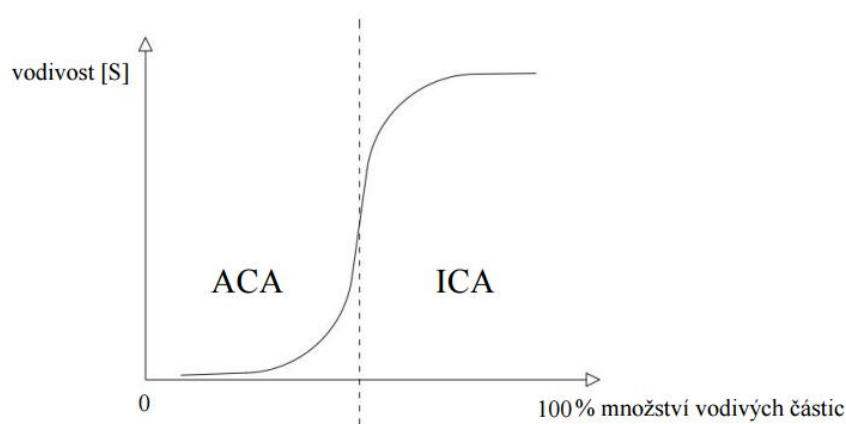


Obr. 1.4 a) Stříbrné kuličky, b) Stříbrná nanovlákna [6]

Pro další zlepšení vodivých vlastností lepidel se někdy do lepidla dodávají vodivé nanočástice. Ty jsou natolik malé, že dobře vyplňují mezery mezi mikročásticemi a vytváří tak další vodivá propojení.

1.3. Typy vodivosti elektricky vodivých lepidel

Elektricky vodivá lepidla dělíme z hlediska typu vodivosti na izotropně a anizotropně vodivá lepidla. Hranici mezi těmito dvěma skupinami popisuje perkolační teorie. Ta říká, že většina polymerů je za normálních okolností izolantem, ale pokud je budeme postupně plnit vodivými částicemi, dojdeme do určitého bodu, ve kterém začne docházet k prudkému nárůstu vodivosti. Tomuto bodu říkáme perkolační práh. Při dalším přidávání vodivých částic už dochází pouze k mírnému nárůstu vodivosti a nemá tedy smysl koncentraci částic nadále zvyšovat.



Obr. 1.5 Perkolační křivka [3]

1.3.1. Izotropně vodivá lepidla

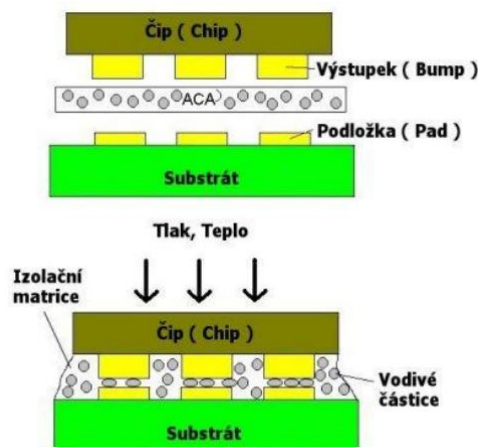
ICA (Isotropic Conductive Adhesives) jsou speciální tím, že je jejich elektrická i tepelná vodivost nezávislá na směru, což je způsobeno tzv. tunelováním. Tato vlastnost je výhodná pro kontaktování základních součástek a vývodů čipů i pro montáž integrovaných obvodů na plošné spoje. U integrovaných obvodů ale lze ICA použít jen do určité rozteče vývodů.

Izotropně vodivá lepidla se od anizotropně vodivých lepidel také liší velikostí a množstvím vodivých částic. Částice izotropních lepidel jsou 1 μm -15 μm veliké a tvoří 60-80% hmotnosti lepidla.

1.3.2. Anizotropně vodivá lepidla

ACA (Anisotropic Conductive Adhesives) jsou vodivá pouze ve směru kolmém k základní desce a plošnému spoji součástky. Částice plniva jsou o něco větší než u izotropních lepidel, ale jejich množství je obvykle pouze 8-15% hmotnosti lepidla. To je příliš malá koncentrace na vytvoření souvislé vodivé sítě typické pro izotropní vodivost, ale dostatečná koncentrace pro vznik vodivosti v požadovaném směru. Této vlastnosti se využívá pro připojování integrovaných obvodů s velmi malou roztečí vývodů. Často mají lepidla pro tyto účely místo pastovité formy podobu fólie. Taková

fólie se při aplikaci přiloží na DPS a integrovaný obvod se k ní přilepí za zvýšené teploty a tlaku, jak znázorňuje obrázek 1.6.



Obr. 1.6 Výroba anizotropně vodivého spoje [6]

1.4. Vlastnosti elektricky vodivých lepidel

1.4.1. Elektrický odpor

U izotropně vodivých lepidel se elektrický odpor skládá ze tří základních složek: měrného odporu vodivých částic, kontaktního odporu mezi jednotlivými vodivými částicemi a kontaktního odporu mezi vodivými částicemi a kontaktovanou plochou.

Největší a nejzásadnější složkou je měrný odpor částic. Ten je ovlivněn všemi materiály obsaženými v lepidle, nejvíce ale materiálem použitých vodivých částic. Vliv na výslednou hodnotu odporu má také velikost vodivých částic. V řádu mikrometrů je odpor srovnatelný s odporem materiálu většího objemu, ale u nanočástic mohou malé rozměry ovlivnit střední volnou dráhu elektronů a tím i odpor částic. Výslednou hodnotu odporu může mírně ovlivnit i to, zda je povrch částic hladký nebo drsný.

Již méně významnou složkou elektrického odporu je kontaktní odpor mezi částicemi. Jedná se o součet tunelového odporu a úžinového odporu. Průměr kontaktní plochy částic je v řádu jednotek nanometrů. Tunelový odpor je důsledkem tzv. tunelového jevu, při kterém mohou elektrony díky svým vlnovým vlastnostem překonat velmi tenké izolační vrstvy mezi částicemi tvořené např. nečistotami, izolačním oxidem, vlastní maticí lepidla nebo vzduchovou mezerou mezi kontaktními plochami. [1] Úžinový odpor vzniká v místech, kde je kontaktní plocha výrazně menší než rozměr kontaktního členu.

Na rozhraní kontaktované plochy a lepidla obvykle dochází k setkání dvou různých kovů s rozdílným elektrochemickým potenciálem. Pokud se na toto rozhraní dostane byť malé množství vlhkosti, vzniká zde galvanický článok způsobující elektrochemickou korozi. Vzniklá oxidační vrstva

pak zvětšuje třetí nežádoucí složku elektrického odporu - kontaktní odpor mezi částicemi a kontaktovanou plochou.

1.4.2. Tepelná vodivost

Pro mnohé aplikace je tepelná vodivost nezanedbatelnou vlastností elektricky vodivých lepidel. Na rozdíl od elektrické vodivosti je ale koeficient tepelné vodivosti pojiva i plniva srovnatelný. Z toho důvodu se přidáváním vodivých částic do lepidla tepelná vodivost zvyšuje jen mírně, od určité koncentrace částic už dokonce nemá vliv vůbec.

1.4.3. Mechanické vlastnosti

Pro kvalitu vodivého spoje není důležitá pouze jeho vodivost, ale samozřejmě i jeho mechanická pevnost, tvrdost, křehkost, houževnatost a lepivost. Lepivost je výsledek součtu koheze a adheze lepidla. Koheze, neboli soudržnost lepidla, je schopnost lepidla držet pohromadě pomocí kohezních sil, které jsou důsledkem iontových, kovalentních, nebo jednoduchých kovových vazeb mezi atomy. Adheze, neboli přilnavost lepidla, je způsobena adhezními silami mezi adherendem a lepidlem. Spočívá ve vytvoření vazeb mezi molekulami lepidla a atomy slepovaných povrchů pomocí van der Waalsových sil.

Na mechanické vlastnosti elektricky vodivých lepidel má vliv velikost a tvar částic a také jejich koncentrace v plnivu. Pro zlepšení mechanické pevnosti je možné zvýšit koncentraci částic doplněním nanočástic, uhlíkových vláken nebo trubiček, případně monokrystalických vláken karbidů hliníku.

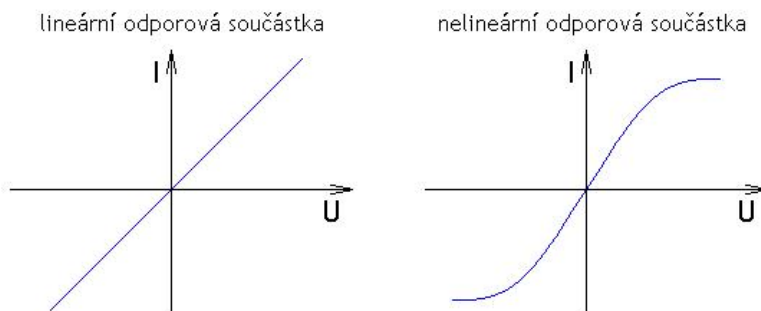
2. Experimentální část

2.1. Měřené parametry jednotlivých vzorků

V rámci této diplomové práce jsme sledovali pouze dva parametry adhezních spojů. Oba patří do kategorie elektrických vlastností. Mechanické vlastnosti spojů nemohly být sledovány z důvodu velkého počtu porovnávaných faktorů a vlivů při zhotovení vzorků. Kvůli obvykle destruktivním mechanickým zkouškám by bylo nutné výrazně zvýšit počet vyrobených vzorků, na což jsme neměli časové ani finanční kapacity.

Prvním sledovaným parametrem je elektrický odpor, bezesporu nejdůležitější a nejčastěji sledovaná vlastnost elektricky vodivých adhezních spojů.

Druhým měřeným parametrem je nelinearita VA charakteristiky, která je také velmi důležitá pro zhodnocení kvality spoje. Může totiž odhalit nějaké jiné vady nebo nedokonalosti struktury, které měřením odporu nezjistíme, jako například změny v poměru mezi různými typy vodivostních mechanismů. Ideální VA charakteristika lineárních součástí je přímka, jakákoliv nelinearita může způsobit zkrácení životnosti zařízení.



Obr. 2.1 Rozdíl mezi lineárním a nelineárním průběhem VA charakteristiky [8]

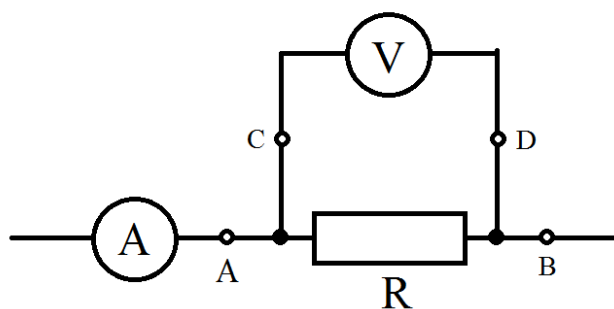
2.2. Popis měření vlastností adhezních spojů

Měření jsme rozdělili do dvou částí. V první části jsme porovnávali použití dvou různých typů rezistorů, různé vytvrzovací teploty, měděný vs. pozlacený povrch vodivých cest na DPS, osazené vs. neosazené spoje a vliv dodatečného žihání. V případě neosazených spojů se sledoval také vliv šířky mezery mezi propojenými pady. To vše pro tři různá adheziva.

I na základě výsledků z první části měření jsme uvážili sledované vlivy a postup měření v druhé části. Ponechali jsme porovnání běžného Cu povrchu a o 57% dražšího galvanicky pozlaceného povrchu vodivých cest na DPS. Vybrali jsme ale pouze jeden typ použitých rezistorů, přidali jsme dvě nová lepidla a zaměřili se na sledování vlivu mechanického i klimatického namáhání. V případě klimatického stárnutí jsme porovnávali i stárnutí přerušované a nepřerušované.

2.2.1. Měření elektrického odporu

Odpor jsme měřili pomocí čtyřbodové metody na miliohmometru Hewlett Packard 4338B. Tuto metodu měření jsme zvolili, protože jsme předpokládali naměřené hodnoty v řádu stovek $m\Omega$ a tato metoda je vhodná právě pro měření malých odporů. Její princip zapojení je znázorněn na obrázku. Vnější svorky A a B jsou proudové a vnitřní svorky C a D jsou napěťové. Odpor voltmetru je v porovnání s měřeným odporem natolik veliký, že voltmetrem protéká zanedbatelně malý proud. Do výsledků měření tedy nezaneseme téměř žádnou chybu, bez ohledu na odpor přívodních vodičů. Na začátku měření je ještě nutné zkalibrovat měřicí přístroj zkratováním jeho svorek a nastavením $R=0$.



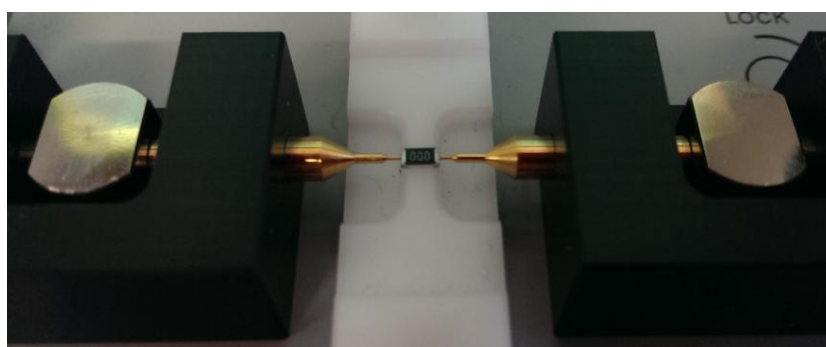
Obr. 2.2 Čtyřbodová metoda měření odporu [1]

V druhé části měření ale nastala situace, že hodnoty odporu spojů vzrostly natolik, že byly mimo rozsah miliohmetru HP 4338B. Alespoň v poslední části měření jsme proto k měření použili ruční multimetr FLUKE 189, kterým bylo možné tyto vysoké hodnoty změřit.



Obr. 2.3 Použité měřicí přístroje [9]

Pro ověření, že na výsledný odpor spoje nemá vliv případné zvýšení odporu použitého rezistoru, jsme současně s vytvrzováním i dodatečným žíháním spojů dali do pece i několik neosazených rezistorů a následně měřili, jestli nedošlo k nějaké změně jejich parametrů. K tomu jsme použili LRC-metr HP4284A s nastavením 120 Hz a 1 V. Žádná prokazatelná změna se však neprojevila, proto lze případné zvýšení odporu vzorků skutečně považovat za změnu v adhezním spoji.



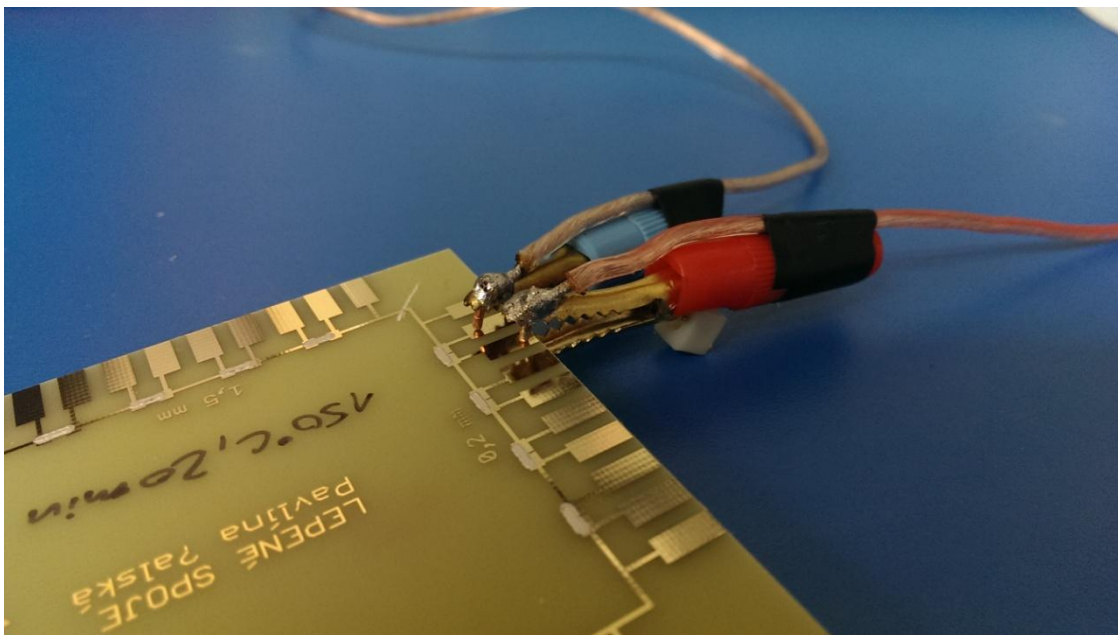
Obr. 2.4 Měření elektrického odporu neosazených rezistorů

2.2.2. Měření nelinearity VA charakteristiky

I pro měření nelinearity VA charakteristiky byly použity dva různé přístroje, i když z jiných důvodů než u měření odporu. V první části měření jsme použili už velmi starý přístroj CLT (Component linearity test) s nastaveným napájením 10 V, 10 kHz. K přívodnímu vodiči svorky byl sériově zapojen rezistor 100 Ω . Při zkratování svorek přístroj ukazoval hodnotu 1 μV .

Během poměrně dlouhé časové prodlevy mezi první a druhou částí měření (téměř rok) byl ale zakoupen nový, kvalitnější přístroj. Rozhodli jsme se ho použít pro druhou část měření, se stejným nastavením a stejným sériově zapojeným rezistorem, jako v předchozím případě.

Z důvodu snahy o co největší eliminování vlivu přívodních kabelů a kontaktu mezi měřenou deskou a svorkami měřicího přístroje na výslednou nelinearitu jsme si vyrobili vlastní svorky s co možná nejkratším přívodním kabelem. Výsledek lze vidět na obrázku níže.



Obr. 2.5 Způsob kontaktování testovací desky během měření nelinearity neosazených spojů

2.3. Výroba vzorků pro následné měření

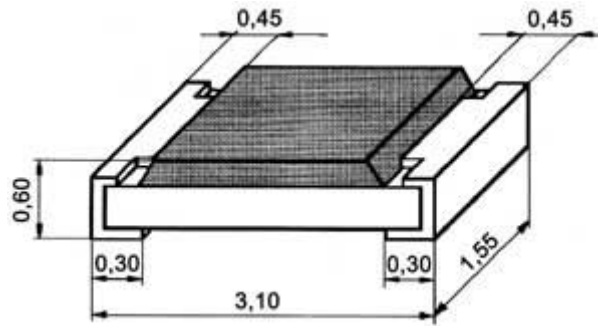
2.3.1. Návrh layoutu testovací desky pro hodnocení vlastností spojů

Pro účely první části měření bylo potřeba navrhnut dva layouty, jeden pro testovací desky s osazenými spoji, a jeden pro testovací desky s neosazenými spoji. Návrh těchto layoutů i návrh masky pro nanesení adheziva šablonovým tiskem byl proveden pomocí návrhového softwaru EAGLE 7.4.0.

Pro potřeby druhé části měření bylo nutné dodatečně navrhnut ještě jeden nový layout a k němu odpovídající masku pro šablonový tisk. Celkem tedy máme tři layouty a dvě masky.

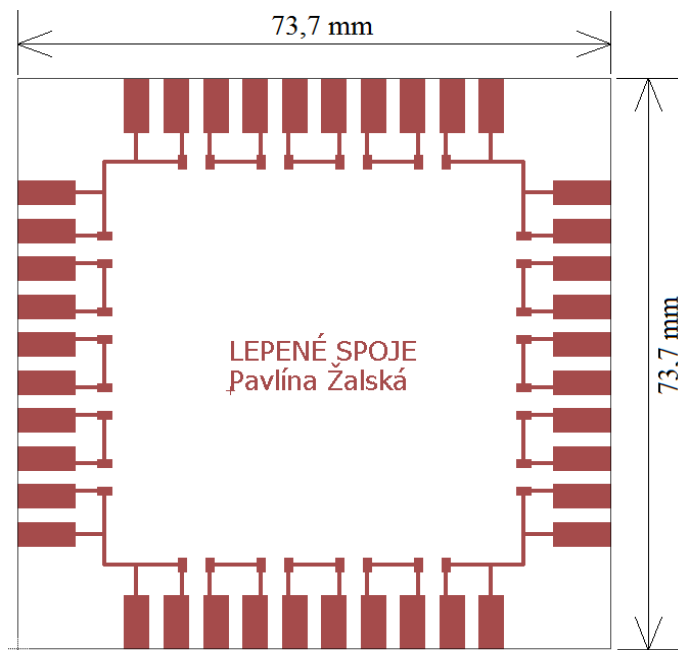
2.3.1.1. Layout testovací desky určené pro osazení součástkami v první části měření

Testovací desku jsme osazovali nulovými SMD rezistory s pouzdry typu 1206, jejichž rozměry lze vidět na následujícím obrázku. Z toho samozřejmě vychází rozměry navrhovaného layoutu.

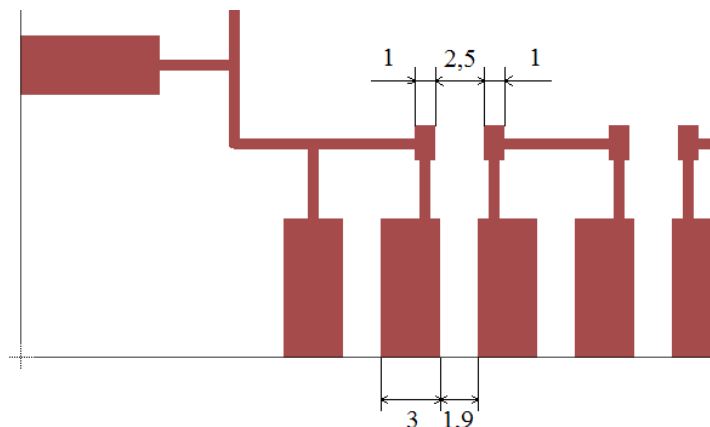


Obr. 2.6 Rozměry námi použitých rezistorů [10]

Layout je navržen pro sériové spojení šestnácti rezistorů do čtverce, vždy po čtyřech rezistorech na každé straně. Od každého rezistoru jsou na okraj desky vyvedeny plošky pro účely měření odporu čtyřbodovou metodou. Tyto vývody jsme se snažili mít co nejkratší, abychom co nejvíce eliminovali vliv přívodů na následná měření. Předpokládali jsme, že při měření vždy přerušíme sériové spojení ve čtverci dle momentální potřeby. Rozměry výsledné desky jsou 73,7 x 73,7 mm.



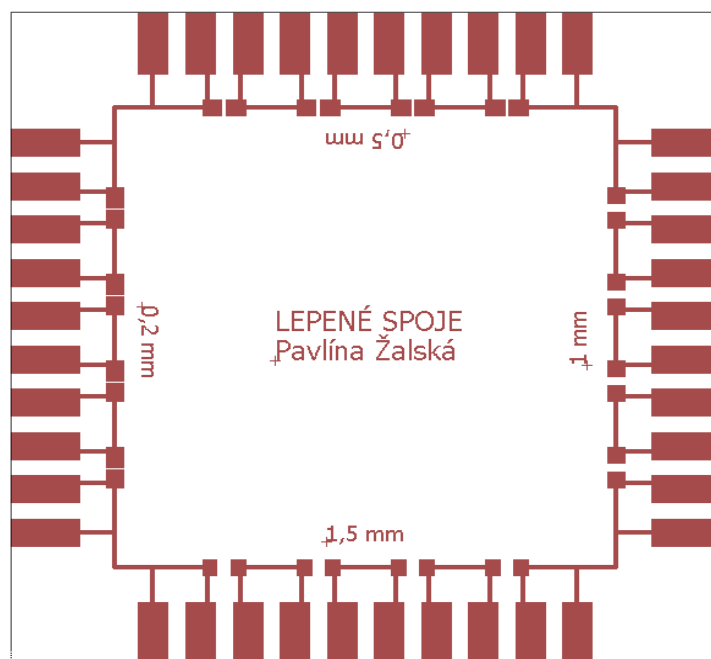
Obr. 2.7 Layout testovací desky určené pro osazení součástkami v první části měření



Obr. 2.8 Detail testovací desky

2.3.1.2. Layout testovací desky určené pro neosazené spoje

Druhým layoutem, který bylo pro účely měření nutné navrhnout, je layout pro neosazené spoje. Ten je velmi podobný layoutu určenému pro osazení součástkami. Liší se pouze v mezeře mezi jednotlivými pady, mezi které se následně nanášely proužky adheziva. Na prvním layoutu byla tato mezera 2,5 mm na celé desce. U neosazených spojů jsme ale chtěli testovat odpor a nelinearitu spojů při různých šířkách mezery, proto jsme zvolili šířky 0,2; 0,5; 1 a 1,5 mm. Mezera s šířkou 0,2 mm je nejmenší možná, jakou nám mohl výrobce garantovat.



Obr. 2.9 Layout testovací desky určené pro neosazené spoje

2.3.1.3. Layout testovací desky určené pro druhou část měření

Kvůli potřebám následného ohnutí desky pro mechanické namáhání nebylo možné použít předchozí čtvercový koncept. Místo předchozí jedné desky jsme tak vytvořili čtyři menší, se stejným

uspořádáním padů pro osazení rezistory, ale s o něco menšími pady pro uchycení svorek měřících přístrojů. To z toho důvodu, aby bylo snazší desku lépe prohnut a pro ušetření prostoru na platformě, přes kterou se desky ohýbaly. Jednotlivé desky se na této platformě uchycovaly pomocí šroubů, proto bylo nutné pro šrouby vyvrtat na obou stranách desky díru, jak je naznačeno na obrázku níže.



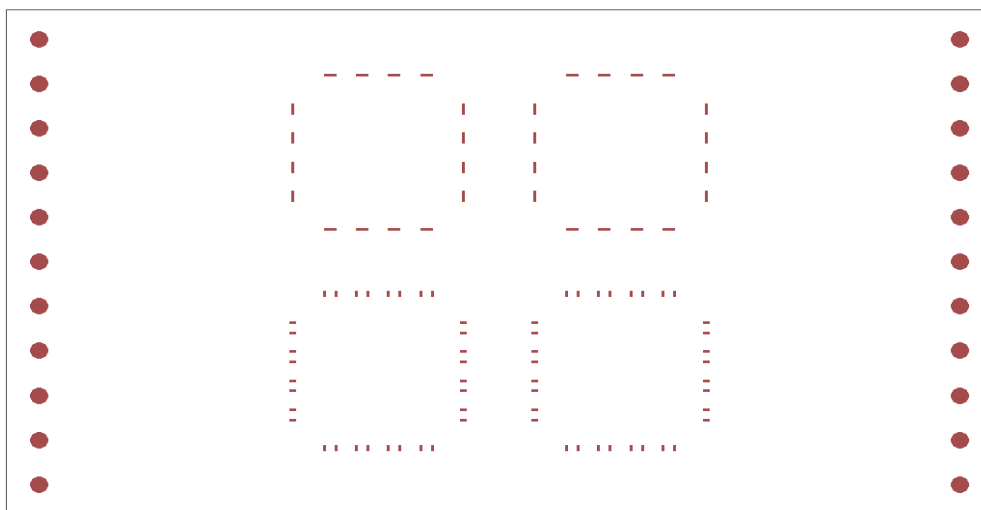
Obr. 2.10 Layout testovací desky určené pro druhou část měření

2.3.2. Návrh masky pro nanesení adheziva šablonovým tiskem

Navrhovaná maska musela mít takové rozměry, aby se dala upevnit do speciálního rámu určeného pro šablonový tisk, tedy 300 x 170 mm. Kvůli upevnění do rámu má také na dvou užších stranách kruhové otvory o průměru 5 mm s rozestupy 15 mm.

Pro rychlejší tisk při výrobě vzorků v první části měření jsme se rozhodli, že budeme adhezivo nanášet vždy na čtyři testovací desky zároveň, dvě pro osazené spoje a dvě pro neosazené spoje. Tyto desky se vždy umístili těsně vedle sebe, pod středem šablony.

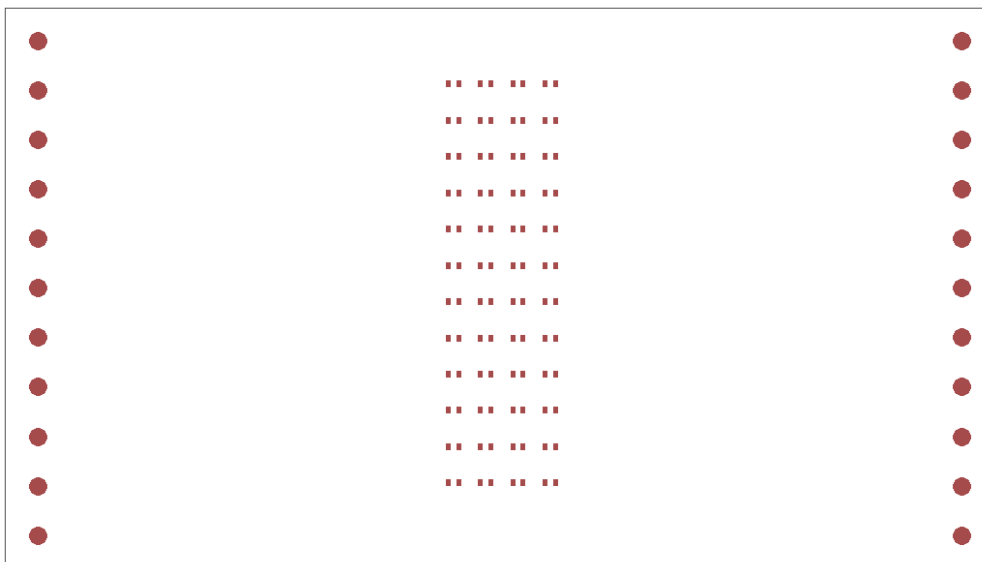
Část masky určená pro osazené spoje první části měření má o trochu užší otvory pro nanesení lepidla, než je šířka padů na testovací desce, tedy 0,8 x 1,7 mm. U neosazených spojů bylo nutné nanášet proužky adheziva, které vždy propojili dva sousední pady. Rozměr proužků jsme zvolili 3,5 x 0,7 mm.



Obr. 2.11 Maska pro nanesení adheziva šablonovým tiskem v první části měření

Z důvodu úpravy testovacích desek pro druhou část měření bylo nutné přizpůsobit i masku pro šablonový tisk. Rozvržení otvorů v masce bylo navrženo tak, aby bylo možné nanést lepidlo až na dvanáct desek zároveň. Ve skutečnosti jsme ale adhezivo nanášeli maximálně na šest desek zároveň

kvůli omezení nepřesností při nanášení. Při větším počtu desek zároveň je totiž obtížné vše srovnat tak, aby při tisku poloha děr v šabloně přesně korespondovala s polohou padů na testovacích deskách, a vznikají tak nežádoucí nepřesnosti.



Obr. 2.12 Maska pro nanášení adheziva šablonovým tiskem v druhé části měření

2.3.3. Realizace testovacích desek

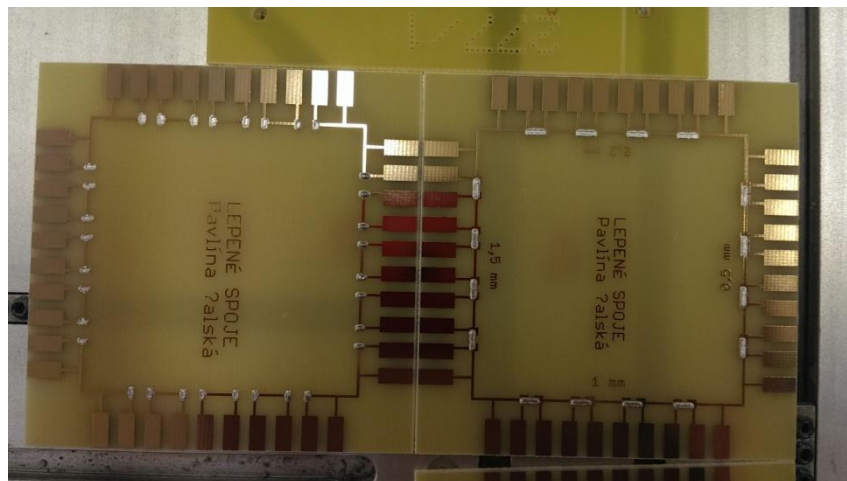
Testovací desky i šablony pro šablonový tisk jsme nechali zhotovit firmou Printed s. r. o. Všechny testovací desky jsou jednovrstvé bez nepájivé masky, základním materiálem je FR4 o tloušťce 1,55 mm pro první část měření a 0,8 mm pro druhou část měření. Tloušťka Cu plátování je 18 μm . Polovina testovacích desek je navíc galvanicky pozlacena. Šablony jsou z plechu CuSn4 tenkého 0,15 mm.

Pro realizaci adhezních spojů pro první část měření jsme použili tři různá adheziva, dvě dvousložková (ELPOX AX12LVT a LOCTITE 3888) a jedno jednosložkové (ELPOX ER55MN). Adheziva ELPOX jsme na testovací desky nanášeli pomocí šablonového tisku a následně jsme desky vytvrdili při dvou různých teplotách, které byly doporučeny výrobcem. Konkrétně u adheziva AX12LVT to bylo 80 °C po dobu 25 min a 120 °C po dobu 10 min, u adheziva ER55MN jsme volili teplotu 150 °C po dobu 20 min a 200 °C po dobu 4 min. Adheziva LOCTITE 3888 jsme měli k dispozici bohužel pouze velmi omezené množství, které nestačilo na takový počet vzorků, jako u adheziva ELPOX. Proto jsme zvolili vytvrzování pouze při jedné teplotě (150 °C po dobu 30 min) a místo šablonového tisku jsme adhezivo nanášeli ručně.



Obr. 2.13 Manuální nanášecí zařízení pro šablonový tisk [11]

Po zkušenostech z první části měření jsme pro druhou část objednali dvojnásobné množství adheziva LOCTITE 3888, což už stačilo na bezproblémový šablonový tisk i na potřebné množství zhotovených vzorků. Také jsme rozšířili sortiment porovnávaných adheziv o dvě další, a to dvousložkové ELPOX AX15S a jednosložkové PERMACOL 2369/2.



Obr. 2.14 Testovací desky s nanášeným adhezivem

Základní parametry všech použitých adheziv lze vidět v následující tabulce.

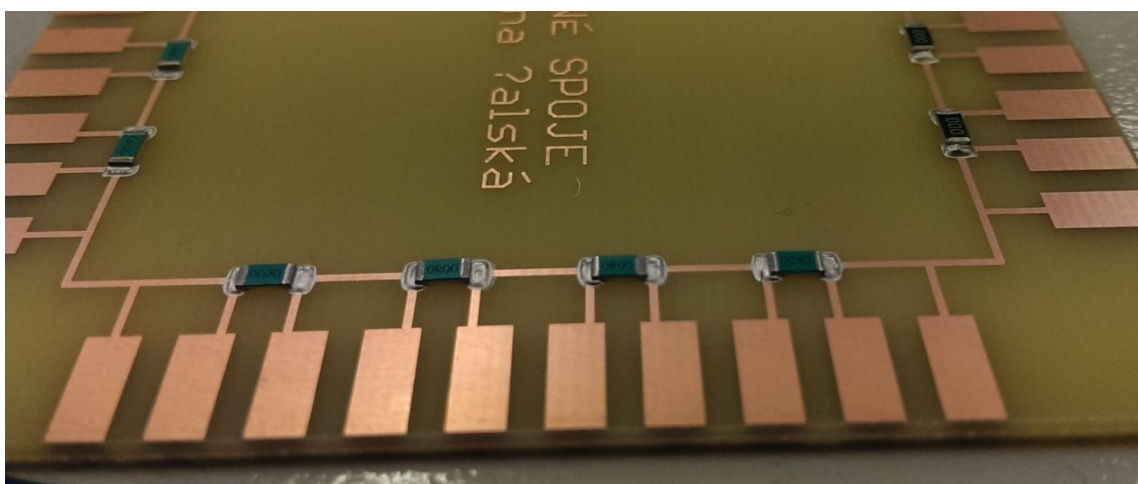
Označení lepidla	Počet složek	Množství stříbra	Viskozita při 25°C	Hmotnost	Teplota a doba vytvrzování	Rezistivita
ELPOX AX12LVT	2 (1:1)	55 ± 1%	250 000 - 290 000 cps	2,35 - 2,65 g/cm ³	80°C - 25 min 100°C - 15 min 120°C - 10 min	(1,5-2,5) x10 ⁻⁶ Ωm
ELPOX ER55MN	1	70 ± 1%	24 500 - 48 000 cps	3,2 - 3,5 g/cm ³	150°C - (15-20) min 180°C - (7-8) min 200°C - (3-4) min	(4-7,5) x10 ⁻⁷ Ωm
ELPOX AX15S	2 (1:1)	60 ± 1%	28 000 - 30 000 cps	1,95 - 2,50 g/cm ³	80°C - 100 min 120°C - 30 min 150°C - 15 min	(1,7-1,8) x10 ⁻⁶ Ωm
PERMACOL 2369/2	1	neuveдено	30 000 cps	neuveдено	125°C - 6 min 150°C - 3 min	<3x10 ⁻⁶ Ωm
LOCTITE 3888	2 (100:6)	neuveдено	neuveдено	2,5 g/cm ³	65°C - 120 min 125°C - 60 min 150°C - 30 min	<5x10 ⁻⁶ Ωm

Tab. 1 Přehled použitých lepidel

Pro zjednodušení jsou v následujícím textu lepidla označována pouze jako AX12LVT, ER55MN, AX15S, PERMACOL a LOCTITE. Červeně vyznačené teploty a doby vytvrzování jsou hodnoty, které byly použity pro naše účely v druhé části měření.

Testovací desky, které byly určeny pro osazené spoje v první části měření, jsme osadili nulovými SMD rezistory dvou typů. První (typ CRCW1206) měly povrchovou úpravu určenou pro pájené spoje a při ověřování jejich odporu jsme naměřili hodnotu 6 mΩ. Druhý typ rezistorů (CDF-K1206) měl povrchovou úpravu vhodnou pro lepené spoje, ale změřená hodnota jeho odporu byla o něco větší, a to 11 mΩ. Rozměry obou typů rezistorů byly shodné. V druhé části měření jsme už použili pouze rezistory CRCW1206, protože se v první části měření osvědčily lépe.

Osazování testovacích desek rezistory bylo realizováno pomocí vakuové pinzety a ručního manipulátoru, nebylo tedy možné dosáhnout dokonalé přesnosti umístění součástek na příslušná místa.



Obr. 2.15 Detail osazených adhezních spojů

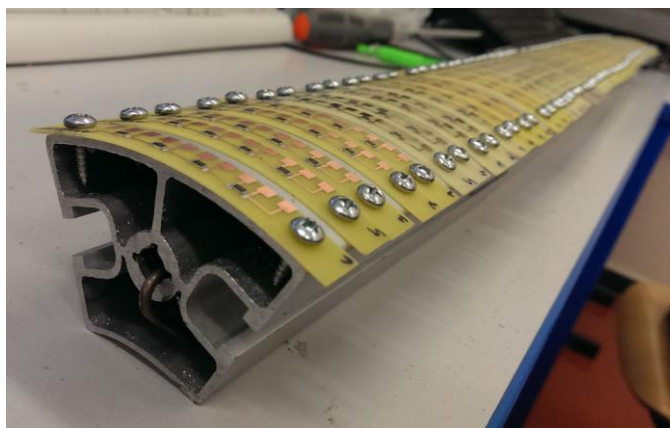
Během první části měření vlastností adhezních spojů jsme chtěli sledovat hned několik vlivů: různé typy lepidel, povrchová úprava rezistorů, měděné vs. pozlacené plošky na testovacích deskách a

různé teploty vytvrzování. Pro každou kombinaci těchto vlivů jsme zhotovili 24 vzorků, pro testování osazených adhezních spojů jsme tedy získali celkem 480 vzorků. Pro testování neosazených spojů, kde jsme sledovali stejné vlivy jako u osazených spojů, akorát místo různých typů rezistorů jsme sledovali různou šířku mezery mezi jednotlivými pady, jsme takto zhotovili celkem 416 vzorků.

Pro účely druhé části měření bylo zhotoveno celkem 84 testovacích desek. Na každé takovéto desce byly čtyři vzorky, celkem tedy 336 vzorků. Takovéto množství by mělo být dostatečné pro slušné statistické zhodnocení výsledků.

2.4. Průběh mechanického namáhání a klimatického stárnutí

U všech vzorků byl před jakýmkoliv namáháním změřen odpor spoje a nelinearita VA charakteristiky. Následně byly vybrané DPS přišroubovány k předem vybrané platformě, díky čemuž došlo k požadovanému ohybu těchto desek. U takto mechanicky namáhaných vzorků se následně opět provedlo měření odporu i nelinearity. Poté se všechny vzorky (ohnuté i neohnuté) umístily do zkušební klimatické komory CTS 10/200, ve které byly stárnuty teplotou 80°C a vlhkostí 80% po dobu 96 hodin.



Obr. 2.16 Desky přišroubované k ohýbací platformě

Po uplynutí této doby jsme větší část vzorků vyjmuli z klimatické komory a opět na nich změřili odpor a nelinearitu. Toto měření proběhlo v řádu jednotek hodin, zbylá část vzorků mezitím dále podléhala klimatickému stárnutí. Po dokončení měření jsme všechny vzorky navrátili do klimatické komory a stárnutí pokračovalo dalších 114 hodin. Následně jsme opět z komory vyjmuli stejné vzorky jako v předchozím cyklu a provedli potřebná měření. Vzorky jsme znovu navrátili do klimatické komory nechali proběhnout posledních 93 hodin tepelně-vlhkostního stárnutí. Nakonec proběhlo poslední měření sledovaných veličin. Výsledky jsou shrnuty v následujících kapitolách.



Obr. 2.17 Klimatická komora CTS 10/200 [12]

2.5. Naměřené hodnoty - první část

2.5.1. Měření elektrického odporu

Vzhledem k velkému množství naměřených dat zde uvádím pouze jejich statistické zpracování v podobě výpočtu jejich průměrů, mediánů a názorných grafů. Všechny uvedené grafy vycházejí z výpočtů mediánů měřených dat, nikoliv průměrů. Tuto variantu jsem zvolila z toho důvodu, že vzhledem k ruční výrobě vzorků měly některé vzorky výrazně horší vlastnosti nebo různé vady oproti ostatním vzorkům. To způsobilo někdy i řádově vyšší hodnoty odporu, které při výpočtu průměrné hodnoty výrazně ovlivňovaly výsledky měření. Závěry z těchto výsledků by pak tedy mohly být zkreslené a nepřesné.

2.5.1.1. Osazené adhezní spoje

Zde vidíme vypočtené hodnoty průměrů i mediánů pro každý typ měřených vzorků:

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	441	306
Pro pájení	68	42

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	806	618
Pro pájení	561	84

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	335	220
Pro pájení	108	64

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	431	351
Pro pájení	107	99

Loctite - 150°C, 30 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	254	145
Pro pájení	270	238

Loctite - 150°C, 30 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	1219	259
Pro pájení	166	145

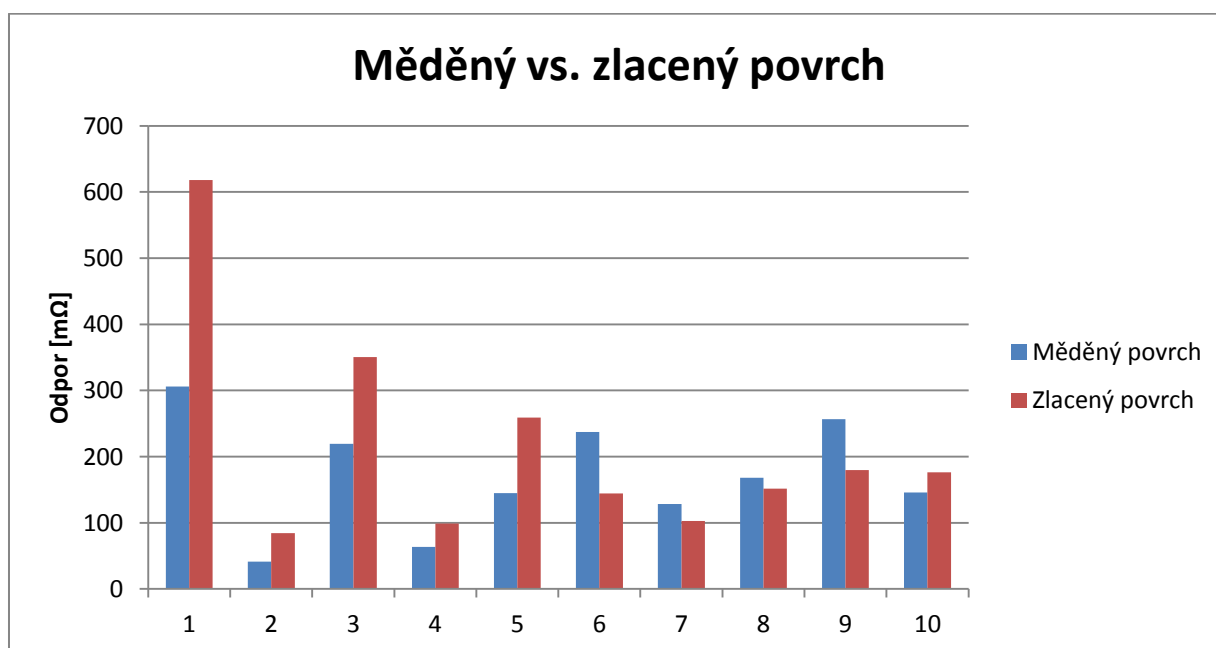
ER55MN - 150°C, 20 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	152	129
Pro pájení	182	168

ER55MN - 150°C, 20 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	127	103
Pro pájení	173	152

ER55MN - 200°C, 4 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	315	257
Pro pájení	154	146

ER55MN - 200°C, 4 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	212	180
Pro pájení	180	177

Po vynesení hodnot mediánů do grafu získáme následující:



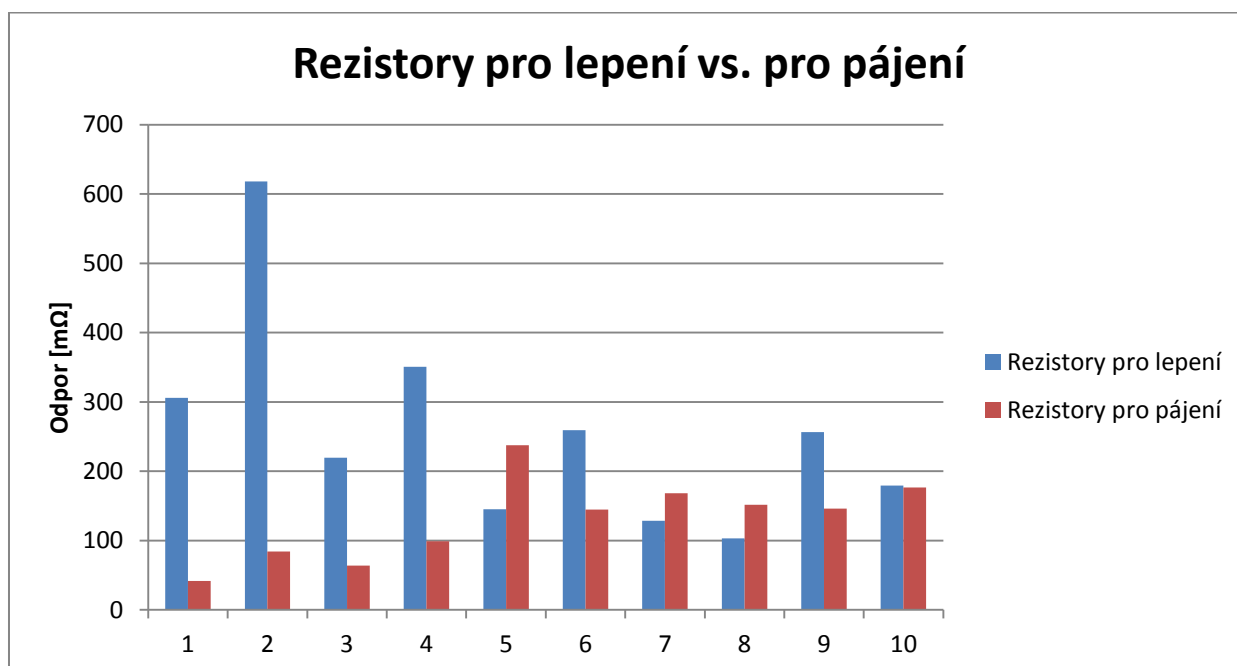
- 1: AX12LVT - 80°C, 25 min, rezistory pro lepení
- 2: AX12LVT - 80°C, 25 min, rezistory pro pájení
- 3: AX12LVT - 120°C, 10 min, rezistory pro lepení

- 4: AX12LVT - 120°C, 10 min, rezistory pro pájení
- 5: Loctite - 150°C, 30 min, rezistory pro lepení
- 6: Loctite - 150°C, 30 min, rezistory pro pájení
- 7: ER55MN - 150°C, 20 min, rezistory pro lepení
- 8: ER55MN - 150°C, 20 min, rezistory pro pájení
- 9: ER55MN - 200°C, 4 min, rezistory pro lepení
- 10: ER55MN - 200°C, 4 min, rezistory pro pájení

Jedním ze sledovaných faktorů byl vliv materiálu vodivých cest na testovacích deskách.

Z výsledného grafu vidíme, že zde velmi záleží na typu použitého adheziva. U lepidla AX12LVT byl naměřený odpor u měděného povrchu výrazně nižší než u povrchu s galvanickým pozlacením. Naopak lepidlo ER55MN vykazovalo lepší vodivé vlastnosti na zlaceném povrchu ve ¾ případů. Pouze při vytvrzení při 200 °C a zároveň při použití rezistorů určených pro pájené spoje vykazovaly adhezivní spoje lepší vlastnosti na měděném povrchu. U lepidla Loctite, které jsme vytvrzovali pouze při jedné teplotě, záležely vodivé vlastnosti na typu použitého rezistoru.

Při porovnávání vlivu vytvrzovací teploty lze říci, že pro lepidlo AX12LVT při použití rezistorů určených pro lepení je vhodnější vyšší vytvrzovací teplota, naopak při použití rezistorů určených pro pájení je o něco lepší vytvrzovat déle a při nižší teplotě.



- 1: AX12LVT - 80°C, 25 min, měděný povrch
- 2: AX12LVT - 80°C, 25 min, zlacený povrch
- 3: AX12LVT - 120°C, 10 min, měděný povrch
- 4: AX12LVT - 120°C, 10 min, zlacený povrch
- 5: Loctite - 150°C, 30 min, měděný povrch
- 6: Loctite - 150°C, 30 min, zlacený povrch
- 7: ER55MN - 150°C, 20 min, měděný povrch
- 8: ER55MN - 150°C, 20 min, zlacený povrch
- 9: ER55MN - 200°C, 4 min, měděný povrch
- 10: ER55MN - 200°C, 4 min, zlacený povrch

Při porovnání výsledků podle typu použitých rezistorů je vidět, že lepších vodivých vlastností spojů jsme ve většině případů dosáhli s použitím rezistorů s povrchovou úpravou vhodnou pro pájení a to i přes to, že všechny námi realizované spoje byly lepené. Výjimkou bylo pouze adhezivo ER55MN vytvrzované při 150 °C a adhezivo Loctite na měděném povrchu.

Po provedení tohoto měření odporu i měření nelinearity spojů, které je popsáno dále, jsme provedli ještě dodatečné žihání. Teplota a doba dodatečného žihání je uvedena v následující tabulce:

Adhezivo	Teplota a doba prvotního vytvrzování	Teplota a doba dodatečného žihání
AX12LVT	120°C, 10 min	130°C, 5 min
	80°C, 25 min	90°C, 15 min
Loctite	150°C, 30 min	160°C, 15 min
ER55MN	150°C, 20 min	160°C, 10 min
	200°C, 4 min	210°C, 2 min

Po dodatečném žihání jsme provedli další měření s následujícími výsledky:

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	751	475
Pro pájení	326	195

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	1273	983
Pro pájení	1225	538

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	345	262
Pro pájení	396	296

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	573	459
Pro pájení	432	400

Loctite - 150°C, 30 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	277	156
Pro pájení	1004	748

Loctite - 150°C, 30 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	484	298
Pro pájení	356	345

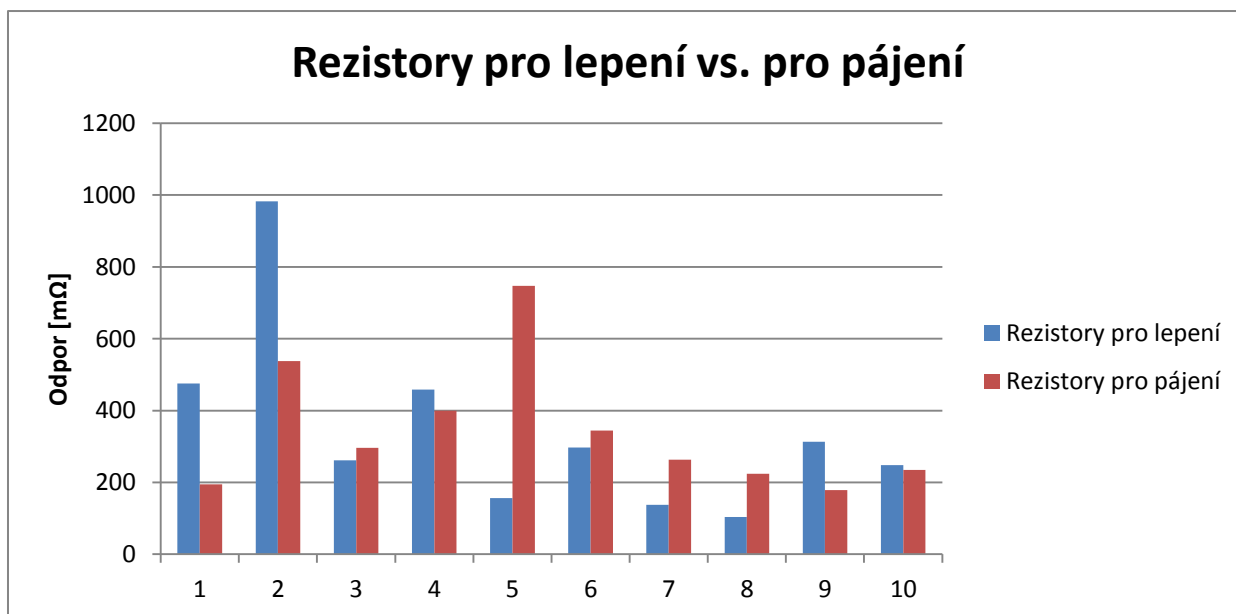
ER55MN - 150°C, 20 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	167	138
Pro pájení	313	263

ER55MN - 150°C, 20 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	130	104
Pro pájení	280	224

ER55MN - 200°C, 4 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	348	313
Pro pájení	183	179

ER55MN - 200°C, 4 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
Pro lepení	281	248
Pro pájení	290	235

Tyto hodnoty jsme opět vynesli do následujících grafů:



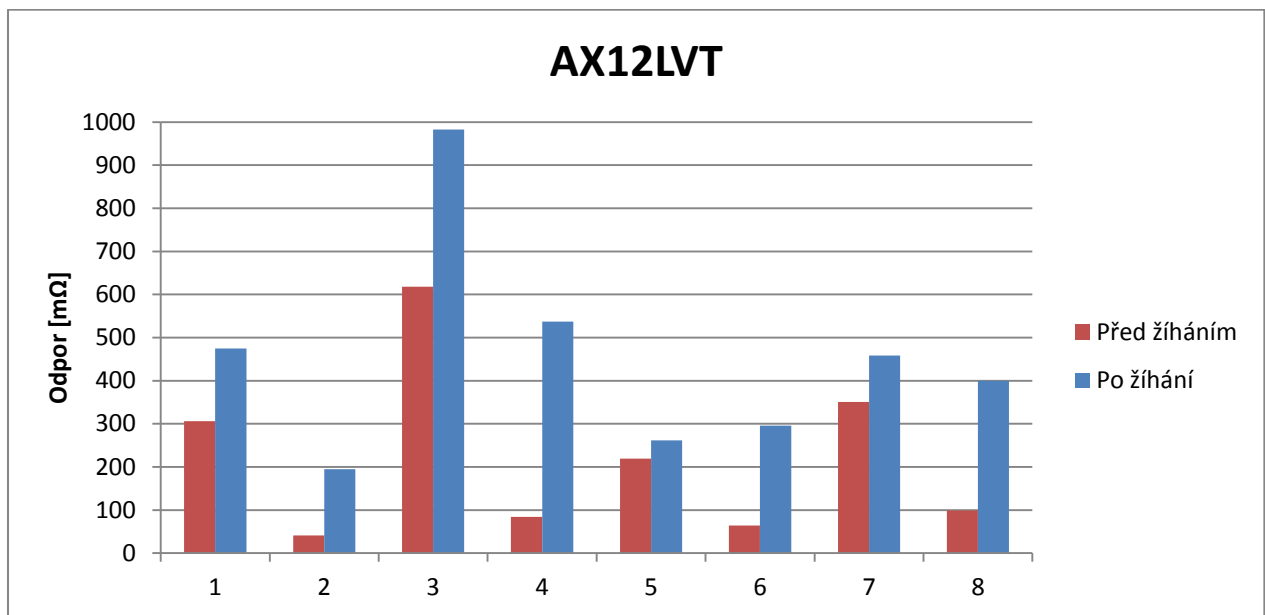
- 1: AX12LVT - 80°C, 25 min, měděný povrch
- 2: AX12LVT - 80°C, 25 min, zlacený povrch
- 3: AX12LVT - 120°C, 10 min, měděný povrch
- 4: AX12LVT - 120°C, 10 min, zlacený povrch
- 5: Loctite - 150°C, 30 min, měděný povrch
- 6: Loctite - 150°C, 30 min, zlacený povrch
- 7: ER55MN - 150°C, 20 min, měděný povrch
- 8: ER55MN - 150°C, 20 min, zlacený povrch
- 9: ER55MN - 200°C, 4 min, měděný povrch
- 10: ER55MN - 200°C, 4 min, zlacený povrch

Při porovnání s grafem z měření před dodatečným žiháním vidíme, že došlo k několika změnám. U lepidla AX12LVT byl původně výrazně větší odpor u spojů s rezistory určenými pro lepené spoje, po dodatečném žihání se tento rozdíl snížil a na měděném povrchu při vytvrzování na 120 °C vyšly spoje s rezistory určenými pro lepení dokonce lépe než spoje s druhým typem rezistorů. Ke změně

došlo také u adheziva Loctite s pozlacenými deskami, po dodatečném žihání byly kvalitnější spoje s rezistory určenými pro lepení než pro pájení.

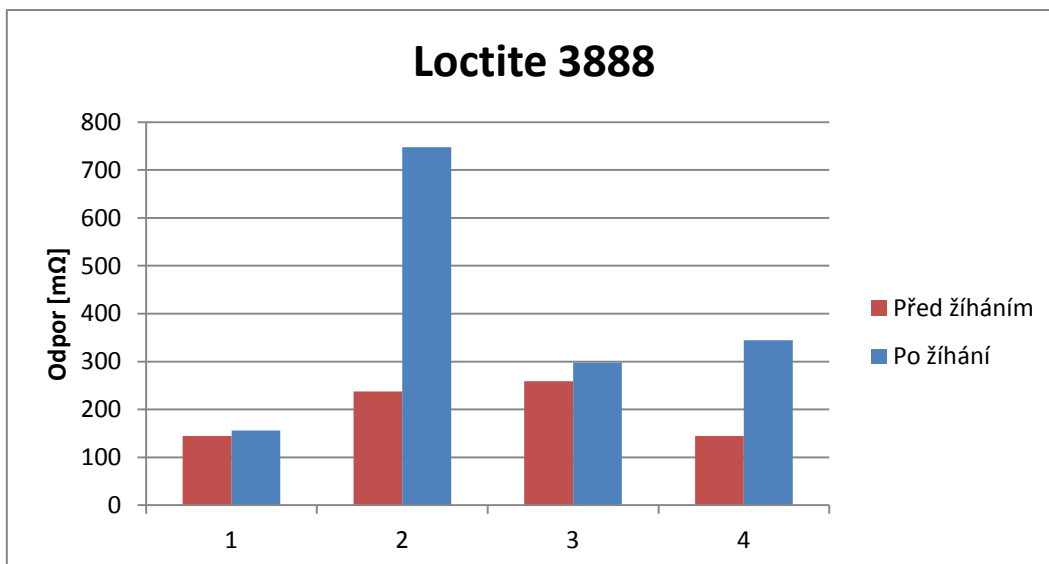
V porovnání vlivu materiálu vodivých cest na testovacích deskách k žádné změně nedošlo.

Na následujících grafech je znázorněna změna odporu po dodatečném žihání u jednotlivých adheziv:



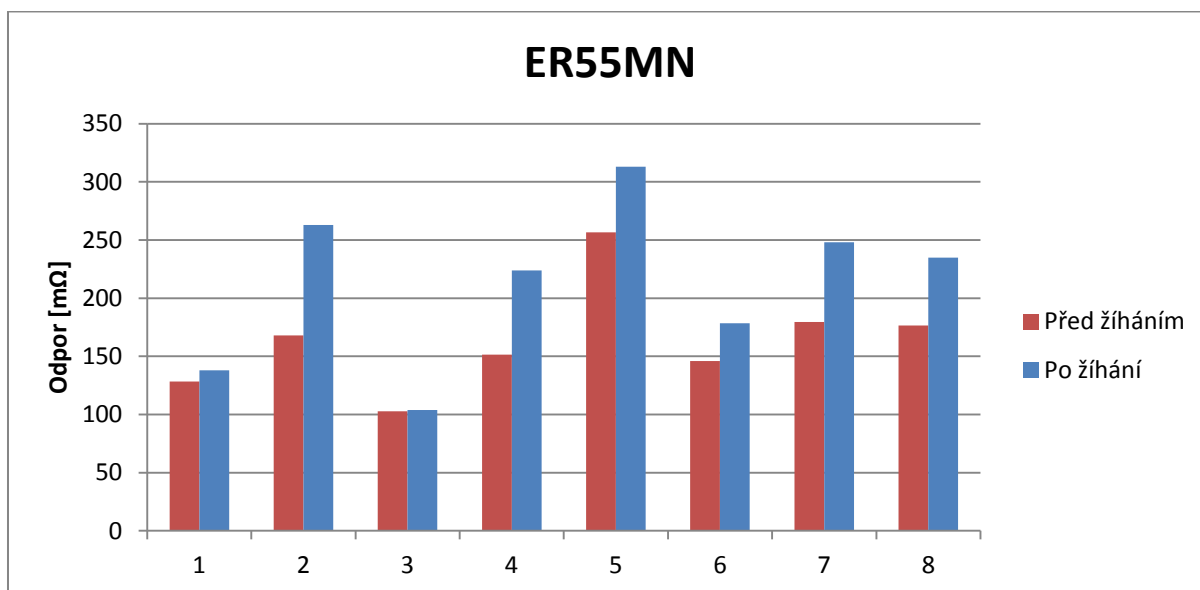
- 1: 80°C, 25 min, Cu povrch, rezistory pro lepení
- 2: 80°C, 25 min, Cu povrch, rezistory pro pájení
- 3: 80°C, 25 min, Au povrch, rezistory pro lepení
- 4: 80°C, 25 min, Au povrch, rezistory pro pájení
- 5: 120°C, 10 min, Cu povrch, rezistory pro lepení
- 6: 120°C, 10 min, Cu povrch, rezistory pro pájení
- 7: 120°C, 10 min, Au povrch, rezistory pro lepení
- 8: 120°C, 10 min, Au povrch, rezistory pro pájení

Na lepidlo AX12LVT mělo dodatečné žihání ve všech případech negativní vliv. Zhoršení vodivosti spojů je velmi výrazné především u spojů s rezistory určenými pro pájení, kde se odpor zvýšil několikanásobně.



- 1: 150°C, 30 min, Cu povrch, rezistory pro lepení
- 2: 150°C, 30 min, Cu povrch, rezistory pro pájení
- 3: 150°C, 30 min, Au povrch, rezistory pro lepení
- 4: 150°C, 30 min, Au povrch, rezistory pro pájení

U lepidla Loctite došlo stejně jako v předchozím případě k zhoršení kvality všech spojů, i když už ne tak dramatickému. Toto zhoršení bylo opět výraznější u spojů s rezistory určenými pro pájení.



- 1: 150°C, 20 min, Cu povrch, rezistory pro lepení
- 2: 150°C, 20 min, Cu povrch, rezistory pro pájení
- 3: 150°C, 20 min, Au povrch, rezistory pro lepení
- 4: 150°C, 20 min, Au povrch, rezistory pro pájení
- 5: 200°C, 4 min, Cu povrch, rezistory pro lepení
- 6: 200°C, 4 min, Cu povrch, rezistory pro pájení
- 7: 200°C, 4 min, Au povrch, rezistory pro lepení
- 8: 200°C, 4 min, Au povrch, rezistory pro pájení

Na lepidlo ER55MN mělo dodatečné žihání nejmenší vliv, ale i zde vidíme mírný nárůst odporu.

2.5.1.2. Neosazené adhezní spoje

U neosazených adhezních spojů jsme kromě stejných vlivů, jako u osazených spojů, sledovali také velikost odporu spoje v závislosti na šířce mezery mezi jednotlivými pady, které jsme propojili proužkem adheziva. Následující tabulky a grafy shrnují výsledky měření na těchto spojkách:

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	79	68
0,5	147	139
1	253	225
1,5	395	436

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	71	65
0,5	99	102
1	239	211
1,5	311	328

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	132	128
0,5	253	250
1	463	426
1,5	531	538

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	108	109
0,5	166	146
1	435	413
1,5	511	497

ER55MN - 150°C, 20 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	39	31
0,5	50	43
1	71	51
1,5	71	63

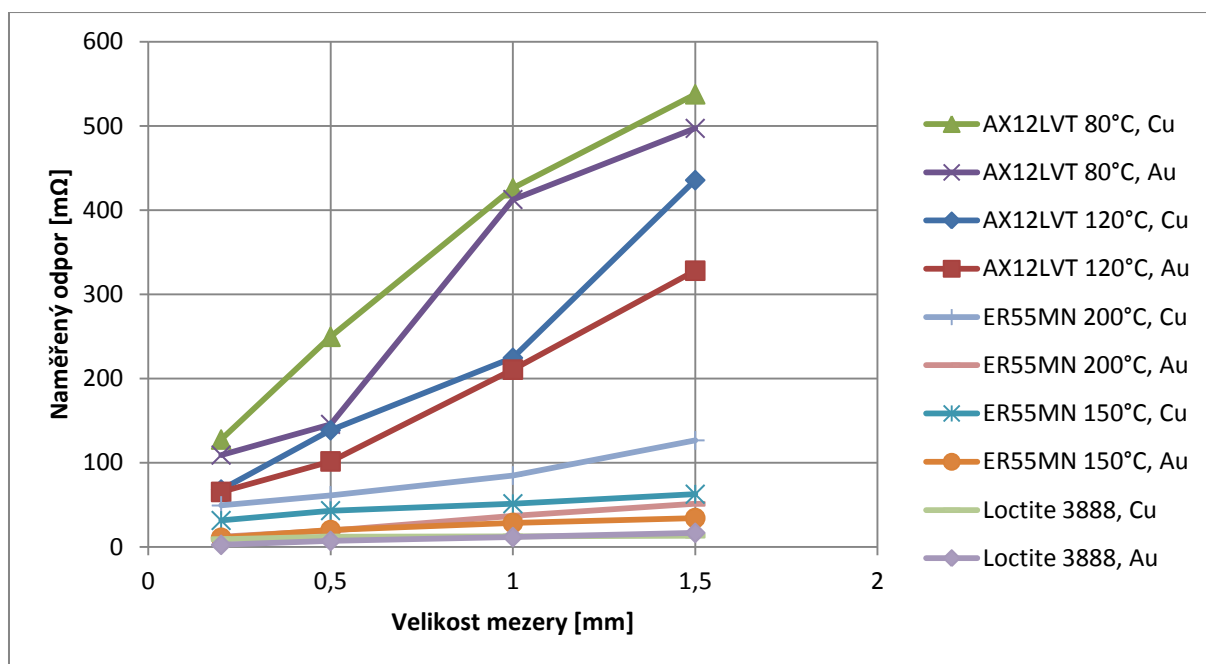
ER55MN - 150°C, 20 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	11	11
0,5	20	20
1	29	28
1,5	35	34

ER55MN - 200°C, 4 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	68	49
0,5	146	61
1	96	85
1,5	180	127

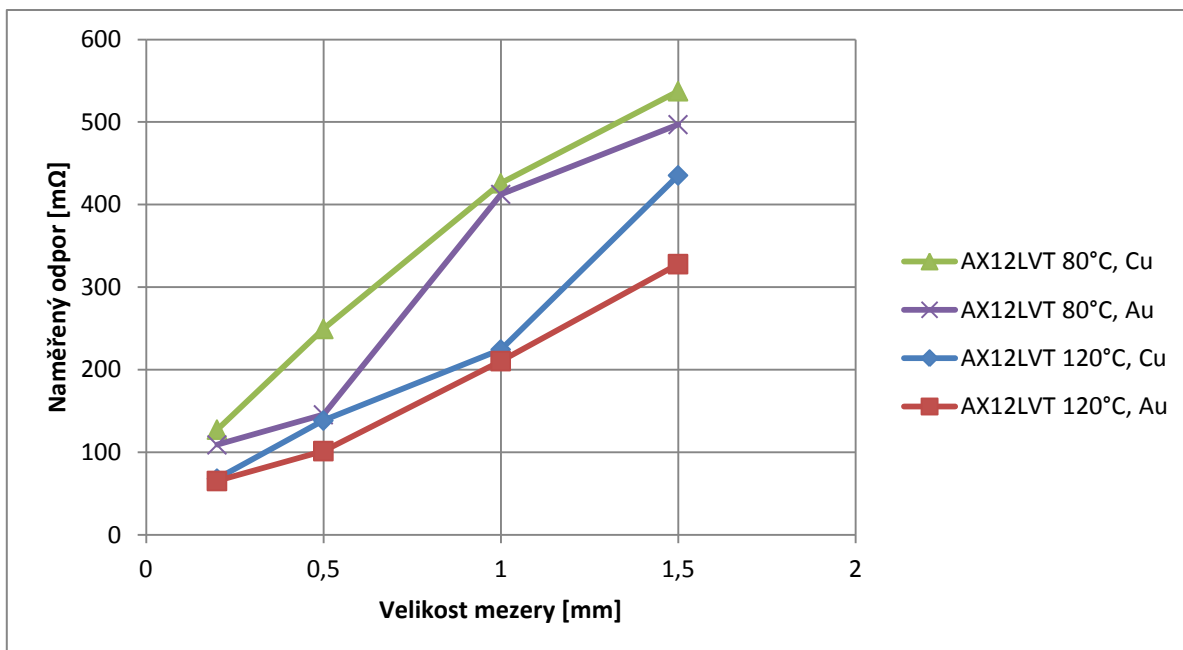
ER55MN - 200°C, 4 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	15	12
0,5	20	19
1	36	37
1,5	53	51

Loctite 3888 - 150°C, 30 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	9	9
0,5	13	12
1	13	12
1,5	13	13

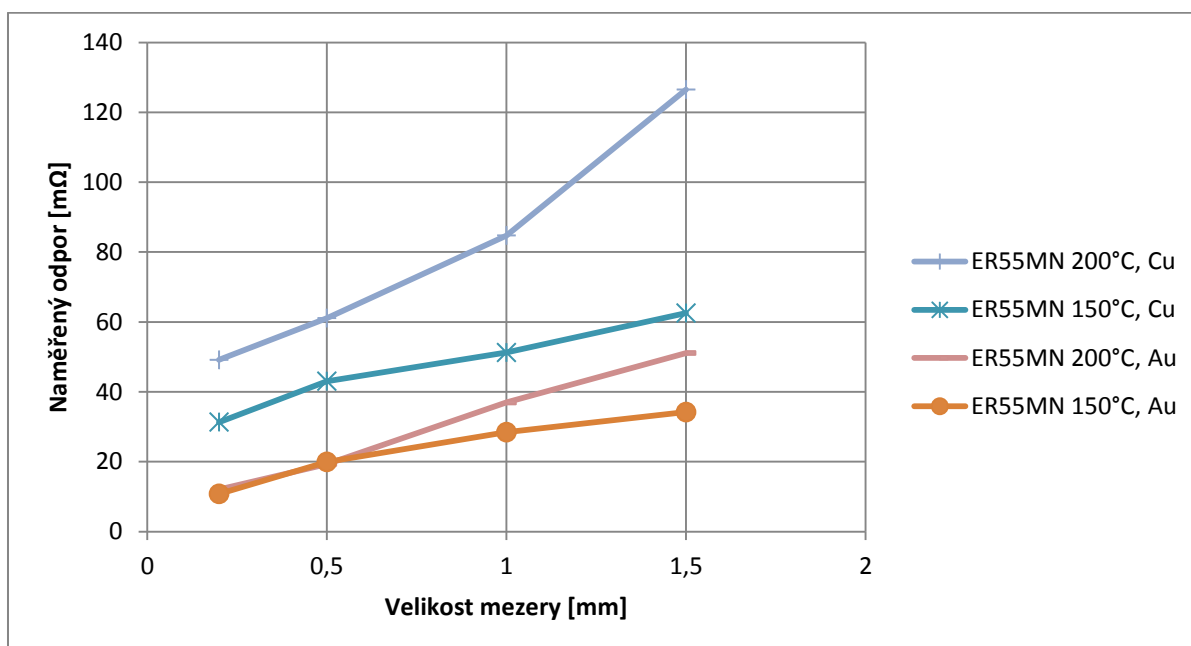
Loctite 3888 - 150°C, 30 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	2	2
0,5	7	7
1	15	12
1,5	17	17



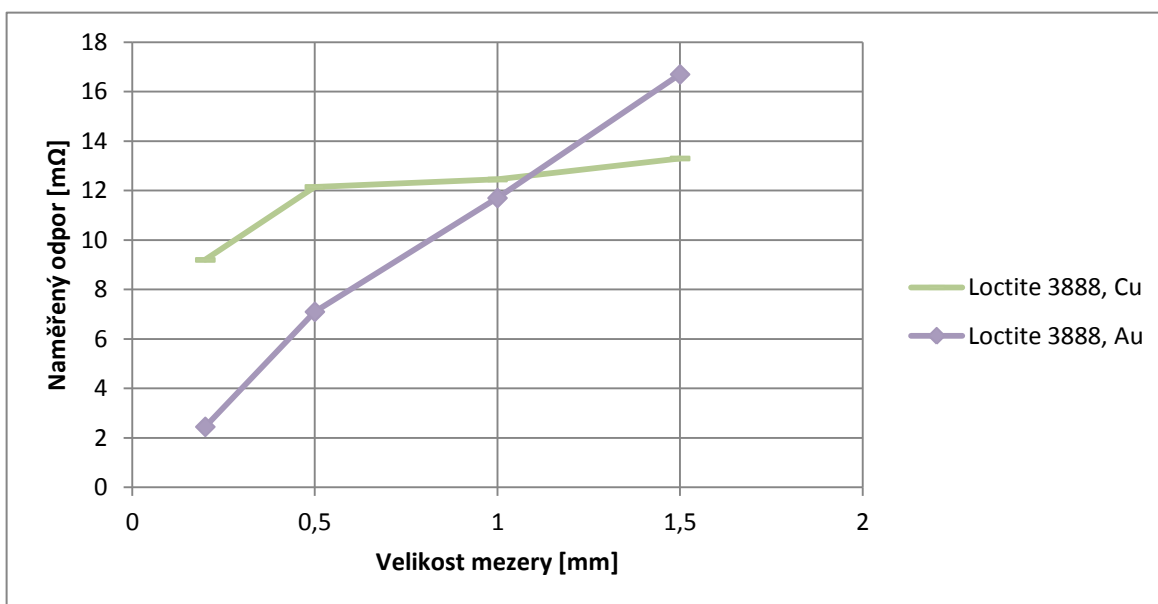
Z grafu výše vidíme, že největší odpor vykazuje lepidlo AX12LVT. Odpor tohoto adheziva je dokonce několikanásobně vyšší než odpor ostatních lepidel. U všech vzorků odpor spoje narůstá se zvětšující se mezerou mezi pady. Pro větší přehlednost rozdělíme průběhy do více grafů po jednotlivých lepidlech:



V případě adheziva AX12LVT můžeme říci, že spoje s vytvrzovací teplotou 120 °C mají menší odpor než spoje vytvrzené při teplotě 80 °C. Je zajímavé, že odpor spojů je menší u desek s galvanickým pozlacením, což je přesně naopak, než jak tomu bylo u osazených spojů.



U adheziva ER55MN bylo na rozdíl od předchozího adheziva lepší pro menší odpor spojů zvolit nižší vytvrzovací teplotu. Lepší vodivosti dosahovaly spoje realizované na pozlacených deskách, což je stejné, jako u osazených spojů.



Nejlepší vodivost u neosazených spojů se prokázala u dvousložkového adheziva Loctite. Zde je zvláštní, že při menších šířkách mezery vykazovaly menší odpor spoje na zlacených deskách, ale při velikosti mezery 1,5 mm byly vodivostní vlastnosti lepší naopak u měděných desek.

Po změření všech sledovaných vlastností jsme provedli dodatečné žihání, za shodných podmínek jako v případě osazených spojů. Opět jsme provedli nové měření a získali tak následující data:

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	66	58
0,5	120	112
1	217	189
1,5	314	312

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	61	54
0,5	83	84
1	209	187
1,5	260	257

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	84	83
0,5	158	158
1	294	262
1,5	357	344

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	78	77
0,5	114	102
1	277	268
1,5	342	297

ER55MN - 150°C, 20 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	36	28
0,5	50	39
1	63	44
1,5	66	56

ER55MN - 150°C, 20 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	6	5
0,5	13	14
1	21	21
1,5	26	26

ER55MN - 200°C, 4 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	69	50
0,5	712	56
1	235	106
1,5	163	89

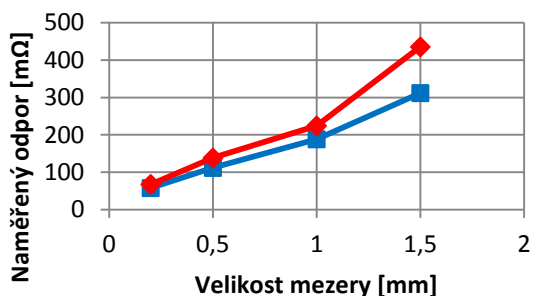
ER55MN - 200°C, 4 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	8	7
0,5	14	13
1	26	26
1,5	38	38

Loctite 3888 - 150°C, 30 min		
Měděný povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	5	5
0,5	9	8
1	9	8
1,5	11	11

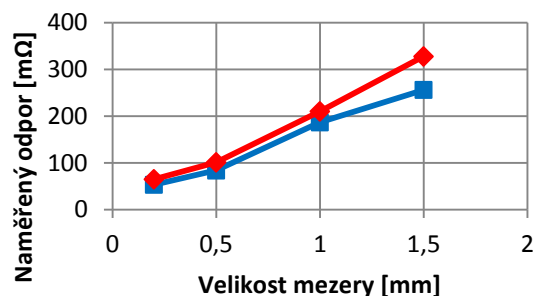
Loctite 3888 - 150°C, 30 min		
Zlacený povrch		
Velikost mezery [mm]	Průměr [mΩ]	Medián [mΩ]
0,2	1	1
0,5	6	6
1	13	10
1,5	15	15

Vzájemné rozdíly mezi vlastnostmi jednotlivých vzorků zůstaly bez rozdílu. V následujících grafech jsme se proto zaměřili na znázornění změn odporu vlivem dodatečného žíhání u jednotlivých vzorků. Červený průběh s kosočtvercovými značkami znázorňuje stav před dodatečným žíháním, modrý průběh se čtvercovými značkami stav po žíhání.

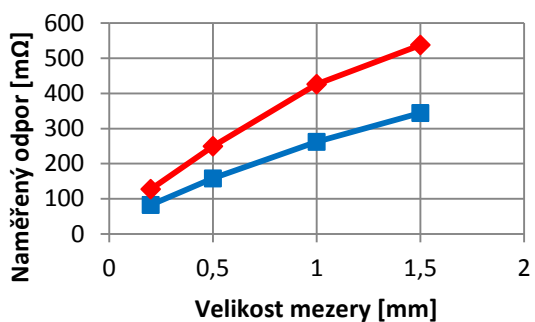
**AX12LVT - 120°C, 10 min,
Cu povrch**



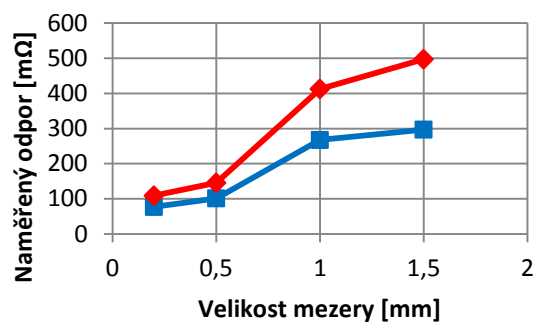
**AX12LVT - 120°C, 10 min,
Au povrch**



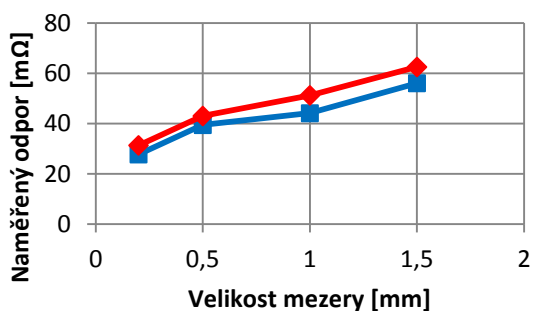
**AX12LVT - 80°C, 25 min,
Cu povrch**



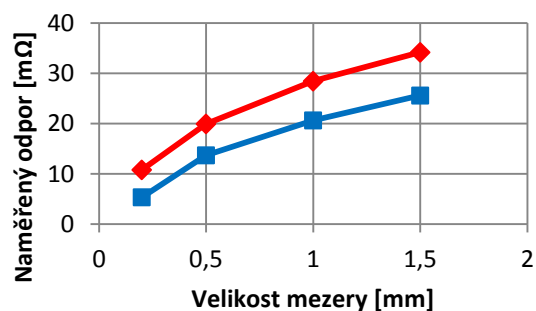
**AX12LVT - 80°C, 25 min,
Au povrch**

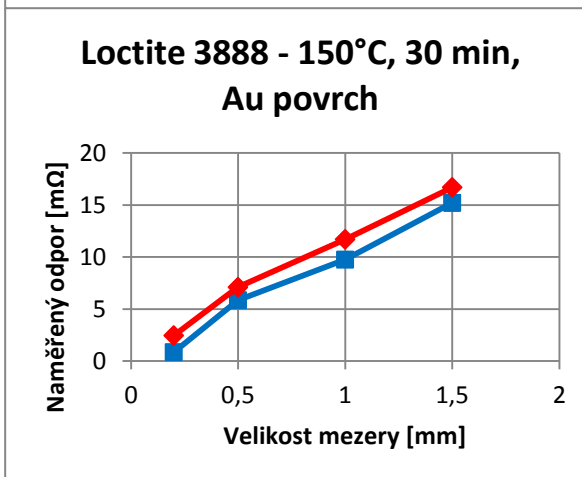
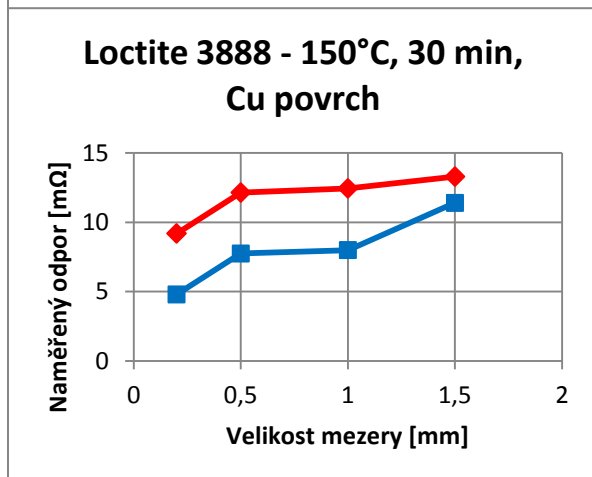
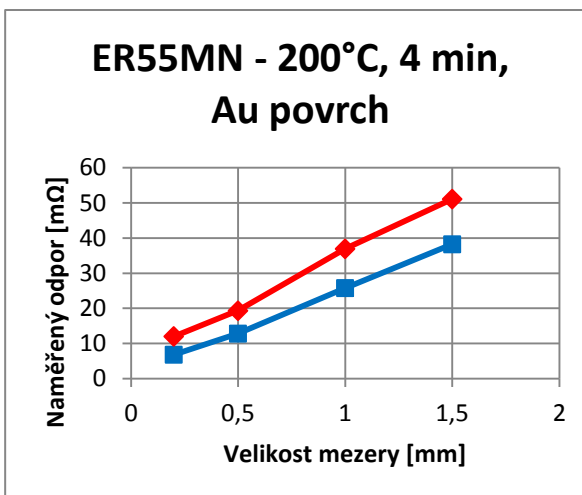
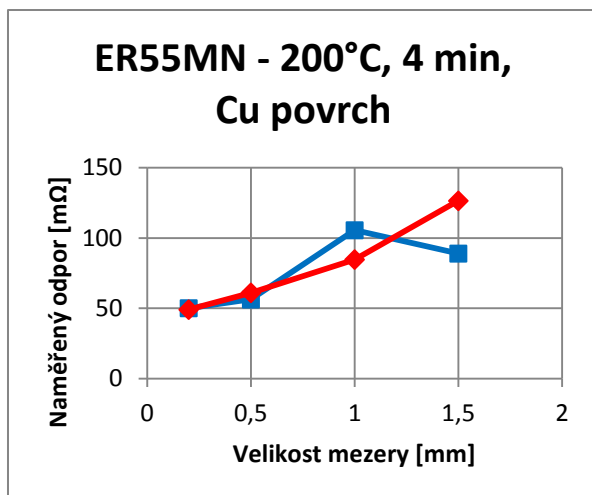


**ER55MN - 150°C, 20 min,
Cu povrch**



**ER55MN - 150°C, 20 min,
Au povrch**





Z těchto průběhů vidíme, že odpor spojí se dodatečným žíháním u všech vzorků snížil. Je to tedy přesně naopak, než v případě osazených spojí.

2.5.2. Měření nelinearity

2.5.2.1. Osazené adhezní spoje

Vzhledem k velkému množství naměřených dat opět uvádím pouze jejich průměry a mediány:

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	156	1,2
Pro pájení	18	1,1

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	1202	34
Pro pájení	539	1,1

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	126	0,8
Pro pájení	119	1,0

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	35	3,7
Pro pájení	1,9	1,0

Loctite - 150°C, 30 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	136	1,6
Pro pájení	169	39

Loctite - 150°C, 30 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	1126	8,7
Pro pájení	56	2,6

ER55MN - 150°C, 20 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	1,4	1,1
Pro pájení	5,1	1,8

ER55MN - 150°C, 20 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	1,4	1,1
Pro pájení	20	4,7

ER55MN - 200°C, 4 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	20	1,0
Pro pájení	1,8	0,9

ER55MN - 200°C, 4 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	68	1,0
Pro pájení	13	2,8

Z výsledných dat vidíme, že jsou zásadní rozdíly mezi průměrem naměřených dat a jejich mediánem, což je velmi problematické. Je to způsobeno extrémně velkými hodnotami nelinearity naměřené u několika nějak poškozených spojů. Toto poškození často nebylo možné odhalit optickou kontrolou. Většina výsledků je navíc menší než 3 μV. Tyto hodnoty si jsou tedy natolik blízké, že z nich není možné spolehlivě určit vliv sledovaných faktorů na nelinearitu vodivých adhezních spojů. Lze ale říci, že největší nelinearitu jsme naměřili u vzorků tvořených lepidlem Loctite, naopak nejlépe dopadlo jednosložkové lepidlo ER55MN.

I přes nepřilíš průkazné výsledky v tomto měření jsme vzorky podrobili dodatečnému žihání a nelinearitu u všech vzorků jsme změřili znovu. Tím jsme získali následující hodnoty:

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	300	11
Pro pájení	160	11

AX12LVT - 80°C, 25 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	407	103
Pro pájení	882	340

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	168	0,9
Pro pájení	357	47

AX12LVT - 120°C, 10 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	85	8,1
Pro pájení	255	43

Loctite - 150°C, 30 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	232	1,1
Pro pájení	1133	495

Loctite - 150°C, 30 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	1305	11
Pro pájení	669	95

ER55MN - 150°C, 20 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	2,2	1,1
Pro pájení	25	8,1

ER55MN - 150°C, 20 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	1,7	1,1
Pro pájení	57	18

ER55MN - 200°C, 4 min		
Měděný povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	26	1,0
Pro pájení	4,6	1,5

ER55MN - 200°C, 4 min		
Zlacený povrch		
Typ rezistoru	Průměr [μV]	Medián [μV]
Pro lepení	30	1,1
Pro pájení	93	12

Prakticky u všech vzorků došlo k výraznému zhoršení nelinearity spojů. Nelinearita se zhoršila především u všech spojů, kde byly použity rezistory s povrchovou úpravou vhodnou pro pájení. Propastné rozdíly mezi hodnotami průměru a mediánu však zůstaly.

2.5.2.2. Neosazené adhezní spoje

Naměřená nelinearita neosazených spojů byla u všech vzorků v rozmezí 1,0 - 1,15 μV a to dokonce i po dodatečném žíhání. Z hodnot s takto malým rozptylem bohužel není možné dělat nějaké závěry. Spoje byly natolik kvalitní, že se u nich nelinearita zkrátka neprojevila.

2.6. Naměřené hodnoty - druhá část

2.6.1. Měření elektrického odporu

2.6.1.1. Porovnání jednotlivých lepidel a různých povrchů DPS

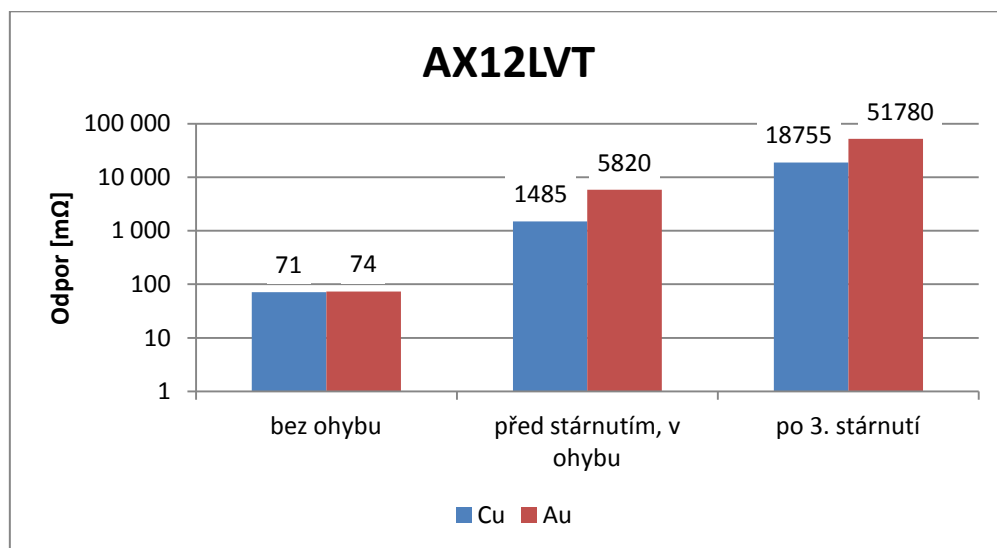
Jako statistickou metodu pro vyhodnocení měření elektrického odporu jsem zvolila medián. Ten je v tomto případě oproti klasickému průměru výhodnější v tom, že není tolik ovlivněn několika

extrémními hodnotami odporu, které se při tomto měření vyskytovaly. Tyto abnormálně vysoké hodnoty byly naměřeny u vzorků, které byly poškozeny během výroby (např. špatným vytvrzením, nepřesným osazením či nesprávným skladováním), případně při procesu ohýbání DPS se vzorky (mohlo dojít k částečnému „odtržení“ rezistoru nebo jinému mechanickému poškození během manipulace se vzorky).

Uvádím zde pro přehlednost pouze výsledné grafy, ve kterých je uveden vždy pouze výsledný medián odporu dané skupiny vzorků. Všechna vstupní data a podrobnější výsledky jsou uvedeny v přílohách. Vzhledem k dramatickým nárůstům hodnot odporu mezi jednotlivými fázemi měření mají všechny následující grafy na vertikální ose logaritmické měřítko. Modré sloupce znázorňují vzorky s rezistory lepenými na standardním měděném povrchu. Červené sloupce vyjadřují vzorky na dražším, pozlaceném povrchu.

Ve výsledných grafech pro měření elektrického odporu bohužel nejsou znázorněny výsledky po první a druhé fázi klimatického stárnutí. To je z toho důvodu, že spousta hodnot odporu v těchto fázích měření byla mimo rozsah miliohmetru HP 4338B, který byl pro toto měření použit. To byla poměrně neočekávaná situace a v krátké době, kterou jsme na změření měli, bohužel nebyl k dispozici jiný měřicí přístroj s větším rozsahem. Hodnoty odporu, které byly mimo rozsah miliohmetru, tak bohužel nebyly zaznamenány a vyhodnocení pouze z ostatních změřených údajů by bylo velmi zkreslené. Proto zde tedy není uvedeno.

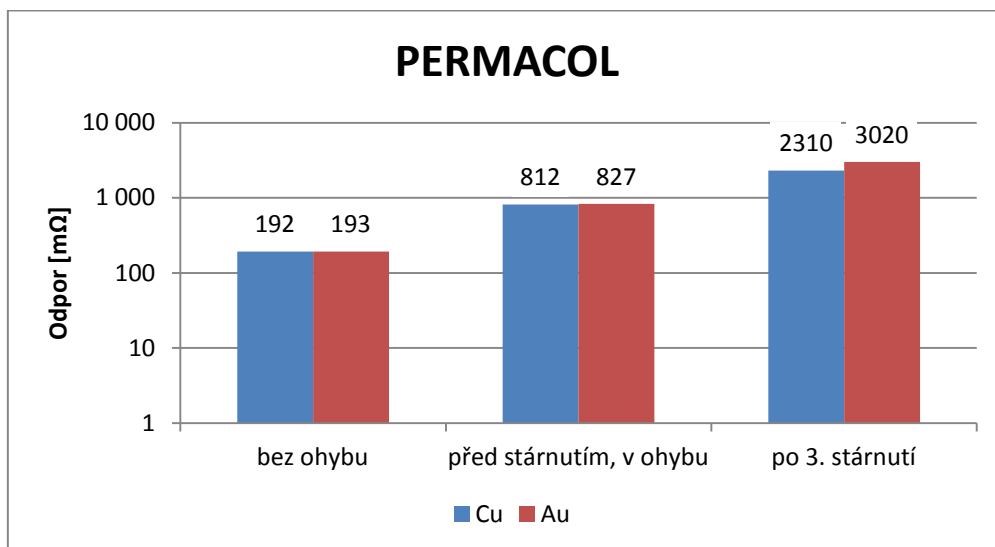
a) Lepidlo AX12LVT



Z grafu vidíme, že před ohnutím DPS se vzorky prakticky nebyl rozdíl mezi měděným a zlaceným povrchem. Ohnutím DPS se sice odpor výrazně zvýšil u obou skupin vzorků, ale u Au povrchu bylo zhoršení až téměř čtyřikrát větší než u Cu povrchu. Následně teplotně-vlhkostní stárnutí dále prohlubovalo rozdíl mezi oběma povrchy. Na konci procesu stárnutí

vykazovaly vzorky odpor v řádu desítek Ohmů, lze tedy mluvit už o prakticky nepoužitelných spojích.

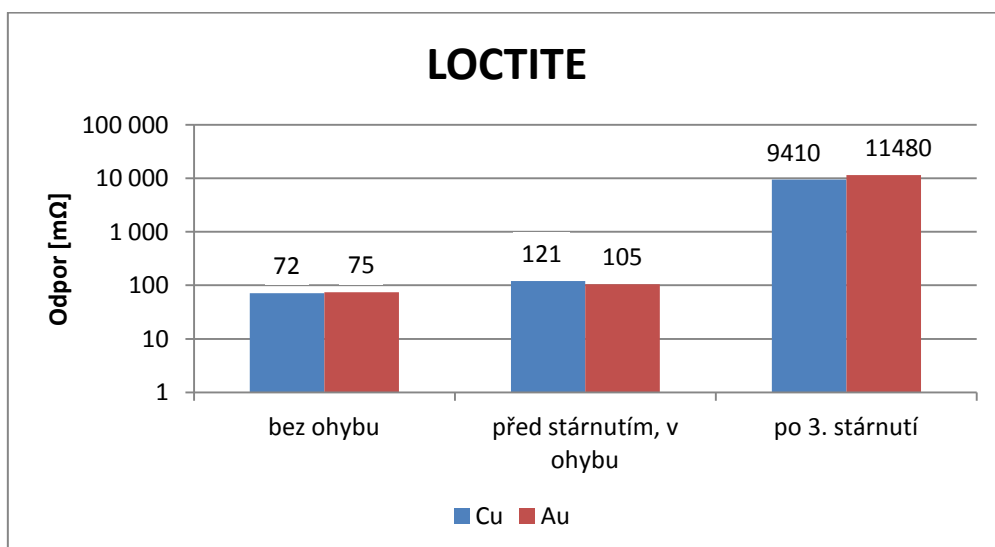
b) Lepidlo PERMACOL



I u lepidla PERMACOL nebyl před ohybem desky se vzorky žádný rozdíl mezi Cu a Au povrchem. Na rozdíl od adheziva AX12LVT se ale po celou dobu měření mezi oběma skupinami netvořil nijak výrazný rozdíl. Ani po ohybu desky totiž k žádnému rozdílu nedošlo, až v závěru teplotně-vlhkostního stárnutí se o něco více zhoršily vzorky na Au povrchu.

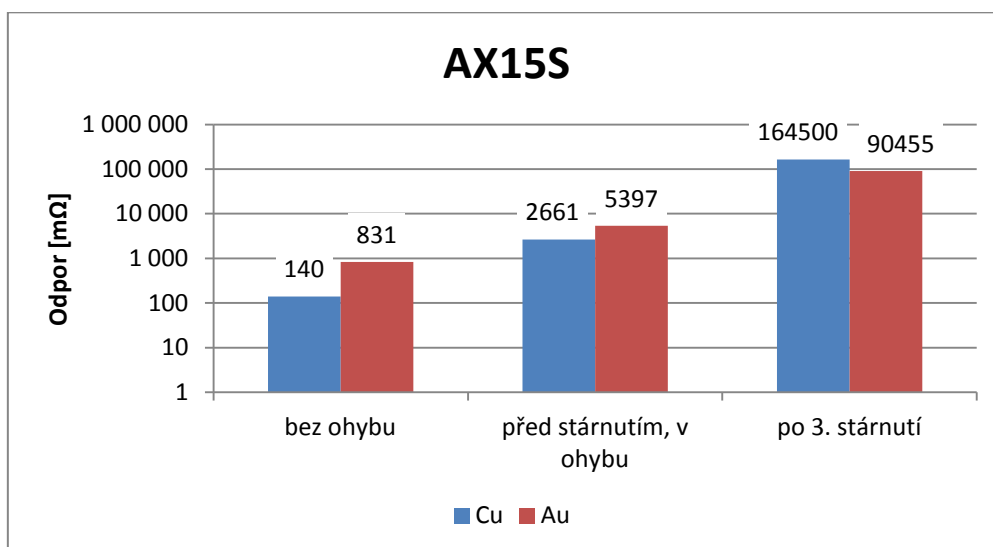
V porovnání s předchozím lepidlem byly sice odpory na neohnuté desce vyšší než v případě AX12LVT, ale ohybem ani stárnutím nedošlo ani zdaleka k tak dramatickému zhoršení. Proto bych spoje lepené adhezivem PERMACOL označila jako kvalitnější.

c) Lepidlo LOCTITE



V případě adheziva LOCTITE se neprojevil žádný výraznější rozdíl mezi oběma povrchy za celou dobu měření. Na rozdíl od předchozích lepidel dokonce došlo pouze k mírnému zvýšení odporu spojů po ohnutí DPS. K většímu zhoršení hodnot došlo až při teplotně-vlhkostním stárnutí. Toto lepidlo je tedy velmi kvalitní z hlediska mechanické odolnosti, ale z hlediska teplotně-vlhkostní odolnosti je spíše průměrem.

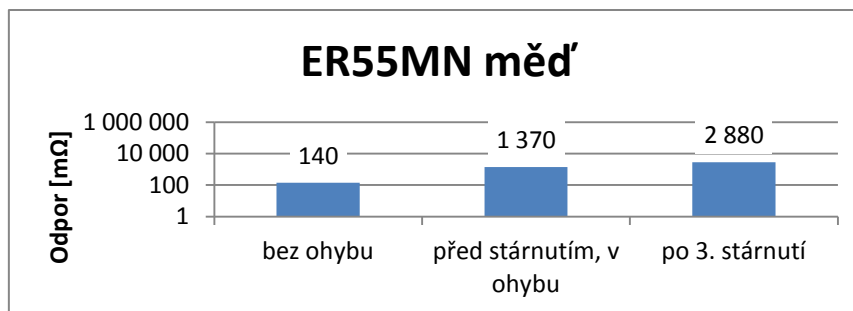
d) Lepidlo AX15S



Lepidlo AX15S je výjimečné tím, že byl již od začátku patrný rozdíl mezi spoji realizovanými na Au a na Cu povrchu. Vzorky na pozlaceném povrchu totiž vykazovaly až šestkrát větší odpor než vzorky na měděném povrchu. Tento rozdíl přetrval i po ohybu DPS, během kterého došlo k dalšímu výraznému zhoršení kvality spojů. Během teplotně-vlhkostního stárnutí se odpor spojů zhoršil natolik, že lze prakticky všechny spoje lepené tímto adhezivem označit za nefunkční a nelze tak dělat nějaké podrobnější závěry. Hodnoty uvedené v třetím sloupci grafu jsou tak pouze orientační.

e) Lepidlo ER55MN

Toto lepidlo bylo vybráno především pro porovnání rozdílu mezi přerušovaným a kontinuálním teplotně-vlhkostním stárnutím. Z tohoto důvodu máme pro přerušované stárnutí pouze vzorky na Cu povrchu, nelze tedy provést porovnání s Au povrchem. Výsledky spojů na Cu povrchu znázorňuje následující graf.

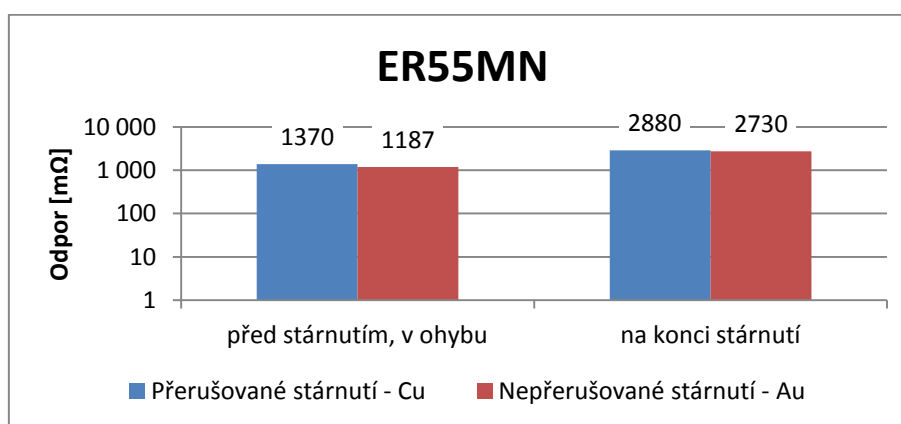


Vidíme, že hodnoty se nejvíce blíží naměřeným výsledkům lepidla PERMACOL. Před ohybem byla kvalita spojů spíše průměrná, to samé se dá říci i o situaci po ohybu. Překvapivě dobře ale dopadlo teplotně-vlhkostní stárnutí. Došlo zde totiž k nejmenšímu zhoršení kvality spojů ze všech sledovaných adheziv.

2.6.1.2. Porovnání přerušovaného a nepřerušovaného stárnutí v ohybu

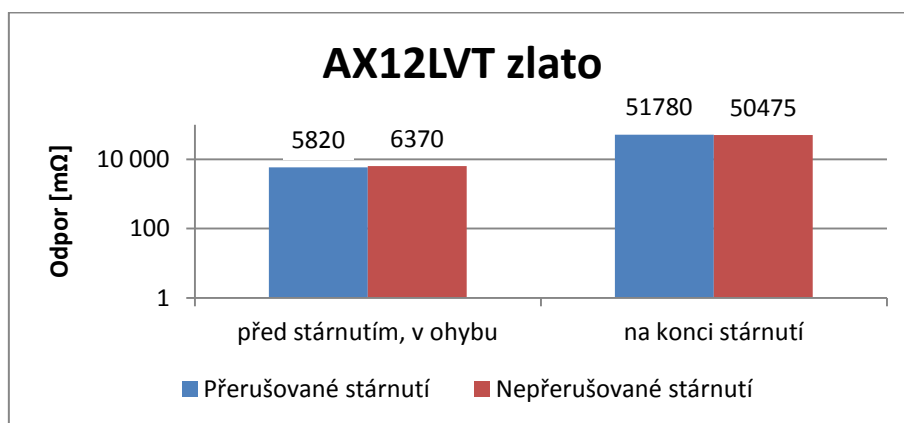
Pro toto porovnání máme pouze tři druhy vzorků: lepidla ER55MN a AX12LVT na pozlaceném povrchu a PERMACOL na měděném povrchu. V případě adheziva PERMACOL se jedná dokonce pouze o čtyři vzorky.

a) Lepidlo ER55MN



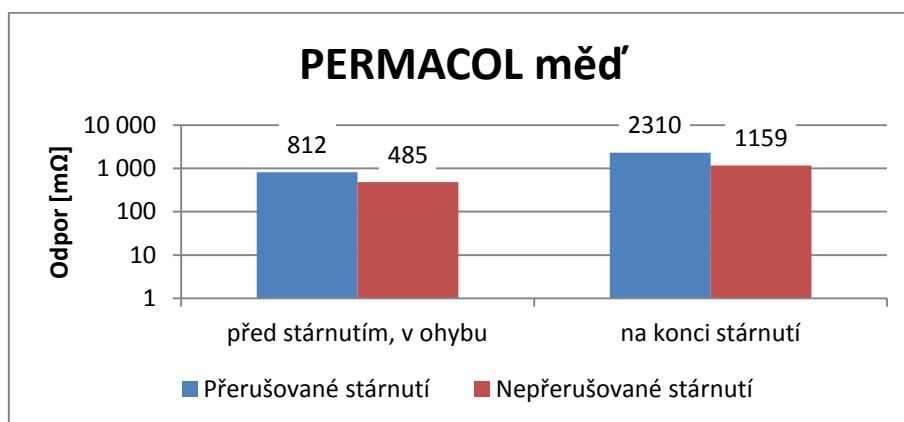
V případě lepidla ER55MN vykazovaly mírně lepší výsledky před zahájením stárnutí vzorky na zlaceném povrchu. Tento drobný rozdíl zůstal patrný i po ukončení stárnutí. Nebyl zde tudíž zaznamenán žádný vliv toho, zda se jednalo o přerušované nebo nepřerušované stárnutí.

b) Lepidlo AX12LVT



U adheziva AX12LVT na zlaceném povrchu vidíme, že před zahájením stárnutí vykazovala skupina vzorků určená pro nepřerušované stárnutí o něco vyšší odpor než skupina určená pro přerušované stárnutí. To se však v průběhu tepelně-vlhkostního stárnutí změnilo a po jeho ukončení měla skupina vzorků s nepřerušovaným stárnutím naopak nižší odpor. Vzhledem k prudkému nárůstu odporu během stárnutí a poměrně malému počtu vzorků ale nelze potvrdit nějaký vliv přerušovaného/nepřerušovaného stárnutí.

c) Lepidlo PERMACOL



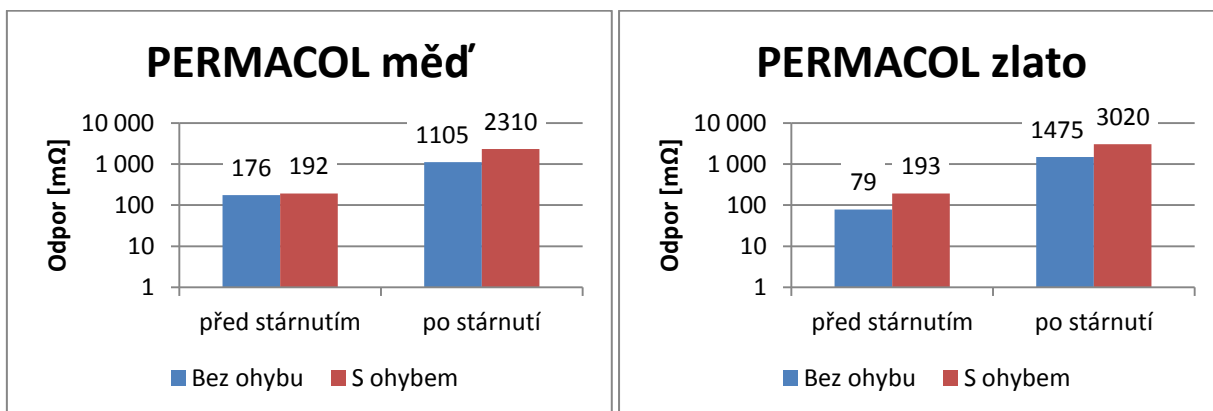
Vidíme, že v případě adheziva PERMACOL na Cu povrchu byl u skupiny vzorků určené pro nepřerušované stárnutí odpor téměř o polovinu nižší než u druhé skupiny vzorků. Odpor u obou skupin během stárnutí více než dvojnásobně vzrostl, nicméně rozdíl mezi oběma skupinami zůstal stejný. Vliv přerušovaného/nepřerušovaného stárnutí tudíž nebyl prokázán.

Ani u jednoho ze tří testovaných lepidel nebyl naměřen prokazatelný rozdíl mezi přerušovaným a nepřerušovaným stárnutím. Lze tedy prohlásit, že občasné vyjmutí vzorků z klimatické komory a jejich následné navrácení nemá na výsledky měření žádný výraznější vliv.

2.6.1.3. Porovnání stárnutí vzorků s ohybem DPS a bez ohybu DPS

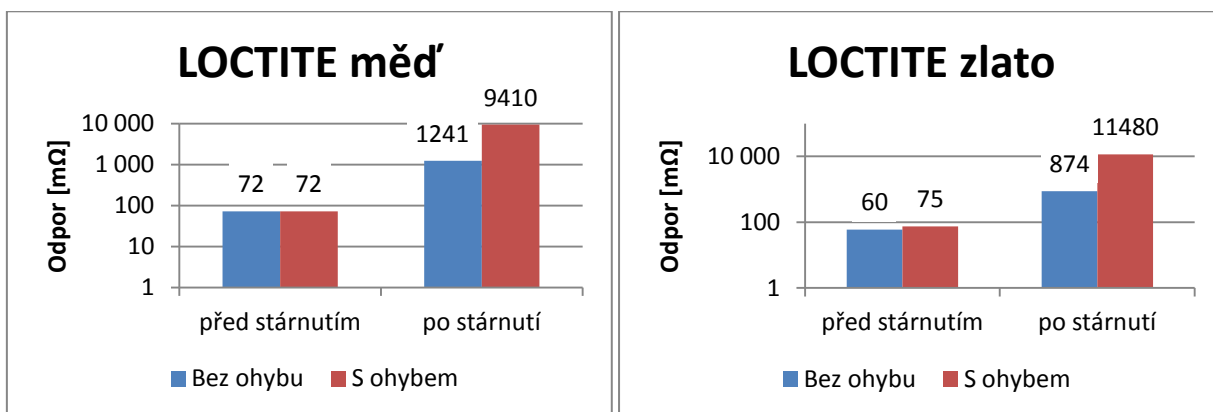
V této části jsou porovnány vzorky, které nebyly zatíženy ohybem, se vzorky stárnutými v ohybu. Porovnávají se vždy výchozí hodnoty odporu vzorků (tedy v obou případech bez ohybu) a také konečné hodnoty odporu po ukončení celého procesu stárnutí.

a) Lepidlo PERMACOL



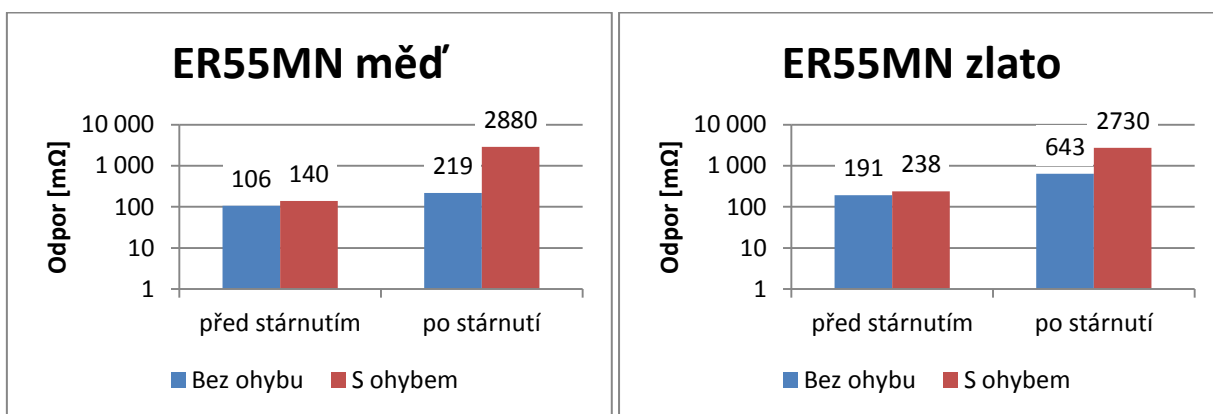
Levý graf znázorňuje vzorky realizované na DPS se standardním měděným povrchem. Pravý graf vyjadřuje hodnoty odporu vzorků na pozlaceném povrchu. Vidíme, že i přes to, že všechny hodnoty odporu před stárnutím byly srovnatelné, po ukončení stárnutí vykazují ohnuté vzorky dvakrát větší odpor než vzorky na rovné DPS. Vliv ohnutí je tedy značný.

b) Lepidlo LOCTITE



Podobně jako v předchozím případě, i zde jsou hodnoty před stárnutím srovnatelné. U rovných desek dokonce došlo i k obdobnému zhoršení výsledků. U prohnutých DPS se ale hodnoty několikanásobně zhoršily. Na měděném povrchu vykazovaly vzorky na rovných deskách 7,6krát nižší odpor než na těch prohnutých, v případě zlaceného povrchu dokonce až 13,1krát.

c) Lepidlo ER55MN



V případě adheziva ER55MN je patrný rozdíl v odporu vzorků před stárnutím na měděném a na zlaceném povrchu. Rozdíl mezi oběma skupinami byl znatelný i po ukončení stárnutí. Na Cu povrchu byl výsledný odpor ohnutých vzorků 13krát vyšší než vzorků na rovných deskách, na Au povrchu pouze 4krát.

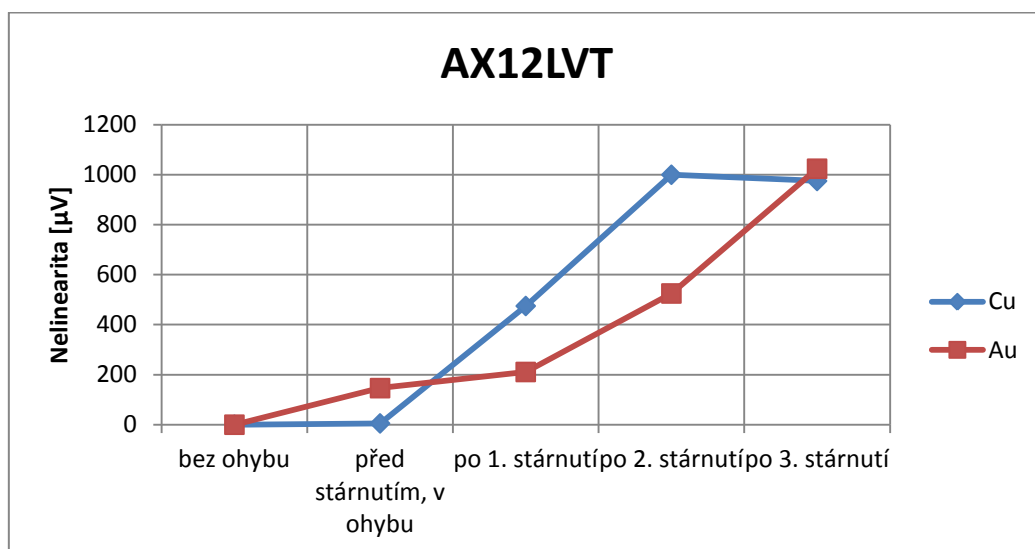
Lepidlo PERMACOL se tedy v porovnání s ostatními jeví jako poměrně odolné vůči mechanickému namáhání. Naopak u adheziv LOCTITE a ER55MN má prohnutí desky velice negativní vliv na jejich vlastnosti. Je však potřeba dodat, že pro účely testování byl zvolen velmi silný průhyb desek. V reálných aplikacích by k takto extrémnímu namáhání pravděpodobně nedošlo a zhoršení vlastností by nebylo tak dramatické.

2.6.2. Měření nelinearity

2.6.2.1. Porovnání jednotlivých lepidel a různých povrchů DPS

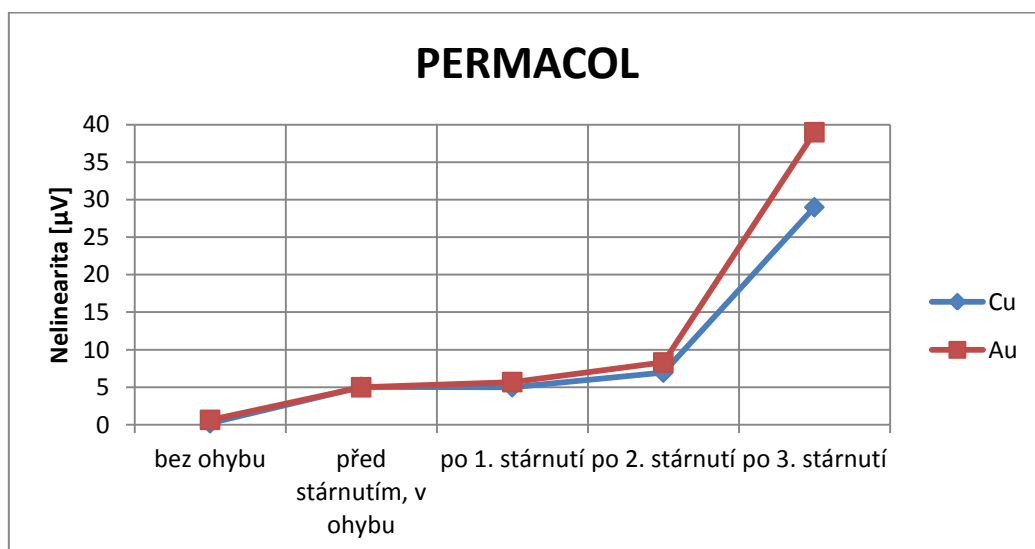
Stejně jako v případě vyhodnocování odporu spojů, i zde jsou všechny výsledné hodnoty nelinearity spojů mediánem dané skupiny vzorků. Především ve fázi vlhkostně-teplotního stárnutí docházelo u některých vzorků k takovému zhoršení nelinearity, že již nebylo možné změřit jejich hodnotu pomocí našeho měřicího přístroje. V takovém případě byla do tabulky zaznamenána „nekonečná“ hodnota nelinearity, aby nedocházelo k ovlivnění statistiky tím, že ze sledované skupiny vzorků odstraníme nejméně kvalitní kusy. Všechny uvedené hodnoty jsou v μV .

a) Lepidlo AX12LVT



Z grafu vidíme, že ačkoliv u vzorků na Cu povrchu neměl ohyb z hlediska nelinearity téměř žádný vliv, u Au povrchu došlo k výraznému zhoršení. Medián nelinearity totiž vzrostl z ideálních 0 μV na 147 μV . Během teplotně-vlhkostního stárnutí ale došlo k prudkému zhoršování kvality spojů na Cu povrchu a jako lepší se tak začal jevit Au povrch. V poslední fázi stárnutí se ale vzorky na Cu povrchu přestaly zhoršovat a obě skupiny nakonec skončily na stejné hodnotě nelinearity 1 mV.

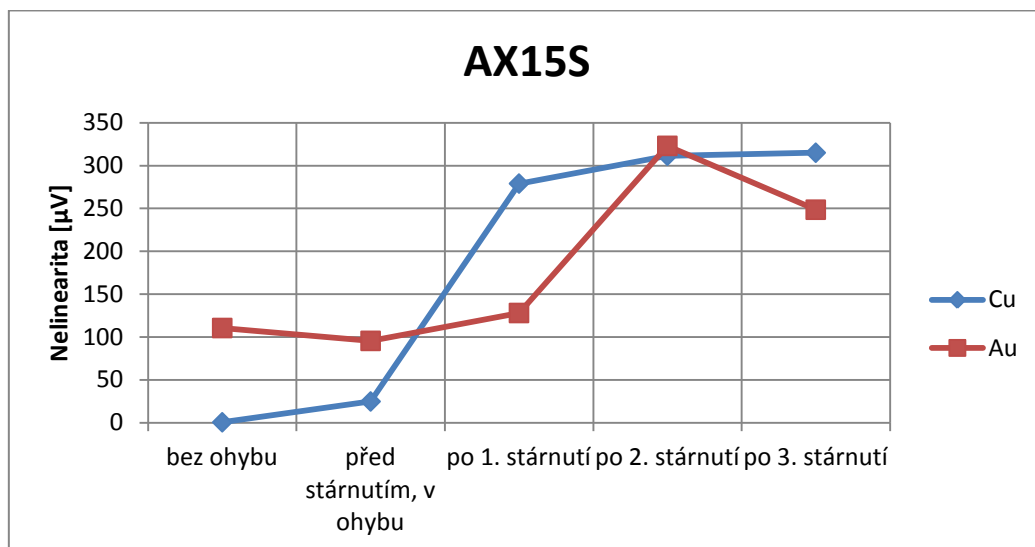
b) Lepidlo PERMACOL



Lepidlo PERMACOL lze považovat za nejlepší adhezivo z hlediska nelinearity. Až do konce druhé fáze teplotně-vlhkostního stárnutí se totiž projevovalo jako téměř ideální a to bez ohledu na materiál povrchu DPS. Pouze v úplném závěru měření došlo k mírné odchylce, Cu povrch vykazoval o 10 μV nižší nelinearitu než Au povrch. Během poslední

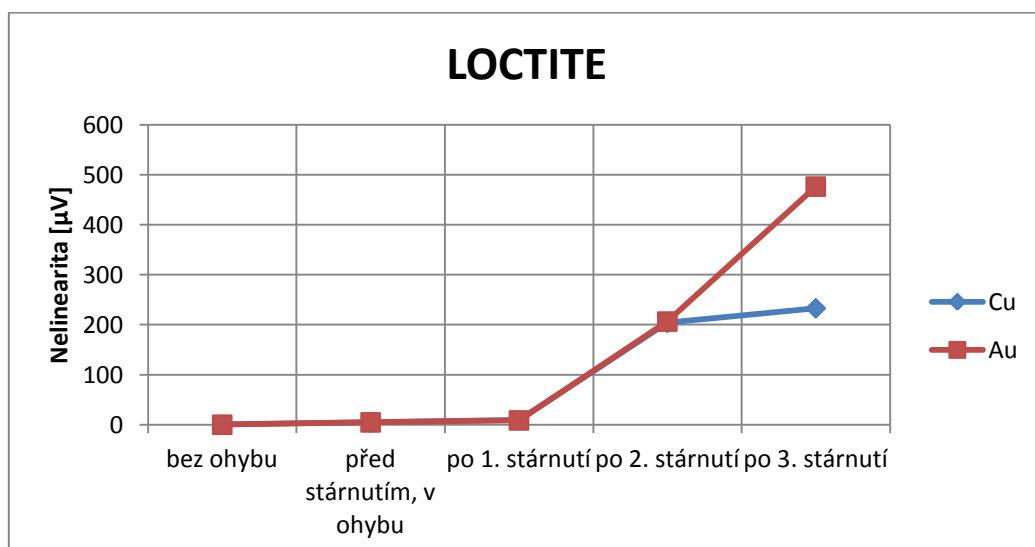
fáze měření také došlo k celkovému zvýšení nelinearity, ale v porovnání s ostatními lepidly je toto zhoršení téměř zanedbatelné.

c) Lepidlo AX15S



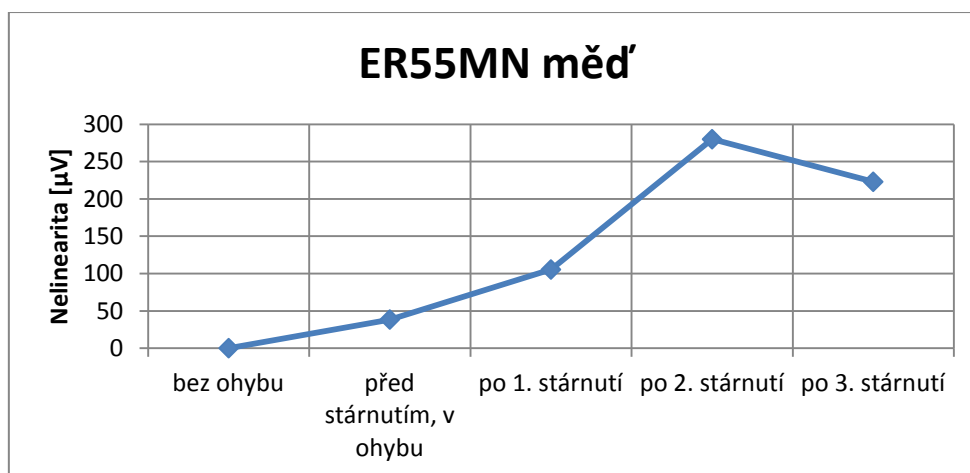
Lepidlo AX15S se jeví jako nejvíce nestabilní jak z hlediska elektrického odporu, tak z hlediska nelinearity spojů. U nemalého množství vzorků docházelo mezi jednotlivými fázemi měření buď k výraznému zhoršení kvality spojů nebo i k jejich neočekávanému zlepšení. Náhlé zhoršení mohlo být způsobeno vznikem mikrotrhlin ve spoji vlivem vysoké vlhkosti nebo vznikem Cu-Ag, resp. Au-Ag článků ve spoji. Nepředvídatelné zlepšení hodnot nelinearity si lze vysvětlit opětovným průchodem porušených spojů vysokou teplotou, která byla velmi blízká vytvrzovací teplotě. Mohlo tak dojít k nápravě některých vzniklých mikrotrhlin ve spoji.

d) Lepidlo LOCTITE



V případě adheziva LOCTITE nebyl až do konce druhé fáze teplotně-vlhkostního stárnutí patrný žádný rozdíl mezi vzorky na Cu a Au povrchu. Pouze na konci poslední fáze měření došlo k výraznější odchylce, a to ve prospěch levnějšího Cu povrchu. Výraznější poškození spojů z hlediska nelinearity nastalo až při druhé fázi stárnutí, lepidlo LOCTITE lze tedy označit jako poměrně odolné vůči mechanickým i klimatickým vlivům. Další namáhání však již nevydrželo a v závěru měření spoje dosahovaly nelinearity až 500 μV .

e) Lepidlo ER55MN

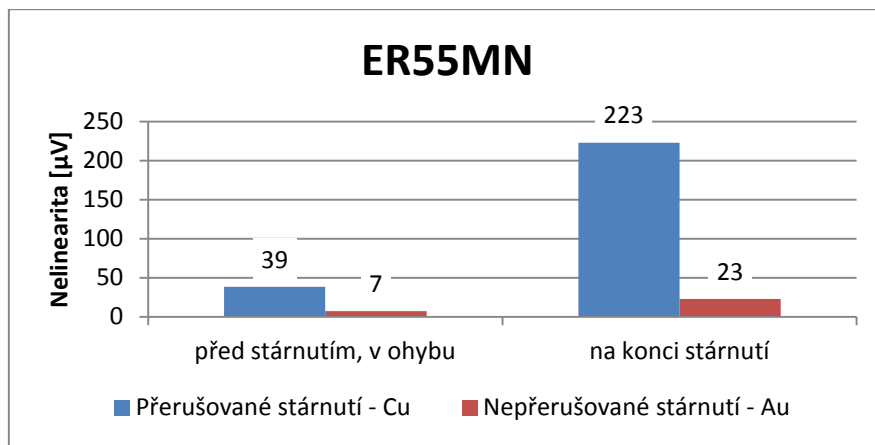


U lepidla ER55MN nemáme porovnání se vzorky na Au povrchu. Nicméně z grafu vidíme, že hodnoty nelinearity stoupaly v průběhu měření téměř až k 300 μV . V porovnání s ostatními adhezivy je tak spíše méně kvalitní. V posledních fázích měření docházelo k podobným výkyvům hodnot, jako v případě AX15S.

Nejvyšších hodnot nelinearity dosahovalo lepidlo AX12LVT, a to až 1V. Největší výkyvy hodnot a tudíž i jistá nespolehlivost se objevily v případě adheziva AX15S. Toto lepidlo disponovalo také velmi vysokou nelinearitou. Naopak bezkonkurenčně nejlépe z tohoto testu vychází PERMACOL s téměř nulovou nelinearitou a velkou odolností. Jako velmi dobrý lze označit také LOCTITE.

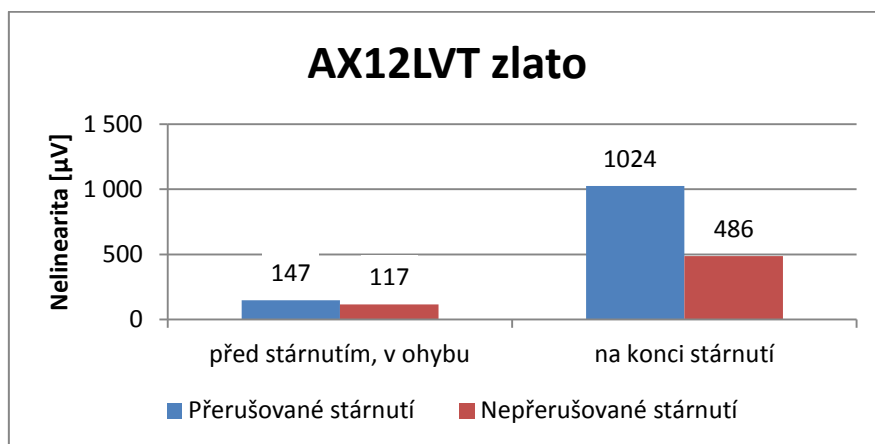
2.6.2.2. Porovnání přerušovaného a nepřerušovaného stárnutí v ohybu

a) Lepidlo ER55MN



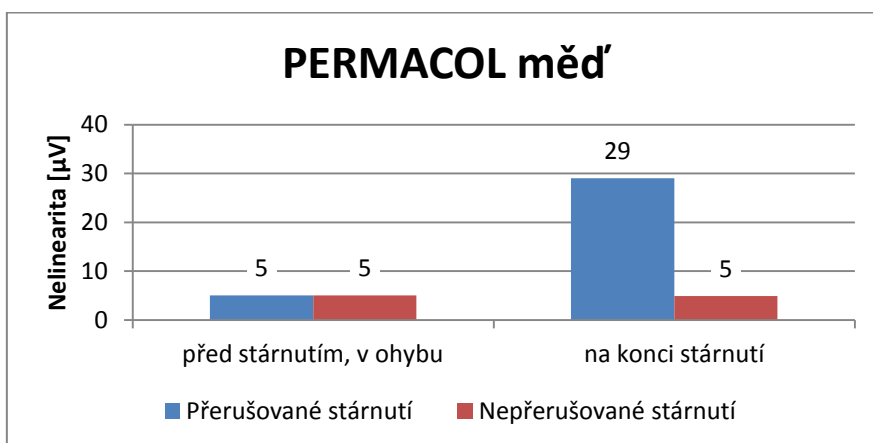
Zde byl poměrně výrazný počáteční rozdíl v nelinearitě u Cu a Au povrchu, ve prospěch pozlacené varianty. To bohužel komplikuje porovnání vlivu přerušovaného/nepřerušovaného stárnutí. Přesto lze říci, že nelinearita se u skupiny s přerušovaným stárnutím v průběhu stárnutí zvýšila 5,7x, kdežto u skupiny s nepřerušovaným stárnutím 3,3x, tedy o něco méně.

b) Lepidlo AX12LVT



V případě AX12LVT na pozlaceném povrchu byly naštěstí počáteční hodnoty nelinearity obou skupin srovnatelné. Na konci celého procesu stárnutí ale došlo k diverzifikaci a skupina vzorků s nepřerušovaným stárnutím vykazovala o polovinu nižší medián nelinearity než skupina s přerušovaným stárnutím.

c) Lepidlo PERMACOL

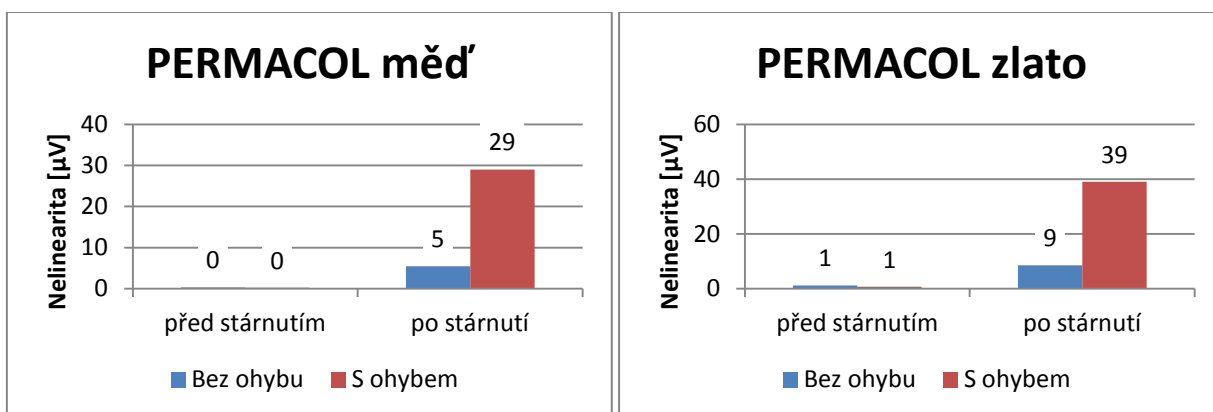


Výsledné porovnání pro PERMACOL je opět nutné brát s určitou rezervou, protože pro nepřerušované stárnutí máme pouze čtyři vzorky přilepených rezistorů, což není dostatečně velká skupina pro statistiku. Nicméně z grafu vidíme, že počáteční hodnoty nelinearity obou skupin byly shodné a po ukončení stárnutí došlo k zhoršení kvality spojů pouze ve skupině s přerušovaným stárnutím.

Na rozdíl od měření elektrického odporu spojů byl u měření nelinearity zaznamenán poměrně velký rozdíl hodnot mezi přerušovaným a nepřerušovaným stárnutím. U všech třech sledovaných lepidel totiž došlo k většímu zhoršení kvality spojů, pokud byly stárnuté přerušovaně.

2.6.2.3. Porovnání stárnutí vzorků s ohybem DPS a bez ohybu DPS

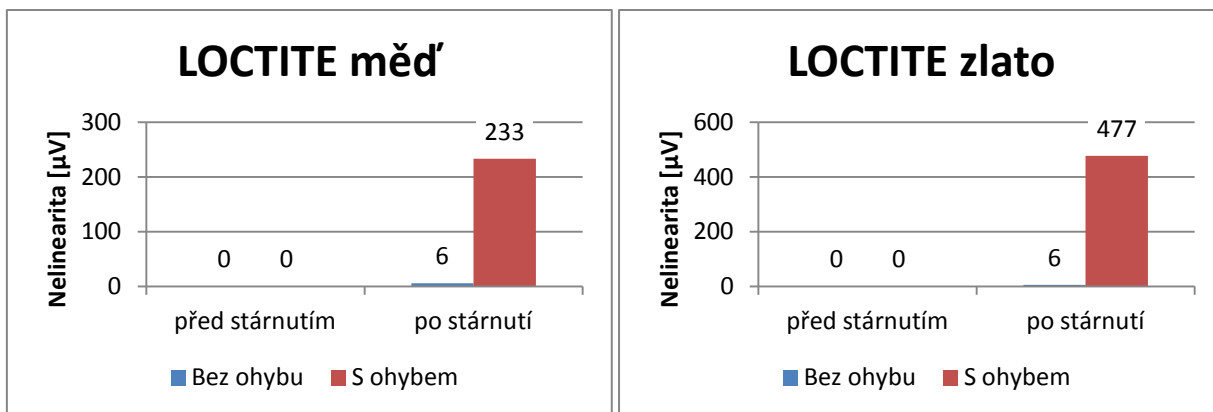
a) Lepidlo PERMACOL



Před stárnutím vykazovaly všechny skupiny vzorků prakticky nulovou nelinearitu. Na konci stárnutí se nelinearita vzorků na rovných DPS zvýšila jen nepatrně, o 5-8μV.

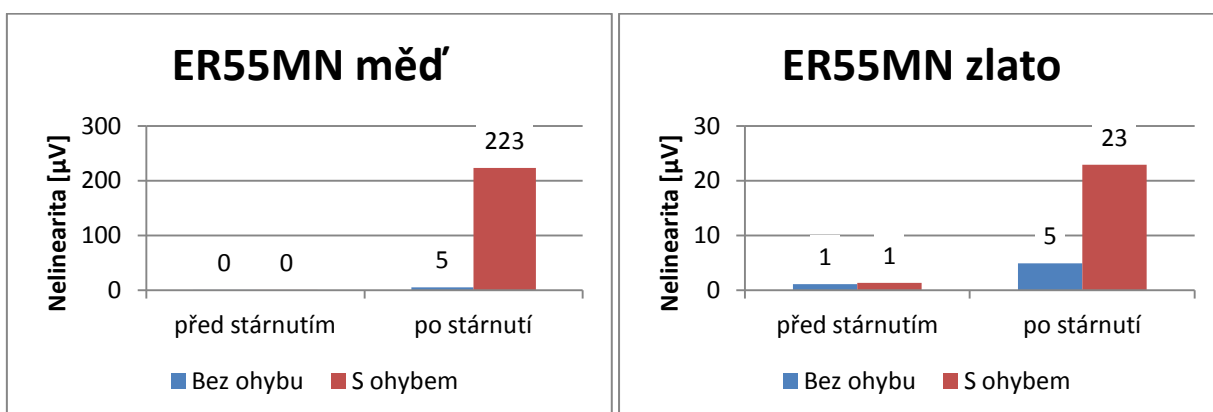
V případě ohnutých DPS bylo toto zvýšení mnohem větší, o 29-38 μV.

b) Lepidlo LOCTITE



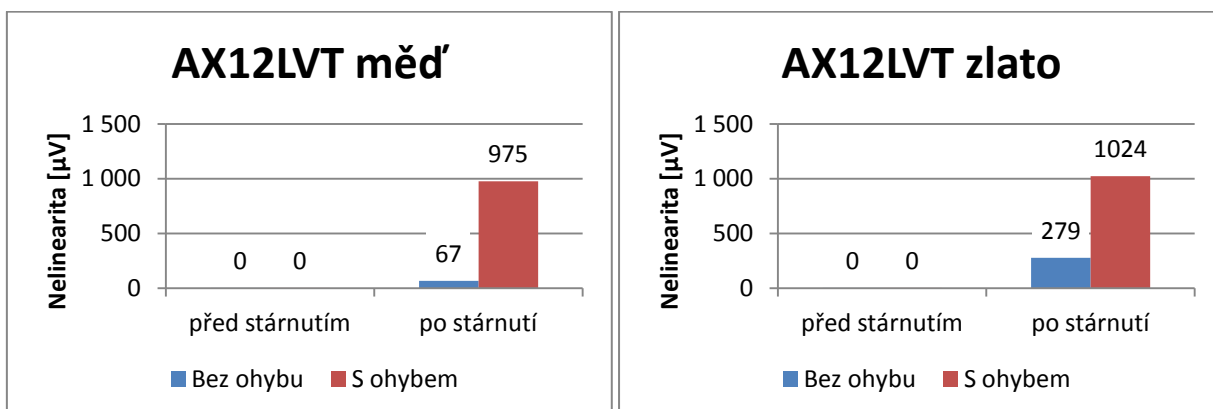
U adheziva LOCTITE došlo k výraznému zvýšení nelinearity spojů pouze po celém procesu stárnutí u vzorků s ohybem. Toto zvýšení bylo o něco dramatičtější u Au povrchu DPS oproti Cu povrchu. Vzorky, které nebyly ohnuty, nevykázaly žádné významné zhoršení kvality z hlediska nelinearity.

c) Lepidlo ER55MN



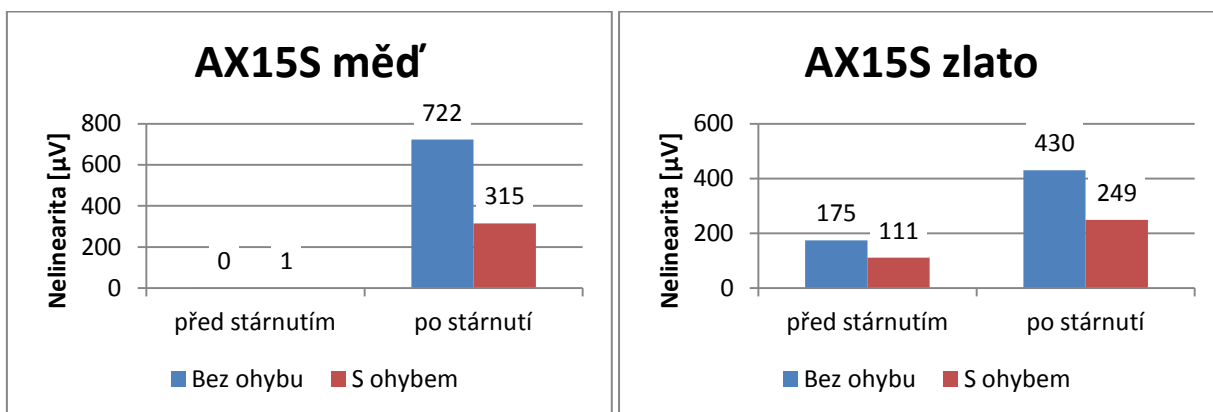
Obdobně jako v předchozích dvou případech, i zde prokázaly zhoršení pouze vzorky osazené na ohnutých DPS. Zvýšení nelinearity spojů bylo mnohem výraznější u vzorků na měděném povrchu, než na pozlacené variantě.

d) Lepidlo AX12LVT



V případě adheziva AX12LVT došlo v porovnání s předchozími lepidly k relativně velkému zvýšení nelinearity i u vzorků na rovných DPS. To však nemění nic na tom, že k výrazně většímu zhoršení nelinearity došlo u ohnutých desek. Rozdíl mezi hodnotami ohnutých a neohebných vzorků byl o něco výraznější na měděném povrchu.

e) Lepidlo AX15S



Lepidlo AX15S je jediným adhezivem, u kterého byly naměřeny lepší výsledky na ohnutých DPS, než u vzorků namáhaných pouze klimaticky. Vzhledem k poměrně velké nesourodosti a zdánlivé nahodilosti výsledků odporu i nelinearity u tohoto lepidla však lze tuto anomálii vysvětlit spíše jen jako jakousi statistickou odchylku. Pro ověření výsledků by v tomto případě bylo potřeba mnohem více vzorků, které jsme však neměli k dispozici. Účinky stárnutí se zde projeví více u vzorků lepených na Cu povrchu.

Z naměřených výsledků všech lepidel je možné konstatovat, že klimatické stárnutí nemělo na zvýšení nelinearity spoju téměř žádný vliv. Zhoršení kvality vykazovali téměř výhradně vzorky, které byly namáhány i mechanickým ohybem.

Shrnutí: Při porovnání výsledků měření elektrického odporu a měření nelinearity lze říci, že jsou si tyto výsledky podobné. Tam, kde došlo k zhoršení kvality spoju z hlediska jejich odporu, se obdobně zvýšila i nelinearita. V případě přerušovaného klimatického stárnutí kombinovaného s mechanickým namáháním ohybem je výjimkou pouze lepidlo ER55MN a do jisté míry i LOCTITE, kde se v průběhu klimatického stárnutí zvýšila nelinearita o něco více než elektrický odpor.

Rozdíl nastal také u porovnání přerušovaného a nepřerušovaného stárnutí. U měření odporu totiž nebyl prokázán žádný vliv případného přerušování stárnutí, kdežto u nelinearity se ukázalo, že v případě přerušování a následného obnovení klimatického stárnutí se hodnoty nelinearity zvyšují.

Při sledování vlivu mechanického namáhání ohybem na výsledky klimatického namáhání si výsledky měření odporu a nelinearity opět odpovídaly - klimatické namáhání mělo větší dopad na

kvalitu spojů, pokud byly vzorky současně namáhány i mechanicky. Jedinou výjimkou bylo adhezivo PERMACOL, u kterého při měření odporu tento vliv nebyl prokázán.

Pro celkové vyhodnocení a porovnání kvality jednotlivých lepidel bych jako nejkvalitnější označila PERMACOL, který se ukázal jako nejvíce odolný jak vůči mechanickému namáhání ohybem, tak vůči klimatickému namáhání. O něco hůře, nicméně také velmi dobře dopadlo lepidlo LOCTITE, které bylo velice odolné mechanickému namáhání, ale prokázalo mírné zhoršení během klimatického namáhání. Výrazně hůře na tom byla adheziva ER55MN a AX12LVT, která vykazovala značné zhoršení při ohybu i následném teplotně-vlhkostním stárnutí. Naprosto nejhůře ale dopadlo AX15S, které disponovalo výraznou nespolehlivostí a nízkou odolností ve všech fázích testování.

Závěr

Diplomová práce krátce shrnuje jednotlivé typy elektricky vodivých lepidel, jejich složení a vlastnosti. Popisuje teorii elektricky vodivých lepidel. Jednou z hlavních částí této práce je ale popis realizace souboru elektricky vodivých adhezních spojů určených pro následné měření charakteristik těchto spojů. Pro tyto účely bylo použito celkem pět různých lepidel, dvě jednosložková a tři dvousložková. V dalších kapitolách jsou shrnuty výsledky všech měření odporu a nelinearity při různém namáhání adhezních spojů a porovnány různé faktory při tvorbě spojů.

Porovnávány byly především jednotlivá adheziva mezi sebou, vliv materiálu vodivých cest, různé typy použitých rezistorů, rozdílné vytvrzovací teploty nebo vliv dodatečného žíhání. I na základě výsledků z první části měření byly stanoveny sledované faktory pro druhou část měření, která se týkala především pozorování změn vlastností vodivých spojů při klimatickém stárnutí a mechanickém namáhání ohybem. Pro tuto část měření bylo samozřejmě nutné zhotovit zcela novou sadu vzorků.

Z výsledků je patrné, že zhoršení elektrického odporu vždy nějakým způsobem souviselo i se zhoršením nelinearity voltampérové charakteristiky. U velké části spojů došlo už při ohnutí DPS k tak velkému nárůstu elektrického odporu a nelinearity, že by je v praxi už nebylo možné použít a byly by vyhodnoceny jako vadné. Z toho vyplývá, že byl možná zvolen příliš velký rádius ohybu, který měl na vzorky likvidující účinek. Tím možná vzniká námět pro další práce, které by mohly sledovat vliv velikosti tohoto rádiusu.

Všechny vzorky byly nakonec podrobeny i klimatickému stárnutí, které dokázalo spolehlivě „zničit“ i spoje, které úspěšně odolaly mechanickému zatížení ohybem. K tomu stačily pouhé tři cykly stárnutí, každý zhruba v rozsahu 100 hodin. Pro podrobnější pozorování klimatických vlivů by tak bylo zajímavé buď zkrátit dobu jednoho cyklu nebo spíše zmírnit klimatické podmínky.

Zajímavostí je, že při porovnání výsledků jednotlivých lepidel se dají jako kvalitnější označit adheziva Permacol a Loctite, která jsou volně k dostání v běžných e-shopech, na rozdíl od lepidel od firmy Amepox, která se musí objednávat na dotaz.

Tato práce rozšiřuje řady akademických a vědeckých studií testujících vlastnosti elektricky vodivých lepidel. Může přinášet náměty na témata budoucích prací, které mohou přispět k dalšímu zdokonalování technologie elektricky vodivých lepidel a vést tak k přiblížení kvalit lepidel dosud stále ještě lepším pájkám.

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Stříbrné šupinky	9
Obr. 1.2 Grafítové částice a) bez úpravy povrchu, b) s povrchem pokoveným stříbrem.....	10
Obr. 1.3 a) Kontaktní body mezi mikrokuličkami obsaženými v lepidle, 10 b) kontaktní body mezi šupinkami	10
Obr. 1.4 a) Stříbrné kuličky, b) Stříbrná nanovlákna	10
Obr. 1.5 Perkolační křivka	11
Obr. 1.6 Výroba anizotropně vodivého spoje	12
Obr. 2.1 Rozdíl mezi lineárním a nelineárním průběhem VA charakteristiky	14
Obr. 2.2 Čtyřbodová metoda měření odporu	14
Obr. 2.3 Použité měřicí přístroje	15
Obr. 2.4 Měření elektrického odporu neosazených rezistorů.....	15
Obr. 2.5 Způsob kontaktování testovací desky během měření nelinearity neosazených spojů	16
Obr. 2.6 Rozměry námi použitých rezistorů	17
Obr. 2.7 Layout testovací desky určené pro osazení součástkami v první části měření	17
Obr. 2.8 Detail testovací desky	18
Obr. 2.9 Layout testovací desky určené pro neosazené spoje	18
Obr. 2.10 Layout testovací desky určené pro druhou část měření	19
Obr. 2.11 Masky pro nanášení adheziva šablonovým tiskem v první části měření	19
Obr. 2.12 Masky pro nanášení adheziva šablonovým tiskem v druhé části měření.....	20
Obr. 2.13 Manuální nanášecí zařízení pro šablonový tisk	21
Obr. 2.14 Testovací desky s nanášeným adhezivem	21
Obr. 2.15 Detail osazených adhezních spojů	22
Obr. 2.16 Desky přišroubované k ohýbací platformě	23
Obr. 2.17 Klimatická komora CTS 10/200	24

Literatura

- [1] ŽALSKÁ, Pavlína. Porovnání pájek a elektricky vodivých lepidel. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Ivana Beshajová Pelikánová, Ph.D.
- [2] PLAČEK, Martin. Sledování vybraných vlastností elektricky vodivých lepidel. Praha, 2010. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Mach, CSc.
- [3] POŘÍZEK, Michal. Elektricky vodivá lepidla. Zlín, 2016. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
- [4] RADEV, Radoslav. Studium vlastností vybraných typu elektricky vodivých lepidel. Praha, 2008. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Mach, CSc.
- [5] TONGXIANG, L., G. WENLI, Y. YINGHUI a T. CHUNHE. Electroless plating of silver on graphite powders and the study of its conductive adhesive. International Journal of Adhesion and Adhesives. 2008, (28), 55-58.
- [6] MACH, Pavel. Modifikovaná elektricky vodivá lepidla. Electroscope [online]. 2009, (2) [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://ek702p10-ket.fel.zcu.cz/images/PDF/Rocnik2009/cislo2_2009_Diagnostika/r3c2c7.pdf

[7] Rheological Characterisation of Diglycidylether of Bisphenol-A (DGEBA) and Polyurethane (PU) Based Isotropic Conductive Adhesives. INTECH [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/rheology-new-concepts-applications-and-methods/rheological-characterisation-of-diglycidylether-of-bisphenol-a-dgeba-and-polyurethane-pu-based-isotr>

[8] Základní pojmy. Elektronika 1.0 [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://inter.elektronika.sweb.cz/1.htm>

[9] Keysight (formerly Agilent) 4338B. TRSRenTelco [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.trsrntelco.com/category/electrical-and-industrial-test-equipment/low-resistance-ohmmeters/keysight-formerly-agilent/4338b>

[10] 1206. GES electronics [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/elektronicke-soucastky/rezistory/smd-rezistory/1206/SAF45.html>

[11] Pájecí technika [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.pajecitechnika.cz/www-pajeci-technika-cz/eshop/18-1-SMT-sitotisky/0/5/306-SMTsitotisk-SAB-69>

[12] Climatic Test Cabinets, Series C. CTS [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.cts-umweltsimulation.de/en/products/climate-c.html>

PŘÍLOHY

- Technické listy použitých lepidel
- Tabulka naměřených hodnot odporu v první části měření
- Tabulka naměřených hodnot nelinearity v první části měření
- Tabulka naměřených hodnot odporu v druhé části měření
- Tabulka naměřených hodnot nelinearity v druhé části měření



ELPOX AX 12LVT

ELECTRICALLY CONDUCTIVE, SILVER EPOXY

- * **TWO COMPONENTS EPOXY ADHESIVE**
- * **FOR PROFESSIONAL – ELECTRONIC APPLICATIONS**
- * **LOWER TEMPERATURE CURING VERSION**
- * **LOWER VISCOSITY VERSION**

GENERAL DESCRIPTIONS:

ELPOX AX 12LVT is a two components, 100% solid (thinners free) epoxy base adhesive containing the purest silver flakes, especially for surface mounting applications and popular uses in electronics production process. This is generally modification of **ELPOX AX 12LT** type with much floable (lower viscosity) properties of this formulation.

ELPOX AX 12LVT has soft paste consistency and it has very good adhesion to many different types of materials - especially glass, quartz, semiconductor chips and oxide covered metals. This formulation is very easy to use and has very convenient pot life time and curing conditions.

SPECIFICATIONS:

Number of components	Two.
Mixing ratio A : B (by weight)	1 : 1
Consistency after mixing A+B	Soft paste, 100% solids.
Color	Silver.
Percentage of silver	55 ± 1%
Viscosity (A+B)	250 000 – 290 000 cps (*)
Thixotrophy index Ti = (10/100)	5.4 - 6.0
Recommended curing schedule	80° C - 25 min. 100° C - 15 min. 120° C - 10 min.
Recommended curing with IR heating tunnel	150° C (peak) – 5 min (total time)
Pot life	5 hours @ 25° C.
Storage	6 months with closed container @ 25° C.

(*) BROOKFIELD DVII; SSA#14;1 rpm;25C

PHYSICAL PROPERTIES (*):

Specific gravity	2.35 – 2.65 g/ccm
Thermal conductivity	3.0 - 3.5 W/mK
Glass transition temp. (Tg)	Ab. 95° C (TMS method).
Resistivity after curing	0.00015 – 0.00025 Ωcm

(*) – Typical value for number of tests.

ATTENTION:

ELPOX AX 12LVT is supplied as a two component material and is available in a variety of screw-top jar sizes. Minimum order quantity is 100 grams.

1. Mix **ELPOX AX 12LVT** – Part “A” and “B” inside containers separately first very thoroughly before use. After adding hardener – Part “B”, mix mixture “A+B” very thoroughly before use, with wood or plastic spatula. Mix smoothly from the bottom of the container. Mix carefully - not to whip air into the product. ***INSURE ELPOX AX 12LVT IS AT ROOM TEMPERATURE WHEN YOU WILL START WORKING WITH.***
2. Prepare consistency before use according your SPECIFICATION.
3. If you need, use AXMC **TH # 12** thinner. Thinner will change paste resistivity. Pls, do not exceed 1% of weight. After first tests pls let us know about your viscosity requirements – we will be able to change it for you.
4. Low conductivity and/or poor adhesion performance are symptomatic that **ELPOX AX 12LVT** is under curing conditions.
5. Refrigeration during shelf time is useful. Keep containers with both parts of adhesive in temp. no less 10° C. Before use, increase temperature very slowly.
6. Use silver epoxy with adequate ventilation.
7. Avoid skin and eye contact. If ingested, consult a physician immediately.
8. Clean by MEK, alcohol or other suitable solvents.

WARNING:

Be careful on the case contacts with skin. When it occurs, wash immediately with soap and water.

This information is based on data and tests believed to be accurate. **AMEPOX MC** makes no warranties (expressed or implied) as to it's accuracy and assumes no liability in connection with the use or inability to use this product.

(ELPOX AX 12LVT)



ELPOX ER 55MN

EPOXY-PHENOLIC HYBRIDE TYPE RESIN

- * **ELECTRICALLY CONDUCTIVE**
- * **HIGH TEMPERATURE RESISTANT**
- * **VERY GOOD ADHESION FOR COPPER**
- * **SCREEN PRINTING OR TRANSFERING APPLICATION**
- * **100% SOLID FORMULATION.**

GENERAL DESCRIPTIONS:

ELPOX ER 55MN is single component, electrically conductive, silver filled, epoxy-phenolic base resin adhesive. This adhesive is especially prepared for making connections to copper material and for high temperature resistant application. As 100% solid formulation, this will help to do "sandwich" type connections (surface to surface) between Si, glass, ceramics and metals.

ELPOX ER 55MN has very stable electrical conductivity. This type is mostly for high-speed technological process. It doesn't dry out even on open screen during one shift working time.

SPECIFICATIONS:

Number of components	One
Consistency	Floable paste
Color	Silver
Percentage of silver (inside ready paste)	70 ± 1%
Specific gravity	3.2 – 3.5 g/cm ³
Viscosity	24 500 – 48 000 cps (*)
Recommended curing schedule with air-circulated oven	150°C - (15 - 20) min. 180°C - (7 - 8) min. 200°C - (3 - 4) min.
Recommended curing schedule with heating tunnel	180°C in peak – 5 min. total time inside tunnel
Shelf life	Min. 6 months (when storage at 5°C – unopened)

(*) - Brookfield DVII; SSA#14; 10 rpm; 25°C.

TECHNICAL PROPERTIES (*):

Electrical sheet resistivity (curing inside oven)	0.02 Ω /sq @ 1 mil.
Electrical sheet resistivity (curing inside tunnel)	0.001 Ω /sq @ 1 mil.
Electrical resistivity	(4.0 – 7.5) x E(-5) Ω cm
Pencil hardness	9H pencil hardness (one day after curing)
Range of service for continuous temperature	(-55) $^{\circ}$ C - (+180) $^{\circ}$ C
Max. operating temperature	Over 280 $^{\circ}$ C for a couple of hours.

(*) - Typical value for number of tests.

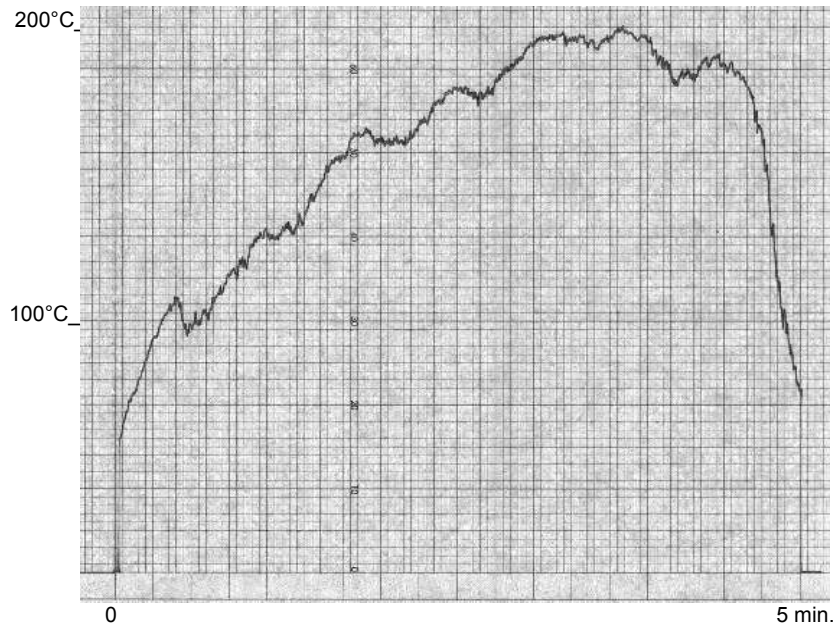


Fig.1. Example of heating tunnel profile for curing ER 55MN

ATTENTION:

1. Product is ready for use, but should be mixed very thoroughly before use using wood or plastic spatula. Mix smoothly from the bottom of the container. Mix carefully - not to whip air into the product. **INSURE ELPOX ER 55MN IS AT ROOM TEMPERATURE WHEN YOU WILL START WORKING WITH.**
2. Prepare consistency before use according your SPECIFICATION.
3. Low conductivity and poor adhesion performance are symptomatic that paste is under curing conditions.
4. Refrigeration during long shelf time is necessary. Keep container with paste in temp. no less 5 $^{\circ}$ C. Before use, increase temperature of paste very slowly.
5. Use paste with adequate ventilation.
6. Avoid skin and eye contact. If ingested, consult a physician immediately.
7. Clean by MEK or other suitable solvents. Allow screen to completely dry before using again.
8. Temperature during printing process must be kept between 20 $^{\circ}$ C and 25 $^{\circ}$ C, with relative humidity (RH) between 40% and 65%. This condition reduces static charges on the substrate.
9. When stored – keep container closed.

This information is based on data and tests believed to be accurate. **AMEPOX MC** makes no warranties (expressed or implied) as to its accuracy and assumes no liability in connection with the use or inability to use this product.

(ex-er55mn)



ELPOX AX 15S

ELECTRICALLY CONDUCTIVE, SILVER EPOXY

- * **TWO COMPONENTS 1:1 MIXING RATIO**
- * **FOR PROFESSIONAL – ELECTRONIC APPLICATIONS**
- * **POSSIBLE ROOM TEMPERATURE CURING**
- * **LOW COST**

GENERAL DESCRIPTIONS:

ELPOX AX 15S is two components, 100% solid (thinners free) high viscosity, epoxy base conductive formulation containing the purest silver flakes as possible. This is especially for service and short production series (manual applications).

ELPOX AX 15S has soft paste consistency and it has very good adhesion to many different types of materials - especially glass, quartz, semiconductor chips and oxide covered metals. It is design for bonding of metals and electronic devices like resistors, capacitors, transistors, diodes, etc., even on flexible foil base PCB.

SPECIFICATIONS:

Number of components	Two.
Mixing ratio A : B (by weight)	1 : 1
Consistency after mixing A+B	Viscosity paste, 100% solids.
Viscosity "A" (*)	25 000 - 28 000 mPa s (cps)
Viscosity "B" (*)	120 000 - 140 000 mPa s (cps)
Viscosity "A+B" (*)	28 000 - 30 000 mPa s (cps)
Thixotropy Index "A+B" (1/10)	4.2 - 5.0
Color	Dark silver.
Percentage of silver	60 ± 1%
Recommended curing schedule	20 C - 24 hours 60 C - 120 min. 80 C - 100 min. 120 C - 30 min. 150 C - 15 min.
Pot life	1.5 hour @ 25 C.
Storage	6 month with closed container @ 25 C.

(*) Brookfield DVII; SSA#14; 10rpm; 25C

PHYSICAL PROPERTIES (*):

Specific gravity "A"	2.45 – 2.65 g/ccm
Specific gravity "B"	1.55 – 1.65 g/ccm
Specific gravity "A+B"	1.95 – 2.50 g/ccm
Thermal conductivity	3.0 - 3.5 W/mK
Glass transition temp. (Tg)	78 C (TMS method).
Hardness (6H pencil)	Passed
Resistivity after curing (20 C – 24 h)	0.001– 0.0012 Ωcm
(60 C – 120 min)	0.0008 – 0.0009 Ωcm
(150 C – 15 min)	0.00017 – 0.00018 Ωcm
Connection flexibility (**)	Min. Ø = 4 cm diameter – Passed

(*) – Typical value for number of tests.

(**) – Test: Min. 10 moves on Ø diameter roller.

ATTENTION:

ELPOX AX 15S is supplied as a double component material and is available in a variety of screw-top jar sizes. Minimum quantity is 100 grams.

1. Mix **ELPOX AX 15S** – Part "A" and "B" inside containers separately first very thoroughly before use. After adding hardener – Part "B", mix mixture "A+B" very thoroughly before use, using wood or plastic spatula. Mix smoothly from the bottom of the container. Mix carefully - not to whip air into the product. **INSURE ELPOX AX 15S IS AT ROOM TEMPERATURE WHEN YOU WILL START WORKING WITH.**
2. Prepare consistency before use according your SPECIFICATION.
3. If you need, use AXMC **TH # 15** thinner. Thinner will change paste resistivity. Pls, do not exceed 1% of weight. After first tests pls let us know about your viscosity requirements – we will be able to change it for you.
4. Low conductivity and poor adhesion performance are symptomatic that **ELPOX AX 15S** is under curing conditions or has been added too much thinner.
5. Refrigeration during shelf time is useful. Keep containers with both parts of silver paste in temp. no less 10 C. Before use, increase paste temperature very slowly.
6. Use silver epoxy paste with adequate ventilation.
7. Avoid skin and eye contact. If ingested, consult a physician immediately.
8. Clean by MEK, alcohol or other suitable solvents.

WARNING:

Be careful on the case contacts with skin. When it occurs, wash immediately with soap and water.

This information is based on data and tests believed to be accurate. **AMEPOX MC** makes no warranties (expressed or implied) as to it's accuracy and assumes no liability in connection with the use or inability to use this product.

(ELPOX AX 15S)



LOCTITE® 3888

(Draft Rework 1, May 31st, VB)června 2004

Popis výrobku

LOCTITE® 3888 má následující vlastnosti:

Technologie	Epoxid
Chemický typ	Epoxid
Vzhled (Pryskyřice)	Stříbrná pasta ^{LMS}
Vzhled (Tvrdidlo)	Čirá až jantarová kapalina ^{LMS}
Složky	Dvě složky - pryskyřice a tvrdidlo
Viskozita	Hustá pasta
Vytvrzení	Za pokojové teploty
Aplikace	Lepení
Určeno zejména pro	Elektronické součásti
Další oblasti použití	Tepelná vodivost
Dávkování	Ze stříkačky
Pracovní teplota	Do +80°C

LOCTITE® 3888 je určen pro lepení kovů, keramiky, pryží a plastů tak, jak se používají v elektronických součástech, kde je požadována dobrá adheze v kombinaci s elektrickou a tepelnou vodivostí. Typické aplikace zahrnují náhrady pájení, opravy a přepracování vzájemných spojení a lepení teplotně citlivých součástí tam, kde je teplota pájení nevhodná.

TYPICKÉ VLASTNOSTI NEVYTVRZENÉHO MATERIÁLU

Měrná hmotnost při 25 °C	2,5
Mísící poměr pryskyřice : tvrdidlo (pokud se míchá na místě)	100:6
Doba zpracovatelnosti (pokud je jednou smícháno nebo rozehráto), minut	90
Bod vzplanutí - viz Bezpečnostní list	

PROVOZNÍ VLASTNOSTI PŘI VYTVRZOVÁNÍ

Doporučené podmínky vytvrzení

24 hodin při 23 °C
2 hodin při 65 °C
1 hodiny při 125 °C
30 minut při 150 °C

TYPICKÉ VLASTNOSTI VYTVRZENÉHO MATERIÁLU

Vytvrzeno po dobu 1 hodiny při 65 °C

Fyzikální vlastnosti:

Koeficient teplotní roztažnosti, ASTM E 831, K ⁻¹	<50×10 ⁻⁶
Koeficient tepelné vodivosti ASTM F 433, W/(m·K)	>1,5
Teplota skelného přechodu, ASTM D 3418, °C	50
Obsah extrahovatelných iontů, MIL 883 E, , µg/g:	
Fluór	<6,0
Chlór	95,8
Draslík	4,2
Sodík	2,8
Tvrdost Shore, ISO 868, Tvrdoměr typu D	≥77 ^{LMS}

Elektrické vlastnosti:

Objemový měrný odpor, IEC 60093, Ω·cm	<0,1×10 ⁻³
---------------------------------------	-----------------------

Vytvrzeno po dobu 1 hodiny při 125 °C

Elektrické vlastnosti:

Objemový měrný odpor, IEC 60093, Ω·cm	<0,5×10 ^{-3LMS}
---------------------------------------	--------------------------

TYPICKÉ VLASTNOSTI VYTVRZENÉHO MATERIÁLU

Adhezní vlastnosti

Vytvrzeno po dobu 1 hodiny při 65 °C

Pevnost ve smyku, ISO 4587:

Hliník (mořený a zdrsněný):

spára 0.127 mm	N/mm ²	≥3,5 ^{LMS}
	(psi)	(≥500)

VŠEOBECNÉ INFORMACE

Tento produkt se nedoporučuje používat v čistě kyslíkových nebo na kyslík bohatých systémech a neměl by se používat k těsnění chlóru či jiných silně oxidačních materiálů.

Informace pro bezpečné zacházení s tímto produktem najdete v Bezpečnostním listě (BL).

Skladování

Produkt skladujte v neotevřených originálních nádobách na suchém místě. Informace o skladování produktu jsou uvedeny na etiketě nádob.

Pokud máte produkt dodaný v oddělených nádobách zvlášť složku A a složku B, skladujte jej při pokojové teplotě. Pokud je dodaný předem smíchaný a zmrazený, skladujte při teplotě -40 °C. Životnost se může lišit podle balení. Materiál odebraný z nádoby může být během používání kontaminován. Proto jej nikdy nevracejte do originálního obalu. Společnost Henkel nemůže nést odpovědnost za produkt, který byl kontaminován nebo skladován za podmínek jiných, než výše uvedených. Pokud jsou potřebné další informace, kontaktujte Vaše místní technické nebo zákaznické oddělení Henkel Loctite.

Materiálová specifikace Loctite^{LMS}

LMS je zavedena od 15. srpna 2001. Pro udávané vlastnosti produktu jsou pro každou dávku k dispozici zkušební protokoly. Protokoly LMS dále obsahují vybrané parametry řízení jakosti, které se považují za vhodné ke specifikaci pro zákazníka. V neposlední řadě funguje na místě komplexní systém kontroly, který zajišťuje kvalitu výrobku a jeho shodu. Zvláštní požadavky upřesněné zákazníkem mohou být řešeny pomocí systému "Henkel Quality".

Převody

(°C x 1.8) + 32 = °F
kV/mm x 25.4 = V/mil
mm / 25.4 = inches
µm / 25.4 = mil
N x 0.225 = lb
N/mm x 5.71 = lb/in
N/mm ² x 145 = psi
MPa x 145 = psi
N·m x 8.851 = lb·in
N·m x 0.738 = lb·ft

N·mm x 0.142 = oz·in
mPa·s = cP

Poznámka

Veškeré údaje zde uvedené slouží pouze pro informaci a jsou považovány za hodnověrné. Nemůžeme přebírat zodpovědnost za výsledky dosažené jinými laboratořemi, nad jejichž postupy nemáme kontrolu. Je plně na zodpovědnosti uživatele posoudit vhodnost jakéhokoli zde uvedeného postupu pro vlastní účely a je také na jeho zodpovědnosti, zda přijme vhodná preventivní opatření pro ochranu majetku a osob proti všem rizikům, která mohou být spojena s používáním produktů a manipulací s nimi.

V tomto duchu se společnost Henkel zvláště zřiká přímých i vyplývajících záruk, včetně záruk obchodovatelnosti a vhodnosti pro daný účel, vznikajících z prodeje nebo používání jejích produktů. Společnost Henkel zvláště odmítá jakoukoli zodpovědnost za následné nebo náhodné škody jakéhokoli druhu, včetně náhrady škod.

Tato diskuze o různých postupech a složeních neznamená, že tyto nejsou patentovány společností Henkel nebo jinými subjekty. Každému budoucímu uživateli doporučujeme, aby si před sériovým použitím otestoval, zda je pro něj navrhovaná aplikace vhodná. Tento produkt může být zahrnut v patentech USA nebo jiných zemí.

Ochranná známka

Pokud není uvedeno jinak, všechny ochranné známky v tomto dokumentu jsou ochranné známky společnosti Henkel ve Spojených státech a kdekoli jinde. ® značí ochrannou známku zaregistrovanou na Úřadě obchodního vlastnictví Spojených států amerických. (U.S. Patent and Trademark Office)

Reference **N/A**

**ONE COMPONENT
ELECTRICALLY CONDUCTIVE ADHESIVES****PERMACOL[®] 2369/2**

Diedenweg 94
NL-6717 KV EDE
The Netherlands

Tel. +31 (0)318 640740
Fax +31 (0)318 635099
E-mail: adhesives@permacol.nl
<http://www.permacol.nl>

Product description

PERMACOL[®] 2369/2 one component electrically conductive adhesives are applicable if an electrically conductive bonding is desired. These products have fast curing properties at elevated temperatures and obtain good electrical conductivity and good bonding strength after curing.

These adhesives are stable after curing and obtain good heat and moisture resistance.

Technical data

Base	: epoxy
Colour	: silver
Viscosity	: 30.000 mPa·s
Particle size	: <50 µm
Application method	: dispensing / stencil printing
Curing schedule	150°C 3 min.
	125°C 6 min.
	110°C 10 min.
	100°C 15 min.
	80°C 60 min.
Volume resistivity	: <3x10 ⁻⁴ Ω.cm
Hardness	: 70° Shore D

Curing at temperatures below 125°C will obtain an increase of the volume resistivity.

PERMACOL[®] two components electrically conductive adhesives PERMACOL[®] 2805 and -2810 can offer a solution in case curing at elevated temperatures is not practical or for another reason not desired.

Storage & shelf life

Store in cool dry conditions, in freezer at -18°C, 6 months.

Store in cool dry conditions, in refrigerator at 4°C, 3 months.

Packaging

- 35 g. in 10ml syringe
- 50 g. in jar
- 100g. in jar
- other sizes and packages on request.

Legal Disclaimer

The products of Permacol (the "Supplier"), are sold subject to the supplier's standard conditions of sale, which are included in applicable sales agreements, printed on the back side of invoices, or available upon request. Although the information, recommendations or advice contained herein is given in good faith, supplier makes no warranty or guarantee, express or implied, (I) that the results described herein will be obtained under end-use conditions, or (II) as to the effectiveness or safety of any design incorporating supplier's products, recommendations or advice. Nothing in this or any other document shall alter, vary, supersede or operate as a waiver of any of the supplier's standard conditions of sale.

Each user bears the full responsibility for making its own determination as to the suitability of Supplier's products, recommendations or advice for its own particular purpose. Each user must identify and perform tests and analyses sufficient to assure it that its finished parts will be safe and suitable for use under end-use conditions. Because actual use of products by the user is beyond the control of Supplier, such use is within the exclusive responsibility of the user, and Supplier cannot be held responsible for any loss incurred through incorrect or faulty use of the products. Further, no statement contained herein concerning a possible or suggested use of any product is intended or should be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Supplier, or as a recommendation for the use of such material in the infringement of any patent or other intellectual property right.

Naměřené hodnoty odporu v první části měření

1. Odpor osazených spojů

12LVT - 80°C, 25 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	273	188	195	165	382	615	307	702	2468	411	190	224
	174	237	258	188	183	334	328	327	469	548	305	1104
Pro pájení	67	53	51	75	41	42	63	72	195	56	28	33
	34	49	29	33	41	28	41	41	28	433	32	60

12LVT - 80°C, 25 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	646	731	388	342	920	774	1523	476	546	312	460	276
	1127	828	431	298	470	658	1088	446	937	1320	3745	590
Pro pájení	60	1300	2340	707	37	82	52	59	66	87	1011	33
	62	131	3665	2800	157	131	69	102	45	390	40	34

12LVT - 120°C, 10 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	215	140	183	192	234	234	261	193	233	286	212	216
	257	225	212	261	215	182	186	165	223	266	276	2968
Pro pájení	127	88	58	221	42	37	63	60	26	44	82	75
	84	29	74	50	65	32	1052	67	32	65	70	52

12LVT - 120°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	1186	527	412	234	254	496	303	762	282	934	452	335
	549	389	366	547	237	264	144	221	308	281	578	288
Pro pájení	100	105	71	143	98	49	51	130	100	130	140	68
	137	54	87	225	88	152	92	77	48	26	150	246

Loctite - 150°C, 30 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	160	152	118	127	143	430	117	138	1560	268	134	
	243	98	363	135	118	190	130	565	145	121	217	159
Pro pájení	454	203	77	202	227	518	337	116	208	90	63	255
	616	221	376	280	323	297	366	238	237	148	218	398

Loctite - 150°C, 30 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	196	165	143	210	291	106	166	2295	151	99	488	227
	302	186	508	294	441	4580	497	211	141	502	514	16550
Pro pájení	88	193	283	183	250	164	522	246	64	454	188	63
	164	75	92	67	49	238	26	125	71	113	195	76

ER55MN - 150°C, 20 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	106	131	134	118	122	150	140	247	167	123	226	438
	146	102	126	147	107	109	149	236	81	112	117	106
Pro pájení	91	130	128	209	75	107	170	121	371	141	293	190
	284	86	214	211	166	357	175	150	194	239	93	161

ER55MN - 150°C, 20 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	91	98	89	71	77	105	137	92	132	304	150	234
	122	96	124	101	99	171	87	89	100	182	117	171
Pro pájení	399	167	170	164	81	300	83	125	37	223	140	110
	122	172	152	328	257	97	147	208	57	340	128	151

ER55MN - 200°C, 4 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	286	407	790	255	266	238	515	235	122	145	175	294
	194	184	163	136	415	141	289	211	258	950	357	527
Pro pájení	218	282	173	112	227	185	190	270	83	121	150	109
	178	78	142	87	62	141	152	161	283	68	112	107

ER55MN - 200°C, 4 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	141	199	255	181	96	242	119	125	123	277	198	178
	156	147	165	98	128	177	250	245	274	344	208	766
Pro pájení	132	207	223	92	186	177	100	407	163	215	258	326
	185	176	185	121	102	109	66	217	160	175	241	88

ER55MN - 200°C, 4 min - špatný												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	118	218	158	167	210	303	213	513	149	107	139	142
	136	138	129	134								
Pro pájení	61	123	185	129	73	68	73	74	80	334	177	228
	171	90	163	86								

2. Odpor osazených spojů po dodatečném žihání

12LVT - 80°C, 25 min - dodatečně 90°C, 15 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	490	570	480	258	1890	689	2970	1225	352	257	657	2155
	340	470	382	298	217	290	263	353	430	1340	1068	573
Pro pájení	607	84	56	115	353	67	2050	44	128	39	602	544
	218	101	248	253	180	196	436	249	194	726	164	168

12LVT - 80°C, 25 min - dodatečně 90°C, 15 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	491	910	1905	1180	579	868	458	788	536	1475	1210	997
	914	6855	2435	1870	1046	1270	1215	968	346	440	1037	760
Pro pájení	4835	3190	607	771	214	3030	1140	264	229	285	902	929
	91	134	1380	107	468	174	162	63	6170	2073	2050	127

12LVT - 120°C, 10 min - dodatečně 130°C, 5 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřený odpor [mΩ]											
Pro lepení	223	194	169	237	216	264	295	307	259	238	322	337
	295	228	266	314	2207	351	334	295	219	221	241	251
Pro pájení	1985	298	369	698	560	321	98	237	294	548	99	59
	121	317	42	313	123	288	352	61	162	1695	48	425

3. Odpor neosazených spojů

12LVT - 120°C, 10 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	63	68	59	60	102	135	96	93	79	63	68	61
0,5	137	129	135	104	188	173	193	169	140	130	141	124
1	202	203	200	193	281	396	253	333	209	217	317	232
1,5	283	283	289	283	456	437	468	484	434	454	423	442

12LVT - 120°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	68	64	68	67	44	50	58	60	111	122	85	59
0,5	122	120	108	101	83	85	74	70	101	106	102	113
1	186	231	220	180	187	171	201	182	349	367	294	294
1,5	299	358	320	336	238	217	231	219	344	343	389	435

12LVT - 80°C, 25 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	125	139	138	220	96	116	116	161	99	111	130	130
0,5	267	250	249	220	304	264	310	306	210	218	235	201
1	666	341	453	526	452	382	389	400	793	641	291	221
1,5	580	499	536	514	543	515	474	437	580	539	599	554

12LVT - 80°C, 25 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	132	127	158	136	69	77	93	115	74	68	143	103
0,5	279	163	144	147	163	210	141	126	130	122	144	218
1	354	688	336	342	251	471	267	306	566	656	496	484
1,5	664	660	620	520	396	419	456	418	495	499	473	512

ER55MN - 150°C, 20 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	29	32	31	30	38	42	48	101	28	29	31	32
0,5	42	40	42	39	56	68	73	69	43	46	43	42
1	43	48	57	46	112	119	131	103	46	50	53	46
1,5	64	63	61	62	120	97	98	85	52	55	50	46

ER55MN - 150°C, 20 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	10	10	11	10	11	12	11	11	11	11	13	13
0,5	20	19	17	19	20	22	19	20	19	21	20	21
1	27	26	29	24	32	29	34	28	34	33	28	27
1,5	32	33	30	27	37	39	40	41	35	34	33	38

ER55MN - 200°C, 4 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	29	40	41	49	116	50	114	118	87	48	47	80
0,5	57	60	62	55	51	49	61	68	364	62	801	62
1	171	92	84	101	79	77	71	86	113	82	70	127
1,5	106	91	70	72	127	152	128	369	126	111	151	654

ER55MN - 200°C, 4 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	15	12	11	11	12	12	12	12	45	12	13	13
0,5	18	15	17	17	21	19	17	20	22	22	26	24
1	30	26	27	41	37	37	33	39	41	36	43	41
1,5	61	47	49	77	51	52	42	41	57	53	50	51

Loctite 3888 - 150°C, 30 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	8	10	8	12								
0,5	14	20	10	10								
1	12	9	19	13								
1,5	11	16	16	9								

Loctite 3888 - 150°C, 30 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	3	2	2	3								
0,5	9	9	6	5								
1	8	8	16	28								
1,5	14	18	20	15								

ER55MN - 200°C, 4 min - špatný												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	40	38	41	53	30	34	36	41				
0,5	44	40	47	46	46	58	62	57				
1	53	49	50	56	63	54	61	93				
1,5	51	49	44	51	108	75	66	56				

4. Odpor neosazených spojů po dodatečném žihání

12LVT - 120°C, 10 min - dodatečně 130°C, 5 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	49	57	52	63	77	80	112	84	51	51	59	54
0,5	102	111	107	113	137	152	141	152	84	111	110	116
1	195	261	182	177	296	349	224	241	158	166	175	175
1,5	317	298	310	314	391	386	362	385	263	264	247	231

12LVT - 120°C, 10 min - dodatečně 130°C, 5 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	52	51	45	39	50	72	106	97	55	56	52	56
0,5	64	66	75	73	90	81	85	83	86	91	99	99
1	167	184	155	171	258	259	316	298	157	190	194	160
1,5	197	207	197	216	360	330	295	303	261	252	269	233

12LVT - 80°C, 25 min - dodatečně 90°C, 15 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	102	70	72	63	90	93	82	72	121	83	85	78
0,5	174	176	157	180	132	151	142	133	148	166	159	173
1	254	246	234	270	178	251	461	446	321	277	214	373
1,5	295	309	336	347	403	421	399	413	331	341	319	364

12LVT - 80°C, 25 min - dodatečně 90°C, 15 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	109	118	96	104	83	66	55	52	71	87	47	51
0,5	101	100	116	213	91	102	138	110	127	95	85	91
1	258	243	446	255	211	188	300	184	277	295	350	322
1,5	431	495	454	420	272	295	272	262	312	295	299	293

ER55MN - 150°C, 20 min - dodatečně 160°C, 10 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	27	28	24	24	28	28	28	26	100	43	38	37
0,5	38	40	43	38	34	39	36	37	75	88	76	56
1	39	46	42	39	42	51	43	38	88	122	109	103
1,5	40	43	48	46	55	54	57	59	84	96	94	112

ER55MN - 150°C, 20 min - dodatečně 160°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	5	5	7	5	5	5	5	5	8	7	6	6
0,5	14	12	15	14	13	11	12	14	15	14	14	13
1	20	25	21	24	17	21	18	19	19	21	23	25
1,5	31	31	30	27	18	22	24	24	29	24	25	26

ER55MN - 200°C, 4 min - dodatečně 210°C, 2 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	62	40	41	52	92	89	105	202	49	37	38	27
0,5	698	2250	1365	356	60	53	44	43	53	3520	50	49
1	122	58	67	556	195	89	67	69	338	1061	81	123
1,5	564	426	89	89	211	92	89	108	73	69	82	65

ER55MN - 200°C, 4 min - dodatečně 210°C, 2 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]											
0,2	8	9	8	24	6	5	5	6	7	7	7	6
0,5	17	18	16	17	12	12	10	12	11	11	14	14
1	30	38	29	32	23	18	20	25	27	24	27	24
1,5	38	38	39	45	40	37	34	40	33	29	39	40

Loďte 3888 - 150°C, 30 min - dodatečně 160°C, 15 min				
Měděný povrch				
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]			
0,2	7	4	6	4
0,5	6	5	15	10
1	8	15	4	8
1,5	8	14	14	9

Loďte 3888 - 150°C, 30 min - dodatečně 160°C, 15 min				
Zlacený povrch				
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]			
0,2	1	1	1	1
0,5	4	4	8	8
1	26	13	6	6
1,5	14	18	17	12

ER55MN - 200°C, 4 min - dodatečně 210°C, 2 min - špatný								
Měděný povrch								
Velikost mezery [mm]	Naměřený odpor [mΩ]							
0,2	35	41	31	33	30	26	26	20
0,5	39	42	35	35	51	56	54	43
1	40	40	38	45	53	41	45	57
1,5	45	39	43	44	46	51	58	75

Naměřené hodnoty nelinearity v první části měření

1. Nelinearita osazených spojů

12LVT - 80°C, 25 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	14,0	28,0	1,3	170,0	1,0	3,7	1,3	2,2	0,9	1,1	1,0	0,8
	3400,0	9,1	0,8	0,8	3,5	35,0	54,0	1,1	0,7	0,9	0,9	1,0
Pro pájení	1,1	400,0	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1
	14,5	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,7

12LVT - 80°C, 25 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	76,0	220,0	26000,0	58,0	21,0	30,0	300,0	19,0	34,0	4,8	22,0	1,4
	550,0	60,0	51,0	3,0	33,0	30,0	13,0	5,0	47,0	69,0	1200,0	11,0
Pro pájení	1,0	80,0	1,1	1,1	6,2	4,8	0,9	1,2	98,0	1,0	2000,0	1,1
	1	0,8	3000,0	3000,0	1,0	1600,0	2600,0	540,0	1,1	0,9	1,1	1,0

12LVT - 120°C, 10 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,9	3000,0	0,8	0,7	0,9	0,7
	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	1,0	0,8	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0
Pro pájení	0,9	1,1	2800,0	0,8	1,1	1,0	1,0	1,1	0,9	1,1	1,0	1,0
	1,1	1,1	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,8	0,8	1,0	32,0

12LVT - 120°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	2,3	1,2	37,0	0,8	0,8	1,5	1,0	0,8	34,0	8,4	4,4	24,0
	0,7	170,0	8,2	3,0	0,9	17,0	1,8	54,0	460,0	9,6	5,0	0,8
Pro pájení	1,0	1,0	3,6	15,0	0,8	1,4	1,0	0,9	1,1	1,0	0,9	6,1
	0,8	1,1	1,5	1,0	0,8	1,1	1,0	1,1	0,8	0,8	0,9	0,8

Loctite - 150°C, 30 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1	2	1	660	2	7	2	6	2300	7	1	9
	1	13	1	1	2	7	1	1	110	1	1	
Pro pájení	70	98	495	43	34	5	14	320	8	1	1	58
	1500	13	125	47	320	23,5	0,74	18	24	780	61	1

Loctite - 150°C, 30 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	93	20000	53	1	10	100	43	5000	1	1	110	2
	14	1	76	8	1	1	1	1	11	1	1	1500
Pro pájení	1	38	1	1	1	1	12	1	1	520	20	1
	13	1	1	1	0,78	10	46	9	18	4	630	16

ER55MN - 150°C, 20 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	0,8	10,0
	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,6
Pro pájení	1,6	33,0	4,6	0,8	2,0	6,0	0,9	1,9	24,5	0,8	19,0	1,6
	5,4	0,8	2,3	2,5	1,0	0,8	1,1	3,6	1,0	0,8	3,8	1,7

ER55MN - 150°C, 20 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	0,8	1,1	1,1	1,1	0,9	1,1	0,8	1,0	9,2	1,0	0,8
	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9	1,1
Pro pájení	35,0	0,8	7,0	12,0	1,0	34,0	2,6	11,0	1,1	11,0	0,9	2,1
	1,4	7,6	3,4	32,0	265,0	3,7	6,4	5,7	0,8	32,0	0,8	0,8

ER55MN - 200°C, 4 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	0,9	2,7	1,8	0,9	1,0	1,0	55,0	0,9	13,0	1,0	1,5	1,0
	1,1	380,0	0,8	5,2	1,1	1,0	1,1	0,8	1,0	0,8	1,0	1,1
Pro pájení	0,9	5,8	2,4	0,9	4,4	7,2	0,8	3,0	1,1	1,9	0,8	0,9
	0,8	0,9	1,0	0,8	1,3	1,4	1,0	0,8	2,4	0,9	0,9	0,8

ER55MN - 200°C, 4 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	1,0	2,5	0,7	0,8	0,9	0,7	1600,0	1,1	1,0	0,8	1,0
	1,0	1,0	0,8	1,1	1,1	0,8	0,8	1,0	1,1	0,8	1,1	1,0
Pro pájení	0,8	0,7	0,8	0,8	2,9	1,3	100,0	2,1	7,1	12,5	10,0	56,0
	10,0	7,4	4,0	0,8	1,5	2,6	6,6	0,8	5,0	2,1	0,9	67,0

2. Nelinearita osazených spojů po dodatečném žihání

12LVT - 80°C, 25 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	17,0	225,0	420,0	5,6	1,5	0,7	0,8	0,8	1,3	11,0	8,5	6,2
	3200,0	45,0	0,9	2,1	240,0	850,0	22,0	2100,0	0,8	13,0	12,0	11,0
Pro pájení	6,4	11,5	640,0	2,4	22,0	230,0	13,5	5,4	16,0	11,0	1,9	11,5
	94,0	420,0	1,1	2,2	1,1	1850,0	1,0	245,0	2,3	1,0	0,8	260,0

12LVT - 80°C, 25 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	48,0	90,0	16,0	4,8	32,0	285,0	640,0	90,0	530,0	1400,0	3600,0	210,0
	175,0	245,0	1400,0	29,0	52,0	5,6	115,0	16,5	350,0	360,0	53,0	22,5
Pro pájení	2,0	1550,0	2800,0	3200,0	1,0	3,0	6,8	330,0	0,8	1900,0	2,2	0,9
	350	1100,0	30,0	8,8	28,0	1100,0	3400,0	8,4	680,0	560,0	2500,0	1600,0

12LVT - 120°C, 10 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,0	1,4	2,8	4000,0	0,9	0,8	0,9	0,7	3,1	0,9	0,8	1,1
	2,2	0,9	0,9	0,8	0,6	0,9	1,0	0,9	0,8	2,8	0,8	0,8
Pro pájení	0,9	57,0	26,0	3,2	100,0	1,1	3000,0	5,0	0,8	0,9	260,0	48,0
	15,0	1,1	64,0	3,3	1200,0	45,0	77,0	3200,0	54,0	1,5	57,0	340,0

12LVT - 120°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	4,6	105,0	4,3	100,0	660,0	9,1	16,5	0,8	0,9	545,0	24,0	4,9
	87,0	64,0	11,5	190,0	6,9	3,0	180,0	5,1	0,7	7,0	1,0	0,7
Pro pájení	17,0	0,9	0,7	170,0	50,0	71,0	2,2	3,0	30,0	64,0	1000,0	6,6
	230,0	7,8	32,0	300,0	7,2	1,1	450,0	530,0	1350,0	170,0	1600,0	35,0

Loctite - 150°C, 30 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	4	50	1	1	10	175	1	1	1	20	1	2700
	1	1	3	1	2300	13	1	30	1	17	1	
Pro pájení	210	720	9	650	8500	200	2500	9	1100	1000	6000	170
	700	195	69	770	16	205	1,5	470	280	520	1500	1400

Loctite - 150°C, 30 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	200	21500	165	3	1	380	240	5200	1	1	120	1
	135	3	110	20	1	1	1	3	45	1	1	3200
Pro pájení	1	360	1	100	1	1	640	1	1	10000	250	1
	360	1	7	1	0,76	275	1250	90	840	180	1200	500

ER55MN - 150°C, 20 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	19,5	1,0	1,1	0,8	10,0
	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	2,3	1,1	1,0	1,1	1,1
Pro pájení	1,8	2,9	98,0	13,5	1,1	1,7	22,0	3,0	200,0	2,0	45,0	6,4
	22,0	1,6	5,4	24,5	8,8	84,0	8,5	6,6	4,9	7,6	14,0	11,0

ER55MN - 150°C, 20 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	0,8	1,1	1,1	1,1	0,7	1,0	1,3	1,1	1,1	1,2	1,2
	1,1	1,1	0,8	1,1	1,1	17,0	0,9	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1
Pro pájení	88,0	1,2	140,0	39,0	0,9	52,0	10,5	23,5	560,0	24,0	17,0	13,0
	1,2	67,0	11,5	4,4	1,1	74,0	27,0	18,0	5,1	8,5	15,0	160,0

ER55MN - 200°C, 4 min												
Měděný povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	1,0	1,0	0,8	0,8	10,5	0,8	1,1	0,8	2,2	21,5	0,8
	1,1	2,2	57,0	0,8	7,5	1,0	3,7	0,9	1,0	500,0	0,8	4,4
Pro pájení	1,0	6,2	2,2	9,2	3,6	0,8	1,7	1,4	1,0	8,4	3,3	0,9
	7,5	37,0	1,1	11,0	1,0	3,8	0,8	3,6	0,9	1,0	1,0	1,4

ER55MN - 200°C, 4 min												
Zlacený povrch												
Typ rezistoru	Naměřená nelinearita [μV]											
Pro lepení	1,1	0,8	74,0	1,1	0,8	2,6	0,8	530,0	0,8	2,2	0,9	1,2
	0,8	1,0	34,0	1,0	1,1	0,7	1,6	1,5	1,1	58,0	0,8	0,8
Pro pájení	1,1	0,9	0,8	2,9	8,4	6,1	1300,0	6,0	18,5	16,5	23,5	580,0
	24,0	23,5	7,4	1,2	38,0	18,0	17,0	1,1	22,5	4,8	3,7	105,0

3. Nelinearita neosazených spojů

12LVT - 120°C, 10 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μV]											
0,2	1,06	1,07	1,05	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08
0,5	1,08	1,07	1,08	1,04	1,09	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09
1	1,05	1,06	1,08	1,08	1,09	1,09	1,08	1,09	1,09	1,09	1,08	1,09
1,5	1,06	1,05	1,06	1,08	1,07	1,08	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09

12LVT - 120°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μV]											
0,2	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,07	1,05	1,05	1,05	1,05
0,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1,06	1,05	1,05	1,06	1,05	1,07	1,06	1,07
1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,07	1,07	1,06	1,05	1,05	1,05
1,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1,07	1,08	1,09	1,08	1,05	1,05	1,08	1,07

12LVT - 80°C, 25 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μV]											
0,2	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07	1,08	1,05	1,07	1,09	1,08	1,09	1,07
0,5	1,07	1,08	1,07	1,08	1,04	1,05	1,05	1,05	1,08	1,09	1,09	1,09
1	1,00	1,04	1,07	1,08	1,06	1,07	1,08	1,07	1,03	1,08	1,08	1,07
1,5	1,04	1,03	1,04	1,06	1,06	1,08	1,09	1,09	1,07	1,09	1,08	1,08

12LVT - 80°C, 25 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μV]											
0,2	1,07	1,05	1,04	1,09	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,08	1,09	1,08
0,5	1,08	1,08	1,06	1,06	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09
1	1,02	1,01	1,03	1,05	1,09	1,09	1,10	1,09	1,08	1,05	1,09	1,09
1,5	1,05	1,07	1,07	1,06	1,09	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,08	1,10

ER55MN - 150°C, 20 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,09	1,06	1,05	1,07	1,05	1,05	1,07	1,02	1,10	1,10	1,08	1,09
0,5	1,07	1,08	1,08	1,08	1,06	1,03	1,04	1,07	1,09	1,08	1,08	1,08
1	1,06	1,08	1,09	1,09	1,08	1,07	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,10
1,5	1,09	1,10	1,10	1,10	1,00	1,03	1,08	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10

ER55MN - 150°C, 20 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,09	1,10	1,11	1,12	1,11	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,11
0,5	1,12	1,12	1,11	1,11	1,10	1,11	1,12	1,12	1,10	1,11	1,11	1,11
1	1,11	1,10	1,11	1,12	1,11	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
1,5	1,12	1,12	1,10	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12

ER55MN - 200°C, 4 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,09	1,09	1,10	1,09	0,88	0,95	1,11	1,10	1,12	1,12	1,13	1,14
0,5	8,10	3000,00	3600,00	65,00	1,13	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	500,00	1,13
1	1,10	1,11	1,12	1,09	1,12	1,12	1,08	1,35	1,10	1,10	370,00	81,00
1,5	1,11	1,11	2,75	32,00	1,13	1,12	1,12	1,06	1,10	1,10	1,11	1,11

ER55MN - 200°C, 4 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11	1,10	1,13	1,12
0,5	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,10	1,12	1,11	1,11	1,11
1	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,12
1,5	1,10	1,11	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,11	1,12	1,11	1,10	1,11

Loctite 3888 - 150°C, 30 min				
Měděný povrch				
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]			
0,2	1,10	1,09	1,09	1,10
0,5	1,10	1,10	1,10	1,10
1	1,10	1,10	1,10	1,10
1,5	1,10	1,10	1,10	1,10

Loctite 3888 - 150°C, 30 min				
Zlacený povrch				
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]			
0,2	1,10	1,10	1,10	1,10
0,5	1,10	1,10	1,10	1,10
1	1,10	1,10	1,10	1,10
1,5	1,10	1,10	1,10	1,11

4. Nelinearita neosazených spojů po dodatečném žihání

12LVT - 120°C, 10 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,08	1,08	1,09	1,09	1,07	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10
0,5	1,09	1,09	1,08	1,09	1,09	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,08	1,09
1	1,07	1,08	1,07	1,08	1,09	1,10	1,09	1,10	1,09	1,10	1,10	1,10
1,5	1,07	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,09	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10

12LVT - 120°C, 10 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,10	1,10	1,10	1,10	1,12	1,10	1,12	1,10	1,11	1,12	1,11	1,11
0,5	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,11
1	1,10	1,11	1,11	1,11	1,09	1,08	1,10	1,10	1,12	1,12	1,11	1,12
1,5	1,11	1,10	1,11	1,11	1,10	1,10	1,11	1,10	1,11	1,12	1,11	1,11

12LVT - 80°C, 25 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,12	1,13	1,12	1,13	1,11	1,12	1,12	1,13	1,12	1,11	1,12	1,13
0,5	1,12	1,13	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,11
1	1,11	1,12	1,11	1,12	1,10	1,10	1,12	1,13	1,12	1,11	1,12	1,11
1,5	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,10	1,10	1,12	1,12	1,13	1,13

12LVT - 80°C, 25 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,08	1,08	1,08	1,09	1,08	1,09	1,09	1,08	1,10	1,10	1,10	1,11
0,5	1,09	1,10	1,09	1,09	1,07	1,09	1,10	1,10	1,09	1,10	1,11	1,11
1	1,09	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,08	1,10	1,10
1,5	1,10	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08

ER55MN - 150°C, 20 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,11	1,12	1,11	1,09	1,10	1,11	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11
0,5	1,10	0,99	1,03	1,08	1,10	1,11	1,11	1,12	1,10	1,10	1,10	1,11
1	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,10	1,10	1,11	1,10
1,5	1,02	1,07	1,08	1,09	1,11	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,10	1,10

ER55MN - 150°C, 20 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,12	1,12	1,14	1,13	1,13	1,14
0,5	1,12	1,13	1,12	1,12	1,12	1,11	1,12	1,11	1,13	1,13	1,12	1,12
1	1,12	1,12	1,13	1,12	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,12	1,11	1,13
1,5	1,12	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,13	1,13	1,13	1,12	1,14	1,12

ER55MN - 200°C, 4 min												
Měděný povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,09	1,09	1,10	1,09	1,01	1,00	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	580,00
0,5	1,10	1,10	2,05	1,10	1,10	1,10	1,11	1,10	7,80	3200,00	5500,00	60,00
1	1,09	1,09	96,00	16,00	1,10	1,10	1,10	0,84	29,00	1,12	1,12	1,11
1,5	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,10	1,10	1,09	1,12	1,12	2,20	36,00

ER55MN - 200°C, 4 min												
Zlacený povrch												
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]											
0,2	1,09	1,07	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
0,5	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
1	1,09	0,92	1,08	1,06	1,10	1,09	1,09	1,09	1,11	1,11	1,10	1,10
1,5	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,10

Loctite 3888 - 150°C, 30 min				
Měděný povrch				
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]			
0,2	1,08	1,09	1,11	1,09
0,5	1,11	1,11	1,11	1,11
1	1,12	1,11	1,12	1,12
1,5	1,11	1,10	1,12	1,11

Loctite 3888 - 150°C, 30 min				
Zlacený povrch				
Velikost mezery [mm]	Naměřená nelinearita [μ V]			
0,2	1,12	1,12	1,12	1,11
0,5	1,12	1,12	1,11	1,11
1	1,12	1,12	1,11	1,11
1,5	1,10	1,11	1,11	1,11

Naměřené hodnoty odporu v druhé části měření

Všechny uvedené hodnoty jsou v mΩ

1. Přerušované stárnutí v ohybu

AX12LVT měď																								
deska	6				5				3				7				1				10			
bez ohybu	123	53	53	62	73	110	66	213	69	42	74	42	74	80	81	65	146	51	64	89	75	161	66	57
před stárnutím, v ohybu		622	1012	3900	2800	928	966	11870	551	4380		2330	6650	6720	662	560	6930	468	520	1840	1870	2120	1130	824
po 1. stárnutí																								
po 2. stárnutí																								
po 3. stárnutí		3550	7960	11400	10520	14300	22630		21230	76100	30500	26310	13110	2E+05	31600	9410	17450	13600	10500	58380	25700	20060	10430	90890

PERMACOL měď																
deska	6				5				4				3			
bez ohybu	104	132	425	221	308	322	377	98	68	119	153	128	163	420	270	474
před stárnutím, v ohybu	310	1067	2423	2048				5400	664	290	960	234	201	1936	420	
po 1. stárnutí	382								782	480	975	329	148	1024		
po 2. stárnutí	449					1175			966	613		431	323			
po 3. stárnutí	512	3810		2250	1E+05	90000		13220	1107	605	3890	497	494	2310		4530

PERMACOL zlato																				
deska	5				4				3				2				1			
bez ohybu	81	75	120	78	40	90	115	65	283	113	320	580	164	222	256	289	587	1070	356	565
před stárnutím, v ohybu	585	850	330	1730		574	333	827	240	5740	800	4030		854		2238	717	1835	1480	482
po 1. stárnutí	832	520	508			1150	719			282	475									
po 2. stárnutí	765	909	836							349	570									
po 3. stárnutí	879	1080	2520	13460	770	4520	5890	5710	2970	658	711	3020		3960	63130	13190	2960	8050	2280	5370

AX12LVT zlato								
deska	3				1			
bez ohybu	50	51	297	60	113	52	111	87
před stárnutím, v ohybu					2150	8500	5820	
po 1. stárnutí								
po 2. stárnutí								
po 3. stárnutí	1E+05	8E+05	46000		36800	55350	48210	

AX15S měď																								
deska	7				8				6				5				4				3			
bez ohybu	122	133	43	63	105	83	188	43	7700	1850	227	1150	463	607	1280	323	330	16	52	320	958	309	32	39
před stárnutím, v ohybu	2808		2620			947	1420	408		6720	8850	2430		10050	3363				2530	2963	2542	727	946	
po 1. stárnutí																								
po 2. stárnutí																								
po 3. stárnutí	2E+05		70300	1E+06	6900		6160	1E+05			1E+10	25420	21840	8840	42890	34430			8E+05	1E+10	49720	1E+10	22230	

AX15S měď							
2				1			
98	147	70	35	195	66	183	49
4890		4001	2702	817	6230	500	9370
1E+10	9E+09	6E+05	9E+09	8E+09		28820	3E+09

AX15S zlato																								
deska	10				7				6				5				4				3			
bez ohybu	312	295	808	450	17000	854	209	287	464	3800	6400	2270	298	858	595	305	895	1670	245	2270	15500	133	636	1395
před stárnutím, v ohybu									2774		3780	6306					7762		4487	2555		9400		
po 1. stárnutí																								
po 2. stárnutí																								
po 3. stárnutí	25200	90600	39950	2E+05	8E+06	4E+09	57880		7930	2E+05	2E+09	19390	6E+09	3E+05	89000	92130	1E+05	9E+09	8E+09	12830	74530	9180	90310	70800

AX15S zlato							
1				2			
3186	378	8300	1435	9340	336	679	2120
			7910		2227		9300
	2E+10	1E+10			49890	11770	65400

LOCTITE zlato																								
deska	6				5				3				4				2				1			
bez ohybu	84	56	61	93	68	222	90	125	163	60	86	87	68	54	57	56	54	66	76	73	77	121	71	86
před stárnutím, v ohybu	105	4615	101	285	152	1180	105	89	83		447	62	210	100	52	56		134	61	82	562	133	77	105
po 1. stárnutí	519		840	920	705				1186			958			626					611				1007
po 2. stárnutí	1032			824																				
po 3. stárnutí	2740	39300	12300	485	3E+08	86900	29770	9050	22270	4300	7380	52800	5E+09	8660	4060	10650	22410	6230	16480	54840	7310	6030	2E+09	10660

LOCTITE měď																								
deska	8				7				6				5				4				3			
bez ohybu	69	59	50	450	47	62	47	54	70	113	83	84	96	80	85	45	43	65	80	48	75	74	69	103
před stárnutím, v ohybu	83	59	141		185	202	110	84	122	113	160	75	115	53	1572	459	109	74	428	217	286	170	88	295
po 1. stárnutí		495	297				414	774	1046	1160		720								1071				
po 2. stárnutí			562				1152																	
po 3. stárnutí	36360	4150	835	8400	44300	1E+10	3350	6E+09	5660	4800	24620	1710	1300	1730	5690	40680	7420	19560	9290	4280	54080	49310		4E+09

LOCTITE měď							
2				1			
62	70	114	104	79	156	65	73
78	77		337			119	144
	508						
9530	19240		4220	9E+05	50250		

ER55MN měď																								
deska	8				4				9				7				5				6			
bez ohybu	98	110	112	117	119	185	154	139	136	75	139	166	101	96	147	111	137	77	217	122	170	142	163	141
před stárnutím, v ohybu			6680		578	744			717	8950	3700	4104	445	1730					8400			1010	493	
po 1. stárnutí					627	894			819				548									1169	768	
po 2. stárnutí					782	1190			913				602										903	
po 3. stárnutí		22090	2180		825	1900			924	10100	3440	4980	581	25360		4300			22760	6960		2320	960	7960

ER55MN měď							
3				1			
135	186	144	227	160	232	236	283
					730		7000
							864
							972
					1710		1027

2. Nepřerušované stárnutí v ohybu

ER55MN zlato																								
deska	10				8				6				5				4				3			
bez ohybu	287	296	280	116	230	137	126	143	356	431	420	240	175	241	130	163	252	235	133	364	295	202	328	180
před stárnutím, v ohybu				666	750	900	700	552		1548	1187			1350			2848	547	787		440		4700	
po nepřeruš. stárnutí	28100		13560	643	1189	2490	2200	788	2730	4600	3040			3280	29300	27710	8550	1004	858					

ER55MN zlato							
2				1			
250	208	135	149	190	420	333	345
6860	2070	340		4700	8300	1500	
2200	2260	355	7380	2120	5690	26000	

PERMACOL měď				
deska	2			
bez ohybu	264	85	76	62
před stárnutím, v ohybu	430	390	1630	540
po nepřeruš. stárnutí	2100	778	1540	700

AX12LVT zlato																
deska	10				7				6				5			
bez ohybu	410	45	45	72	41	156	67	54	153	66	154	51	56	77	336	111
před stárnutím, v ohybu	2711	11900	10648	6127								6370			7537	2907
po nepřeruš. stárnutí	7670	17760	22100	2E+05	3E+05	14370	89930	1E+05	56950	12460	19540	44000	1E+05	97000	2E+05	15240

3. Nepřerušované stárnutí bez ohybu

PERMACOL zlato												
deska	6				7				8			
před stárnutím	116	74	54	70	240	760	850	370	84	48	58	45
po stárnutí	4190	1700	245	1780	1191	13900	8990	7070	669	1250	1057	667

LOCTITE zlato								
deska	7				9			
před stárnutím	62	120	55	58	186	42	72	58
po stárnutí	771	20500	976	243	20150	233	1650	435

LOCTITE měď								
deska	10							
před stárnutím	69	63	74	240				
po stárnutí	1660	582	821	39950				

AX12LVT zlato								
deska	2				8			
před stárnutím								
po stárnutí		41000	11000	5240	15060	33000	13730	2690

AX15S zlato								
deska	8							
před stárnutím								
po stárnutí	20810		7480	27420				

ER55MN zlato							
deska	9						
před stárnutím	111	200	307	182			
po stárnutí	263	990	831	455			

PERMACOL měď							
deska	9				10		
před stárnutím	197	280	138	246	124	167	150 184
po stárnutí	1890	1590	759	683	830	1620	393 1380

AX12LVT měď							
deska	8				9		
před stárnutím	67	89	53	59			
po stárnutí	1187	16110	2220	3140	2260	1600	14930 1030

ER55MN měď							
deska	10						
před stárnutím	85	111	102	109			
po stárnutí	163	252	186	261			

AX15S měď							
deska	9						
před stárnutím	88	112	40	43			
po stárnutí	7070	16300	170	177			

Naměřené hodnoty nelinearity v druhé části měření

Všechny uvedené hodnoty jsou v μV

1. Přerušované stárnutí v ohybu

AX12LVT měď																								
deska	6				5				3				7				1				10			
bez ohybu	0,89	0,22	0,23	0,2	0,14	0,1	0,11	2,49	0,2	0,23	0,21	0,23	0,19	0,19	0,17	0,21	0,84	0,22	0,2	0,14	0,18	1,12	0,2	0,24
před stárnutím, v ohybu	100	5	5,2	15,6	9	5,1	5,3	146	5	19,6	980	5,4	127	675	5	5	7,1	5	5	5,4	5	5,5	5	4,9
po 1. stárnutí	66,5	32	85	510	675	870	118	1E+06	435	1E+06	1E+06	730	1E+06	10,2	703	470	1E+06	35,6	65,7	882	91,5	480	11,4	356
po 2. stárnutí	180	1180	1420	1E+06	1E+06	77	670	1E+06	185	2070	1E+06	1E+06	380	1E+06	230	1540	650	1770	58	245	612	1320	370	820
po 3. stárnutí	279	1E+06	62	1E+06	930	1E+06	630	1E+06	1E+06	1E+06	1E+06	1020	1E+06	1E+06	117	33	461	1520	203	220	262	2210	441	730

PERMACOL měď																
deska	6				5				4				3			
bez ohybu	0,17	0,19	57,9	0,2	0,57	3,56	0,16	0,19	0,24	0,16	3,2	0,19	0,14	18,2	0,1	0,34
před stárnutím, v ohybu	5	5	5,6	5,1	1E+06	1E+06	1E+06	5,3	5	5	5	5	5	5,1	5	1E+06
po 1. stárnutí	4,9	5,9	1250	4,9	128	1E+06	1E+06	6,7	4,9	4,9	4,9	4,85	4,9	4,9	5,1	8
po 2. stárnutí	4,9	13,2	516	5,2	5	363	1E+06	17	5	4,9	12,6	4,9	4,9	5,1	8,7	11,6
po 3. stárnutí	5	30	201	5,2	1E+06	1E+06	1E+06	28	5	5	48	5	5	5,4	42	1E+06

PERMACOL zlato																				
deska	5				4				3				2				1			
bez ohybu	0,13	0,24	12	1,4	0,25	0,56	0,58	0,13	4,4	0,2	0,15	69	0,6	3,3	13,5	0,1	16	41,6	0,7	4,6
před stárnutím, v ohybu	5	5	5	5,6	1E+06	5	5	5,1	5	5	5	28	1E+06	5	98	9,4	5	5,2	5,1	5
po 1. stárnutí	4,86	4,86	4,88	6,03	1E+06	5,35	4,87	309	21,6	4,85	4,85	5,2	1E+06	12,9	1200	620	6,1	13,8	5,3	5,2
po 2. stárnutí	5	4,95	5	8	1E+06	9,5	5,3	285	34,4	4,9	4,94	5,54	1E+06	12,8	524	518	8,6	55	5,7	7
po 3. stárnutí	5	5	118	33	1E+06	45	130	371	52	5	5	7	1E+06	15	25	636	1E+06	133	8,4	12,8

AX12LVT zlato								
deska	3				1			
bez ohybu	0,22	0,23	2,5	0,22	0,22	0,21	0,13	0,16
před stárnutím, v ohybu	460	271	610	182	5	13,5	4,9	111
po 1. stárnutí	306	620	116	1E+06	15,2	25,1	5,7	1E+06
po 2. stárnutí	580	1E+06	264	1E+06	44	470	114	1E+06
po 3. stárnutí	708	1E+06	302	1E+06	192	507	1340	1E+06

AX15S měď																								
deska	7				8				6				5				4				3			
bez ohybu	0,52	0,35	0,24	0,16	0,12	0,55	0,14	0,24	61	180	0,6	61,7	18,2	26,6	84	21	5,4	460	230	10,2	502	12,2	0,24	0,23
před stárnutím, v ohybu	5	1260	7	1E+06	230	4,9	5	4,9	1080	8,8	362	5,2	156	254	9,6	253	1E+06	1E+06	6,1	14,6	5,4	4,9	4,9	1E+06
po 1. stárnutí	276	28,5	260	1E+06	1E+06	112	6,9	88	1E+06	305	1E+06	6,5	1E+06	282	1E+06	528	1E+06	1E+06	330	11,7	21	13,4	23,3	1E+06
po 2. stárnutí	126	1E+06	623	1E+06	1E+06	95	22	697	1E+06	570	1E+06	13,3	455	126	570	168	1E+06	1E+06	616	14,5	34	16	22	1E+06
po 3. stárnutí	10,4	1E+06	1440	1E+06	254	9,3	408	1140	1E+06	180	1E+06	60	78	584	15	151	1E+06	1E+06	376	16,3	146	1E+06	66	1E+06

AX15S měď								
2				1				
0,18	0,09	0,22	0,25	1	0,18	0,09	0,24	
35	1E+06	10,6	5,4	4,9	46	586	49	
168	1E+06	11	56,7	36,8	1E+06	1E+06	56,8	
10,4	1E+06	12	11	20	1E+06	26	22	
11,6	1E+06	10,9	10,5	1E+06	1E+06	35	43	

AX15S zlato																								
deska	10				7				6				5				4				3			
bez ohybu	0,88	0,79	118	3,5	218	18,6	293	520	760	103	226	11,3	850	37,8	8,7	1,3	47,8	227	1,34	1,02	1100	0,18	4,95	464
před stárnutím, v ohybu	82,5	208	830	390	785	1E+06	70	45	5,1	104	11,6	21,6	75	1E+06	252	26	6,9	239	6,6	5,1	740	452	140	840
po 1. stárnutí	202	110	21	17,4	6	10,8	22	320	5,7	122	446	815	58	1E+06	50	11,5	368	102	134	8,4	10,4	115	490	610
po 2. stárnutí	3950	1580	24	1E+06	1E+06	1E+06	37,6	1E+06	6,6	120	417	256	820	1E+06	121	18,2	16,5	1E+06	11,8	27,3	16,4	25,7	186	473
po 3. stárnutí	3290	2430	39	1E+06	1E+06	1E+06	166	1E+06	15	100	212	62	35	1E+06	172	980	16	12,5	12,6	112	12,3	19,8	275	88

AX15S zlato								
1				2				
576	0,2	2520	124	810	657	10,4	280	
760	1E+06	9,6	27,6	1E+06	5	87	17	
1E+06	1E+06	1E+06	215	1E+06	60,5	190	292	
1E+06	1E+06	1E+06	209	266	380	1E+06	220	
1E+06	1E+06	1E+06	490	1E+06	740	1E+06	222	

LOCTITE zlato																								
deska	6				5				3				4				2				1			
bez ohybu	0,18	0,22	0,21	0,17	0,22	3,25	0,17	0,13	1,11	0,23	0,2	0,2	0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,22	0,2	0,23	0,22	0,16	0,22	0,19
před stárnutím, v ohybu	4,9	365	4,9	5	4,9	57,5	4,9	4,9	4,9	1E+06	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	1E+06	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
po 1. stárnutí	4,9	1E+06	4,9	5,03	6,1	43	9	6	6,9	337	162	5,02	117	15	5	260	1E+06	80	7,6	4,92	138	1380	8,5	5,53
po 2. stárnutí	5,85	1E+06	538	116	1020	621	1580	198	492	383	122	166	51,6	16,1	10,8	344	1E+06	73	375	348	24	215	152	42
po 3. stárnutí	32	1E+06	1E+06	130	580	753	45	632	1160	29	350	697	82	710	83	405	1E+06	88	17	1440	70	1E+06	34	548

LOCTITE měď																								
deska	8				7				6				5				4				3			
bez ohybu	0,23	0,24	0,25	57,2	0,25	0,24	0,25	0,23	0,22	0,14	0,2	0,2	0,17	0,18	0,16	0,24	0,23	0,21	0,13	0,23	0,2	0,21	0,21	0,14
před stárnutím, v ohybu	4,9	4,9	4,9	750	4,9	4,9	4,9	4,9	22	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	21,4	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
po 1. stárnutí	5,56	4,9	4,8	128	230	1210	4,8	5,3	5,1	8,4	5,05	4,95	208	14	13,6	9,3	11,8	6,5	5,4	5,4	352	173	5,7	9,8
po 2. stárnutí	319	11,4	5	530	420	2200	5	15	9	23	172	41	6,8	48,5	264	261	1380	222	16,9	12	832	707	322	102
po 3. stárnutí	465	43	5	206	1E+06	1E+06	18	45	260	1E+06	148	376	17,3	206	422	13,5	770	294	155	121	1E+06	1E+06	1E+06	11,3

LOCTITE měď							
2				1			
0,22	0,22	0,1	0,16	0,23	0,64	0,22	0,22
4,9	4,9	1E+06	4,9	1E+06	1E+06	4,9	4,9
8,2	4,9	1E+06	225	1E+06	358	19,8	434
226	186	1E+06	47,3	1E+06	1E+06	7,5	227
348	122	1E+06	13,5	1E+06	1E+06	75	122

ER55MN měď																								
deska	8				4				9				7				5				6			
bez ohybu	0,19	0,19	0,2	0,14	0,15	0,7	0,22	0,13	0,14	0,23	0,15	0,14	0,2	0,15	0,13	0,17	0,13	0,23	0,67	0,19	0,86	0,13	0,14	0,12
před stárnutím, v ohybu	1E+06	43	21	430	4,9	12	530	1E+06	4,9	4,9	19	34	4,9	5	1E+06	190	1E+06	27	280	4,9	1E+06	4,9	4,9	32
po 1. stárnutí	1E+06	104	5,4	1E+06	4,9	4,9	1E+06	1E+06	4,9	986	5,47	19,2	4,87	9,5	1E+06	21,6	1E+06	32,7	690	6,8	740	4,9	4,9	107
po 2. stárnutí	1E+06	270	8,8	1E+06	5,03	5,06	1E+06	1E+06	5	46	6	1E+06	5	32	1E+06	18	1E+06	290	974	7,6	764	5	5	64
po 3. stárnutí	1E+06	152	7	1E+06	5	5,1	1E+06	1E+06	5	37	8	276	5	170	1E+06	23	1E+06	1E+06	850	62	1E+06	5	5	84

ER55MN měď							
3				1			
0,14	0,15	0,36	0,65	0,13	1,08	0,98	0,15
1020	1E+06	1560	1E+06	1E+06	4,9	1E+06	8,6
1E+06	908	1E+06	1E+06	1E+06	4,9	1E+06	4,9
1E+06	1E+06	1E+06	1E+06	1E+06	5	1E+06	5,1
1E+06	1020	1E+06	1E+06	1E+06	5	1E+06	5

2. Nepřerušované stárnutí v ohybu

ER55MN zlato																								
deska	10				8				6				5				4				3			
bez ohybu	3,5	2,15	5,4	0,18	1,94	0,15	0,16	0,14	9,4	6,8	4,5	2,9	1,25	1,4	1,15	0,38	4,6	0,76	0,17	7,7	5	0,5	9,2	0,9
před stárnutím, v ohybu	9,8	1E+06	1E+06	4,9	5	5,3	5	4,9	320	5	5	1E+06	1E+06	5	1E+06	320	6,9	4,9	4,9	1080	4,9	540	108	1E+06
po nepřeruš. stárnutí	15,8	1E+06	1120	4,9	5	5,2	5	4,9	11,6	48	5,7	1E+06	1E+06	5,5	1E+06	217	141	4,9	4,9	1E+06	4,9	1E+06	182	1E+06

ER55MN zlato							
2				1			
0,72	0,83	0,18	0,12	0,66	21,8	2,7	2,4
820	5,4	4,9		7,4	60	6,1	1E+06
5	5,2	4,9	84	30	104	5,1	1E+06

PERMACOL měď				
deska	2			
bez ohybu	3,8	0,13	0,23	0,14
před stárnutím, v ohybu	5	5	5	5
po nepřeruš. stárnutí	10,8	4,9	4,9	4,9

AX12LVT zlato																	
deska	10				7				6				5				
bez ohybu	5,04	0,23	0,24	0,18	0,24	1,7	0,23	0,23	0,78	0,2	1,02	0,23	0,23	0,21	92	0,12	
před stárnutím, v ohybu	5	164	8,6	5,5	82	144	1E+06	89	195	250	708	9	920	170	42	5,8	
po nepřeruš. stárnutí	24	20	75	1E+06	1E+06	140	1E+06	780	728	333	83	638	1E+06	1E+06	17	84	

3. Nepřerušované stárnutí bez ohybu

PERMACOL zlato												
deska	6				7				8			
před stárnutím	3	3,6	0,26	0,5	1,7	154	47	7,8	0,18	0,2	0,25	0,26
po stárnutí	5	346	252	703	4,9	5	5	4,9	59	12	4,8	27

LOCTITE zlato								
deska	7				9			
před stárnutím	0,22	0,09	0,23	0,23	3,2	0,24	0,2	0,23
po stárnutí	4,9	804	7,2	4,9	17	4,9	1E+06	4,9

LOCTITE měď								
deska	10							
před stárnutím	0,22	0,22	0,19	4,6				
po stárnutí	6	4,9	5,4	329				

AX12LVT zlato								
deska	2				8			
před stárnutím	0,14	0,31	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,13
po stárnutí	1E+06	264	51	50	925	420	293	54

AX15S zlato								
deska	8							
před stárnutím	41,4	185	164	286				
po stárnutí	30	663	197	1020				

ER55MN zlato								
deska	9							
před stárnutím	0,2	1,46	5,55	0,72				
po stárnutí	4,9	4,9	6,5	4,9				

PERMACOL měď								
deska	9				10			
před stárnutím	1,1	0,3	0,13	3,6	0,14	0,28	0,22	0,68
po stárnutí	5,6	6,1	4,9	37	5	6	4,9	5,3

AX12LVT měď								
deska	8				9			
před stárnutím	0,21	0,2	0,22	0,21	0,11	0,22	0,11	0,22
po stárnutí	5,6	1770	54	29	236	26	1E+06	80

ER55MN měď								
deska	10							
před stárnutím	0,22	0,15	0,16	0,19				
po stárnutí	4,9	4,8	5	5,9				

AX15S měď								
deska	9							
před stárnutím	0,18	0,24	0,24	0,23				
po stárnutí	1E+06	1440	4,8	4,9				