

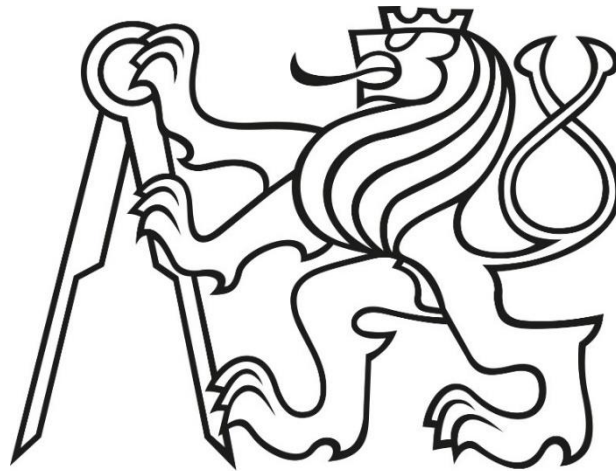
České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrotechnologie

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika a management

Obor: Aplikovaná elektrotechnika



**Vliv podmínek vytvrzování elektricky vodivých lepidel na jejich
vlastnosti**

**The Influence of Curing Conditions on Properties of Electrically
Conductive Adhesives**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Karel Barták

Vedoucí práce: Ing. Ivana Beshajová Pelikánová Ph.D.

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Barták** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **434926**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv podmínek vytvrzování elektricky vodivých lepidel na jejich vlastnosti

Název bakalářské práce anglicky:

The Influence of Curing Conditions on Properties of Electrically Conductive Adhesives

Pokyny pro vypracování:

1. Popište strukturu a vlastnosti elektricky vodivých lepidel, materiály a použití.
2. Podrobněji rozvedte problematiku materiálů používaných jako pojiva elektricky vodivých lepidel.
3. Připravte vzorky spojů vytvořených pomocí elektricky vodivých lepidel a změřte elektrické a mechanické parametry.
4. Analyzujte výsledky měření v závislosti na různých teplotách a časech vytvrzování elektricky vodivých lepidel.

Seznam doporučené literatury:

- [1] PIETRIKOVÁ A., ĎURIŠIN J., MACH P.: Diagnostika a optimalizácia použitia ekologických materiálov pre vodivé spájanie v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej university v Košiciach, Košice 2010
[2] LICARI, J. J., SWANSON, D. W.: Adhesives Technology for Electronic Applications, 2011 Elsevier, ISBN: 978-1-4377-7889-2
[3] EBNESAJJAD S.: Handbook of Adhesives and Surface Preparation ? Technology, Applications and Manufacturing, 2011, ISBN: 978-1-4377-4461-3

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Ivana Beshajová Pelikánová Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

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

V Praze dne 23. 5. 2017

.....
Karel Barták

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval paní doktorce Ing. Ivaně Beshajové Pelikánové Ph.D. za její cenné rady, odborné připomínky a vstřícný postoj k mé práci, dále bych chtěl poděkovat rodině za poskytnutí podmínek pro studium.

Anotace:

Tato práce pojednává o problematice využití moderního ekologického spojování za pomoci elektricky vodivých lepidel. V úvodu je popsána základní struktura elektricky vodivých lepidel, jejich vlastnosti a použité materiály, dále se práce detailněji zabývá problematikou vytvrzování u nejčastěji používaných druhů pojiv. Popsaná problematika je v následující části této práce experimentálně ověřena a výsledky těchto experimentů jsou řádně zanalyzovány.

Klíčová slova:

Vodivá lepidla, materiály, elektrotechnika, reaktoplasty, pryskyřice

Abstract:

This bachelor thesis reminds about problematics of modern ecological joining with ECA (electrically conductive adhesives). At the beginning of this thesis is described the basic structure of ECA, their proprieties and used materials. Further is the thesis focused about problematics of curing at the most used types of binders. Described problematic is in next part of work experimentally verified and the results of experiments were properly analysed.

Keywords:

Conductive adhesives, materials, electrical engineering, reactplastics, resin

Obsah:

ÚVOD	10
1 SLOŽENÍ A VLASTNOSTI ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL	11
1.1 ZÁKLADNÍ STRUKTURA	11
1.1.1 <i>Druhy vodivých částechek</i>	11
1.1.1.1 Vodivé šupinky	12
1.1.1.2 Vodivé kuličky	12
1.1.1.3 Minoritní vodiče	13
1.1.2 <i>Druhy pojiv</i>	13
1.1.2.1 Pojivo na bázi epoxidové pryskyřice	13
1.1.2.2 Pojivo na bázi silikonové pryskyřice	14
1.1.2.3 Pojivo na polyamidové bázi	14
1.2 DRUHY LEPIDEL	14
1.2.1 <i>Izotropní lepidla</i>	14
1.2.2 <i>Anizotropní lepidla</i>	14
1.3 ELEKTRICKÉ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL	15
1.4 POUŽITÍ ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL	15
2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ JAKO POJIVA PRO ELEKTRICKY VODIVÁ LEPIDLA	16
2.1 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE	16
2.1.1 <i>Chemické složení epoxidové pryskyřice</i>	17
2.1.2 <i>Vytvrzování epoxidových pryskyřic</i>	19
2.1.3 <i>Výhody a nevýhody epoxidových pryskyřic</i>	21
2.2 SILIKONOVÁ PRYSKYŘICE	21
2.2.1 <i>Chemické složení silikonové pryskyřice</i>	21
2.2.2 <i>Silikony vytvrzené kondenzací</i>	22
2.2.3 <i>Silikony vytvrzené přidáním aditiv</i>	22
2.2.4 <i>Silikony vytvrzené vlhkostí</i>	23
2.2.5 <i>Vlastnosti silikonové pryskyřice</i>	23
2.3 POLYAMIDOVÉ POJIVO	23
2.3.1 <i>Chemické složení polyamidového pojiva</i>	23
2.3.2 <i>Vlastnosti polyamidového pojiva</i>	24
3 APLIKACE A VYTVRZOVÁNÍ ELEKTRICKY VODIVÝCH LEPIDEL	24

3.1	ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY NANÁŠENÍ:.....	24
3.1.1	Šablonový tisk a sítotisk.....	24
3.1.2	Jehličkové nanášení	26
3.1.3	Dispenzní nanášení.....	26
3.1.4	Anizotropní folie.....	27
3.2	VYTVRZOVÁNÍ IZOTROPNÍCH LEPIDEL	27
3.3	VYTVRZOVÁNÍ ANIZOTROPNÍCH LEPIDEL	28
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	28
4.1	CÍLE EXPERIMENTU	28
4.1.1	Použitá lepidla	28
4.2	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU	29
4.2.1	Zhotovení vzorků	29
4.2.2	Způsob měření dat.....	31
4.3	NAMĚŘENÁ DATA	32
4.3.1	ELPOX ER 55 MN.....	32
4.3.2	ELPOX AX 70 MN	38
4.3.3	ELPOX AX 12 LVT.....	42
4.3.4	ELPOX AX 15s.....	48
4.3.5	Celkové porovnání:	50
4.4	ZÁVĚREČNÉ SHRUTÍ A POZNATKY Z MĚŘENÍ:.....	51
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH	55

Seznam obrázků

Obrázek 1: Tvar a rozložení vodivých šupinek v izotropním lepidle [5]	12
Obrázek 2: Stříbrné šupinky detail z mikroskopu [10]	12
Obrázek 3: Princip vodivých kuliček [5]	13
Obrázek 4: Elektricky vodivé lepidlo s příměsí minoritních vodivých nanočástic [5]	13
Obrázek 5: Základní struktury epoxidových pryskyřic [2]	17
Obrázek 6: Syntéza epoxidové pryskyřice: generalizovaná reakce: (b) reakce hydroxylové skupiny s protonem NaOH; (c) nahrazení atomu chloru hydroxylovou skupinou; (d) šíření řetězců; (e) ukončení kroku [2]....	18
Obrázek 7: Pokračování obr. 6 [2]	19
Obrázek 8: Základní struktura silikonových polymerů [2]	22
Obrázek 9: Způsob nanášení elektricky vodivých lepidel při šablonovém tisku [2]	25
Obrázek 10: Způsob nanášení elektricky vodivých lepidel při sítotisku [5]	25
Obrázek 11: Dispensní hlava [5]	27
Obrázek 12: Vytvrzování anizotropně vodivých lepidel [10]	28
Obrázek 13: Vakuový manipulátor pro přesné usazení SMT součástek	31
Obrázek 14: SMD rezistor určený pro ECA	31
Obrázek 15: Testovací destička osazená SMD rezistory 0R00	31
Obrázek 16: Příklad tabulky pro měření dat	32
Obrázek 17: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo ER 55 MN, při 150°C.....	34
Obrázek 18: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo ER 55 MN, při 180°C.....	35
Obrázek 19: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo ER 55 MN, při 200°C.....	36
Obrázek 20: Porovnání vlastností jedno sl. lepidla ER 55 MN při různých podmínkách vytvrzování	37
Obrázek 21: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 70 MN, při 200°C.....	39
Obrázek 22: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 70 MN, při 180°C.....	40
Obrázek 23: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 70 MN, při 150°C.....	41

Obrázek 24: Porovnání vlastností jedno sl. lepidla AX 70 MN při různých podmínkách vytvrzování	42
Obrázek 25: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 12 LVT, při 80°C	44
Obrázek 26: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 12 LVT, při 100°C	45
Obrázek 27: Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 12 LVT, při 120°C	46
Obrázek 28: Porovnání vlastností dvou sl. lepidla AX 12 LVT při různých podmínkách vytvrzování	47
Obrázek 29: Celkové porovnání elektrických vlastností testovaných lepidel.....	50
Obrázek 30: Celkové porovnání mechanických vlastností testovaných lepidel.....	51

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry epoxydových pryskyřic používaných pro lepení [2]	10
Tabulka 2: Typická epoxydová vytvrzovací činidla [2]	20
Tabulka 3: Výhody a nevýhody různých epoxydových vytvrzovacích prostředků [2]	20
Tabulka 4: Použitá lepidla [5]	29
Tabulka 5: Specifikace jednosložkového lepidla Elxpox ER 55 MN.....	33
Tabulka 6: Technické parametry jednosložkového lepidla Elxpox ER 55 MN ..	33
Tabulka 7: Specifikace jednosložkového lepidla Elxpox AX 70 MN	38
Tabulka 8: Technické parametry jednosložkového lepidla Elxpox ER 55 MN ...	38
Tabulka 9: Specifikace dvousložkového lepidla Elxpox AX 12 LVT.....	43
Tabulka 10: Technické parametry dvousložkového lepidla Elxpox AX 12 LVT	43
Tabulka 11: Specifikace dvousložkového lepidla Elxpox AX 15s	49
Tabulka 12: Technické parametry dvousložkového lepidla Elxpox AX 15s.....	49

Úvod

Elektricky vodivá lepidla alias electric conductive adhesives zkráceně ECA, jsou známá již od 60 let 20. století [2]. S postupem času a vývojem součástek pro elektroniku se dříve běžné napojení součástek na desku plošného spoje pomocí průchozího otvoru THT (Through Hole Technology) začalo nahrazovat povrchovou montáží SMT (Surface Mount Technology) [7]. Způsobilo to však spoustu problémů, neboť do té doby zcela běžné pájení vlnou nyní mohlo poškodit součástky citlivé na teplo, a tak se začaly hledat nové způsoby elektrického spojování součástek, což pomohlo i rozšíření elektricky vodivých lepidel [1]. Nicméně největšího rozmachu se elektricky vodivá lepidla dočkala až po vydání nové Evropské směrnice o eliminaci nebezpečných látek při výrobě elektrotechnických zařízení zkráceně ROHS [1]. Mimo jiné se jedná se o pokus nahradit neekologickou a „životu nebezpečnou“ olovnatou pájkou SnPb-63/37 [5].

Elektricky vodivá lepidla mají oproti klasickým i bezolovnatým pájkám velkou řadu nevýhod, ale i přes tyto nevýhody si elektricky vodivá lepidla našla nenahraditelné uplatnění, například při kontaktování LCD panelů, kde je použití konvekčního elektrického spojování za pomoci pájek neuskutečnitelné, protože při dosažení teploty nutné pro pájení bezolovnatou pájkou (240 °C) by došlo k destrukci onoho panelu, dokonce i teplota pájení olovnaté pájky je pro tyto aplikace příliš vysoká [1].

Samotný název elektricky vodivá lepidla není zcela přesný, neboť sama lepidla jsou složena z izolantů a elektrický proud tedy už ze své definice vést nemohou. Proto jsou tato lepidla plněna vodivými částicemi tzv. „fillery“ [1]. Výhody a nevýhody použití konkrétních materiálů jako fillerů a materiálů použitých pro vytvoření mechanické vazby budou rozebrány níže v této práci.

Elektricky vodivá lepidla mají velký potenciál a tato práce se bude snažit přiblížit jejich praktické využití.

1 Složení a vlastnosti elektricky vodivých lepidel

Tato část je věnována základním vlastnostem elektricky vodivých lepidel, jejich struktuře a materiálům, ze kterých jsou vyráběny. Principiálně jsou všechna elektricky vodivá lepidla stejná, jak si ale níže ukážeme mezi jednotlivými lepidly mohou být až propastné rozdíly. Dále bude tato část zaměřena na způsoby využití a podmínkám pro aplikaci elektricky vodivých lepidel.

1.1 Základní struktura

Co se základní struktury týče, v elektricky vodivém lepidle rozlišujeme dvě základní složky, složku vodivou a složku vazební [5]. Vodivá složka má za úkol vytvořit elektrické spojení mezi deskou plošného spoje a připojovanou součástkou, obvykle se jedná o dobře vodivý kov, který má tvar miniaturních šupinek, nebo mikrokuliček [1]. Vazební složka (binder) má za úkol udržet připojovanou součástku na místě a zajistit tak funkčnost i při vystavování objektu vnějším silám po celou dobu jeho plánované životnosti. Jako pojivo může být použita velká škála materiálů, nicméně z praktických důvodů se nejvíce rozšířily pouze tři druhy pojiv [1].

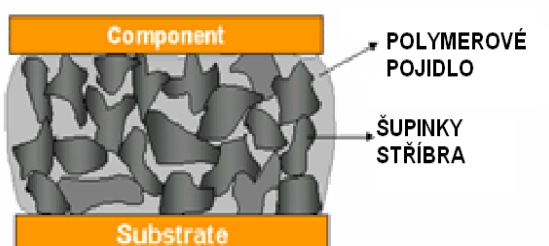
1.1.1 Druhy vodivých částíček

V elektrotechnice existuje velká škála běžně používaných elektricky vodivých materiálů, které jsou více či méně vhodné pro aplikaci v elektricky vodivých lepidlech. Poněvadž lepidla jsou velice specifická větev vodivého spojování, požadavky na vodivý „plnič“ („filler“) jsou obrovské. Kontaktování je v elektronice problémem od nepaměti a namísto běžných dvou kontaktů mezi deskou plošného spoje a připojovanou součástkou zde máme několik desítek tisíc vodivých spojení, kde se u každého samozřejmě projevují problémy spojené se samotným kontaktováním, (tunelový odpor, úžinový odpor, viz [1] část 6.5.1) [1]. V elektrotechnice běžně používaná měď, je z výše uvedeného důvodu naprosto nevhodná, neboť po rozebrání na kusy se na jejím povrchu rychle vytvářejí nevodivé oxidy, které nadměrně zvyšují tunelový odpor, a při počtu kontaktů, který v elektricky vodivém lepidle je, to bohužel není zanedbatelné. Tvorbu oxidů sice lze omezit chemickými inhibitory, ale toto řešení má bohužel neblahý vliv na mechanickou odolnost daného spoje, a proto raději volíme materiál, u kterého přidání těchto inhibitorů není nutné, což nás více či méně odkazuje pouze na dva prvky, kterými jsou stříbro, jehož oxidy jsou vodivé a zlato, které za běžných podmínek neoxiduje [1]. Důvod proč nemůžeme použít zlato je jasný, je to jeho vysoká cena, která bohužel převáží všechny jeho výhody, z těchto důvodů je nejčastěji používaným materiálem pro výrobu vodivých částíček do elektricky vodivých lepidel stříbro, které bohužel také nemá zcela příznivou cenu a to je jeden z hlavních důvodů proč nejsou elektricky vodivá lepidla hojně rozšířena [2].

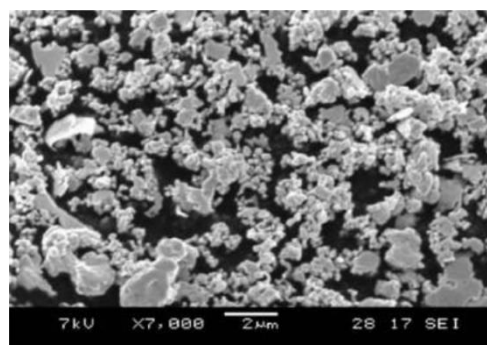
1.1.1.1 Vodivé šupinky

Na obrázcích 1 a 2 je zobrazen typický tvar vodivých šupinek. Výhodou takového tvaru je snadná výroba, kdy základový materiál je postupně drcen kulovými mlýny na požadovaný tvar

Takto vytvořené šupinky mají ve výsledku velmi dobré vodivé spojení, vzhledem k tomu že mají mezi sebou vodivý kontakt na vícero místech, nedochází tak ke vzniku úžinového odporu [1], což má samozřejmě vzhledem k počtu částecek v daném lepidlu pozitivní vliv na výslednou konduktivitu spoje [1].



Obr. 1 Tvar a rozložení vodivých šupinek v izotropním lepidle [5]



Obr. 2 Stříbrné šupinky detail z mikroskopu [10]

1.1.1.2 Vodivé kuličky

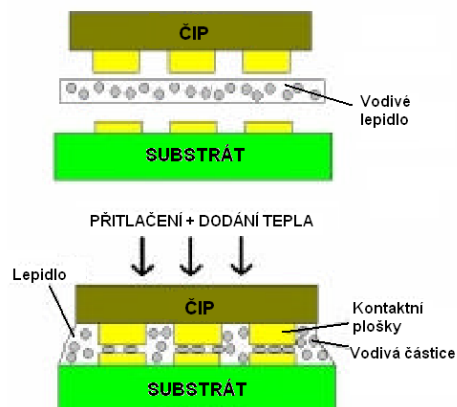
Na rozdíl od šupinek je zde styková část mezi dvěma částčkami značně omezena (teoreticky by měla být bodová, prakticky je velice malá, kruhová s poloměrem a). Z tohoto důvodu vzniká v lepidle při použití těchto druhů vodivých částic ke vzniku úžinového odporu, pro jehož velikost lze použít vztahu:

$$R_z = \frac{\rho}{2a} \quad (1)$$

Zde je $\rho[\Omega \cdot m]$ rezistivita daného materiálu vodivých kuliček, $a[m]$... je poloměr kontaktní plochy mezi dvěma kuličkami, za předpokladu že je tato plocha kruhová [1].

Ovšem i přes tuto nevýhodu má uplatnění elektricky vodivých kuliček v lepidlech své opodstatnění, neboť je možno využít základu z pružného materiálu, který pokovíme tenkou vrstvou vodivého materiálu. Takto vyrobená kulička se po nanesení lepidla a připojení součástky pružně zdeformuje a zajistí tak velice dobrý kontakt mezi sebou [1].

Vodivé kuličky nacházejí své uplatnění spíše u anizotropně vodivých lepidel, kde se používají větší částice s menší koncentrací a samotný kontakt je tvořen menším počtem částic seřazených vedle sebe pod kontaktní ploškou viz obr. 3 [2].

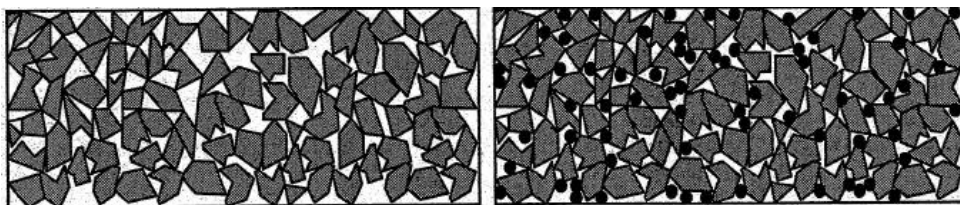


Obr. 3 Princip vodivých kuliček [5]

1.1.1.3 Minoritní vodiče

Výše popisované druhy vodivých částecek slouží jako majoritní vodiče, nicméně pokud požadujeme co nejdokonalejší elektrické spojení a minimální šum spoje můžeme k těmto majoritním částecčkám přidat ještě vodiče minoritní [1].

Jedná se o výrazně menší částecčky, v nižší koncentraci, které mají za úkol zlepšit vodivé propojení mezi jednotlivými fillery. Na obr. 4 jsou tyto částice zobrazeny [1].



Obr. 4 Elektricky vodivé lepidlo s příměsí minoritních vodivých nanočástic [1]

1.1.2 Druhy pojiv

Jak již bylo řečeno, jako pojivo je možné použít velkou škálu materiálů od nejstarších klišů přes dispensní lepidla až po pryskyřice. Vzhledem k přilnavosti se nejvíce rozšířily pouze reaktoplasty a termoplasty [3].

1.1.2.1 Pojivo na bázi epoxidové pryskyřice

Toto pojivo se nejvíce rozšířilo z ekonomických důvodů-nízká cena výroby. Tento druh pojiva je velice citlivý na vlhké prostředí, neboť navlhá a zhoršuje tak elektrické a mechanické vlastnosti. Tento nežádoucí vliv je sice možné eliminovat, ale za cenu zhoršení elektrických vlastností [1]. Tento problém bude v této práci rozebrán v části 2.1.

1.1.2.2 Pojivo na bázi silikonové pryskyřice

Jedná se o velice kvalitní pojivo, které bohužel vzhledem k jeho vysoké ceně není tak hojně rozšířeno. Na rozdíl od epoxidového pojiva je silikonové pojivo stabilní za všech podmínek, a navíc má i lepší teplotní odolnost [1].

1.1.2.3 Pojivo na polyamidové bázi

Na rozdíl od výše zmíněných pojiv se jedná o termoplastickou pryskyřici, která stejně jako v případě silikonové pryskyřice, vykazuje u spojů realizovaných touto pryskyřicí výrazně lepší parametry než u spojů realizovaných za pomoci epoxidové pryskyřice. Navíc termoplasty na rozdíl od reaktoplastů je možno za pomoci zvýšené teploty rozpustit a rozebrat tak spoj realizovaný za pomoci tohoto pojiva [3]. Hlavní nevýhodou u tohoto druhu pojiva je stejně jako v případě silikonové pryskyřice jeho cena, proto se toto pojivo uplatňuje pouze u speciálních aplikací [1].

1.2 Druhy lepidel

Jak již bylo výše uvedeno, mezi hlavní výhody elektricky vodivých lepidel patří jejich obrovská flexibilita. Přidáním aditiv do elektricky vodivých lepidel lze jejich elektrické a mechanické parametry přizpůsobit podmínkám konkrétních aplikací (změnou pevnosti, pružnosti, elektrické vodivosti). Mezi nejvíce ceněnou vlastnost těchto lepidel je možnost vyrobit anizotropně vodivé lepidlo [1].

1.2.1 Izotropní lepidla

Jedná se o nejběžnější druh elektricky vodivých lepidel, která se svými vlastnostmi co nejvíce podobají spojům pájeným tradiční pájkou. Jedná se tedy o lepidlo, které je elektricky vodivé ve všech směrech [1].

Většinou se tato lepidla dodávají ve formě pasty, jak již bylo zmíněno, tyto pasty jsou tvořeny dvěma složkami, a to složkou vazební a složkou vodivou. V případě izotropně vodivých lepidel se nejčastěji používá kombinace epoxydové pryskyřice a stříbrných šupinek, pro speciální aplikace se samozřejmě používají silikonové, či polyamidové pryskyřice, které mají výrazně lepší parametry oproti epoxidové pryskyřici, tato pojiva mohou být doplněna minoritními vodivými částicemi viz. 1.1.1.

Tato lepidla se nejčastěji používají pro spojování SMT součástek [1].

1.2.2 Anizotropní lepidla

Jedná se o speciální druh elektricky vodivých lepidel, které vedou elektrický proud pouze v jednom směru a to sice v ose Z, proto se jim také někdy přezdívá „zetová“ lepidla. Tato

jedinečná vlastnost, které z fyzikálních důvodů při použití běžných pájek není možné dosáhnout, zajišťuje anizotropně vodivým lepidlům široké uplatnění. Na rozdíl od obyčejných pájek je možné použít větší hustotu vývodů na připojované součástce, aniž bychom se museli obávat zkratu mezi jednotlivými vývody [5].

Anizotropně vodivá lepidla jsou většinou dodávána ve formě fólií a k zajištění elektricky vodivého spojení dochází při zvýšeném tlaku a teplotě.

Tento druh lepidla je nejčastěji používán pro kontaktování CHIPů, které mají velmi hustou síť vývodů vedle sebe [1].

1.3 Elektrické a mechanické vlastnosti elektricky vodivých lepidel

Co se elektrických vlastností elektricky vodivých lepidel týče, je zde kladen důraz na co nejmenší ztráty v takovém spoji, čili co nejnižší elektrický odpor. Navíc je zde také kladen důraz na co nejnižší šum takového spoje. Vzhledem k častému zapojení citlivých součástek je také požadována co nejlineárnější VA charakteristika takového spoje [2].

Mechanické vlastností u spojů vytvořených za pomoci elektricky vodivých lepidel je kladen důraz na co největší pevnost v tahu a v krutu, na odolnost proti mechanickému namáhání, vystavení vibracím a tepelnému namáhání. Mechanické vlastnosti se u jednotlivých lepidel liší v závislosti na mnoha faktorech například: použitý druh pojiva, použitý druh plniva, přídatná aditiva pro zlepšení elektrických nebo mechanických vlastností daného spoje a samozřejmě na způsobu a době vytvrzování [1].

1.4 Použití elektricky vodivých lepidel

Elektricky vodivá lepidla jsou v dnešní době velice dynamickým a progresivním odvětvím elektrotechnologie, ve kterém nyní probíhá rozsáhlý výzkum, tak aby se jejich konduktivita co nejvíce přiblížila konvenčním metalurgickým metodám vodivého spojování, tedy pájení [2]. Obecně lze prohlásit, že pro běžné aplikace jsou vlastnosti elektricky vodivých lepidel horší, než vlastnosti běžných pájek. Mají horší elektrickou vodivost, jsou méně pevné a šum spojů je z principu výrazně vyšší. Existují aplikace, kde výhody elektricky vodivých lepidel značně převažují tyto nevýhody, těmito výhodami jsou: možnost vytvoření anizotropně vodivého lepidla, větší pružnost a hlavně schopnost vytvrzení již při pokojové teplotě, což umožňuje připojit i teplotně vysoce citlivé součástky [1].

I když se vývojem těchto lepidel zabývá velké množství renomovaných elektrochemicko-průmyslových společností již od 60. let dvacátého století, zatím stejně jako u bezolovnatých pájek nemáme dostatek dat, abychom přesně věděli, co se s danými spoji bude dít v průběhu jejich životnosti, proto není možné uplatňovat elektricky vodivá lepidla, stejně jako bezolovnaté pájky například v leteckém průmyslu, kde je kladen nárok na co nejvyšší spolehlivost

a veškeré součástky a materiály používané v leteckém průmyslu jsou velice podrobně testovány po dlouhou dobu [2].

Největšího rozmachu se tedy elektricky vodivá lepidla jako náhrada olovnaté pájky dočkala v tzv. „Low cost“ elektronice, tedy běžné spotřební elektronice, kterou člověk používá každý den: jako jsou mobilní telefony, notebooky, počítače, televizory atd. V poslední době se začala používat elektricky vodivá lepidla jako náhrada konvenčních pájek pro vodivé spojování součástek v automobilovém průmyslu, které jsou v blízkosti motoru, či jiných zdrojů tepla, kde jsou vystaveny častému teplotnímu cyklování. Tato aplikace nám umožňuje používat součástky s rozdílným součinitelem roztažnosti oproti desce plošného spoje, neboť pružnější elektricky vodivé lepidlo si s tímto způsobem namáhání poradí mnohem lépe než běžná pájka, u které by postupem času došlo k prasknutí spoje a tedy i poruchy daného obvodu [1].

Nezastupitelnou roli v elektrotechnické praxi mají Anizotropně vodivá lepidla, která se hojně používají při kontaktování součástek s malou roztečí vývodů (fine-pitch), nebo velmi malou roztečí vývodů (ultra-fine-pitch). Zde by kontaktování za pomoci běžných pájek bylo velice obtížné a finančně náročné, protože u takto malých roztečí není možné zajistit za pomoci pájení čistého spojení každého vývodu samostatně, neboť při přetavení pájky by tyto vývody byly vyzkratovány mezi sebou. Dále jsou tato lepidla používána při kontaktování multichipů a LCD panelů, kde by vystavení teplotě nutné pro přetavení pájky znamenalo i zničení samotné připojované součástky [1].

Rozvoji elektricky vodivých lepidel nyní nestojí nic v cestě, a proto lze předpokládat, že spolu s útlumem olovnatých pájek budeme svědky dynamického rozmachu tohoto odvětví elektrotechniky [3].

2 Materiály používané jako pojiva pro elektricky vodivá lepidla

Jako pojiva v elektricky vodivých lepidlech jsou používány takové materiály, které jsou schopny dobře přilnout k povrchu kontaktů a mají dobrou odolnost proti vnějším vlivům, jako je vlhko, vysoká teplota, mráz a další. Požadavek na elektrickou vodivost zde není nutný, neboť o elektrické spojení se starají vodivé příměsi v těchto lepidlech [1]. Výše již byly zmíněny ta nejvýznamnější pojiva, která jsou jako pojiva v elektricky vodivých lepidlech nejvíce rozšířena. Tato část je věnována podrobnějšímu popisu těchto materiálů.

2.1 Epoxidová pryskyřice

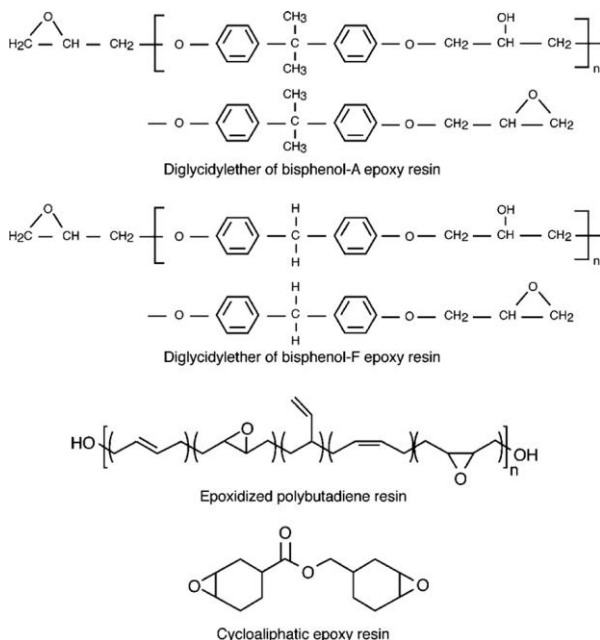
Epoxidové pryskyřice se v elektrotechnice využívají po velice dlouhou dobu, paradoxně je jejím nejčastějším uplatněním pojivá funkce v izolačních materiálech, kterými jsou například:

třísložkové epoxidy pro izolaci VN napět'ových vodičů, izolace transformátorů a točivých elektrických strojů [3].

2.1.1 Chemické složení epoxidové pryskyřice

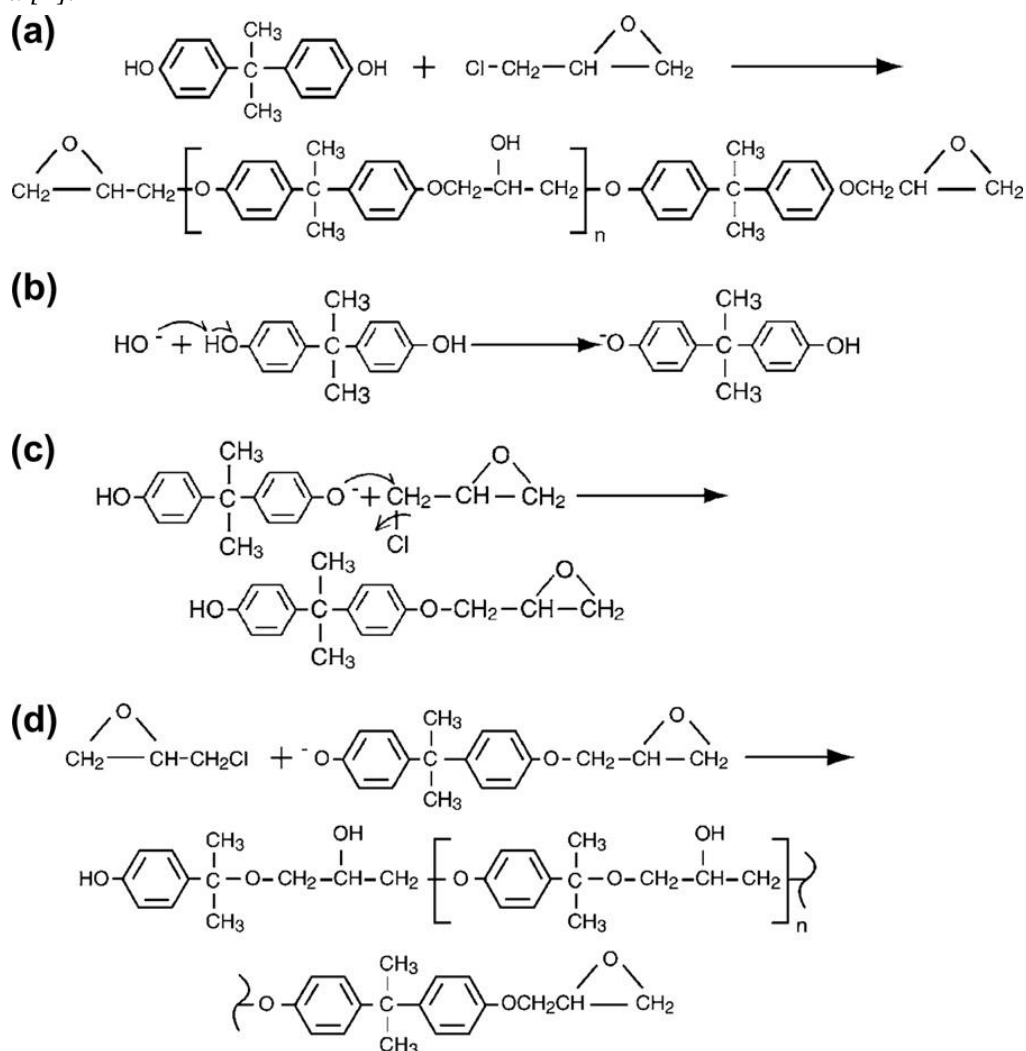
Pod pojmem epoxidové pryskyřice rozumíme sloučeniny, které obsahují v molekule více než jednu epoxidovou (oxiranovou) skupinu. Tato skupina je velmi reaktivní a na její reaktivitě s velkým počtem látek, vedoucí k zesíťovaným makromolekulárním produktům, spočívají aplikace těchto pryskyřic jako lepidel, zalévacích a lisovacích hmot, laminátů a lakařských pryskyřic. Při vytvrzování se neodštěpují vedlejší produkty a dochází jen k malému smrštění. Vytvrzené produkty mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku, dřevo aj. Mají velmi dobré chemické a elektroizolační vlastnosti v poměrně široké oblasti teplot, cenná je i jejich značná odolnost vůči vodě, roztokům alkálií a kyselin a některým rozpouštědlům. Epoxidové pryskyřice lze řádně rozdělit na dvě skupiny: — typy obsahující glycidylové (2,3-epoxypropylové) skupiny, připravené reakcí epichlorhydrinu s vhodnými surovinami; — typy obsahující epoxidové skupiny, připravené epoxidací nenasycených sloučenin. [4]

Nejběžněji používané epoxidové pryskyřice jsou založeny na diglycidyletheru bispenol-A, bispenol-F nebo jiných fenolových sloučenin. Druhá skupina epoxidových pryskyřic, také používaná jako pojiva je založena na epoxidovaných olefinových sloučeninách jako jsou epoxidované polybutadienové nebo cykloalifatické olefiny. Na obr. 5 jsou tyto skupiny zobrazeny.

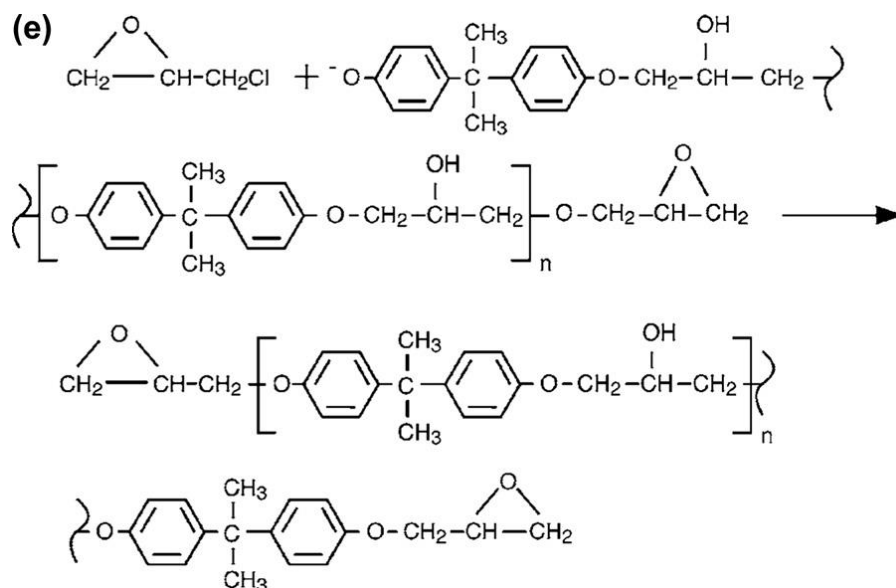


Obr. 5 Základní struktury epoxidových pryskyřic [2]

Mechanismus syntézy epoxidové pryskyřice zahrnuje krokově-růstová polymerizace. Zpočátku hydroxylový anion z hydroxidu sodného odebírá atom vodíku z bisfenolu-A (obrázek 6b). Meziproduktový anion dále vytěsňuje atom chloru z epichlorhydrinu za vzniku meziprojektu bisfenolu-A (obrázek 6c). Reakce se může ukončit s produkcí DGEBA nebo může pokračovat v produkci polymerů s vyšší molekulovou hmotností v závislosti na poměru bisfenolu-A k použitému epichlorhydrinu (obrázek 6d). Nakonec přebytek epichlorhydrinu ukončí reakci, opět nukleofilním posunem (obrázek 6e). Kvůli zadržení chloridu sodného, vedlejšího produktu syntézy, musí být pryskyřice čištěna buď molekulární destilací nebo opakovanou extrakcí deionizovanou vodou. Rozsah reakce, ρ , se stanoví z počátečního množství monomerního materiálu, N_0 a zbývajících množství, N_t , po čase t , kde N_0 a N_t je množství převedeného monomeru [2].



Obr. 6 (a) Syntéza epoxidové pryskyřice: generalizovaná reakce; (b) reakce hydroxylové skupiny s protonem NaOH; (c) nahrazení atomu chloru hydroxylovou skupinou; (d) šíření řetězců; (e) ukončení kroku [2].



Obr. 7 pokračování obr. 6 [2]

$$\rho = \frac{N_o - N_t}{N_o} \quad (2.1)$$

Příklady hlavních epoxidových pryskyřic použitých v adhezních formulacích jsou uvedeny v tabulce 1 [2].

Table 3.1 Typical properties of some epoxy resins used in adhesive formulations

Epoxy Resin Type	Examples: Resin/Supplier	Viscosity (poise @ 25 °C, unless indicated)	Epoxy Equivalent Weight (gm)
High purity diglycidyl ether of bisphenol-A	EPON [®] 825/Hexion ^a	50–65	175–180
Diglycidyl ether of bisphenol-A (standard, undiluted resin, general purpose)	D.E.R. [™] 332/Dow Chemical Co.	4,000–6,000 mPa s	171–175
	EPON [®] 828/Hexion	110–150	185–192
Reaction product of epichlorohydrin and bisphenol A to provide low viscosity without the use of a diluent	D.E.R. [™] 331/Dow Chemical Co.	11,000–14,000 mPa s	182–192
	D.E.R. [™] 330/Dow Chemical Co.	7,000–10,000 mPa s	176–185
Diglycidyl ether of bisphenol-F	D.E.R. [™] 354/Dow Chemical Co.	3,400–4,200 mPa s	167–174
Reaction product of epichlorohydrin with bisphenol-F and bisphenol-A (achieves performance properties of bisphenol A combined with low viscosity of bisphenol F)	EPON [®] 862/Hexion ^a	25–45	165–173
	D.E.R. [™] 351/Dow Chemical Co.	4,500–6,500 mPa s	169–181
Elastomer-modified epoxy functional adduct formed by reacting DGEBA with 40% carboxyl-terminated butadiene-acrylonitrile elastomer	EPON [®] 58005/Hexion ^a	3,000–8,000	325–375

^a EPON is a registered trademark of Hexion Specialty Chemicals. Epon epoxy resins were originally developed by Shell Chemical Co.

Tabulka 1 Parametry epoxidových pryskyřic používaných pro lepení [2]

2.1.2 Vytvrzování epoxidových pryskyřic

Epoxidové pryskyřice se mohou vytvrzovat celou řadou vytvrzovacích činidel, obecně jakákoliv sloučenina, která má labilní atom vodíku nebo hydroxylovou skupinu. Tato vytvrzovací činidla mohou být aminy, polyamidy, karboxylové kyseliny, anhydridy, imidazoly nebo amidaminy. Obecně může téměř každá sloučenina, která má reaktivní atom vodíku, reagovat s kyslíkovými (epoxidovými) kruhy a iniciovat proces polymerace. Sloučeniny, které mohou darovat

elektrony, jako jsou Lewisovy báze nebo přijmout elektrony, jako jsou Lewisovy kyseliny, mohou být také použity jako katalyzátory. Příklady typických epoxidových vytvrzovacích činidel jsou uvedeny v tabulce 2. Výhody a nevýhody různých epoxidových vytvrzovacích prostředků jsou srovnávány v tabulce 3 [2].

Curing Agent	Application	Types (Suppliers)	Formulation and Gel Times
Amines	Room temperature or low-temperature cure	Versamine [®] (Cognis), Ancamine [®] (Air Products), Aradur [®] (Huntsman), and Epi-Cure [®] (Hexion Specialty Chemicals)	1–15 parts per hundred resin (phr), fast gel times
Polyamides	Room temperature or low-temperature cure	Versamid [®] (Cognis), Ancamide [®] (Air Products), Aradur [®] (Huntsman), and Epi-Cure [®] (Hexion Specialty Chemicals)	50–70 phr, intermediate gel times
Anhydrides	Heat cure	HHPA, MHPA, and MTHPA (China Aroma Chemical Co., Dixie Chemical)	0.5–0.75 parts anhydride to 1 part epoxy, slow gel time
Lewis acids	Catalytic cure (homopolymerization)	Modified amine complex, Anchor [®] 1040 (Air Products)	5–12 phr, fast gel time
Imidazoles	Accelerator for anhydride systems	Curezol [®] 2E4MZ (Shikoku)	1–4 phr, fast gel time
Dicy	Accelerator and adhesion promoter for epoxy systems	Dicy-100 (Suzhou Fun Chemical Co.)	2–5 phr (P-104) and 4–6 phr (P-106), fast gel time

Tabulka 2 Typická epoxidová vytvrzovací činidla [2]

Vytvrzovací činidla	Výhody	Nevýhody
Alifatické aminy	Rychlé vytvrzení Vytvrzení při pokojové teplotě Řídká viskozita Nízká cena	Kritické poměry míchání Silně dráždí kůži Vysoký tlak par Často exotermické
Polyamidy	Vytvrzení při pokojové teplotě Nízká toxicita Dobrá flexibilita a odolnost Dobrá houževnatost	Vyšší cena oproti aminům Nízká teplotní odolnost Nízký tlak par Tendence k výparu
Aromatické aminy	Mírná tepelná odolnost Dobrá chemická odolnost	Pevná látka při pokojové teplotě. Je obtížně mísitelná s epoxidovými pryskyřicemi Dlouhé vytvrzovací programy se zvýšenou teplotou
Lewisova kyselina nebo báze komplexů (Fluorid boritý aminový komplex)	Dlouhá životnost Vysoká teplotní odolnost	Tence k exotermii Špatná odolnost proti vlhkosti, riziko koroze
Anhydridy	Vysoká teplotní odolnost Dobrá chemická odolnost Nízká absorpce vlhkosti	Dlouhé vytvrzovací programy se zvýšenou teplotou Kritické poměry míchání Mírná absorpce vlhkosti

Tabulka 3 Výhody a nevýhody různých epoxidových vytvrzovacích prostředků [2]

2.1.3 Výhody a nevýhody epoxidových pryskyřic

Mezi hlavní výhody epoxidových pryskyřic patří jejich dobrá adheze ke kovovým povrchům a jejich cena. Po zesíťování se daný spoj stane nerozebíratelným, a to ani za použití vysoké teploty. Mechanická vazba zůstane zachována, dokud nedojde k fyzické destrukci materiálu, proto je tento druh lepidla vhodný i do podmínek, kde může dojít k jednorázovému teplotnímu rázu a to až do teploty 600°C [1].

Mezi nevýhody tohoto pojiva patří velká náklonost k absorpci vlhkosti z okolního prostředí, čímž se výrazně zhoršují jeho elektrické vlastnosti [3]. Proto toto lepidlo není vhodné pro aplikace do míst se zvýšenou relativní vlhkostí. Tento neduh je možno eliminovat přidáním inhibitorů, ale v praxi toto řešení není časté, neboť také dochází ke zhoršení elektrických vlastností za běžných podmínek [2].

2.2 Silikonová pryskyřice

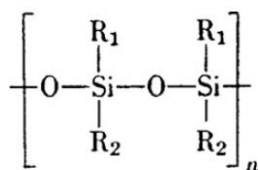
Silikonová pryskyřice je známa a prakticky využívána po velice dlouhou dobu, tento druh pojiva je na rozdíl od epoxydové pryskyřice odolný vůči absorpci vlhkosti z okolního prostředí, nicméně oproti epoxydové pryskyřici je rozšíření tohoto druhu pojiva značně menší, z důvodu jeho výrazně vyšší ceny [1].

2.2.1 Chemické složení silikonové pryskyřice

Co se její definice týče tak kniha o polymerech od profesora J. Mlezivy o ní mluví takto: *Silikonové pryskyřice jsou připravovány na bázi polymethylsiloxanů nebo častěji smíšených polyfenylmethylsiloxanů. Různou kombinací výchozích dvoufunkčních a trojfunkčních methyl – a fenylchlorsilanů (50 až 90 %) za přítomnosti organických rozpouštědel se připravuje řada typů s různými vlastnostmi. Dodávají se ve formě 50% až 75% roztoků v xylenu a v jeho směsích s cyklohexanem nebo butanolem. Pryskyřice v těchto roztocích obsahují ještě reaktivní skupiny – Si-OH. Dokončení kondenzačních reakcí až do vzniku zesíťovaného makromolekulárního stavu proběhne teprve po odpaření rozpouštědla a po zahřátí na 220 až 240 °C po dobu 1 až 5 h. Poměrně dlouhé vypalovací doby lze zkrátit přidáním některých kovových solí, např. naftenátu.* [4]

Silikony jsou unikátní třídou polymerů díky své polo-organické molekulární struktuře. Místo normální uhlíko-uhlíkové struktury v kostře většiny polymerů mají silikony strukturu křemíku kyslíku, která jim dává výhody velmi vysokých tepelných stabilit (V některých případech až do 300 °C), flexibilita při teplotách nižších (-80 °C) a vynikající elektrické vlastnosti za obou extrémních podmínek. Silikonové lepidla, povlaky a zapouzdření byly použity od počátku elektroniky a jejich formulace se postupně zlepšovaly s každou novou generací

mikroelektronických sestav. Páteř silikonů -Si-O-Si-O je označován jako siloxan. Atom křemíku mohou být připojeny k širokému spektru alifatických nebo aromatických skupin, jak je znázorněno na obrázku 8, kde R skupiny jsou obvykle methyl (-CH₃), fenyl (C₆H₅-), allyl (-CH₂-CH=CH₂) Vinyl (-CH=CH₂). Silikony používané v elektronické montáži a balení. Mohou být buď vulkanizačním prostředkem při pokojové teplotě (RTV), který se vytvrzuje pomocí kondenzační polymerace nebo vinylových typů, které se vytvrzují adiční polymerací iniciovanou katalyzátorem [2].



Obr. 8 Základní struktura silikonových polymerů [2]

2.2.2 Silikony vytvrzené kondenzací

Jak tepelně vytvrzené, tak RTV silikony jsou tvořeny kondenzační polymerací a někdy jsou označovány jako alkoholové nebo acetoxy-vytvrzené systémy. Základní hydroxysilanové výchozí materiály se vyrábějí hydrolyzou směsí mono-, di- a trichlorsilanů. Kondenzace s eliminací vody produkuje alkylpolysiloxany zakončené hydroxylem. Tyto pryskyřice mohou být dále polymerovány v přítomnosti alkoxysilanů, jako jsou propylortokřemičitany, za vzniku silikonů RTV. Katalyzátory, jako jsou organotitanáty nebo dibutyltindilaurát, mohou urychlit proces vytvrzování [2].

2.2.3 Silikony vytvrzené přidavkem aditiv

Druhá třída silikonů se vytvrzuje adicí polymerací iniciovanou katalyzátorem. Polymerizace probíhá mechanismem radikálů, který zahrnuje vinylovou, allylovou nebo jinou nenasycenou skupinu silikonového monomeru. Homopolymery mohou být tvořeny polymerací stejného monomeru, zatímco kopolymery jsou tvořeny reakcemi mezi různými monomery. První krok zahrnuje tepelné rozložení katalyzátoru pro produkci aktivních druhů. Silikony vytvrzované aditivami se často nazývají platinové silikony, protože se široce používají katalyzátory jako je platinový-divinyltetramethylový komplex a platinum-divinyltetramethylsiloxan. Adhezivní silikonová lepidla jsou jednosložková nebo dvoudílná, tepelně vytvrzená a mají výhodu oproti typům RTV, které při vytvrzování nevytvářejí vedlejší produkty [2].

2.2.4 Silikony vytvrzené vlhkostí

Mnoho silikonových lepidel používaných v elektronice jsou jednosložkové, vytvrzené typy vlhkostí, obvykle vytvrzované při pokojové teplotě v rozmezí 30-80% RH. Plně fyzikální a elektrické vlastnosti jsou dosaženy za 24-72 hodin. Silikony vytvrzené vlhkostí se skládají z normálních silikonů zakončených hydroxylem, ve kterých jsou blokovány hydroxylové skupiny a činí je neaktivní. Při vystavení okolní vlhkosti se hydroxylová skupina regeneruje a může opět vstoupit do polymerační reakce. Silikony mohou být blokovány buď acetoxyskupinami nebo alkoxy skupinami, ale acetoxypy nejsou doporučovány pro elektroniku kvůli uvolnění kyseliny octové během vytvrzování vlhkostí. Alkoxy-blokové silikony jsou výhodné, protože se uvolňuje alkohol, který je obecně nekorozivní. Silikony vytvrzené vlhkostí se používají v mnoha aplikacích včetně těsnících víček a pouzder, montáže součástek na desky s plošnými spoji, RF těsnění, lepení a utěsnění kolem drátů, jakož i u rozdělovačů s čipovou stupnicí a uchycení [2].

2.2.5 Vlastnosti silikonové pryskyřice

Vlastnosti této pryskyřice jsou velice příznivé, neboť daný spoj je po vytvrzení pevný, pružný a není nasákový, což znamená, že velice dobře odolává vlhkosti. Proto jsou tyto druhy pojiv vhodné i do prostředí, kde se relativní vlhkost pohybuje okolo 100 % [1].

2.3 Polyamidové pojivo

2.3.1 Chemické složení polyamidového pojiva

Polyimidy jsou vytvořeny z prekurzorů kyseliny polyamové nebo polyamové kyseliny zahříváním na teplotu až 400 ° C. Polymidové prekurzory jsou syntetizovány reakcí ekvimolárních množství aromatických diaminů s aromatickými dianhydridy tvořícími polyamové kyseliny nebo polyamové estery. Široce používané jsou aromatické aminy a aromatické anhydridy. Z nich byl nejpoužívanější a nejpoužívanější předpolymer z pyromelitového dianhydridu (PMDA) a 4,4'-oxydianilinu (ODA). Prekurzory jsou dostupné jako roztoky rozpouštědel (obecně N-methyl-2-pyrrolidon), které mohou být formulovány jako lepidla, povlaky nebo předlisky přidáním plniv a dalších přísad. Vytvrzování není tradičním zesíťováním nebo propagací řetězce za použití vytvrzovacích činidel, ale dochází k zahřívání za účelem odstranění vody a uzavření imidových kruhů podél řetězce, které tvoří velmi stabilní polyimidovou strukturu. Proces uzavěru kroužků je známý jako imidace a vyžaduje vytvrzování stupně, které je pro pastovité lepidla naplněné stříbrem typicky 60 minut při teplotě 150 ° C, následované 90 minutami při 285 ° C. V některých případech však dochází k vyléčení až do 400 ° C jsou nezbytné k dosažení úplné imidizace, jejíž příklad je: 15 minut při 135 ° C, pak 30 minut při 300 ° C a nakonec 10 minut při 400 ° C. Počáteční teplotní expozice 135-150 ° C zajišťuje odstranění N-methyl-2-pyrrolidonu (NMP), což

je rozpouštědlo, které je přítomno téměř ve všech polyimidových prekurzorových přípravcích. U některých lepidel může být vyžadováno předběžné zpracování po dobu 30 minut při teplotě 80 °C (maximum), aby se odváděla voda a těkavé organické rozpouštědla. Druhý typ polyimidové pryskyřice je založen na prepolymerech, který je zcela imidovaný, ale má acetylenickou koncovou složku, (Trojnásobné vazby), které mohou následně vytvrzovat adiční polymerací. Tyto pryskyřice nevyžadují vysoké teploty vytvrzování a během vytvrzování nevyvíjejí vodu, stejně jako předpolymery kyseliny polyamové. Bismaleimidy jsou další variantou polyimidů. Používají se jako lepidla v součástech s povrchovou montáží na desky tištěných desek a při připevňování matrice v obalech nebo na propojené podklady. Bismaleimidy jsou známé díky nízké absorpci vlhkosti a hydrofobním vlastnostem, které jsou důležité při prevenci popcornového efektu během přetavování pájky. Konečně jsou pryskyřice komerčně dostupné, kde byly do polyimidových řetězců zabudovány siloxanové struktury. Tyto polysiloxanimidy se vyznačují svou pružností a nízkou absorpcí vlhkosti. Jedná se o termoplasty, které jsou zpracovány jako tavná lepidla [2].

2.3.2 Vlastnosti polyamidového pojiva

Polyamidová lepidla jsou komerčně dostupná jako elektricky vodivá nebo izolační pasty používané k uchycení součástek na desku [2].

3 Aplikace a vytvrzování elektricky vodivých lepidel

3.1 Základní způsoby nanášení:

V elektrotechnické praxi je možnost automatizace výrobního procesu brána za samozřejmost, proto jsou elektricky vodivá lepidla stejně jako pájecí pasty nanášeny čtyřmi základními způsoby tlustovrstvého nanášení, které jsou: šablonový tisk, sítotisk, jehličkové a dispenzní nanášení. Mezi těmito způsoby nanášení se rozhodujeme podle velikosti plochy, na kterou lepidlo nanášíme, druhem použitého lepidla a množstvím vyrobených kusů [1].

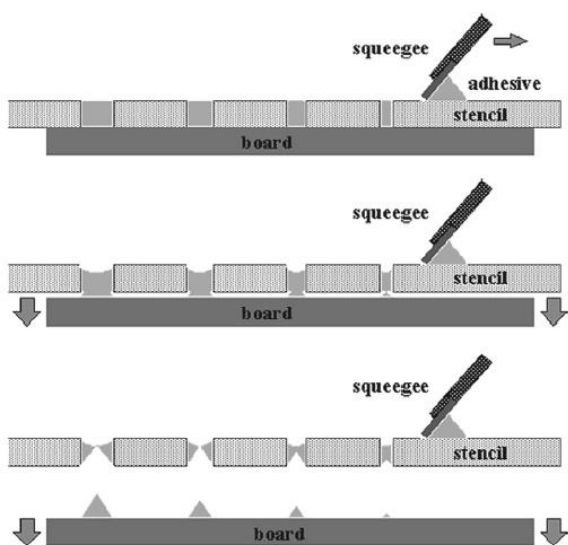
Dalším způsobem nanášení elektricky vodivých lepidel jsou speciální folie, které se uplatňují hlavně u anizotropně vodivých lepidel [2].

3.1.1 Šablonový tisk a sítotisk

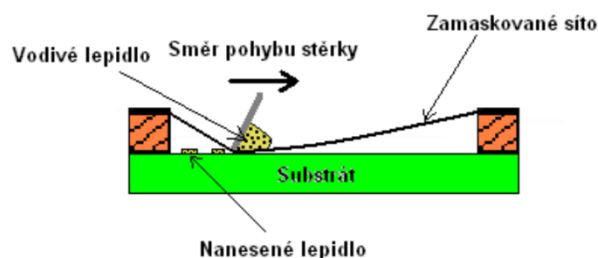
Z principu se jedná o velice podobné technologie nanášení a u obou způsobů nanášení je nutné si nejprve připravit nanášecí masku, přes kterou je na substrát desky plošného spoje nanášena vrstva elektricky vodivého lepidla. Masky pro šablonový tisk stejně jako pro sítotisk musí umožnit opakované přesné nanášení definovaného objemu elektricky vodivého lepidla na substrát [6].

Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma metodami je tedy materiál a způsob vytvoření takovéto masky. Zatímco maska pro šablonový tisk je většinou tvořena kovovou planžetou, do které je vyřezán nebo vyleptán požadovaný motiv, u sítotisku se zpravidla používají kovové či plastové sítě. Tyto sítě se vyrábějí a napínají ve velkých formátech, tak aby bylo zajištěno všude rovnoměrné pnutí, a následně se na ně lepí orámování pro konkrétní šablony. Tento způsob orámování nám zafixuje konstantní pnutí uvnitř síta. Po vytvrzení lepidla se síť z vnější strany rámu ořízne, tak aby s produktem bylo možné dále manipulovat. V dalším kroku se za pomoci speciálních lepidel nepotřebná oka zamaskují, tak aby byl průchozí otvor pouze tam, kam chceme nanést elektricky vodivé lepidlo [1].

S takto vytvořenými šablonami ať už pro šablonový tisk, či pro sítotisk je následná manipulace obdobná. Pod šablonu, či síto je umístěna deska plošného spoje a její kontakty jsou srovnány s otvory v šablonách, následně je šablona pevně zafixována. Dále viz obr. 9 pro šablonový tisk a obr. 10 pro sítotisk je na substrát přes šablonu za pomoci třerky nanášena vrstva elektricky vodivého lepidla, následně jsou masky odejmuty a deska plošného spoje je připravena na osazení součástkami [5].



Obr. 9 Způsob nanášení elektricky vodivých lepidel při šablonovém tisku [2]



Obr. 10 Způsob nanášení elektricky vodivých lepidel při sítotisku [5]

U obou způsobů nanášení je třeba dát si pozor na zatečení elektricky vodivého lepidla do otvorů kam, nepatří nebo přímo pod masku a jeho následné natlačení na velkou plochu desky plošného spoje [6].

Pro kusovou či malosériovou výrobu není výroba kovové šablony ekonomicky rentabilní, neboť nad její přípravou stráví technik velké množství času, proto se u těchto výrob volí častěji sítotisk. Naopak pro sériovou výrobu se příprava masky za pomoci síta nevyplatí. Její životnost je oproti kovové šabloně značně snížena, a to ze dvou důvodů: pohybem kovové třerky po sítu dochází k postupnému narušování povrchu a po častém opakování takto namáhané síto praskne.

Dříve se však projeví problém se samotným maskováním síta – častým používáním dochází k vydrolování zamaskovaných ok [3].

3.1.2 Jehličkové nanášení

Jedná se o speciální a méně využívanou technickou metodu nanášení elektricky vodivých lepidel, která má své využití spíše u velkosériové aplikace [1]. Nejprve musí vytvořit matrice z jednotlivých jehličkových hrotů, tyto hroty jsou následně namočeny do elektricky vodivého lepidla a přeneseny nad desku plošného spoje, kde se z nich lepidlo najednou nanese na přípojovací plošky [6]. Je to značné urychlení práce oproti šablonovému tisku, či sítotisku, neboť zde odpadá práce s těrku, nicméně jsou zde značné omezení v podobě viskozity aplikovaného lepidla. Nanášená pasta nesmí z jehliček odkapávat ani na nich příliš držet. Nanášecí jehličky se v žádném případě nesmí dotknout přípojovacích plošek na desce plošného spoje, jinak by došlo k poškození matrice a desky plošného spoje, což je efekt značně nežádoucí. Proto se jehličkové nanášení uplatňuje spíše u nanášení vodivých inkoustů než při nanášení elektricky vodivých lepidel [1].

3.1.3 Dispenzní nanášení

Dispenzní neboli jehlové nanášení se od výše zmíněných technik značně odlišuje. Nedochází k aplikaci elektricky vodivého lepidla na všechny kontaktní plošky najednou, nýbrž vrstva lepidla je na každou plošku nanášena zvlášť, a to za pomoci dispenzní hlavy, která obsahuje zásobník s elektricky vodivým lepidlem, které neobsahuje žádné vzduchové bubliny. Píst, zpravidla ovládaný tlakovým plynem, za pomoci kterého regulujeme množství naneseného lepidla a samotnou aplikační jehlu. Dispenzní nanášení se provádí v automatizované i v ruční verzi. Ve výrobě převažuje použití automatizovaných dispenzních hlav, z praktického hlediska není možno za pomoci ručního dispenzingu dosahovat konstantních a kvalitních výsledků [1].

V automatizovaném dispenzingu je velká možnost variability od použití většího množství nanášecích hlav pracujících paralelně na větší desce plošného spoje, přes propojení dispenzního zařízení spolu s osazovacím automatem. Dále je možný pohyb samostatné dispenzní hlavy nad deskou plošného spoje, nebo fixní poloha nanášecí hlavy a pohyb desky plošného spoje spolu s podložkou [1].

Dispenzní nanášení se uplatňuje spíše u malosériové a kusové výroby, kde způsobuje značnou úsporu času, protože zde třeba trávit čas na výrobě speciálních masek pro sítotisk, či šablonový tisk [6].

Na obr. 11 je zobrazena automatizovaná dispenzní hlava využívána v průmyslu.



Obr. 11 Dispenzní hlava [5]

3.1.4 Anizotropní folie

Jak již bylo řečeno výše jedná se o speciální folii, která je vytvořena z anizotropně vodivého lepidla. Po dodání této folie do výrobního procesu je práce s ní velice jednoduchá a usnadňuje obsluhu práci. Není zde třeba aplikovat tuto folii na každý spoj zvlášť, díky vodivosti pouze v ose Z zde nedochází ke zkratování kontaktů mezi sebou. Proto stačí pouze vystříhnout z této folie požadovaný kus a umístit jej mezi desku plošného spoje a připojovanou součástku [2].

Tato technologie má největší uplatnění při připojování součástek s malou roztečí vývodů (fine-pitch) a s velmi malou roztečí vývodů (ultra-fine-pitch) [1].

3.2 Vytvrzování izotropních lepidel

Proces vytvrzování je u elektricky vodivých lepidel zásadní pro dosažení požadovaných mechanických vlastností. V případě reaktoplastů, jako je například epoxidová pryskyřice dojde k nezvratné přeměně vnitřní struktury a vzniku prostorové sítě, díky které se plast stane netavitelným a nerozpustitelným, bohužel to znamená nemožnost odstranit lepidlo jinak než destruktivně [2].

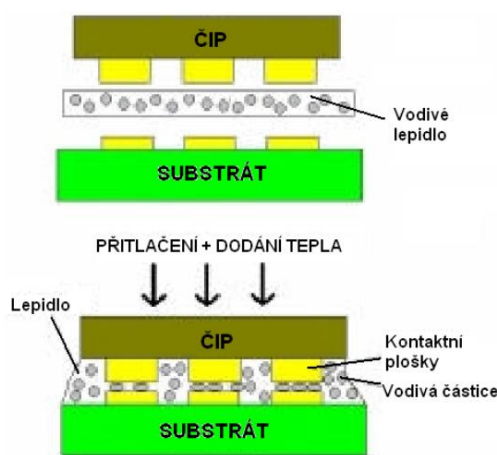
Vytvrzovací teplota bývá zpravidla mezi 100–200°C, záleží na druhu použitého lepidla. Nicméně existují lepidla, která je možné vytvrdit i při pokojové teplotě. Při vytvrzování dochází k odpařování tvrdidla a vzniku tzv. mikroděr ve struktuře našeho spoje, kdy při rychlém vytvrzování může dojít ke zhoršení mechanických a vodivostních vlastností [9].

Dle teoretických předpokladů za domněnky, že lepidlo už vytvořilo v celém svém objemu síť makromolekul, je samotné dotvrzování nežádoucím vlivem neboť i epoxidové pryskyřice podléhají Arrheniovu zákonu a působení zvýšené teploty urychluje jejich stárnutí [9]. Tento samotný fakt by byl víceméně zanedbatelný, protože k úmyslnému dotvrzování dochází pouze po

krátkou dobu. Musíme vzít také v potaz to, že zde dochází k opakovanému tepelnému namáhání a velice rychlému vychladnutí, což způsobuje vnitřní pnutí a časem může dojít až k prasknutí epoxidu [1].

3.3 Vytvrzování Anizotropních lepidel

Anizotropní lepidla jsou nejčastěji dodávána ve formě fólií. Takovouto fólii přesně nařežeme a vložíme mezi desku plošného spoje a připojovaný čip. Pro samotné vytvrzování je třeba spoj vystavit vysoké teplotě, zpravidla okolo 180°C a zároveň zvýšenému tlaku, pouze za těchto podmínek dojde k úplnému vytvrzení spoje. Průběh vytvrzování anizotropně vodivého lepidla je na Obr.



Obr. 12 Vytvrzování anizotropně vodivých lepidel [10]

4 Experimentální část

4.1 Cíle experimentu

Hlavním cílem tohoto experimentu je pozorovat průběh vytvrzování čtyř elektricky vodivých lepidel za různých podmínek vytvrzování a na základě naměřených údajů posoudit, zdali mají různé profily vytvrzování doporučené výrobcem těchto lepidel zásadní vliv na jejich vlastnosti, případně, která vytvrzovací teplota je pro dané lepidlo nejvhodnější.

4.1.1 Použitá lepidla

Pro tento experiment jsem zvolil celkem čtyři druhy eklekticky vodivých lepidel s izotropní vodivostí. Jednalo se o epoxidová lepidla plněná stříbrnými šupinkami a to jak jednosložková, tak dvousložková. Seznam a vlastnosti použitých lepidel jsou přiloženy v tabulce níže.

Název lepidla	Teplota a čas vytvrzování	Max. provozní teplota	Skladovatelnost	Datum výroby:
Elpox ER 55 MN	150°C - 15-20 min. 180°C - 7-8 min. 200°C - 3-4 min	více než 280°C po dobu pár hodin	Min. 6 měsíců při 5°C-neotevřeno	10.11.2010
Elpox AX 70 MN	180°C - 6-10 min. 200°C - 3-4 min.	300°C po dobu 1.5 hodiny	Min. 6 měsíců při 10°C-neotevřeno	Neuvedeno Šarže z roku 2015
Elpox AX 12 LVT	80°C - 25 min. 100°C - 15 min. 120°C - 10 min	neuvedena	6 měsíců při 25°C s uzavřeným kontejnerem	13.03.2013
Elpox AX 15s	80°C - 24 hodin 60°C - 120 min. 80°C - 100 min. 120°C - 30 min 150°C - 15 min.	neuvedena	6 měsíců při 25°C s uzavřeným kontejnerem	08.06.2016

Tabulka 4 Použitá lepidla [5]

4.2 Příprava experimentu

4.2.1 Zhotovení vzorků

Pro přípravu vzorků bylo použito celkem 64 testovacích destiček z FR4, které na sobě mají nanesenou vodivou Cu cestou a ploškami pro usazení 7 SMT odporů [3].

Pro každé použité lepidlo bylo použito 16 destiček rozdělených do čtyř skupin, to znamená, že pro každý vytvrzovací profil byly použity 4 destičky z FR4. Každá destička byla nejprve pečlivě označena, tak aby obsahovala název použitého lepidla, číslo skupiny a číslo samotné destičky, takto připravená kategorizace ušetřila mnoho času při realizaci samotného experimentu.

Na čtveřice těchto destiček byla nastavena šablonová tiskárna. Tato operace bohužel nebyla tak snadná, jak by se na první pohled zdálo, neboť kovová šablona, která byla k dispozici pro tento experiment, nebyla zcela určena pro naše prefabrikované desky, ze kterých se postupně vylamovaly jednotlivé testovací destičky. Použitelné byly pouze čtyři vyřezané masky z šestnácti. Místo 16 destiček, bylo tedy možné najednou nanést lepidlo pouze na čtveřici, což prodloužilo aplikační dobu. Dalším problémem bylo nastavení šablonové tiskárny, neboť nebyla stavěna na aplikaci takto malých formátů a příprava samotných dorazů byla komplikovaná. Neobešla se bez české vynalézavosti s použitím různých „podložek“ a čištění za pomoci acetonu, neboť i samotné drážky, ve kterých se dorazy pohybovaly, byly plně zatvrdlého lepidla a nebylo v lidských silách s nimi pohnout. Z těchto důvodů zabralo nastavení šablonové tiskárny 3 hodiny, následně bylo možné se věnovat samotné přípravě elektricky vodivých lepidel.

I když by ruční aplikace za pomoci dispensního nanášení oproti tomuto šablonovému tisku zabrala pouze zlomek času, byla by vypovídací hodnota takovýchto vzorků značně snížena, neboť pouze šablonový tisk a sítotisk dokáže ve školních podmínkách zaručit stejné množství lepidla na každém vzorku a také přesné umístění, tak aby se lepidlo na jednom místě nehromadilo, a na druhém ho byl nedostatek [6].

Nyní bude popsána příprava a aplikace elektricky vodivých lepidel. V případě jednosložkových lepidel ELPOX ER 55 MN a ELPOX AX 70 MN, byla samotná příprava lepidla velice snadná, spočívala pouze v promíchání obsahu nádoby, tak aby došlo k promíchání pojiva, tvrdidla a stříbrných částic, které bylo mícháno tak dlouho, dokud nedošlo k vytvoření konzistentní pasty. Vlivem času se totiž tvrdidlo vysráželo na povrchu lepidla do jasně červených skvrn. Takto promíchaná pasta byla za pomoci škrabky nanášena na těrku vyrobenou z nerezové oceli a přes masku bylo lepidlo nanášeno na kontakty testovacích destiček.

V případě dvousložkových lepidel ELPOX AX 12 LVT a ELPOX AX 15s se postupovalo obdobně s tím rozdílem, že nejprve bylo nutné samotné lepidlo „namíchat“ v přesném váhovém poměru, u většiny lepidel se jedná o poměr 1:1. Tato triviální operace sama o sobě téměř nenáročná byla zdrojem množství nečekaných komplikací, kterým šlo předejít, neboť bylo šetřeno s lepidlem, a tím se pak nedostávalo materiálu k provedení experimentu. Samotné odvážení a odhadnutí množství lepidla bylo velice rychlé a bez větších problémů. Problémy nastaly, až při vyjímání obsahu ze skleněné nádoby, ve které byla lepidla míchána. Nebylo možné lepidla vyjmout a nanést na těrku, neboť takto namíchané dvousložkové lepidlo na rozdíl lepidla jednosložkového mělo znatelně řidší konzistenci. Nejen že na samotnou špachtli nebylo možné nanést větší množství lepidla, ale byla překvapující i přilnavost takto namíchaných lepidel k povrchu skleněné nádoby. Tento negativní efekt by vyřešilo použití většího množství lepidla, bohužel by poté přebytek tohoto lepidla neměl žádné využití. Nakonec se podařilo „vyškrábat“ dostatečné množství lepidla z nádoby na těrku a nanést jej na destičky pomocí šablonové tiskárny. Vzhledem k jeho již zmiňované řídké konzistenci a příliš velkému tlaku na těrku došlo k protlačení většího množství lepidla skrze masku, které se rozprostřelo po okolí destičky a zkratovalo kontakty. Z takových destiček bylo třeba za pomoci acetonu odstranit veškerou pastu, očistit šablonu ze spodní strany a lepidlo opětovně nanést za pomoci těrky. Tento nežádoucí efekt jsem se snažil co nejvíce eliminovat, ale bohužel i tak jsem tři aplikace z osmi musel opakovat, což prodloužilo aplikační dobu u dvousložkových lepidel na cca jednu hodinu oproti deseti minutám u jednosložkových.

Po nanesení konkrétního lepidla na testovací destičky bylo za pomoci manipulátoru SMT M09, viz obr. 13, na kontaktní plochy umístěny SMD testovací rezistory 0R00, jejichž kontakty jsou upravené pro elektricky vodivá lepidla, detail těchto lepidel je na obr. 14.



Obr. 13 Vakuový manipulátor pro přesné usazení SMT součástek



Obr. 14 SMT rezistor učený pro ECA

Výsledný produkt po osazení odporů je vidět na obr. 15. Takto připravené vzorky jsem podle zvoleného vytvrzovacího profilu doporučeného výrobcem vytvrzoval v elektrické peci, při dané teplotě závisující na typu lepidla. Použitá pec je sice zastaralá, nicméně přesnost jejího termostatu byla dostatečná.



Obr. 15 Testovací destička osazena SMT rezistory 0R00

4.2.2 Způsob měření dat

V závislosti na druhu vytvrzovaného lepidla, teplotě a času doporučeného výrobcem pro danou vytvrzovací teplotu jsem časové intervaly, po kterých jsem sledoval změnu vlastností daných spojů. Zajímaly mě dva základní elektrické a mechanické parametry, a to sice elektrický odpor a velikost síly ve smyku nutné pro odtržení odporu.

Pro měření elektrického odporu spoje jsem použil milohmmetr Agilent 4338B, opatřený sondami pro čtyř hrotové měření, pro měření elektrického odporu v rozsahu od 10 $\mu\Omega$ do 100 k Ω .

Pro měření velikosti smykové síly nutné k odtržení odporu od desky plošného spoje byla použita automatická trhačka opatřená pevným trhacím hrotem. Pro samotné měření síly byl použit

piezoelektrický senzor s rozsahem do 1000 N umístěný na podložce. Umístění tohoto senzoru není ideální, neboť neměří sílu přímo na trhací čelisti, nýbrž sílu, kterou vyvine trhací čelist na testovací destičku, tato síla může být velice zkreslena vzhledem k pružnosti materiálu, ze kterého jsou testovací destičky vyrobeny (FR4). Dalším problémem bylo pevné uložení trhacích čelistí, které v případě křivě osazených rezistorů na desce plošného spoje (DPS) nedoléhají a následně je měřena velikost smykové síly nutné k odtržení rezistory z DPS pouze pro jeden spoj.

4.3 Naměřená data

Jak již bylo výše zmíněno, zaznamenával jsem dva parametry v průběhu vytvrzování lepidel, elektrický odpor spoje a pevnost spoje ve smyku. Tato data jsem odečítal v průběhu vytvrzování, tak aby bylo možno sledovat jejich vývoj v průběhu samotného vytvrzování. Naměřené hodnoty jsem zaznamenával do předem připravených tabulek pro každý jednotlivý odpor zvlášť tak, aby bylo možno sledovat nejen celkový vývoj, ale i vývoj v rámci jednoho konkrétního spoje, to mi umožnilo pozorovat postupné zhoršování parametrů poškozených spojů. Vzhledem k množství naměřených dat jsou tyto tabulky součástí příloh. Pro lepší představu uvádím na obr. 16 část tabulky určené pro jednu destičku ze skupiny čtyř.

ER 55 MN jednosložkové - 150° - 15-20 min													
Deska č: 1,1													
čas	0	10	25	35	50	70							
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	0.7	122	142	262	106	292							1.42
2	3.3	222	238	313	199	271							1.37
3	4	287	357	640	267	1400							1.21
4	3.2	252	487	862	139	odpadl							x
5	2.2	201	486	257	153	336							1.42
6	4.4	226	223	259	195	odpadl							x
7	6.7	203	244	938	318	1163							2.52

Obr. 16 Příklad tabulky pro měření dat

Takto naměřené hodnoty jsem se pokusil co nejpřehledněji zpracovat do jednotlivých grafů, tak aby tato data měla odpovídající vypovídající hodnotu. Samozřejmě, před zpracováním do grafů bylo nutné data co nejrelevantněji zpracovat, vzhledem k velkému rozptylu u některých lepidel a výskytem extrémů u poškozených spojů, bylo použití prostého aritmetického průměru naprosto vyloučeno, protože směrodatná odchylka a variační koeficient byl u těchto lepidel nepřijatelný (násobně více než 10%). Nejlepším způsobem pro dosažení reálné průměrné hodnoty těchto dat by bylo použití metody nejmenších čtverců, to ale vzhledem k členitosti a množství naměřených dat nebylo v mých silách, proto jsem pro zpracování průměrné hodnoty pro měření elektrického odporu zvolil funkci MEDIAN v programu Microsoft Office Excel 2016. Vzhledem k množství naměřených dat je zkrácení u této metody v přijatelných mezích.

4.3.1 ELPOX ER 55 MN

Jako první jsem se zaměřil na vytvrzování tohoto lepidla. Toto lepidlo je založeno na epoxido-fenolové pryskyřici a obsahuje cca 70 % stříbra ± 1 %. Podle výrobce Ampenox

microelectronics je toto lepidlo speciálně určené pro adhezi k měděným povrchům a k vysoké teplotní odolnosti.

Výrobce pro toto lepidlo při vytvrzování v horkovzdušné peci doporučuje tři vytvrzovací profily a to sice:

- 150 °C - po dobu 15–20 minut.
- 180 °C - po dobu 7–8 minut.
- 200 °C - po dobu 3–4 minut.

Tyto parametry jsem respektoval a zkoumal jsem chování tohoto lepidla při vytvrzování za pomoci těchto vytvrzovacích profilů.

Další informace o parametrech tohoto lepidla naleznete v datovém listě, který je součástí příloh na konci mé bakalářské práce. Pro úplnost přikládám tabulky nejdůležitějších parametrů tohoto lepidla, viz tabulka 5 a 6.

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)

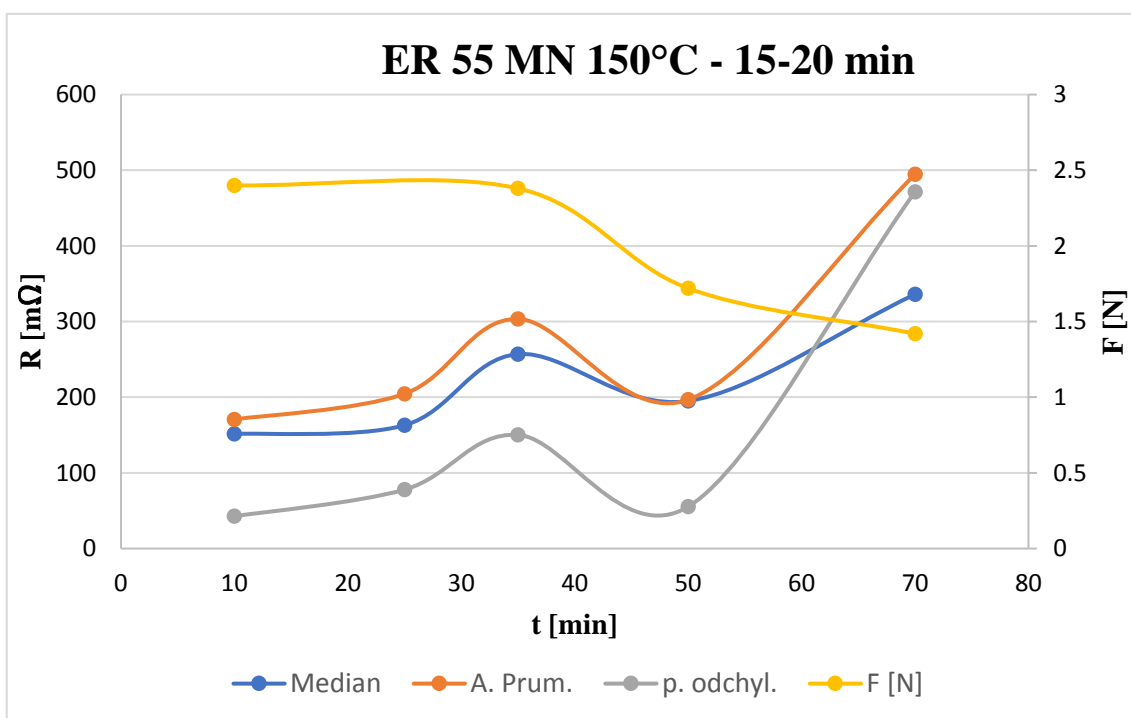
Tabulka 5 Specifikace jednosložkového lepidla Elpox ER 55 MN

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) Ωcm
Pencil hardness	9H pencil hardness (one day after curing)
Range of service for continuous temperature	(-55)°C - (+180)°C
Max. operating temperature	Over 280°C for a couple of hours.

Tabulka 6 Technické parametry jednosložkového lepidla Elpox ER 55 MN

Na obrázku č. 17 je zobrazen graf průběhu mechanických a elektrických parametrů lepidla Elpox ER 55 MN při vytvrzovací teplotě rovné 150 °C. Doporučená doba vytvrzování za těchto podmínek je výrobcem navržena na 15-20 minut. Na ose x je zobrazen průběh elektrického odporu a velikosti smykové síly, nutné pro odtržení spoje. Vzhledem k nepodobnosti těchto dvou parametrů je rozsah síly F zobrazen na vedlejší ose. Pro lepší přehled je zde zobrazen jak prostý aritmetický průměr + velikost průměrné odchylky, tak velikost mediánu při měření odporu, přičemž, jak bylo zmíněno výše, přesnější údaje nám poskytuje funkce medián, ale

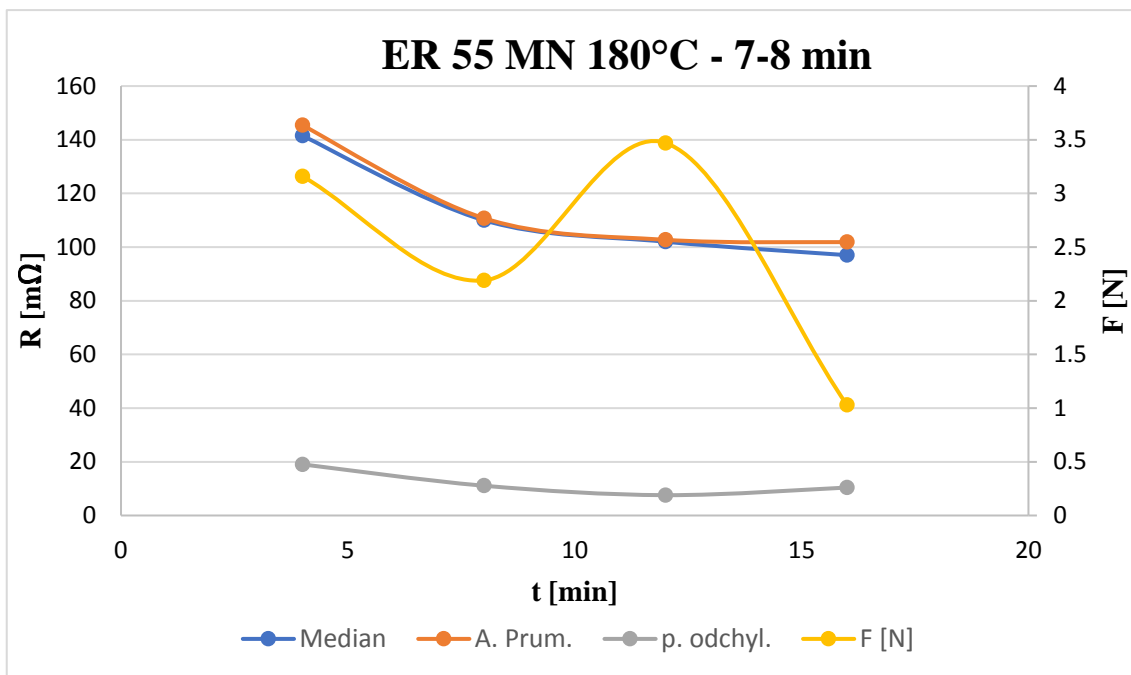
v případě sledování vývoje v rámci jednoho lepidla má bohužel sníženou vypovídající hodnotu i aritmetický průměr. Na ose y je zobrazena doba vytvrzování.



Obr. 17 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo ER 55 MN, při 150 °C

Z obr. 17 je zřetelné že nejlepších elektrických i mechanických vlastností spoje vytvořené pomocí tohoto lepidla nabývají po 10, případně 25 minutách vytvrzování, což je v souladu s doporučenou dobou vytvrzování, kterou stanovil výrobce. Co je zářející je rychlost, s jakou se parametry tohoto lepidla zhoršují. Výrobce v dodacím listě doslova uvádí velkou stálost elektrických parametrů a odolnost vůči vysoké teplotě po dlouhou dobu viz tabulky 5 a 6, naměřené údaje se bohužel s tímto tvrzením rozcházejí, neboť medián hodnot odporu po 70 minutách vytvrzování dosahuje více než dvojnásobku oproti hodnotě po 25 minutách vytvrzování. Navíc pevnost tohoto spoje výrazně klesá, což může znamenat pouze jediné a to rychlou degradaci pojiva, což potvrzuje i prudký nárůst aritmetického průměru, který značí poškození vodivých cest u některých spojů. Tato degradační data jsem naměřil náhodou a nebyla primárním cílem mé práce. Může za to nevhodné navržení měřicího intervalu, neboť na základě předchozích měření spojů realizovaných dvousložkovým epoxidovým lepidlem byla vytvrzovací doba násobně větší, než doba doporučená výrobcem, kde nejprve docházelo s časem k nepatrnému zhoršování parametrů a až po určité době se spoj co se týče velikosti elektrického odporu stabilizoval. Toto jsem očekával i od jednosložkového lepidla ER 55 MN, ale místo toho docházelo k těmto degradačním jevům, které jsou podle mne tak významné, že si zaslouží podrobnější prozkoumání.

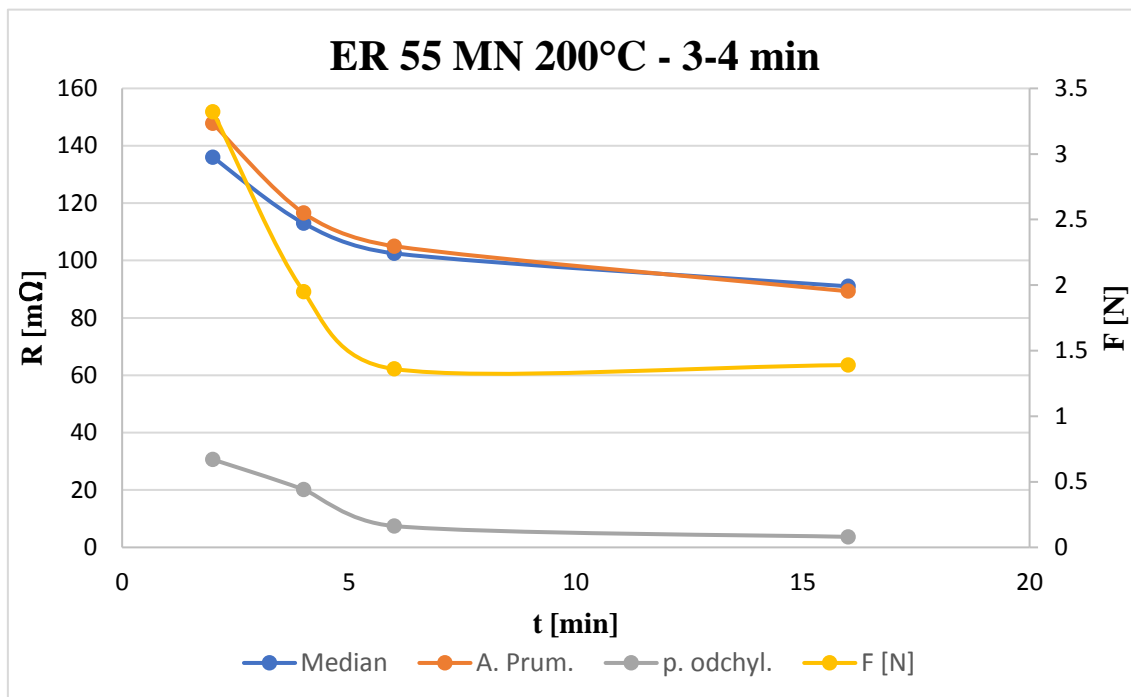
Na obr. 18 jsou zobrazeny závislosti elektrických a mechanických parametrů spojů vytvořených pomocí jednosložkového lepidla Elpox ER 55 MN obdobně jako na obr. XZ. Legenda je shodná s předešlým grafem. Vytvrzovací teplota je v tomto případě rovna 200 °C



Obr. 18 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo ER 55 MN, při 180 °C

Z tohoto grafu je patrné, že po osmi minutách vytvrzování při teplotě 180 °C, není toto lepidlo ještě zcela vytvrzeno, neboť jeho elektrické a mechanické vlastnosti se ještě v průběhu dalšího vytvrzování stále zlepšují. Nejlepších vlastností dosahuje toto lepidlo po 12 minutách vytvrzování, což není v souladu s údajem doporučeným výrobcem, neboť tato doba je o 50% delší, než vytvrzovací doba doporučena výrobcem pro tuto teplotu. Tato skutečnost může mít několik příčin, protože samotná vytvrzovací doba je ovlivňována několika faktory, jako jsou například: staří aplikovaného lepidla, kvalita konkrétní šarže, teplota aplikace a aplikační doba. Některé zdroje uvádějí, viz [6] a [2], že výrobci elektricky vodivých lepidel úmyslně doporučují pro vytvrzování kratší dobu, než je nutná pro úplné vytvrzení lepidla, neboť si tímto krokem prodlužují životnost daného spoje, stárnutí takového spoje totiž začíná až od doby úplného vytvrzení. Po 12 minutách v peci se u tohoto lepidla začíná projevovat degradace spoje. Další vytvrzování v elektrické peci SPT-200, by s nejvyšší pravděpodobností mělo stejné důsledky, jako vytvrzování při 150 °C viz obr. 17 a závěry z něj vyvozené.

Na obr. 19 jsou zobrazeny závislosti elektrických a mechanických parametrů spojů vytvořených pomocí jednosložkového lepidla Elpox ER 55 MN obdobně jako na obr. XZ. Legenda je shodná s předešlým grafem. Vytvrzovací teplota je v tomto případě rovna 200 °C



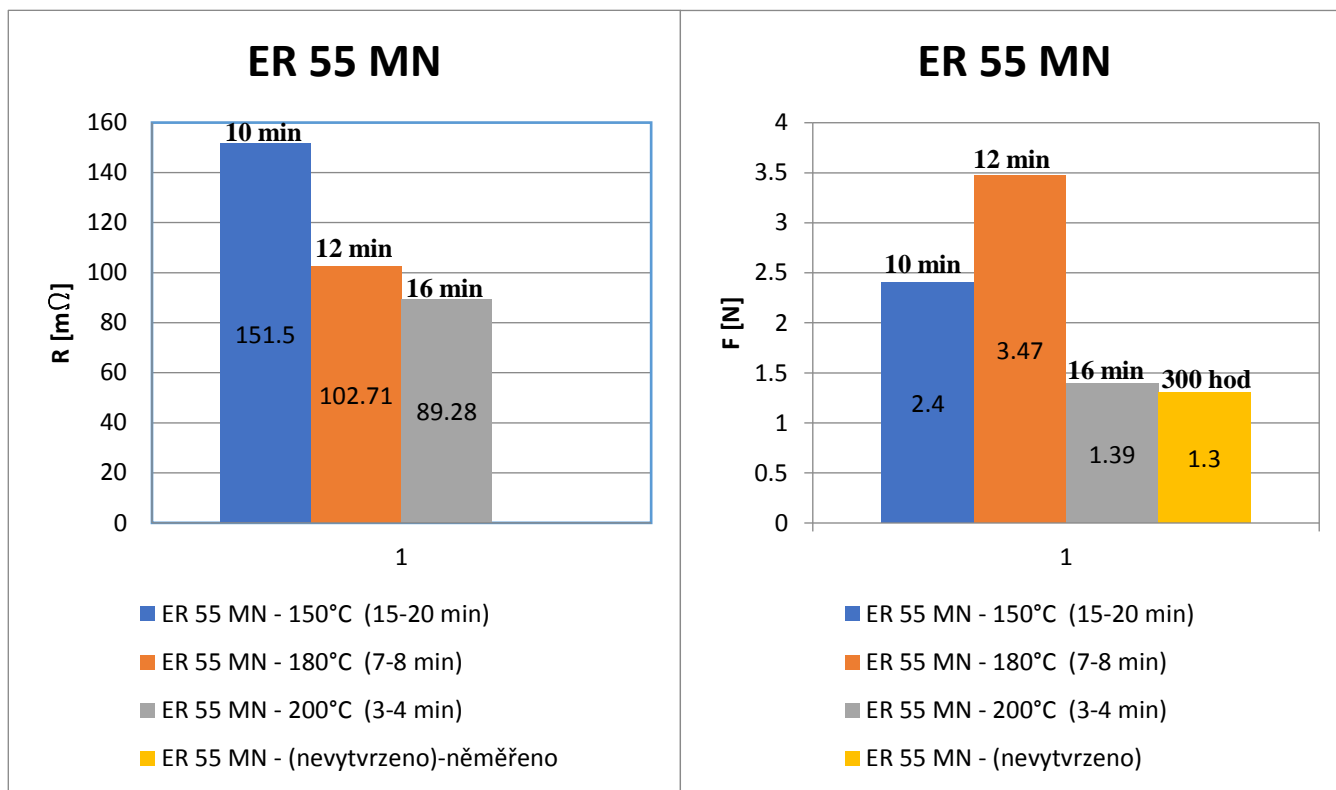
Obr. 19 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo ER 55 MN, při 200 °C

Vyhodnocení naměřených hodnot při tomto vytvrzovacím profilu je velice obtížné, neboť vývoj elektrických a mechanických parametrů v tomto případě není v souladu. Zatímco velikost elektrického odporu se i po čtyřnásobně větší době vytvrzování, než doporučuje výrobce stále zlepšuje, tak mechanické parametry dosáhly svého maxima již po dvou minutách, což odpovídá polovině vytvrzovací doby doporučené výrobcem tohoto lepidla. Po šesti minutách vytvrzování se mechanické parametry stabilizovaly na 1/3 jejich maxima a s dalším vytvrzováním je již dále nezhoršovaly.

Na obr. 20 je zobrazeno celkové porovnání vlastností tohoto lepidla při různých podmínkách vytvrzování, viz obr. 17-19. Na osách Y je uvedena velikost elektrického odporu a odtrhové síly, v legendě je uveden název lepidla, teplota vytvrzování a doba vytvrzování doporučená výrobcem pro danou teplotu, v poznámce nad samotnými sloupci je pak uvedena skutečná doba vytvrzování.

Z jednotlivých závislostí těchto parametrů na čase, viz obr. 8-10, jsem pro každý vytvrzovací profil vybral body, kdy měly spoje nejlepší elektrické i mechanické parametry tzn.

kdy byl elektrický odpor na minimu a velikost odtrhové síly byla největší. Pro porovnání je ještě uvedena velikost odtrhové síly pro spoje, které neprošly horkovzdušnou pecí a byly vystaveny pouze pokojové teplotě po dobu 300 hodin.



Obr. 20 Porovnání vlastností jedno sl. lepidla ER 55 MN při různých podmínkách vytvrzování

Z tohoto grafu poměrně jasně vyplývá, že použití vyšší vytvrzovací teploty má příznivý vliv na konečnou velikost elektrického odporu. To může být způsobeno vyšší rychlostí odpařování tvrdidla z lepidla, čímž dojde k zacelení mikroděr takto vzniklých dříve, než dojde k vytvoření makromolekulární prostorové sítě. Dalším možným vysvětlením tohoto jevu je snazší vzdušné odpařování vlhkosti, která se během skladování a aplikace vstřebala do lepidla.

Takto zřejmá závislost mezi vytvrzovací teplotou a velikostí smykové síly nutné k odtržení odporu zřejmá není. Při vytvrzovací teplotě rovné 200 °C byla průměrná velikost elektrického odporu 89.28 mΩ, tedy nejmenší ze všech vytvrzovacích profilů, ale pevnost takového spoje byla rovna nevytvrzenému lepidlu (1.39 N). Při vytvrzovací teplotě rovné 150 °C byla průměrná velikost odtrhové síly rovna 2.4 N, tedy o 1 N lepší výsledek než v případě vytvrzování při 200 °C. Nicméně velikost elektrického odporu tohoto spoje byla rovna 151.5 mΩ, tedy o 70 % větší. Proto mohu konstatovat, že k nejkvalitnějšímu vytvrzení došlo při vytvrzovací teplotě rovné 180°C, neboť pouze v tomto případě byl vyrovnaný poměr mezi elektrickou vodivostí a mechanickou pevností spoje a to sice 102.71 mΩ a 3.47 N.

4.3.2 ELPOX AX 70 MN

Dalším testovaným lepidlem, bylo lepidlo Epox AX 70 MN, taktéž od firmy Amenox Microelectronics. Toto lepidlo je stejně jako Elpox ER 55 MN založeno na epoxy-fenolové pryskyřici, s tím rozdílem, že výrobce u něj uvádí, že se jedná o hybrid, bohužel dále tuto skutečnost nerozvádí a skutečné složení použité pryskyřice není součástí přiloženého datového listu. Toto lepidlo obsahuje cca 70 % stříbra ± 1 %. Na rozdíl od ER 55 MN, u tohoto lepidla výrobce neuvádí, žádné speciální vlastnosti, nebo určení tohoto produktu pro nějaké speciální podmínky, kromě vysoké a stabilní elektrické vodivosti a vysoké teplotní odolnosti od -55°C do 200°C , krátkodobě až 300°C po dobu jedné a půl hodiny.

Výrobce pro toto lepidlo při vytvrzování v horkovzdušné peci doporučuje dva vytvrzovací profily a to sice:

- 180°C - po dobu 7–8 minut.
- 200°C - po dobu 3–4 minut.

Tyto parametry jsem respektoval a zkoumal jsem chování tohoto lepidla při vytvrzování za pomoci těchto vytvrzovacích profilů, navíc jsem toto lepidlo vytvrzoval mimo doporučení výrobce i při 150°C .

Další informace o parametrech tohoto lepidla naleznete stejně jako u předchozího lepidla v datovém listě, který je součástí příloh na konci mé bakalářské práce. Pro úplnost přikládám tabulky nejdůležitějších parametrů tohoto lepidla, viz tabulky 7 a 8.

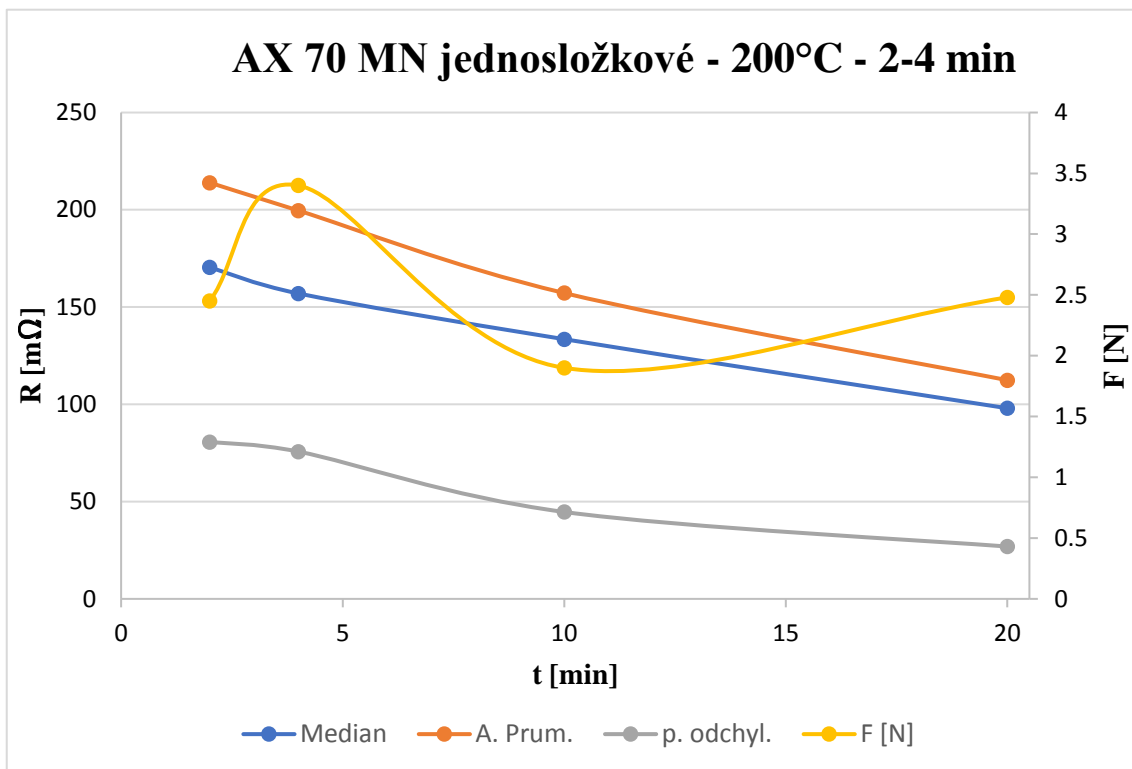
Number of components	One
Consistency	Floable paste
Color	Bright silver
Percentage of silver (inside ready paste)	$70 \pm 1\%$
Specific gravity	$2.1 - 2.4 \text{ g/cm}^3$
Viscosity	530 000 – 560 000 cps (*)
Drying time before curing process	Not necessary
Recommended curing schedule with air-circulated oven	$180^{\circ}\text{C} - (6 - 10) \text{ min.}$ $200^{\circ}\text{C} - (3 - 4) \text{ min.}$
Recommended curing schedule with heating tunnel	200°C in peak – 3 min. total time inside tunnel
Shelf life	6 months (when storage at 10°C – unopened)

Tabulka 7 Specifikace jednosložkového lepidla Elpox AX 70 MN

Electrical resistivity	$(1.0 - 2.5) \times E(-6) \Omega\text{m}$
Pencil hardness	9H pencil hardness (one day after curing)
Range of service for continuous temperature	$(-55)^{\circ}\text{C} - (+200)^{\circ}\text{C}$
Max. operating temperature	300°C for ab 1.5 h.

Tabulka 8 Technické parametry jednosložkového lepidla Elpox AX 70 MN

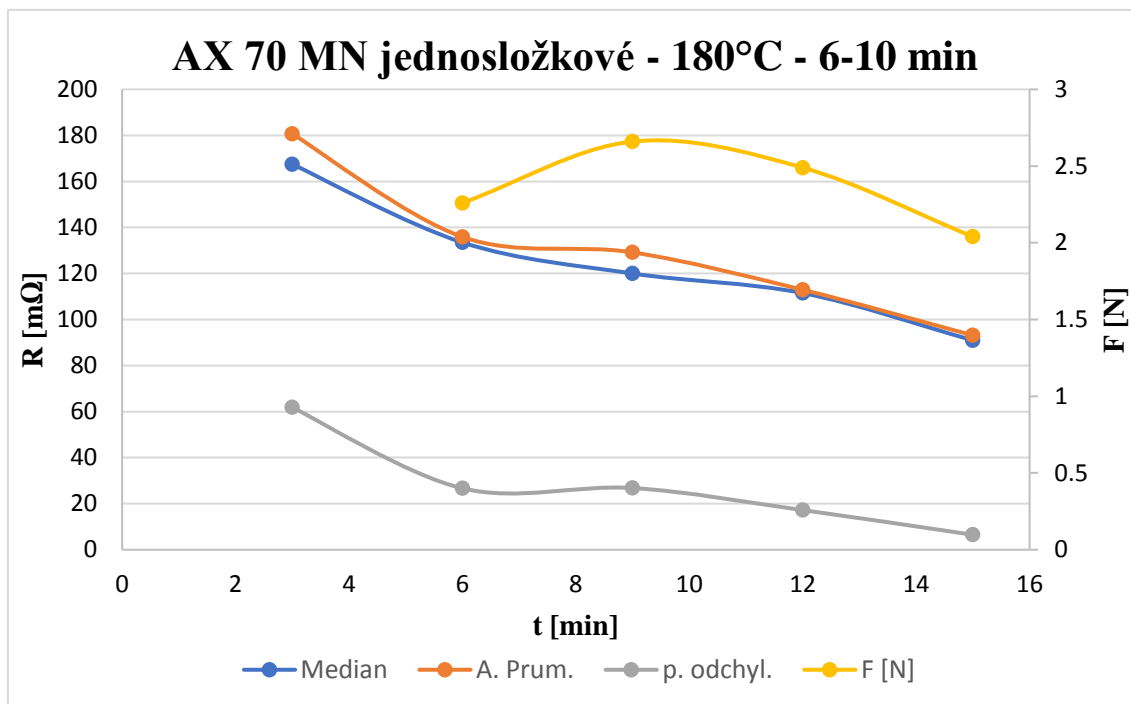
Na obr. 21 jsou zobrazeny závislosti elektrických a mechanických parametrů spojů vytvořených za pomoci jednosložkového lepidla Elpox AX 70 MN při vytvrzovací teplotě rovné 200 °C. Měření a způsob zpracování dat do grafu je stejný jako pro lepidlo ER 55 MN viz obr. 17.



Obr. 21 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 70 MN, při 200 °C

Z tohoto grafu je patrné, že nejlepší mechanických vlastností toto lepidlo dosahuje po 4 minutách, což je v naprostém souladu s údajem dodaným výrobcem, nicméně při dalším vytvrzování rezistivita daného spoje lineárně klesá, a ve 20. minutě dosahuje průměrná hodnota elektrického odporu 98 mΩ, což je o 28.66 % než ve 4. minutě vytvrzování (157 mΩ).

Na dalším obrázku, viz Obr. 22, je zobrazen průběh změny parametrů při vytvrzovací teplotě rovné 180 °C a doporučeným vytvrzovacím časem daným rozmezím od 6 do 10 minut.

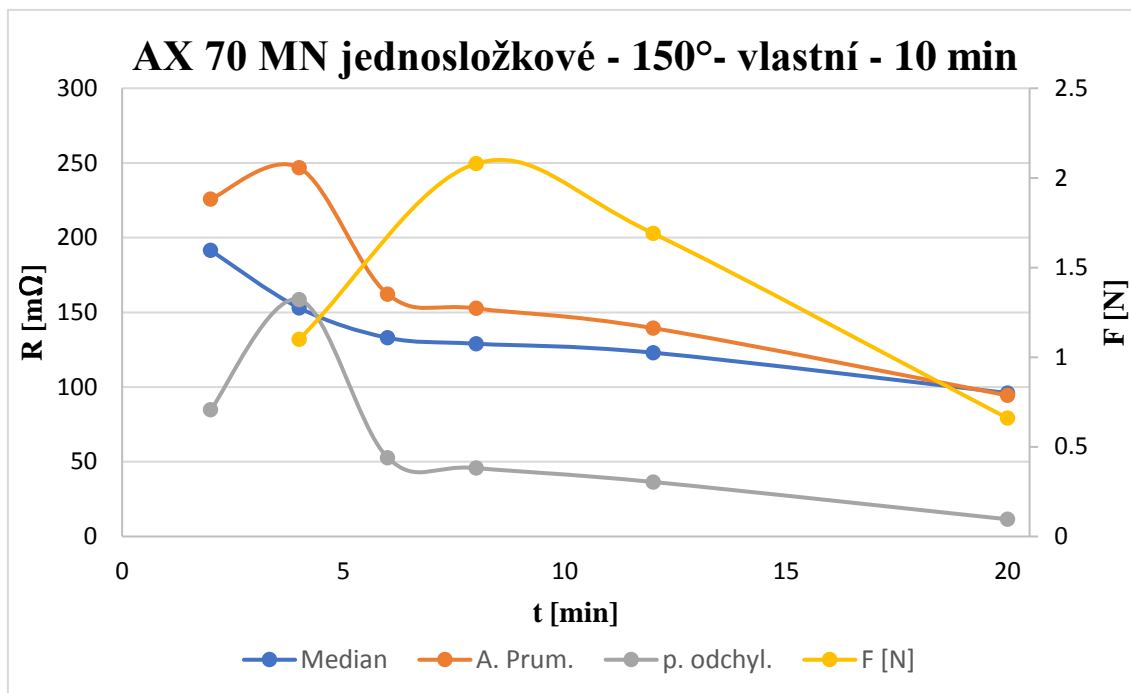


Obr. 22 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 70 MN, při 180 °C

Z tohoto grafu je patrné, že nejlepších mechanických vlastností spoje vytvrzované při této teplotě po 9 minutách vytvrzování, což je stejně jako v předchozím případě viz obr. 21 v souladu s údaji doporučenými výrobcem. Elektrický odpor je po 9 minutách roven 120 mΩ, i zde elektrický odpor s dalším vytvrzováním znatelně klesá, a to až na 91 mΩ po 15 minutách, což je o 24 % méně, nicméně stejným tempem jako elektrický odpor klesá i mechanická odolnost tohoto spoje.

Na posledním grafu průběhu elektrických a mechanických parametrů pro lepidlo Elpox AX 70 MN, viz obr. 23, je zobrazen tento průběh při vytvrzovací teplotě rovné 150 °C, tuto teplotu jsem si zvolil sám, na základě konzultace s vedoucí mé práce doktorkou I. Beshajovou, neboť pro tento druh lepidla doporučuje výrobce pouze dva vytvrzovací profily.

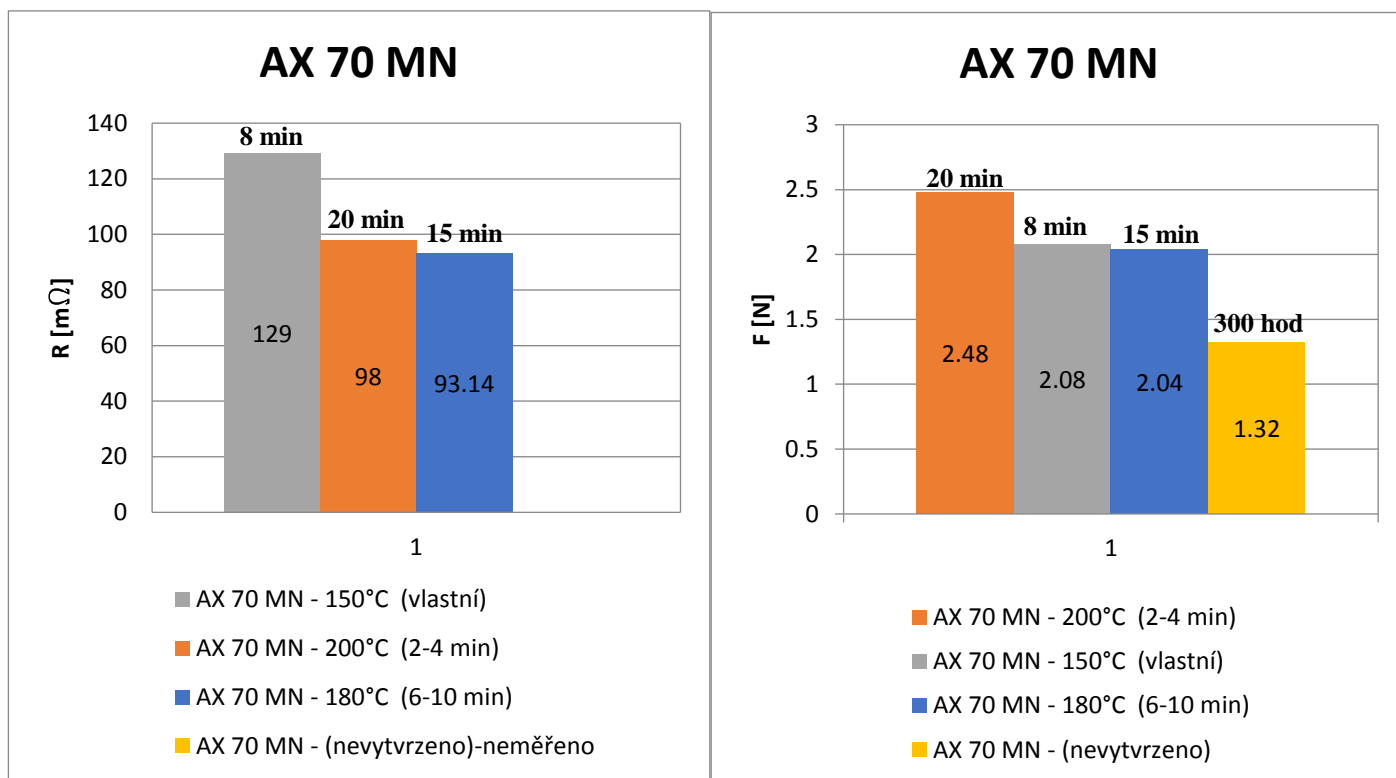
Na základě tohoto grafu lze usoudit, že vytvrzování tohoto lepidla při této teplotě není vhodné, neboť mechanické vlastnosti dosahují svého maxima již po 8. minutě a v průběhu dalšího vytvrzování se výrazně a téměř lineárně zhoršují, a to až na takovou míru, že špatné mechanické vlastnosti zcela převáží přínos snižování elektrického odporu.



Obr. 23 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 70 MN, při 150 °C

Na obr. 24 je zobrazeno celkové porovnání nejlépe dosažených elektrických a mechanických parametrů lepidla Elpox AX 70 MN, vytvrzovaném při dvou výše zmíněných vytvrzovacích profilech doporučených výrobcem Amphenox Microelectronics a jedním vytvrzovacím profilem zvoleným na základě výše naměřených dat, viz obr. 21-23. Na osách y je uvedena velikost elektrického odporu a odtrhové síly, v legendě je uveden název lepidla, teplota vytvrzování a doba vytvrzování doporučená výrobcem pro danou teplotu, v poznámce nad samotnými sloupci je pak uvedena skutečná doba vytvrzování stejně jako na obr. 20.

Metodika výběru bodů určených pro porovnání je shodná, jako v případě lepidla Elpox ER 55 MN viz 4.3.1. Pro porovnání je ještě uvedena velikost síly nutné pro odtržení spoje, u vzorků které neprošly horkovzdušnou pecí a byly vystaveny pouze pokojové teplotě po dobu 300 hodin.



Obr. 24 Porovnání vlastností jedno sl. lepidla AX 70 MN při různých podmínkách vytvrzování

Z tohoto grafu vyplývá, že z pohledu elektrických vlastností, nejlépe dopadlo vytvrzování při 180 °C, kdy průměrná hodnota elektrického odporu dosahovala 93.14 mΩ, nicméně ze všech vytvrzovaných vzorků v elektrické peci byly mechanické parametry při této vytvrzovací teplotě nejhorší, ovšem stále na jednosložková lepidla relativně vysoké. Velikost průměrné síly nutné pro odtržení odporu z testovací byla v tomto případě 2.04 N.

Nepatrně lépe z pohledu mechanických vlastností spoje dopadlo lepidlo vytvrzované při 150 °C, ovšem vodivost těchto spojů byla výrazně horší a to sice 129 mΩ což je o 38,5 % více než v předchozím případě.

Zdaleka nejlepších mechanických i elektrických vlastností dosáhlo lepidlo vytvrzované při 200 °C, velikost průměrné hodnoty elektrického odporu byla v tomto případě rovna 98 mΩ tedy pouze o 7% více než v případě nejlepšího výsledku při 180 °C a z hlediska mechanických parametrů naopak toto lepidlo dopadla zcela nejlépe, velikost síly nutné k odtržení odporu od testovací destičky byla rovna 2.48 N, tedy o 21.56 % oproti vzorkům vytvrzovaným při 180 °C.

4.3.3 ELPOX AX 12 LVT

Jedná se o dvousložkové epoxidové lepidlo, stejně jako u předchozích dvou lepidel je i výrobcem tohoto lepidla Ampenox Microelectronics. Toto lepidlo jak už vypovídá název je

tvoreno dvěma komponenty A a B skladovanými v oddělených nádobkách, jedná se o samotnou epoxidovou pryskyřici a tvrdidlo. Lepidlo obsahuje celkem 55% stříbrných šupinek, které jsou obsaženy jak v samotné pryskyřici, tak v kontejneru s tvrdidlem, u některých lepidel je v nádobce s tvrdidlem pouze samotné tvrdidlo. Výrobce pravděpodobně přidal do tohoto tvrdidla stříbrné šupinky, proto aby docílil míchacího poměru 1:1. Výrobce bohužel v příloženém datovém listě neuvádí druh použité pryskyřice ani tvrdidla.

Toto lepidlo je určeno pro nízkoteplotní aplikace, kde by vysoká teplota poškodila připojovanou součástku, pravděpodobně z tohoto důvodu výrobce neuvádí jeho pracovní bod a maximální pracovní hodnotu teploty, které je lepidlo schopné odolat po určitý čas.

Rezistivita tohoto lepidla po vytvrzení je o jeden řád horší než v případě jednosložkových lepidel viz tabulky 6 a 8.

Výrobce pro toto lepidlo při vytvrzování v horkovzdušné peci doporučuje tři vytvrzovací profily:

- 80 °C - po dobu 25 minut.
- 100 °C - po dobu 15 minut.
- 120 °C - po dobu 10 minut.

Lepidlo jsem tedy vytvrzoval stejně jako jednosložková lepidla v elektrické peci SPT-200 při těchto teplotách.

Další informace o parametrech tohoto lepidla naleznete stejně jako u předchozího lepidel v datovém listě, který je součástí příloh na konci mé bakalářské práce. Pro úplnost přikládám tabulky nejdůležitějších parametrů tohoto lepidla, viz tabulky 9 a 10.

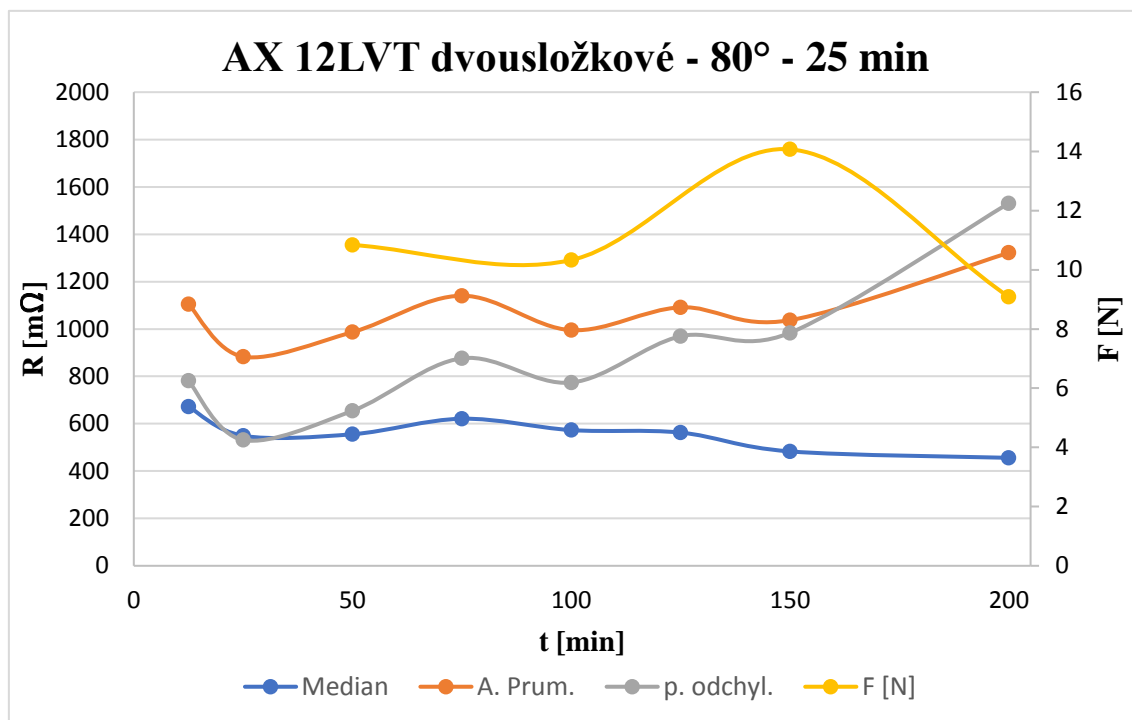
Number of components	Two.
Mixing ratio A : B (by weight)	1 : 1
Consistency after mixing A+B	Soft paste, 100% solids.
Color	Silver.
Percentage of silver	55 ± 1%
Viscosity (A+B)	250 000 – 290 000 cps (*)
Thixotrophy index Ti = (10/100)	5.4 - 6.0
Recommended curing schedule	80° C - 25 min. 100° C - 15 min. 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.

Tabulka 9 Specifikace dvousložkového lepidla Elpox AX 12 LVT

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

Tabulka 10 Technické parametry dvousložkového lepidla Elpox AX 12 LVT

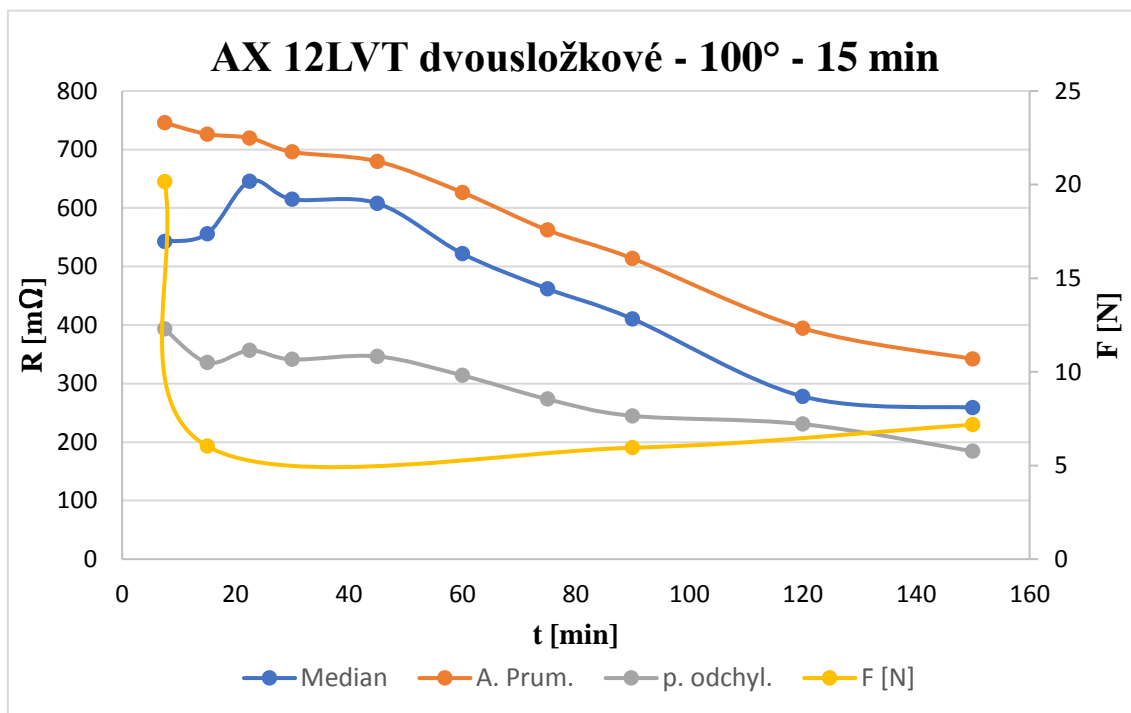
Na obr. 25 jsou zobrazeny závislosti elektrických a mechanických parametrů spojů vytvořených za pomoci dvousložkového lepidla Elpox AX 12 LVT při vytvrzovací teplotě rovné 80 °C a doporučenou dobou vytvrzování rovné 25 minutám. Měření a způsob zpracování dat do grafu je stejný jako u předchozích vzorků a je detailně popsán u prvního grafu tohoto typu viz 4.3.1 a obr.17.



Obr. 25 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 12 LVT, při 80 °C

Z tohoto grafu je patrné, že vzorky vytvrzované při této teplotě vykazují velkou míru nesymetrie, co se elektrických vlastností týče. Usuzuji tak z vysoké průměrné odchyvky a velké disproporce mezi hodnotami aritmetického průměru a mediánu elektrického odporu. Po 12 minutách a 30 sekundách dosahoval medián elektrického odporu 672.5 mΩ, po 25 minutách vytvrzování se tato vysoká hodnota snížila o 123.5 mΩ na 549 mΩ. Takto vysoká hodnota je nepřijatelná, a proto jsem pokračoval ve vytvrzování těchto vzorků, jak je z grafu patrné a po dlouhou dobu se hodnota elektrického odporu i velikost smykové síly nutné k odtržení SMT odporu od testovací destičky výrazně neměnily. Ke zlomu došlo až po 150 minutách vytvrzování, tedy šestinásobku doporučené doby vytvrzování od výrobce, velikost smykové síly vzrostla z hodnoty okolo 10 N na 14.07 N a hodnota elektrického odporu klesla na 483 mΩ, po 200 minutách v elektrické peci se hodnota elektrického odporu ještě snížila na 456 mΩ, ale mechanické vlastnosti vzorků se zhoršily oproti předchozí hodnotě na 9,09 N.

Na obr. 26 jsou zobrazeny závislosti elektrických a mechanických parametrů spojů vytvořených za pomoci dvousložkového lepidla Elpox AX 12 LVT, při vytvrzovací teplotě rovné 100 °C a doporučenou dobou vytvrzování rovné 15 minutám. Měření a způsob zpracování dat do grafu je stejný jako u předchozích vzorků a je detailně popsán u prvního grafu tohoto typu viz 4.3.1 a obr. 17.



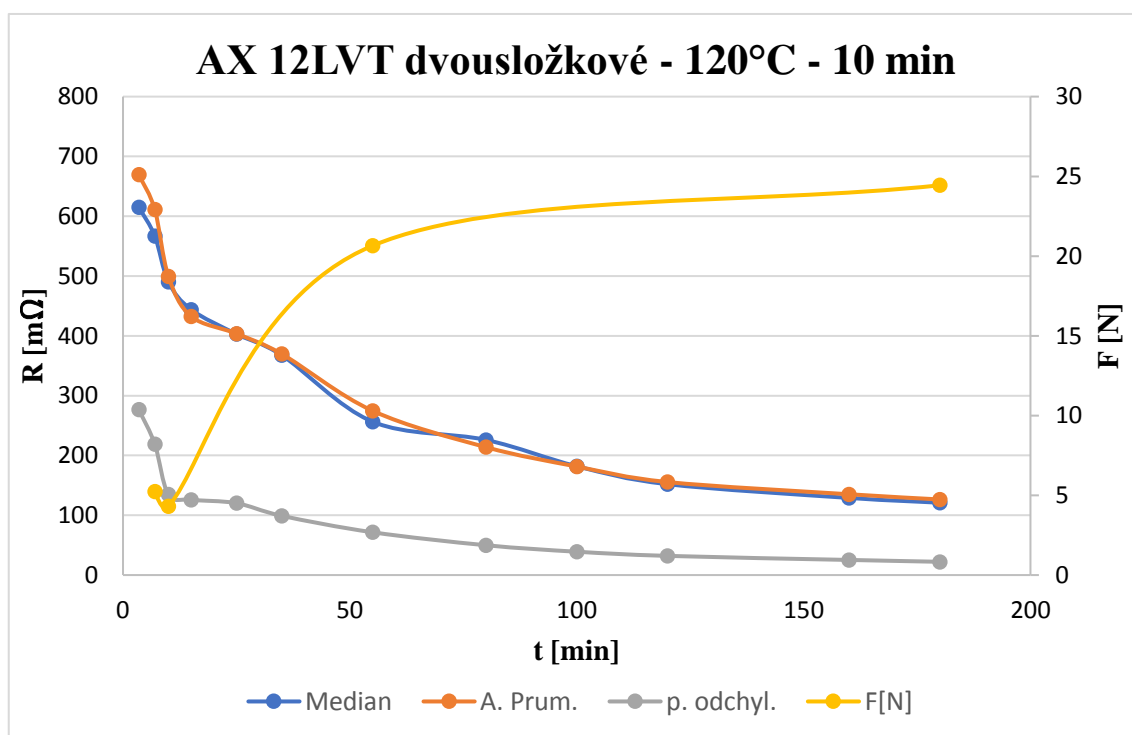
Obr. 26 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 12 LVT, při 100 °C

Oproti předchozímu případu je na tomto grafu zřetelně patrný kladný přínos vytvrzování na velikost elektrického odporu, nicméně doba nutná pro snížení odporu na přijatelnou hodnotu byla 150 minut, což je 10x déle než doba vytvrzování doporučená výrobcem pro vytvrzování tohoto lepidla při této teplotě. Hodnota aritmetického průměru elektrického odporu i mediánu téměř lineárně klesají, u mediánu se ze začátku vytvrzování, od 15 do 22 minuty vyskytuje mírný nárůst jeho hodnoty, který může být způsoben mnoha faktory, osobně se domnívám, že byl nejpravděpodobněji způsoben narušením vodivých spojení mezi jednotlivými šupinkami stříbra odpařujícím se tvrdidlem. Od 22. minuty a 30 sekund vytvrzování do 150 minuty medián elektrického odporu u vzorků klesl z 645 mΩ na 259 mΩ, což je pokles cca 60 %.

Co se mechanických vlastností týče, je velice těžké je z tohoto grafu posoudit, jelikož nejvyšší střední hodnoty smykové síly toto lepidlo dosáhlo již po 7.5 minutách na 20.16 N a následný propad v 15 minutě na 6,09 N. Tato hodnota následně v průběhu dotvrzování mírně

rostla. Domnívám se, že tento propad není způsoben fyzickými změnami ve struktuře lepidla, nýbrž je částečně způsobem zpracováním údajů, neboť rozptyl naměřených údajů byl u každé skupiny vzorků od 0.3 N do 30 N a také závadou na čtení dat z měřicího čidla na automatické trhače, neboť u velkého množství vzorků trhačka nezaznamenala při kontaktu s SMT odporem jakýkoliv nárůst síly, i když fyzické i zvukové projevy naznačovaly, že síla nutná pro odtržení odporu z destičky byla značná. Proto v tomto případě není možné posoudit vliv vytvrzování na mechanické vlastnosti.

Na obr. 27 jsou zobrazeny závislosti elektrických a mechanických parametrů spojů vytvořených za pomoci dvousložkového lepidla Elpox AX 12 LVT při vytvrzovací teplotě rovné 120 °C. Doba vytvrzování je pro tuto teplotu doporučena výrobcem na 10 minut. Měření a způsob zpracování dat do grafu je stejný jako u předchozích vzorků a je detailně popsán u prvního grafu tohoto typu viz 4.3.1 a obr. 17.



Obr. 27 Graf závislosti odporu a smykové síly pro lepidlo AX 12 LVT, při 120 °C

Tento graf je jako jediný z grafů pro dvousložkové lepidlo Elpox AX 12 LVT ukázkovým, je zde jasně patrný jak pokles elektrického odporu s rostoucím vytvrzovacím časem, tak nárůst smykové síly nutné pro odtržení SMT rezistoru z testovací destičky.

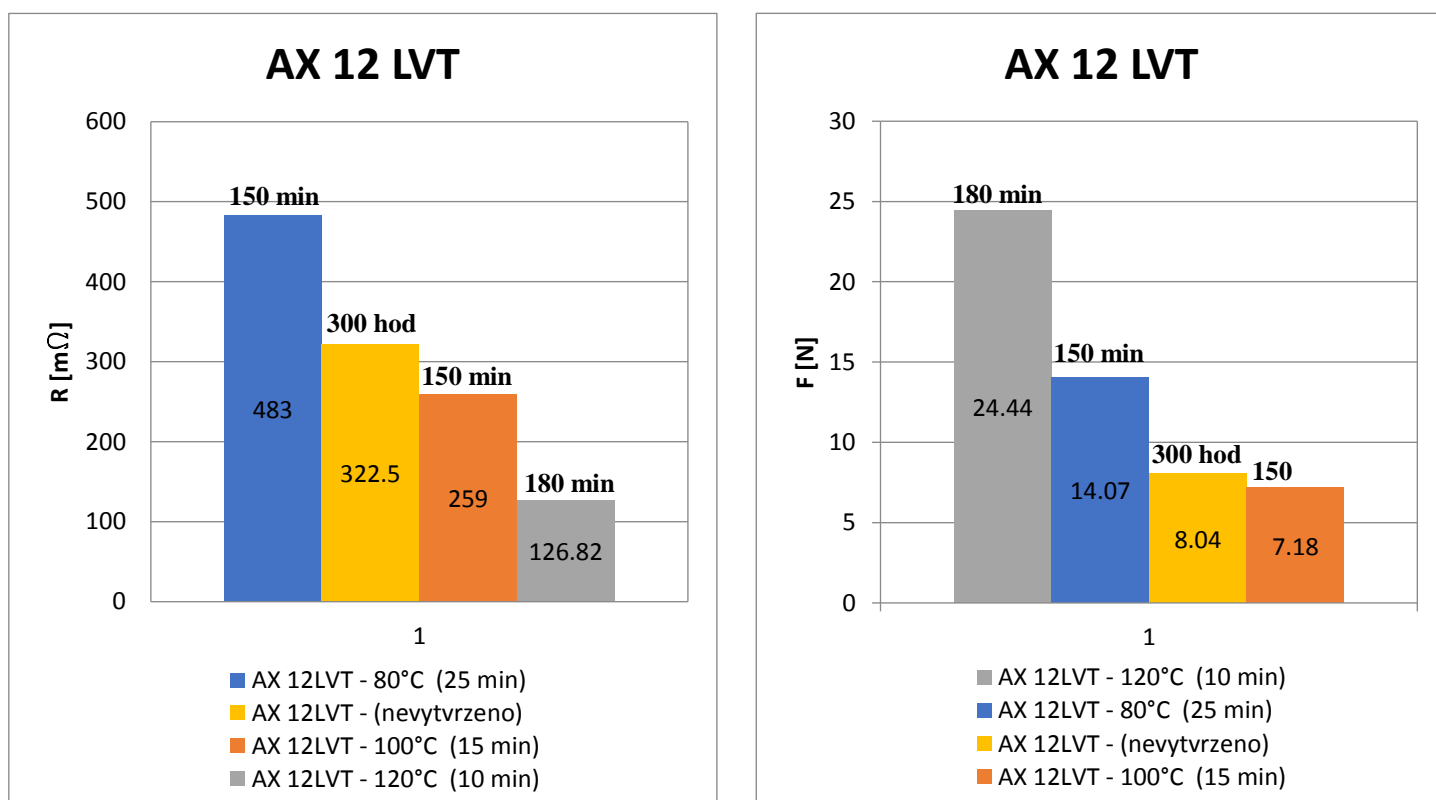
Nicméně čas nutný pro vytvrzení vzorků byl stejně jako u obou výše testovaných profilů značně delší než doba doporučená výrobcem.

Elektrický odpor v čase $t = 3.5$ min dosahoval $615 \text{ m}\Omega$ a klesl po 180 minutách vytvrzování na $126 \text{ m}\Omega$, čímž se velice přiblížil hodnotám elektrického odporu jednosložkových lepidel Elpox ER 55 MN a AX 70 MN.

Velikost smykové síly nutné pro odtržení rezistoru od testovací dětičky ve stejném časovém úseku vzrostla ze 4.13 N ve 3.5 minutách vytvrzování na 24.44 N , ve 180. minutě vytvrzování.

Na obr. 28 je zobrazeno celkové porovnání nejlepších dosažených elektrických a mechanických vlastností lepidla Elpox AX 12 LVT, vytvrzovaném při výše zmíněných vytvrzovacích profilech doporučených výrobcem Ampenox Microelectronics. Na osách y jsou uvedeny velikosti elektrického odporu a smykové síly nutné pro odtržení SMD rezistoru od testovací destičky. Stejně jako u předchozích lepidel je v legendě uveden název lepidla, teplota vytvrzování a doba vytvrzování doporučená výrobcem pro danou teplotu, v poznámce nad samotnými sloupci je pak uvedena skutečná doba vytvrzování stejně jako na obr. 20.

Metodika výběru bodů určených pro porovnání je shodná jako v případě lepidla Elpox ER 55 MN viz 4.3.1. Pro porovnání je ještě uvedena velikost síly nutné pro odtržení spoje, u vzorků neprošly horkovzdušnou pecí a byly vystaveny pouze pokojové teplotě po dobu 300 hodin.



Obr. 28 Porovnání vlastností dvou sl. lepidla AX 12 LVT při různých podmínkách vytvrzování

Z tohoto grafu je patrné, že vzorky vytvrzované při 80 °C jsou, co se jejich vodivosti týče pro běžnou elektrotechnickou praxi nepoužitelné, velikost průměrné hodnoty elektrického odporu je pro tyto vzorky více než 4x větší než pro jednosložková lepidla. Dokonce i vzorky které nebyly vytvrzovány v elektrické peci a byly vystaveny pouze povětrnostním vlivům, dosahovaly výrazně nižší hodnoty elektrického odporu.

U vzorků vytvrzovaných při 100 °C byla již průměrná hodnota elektrického odporu výrazně lepší, bohužel se zde objevila anomálie při měření velikosti smykové síly nutné k odtržení rezistoru. Tato síla byla extrémně nízká. Jak již bylo popsáno výše, viz obr. 26 domnívám se, že tato anomálie byla způsobena kombinací závady na měřícím zařízení automatické trhačky a způsobem zpracování dat.

Nejlépe dopadlo lepidlo vytvrzováno při 120 °C, kombinace nízké hodnoty elektrického odporu a velké smykové síly nutné k odtržení rezistoru, je zcela ukázková.

Časy, které byly nutné pro vytržení vzorků při všech vytvrzovacích profilech pro toto lepidlo, značně převyšují časy doporučené výrobcem, tento fakt může být způsoben mnoha faktory, domnívám se, že výraznou roli v tomto případě hrála doba skladování lepidla, která výrazně převyšovala doporučení od výrobce, spolu s možným nepoměrem směsi při míchání složek lepidla. Vzhledem k malému množství míchaného lepidla tuto možnost nemohu vyloučit.

4.3.4 ELPOX AX 15s

Posledním testovaným elektricky vodivým lepidlem, bylo dvousložkové lepidlo Elpox AX 15s, stejně jako u předchozích testovaných lepidel je výrobcem tohoto lepidla také Ampenox Microelectronics.

Jedná se o dvou složkové epoxidové lepidlo s 60 % obsahem stříbra. Míchací poměr tohoto lepidla je 1:1 stejně jako u lepidla Elpox AX 12 LVT viz 4.3.1. Nicméně viskozita tohoto lepidla byla po namíchání velice řídká, a téměř znemožňovala aplikaci.

Výrobce neuvádí použitou pryskyřici, nicméně zdůrazňuje možnost vytvrzení při pokojové teplotě a nízkou cenu.

Výrobce pro toto lepidlo doporučuje vytvrzovací časy pro pět teplot, to zda má být lepidlo vytvrzováno v horkovzdušné peci, či průchodném tunelu výrobce neuvádí. Vytvrzovacími teplotami jsou:

- 20 °C - po dobu 24 hodin.
- 60 °C - po dobu 120 minut.
- 80 °C - po dobu 100 minut.
- 120 °C - po dobu 30 minut

- 150 °C - po dobu 15 minut

Další důležité informace naleznete v níže přiložených tabulkách 11 a 12 a v datovém listu, který je součástí příloh.

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)
Thixotrophy 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.

Tabulka 11 Specifikace dvousložkového lepidla Elpox AX 15s

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. (T _g)	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

Tabulka 12 Technické parametry dvousložkového lepidla Elpox AX 15s

Vzhledem k počtu vzorků, které jsem měl k dispozici, jsem se toto lepidlo rozhodl vytvzovat při 4 teplotách a to sice 20 °C, 60 °C, 120 °C a 150 °C.

Bohužel ani u jedné skupiny vzorků, testovaných při výše uvedených teplotách a časech k nim určených se neprojevil vznik jakékoliv mechanické vazby, a to ani po časech mnohonásobně překračujících dobu vytvzování doporučenou výrobcem tohoto elektricky vodivého lepidla. Je tedy zřejmé, že u těchto vzorků po smíchání pojiva a tvrdidla nedošlo k nastartování chemické reakce a vzniku makromolekulární sítě. Tento nežádoucí efekt mohl být způsoben degradací jednotlivých složek elektricky vodivého lepidla, neboť i přes pečlivé skladování dochází ke stárnutí materiálu a doporučená doba spotřeby tohoto lepidla byla přesáhnutá o jeden rok. Dalším možným vysvětlením výše uvedeného efektu je nepřesné smíchání jednotlivých složek lepidla v daném poměru, toto vysvětlení je méně pravděpodobné,

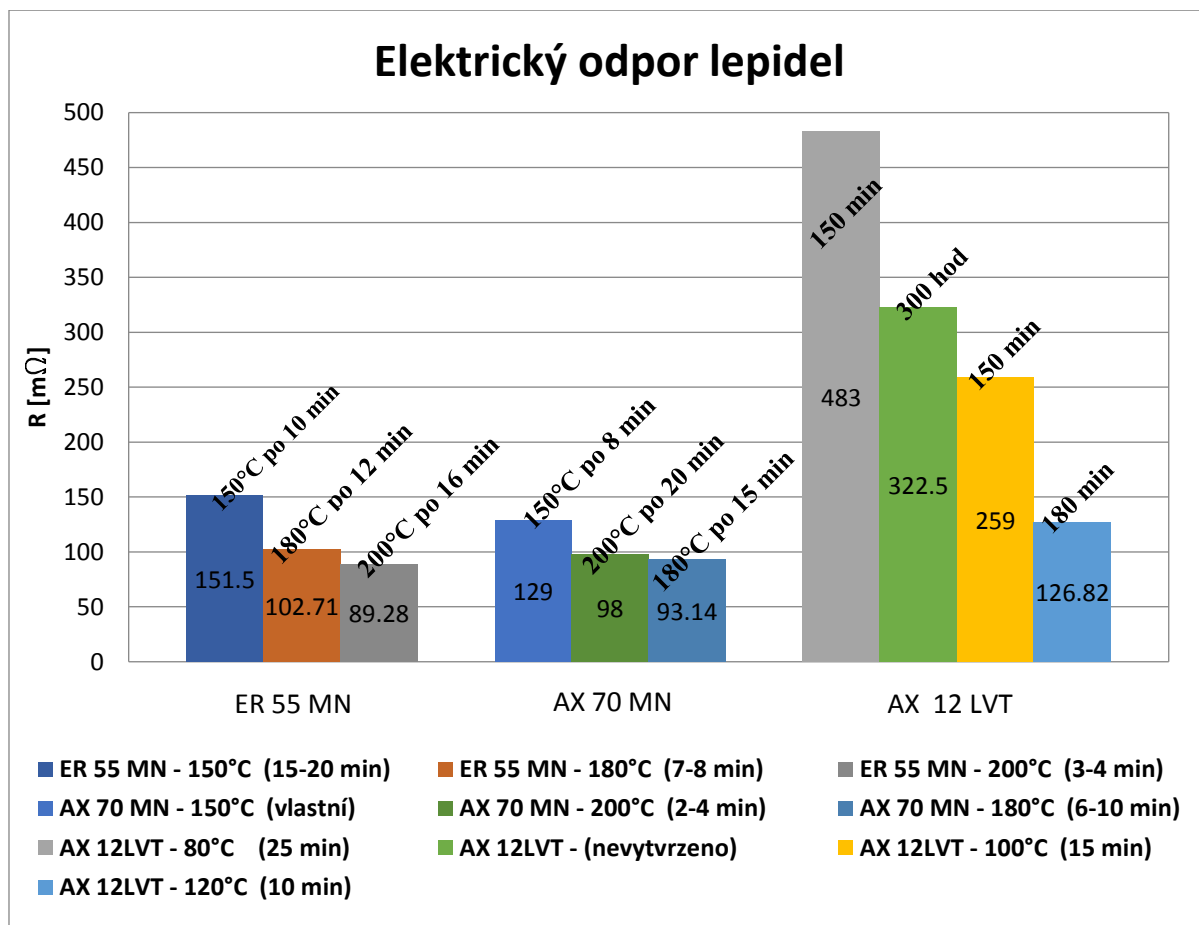
neboť při přípravě tohoto lepidla jsem postupoval pečlivě, navíc při nepřesném smíchání těchto složek je pravděpodobnější, že by chemická reakce byla pomalejší nikoli dlouhodobě nepozorovatelná.

4.3.5 Celkové porovnání:

Pro celkový přehled jsou na obrázcích 29 a 30 přiloženy grafy, které porovnávají elektrické a mechanické parametry všech testovaných lepidel mezi sebou.

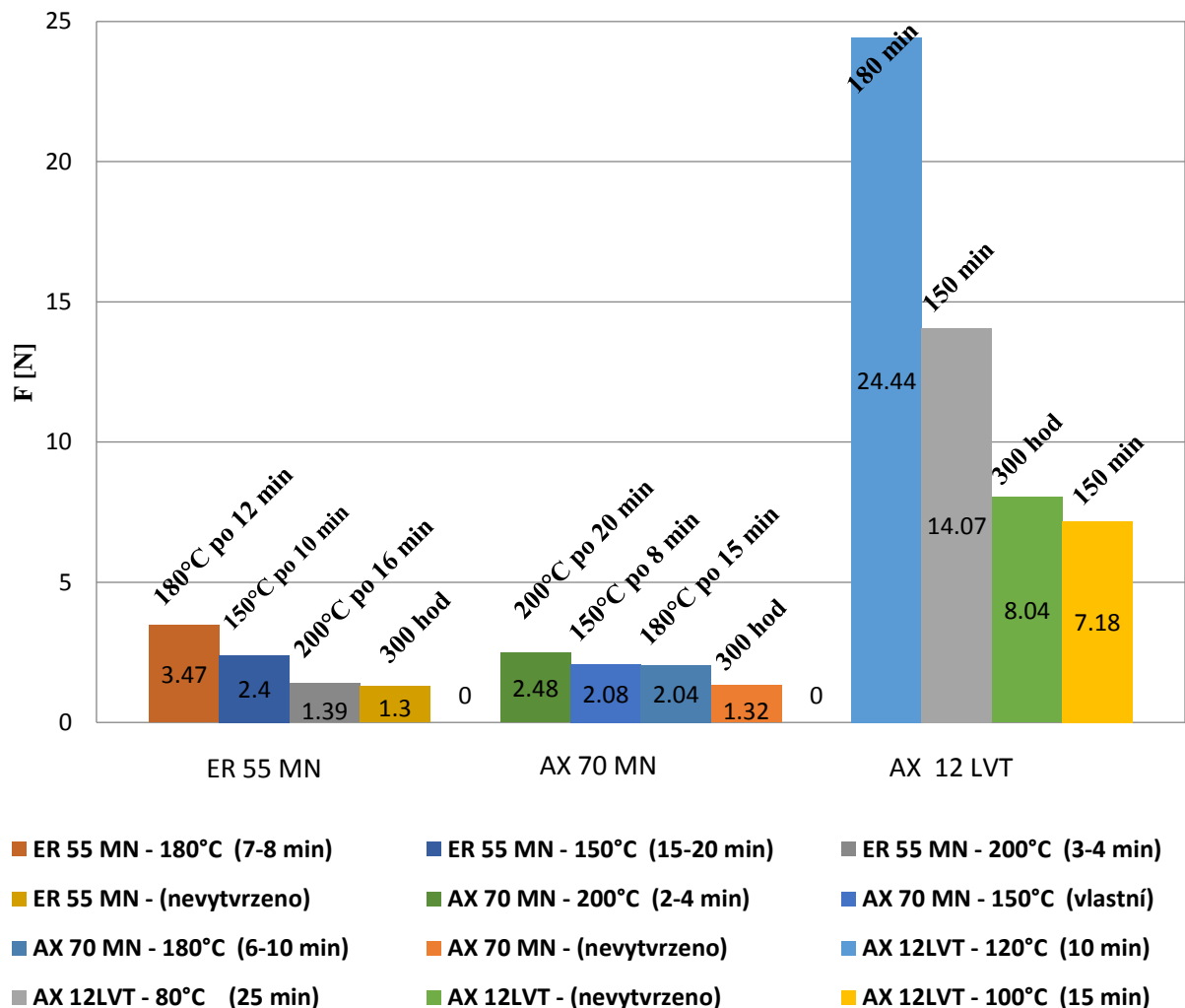
Z grafu je patrné, že co se jednosložkových lepidel Elpox ER 55 MN a Elpox AX 70 MN týče jejich elektrické a mechanické parametry jsou si velice podobné, co se vodivosti týče v porovnání s dvousložkovým lepidlem Elpox AX 12 LVT je vodivost jednosložkových lepidel výrazně lepší, to je vykoupeno v porovnání s lepidlem Elpox AX 12 LVT slabou mechanickou odolností.

Z těchto grafů dále vyplývá, že jediné lepidlo použitelné pro náročné aplikace v elektrotechnické praxi je dvousložkové epoxidové lepidlo Elpox AX 12 LVT vytvrzované při teplotě 120 °C po dobu 180 minut, neboť jako jediné vykazuje kombinaci nízkého elektrického odporu a vysoké mechanické odolnosti.



Obr. 29 Celkové porovnání elektrických vlastností testovaných lepidel

Velikost síly nutné k destrukci spoje



Obr. 30 Celkové porovnání mechanických vlastností testovaných lepidel

4.4 Závěrečné shrnutí a poznatky z měření:

Za pomoci elektricky vodivých lepidel a SMT rezistorů 0R00 se speciální povrchovou úpravou pro lepší adhezi elektricky vodivých lepidel jsem vytvořil testovací vzorky, na kterých jsem sledoval změnu jejich elektrických a mechanických parametrů během vytvrzování. Je nutné uvést, že tyto speciální testovací rezistory byly na fakultě skladovány po poměrně dlouhou dobu, což se negativně projevilo na jejich elektrických parametrech, průměrná hodnota elektrického odporu těchto rezistorů byla 45 mΩ, což je oproti tovární hodnotě značný nárůst. Po konzultaci s docentem Duškem se domnívám, že nárůst elektrického odporu těchto rezistorů je způsoben vznikem oxidační vrstvy na povrchu těchto rezistorů. Vzhledem k zaměření této bakalářské práce

a faktu, že rozptyl hodnot elektrického odporu těchto rezistorů byl v řádu několika jednotek procent nebylo nutné tuto hodnotu korigovat pro každý vzorek zvlášť a naměřené hodnoty elektrického odporu testovaných vzorků výše jsou uváděny pro celý spoj včetně rezistoru.

Z provedených měření vyplývá, že se zvyšující se teplotou vytvrzování se zlepšují elektrické parametry takto vytvořených spojů, neboť hodnota elektrického odporu testovaných vzorků u všech testovaných elektricky vodivých lepidel spolu s rostoucí teplotou vytvrzování poměrně výrazně klesala, viz obr. 26. Malou výjimkou z této závislosti bylo lepidlo Elpox AX 70 MN, které nejnižší hodnoty elektrického odporu dosáhlo při druhé nejvyšší vytvrzovací teplotě a to sice 180 °C, nicméně se domnívám, že zde se jedná pouze o nepřesnost měření, neboť rozdíl průměrné hodnoty elektrického odporu mezi vytvrzováním při 180 °C a 200 °C tvořil pouze 4.86 mΩ, což je vzhledem k celkové velikosti elektrického odporu testovaných spojů zanedbatelná hodnota, která je obsažena v tolerančním pásmu chyby měření.

Vyhodnocení měření mechanických parametrů je komplikovanější, neboť z naměřených dat je patrné, že mechanické parametry testovaných vzorků nejsou přímo závislé na vytvrzovací teplotě, či času vytvrzování, ale závisí na větším počtu faktorů. U jednosložkových lepidel je mechanická odolnost vzorků na velice nízké úrovni, to je dle mého názoru způsobeno dvěma faktory: za prvé větším obsahem stříbrných šupinek, oproti dvousložkovým lepidlům je zde nárůst o 20 %, což má za následek nižší obsah vazební složky, a tedy i menší mechanickou odolnost. Druhým faktorem je s největší pravděpodobností chemická degradace materiálu, neboť obě jednosložková lepidla byla skladována po výrazně delší dobu než dvousložkové lepidlo Elpox AX 12 LVT, které dosahovalo výrazně lepších mechanických parametrů. Jak již bylo řečeno z naměřených údajů nelze závislost mechanických parametrů na vytvrzovacím čase a teplotě paušalizovat a tato závislost je u každého lepidla popsána zvlášť. Závada dvousložkového lepidla AX 15s byla již detailně popsána v části 4.3.4.

Závěr

Ve své práci jsem se zabýval vlivem podmínek vytvrzování elektricky vodivých lepidel na jejich konečné vlastnosti.

Abych mohl tento vliv podmínek vytvrzování efektivně posoudit, musel jsem nejprve v souladu se zadáním vytvořit teoretický úvod, který se skládal nejprve z popisu struktury a vlastností elektricky vodivých lepidel, materiálům, ze kterých jsou tato lepidla vyrobena a jejich použití v elektrotechnické praxi. Dále jsem se podrobněji věnoval materiálům používaným jako pojiva elektricky vodivých lepidel, které společně s „fillery“ tedy vodivými částicemi, kterými se elektricky vodivá lepidla plní tvoří základní strukturu elektricky vodivých lepidel. Stejně jako u „fillerů“ je u pojiv možná velká materiálová rozmanitost, nicméně nejrozšířenějším pojivem je v současné době, i přes horší výsledné vlastnosti takto vytvořeného spoje epoxidová pryskyřice. Hlavním důvodem tohoto faktu je především nízká cena tohoto materiálu v porovnání s ostatními pojivy.

Na základě teoretického úvodu, zadání a skladových zásob jsem tedy pro experimentální část zvolil celkem čtyři izotropní elektricky vodivá lepidla, která se od sebe lišila chemickým složením použitého pojiva, obsahem vodivých šupinek stříbra i počtem složek lepidla. Nicméně z praktických důvodů byla základním materiálem pojiva všech testovaných lepidel epoxidová pryskyřice.

Z naměřených údajů je patrné, že se zvyšující se teplotou vytvrzování se zlepšují elektrické vlastnosti. To ale neznamená, že se zlepšují i celkové parametry lepidla, neboť při zvýšení vytvrzovací teploty v některých případech docházelo ke zhoršování mechanických parametrů eklekticky vodivých lepidel. Proto je nutné pro každé jednotlivé lepidlo před jeho aplikací prověřit jeho elektrické a mechanické parametry pro konkrétní vytvrzovací profily doporučené výrobcem a na základě těchto dat vybrat ten nejlepší vytvrzovací profil pro danou aplikaci.

Práce na tomto tématu byla pro mne velice zajímavá a přínosná, neboť jsem získal mnoho zkušeností a znalostí z reálné přípravy, aplikace a vlastností elektricky vodivých lepidel a práci na zmenšených verzích na automatizačních přístrojích používaných pro průmyslovou výrobu.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] PIETRIKOVÁ A., ĎURIŠIN J., MACH P.: Diagnostika a optimalizácia použitia ekologických materiálov pre vodivé spájanie v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej university v Košiciach, Košice 2010
- [2] LICARI, J. J, SWANSON, D. W.: Adhesives Technology for Electronic Applications, 2011 Elsevier, ISBN: 978-1-4377-7889-2
- [3] EBNESAJJAD S.: Handbook of Adhesives and Surface Preparation ? Technology, Applications and Manufacturing, 2011, ISBN: 978-1-4377-4461-3
- [4] MLEZIVA, J. Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [5] MACH P.: prezentace Elektricky vodivé lepení v elektrotechnice. Dostupná 20.1.2017 na adrese:
https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/1692/mod_resource/content/1/Elektricky_vodive_lepeni_v_elektrotechnice.pdf
- [6] BUŠEK D.: Vlastnosti mechanicky namáhaných spojů realizovaných elektricky vodivými lepidly, diplomová práce, ČVUT, Praha 2005
- [7] BUŠEK D.: Study of Modern Materials of Electrically Conductive Joints in Electronics, Rigorózní práce, ČVUT, Praha 2012
- [8] DURAJ A.: Využití elektricky vodivých lepidel pro spojování v elektronice. Diplomová práce. ČVUT, Praha 2003
- [9] ŽÁK P.: Spolehlivostní rizika bezolovnatých druhů montáže, Teze k Disertační práci, ČVUT, Praha 2012. Dostupná 22.5.2017 na adrese:
https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/13433/TEZE_Diserta%20c4%8dnc3%ad%20pr%20c3%a1ce_%20c5%bd%20c3%a1k_%20Pavel_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [10] MACH P.: Modifikovaná elektricky vodivá lepidla, Electroscope. 2009, č. 2, výběr z konference Diagnostika. Dostupné 15.2.2017 na adrese:
http://147.228.94.30/images/PDF/Rocnik2009/cislo2_2009_Diagnostika/r3c2c7.pdf
- [11] BARTÁK K.: Elektricky vodivá lepidla, Individuální projekt, ČVUT, Praha 2016

Seznam příloh

Příloha 1: Naměřená data pro lepdlo ER 55 MN.....	56-59
Příloha 2: Naměřená data pro lepdlo AX 70 MN.....	60-63
Příloha 3: Naměřená data pro lepdlo AX 12 LVT	64-67
Příloha 4: Datový list Elpox ER 55 MN	68-69
Příloha 5: Datový list Elpox AX 70 MN	70-71
Příloha 6: Datový list Elpox AX 12 LVT	72-73
Příloha 7: Datový list Elpox AX 15s	74-75

ER 55 MN jednosložkové - 150° - 15-20 min													
Deska č: 1,1													
čas	0	10	25	35	50	70							
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	0.7	122	142	262	106	292							1.42
2	3.3	222	238	313	199	271							1.37
3	4	287	357	640	267	1400							1.21
4	3.2	252	487	862	139	odpadl							x
5	2.2	201	486	257	153	336							1.42
6	4.4	226	223	259	195	odpadl							x
7	6.7	203	244	938	318	1163							2.52
ER 55 MN jednosložkové - 150° - 15-20 min													
Deska č: 1,2													
čas	0	10	25	35	50								
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	3.7	122	108	115	106								5.01
2	5.7	144	147	265	199								3.66
3	3.9	191	192	330	267								1.44
4	11.6	151	163	166	139								2.31
5	1.9	152	137	154	153								1.29
6	2.1	222	200	263	195								1.56
7	4.5	261	215	315	318								1.72
ER 55 MN jednosložkové - 150° - 15-20 min													
Deska č: 1,3													
čas	0	10	25	35									
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	15.7	136	120	137									17.33
2	1.4	110	113	146									3.42
3	3.2	125	133	208									1.65
4	26	143	137	209									0.2
5	4.4	143	134	178									2.19
6	3.6	192	195	212									2.38
7	3.9	128	125	143									2.52
ER 55 MN jednosložkové - 150° - 15-20 min													
Deska č: 1,4													
čas	0	10											
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	2.4	123											6.57
2	1.4	11											5.79
3	2.9	181											2.14
4	1	148											2.55
5	3.6	155											0.78
6	1.5	120											0.75
7	8.7	208											2.4

ER 55 MN jednosložkové - 180°- 7-8 min													
Deska č: 2,1													
čas	0	4	8	12	16								
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	7.6	145	121	126	135								0.55
2	0.5	11	94	92	93								1.7
3	0.9	103	93	91	91								0.49
4	2.9	113	92	91	90								1.03
5	1.6	124	105	104	105								3.28
6	0.5	110	96	97	102								3
7	0.5	106	100	97	97								0.63
ER 55 MN jednosložkové - 180°- 7-8 min													
Deska č: 2,2													
čas	0	4	8	12									
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	5.9	134	110	101									3.92
2	0.7	116	95	97									0.71
3	3.3	166	126	107									3.71
4	0.8	115	110	103									6.49
5	3.1	244	130	111									1.01
6	0.5	263	147	116									3.47
7	0.5	159	118	105									2.02
ER 55 MN jednosložkové - 180°- 7-8 min													
Deska č: 2,3													
čas	0	4	8										
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	2.7	143	114										1.54
2	2.8	140	112										4.33
3	0.6	122	104										1.33
4	1.3	124	103										0.78
5	1.2	147	114										3.85
6	2	137	124										2.19
7	2.46	160	118										3.36
ER 55 MN jednosložkové - 180°- 7-8 min													
Deska č: 2,4													
čas	0	4											
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	2.1	139											2.85
2	9.8	132											1.62
3	1.2	124											1.11
4	1.9	113											4.04
5	0.9	138											5.62
6	0.4	106											8.4
7	0.6	134											3.16

ER 55 MN jednosložkové - 200°- 3-4 min													
Deska č: 3,1													
čas	0	2	4	6	16								
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	0.7	117	113	107	91								0.16
2	1.4	133	116	104	82								3.19
3	0.9	117	107	97	85								3.44
4	0.4	115	106	97	88								1.34
5	0.3	109	105	100	92								1.39
6	0.6	112	107	100	93								0.55
7	0.3	116	108	102	94								4.55
ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 3,2													
čas	0	2	4	6									
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	0.8	124	115	111									1.36
2	0.5	132	188	103									0.67
3	1.8	205	153	126									0.42
4	0.4	129	120	103									4.05
5	0.4	109	102	98									4.72
6	1	187	149	128									1.63
7	1.3	109	102	94									0.89
ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 3,3													
čas	0	2	4										
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1.5	149	121										0.94
2	0.5	198	129										4.77
3	0.3	209	113										1.95
4	1.7	213	154										1.26
5	0.3	128	11										4.15
6	0.5	147	130										1.51
7	0.3	107	98										5.93
ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 3,4													
čas	0	2											
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	0.4	140											2.44
2	0.8	174											0.8
3	1.4	170											2.97
4	0.3	156											3.32
5	0.9	244											4.04
6	0.5	149											5
7	0.9	139											4.8

ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 4,1													
čas	0												
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 4,2													
čas	0												
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 4,3													
čas	0												
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

ER 55 MN jednosložkové -													
Deska č: 4,4													
čas	0												
odpor:	R[Ω]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1													1.1
2													2.64
3													1.3
4													0.24
5													2.33
6													0.33
7													2.8

Příloha 1: Naměřená data pro lepdlo ER 55 MN

AX 70 MN jednosložkové - 180° - 6-10 min													
Deska č: 1,1													
čas	0	3	6	9	12	15							
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	344	99	89	91	90	90							3.21
2	583	122	100	95	93	89							2.04
3	329	105	98	98	95	93							0.69
4	423	163	141	129	118	104							1.87
5	286	11	92	89	89	80							2.92
6	449	112	98	98	94	91							1.92
7	918	127	108	113	110	105							4.28
AX 70 MN jednosložkové - 180° - 6-10 min													
Deska č: 1,2													
čas	0	3	6	9	12								
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	734	136	109	102	99								2.49
2	670	257	184	172	146								0.41
3	1160	265	175	199	125								2.95
4	875	170	133	125	113								0.68
5	816	270	195	179	157								2.15
6	1473	585	199	173	137								2.66
7	960	215	151	136	115								4.31
AX 70 MN jednosložkové - 180° - 6-10 min													
Deska č: 1,3													
čas	0	3	6	9									
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	410	162	128	119									2.47
2	332	209	162	144									2.56
3	266	126	113	113									2.66
4	750	169	134	120									2.78
5	964	271	193	172									1.45
6	1410	204	152	140									6.09
7	966	112	103	106									5.99
AX 70 MN jednosložkové - 180° - 6-10 min													
Deska č: 1,4													
čas	0	3	6										
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1305	215	161										1.6
2	556	141	120										2.26
3	740	182	150										0.97
4	802	173	139										0.86
5	1190	166	138										2.87
6	396	122	107										6.1
7	813	171	133										4.67

AX 70 MN jednosložkové - 200° - 2-4 min													
Deska č: 2,1													
čas	0	2	4	10	20								
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	615	134	121	112	101								40.34
2	1480	169	151	117	90								4.32
3	1263	180	168	119	91								2.03
4	818	207	201	134	98								2.66
5	1253	235	247	194	196								1.7
6	3078	416	359	210	123								2.48
7	864	125	116	112	88								1.9
AX 70 MN jednosložkové - 200° - 2-4 min													
Deska č: 2,2													
čas	0	2	4	10									
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	3970	449	355	234									1.86
2	1160	215	182	133									1.9
3	1312	292	318	245									1.48
4	632	152	136	105									3.02
5	3532	400	299	175									2.45
6	3331	510	391	198									1.01
7	920	150	137	113									4.53
AX 70 MN jednosložkové - 200° - 2-4 min													
Deska č: 2,3													
čas	0	2	4										
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	116	218	222										3.81
2	704	130	110										4.41
3	1094	143	133										3.4
4	1011	158	128										1.33
5	855	186	157										1.2
6	709	135	110										2.43
7	1680	150	151										5.45
AX 70 MN jednosložkové - 200° - 2-4 min													
Deska č: 2,4													
čas	0	2											
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1316	318											1.01
2	1083	150											0.7
3	870	127											2.45
4	438	103											3.38
5	1140	215											3.06
6	602	172											1.93
7	1643	152											3.08

AX 70 MN jednosložkové - 150° - vlastní - 10 min													
Deska č: 3,1													
čas	0	2	4	6	8	12	20						
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	705	158	141	125	119	121	104						2.14
2	974	181	147	133	123	123	96						0.59
3	170	95	93	89	88	87	82						1.23
4	391	157	132	120	120	123	104						0.6
5	2189	635	391	255	257	149	114						0.62
6	766	158	119	97	93	86	77						1.28
7	573	149	116	101	98	98	84						0.66
AX 70 MN jednosložkové - 150° - vlastní - 10 min													
Deska č: 3,2													
čas	0	2	4	6	8	12							
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1813	185	136	119	116	118							0.71
2	1003	217	153	131	127	122							5.52
3	539	167	144	129	129	130							2.1
4	914	312	237	195	170	167							1.02
5	1275	469	397	310	277	302							1.16
6	673	448	407	273	238	195							1.69
7	617	213	187	152	138	131							1.95
AX 70 MN jednosložkové - 150° - vlastní - 10 min													
Deska č: 3,3													
čas	0	2	4	6	8								
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	540	204	157	135	133								1.6
2	116	138	118	106	104								2.08
3	805	278	250	221	206								3.07
4	201	383	326	265	239								1.23
5	192	198	176	159	160								1.05
6	590	162	146	121	115								2.83
7	407	210	196	170	155								2.21
AX 70 MN jednosložkové - 150° - vlastní - 10 min													
Deska č: 3,4													
čas	0	2	4										
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	505	225	1899										1.09
2	1106	235	200										0.6
3	785	233	240										2.24
4	191	89	odpadl										5.61
5	188	99	98										0.6
6	590	163	153										1.1
7	560	161	151										5.71

AX 70 MN jednosložkové - nevytvrzeno													
Deska č: 4,1													
čas	0												
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	4400												
2	1814												
3	1390												
4	1570												
5	2332												
6	1714												
7	1431												

AX 70 MN jednosložkové - nevytvrzeno													
Deska č: 4,2													
čas	0												
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1182												
2	722												
3	980												
4	1548												
5	1953												
6	2395												
7	1949												

AX 70 MN jednosložkové - nevytvrzeno													
Deska č: 4,3													
čas	0												
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	911												
2	3076												
3	1625												
4	1090												
5	1001												
6	1224												
7	2385												

AX 70 MN jednosložkové - nevytvrzeno													
Deska č: 4,4													
čas	0												
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	925												0.29
2	1052												1.32
3	1644												0.86
4	970												1.99
5	739												3.33
6	453												2
7	820												1.16

Příloha 2: Naměřená data pro lepdlo AX 70 MN

AX 12LVT dvousložkové - 80° - 25 min													
Deska č: 1,1													
čas	0	12.5	25	50	75	100	125	150	175	200			
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	420	900	957	986	825	656	574	487	456	531			5.2
2	211	697	775	775	677	416	304	229	204	246			25.86
3	559	1730	760	995	1178	642	660	563	534	698			9.09
4	264	473	500	556	561	608	551	430	326	433			5.99
5	858	2600	813	2218	2074	1533	1172	810	706	1333			17.96
6	390	1279	848	764	974	707	606	463	347	625			7.03
7	11000	9000	7800	8461	9270	8500	7796	7923	6680	7780			12.44
AX 12LVT dvousložkové - 80° - 25 min													
Deska č: 1,2													
čas	0	12.5	25	50	75	100	125	150					
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	463	582	553	529	518	491	479	479					9.98
2	310	477	481	555	621	573	518	518					15.1
3	505	471	448	428	40	374	382	382					14.07
4	320	463	398	342	360	306	290	290					8.42
5	300	381	388	391	416	396	358	358					27.68
6	441	766	767	879	1001	907	1006	1006					27.33
7	280	522	532	623	587	529	583	583					12.37
AX 12LVT dvousložkové - 80° - 25 min													
Deska č: 1,3													
čas	0	12.5	25	50	75	100							
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	434	561	545	531	529	529							0.3
2	506	671	630	628	629	620							10.33
3	461	537	484	467	532	372							6.79
4	704	1396	1139	1129	1240	1078							21.96
5	513	733	535	488	552	358							10.92
6	587	762	783	792	791	730							5.41
7	398	543	518	546	576	571							28.88
AX 12LVT dvousložkové - 80° - 25 min													
Deska č: 1,4													
čas	0	12.5	25	50									
odpor:	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	510	491	540	552									1.97
2	993	1363	277	1200									3.59
3	387	449	515	374									22.95
4	417	674	663	549									23.35
5	567	695	650	445									1.16
6	1173	1307	1073	1082									10.84
7	339	418	354	346									17.89

AX 12LVT dvousložkové - 100° - 15 min													
Deska č: 2,1													
čas		7.5	15	22.5	30	45	60	75	90	120	150		
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1		360	540	542	555	474	419	376	345	321	268		30.72
2		204	201	194	191	189	181	172	168	167	158		0.34
3		194	182	176	173	167	167	162	160	163	159		32.34
4		356	386	392	384	381	377	362	358	354	355		6.66
5		349	384	315	310	305	296	684	276	277	259		20.24
6		1223	1212	1233	1236	1390	1298	1212	1165	1202	974		7.18
7		585	530	506	492	446	405	368	341	278	221		1.73
AX 12LVT dvousložkové - 100° - 15 min													
Deska č: 2,2													
čas		7.5	15	22.5	30	45	60	75	90				
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1		1004	908	828	826	880	841	803	771				4.8
2		847	819	749	675	780	742	702	665				5.91
3		696	947	780	789	966	870	808	720				2.46
4		1297	1183	1061	996	1009	941	868	834				5.95
5		501	453	417	398	371	345	312	285				9.55
6		2554	2223	2049	1958	1416	1265	894	641				11.47
7		1069	902	833	759	742	625	548	463				19.45
AX 12LVT dvousložkové - 100° - 15 min													
Deska č: 2,3													
čas		7.5	15										
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1		953	943										1.04
2		485	424										25.83
3		733	715										3.63
4		999	927										12.06
5		710	556										0.19
6		408	443										6.03
7		393	373										26.7
AX 12LVT dvousložkové - 100° - 15 min													
Deska č: 2,4													
čas		7.5											
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1		828											15.96
2		2188											11.97
3		393											21.18
4		379											0.36
5		340											20.16
6		363											23.78
7		467											30.55

AX 12LVT dvousložkové - 120° -10 min													
Deska č: 3,1													
čas	3.5	7											
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	390	849											19.26
2	1430	1126											1.35
3	1212	698											12.88
4	350	217											0.21
5	2396	1245											3.45
6	602	417											11.55
7	890	890											5.23
AX 12LVT dvousložkové - 120° -10 min													
Deska č: 3,2													
čas	3.5	7	10										
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1226	1012	995										4.48
2	665	420	315										8.86
3	1292	767	589										15.96
4	3300	1197	807										4.31
5	1812	1030	651										0.54
6	1854	1540	1900										0.73
7	250	254	350										2.88
AX 12LVT dvousložkové - 120° -10 min													
Deska č: 3,3													
čas	3.5	7	7	10	15	25	35	55	80	100	120	160	180
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]
1	2319	839	603	577	490	431	384	298	247	212	182	161	148
2	546	423	380	368	305	282	267	210	170	147	126	113	107
3	592	439	459	444	352	320	319	220	176	149	128	113	106
4	1367	685	594	477	444	459	388	350	294	246	205	175	163
5	831	670	706	643	537	498	433	322	263	223	192	158	146
6	600	405	485	504	444	375	362	280	226	182	152	129	121
7	351	316	283	257	209	188	169	136	121	112	104	97	94
AX 12LVT dvousložkové - 120° -10 min													
Deska č: 3,4													
čas	3.5	7	7	10	15	25	35	55					
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	1037	702	900	971	897	793	723	516					20.65
2	462	320	353	350	304	275	271	214					0.22
3	522	468	566	605	562	518	490	368					22.89
4	589	401	394	363	292	292	270	217					24.64
5	394	323	320	295	252	252	236	192					32.7
6	352	560	567	525	519	519	490	290					0.3
7	846	540	619	616	450	450	373	233					10.67

AX 12LVT dvousložkové - bez vytvrzování													
Deska č: 4,1													
čas	37												
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	250												
2	175												
3	793												
4	1830												
5	160												
6	316												
7	233												
AX 12LVT dvousložkové - bez vytvrzování													
Deska č: 4,2													
čas	0												
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	525												
2	358												
3	226												
4	462												
5	492												
6	953												
7	242												
AX 12LVT dvousložkové - bez vytvrzování													
Deska č: 4,3													
čas	0												
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	207												
2	470												
3	272												
4	279												
5	582												
6	299												
7	353												
AX 12LVT dvousložkové - bez vytvrzování													
Deska č: 4,4													
čas	0												
odpor	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	R[mΩ]	F [N]
1	440												8.04
2	339												4.45
3	294												16.02
4	202												22.79
5	235												8.17
6	329												1.98
7	676												2.47

Příloha 3: Naměřená data pro lepdlo AX 12 LVT



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) Ωcm
Pencil hardness	9H pencil hardness (one day after curing)
Range of service for continuous temperature	(-55)°C - (+180)°C
Max. operating temperature	Over 280°C for a couple of hours.

(*) - Typical value for number of tests.

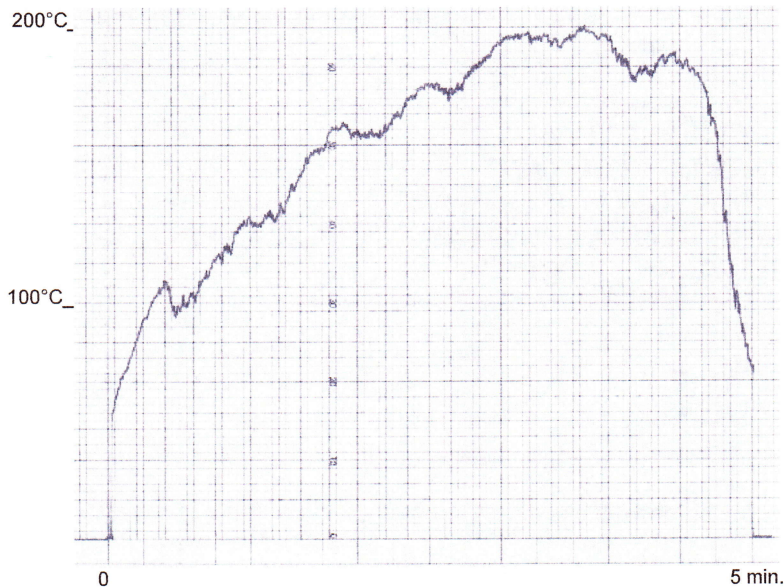


Fig.1. Example of heating tunnel profile for curing ER 55MN

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° 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°C and 25°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)



ECO SOLDER AX 70MN

POLYMER BASE, SOLDER REPLACEMENT PASTE

- * **ELECTRICALLY CONDUCTIVE**
- * **HIGH TEMPERATURE RESISTIVE FORMULATION**
- * **EPOXY-PHENOLIC HYBRIDE TYPE BINDER**
- * **HARMLESS & SAFE TO USE (NO LEAD; NO CFC; NO VOC)**
- * **USES REGULAR ON LINE EQUIPMENT**
- * **STABLE TECHNOLOGICAL PROPERTIES.**

GENERAL DESCRIPTIONS:

AMEPOX MC product, trade name **ECO-SOLDER™** represents new generation of single component, electrically conductive formulation designed for replacement of traditionally tin-lead solder pastes. Technology with our new **ECO-SOLDER™** materials eliminates all type of solvents used for pre- or post-cleaning, like it is in conventional tin-lead solder technology.

One of the biggest advantages of **ECO-SOLDER™** is, that it contains no lead or any other dangerous ingredients. It may be used with standard dispensing, SMD stenciling (10/20 mil pitches with excellent resolution) or screen printing application. **ECO-SOLDER™** doesn't dry out on open screens or stencils for up to 2 weeks and refrigeration during storage of this material is not necessary.

ECO-SOLDER™ has extremely short curing time (especially with IR heating tunnel) and quite pleasant odor. This is 100% solids formulation without any volatile thinners so, is no fear about safety conditions for work. CFC solvent's attack ozone layer in the stratosphere is widely known. Aqueous cleaning solvents usually contain alcohol such a methanol, ethanol or isopropyl which are VOC (volatile organic compounds). VOC's are photochemically active and cause smog and ozone in the lower atmosphere. The use of **ECO-SOLDER™** requires no fluxes and therefore no solvent cleaning of the PCB is needed.

E-S AX 70MN has high and stable electrical conductivity. This type is mostly for high-speed technological process. It doesn't change viscosity even on open area with thin layer.

SPECIFICATIONS:

Number of components	One
Consistency	Floable paste
Color	Bright silver
Percentage of silver (inside ready paste)	70 ± 1%
Specific gravity	2.1 – 2.4 g/cm ³
Viscosity	530 000 – 560 000 cps (*)
Drying time before curing process	Not necessary
Recommended curing schedule with air-circulated oven	180°C – (6 - 10) min. 200°C – (3 - 4) min.
Recommended curing schedule with heating tunnel	200°C in peak – 3 min. total time inside tunnel
Shelf life	6 months (when storage at 10°C – unopened)

(*) - Brookfield DVII; SSA#14; 1 rpm; 25°C.

TECHNICAL PROPERTIES (*):

Electrical resistivity	(1.0 – 2.5) x E(-6) Ωm
Pencil hardness	9H pencil hardness (one day after curing)
Range of service for continuous temperature	(-55)°C - (+200)°C
Max. operating temperature	300°C for ab 1.5 h.

(*) - Typical value for number of tests.

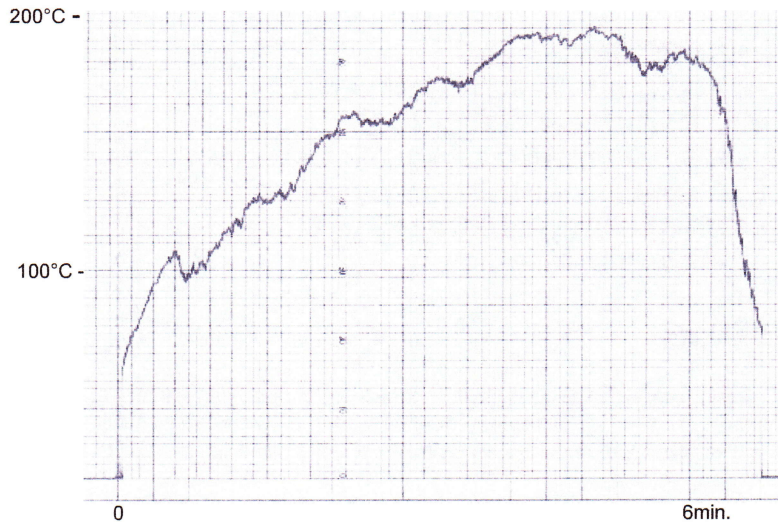


Fig.1. Example of heating tunnel profile for curing E-S AX 70MN

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 E-S AX 70MN IS AT ROOM TEMPERATURE WHEN YOU WILL START WORKING WITH. Refrigeration during shelf time is not necessary.**
2. Prepare consistency before use according your SPECIFICATION.
3. If you need, use AXMC 70EM 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 paste is under curing conditions.
5. Refrigeration during shelf time not necessary, but useful. Keep container with lacquer in temp. no less 10 C. Before use, increase paste temperature very slowly.
6. Use paste with adequate ventilation.
7. Avoid skin and eye contact. If ingested, consult a physician immediately.
8. Clean by MEK or other suitable solvents. Allow screen to completely dry before using again.
9. Temperature during printing process must be kept between 20°C and 25°C, with relative humidity (RH) between 40% and 65%. This condition reduces static charges on the substrate.
10. 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. (es-ax70mn)



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 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)
Thixotrophy 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. (T _g)	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)