

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Testování ohebnosti flexibilních elektronických prvků a
systémů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan SKŘIVAN**
Osobní číslo: **E15N0116P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Testování ohebnosti flexibilních elektronických prvků a systémů.**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s prakticky využívanými metodami pro testování prvků flexibilní elektroniky v ohybu a tahu a popište, jak je realizováno testování ohebnosti na jiných pracovištích.
2. Navrhněte vhodné postupy testování flexibilních prvků a elektronických systémů v ohybu s využitím laboratorního vybavení KET.
3. Navrhněte a realizujte vzorky a nezbytné přípravky pro měření flexibilních elektronických prvků v ohybu.
4. Na sérii vybraných vzorků prakticky ověřte navržené testovací postupy a proveďte měření vzorků. Dosažené výsledky kriticky zhodnoťte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. B. Bensaid: Reliability of OTFTs on flexible substrate: Mechanical stress effect, The European Physical Journal Applied Physics 55, 2, 2011
2. Alzoubi, Khalid: Experimental and analytical studies of the high cycle bending fatigue of thin films on flexible substrates for flexible electronics applications, Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2011
3. Eerik Halonen: Dynamic Bending Test Analysis of Inkjet-Printed Conductors on Flexible Substrates, Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 2012
4. Jay Lewis: Material challenge for flexible organic devices, Materials Today Volume 9, Issue 4, April 2006, Pages 38-45

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Řeboun, Ph.D.


Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci zařízení pro testování flexibilní elektroniky v ohybu. Na zařízení je pak ověřena navržená testovací metoda. K tomuto účelu byly navrženy a realizovány flexibilní vzorky s SMD součástkami přilepenými třemi různými vodivými lepidly. Flexibilní elektronika využívá ohebných substrátů, které jsou schopny vydržet velké mechanické namáhání a v budoucnu by mohly nahradit dnes převážně používané rigidní substráty. Diplomová práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol. Nejdříve se práce zaměřuje na potřebné informace týkající se výrobních metod pro flexibilní elektroniku a na dnes používané flexibilní substráty. Dále diplomová práce popisuje testovací metody využívané na Západočeské univerzitě a na jiných pracovištích. Třetí část diplomové práce se zabývá návrhem a realizací testovaných vzorků, testovacího zařízení a propojovací desky. Čtvrtá část diplomové práce je věnována testování vzorků pomocí navrženého statického ohybového testu. V poslední části jsou zhodnoceny naměřené hodnoty všech testovaných vzorků.

Klíčová slova

Flexibilní elektronika, flexibilní substrát, zařízení pro testování v ohybu, elektricky vodivá adheziva.

Abstract

This diploma thesis is focused on the design and realization of a bend test for flexible electronics. The proposed test method is then verified on the device. For this purpose, flexible samples have been designed and implemented with SMD components connected by three different conductive adhesives. Flexible electronics utilizes flexible substrates that are able to withstand great mechanical stress and could replace today mostly used rigid substrates. The thesis is divided into five main chapters. First chapter of the work is focused on the necessary information of the production methods for flexible electronics and on today used flexible substrates. The diploma thesis also describes test methods used at University of West Bohemia and at other institutions. The third part of the diploma thesis is focused on design and realization of tested samples, test equipment and interconnection plate. The fourth part of the diploma thesis is devoted to the testing of samples using the proposed static bending test. The last part evaluates the measured values of all tested samples.

Key words

Flexible electronics, flexible substrate, bend test, electrically conductive adhesives.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 16.5.2017

Bc. Jan Skřivan

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Řebounovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 FLEXIBILNÍ ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY	12
1.1 HISTORIE	12
1.2 METODY NANÁŠENÍ VODIVÝCH ADHEZIV	13
1.2.1 <i>Sítotisk</i>	13
1.2.2 <i>Šablonový tisk</i>	14
1.2.3 <i>Dispensing</i>	14
1.2.4 <i>Jet dispensing</i>	15
1.2.5 <i>Dávkovací metoda razítkem a plnou jehlou</i>	16
1.3 VLASTNOSTI VODIVÝCH ADHEZIV	16
1.4 SUBSTRÁTY PRO FLEXIBILNÍ ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY	17
1.4.1 <i>Tenká skla</i>	17
1.4.2 <i>Polymerní folie</i>	18
1.4.3 <i>Kovové folie</i>	18
2 TESTOVACÍ METODY PRO FLEXIBILNÍ ELEKTRONIKU	20
2.1 TESTOVÁNÍ V OHYBU NA ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITĚ	20
2.1.1 <i>Dynamický test</i>	21
2.1.2 <i>Statický test</i>	21
2.2 TESTOVÁNÍ V TAHU	22
2.3 TESTOVACÍ METODY NA JINÝCH PRACOVIŠTÍCH	22
2.3.1 <i>Flex-E-Test</i>	22
2.3.2 <i>Roller bending test</i>	23
2.3.3 <i>Push-to-bend, roller-flex a on-belt-flex testy</i>	24
3 NÁVRH APARATURY PRO TESTOVÁNÍ V OHYBU	25
3.1 VÝBĚR SOUČÁSTEK PRO TESTOVÁNÍ	25
3.2 NÁVRH VZORKŮ PRO TESTOVÁNÍ V OHYBU	26
3.3 VÝROBA VZORKŮ	29
3.4 OSAZOVÁNÍ VZORKŮ	30
3.5 NÁVRH A REALIZACE PROPOJOVACÍ DESKY	32
3.6 REALIZACE TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	33
4 MĚŘENÍ VZORKŮ	36
4.1 STATICKÉ TESTOVÁNÍ V OHYBU FLEXIBILNÍCH SYSTÉMŮ	36
4.1.1 <i>Čtyřbodová metoda</i>	36
4.1.2 <i>Vzorky s propojenými cestami</i>	37
4.1.3 <i>Vzorky s rezistory s vodivým lepidlem 8331S</i>	38
4.1.4 <i>Vzorky s rezistory s vodivým lepidlem PC 3201</i>	39
4.1.5 <i>Vzorky s rezistory s vodivým lepidlem Ellecolit 3661</i>	41
5 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	43
5.1 VZORKY S VODIVÝM LEPIDLEM 8331S	43
5.2 VZORKY S VODIVÝM LEPIDLEM PC 3201	44
5.3 VZORKY S VODIVÝM LEPIDLEM ELLECOLIT 3661	44
5.4 SHRnutí VÝSLEDKŮ NAMĚŘENÝCH DAT	45
ZÁVĚR	51

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1
PŘÍLOHY	4

Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci zařízení pro testování flexibilní elektroniky v ohybu. Následně na tomto zařízení je otestována sada navržených vzorků čímž se ověřila testovací metoda. Flexibilní elektronika by v budoucnu mohla mít široké pole využití hlavně díky její vysoké mechanické odolnosti. Právě proto jsou potřeba stanovit testovací metody, které by se případně i mohly stát standardem pro testování těchto systémů.

V současné době se používají v elektronice převážně rigidní substráty. V posledních letech se však rozvíjí tzv. flexibilní elektronické systémy, které mají oproti rigidním elektronickým substrátům značné výhody. Díky dobré ohebnosti mají flexibilní elektronické systémy vyšší mechanickou odolnost než rigidní. Dále jsou dobře tvarovatelné a dosahují mnohem menších rozměrů, z čehož vyplývá široká potenciální možnost využití. Flexibilní elektronika je relativně novým trendem v oboru elektroniky, proto nejsou v současné době zavedeny žádné testovací metody zabývající se mechanickou odolností flexibilních substrátů, obzvláště pokud na substrátech nejsou součástky pájeny, ale lepeny vodivými lepidly. Na flexibilních substrátech vlivem ohybu mohou vznikat různé typy defektů jako například mikroskopické praskliny na vodivých cestách či odlupování vodivých cest. V případě lepených součástek pak může dojít k poškození lepeného spoje. Z těchto důvodů se nedají flexibilní elektronické systémy testovat stejně jako rigidní. Dnes existuje pouze řada standardů a doporučení jak správně testovat flexibilní substráty, většinou se však jedná o metody vhodné pouze pro testování flexibilních substrátů a nikoliv o metody vhodné pro testování flexibilních systémů osazených součástkami. Tato diplomová práce se proto zabývá řešením návrhu a realizace zařízení pro testování v ohybu. Navrhované zařízení bude poté podrobena řadě testů na vybraných vzorcích za účelem ověření opakovatelnosti měřící metody. Díky tomuto testovacímu zařízení by pak bylo možné testovat širokou škálu různě velkých vzorků jak dynamickou tak statickou metodou v ohybu.

Seznam symbolů a zkratek

AMLCD	Active matrix liquid crystal display	Displeje s aktivní maticí
FPC	Flat printed circuit conector	Plochý konektor tištěného obvodu
IPC	Association Connecting Electronic industries	Asociace sdružující elektronický průmysl
LCD	Liquid crystal display	Displeje s tekutými krystaly
PEN	Polyethylen naphtalene	Polyethylen naftalen
PET	Polyethylene terephthalate	Polyethylentereftalát (Plast)
OLED	Organic light-emitting diode	Organická dioda emitující světlo
QFN	Quadflat no-leads package	Čtvercové pouzdro s vývody ve tvaru plošek
SMT	Surface mount technology	Povrchová montáž
TFT	Thin Film Tranzistor	Tenkvrstvý tranzistor
ZČU	University of west bohemia	Západočeská univerzita

1 Flexibilní elektronické systémy

V současné době se pro realizaci elektronických zařízení používají převážně rigidní substráty. Základním omezením takových prvků a systémů je jejich nedostatečná mechanická ohebnost. Proto se v poslední době začínají rozšiřovat tzv. flexibilní elektronické systémy. Jedná se o elektronické systémy, které si i při namáhání v ohybu stále zachovávají své původní vlastnosti a funkčnost. Základem těchto systémů je substrát z ohebného materiálu, na němž jsou osazeny součástky. Zde nastává problém s uchycením součástek na substrát tak, aby i po několikanásobném ohybu zůstaly součástky na substrátu bez porušených kontaktů.

Existují nejen systémy schopné odolat namáhání v ohybu, ale i v tahu. Tato technologie umožňuje vytvářet elektronické prvky, které se dokáží dokonale vytvarovat podle jakéhokoliv povrchu a mohou změnit svou velikost až čtyřikrát. [1] Flexibilní elektronika má velký potenciál využití. V budoucnu by se mohla používat v podstatě ve všech aplikacích, od dětských hraček až po užití v lékařství.

1.1 Historie

První zmínky o flexibilní elektrotechnice sahají do počátku šedesátých let minulého století. V tomto období vznikly solární články, které byly ztenčovány na řádově stovky mikrometrů a nanášeny na plastický substrát, který zaručoval jejich ohebnost. První TFT (tenkovrstvý tranzistor) byl vyroben roku 1968 T. Petrem Brodym a jeho kolegy. Použili k tomu proužek papíru, na který byl nanesen TFT z telluria.[2] V pozdějších letech používali také substráty vyrobené z Mylaru, polyethylenu a anodizované hliníkové folie. V roce 1973 díky energetické krizi nastala poptávka po solárních člancích a odstartovala tak výrobu flexibilních substrátů vyrobených z kovových nebo polymerních substrátů. Počátkem osmdesátých let minulého století se začaly vyrábět solární články, jejichž základem byly substráty na bázi organických polymerů a pružné tenké ocelové substráty vyrobené metodou roll to roll. [2]

V polovině osmdesátých let minulého století nastal v Japonsku rozvoj LCD displejů s aktivní maticí (AMLCD). Úspěch AMLCD displejů odstartoval výzkum tenkovrstvých obvodů na bázi křemíku. Roku 1996 se začaly vyrábět TFT na flexibilní ocelové fólie. V roce 1997 byly substráty vyráběny z plastických fólií. V nadcházejících letech byl zaznamenán rapidní rozvoj ocelových a plastických fólií. V roce 2005 společnost Philips představila prototyp rolovatelného displeje. Korporace Universal Display ve spolupráci s výzkumným

střediskem Palo Alto vytvořila v roce 2006 prototyp flexibilní OLED (organic light emitting diode) barevného displeje. [2] [3] V posledních letech se flexibilní elektronika objevuje ve stále více zařízeních a její vývoj jde velkým tempem kupředu. Například na státní univerzitě North Carolina vytvořili v roce 2016 flexibilní termoelektrický generátor, který by v budoucnu mohl získávat energii pouze z tepla lidského těla.[4] V letošním roce dokonce představil Panasonic první funkční ohebnou Li-ion (Lithium iontovou) baterii, která je schopna vydržet až 1000 ohybů a zachovat si 80 % své původní kapacity. [5] Michigenská univerzita v poslední době představila průhledný stříbrný vodivý film, který by mohl změnit způsob výroby flexibilní elektroniky a přinést nové možnosti jejího využití. [6]

1.2 Metody nanášení vodivých adheziv

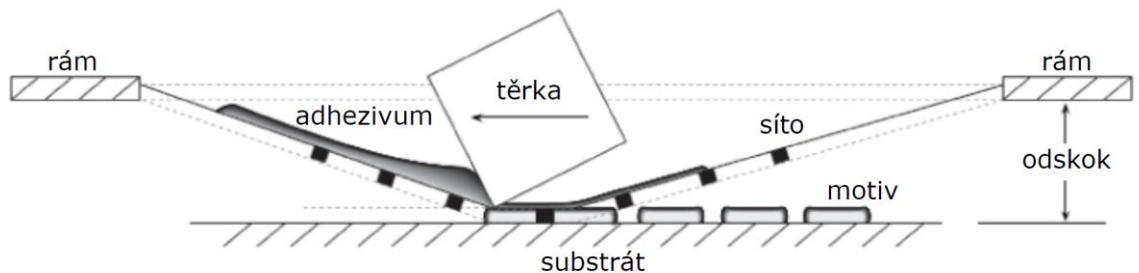
Existuje několik metod pro nanášení vodivých adheziv, přičemž každá má své výhody a nevýhody. Tato kapitola se zabývá popisem metody sítotisku, šablonového tisku, dispensingu, jet dispensingu a dávkovací metody plnou jehlou a razítkem. Jedná se o nejvíce rozšířené a používané metody. V rámci této diplomové práce byl použit právě sítotisk a dispensing.

1.2.1 Sítotisk

Tato metoda je jedna z nejpoužívanějších metod společně se šablonovým tiskem. Používá se především pro nanášení tlustovrstvých vodičů a pájecích past. Síto je většinou vyrobeno z polyesteru nebo z nerezové oceli a je upevněno mechanicky do rámu, který je v požadované vzdálenosti od substrátu, většinou 0,8 mm. Vzdálenost mezi sítem a substrátem se nazývá odskok a musí být vždy v takové vzdálenosti, aby po nanesení adheziva přes síto došlo k odskoku síta od substrátu. Existují dva typy výroby motivů na sítu, a to přímé nebo nepřímé. U přímé sítotiskové šablony je nanášena na síto fotocitlivá emulze, která je následně osvětlena UV zářením a tím se vytvrdí místa, kam nebude nanášena pasta. Po vytvrzení je nepotřebná emulze ze síta smyta. Nepřímá metoda výroby sítotiskové šablony je tvořena většinou kovovou folií a sítem. Na folii se pomocí laseru nebo vyleptáním vytvoří požadovaný motiv a před zahájením sítotisku se pevně spojí folie se sítem. [7]

Substrát je upevněn buď mechanickým, nebo vakuovým držákem. Adhezivum je nanášeno přes síto pomocí třerky. Osnova tkaniny by měla se směrem pohybu třerky uzavírat úhel 45°. Po prvním přejetí třerky přes síto se pouze zaplní síto adhezivem, ale nedotýká se substrátu. Po

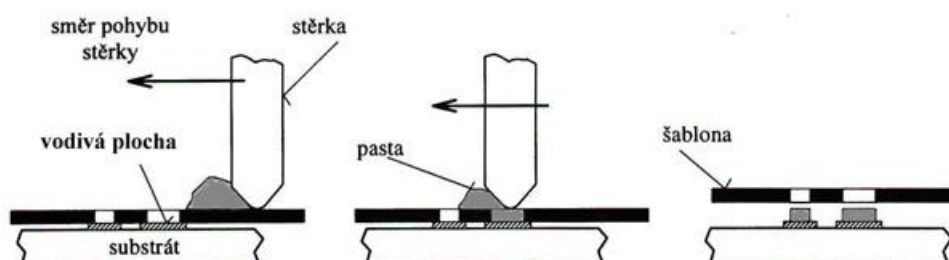
druhém přejetí a při požadované síle přitlačení síta na substrát pomocí stěrky zůstane na substrátu požadovaný motiv. [7]



Obr. 1.1 Schéma sítotisku (převzato z [11]).

1.2.2 Šablonový tisk

Jedná se o obdobu sítotisku, kdy hlavním rozdílem je provedení šablony. Šablona je většinou vyrobena z ocelové nebo bronzové planžety. Motiv se na šabloně vytváří chemickým leptáním, řezáním laserem nebo se šablona připravuje tzv. galvanickým nanášením (galvanoplastika). Jelikož se šablona přikládá přímo na substrát, nedochází zde při nanášení adheziva k odskoku jako u sítotisku. Adhezivum se nanáší pomocí stěrky taktéž pod úhlem 45°. Po zdvižení šablony zůstává na substrátu požadovaný motiv příslušné tloušťky a tvaru. Nejmenší tloušťka rozlišení šablony se pohybuje mezi 0,15 až 0,1 mm. [7] Výhodou šablonového tisku je možnost nanášení na substrát větší vrstvy vodivého lepidla oproti sítotisku. Tloušťka vrstvy se nechá jednoduše nastavit tloušťkou šablony, jelikož oproti sítotisku leží šablona přímo na substrátu.

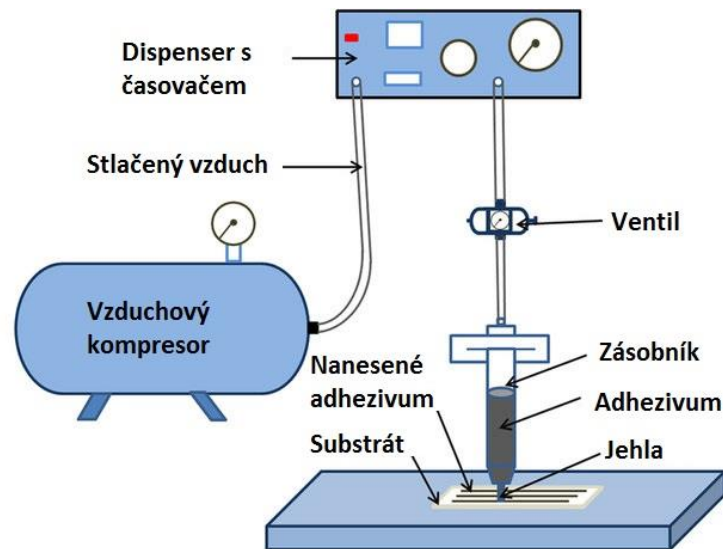


Obr. 1.2 Postup při šablonovém tisku (převzato z [12]).

1.2.3 Dispensing

Jedná se o dávkovací metodu, která se používá především pro nanášení lepidel pod součástky. Metoda využívá zásobník tvaru injekční stříkačky s vodivým lepidlem, které je

z jedné strany stlačováno tlakem vzduchu přes píst a z druhé strany je vytlačováno ven. Podle viskozity lepidla se volí i jehla, přes kterou se vytlačuje vodivé lepidlo a která zaručuje přesnost při nanášení. Pokud po stlačení pístu vychází příliš malé množství lepidla nebo vůbec žádné, je třeba zvolit jiný průměr jehly nebo zvýšit tlak na píst. [7] [8]



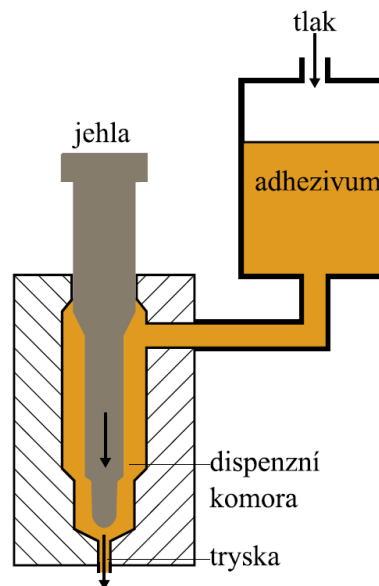
Obr. 1.3 Rozložení prvků dispensingu (převzato z [13])

Existuje několik způsobů dávkování lepidla. Nejpoužívanější jsou tlakové nanášení s časovým omezením a nanášení pomocí šroubového systému. Tlakové nanášení s časovým omezením stlačuje píst pouze po definovanou dobu, která je předem nastavená a během níž je vytlačeno přesné množství potřebné pasty. Jedná se o jednodušší provedení, než je tomu u typu s rotační pumpou. Tam je zásobník pod konstantním tlakem přibližně 0,5 bar, čímž se zabezpečí plnění zásobníku se šnekem lepidlem. Rychlost a doba otáčení vřetena spolu s tlakem v plnicí hlavici jsou parametry určující množství nanášeného lepidla. [7] [8] [9]

1.2.4 Jet dispensing

Jet dispensing, někdy také nazývaný jetting, je bezkontaktní metoda nanášení. Proto automatizované stroje využívající tuto metodu, pracují pouze ve dvou osách, a to x a y. Lepidlo je pod konstantním tlakem hnáno do dispenzní komory, kde je vytlačováno jehlou s kulovitým hrotem tryskou ven. Jehla je poháněna elektrickým, mechanickým nebo pneumatickým aktuátorem. Jak tlak vyvinutý v nádobě, tak i rychlost pohybu aktuátoru je řízena programově. Nanášené množství adheziva je ovlivněno frekvencí pohybu jehly, rozměrem trysky a tlakem, který na adhezivum působí. Výhodou jet dispensingu oproti kontaktnímu dispensingu je přesnější nanášení adheziva, schopnost nanášet adhezivum o různých viskozitách, schopnost

měnit tvar a velikost nanášených obrazců. Jedná se o nejrychlejší dávkovací metodu nanášení. [7] [8] [9]



Obr. 1.4 Schéma provedení Jet dispensingu (převzato z [13]).

1.2.5 Dávkovací metoda razítkem a plnou jehlou

Nanášení plnou jehlou je dnes již méně běžnou dávkovací metodou, ale je jednou z nejjednodušších metod nanášení adheziv pro sériovou výrobu. Tato metoda využívá velké množství stejně dlouhých hrotů, které jsou rozmístěny tak, aby dosedaly na plošky, kam má být nanášeno adhezivum. Hroty jsou nejdříve částečně ponořeny do nádoby s nevytvrzeným adhezivem, které se na ně přichytí. Adhezivum se poté přeneso do požadované polohy nad místo, kde má být nanášeno. Nakonec se hroty přiblíží do předem definované vzdálenosti od substrátu a dojde k přenesení adheziva na substrát.

Dávkovací metoda razítkem je podobná metodě nanášení plnou jehlou. Hlavním rozdílem je právě razítko, které má větší rozměry než hroty u nanášecí metody plnou jehlou. Z tohoto důvodu se metoda razítkem nehodí pro jemné motivy a je určena hlavně pro nanášení na velké plochy. [7] [8]

1.3 Vlastnosti vodivých adheziv

Aby bylo dosaženo elektrické vodivosti lepidel, přidávají se do nich tzv. plniva. Nejčastěji používaným plnivem jsou částice stříbra. Dalšími používanými plnivy jsou měď, zlato, nikl a

uhlík. Vodivá lepidla se dále dělí na jednosložková a dvousložková. Vlastnosti dvousložkových a jednosložkových adheziv se liší v závislosti na typu lepidla a výrobci. [8] [14]

Dvousložková adheziva se skládají ze dvou složek, které je nutné před aplikací dostatečně smíchat. Nedoporučuje se míchat lepidla ručně, nýbrž strojově, kde nevzniká tak velké riziko nedostatečného promíchání. Výhodou dvousložkových lepidel je dobrá skladovatelnost oddělených složek lepidla. Dvousložková lepidla ve stavu k okamžitému použití je v podstatě nemožné uchovávat v míchacím systému. Řešením je zamrazit kartuši na teplotu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ihned po smíchání obou složek a odplynění. Díky takto nízké teplotě nedochází k procesu vytvrzování lepidla. Takto zamražené složky se poté nechají transportovat ve speciálních obalech při teplotě nižší než $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po otevření a rozmražení adheziva dosahují stejných vlastností jako před zmražením a adhezivum není potřeba již míchat. Skladovatelnost zamražených složek je až jeden rok. [14]

Jednosložková lepidla, jak již vychází z názvu, obsahují pouze jednu složku. Nevýhodou je, že se jednosložková lepidla musejí skladovat při velmi nízké teplotě. Pro vytvrzení lepidla je pak potřeba vyšší teplota, než je tomu u dvousložkových lepidel, přibližně okolo $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při delším skladování může také docházet k sedimentaci a je tedy nutné lepidlo vždy před použitím dostatečně promíchat. Doba skladovatelnosti se pohybuje okolo třech až šesti měsíců. Při skladování se také mění viskozita, což nepředstavuje vážný problém, pouze je třeba dávat pozor při nanášení. [14]

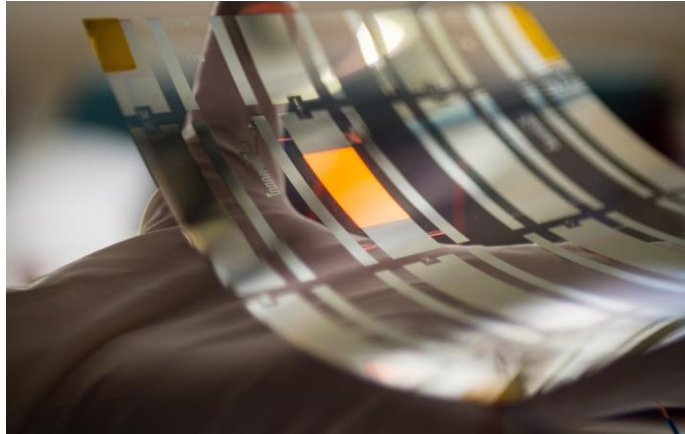
1.4 Substráty pro flexibilní elektronické systémy

Pro různé aplikace mají flexibilní substráty různé požadavky. Pro každou aplikaci je třeba vybrat substrát s vhodnými vlastnostmi, tak aby nejlépe vyhovoval aplikaci, pro kterou má být použit. Podle teplotní odolnosti substrátu se také musí zvolit i vhodné vodivé lepidlo, aby se při vytvrzování substrát překročením maximální teploty neporušil. Nejčastějšími substráty, které se používají, jsou tenká skla, polymerní a kovové folie.

1.4.1 Tenká skla

Aby sklo začalo být flexibilní, je potřeba ho ztenčit až na stovky mikrometrů. Tloušťka nejtenčích skleněných folií se v současné době pohybuje až okolo 10 mikrometrů. Skleněné folie se používají převážně jako substrát pro ploché displeje. Vyrábějí se tažením roztaveného

skla přes válečky, které sklo postupně ztenčují do potřebné tloušťky. Výhodou skleněných folií je více jak 90 % průhlednost, hladký povrch od drsnosti Ra 1 nm a méně, tepelná odolnost až 600 °C, vysoká prostorová stabilita, malá teplotní roztažnost, vysoká chemická odolnost, elektrická nevodivost a odolnost vůči poškrábání. Nevýhodou je ovšem křehkost a obtížná manipulace s materiálem. Pro snížení křehkosti materiálu se tenká skla mohou kombinovat s polymerními foliemi, které dodávají sklu potřebnou podporu. [2]



Obr. 1.5 Skleněná folie

1.4.2 Polymerní folie

Mezi nejohybnější substráty patří polymerní folie. Výhodou je, že jsou velice levné, průhledné z více jak 85 % a nechají se vyrábět metodou roll to roll. Polymerní folie jsou také velice chemicky odolné. Oproti skleněným foliím mají však horší tepelnou odolnost a jsou náchylnější na poškrábání. Existuje několik druhů polymerních folií, přičemž každá má své specifické vlastnosti. Nejrozšířenějšími jsou substráty PET (polyethyltereftalátové) a PEN (polyethylnaftalát). Jak PEN, tak PET folie mají průhlednost více jak 85 %, ale jejich tepelná odolnost se pohybuje pouze mezi 150 až 200 °C. Další používanou polymerní folií je PI (polyimidová), která má tepelnou odolnost až 350 °C. Bohužel mají žlutou barvu a absorbují až 1,8 % vlhkosti oproti PEN a PET, které absorbují pouze přibližně 0,14 % vlhkosti. [2]

1.4.3 Kovové folie

Kovové folie, které jsou tenčí než 125 mikrometrů, jsou rovněž flexibilní. Používají se převážně u emisních a reflektivních displejů, u kterých není potřeba průhledných substrátů. Nejpoužívanějšími materiály, ze kterých se zpracovávají kovové folie, jsou ocel, měď, hliník a nikl. Nejodolnější jsou ocelové folie, které mají tepelnou odolnost až do 1000 °C. Zároveň jsou velmi odolné vůči chemickým vlivům a mohou se využívat i jako elektromagnetické stínění.

Na rozdíl od ocelových folií mají hliníkové a měděné lepší elektrické vlastnosti, ale jejich chemická odolnost je nižší. [2]

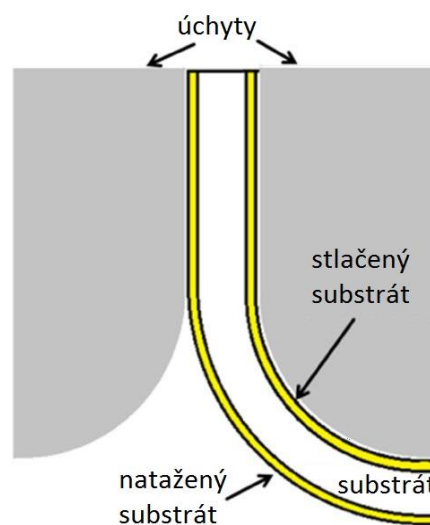
2 Testovací metody pro flexibilní elektroniku

U flexibilní elektroniky se předpokládá, že bude mechanicky zatěžována. Proto je nutné zavést měřicí metody, které prověří její mechanické vlastnosti. Dnes existuje řada různých testů, které prověří flexibilní elektroniku v tahu nebo v ohybu. Testy provádí především výrobce, aby mohl u svého výrobku zaručit dobu, po kterou namáhání v ohybu a tahu nebude mít vliv na jeho jakost a funkčnost.

2.1 Testování v ohybu na Západočeské univerzitě

Testování v ohybu je jednou z nejpoužívanějších testovacích metod u flexibilní elektroniky. Existuje několik modifikací ohýbacích testů a každý má své klady i zápory. Pro účely testování byl vydán manuál IPC-TM-650, který obsahuje mimo jiné i metody pro testování vodivých motivů v ohybu. Před výběrem testu je hlavní určení klíčových parametrů, které mají být zjištěny. Jedním z důležitých parametrů je směr, ve kterém chceme testovaný prvek ohýbat. Je samozřejmé, že je možné použít více měřicích metod. Je však třeba zvážit, zda z ekonomického hlediska jsou tyto měřicí metody nezbytné, protože se zvyšujícím se počtem měření se zvyšují i náklady na testování.

Při testování flexibilní elektroniky v ohybu je testovaný prvek na vnitřní a vnější části namáhán dvěma různými způsoby. Vnitřní část se při ohybu stlačuje, tudíž na ní působí jiné síly než na vnější část, která se při ohybu natahuje.



Obr. 2.1 Namáhání substrátu v ohybu (převzato z [15]).

2.1.1 Dynamický test

Tento typ testu se provádí jako dlouhodobý test. Jeho účelem je zjistit, po jak dlouhou dobu dokáže testovaný flexibilní vzorek s tištěnými vodivými spoji odolávat mechanickému ohýbání. Doba se přitom uvádí většinou v cyklech, kdy jeden cyklus zahrnuje ohnutí prvku z klidové polohy a jeho opětovné narovnání do počáteční klidové polohy. Čím déle se test provádí, tím více cyklů se vykoná. Ze získaných dat jsou pak dobře patrné jeho mechanické vlastnosti. Jelikož tímto způsobem testujeme pouze velice omezené množství vzorků, může nastat případ, že námi vybrané vzorky budou mít lepší vlastnosti než ty, které vybrány nebyly. Proto je třeba pro každé měření stanovit počet cyklů tak, aby bylo otestováno co nejvíce vzorků a zároveň, aby byly vzorky testovány dostatečně dlouho. Ze získaných dat musejí být dobře patrné mechanické vlastnosti zkoumaného vzorku. Tímto se zabývá manuál IPC-TM-650 2.4.3, který stanovuje, kolik cyklů je schopný snést testovaný flexibilní prvek s tištěnými spoji.

Dynamický test se většinou provádí tak, že jedna část testovacího zařízení se pohybuje pomocí krokového nebo lineárního motůrku vůči druhé části, která je stacionární. Vzorek je uchycen do úchytů mezi těmito dvěma částmi testovacího zařízení. Spínáním motůrku se pohyblivá část přibližuje či oddaluje od stacionární části, čímž nastává mechanické ohýbání zkoumaného vzorku. Motůrek je ovládán skrze počítačové rozhraní. Pomocí počítačového softwaru lze navolit počet cyklů ohýbání, které bude přístroj vykonávat. Během celého testu jsou zaznamenávána data testovaného vzorku, která se po skončení nadefinovaného počtu cyklů vyhodnotí.

2.1.2 Statický test

Statický test zkoumá, jak velký rádius ohnutí je zkoumaný prvek schopen vydržet bez poškození při ohýbání. Tento test využívá jednoho úchytu, na který jsou připevněny oba konce testovaného substrátu, a válečku o předem definovaném průměru, přes který se ohýbá testovaný substrát. Ten musí být na válci napnutý tak, aby na váleček dokonale doléhal. Toho se docílí posunem úchytu do požadované vzdálenosti od válečku. Během napínání na váleček může být vzorek monitorován. Výhodou tohoto testu je přesně definovaná velikost ohybu vzorku. Tento test ovšem nezkoumá dlouhodobé namáhání. Jedná se pouze o jednorázový test.

V rámci diplomové práce pak byl detailně řešen právě statický test vzorků. Statický test ověřoval ohyb na průměrech válců 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm.

2.2 Testování v tahu

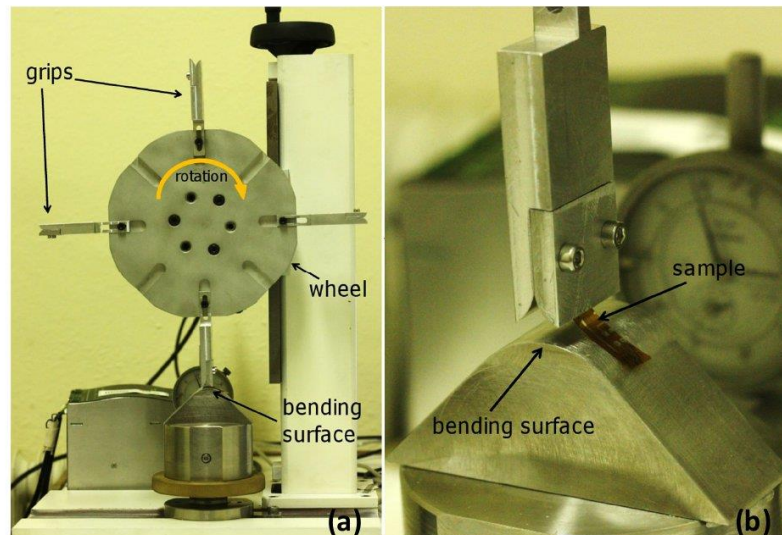
Flexibilní elektronika se může testovat i v tahu, i když tyto testy nejsou tak časté jako testy v ohybu. Standart IPC-TM-650 2.4.19 popisuje metodu, která určuje pevnost v tahu flexibilních prvků s tištěnými vodivými spoji. Podle této metody by mělo být otestováno minimálně deset vzorků. Tyto vzorky by měli být 152,4 mm dlouhé a 12,7 mm široké. Pokud je to nutné, měly by být okraje vyhlazeny brusným papírem s drsností 400 až 600 kvůli zlepšení opakovatelnosti testu. Dále je potřeba změřit šířku a tloušťku na několika místech podél celého vzorku a vypočítat místo s nejmenším průřezem. Pak se vzorek umístí do držáků testovacího zařízení a měří se vzorek před a po natažení. Je doporučeno používat testovací zařízení Tinius-Olson Super L nebo jiný přístroj, který má však stejný měřitelný rozsah.

2.3 Testovací metody na jiných pracovištích

Metody využívané na Západočeské univerzitě se na jiných výzkumných pracovištích mírně liší, ale jejich princip zůstává stejný. Každá měřicí metoda má své výhody a nevýhody. V této kapitole jsou pak popsány tři metody používané na jiných pracovištích.

2.3.1 Flex-E-Test

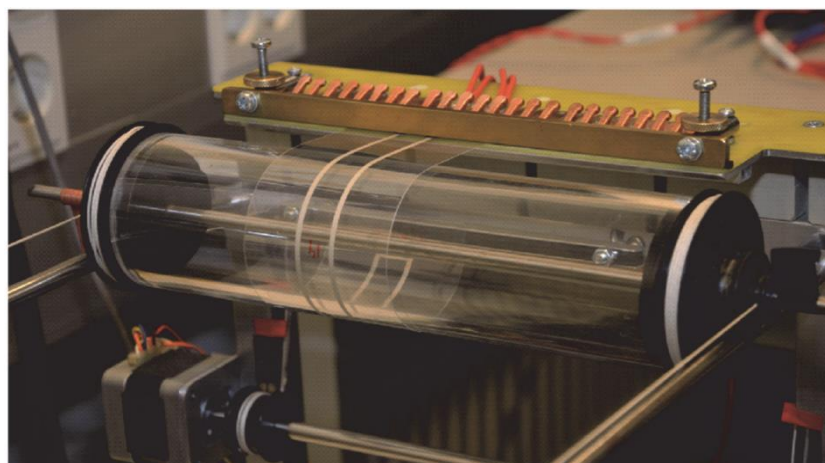
V Rakousku v Erich Schmid institutu pro výzkum materiálů ve spolupráci s Nano Tec Center vyvinuli ohýbací test, který dokáže testovat až osm vzorků najednou. Testovací přístroj se skládá z otáčivého kola s úchyty, do kterých se nechají přichytit testované vzorky. Dále se skládá z ohýbací plochy, kam vzorky naráží a ohýbají se o ní. Konce úchytů jsou zakřiveny, čímž určují radius podle, kterého se vzorky budou ohýbat. Vzdálenost od ohýbací plochy se nechá podle potřeby také nastavit. Flex-E-Test může během testování vzorků měnit rychlost i směr otáčení. Tím může testovat vzorky z obou stran při jednom testu a nemusí se test zastavit a znovu složitě nastavovat. Počet cyklů otáčení, rychlost i směr se nastavují přes software přístroje. [15] Testovací zařízení ale neumožňuje měřit elektrické parametry vzorků během testování což je značnou nevýhodou.



Obr. 2.2 Aparatura Flex-E-Testu (převzato z [15]).

2.3.2 Roller bending test

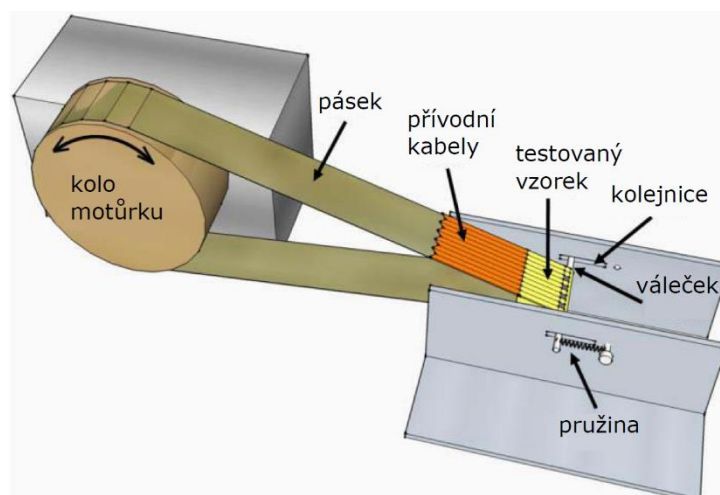
Další dvě zařízení pro testování flexibilních systémů v ohybu byly sestaveny na Univerzitě v Oulu. První zařízení je obdobou dynamického testu využívaného na Západočeské univerzitě, kde je vzorek uchycen mezi pohyblivou a stacionární část. Během měření je pouhým přibližováním a oddalováním pohyblivé části od stacionární vzorek ohýbán. Druhým testovacím zařízením je roller bending test. Toto testovací zařízení se skládá z pohyblivého válce a stacionární části. Před začátkem měření se vzorek upne mezi válec a stacionární část. Během testu je pak vzorek na válec namotáván a měřen. Používané průměry válce jsou 15 mm, 20 mm a 30 mm. [16]



Obr. 2.3: Aparatura roller bend testu (převzato z [16]).

2.3.3 Push-to-bend, roller-flex a on-belt-flex testy

Na Pen State univerzitě ve spojených státech amerických byly navrženy a vyrobeny tři testovací zařízení pro testování flexibilní elektroniky v ohybu. První testovací metodou je push-to-bend test, který se velmi podobá dynamickému testování flexibilní elektroniky na Západočeské univerzitě. Testovaný vzorek je zde připevněn mezi pohyblivou a stacionární část testovacího zařízení. Pohyblivá část se poté během měření přibližuje a oddaluje od stacionární části a měří se tak kolik cyklů ohnutí dokáže testovaný vzorek vydržet bez poškození. Druhým testem je tzv. roller-flex. Jedná se o obdobu stacionárního testu taktéž prováděného na Západočeské univerzitě. Vzorek je při tomto testu upevněn na pohyblivou část testovacího zařízení. Ve stacionární části se poté nachází váleček, kolem kterého je obtočen testovaný vzorek. Pohyblivá část se poté posune do polohy, kdy se vzorek napne na váleček, a během napínání vzorku se získávají data a zkoumá se jak velké ohnutí je schopen vzorek vydržet, bez toho aby byl porušen. Posledním testem je tzv. on-belt-test, který se podobá roller-flex testu. Princip spočívá v napnutí pásku mezi váleček a kolo motůrku. Na pásek je poté připevněn vzorek, který se poté otáčením kola motůrku postupně obtočí celý kolem válečku, na kterém daný vzorek chceme testovat. Nevýhodou však je, že během testu je většina napětí na vzorek převzata páskem, což značně zkresluje naměřená data. [17]



Obr. 2.4: Rozvržení on-belt-testu (převzato z [17]).

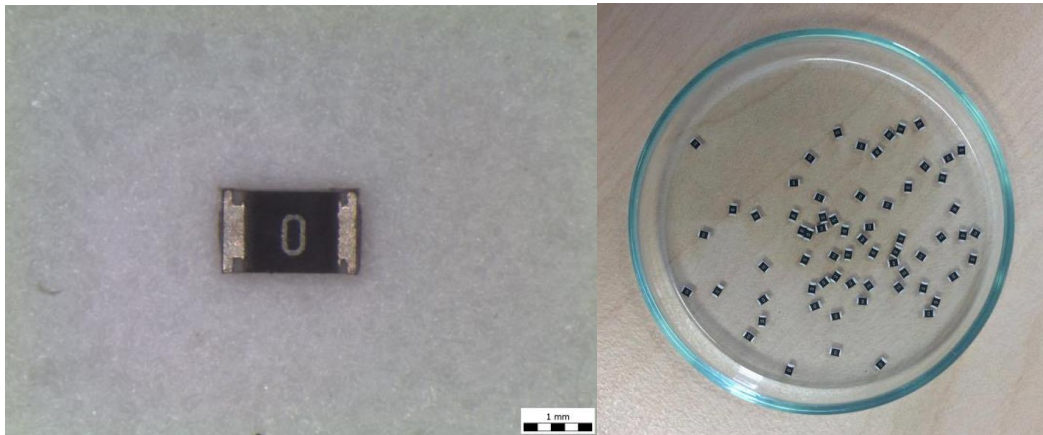
3 Návrh aparatury pro testování v ohybu

Tato část diplomové práce se zabývá návrhem vzorků flexibilních systémů pro testování v ohybu. V kapitole je popsán návrh motivu vzorků v softwarovém prostředí Eagle. Dále popisuje realizaci testovaných vzorků vodivých motivů sítotiskem na flexibilních substrátech, a nakonec osazení součástek. Jelikož předem nebylo zcela jasné, jak bude testování prvků flexibilní elektroniky probíhat, bylo nutné si stanovit parametry testovacího zařízení a testovaných vzorků tak, aby byly spolu zcela kompatibilní a bylo možné na nich měřit požadované parametry.

3.1 Výběr součástek pro testování

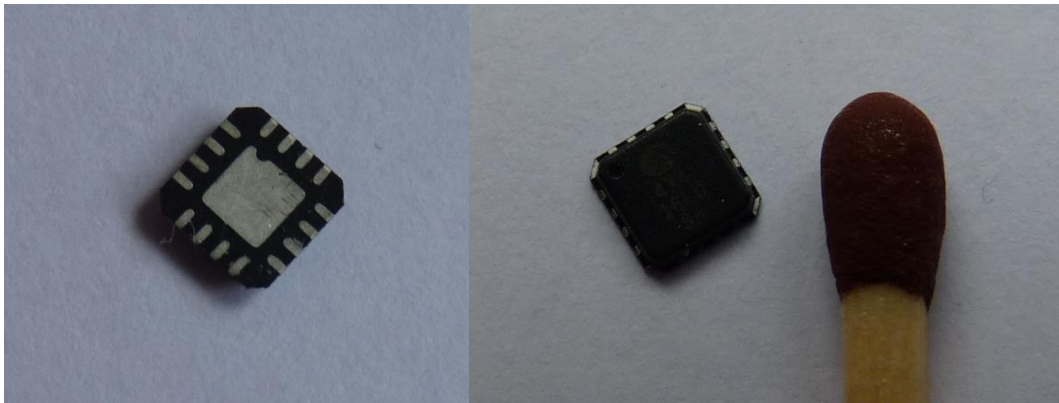
Pro potřeby této diplomové práce byly vybrány součástky specifických parametrů vhodných pro testování. Jednalo se o SMD čipové rezistory a QFN čipy s šestnácti vývody. V obou případech se jedná o tak zvané dummy součástky. Jedná se o součástky s nulovým odporem. V případě QFN čipů jsou uvnitř součástky jednotlivé vývody propojeny tak, aby vytvořili vodivý řetězec (tzv. Daisy chain).

SMD rezistory měly být o rozměrech pouzdra 0603, tedy 1,6 mm na 0,8 mm a pouzdra 0805, s rozměry 2 mm na 1,2 mm. Důležitým parametrem při výběru součástek byla i povrchová úprava kontaktů, aby byla zajištěna pokud možno co největší materiálová kompatibilita s vodivým lepidlem. Vybírány byly od dodavatelů Fernell, Mauser electronic a Digi key. Bylo vybráno šestnáct součástek, ze kterých byly zvoleny pouze dvě varianty, které se nejlépe hodily pro testovací účely. Jeden rezistor měl tedy pouzdro 0603 a druhý 0805. Nakonec byly použity pouze rezistory s pouzdem 0805, protože rezistory s pouzdem 0603 jsou tak malých rozměrů že by se velice složitě osazovaly na vzorky a nebyla by zajištěná dostatečná opakovatelnost výsledků. Navíc pro účely testování postačovaly rezistory s pouzdem 0805. Bylo objednáno 500 kusů rezistorů od výrobce Multicomp, typ MCWR06X000 PTL. [18]



Obr. 3.1: SMD rezistor 0805 pod mikroskopem a nasypané v Petriho misce.

Jelikož v České republice není výrobce QFN dummy čipů, bylo nutné kontaktovat zahraniční společnost. První kontaktovaná společnost byla Factronix. Bohužel díky velkým ekonomickým nákladům na QFN čipy se od této společnosti muselo upustit. Další kontaktovanou společností byla Practical components se sídlem ve Spojených státech amerických, která již nabízela QFN čipy v rozumnějších cenových relacích. Bylo objednáno sedmdesát pět dummy GFN čipů s šestnácti vývody. QFN čipy měly odpovídat pouzdru SLA13 a tyto čipy splňovaly všechny požadavky, které byly zadány. Bohužel vyřízení administrativy a dodání těchto čipů trvalo dva měsíce. [19]



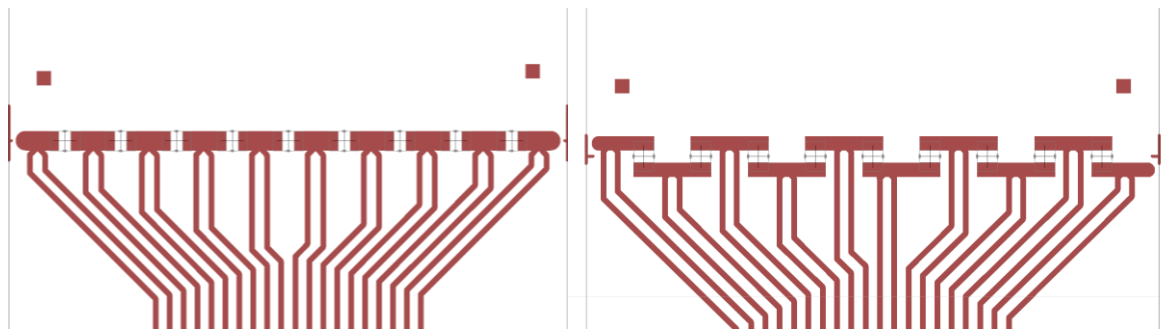
Obr. 3.2: QFN s šestnácti vývody v porovnání se sirkou.

3.2 Návrh vzorků pro testování v ohybu

Bylo stanoveno, že na vzorcích se bude měřit čtyřbodovou metodou napětí a proud, ze kterého získáme odpor. Odpor bude měřen na SMD rezistoru 0805 s nulovou hodnotou odporu a na vzorcích s QFN čipy, kde se bude měřit napětí a proud mezi jednotlivými vývody čipu. Na každém vzorku s rezistory je napájeno vždy devět rezistorů a jsou umístěny buď horizontálně nebo vertikálně vůči substrátu. Předpokládalo se, že různé umístění rezistorů bude

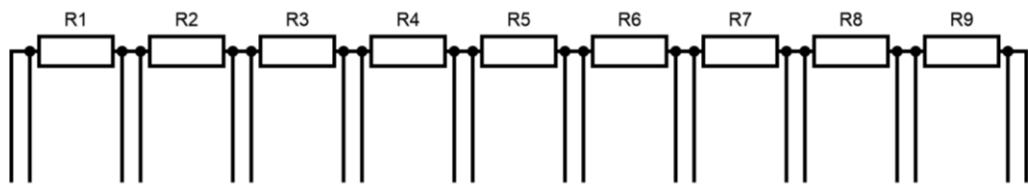
mít vliv na namáhaný spoj při ohýbání. QFN čipy jsou umístěny ve dvou různých polohách, kdy jednou je čip umístěn vodorovně a podruhé je natočen o 45°.

Vzorky byly navrženy pomocí programu Eagle, který je volně dostupný na oficiálních stránkách Eaglu. Tento program se specializuje na návrh desek plošných spojů (DPS, PCB), ale umožňuje i návrh součástek pro plošné spoje. Program obsahuje tři hlavní části a to editor spojů, editor schémat a autorouter. Dále mohou být použity pouze dvě signálové vrstvy spojů a v editoru schématu lze vytvořit schéma pouze na jednom listu. [20]



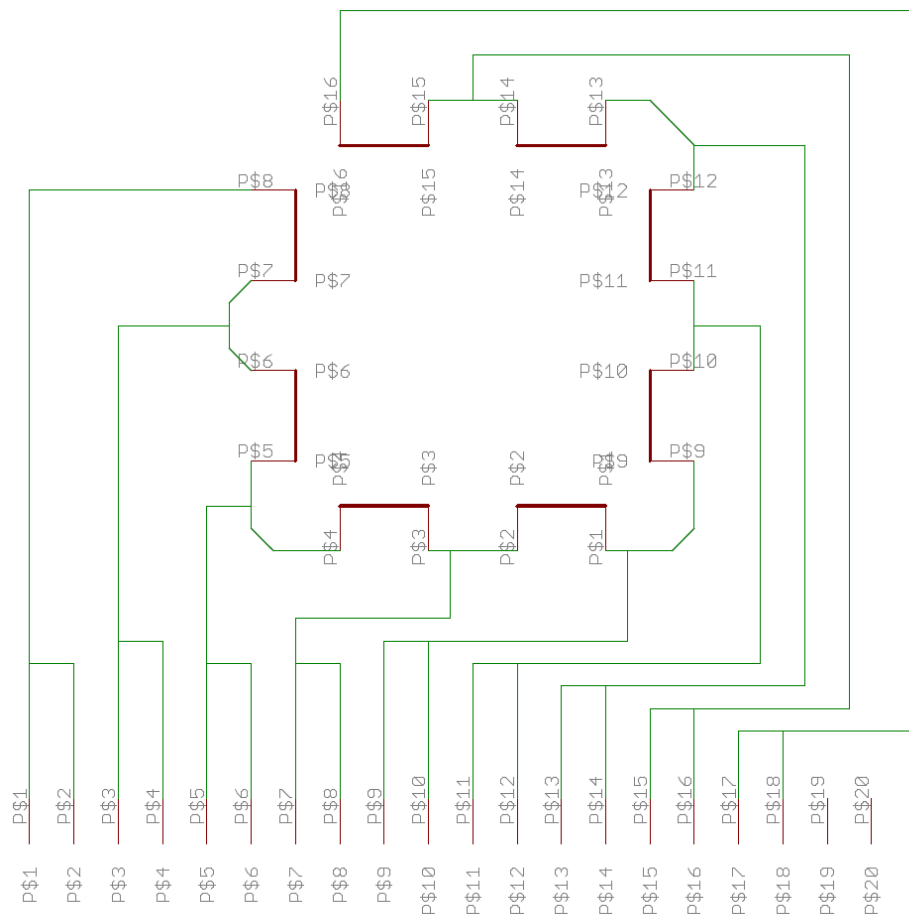
Obr. 3.3: Zleva vzorek s vertikálně umístěnými rezistory a vzorek s horizontálně umístěnými rezistory.

Nejdříve byly v programu Eagle navrženy flexibilní vzorky s rezistory umístěnými horizontálně a vertikálně. Velikost vzorků byla navržena na rozměry 210 mm na 40 mm. Tištěné cesty sahají do poloviny vzorku, kde jsou také umístěny pájecí plošky pro SMD rezistory. Jelikož se testovaný vzorek bude zasouvat do FPC konektoru od společnosti Molex typu 52207 – 2033 s dvaceti vývody [21], je třeba brát v úvahu, že navrhovaný vzorek musí mít posunutý střed o tu část, která se bude do konektoru zasouvat. Proto se střed nachází 110 mm od kraje substrátu, kde se bude připojovat FPC konektor. Šířka vodivých cest na vzorku byla navržena na 0,4 mm. Důvodem je právě FPC konektor, který má kontakty o velikosti 0,4 mm s mezerou mezi kontakty 0,32 mm. Dalším důvodem je, že se vodivé cesty budou nanášet sítotiskem a šířka cesty 0,4 mm je dostatečnou zárukou toho, aby se při nanášení vodivé cesty nepřerušily. Mezera mezi vodivými cestami byla naopak volena tak, aby se při depozici sítotiskem nevytvořily zkraty. Pro účely testování byly navrženy i vzorky s úmyslně propojenými ploškami v místě SMD rezistorů. Vzorky byly navrženy pro vyloučení chyb vzniklých na vodivé cestě a pro ověření vlivu ohybu samotného vodivého motivu.



Obr. 3.3: Schématické zapojení všech vzorků s rezistory.

Návrh vzorků s QFN čipy byl vytvořen také v programu Eagle. Byly použity stejné rozměry substrátu jako u vzorků s rezistory, tedy 210 mm na 40 mm. Střed QFN čipu leží přesně v polovině vzorku po odečtení části, která se bude zasouvat do FPC konektoru. Zapojení QFN čipu je složitější než zapojení rezistorů a jsou zde mnohem menší vzdálenosti mezi kontakty. Z tohoto důvodu byly v blízkosti QFN pouzdra použity vodivé motivy s šířkou čáry pouze 0,2 mm.

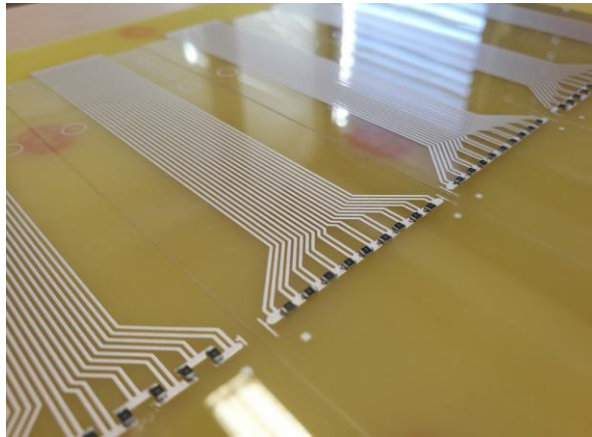


Obr. 3.4: Schéma zapojení QFN čipu.

Na všech vzorcích byly vyznačeny také stříhací čáry, sesazovací značky a vyznačení pro otvory, které jsou potřeba k uchycení prvku. Sesazovací značky jsou zde pro případ nanášení vodivého lepidla sítotiskem nebo šablonovým tiskem.

3.3 Výroba vzorků

Pro testování byl vybrán substrát Melinex 506 s tloušťkou 175 μm . Tento substrát je vyroben z polyesteru, který je průhledný a velice pružný. Povrch je velmi hladký a obě strany substrátu jsou upraveny pro lepší přilnavost vodivých lepidel a většinu inkoustů a nátěrů [22]. Na tento substrát byla nanášena jedna vrstva pasty na bázi stříbra typu PE-AG530. Jedná se o vysoce flexibilní vodivou pastu s velice dobrou přilnavostí především na polyesterové, polyamidové a na většinu textilních substrátů [23]. Před použitím pasty je nutno pastu dostatečně rozmíchat, aby se rozložily stříbrné částice rovnoměrně do celého objemu pasty, protože jinak částice časem klesnou ke dnu nádoby. K nanášení byla použita metoda sítotisku, která byla pro navrhnuté vzorky dostačující, co se týče rozlišení vodivých cest. Při nanášení byla použita rychlost těrky 100 mm za sekundu při tlaku 0,3 bar. Odskok síta od substrátu byl 1 mm. Lepidlo bylo vytvrzováno 5 minut při teplotě 120 $^{\circ}\text{C}$. Nakonec byly osazeny pouze vzorky s SMD rezistory 0805, z důvodu vysoké náročnosti na přesnost při procesu osazování QFN čipů a protože osazování obou typů pouzder (SMD a QFN) by přesahovalo rozsah diplomové práce. Při nanášení pasty docházelo k občasnému protékání přes síto, což se projevilo na několika vzorcích na kvalitě motivů plošek pro rezistory 0805. U těchto vzorků byla vysoká pravděpodobnost vzniku zkratu. Z tohoto důvodu byly všechny vzorky přeměřeny právě kvůli možným zkratům. Byly tedy vyrobeny vzorky s rezistory ve vertikální poloze i s rezistory v horizontální poloze a také referenční vzorky s propojenými vodivými cestami. Všechny vzorky po nanášení a vytvrzení pasty musely být nařezány na jednotlivé kusy podle stříhacích čar. Nakonec byly vyraženy otvory pro uchycení vzorků na testovací zařízení. I přes výbornou přilnavost je třeba po nanášení pasty vzorky uskladnit tak, aby při nedbalém zacházení nedošlo k porušení cest.



Obr. 3.5: Osazené vzorky s rezistory v horizontální i vertikální poloze.

3.4 Osazování vzorků

Byly použity tři typy vodivých adheziv a to Elecolit 3661 od společnosti Panacol, PC 3201 od společnosti Heraeus a 8331S od společnosti MG Chemicals. Každé adhezivum má jiné elektrické i mechanické vlastnosti a jejich teplota i doba potřebná pro vytvrzení lepidla je rozdílná. [24] [25] [26]

Adhezivum 8331S bylo nanášeno jako první a jedná se o dvousložkové vodivé lepidlo na bázi stříbra. Je vhodné pro nanášení na skleněné, kovové a většinu plastových povrchů. Po smíchání obou složek je třeba vodivé lepidlo spotřebovat do čtyř hodin. Rezistivita lepidla je $0,006 \Omega \cdot \text{cm}$ a tepelná vodivost je $0,85 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Je odolné vůči vodě, solance, kyselinám a alifatickým uhlovodíkům. Je skladovatelné za pokojové teploty až tři roky.[24] Všechny vzorky byly osazovány dispenzínem s časovým dávkováním. Složky vodivého lepidla byly rozmíchány zvlášť a poté smíchány dohromady ve stejném poměru 1:1. Čas stlačení pístu se pohyboval na přístroji v poloze 9 a 10. Tlak vzduchového pístu se pohyboval v průběhu měření mezi 80 až 85 Pa. Průměr jehly stříkačky byl u všech lepidel 0,5 mm. V průběhu nanášení se viskozita lepidla zvyšovala, tudíž u posledních nanášených vzorků bylo složité vytlačit pastu z jehly ven a to i po zvýšení času a tlaku nanášení. Po nanesení vodivého lepidla byly osazeny rezistory s pouzdrům 0805. Vzorky se vložily do pece a vytvrzovaly se po dobu jedné hodiny při teplotě 80°C .

Dalším adhezivem bylo jednosložkové vodivé lepidlo PC 3201 na bázi stříbra. Hodí se na povrchy pokryté stříbrem nebo na povrchy s povrchovou úpravou typu ENIG (Electro less Nickel Immersion Gold). Maximální rezistivita vodivého lepidla je $0,3 \Omega \cdot \text{cm}$ a minimální tepelná vodivost je $5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Výhodou tohoto lepidla je vysoká rychlost vytvrzování a dlouhá

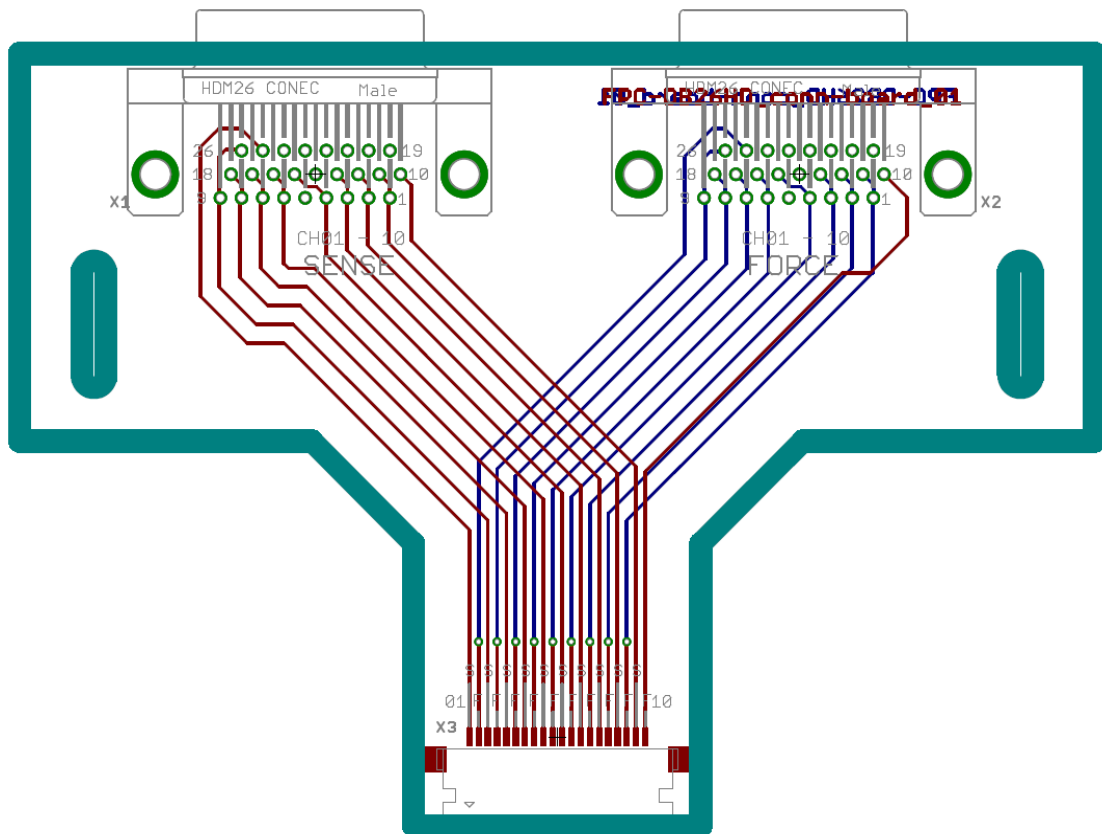
spotřební lhůta po otevření lepidla až 5 dní. Skladovatelnost se pohybuje okolo dvanácti měsíců od doby výroby při teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. [25] PC 3201 bylo dodáno již v dávkovači, tudíž nebylo nutné pastu míchat a byla pouze připojena na vzduchovou hadičku dispenzeru. Předtím než bylo lepidlo připraveno k použití, bylo vyjmuta z mrazáku a ponecháno při pokojové teplotě po dobu dvou hodin. Během této doby se adhezivum nesmí otvírat, aby se na lepidle nevysrážela voda. Po uplynutí doby potřebné k rozmražení bylo vodivé lepidlo nanášeno na vzorky s časovým dávkováním v poloze 1 až 1,5. Tlak vzduchu dispenzeru se pohyboval mezi 75 až 80 Pa. Viskozita lepidla se u lepidla během nanášení na vzorky nijak neměnila. Po osazení vzorků rezistory 0805 se vložily do pece a vytvrzovaly se 3 minuty při teplotě $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Jako poslední bylo nanášeno na vzorky vodivé lepidlo Elecolit 3661. Jedná se o jednosložkové vodivé lepidlo s obsahem stříbrných částic až 71%. Díky velkému obsahu stříbra je adhezivum výborným vodičem. Lepidlo obsahuje části polymeru, který dodává lepidlu částečnou pružnost a je tudíž vhodné pro použití na místech, kde jsou vibrace a časté změny teplot. Dokáže odolávat teplotám v rozmezí -40 až $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rezistivita vodivého lepidla se pohybuje kolem $0,005\ \Omega\cdot\text{cm}$. Vodivé lepidlo Elecolit 3661 je možné skladovat po otevření tři měsíce při teplotě $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. [26] Stejně jako adhezivum PC 3201 bylo i adhezivum Elecolit 3661 dodáno zamražené, tudíž před samotnou aplikací dispenzingem bylo nutné lepidlo nechat při pokojové teplotě po dobu dvou hodin. Jakmile uběhla doba potřebná k teplotní stabilizaci lepidla, bylo nanášeno na vzorky a ty byly osazeny rezistory s pouzdrem 0805. Nastavení časovače na dispenzeru bylo v poloze 1 až 1,5 a tlak vzduchu byl nastaven na 80 Pa po celou dobu nanášení. Vzorky byly vloženy do pece při teplotě $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 45 minut.

Ze všech tří lepidel mělo největší viskozitu a nejhůře se tedy i pracovalo s lepidlem 8331S. Zbývá dvě lepidla měla viskozitu mnohem menší a práce s nimi byla tedy jednodušší. Lepidla 8331S a PC 3201 mají barvu šedostříbrnou a lepidlo Elecolit 3661 je výrazné stříbrné barvy. Od každého lepidla bylo osazeno deset vzorků, z toho pět vzorků bylo s rezistory umístěnými vertikálně a druhých pět horizontálně.

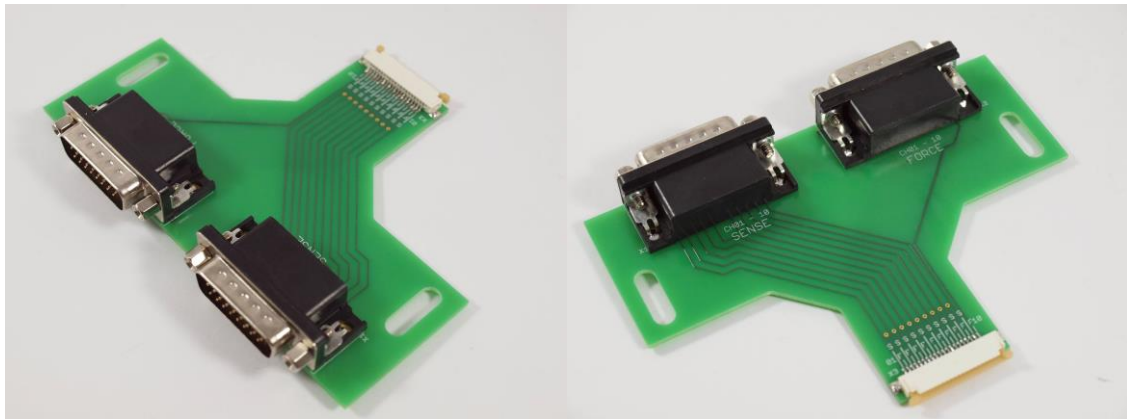
3.5 Návrh a realizace propojovací desky

Pro propojení testovaných vzorků s měřicím přístrojem bylo zapotřebí vytvořit propojovací desku. Návrh byl vytvořen v programu Eagle a je znázorněn na *Obr. 3.6*. Šířka vodivých cest je 0,3 mm. Rozměry desky jsou 80 mm na výšku a 114 mm na šířku.



Obr. 3.6: Návrh propojovací desky v programu Eagle.

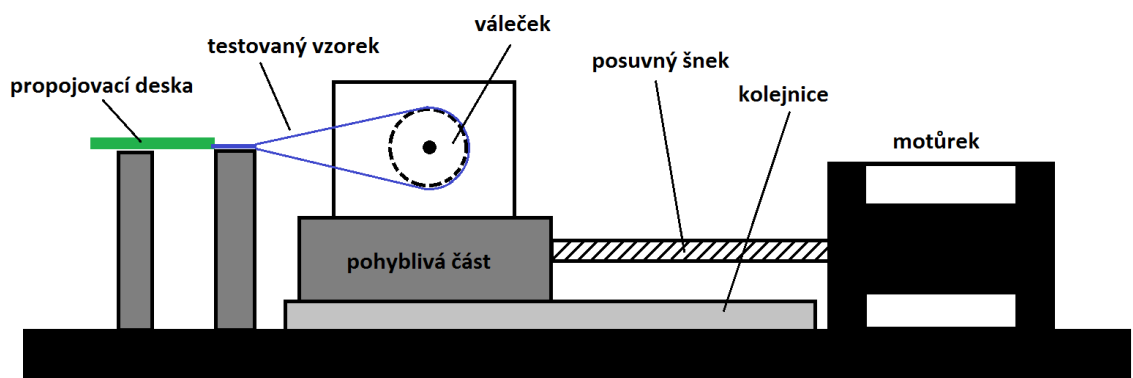
Z důvodu překrývání vodivých cest musela být použita oboustranná deska FR4. Kontakty byly upraveny povrchovou úpravou ENIG (Electroless nickel immersion gold). Na propojovací desce jsou dva konektory typu DB26HD a jeden konektor FPC s dvaceti vývody. Protože se vzorky mají měřit čtyřbodovou metodou, je jeden z konektorů DB26HD určen pro měření elektrického napětí a druhý pro měření elektrického proudu. Konektory jsou podle toho označeny sence a force. Na FPC konektor je tedy přiveden sence a force z DB26HD konektorů tak, že se na konektoru postupně střídají, neboli na připojený vzorek je na první vodivou cestu připojen sence, na druhou force a v tomto pořadí se střídají na všech dvaceti vývodech. Otvory pro uchycení propojovací desky byly navrženy polohovatelné z důvodu jednoduššího uchycování vzorků do propojovací desky.



Obr. 3.7: Propojovací deska.

3.6 Realizace testovacího zařízení

Na testovacím zařízení mělo být možné měřit jak statickou, tak dynamickou metodou. Pro tyto účely muselo být navrženo tak, aby na něm bylo možné měřit obě metody. Dále bylo stanoveno, že hodnoty odporu vzorků se budou odečítat v průběhu jejich ohýbání (online), nikoliv pouze po jejich vyjmutí ze zařízení. Konstrukce tedy musela být navržena tak, aby se vzorky nechaly propojit s měřícím zařízením a aby zůstaly propojeny i během měření. Testovací zařízení bylo nejdříve navrženo v grafickém editoru, aby bylo možné optimálně stanovit rozmístění jednotlivých dílů celé sestavy viz. Obr. 3.8. Nejsložitější částí bylo navržení uchycení vzorku a propojovací desky.



Obr. 3.8: Schématické rozložení testovacího zařízení.

Pro účely diplomové práce bylo použito a upraveno zařízení, na kterém se již v minulosti prováděly dynamické ohýbací testy. Pro realizaci statických ohybových testů muselo však být patřičně upraveno. Jedinými částmi, které zůstaly z původního testovacího zařízení, byl krokový motor s pohyblivou částí a kolejnici. Bylo tedy třeba navrhnout a vyrobit úchyty pro

váleček, válečky s definovaným průměrem, a podpůrnou konstrukcí s úchyty pro propojovací desku a testovaný vzorek.

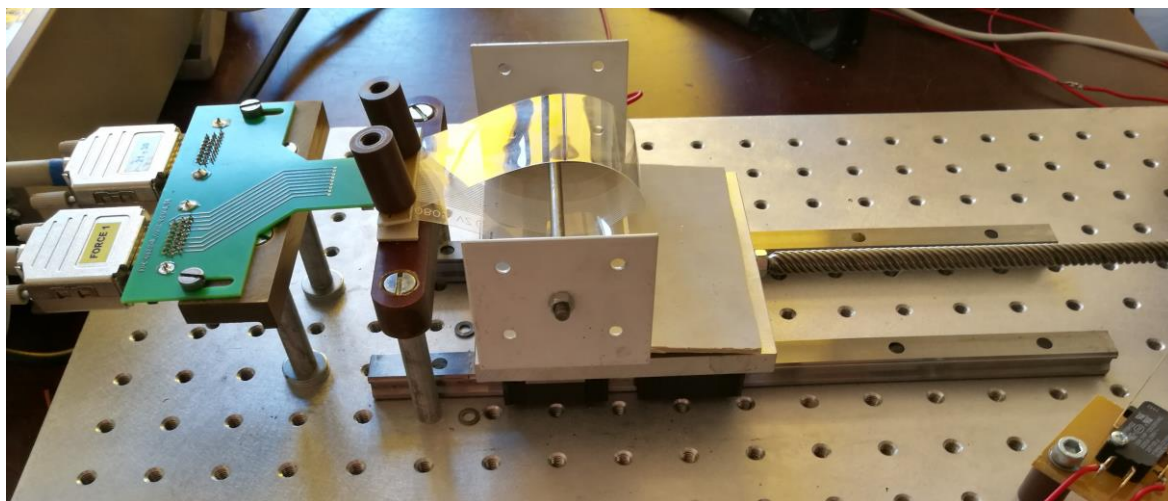
V případě úchytů na válečky se jedná se o dva železné úhlové držáky, které jsou přichyceny pomocí šroubů k pohyblivé části testovacího zařízení. Jsou umístěny proti sobě tak, aby tvořili mezi sebou písmeno U. Váleček je uchycen na středu úhlových držáků, a proto bylo potřeba vyvrtat do držáků nové otvory. Průměr vyvrtaných otvorů je 5 mm na každé straně. Velikost držáku je 60 mm na 60 mm.

Válečky pro testování vzorků v ohybu byli zakoupeny a nařezány ve společnosti Foinia steel v Plzni. Celkem bylo zakoupeno sedm válečků s průměry 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm. Válečky bylo nutné opracovat a zabrousit tak, aby bylo možné do boků válečků vyvrtat díry a následně vytvořit závity pro šrouby. Šrouby zde slouží jako uchycení válečků do držáků. Průměr šroubu je 5 mm. Délka válečků je 100 mm. Pouze nejmenší váleček 5 mm byl vyroben delší, protože ho bylo možné protáhnout přímo otvorem v držáku. Na koncích nejmenšího válečku byly zhotoveny vnější závity pro uchycení válečku matkou v držáku.



Obr. 3.9: Válečky pro testování.

Dále byly navrženy a realizovány dvě podpůrné konstrukce. Každá konstrukce je složená ze dvou šroubů, dvou válečků a destičky z fenolické pryskyřice. Skrz destičku a válečky je protažen šroub, kterým je uchycená celá konstrukce k desce testovacího zařízení. Válečky zde slouží k nastavení výšky podpůrné konstrukce. Pokud je to nutné, je také možné měnit částečně polohu přidáním podložek pod válečky. Na destičce z fenolické pryskyřice jsou také vyvrtány závity pro uchycení vzorků a propojovací desky.



Obr. 3.10: Aparatura testovacího zařízení.

4 Měření vzorků

Tato kapitola se zabývá použitými měřicími metodami a postupem měření vzorků. Dále se kapitola zabývá měřením jednotlivých vzorků s vodivými lepidly 8331S, PC 3201 a Ellecolit 3661. U každého vodivého lepidla byla také provedena vizuální kontrola a mikroskopová diagnostika po poruše.

4.1 Statické testování v ohybu flexibilních systémů

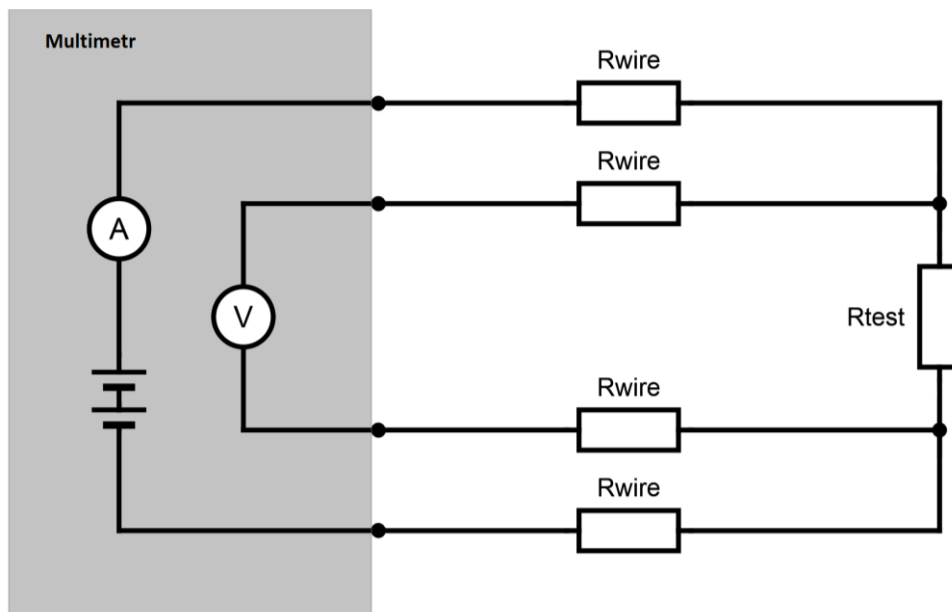
Pro ověření funkčnosti a opakovatelnosti testovacího zařízení byla klíčová metoda statického testování. Při této metodě bylo nejdříve potřeba zvolit průměr válečku, přes který se bude vybraný vzorek ohýbat. Váleček byl uchycen do držáku pohyblivého systému šrouby. Poté se připevnila propojovací deska k podpůrné konstrukci a propojila se s multiplexorem (DMM) Keithley 2700 pomocí kabelů s konektory DB26HD. Multimetr se poté připojil k počítači přes síťový kabel. Dále bylo potřeba připojit krokový motor ke zdroji elektrické energie a propojit ho s počítačem. Poté se pomocí programu HaydonKerk IDEA drive najelo s pohyblivou částí do předem stanovené základní pozice, ze které se vždy začínalo. Nakonec se pod válečkem provlékl vzorek a opatrně se ohnul zpátky a byl uchycen do podpůrné konstrukce. Jakmile bylo vše připraveno, pomocí programu Keithley kick start se navolila správná nastavení multimetru a spustilo se měření. Během testování se váleček posunul do pozice, která se nacházela 5 mm před úplným napnutím na váleček, a postupně se po 1 mm napínal. Výhodou testovacího zařízení je jeho přesné polohování válečku, tudíž při napínání působí na vzorek vždy stejná síla, čehož se jen těžko docílí při manuálním napínání. Další výhodou je snadná výměna vzorků během testování.

4.1.1 Čtyřbodová metoda

Měření probíhalo pomocí čtyřbodové metody, jelikož se měřily rezistory s nulovým odporem. Princip této metody spočívá v měření napětí i proudu odděleně pomocí čtyř vodičů. Výhodou oproti klasické dvoubodové metodě je, že při měření malých odporů nedochází k úbytkům napětí na měřicím přístroji ani na přívodních cestách (Rwire) a naměřené hodnoty jsou tak přesnější. [27] Důvodem je oddělený voltmetr od ampérmetru a jejich zapojení s měřeným rezistorem do série jak je znázorněno na *Obr. 4.1*, kdy napětí a proud měřený multimetrem se musí přímo objevit i na rezistoru R_{test} . Jinými slovy napětí na voltmetru (U_m) bude stejné jako napětí (U_R) měřené na rezistoru R_{test} . Měřený odpor je pak dán vztahem:

$$\frac{U_m}{I} = \frac{U_R}{I}$$

Tato metoda se hodí pro měření rezistorů řádově do 1 kΩ. Dvoubodová metoda je pak vhodná v případě kdy chceme zjistit i odpor přívodních cest a kontaktů.



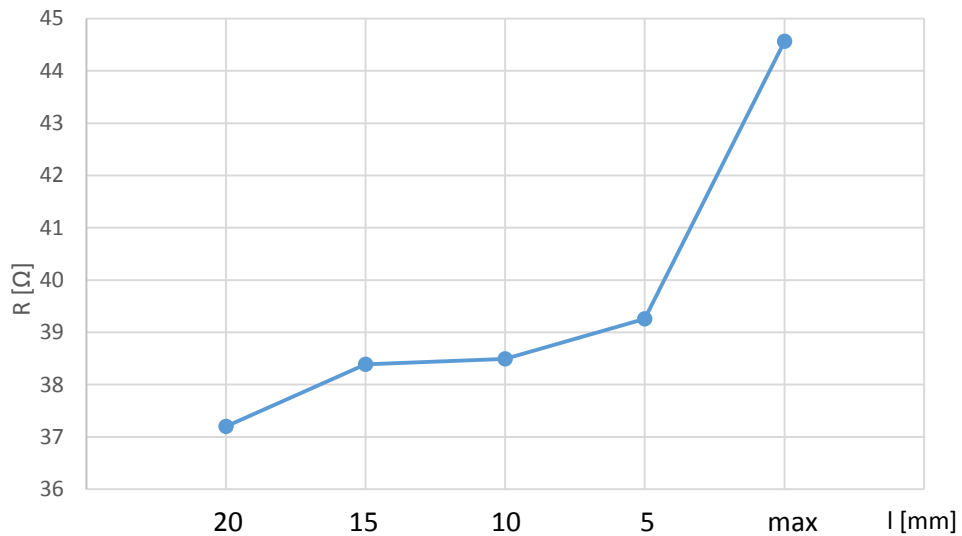
Obr. 4.1: Schéma zapojení čtyřbodové metody.

4.1.2 Vzorky s propojenými cestami

Referenční vzorky s propojenými cestami byly testovány, aby se vyloučili případné chyby vodivých cest. Byly testovány dva vzorky, jeden s horizontálně orientovanými cestami a druhý s vertikálně orientovanými cestami. Obě varianty byly otestovány čtyřbodovou metodou a ohýbány na všech sedmi válečcích. Během testování se odpor u obou vzorků na všech propojených cestách pohyboval okolo nuly, což odpovídalo předpokladům. Tudíž se mohla vyloučit chyba při měření způsobená vodivými cestami.

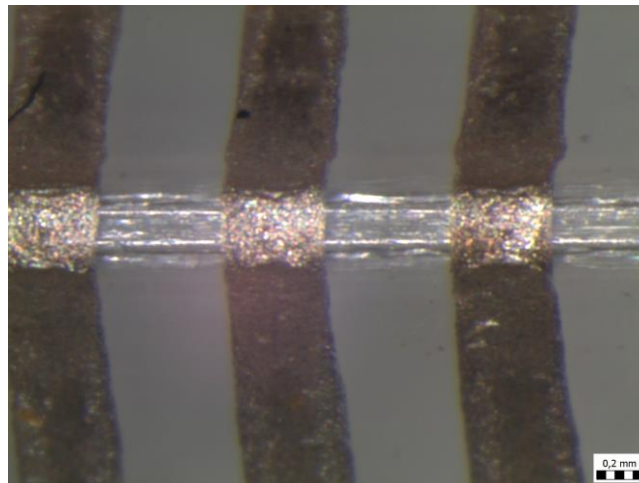
Dále bylo testováno klasickou dvoubodovou metodou, jaký odpor mají reálně přívodové cesty a jak se jejich odpor mění v závislosti na velikosti ohybu. Byl měřen pouze jeden vzorek a byl ohýbán na válečcích o průměrech 20 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm. Odpor cest se měnil jen velmi nepatrně jak je vidět na Obr. 4.2, proto se provedl ještě jeden ohyb, při kterém se vzorek ohnul do svého maxima. Maximální ohnutí bylo dosaženo přímým ohnutím vzorku o

180° bez přítomnosti jakéhokoliv válečku. Po maximálním ohybu vzorku sice vzrostl odpor, ale nedošlo k přerušení vodivé cesty.



Obr. 4.2: Odpor vodivých cest měřený dvoubodovou metodou.

Při posledním ohybu se vodivé cesty podél své osy v místě ohybu mírně deformovaly, jak je vidět na Obr. 4.3, čemuž odpovídá i změna odporu jednotlivých cest o několik jednotek ohmů. Je patrné, že nanesená vodivá pasta PE-AG530 je schopná vydržet i extrémní namáhání v ohybu a tudíž je její využití pro flexibilní elektroniku více než vhodné.



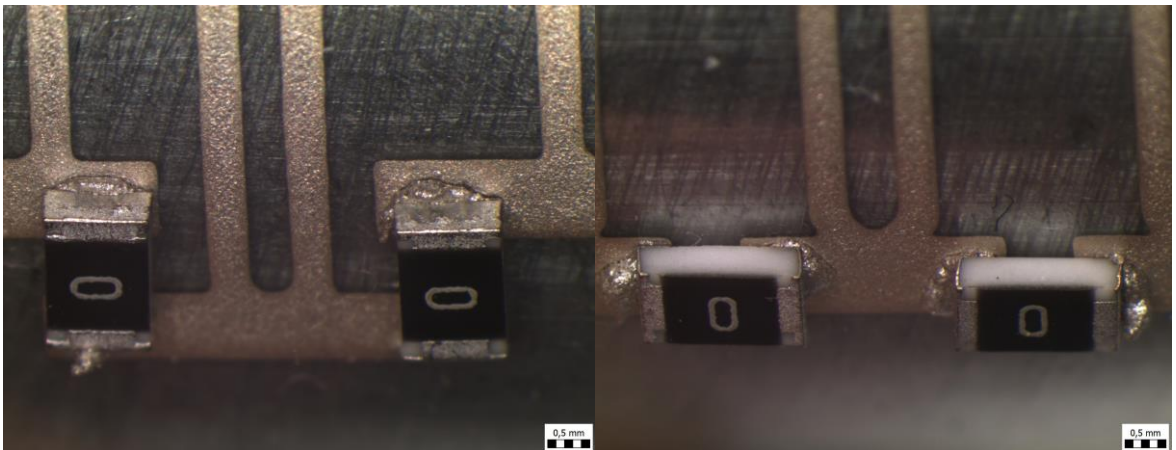
Obr. 4.3: Vodivé cesty po maximálním ohnutí vzorku.

4.1.3 Vzorky s rezistory s vodivým lepidlem 8331S

Všechny vzorky s dvousložkovým lepidlem 8331S byly měřeny čtyřbodovou metodou v ohybu na válečkách o průměru 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm.

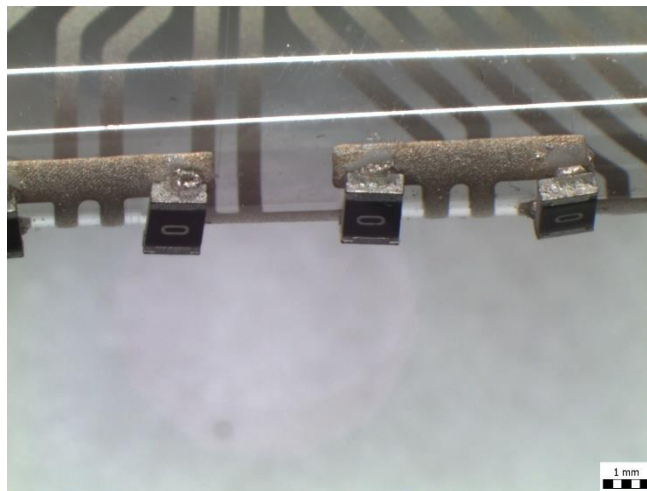
Celkem bylo změřeno 8 vzorků, z toho čtyři vzorky byly se zapojením rezistorů v horizontální poloze a druhá sada čtyř vzorků byla s rezistory ve vertikální poloze.

Při vizuální kontrole vzorků při ohybu na 5mm válečku byla viditelná místa odlomení rezistorů umístěných v horizontální poloze. Naopak u vzorků s vertikálním umístěním rezistorů žádné porušení vidět nebylo.



Obr. 4.4: Porušené spoje s rezistory v horizontální poloze a neporušené spoje s rezistory ve vertikální poloze.

Na Obr. 4.5 je patrné, že vodivá pasta 8331S zůstávala přichycena na rezistoru a odlamovala se od substrátu. Vodivé lepidlo dokonce přilnulo k vodivé cestě na substrátu tak dokonale, že se odtrhávalo i s ní. U rezistorů ve vertikální poloze nebyla viditelná žádná chyba.



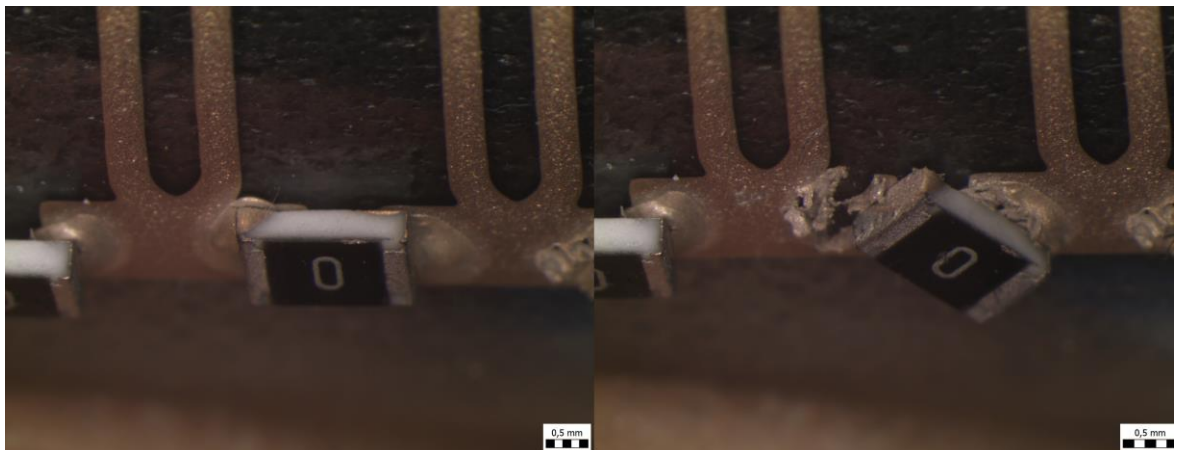
Obr. 4.5: Odlomené horizontálně umístěné rezistory.

4.1.4 Vzorky s rezistory s vodivým lepidlem PC 3201

Lepidlo PC 3201 bylo testováno na vzorcích s horizontálně a vertikálně orientovanými rezistory. Byly měřeny čtyřbodovou metodou na statickém ohýbacím zařízení na válečcích o průměrech 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm. Vodivé lepidlo PC 3201

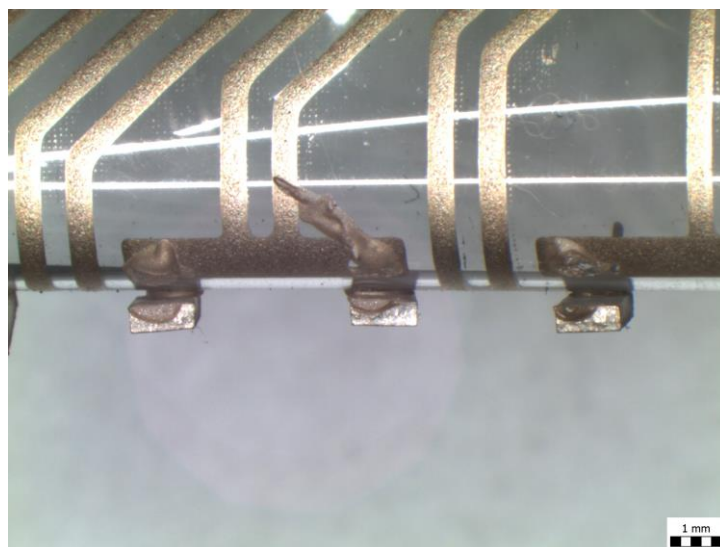
již v počátku vykazovalo problémy, jelikož při manipulaci se vzorky se některé rezistory samovolně uvolnily a odpadly. Z tohoto důvodu bylo měřeno pouze šest vzorků, z nichž tři byly s horizontálně umístěnými rezistory a zbylé tři s rezistory ve vertikální poloze. Později bylo zjištěno, že lepidlo nebylo dostatečně vytvrzeno při umístění vzorků v peci.

Tato teorie se potvrdila i po vizuální kontrole kdy byl rezistor manuálně odstraněn pinzetou, přičemž se vodivé lepidlo částečně rozmazalo, což je patrné na *Obr. 4.5*. Zde je vidět jak je lepidlo stále vazké.



Obr. 4.5: Manuálně odtržený rezistor na vadném vzorku.

Po odtržení součástky při testování zůstávalo vodivé lepidlo PC 3201 jak na substrátu tak rezistoru jak je vidět na *Obr. 4.6*. Protože se lepidlo v některých místech spoje částečně vytvrdilo, docházelo někdy při odtržení součástky i k porušení vodivé cesty na substrátu.

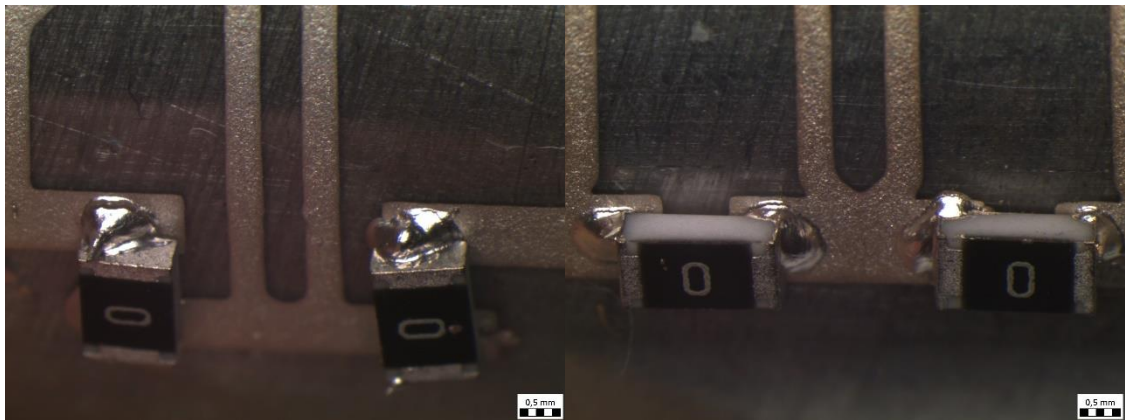


Obr. 4.6: Odtržené součástky po testování vzorků s vodivým lepidlem PC 3201.

4.1.5 Vzorky s rezistory s vodivým lepidlem Ellecolit 3661

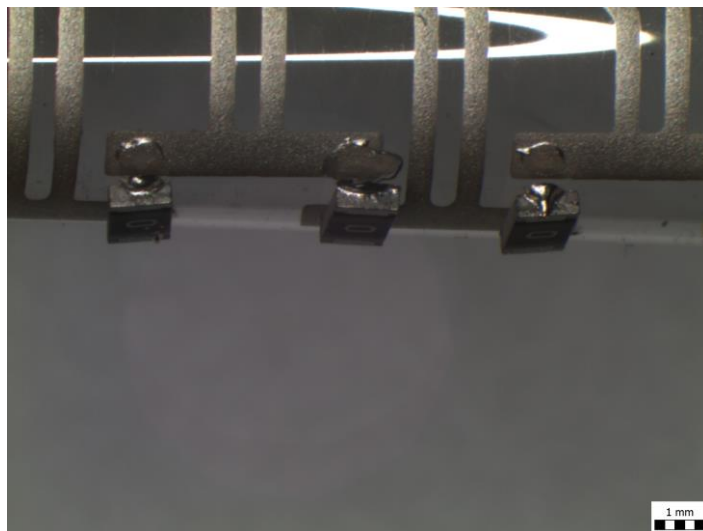
Vzorky s vodivým lepidlem Ellecolit 3661 byly měřeny čtyřbodovou metodou na statickém ohýbacím zařízení. Bylo změřeno celkem osm vzorků, z nichž čtyři byly s rezistory umístěnými v horizontální poloze, a zbylé čtyři vzorky měly rezistory v poloze vertikální. Všechny vzorky byly měřeny na válečcích o průměrech 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm.

Po vizuální kontrole po otestování vzorků byly na vytvrzeném vodivém lepidle vidět místa přerušení vodivého spoje. Na vzorcích s horizontálně umístěnými rezistory jsou pak přerušení v podobě prasklinek znatelnější než na rezistorech s vertikálně umístěnými rezistory viz. *Obr. 4.7.*



Obr. 4.7: Přerušené spoje vzorků s horizontálně a vertikálně umístěnými rezistory.

Po bližším prozkoumání pod mikroskopem je patrné že při odtržení součástky vodivé lepidlo Ellecolit 3661 zůstávalo přichycené s větší částí na rezistorech, viz. *Obr. 4.8.* Na substrátu zůstávala pouze minimální část vodivého lepidla, přičemž při odtržení součástky nedocházelo k porušení vodivých spojů na substrátu. Z čehož se nechá soudit, že lepidlo má lepší přilnavost na kontaktech rezistoru než na vodivých cestách substrátu.



Obr. 4.8: Odlomené horizontálně umístěné rezistory.

5 Vyhodnocení naměřených dat

Tato kapitola pojednává o rozboru naměřených dat při ohybu vzorků s rezistory lepenými vodivými lepidly 8331S, Ellecolit 3661 a PC 3201. Každé vodivé lepidlo se při ohýbání chovalo jinak a pro názornost jsou v kapitole vytvořeny grafy, na kterých je vidět průběh měnícího se odporu v průběhu měření. Nakonec jsou lepidla porovnána a shrnuty jejich výhody a nevýhody.

5.1 Vzorky s vodivým lepidlem 8331S

Po prozkoumání naměřených dat bylo zjištěno, že při ohýbání vzorků narůstá odpor vodivého lepidla. U vzorků s rezistory v horizontální poloze docházelo většinou k poškození cesty při ohýbání vzorků na válečku o průměru 5 mm, jak je znázorněno v *Tab. 5.1*. Pouze na vzorku číslo 5 byla pozorovatelná chyba při ohybu na válečku o průměru 10 mm, kde rezistory číslo 4, 5 a 6 vykazovaly nárůst odporu v řádu desítek ohmů. Vzorky s vertikálně osázenými rezistory měly hodnoty mnohem lepší a k poškození na některých rezistorech nedocházelo ani při ohybu na válečku o průměru 5 mm, jak je vidět z *Tab. 5.2*. Na vzorku číslo 2 dokonce nedošlo k žádnému většímu poškození a byl pouze zaznamenán jen minimální nárůst odporu. Na vzorku číslo 3 muselo dojít k poškození dvou rezistorů a to rezistorů číslo 3 a 4 při manipulaci se vzorkem, jelikož nárůst odporu je zde markantní. Vodivé lepidlo 8331S mělo ze všech měřených vodivých lepidel nejnižší odpor spoje po celou dobu ohýbání u všech testovaných vzorků.

Tab. 5.1: Naměřená data na vzorku č. 6 s rezistory v horizontální poloze.

vzorek č. 6		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
5 mm	5 mm	0,81	1,22	1,19	0,80	1,54	8,38	0,74	0,92	0,99
	4 mm	0,79	1,52	1,42	1,08	1,39	8,93	0,73	1,01	0,93
	3 mm	1,11	1,43	1,86	0,92	1,97	21,71	0,86	1,19	1,17
	2 mm	1,79	10,93	Inf	1,41	11,51	20,26	1,26	2,85	1,46
	1 mm	2,50	56,17	Inf	1,46	24,36		1,12	2,77	1,50
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

Tab. 5.2: Naměřená data na vzorku č. 1 s rezistory ve vertikální poloze.

vzorek č. 1		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
5 mm	5 mm	0,47	0,78	0,73	0,54	0,56	0,96	0,91	0,93	0,64
	4 mm	0,40	0,79	0,77	0,50	0,61	0,93	0,90	1,02	0,55
	3 mm	0,58	0,86	0,84	0,52	0,56	1,09	0,86	1,05	0,65
	2 mm	0,53	0,91	0,89	0,63	0,56	1,02	1,02	1,09	0,69
	1 mm	0,45	0,93	0,93	0,61	0,65	1,12	0,61	1,37	0,48
	0 mm	0,58	0,93	0,95	0,56	0,71	1,04	15,20	Inf	Inf

Z naměřených dat dále plyne, že vzorky s rezistory ve vertikální poloze měly větší odolnost vůči ohybu než vzorky s rezistory v horizontální poloze, protože při ohýbání vzorků na válečku o průměru 5 mm se nakonec odtrhly všechny rezistory v horizontální poloze, ale vzorky s rezistory ve vertikální poloze se odtrhly jen některé.

5.2 Vzorky s vodivým lepidlem PC 3201

Ze získaných dat při testování vodivého lepidla 8331S je zřejmé, že kvalita spojů není v pořádku, jak je vidět z *Tab. 5.3*. Odpor rezistorů kolísá a mnohdy se pohybuje v tisících ohmů již při ohybu na válečku o průměru 40 mm. Bylo zjištěno, že vzorky nebyly řádně vytvrzeny, a proto byl odpor spojů tak vysoký. Na vzorku číslo 6 s rezistory umístěnými horizontálně dokonce rezistory číslo 4 a 8 vykazovaly přerušeni cesty na největším válečku o průměru 40 mm. Pravděpodobně nejlépe vytvrzený je vzorek číslo 3 s vertikálně orientovanými rezistory, kde se odpor spoje pohybuje na velkých válečcích o průměru 40 mm mezi pěti až šesti ohmy. Pouze rezistory číslo 1 a 3 mají hodnoty již v prvopočátku ve stovkách ohmů.

Tab. 5.3: Naměřená data na vzorku č. 4 s rezistory v horizontální poloze.

vzorek č. 4	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]	
40 mm	5 mm	54,47	1874	1565	198,94	341,21	88,56	4329	276,30	1749
	4 mm	69,45	1943	1558	252,69	313,93	88,67	5541	319,49	1674
	3 mm	73,09	1914	1599	240,00	315,89	89,18	5268	212,13	1422
	2 mm	64,02	1793	1616	241,00	346,56	89,59	5234	218,31	1322
	1 mm	63,52	2015	1700	239,75	434,65	86,92	7744	213,13	1592
	0 mm	62,87	2100	2055	239,14	421,31	86,17	7670	215,66	1053

Jelikož lepidlo PC 3201 bylo vytvrzováno pouze 3 minuty při 130 °C, je pravděpodobné, že bylo vloženo do pece na příliš krátkou dobu a lepidlo se nestihlo vytvrdit. Důvodem může být také například únik tepla při otevření pece a vkládání vzorků dovnitř, což by zapříčinilo příliš nízkou teplotu nedostatečnou pro správné vytvrzení lepidla.

5.3 Vzorky s vodivým lepidlem Ellecolit 3661

Z naměřených dat plyne, že vzorky s rezistory v horizontální poloze měly menší výdrž v ohybu, než tomu bylo u vzorků s rezistory ve vertikální poloze. V *Tab. 5.4* je vidět, že na vzorcích s rezistory v horizontální poloze docházelo nejčastěji k poruše již při ohybu na válečku o průměru 25 mm. Také hodnota naměřeného odporu je u tohoto lepidla vyšší a pohybuje se již při prvním ohnutí v jednotkách ohmů. U vzorků s rezistory umístěnými horizontálně se pak hodnota odporu pohybovala v některých případech i v desítkách ohmů.

Jelikož lepidlo Ellecolit 3661 není přímo určené pro flexibilní elektroniku, ale je vhodné pro využití tam, kde se např. vyskytují pouze vibrace, je zcela opodstatněné, že při měření má vyšší hodnotu odporu než vodivé lepidlo 8331S. V *Tab. 5.5* jsou naměřené hodnoty vzorku s vertikálně umístěnými rezistory, které vycházely mnohem lépe a porucha zde nastávala většinou až při nejmenším ohybu na 5 mm válečku.

Tab. 5.4: Naměřená data na vzorku č. 6 s rezistory v horizontální poloze.

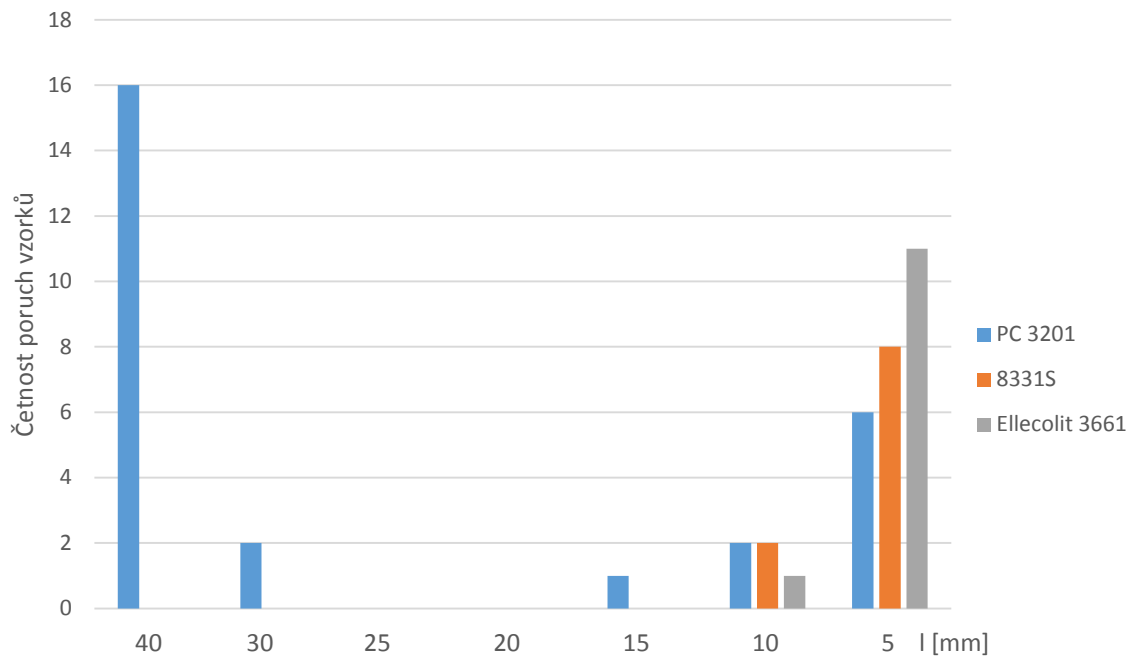
vzorek č. 6		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
25 mm	5 mm	12,96	158,57	13,53	19,11	6,91	4,68	18,52	912,46	54,96
	4 mm	15,84	155,09	14,16	19,39	7,11	5,35	18,62	Inf	163,97
	3 mm	15,29	139,39	14,59	19,86	7,90	6,19	19,29	Inf	9148461
	2 mm	16,46	159,77	15,54	20,49	10,02	14,20	21,47	Inf	Inf
	1 mm	15,84	87,25	16,09	21,48	12,62	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	3217735	101,26	1222	26,15	12,96	Inf	Inf	Inf	Inf

Tab. 5.5: Naměřená data na vzorku č. 3 s rezistory ve vertikální poloze.

vzorek č. 3		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
5 mm	5 mm	1,89	5,88	3,81	3,70	4,55	5,78	14,32	14,48	1,84
	4 mm	1,64	6,01	3,60	3,86	4,37	5,95	14,02	14,39	1,85
	3 mm	1,94	5,91	3,78	3,71	4,42	5,89	14,49	14,33	1,85
	2 mm	1,85	6,04	4,27	4,18	5,94	6,65	15,81	14,95	1,83
	1 mm	2,01	6,61	4,78	Inf	Inf	7,00	15,43	18,53	2,02
	0 mm	1,98	6,33	4,81	Inf	Inf	6,84	17,05	17,44	1,84

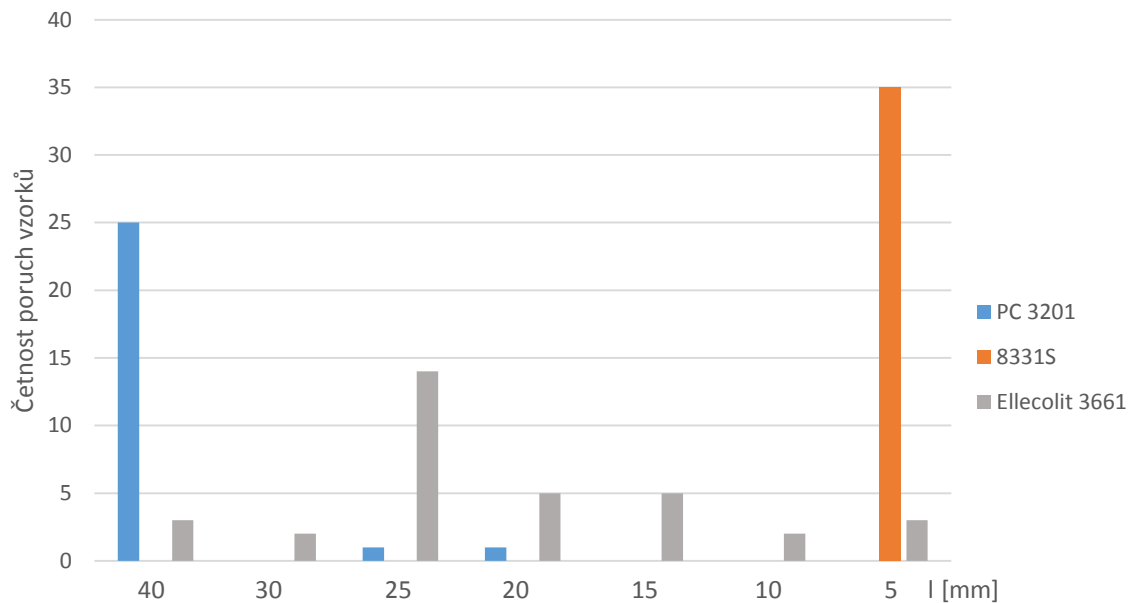
5.4 Shrnutí výsledků naměřených dat

Poruchovost jednotlivých lepidel při testování vzorků v ohybu se značně lišila. Hlavně při testování vzorků s rezistory umístěnými vertikálně a horizontálně jsou značně rozlišné výsledky poruchovosti. U vzorků s rezistory umístěnými vertikálně docházelo u vodivých lepidel 8331S a Ellecolit 3661 k poruše při ohybu na válečku o průměru 10 mm a nejčastěji pak na válečku o průměru 5 mm, jak je vidět i na *Obr. 5.1*. Naopak vodivé lepidlo PC 3201 vykazovalo poruchu již při ohybu na největším válečku o průměru 40 mm. Nejodolnějším lepidlem bylo lepidlo 8331S a to s pouze deseti přerušenými spoji. Vodivé lepidlo Ellecolit 3661 dopadlo při testování o něco hůře, ale i tak mělo pouze 12 porušených spojů. Nejhůře dopadlo vodivé lepidlo PC 3201 s celkem 27 porušenými spoji, z čehož 16 se objevilo již na válečku o průměru 40 mm. Jako porucha byla brána data, která překročila hodnotu 50 Ω .



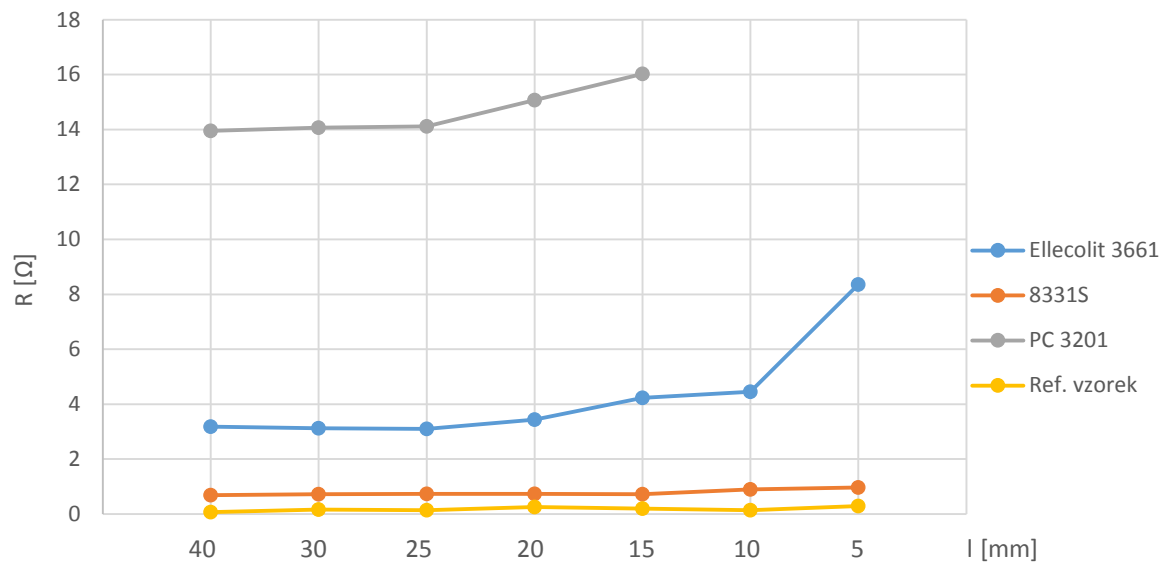
Obr. 5.1: Poruchovost během testování vzorků s vertikálně umístěnými rezistory.

Z Obr. 5.2 je vidět, že porucha nastávala mnohem častěji, než tomu bylo u vzorků s vertikálně umístěnými rezistory. Vodivé spoje vzorků s vodivým lepidlem PC 3201 byly porušeny všechny. U tohoto vodivého lepidla došlo celkem k poruše 25 vodivých spojů na válečku o průměru 40 mm, k jedné poruše na válečku o průměru 25 mm a k jedné poruše na válečku o průměru 20 mm. Vodivé lepidlo Ellecolit 3661 mělo také mnohem horší výsledky než při testování vzorků s vertikálně umístěnými rezistory. Čtrnáct poruch zde nastalo na válečku o průměru 25 mm. Zbytek poruch byl rozptýlen na všech ostatních válečcích a nikdy nepřekročil více jak 5 poruch. Nejlépe v testování vyšlo vodivé lepidlo 8331S s celkovým počtem poruch 35. Všechna přerušení spojů u tohoto lepidla nastala při ohybu na válečku 5 mm. Jako porucha byla brána data, která překročila hodnotu 50 Ω .



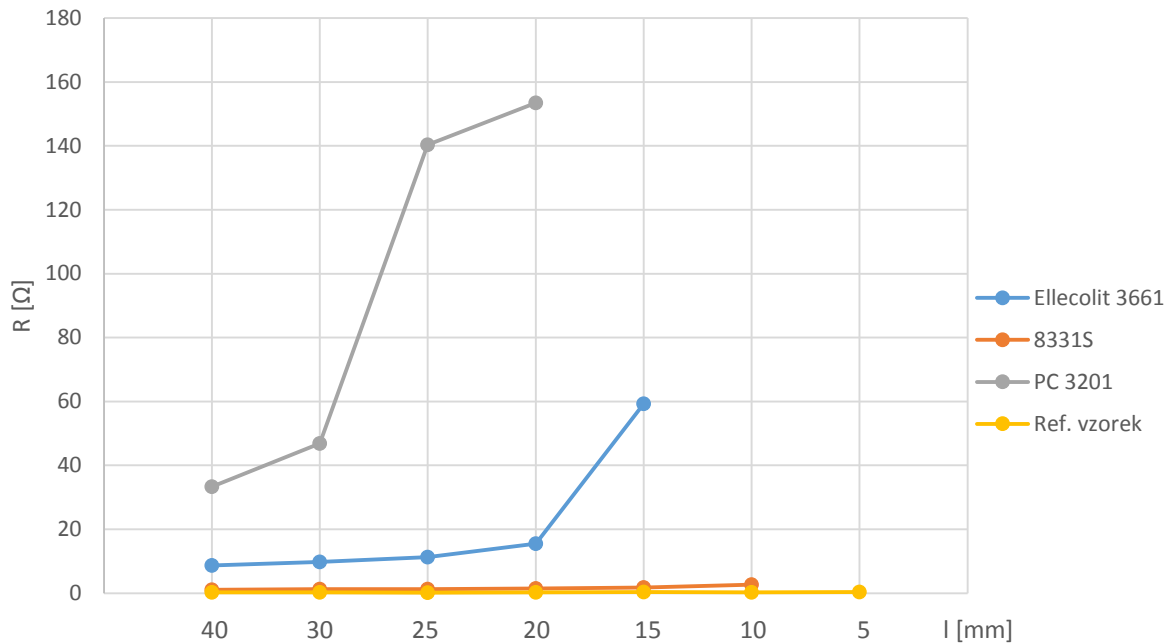
Obr. 5.2: Poruchovost během testování vzorků s horizontálně umístěnými rezistory.

Se snižujícím se průměrem ohybu se u všech vzorků zvyšoval odpor vodivého spoje. Na Obr. 5.3 je znázorněn průběh testovaných vzorků rezistoru ve vertikální poloze při plném napnutí na odpovídající rozměr válečku. Je vidět, že nejlepších výsledků dosahovalo vodivé lepidlo 8331S, které mělo výsledný odpor srovnatelný s referenčním vzorkem a po celou dobu měření byl zaznamenán jen minimální nárůst odporu. O něco horších výsledků dosahovalo vodivé lepidlo Ellecolit 3661, u kterého se odpor začal rapidně zvětšovat při napnutí na menší průměry válečků. Konkrétně mezi ohybem na válečku 10 mm a 5 mm stoupla hodnota odporu přibližně o 4 Ω . Vodivé lepidlo PC 3201 dosahovalo nejhorších výsledků a již v počátku měření mělo vysoké hodnoty odporu. Na válečku o průměru 15 mm dokonce došlo k přerušení cesty.



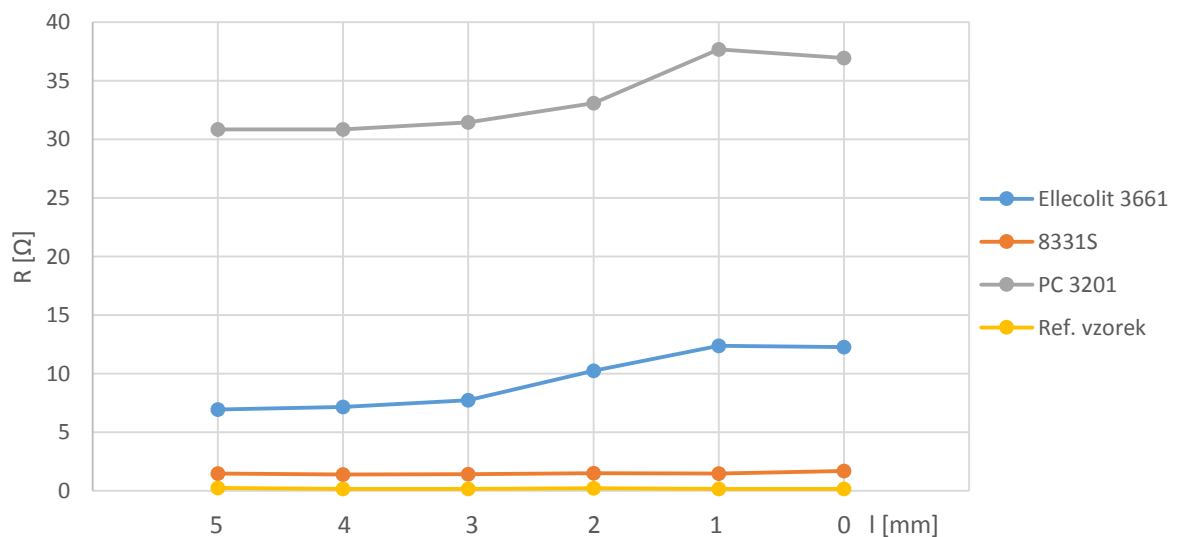
Obr. 5.4: Průběh testování vzorků ve vertikální poloze.

Na Obr. 5.4 jsou znázorněny naměřené hodnoty vzorků s horizontálně umístěnými rezistory. U vzorků s rezistory v horizontální poloze byly naměřené hodnoty odporu u vodivých lepidel Ellecolit 3661 a PC 3201 vyšší než u vzorků s vertikálně umístěnými rezistory. U těchto lepidel docházelo k velkému nárůstu odporu před poruchou samotného spoje. U vzorků s vodivým lepidlem PC 3201 byl nárůst odporu extrémní. Mezi válečkem o průměru 30 mm a 20 mm se zvedla hodnota odporu až na trojnásobek. Vodivé lepidlo Ellecolit 3661 mělo mezi válečky o průměru 20 mm a 15 mm nárůst odporu o přibližně o 20 Ω a na válečku o průměru 10 mm pak došlo k přerušení vodivého spoje. Nejlépe dopadlo vodivé lepidlo 8331S, u kterého se hodnota odporu po celou dobu měření v podstatě neměnila. Pouze mezi válečky o průměru 15 mm a 10 mm došlo k nepatrnému nárůstu odporu a na válečku o průměru 5 mm poté došlo k odtržení.



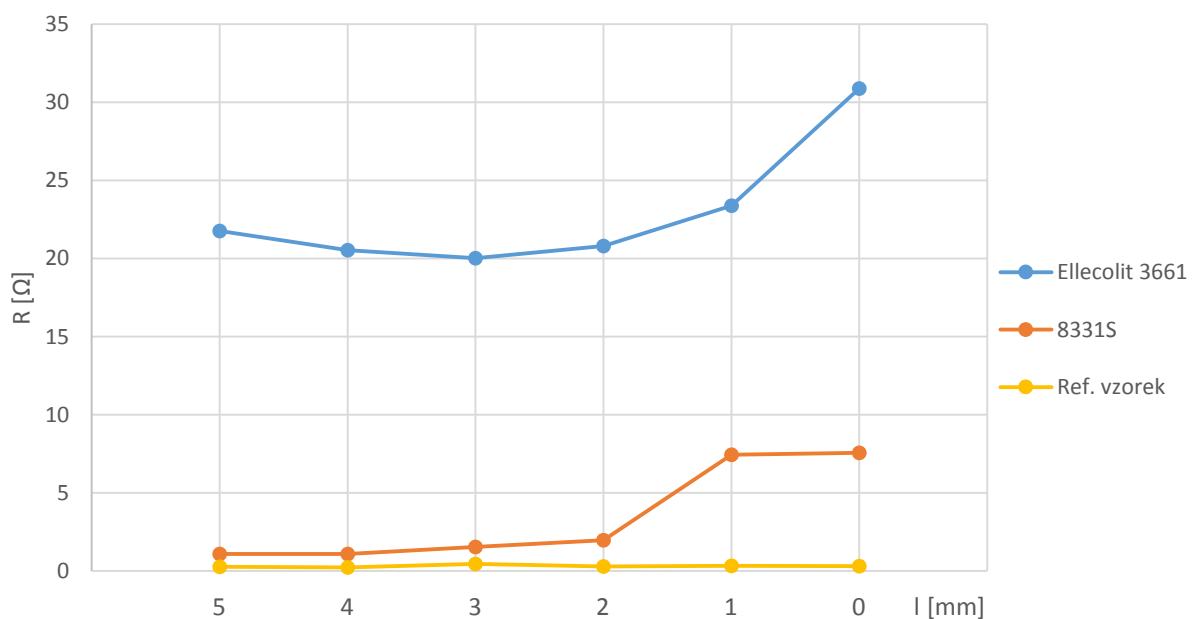
Obr. 5.4: Průběh testování vzorků v horizontální poloze.

Vzorky s rezistory ve vertikální poloze byly napínány na váleček o průměru 10 mm postupně po krocích 1 mm jak je vidět na Obr. 5.5. Odpor viditelně roste s napínáním vzorku na váleček. U vodivého lepidla PC 3201 jsou hodnoty odporu nejvyšší. Odpor vodivé cesty vzrostl od začátku napínání vzorku po jeho úplné napnutí o přibližně 6 Ω. U vodivého lepidla Ellecolit 3661 byl nárůst odporu přibližně o 5 Ω, ale hodnota odporu vodivé cesty byla mnohem menší a začínala na hodnotě 6,93 Ω. Nejlépe se během testování chovalo vodivé lepidlo 8331S, které mělo hodnoty přibližně o 1 Ω, vyšší než hodnoty naměřené na referenčním vzorku po celou dobu napínání.



Obr. 5.5: Průběh odporu vzorků s rezistory ve vertikální poloze spoje na válečku o průměru 10 mm.

Na Obr. 5.6 jsou znázorněny průběhy pouze vodivých lepidel Ellecolit 3661 a 8331S, jelikož všechny vzorky vodivého lepidla PC 3201 byly při ohybu na válečku o průměru 10 mm již porušené. U vodivého lepidla Ellecolit 3661 odpor vodivého spoje ze začátku ohýbání mírně klesal, což mohlo být způsobeno již částečně porouchaným spojem, kde se část plošky, která již byla poškozená vlivem napínání, přitiskla více na substrát a došlo tak ke snížení odporu. Ve vzdálenosti 3 mm od úplného napnutí vzorku na váleček ale hodnota znovu začala růst. Odpor u tohoto lepidla se zvednul o přibližně 11Ω . Vodivé lepidlo 8331S mělo velký nárůst odporu mezi 2 mm a 1 mm od úplného napnutí. Hodnota odporu u tohoto lepidla vzrostla přibližně o 7Ω .



Obr. 5.5: Průběh odporu vzorků s rezistory v horizontální poloze na válečku o průměru 10 mm.

Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci zařízení pro testování flexibilních elektronických systémů v ohybu. Na navrženém testovacím zařízení byly experimentálním způsobem ověřeny testovací postupy a naměřena data na sadě vzorků osazené SMD rezistory s pouzdrem 0805. Rezistory byly lepeny vodivými lepidly 8331S, PC 3201 a Ellecolit 3661. Z experimentálního měření vychází, že použitá metoda měření i měřící zařízení je plně schopné testovat flexibilní systémy v ohybu a detekovat na vzorcích případné poruchy. Vzniklá poškození jsou pak jednoznačně patrná z naměřených dat a vizuální kontroly. U vodivého lepidla PC 3201 pak byly zjištěny vysoké hodnoty odporu pohybující se v řádech stovek až tisíců ohmů. Až po vizuální kontrole bylo ale zcela jasné, že důvodem takto vysokého odporu vodivého spoje je nedostatečně vytvrzené vodivé lepidlo. Zbylá dvě vodivá lepidla z naměřených dat i z vizuální kontroly nevykazovala špatné vytvrzení.

Praktická část je věnována výběru součástek pro vzorky určené k testování. Následně je v diplomové práci řešený návrh vzorků v programu Eagle. Vzorky byly navrženy pro rezistory s nulovým odporem o velikosti pouzdra 0805 umístěné v horizontální a vertikální poloze. Dále byly navrženy referenční vzorky pro zjištění případných chyb měření a nakonec byly navrženy i vzorky pro osazení QFN čipy, které mají propojené jednotlivé vývody, aby tvořily vodivý řetězec. Ze všech navržených vzorků nebyly osazeny pouze vzorky s QFN čipy z důvodu velké náročnosti na přesnost osazování. Pro každé vodivé lepidlo bylo realizováno 10 vzorků, na které bylo osazeno celkem 270 SMD rezistorů. U vodivého lepidla PC 3201 došlo bohužel při měření k znehodnocení čtyř vzorků. Důvodem znehodnocení vzorků bylo samovolné uvolnění SMD rezistorů při manipulaci. Pro vícekanálové měření vzorků pomocí multiplexoru byla také v programu Eagle navržena a následně zrealizována propojovací deska. Další část práce se zabývá návrhem a realizací testovacího zařízení pro testování flexibilní elektroniky v ohybu. Vzorky byly měřeny při ohybu na válečcích o průměrech 40 mm, 30 mm, 25 mm, 15 mm, 10 mm a 5 mm.

Celkem bylo naměřeno a zpracováno 7785 hodnot. Ze získaných dat vyplývá, že nejlepších hodnot při ohybu dosahovalo vodivé lepidlo 8331S od společnosti MG Chemicals. K poruše spoje u něj docházelo nejméně ze všech testovaných lepidel převážně na nejmenším testovaném válci o průměru 5 mm. Vodivé lepidlo Ellecolit 3661 mělo naměřené hodnoty odporu vyšší než 8331S. Toto lepidlo však není přímo určené pro flexibilní elektroniku a proto jsou vyšší

hodnoty odporu zcela opodstatněné. K poruše docházelo nejčastěji na válci o průměru 25 mm. Nejhůře v testu dopadlo vodivé lepidlo PC 3201 od společnosti Heraeus. Na vodivých cestách se zde objevovala porucha již při ohybu na největším válci o průměru 40 mm. Z naměřených hodnot a vizuální kontroly bylo ale zjištěno, že vodivé lepidlo nebylo dostatečně vytvrzeno. Při čtyřbodovém měření referenčních vzorků bylo zjištěno, že odpor vodivého propojovacího motivu realizovaného pastou PE-AG530 při ohybu se pohyboval od 0,04 do 0,4 Ω a tudíž neměl vliv na měřené hodnoty testovaných vodivých lepidel.

Výhodami navržené metody pro testování vzorků v ohybu je její dobrá opakovatelnost a možné použití v budoucnu pro testování různých flexibilních systémů na Západočeské univerzitě. Na vzorek při ohýbání působí vždy stejná síla díky využití krokového motoru, což je výhodou oproti manuálnímu ohýbání vzorků, kde na každý testovaný vzorek je působeno vždy jinou silou. Na uvedeném zařízení je rovněž možné testovat vzorky i pomocí tzv. dynamického ohybu. Nevýhodou zařízení při provozu v dynamickém režimu testování je použitý krokový motor, který je hlučný, pomalý a při delším používání se přehřívá a musí se proto stále chladit. Pro budoucí testování na tomto zařízení bych doporučil návrh méně složité výměny válečků pro ohýbání vzorků tak, aby se během jejich výměny nemuselo manipulovat s testovaným vzorkem. Jakákoliv manipulace se vzorkem během testování totiž může vést ke zkreslení naměřených dat.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] A flexible material for bendable electronics and sensors. N. JACKSON, Thomas. *IEEE* [online]. USA, 2016 [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7450192/>
- [2] WONG, William.S. a Alberto SALLEO. *Flexible Electronics: Materials and Applications*. Palo Alto, CA, USA: Springer Science & Business Media, 2009, 462 s. ISBN 978-0-387-74362-2. Dostupné také z: 10.1007/978-0-387-74363-9
- [3] REUSS, Robert H., Gregory B. RAUPP a Bruce E. GNADE. *Special Issue on Advanced Flexible Electronics for Sensing Applications* [online]. 2015 [cit. 2017-05-02]. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2414486. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7110428>
- [4] SUAREZ, Francisco a Mehmet OZTURK. *Flexible thermoelectric device* [online]. NC State University [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://licensing.research.ncsu.edu/technologies/15209_flexible-thermoelectric-device-also-includes-14097
- [2] FLEX-E-TEST. *ESI* [online]. Erich Schmid Institute, Leoben, Austria [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://esi.oew.ac.at/project/flex-e-test>
- [5] NORDRUM, Amy. *CES 2017: Panasonic Shows Off a Bendable Lithium-ion Battery for IoT, Wearables* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/consumer-electronics/portable-devices/ces-2017-panasonic-shows-off-bendable-lithiumion-battery-for-iot-wearables>
- [6] MCALPINE, Katherine. *Transparent silver: Tarnish-proof films for flexible displays, touch screens, metamaterials* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://ns.umich.edu/new/releases/24683-transparent-silver-tarnish-proof-films-for-flexible-displays-touch-screens-metamaterials>
- [7] SZENDIUCH, Ivan. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-3292-6.
- [8] LICARI, James J. a Dale W. SWANSON. *Adhesives technology for electronic applications: materials, processing, reliability*. 2nd ed. Boston: William Andrew Pub., 2011. ISBN 978-1-4377-7889-2.
- [9] Jet Technology: Advancements in Fluid Dispensing. *Techkon systems* [online]. OK International [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.techconsystems.com/images/companies/pdf/articles/Jet-Tech-Advantages-Internal.pdf>
- [10] Screen printing for silicon PV devices. *Photovoltaic devices* [online]. 2015 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://people.maths.ox.ac.uk/breward/research_photovoltaic.html

- [11] Nevakuové depozice materiálů. *Multimediální výukový systém* [online]. Brno: UMEL FEKT VUT, 2007 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/multimedialni-ucebnice/depozice-a-osazovani/>
- [12] WANG, Fuliang, Peng MAO a Hu HE. Dispensing of high concentration Ag nanoparticles ink for ultra-low resistivity paper-based writing electronics. *Scientific reports* [online]. China, 2016 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/srep21398>
- [13] KRČMÁŘ, Ondřej. *Elektricky vodivá adheziva pro flexibilní substráty*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita. Vedoucí práce Ing. Radek Soukup, Phd.
- [14] Typické parametry lepidel v elektrotechnice a mikroelektronice. HOF, Manfred a Tomáš BRAVENÝ. *Elektronika od A do Z* [online]. Liberec: CLIQUO & Binteractive, 2013 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:4943/typicke-parametry-lepidel-v-elektrotechnice-a-mikroelektronice>
- [15] FLEX-E-TEST. *ESI* [online]. Erich Schmid Institute, Leoben, Austria [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://esi.oeaw.ac.at/project/flex-e-test>
- [16] Flexibility Testing Strategies and Apparatus for Flexible Electronics. LI, Haoyu U. A Thomas N. JACKSON. *IEEE* [online]. USA, 2016 [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7450192/>
- [17] *Reliability studies on printed conductors on flexible substrates under cyclic bending* [online]. University of Oulu, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering, 2016 [cit. 2017-05-06]. ISBN 978-952-62-1241-5. Dostupné z: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526212425.pdf>
- [18] MULTICOMP MCWR06X000 PTL SMD Čipový Rezistor. *Farnell* [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/multicomp/mcwr06x000-ptl/res-thick-film-0-ohm-jumper-0/dp/2447743>
- [19] QFN chip. *Practical components* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.practicalcomponents.com/>
- [20] Eagle. *Eagle* [online]. ELCAD, 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.eagle.cz/>
- [21] *Farnell* [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://uk.farnell.com/molex/52207-2033/socket-ffc-fpc-smt-1mm-20way/dp/2361297?ost=236-1297>
- [22] Malinex 506. *HIFI Industrial film* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.hififilm.com/product/melinex-506/>
- [23] PE AG-530. *Applied Ink Solutions* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.appliedinksolutions.com/silver-inks/ag-530-silver-conductive-ink.html>

- [24] PC 3201. *Heraeus* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.heraeus.com/en/group/home/home.aspx>
- [25] 8331S. *MG Chemicals* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.mgchemicals.com/downloads/tds/tds-8331s-2parts.pdf>
- [26] Ellecolit 3661. *Panacol* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.panacol.com/fileadmin/pdfs/Ellecolit-3661-english-TDS-Panacol-adhesive.pdf>
- [27] Two-Wire vs. Four-Wire Resistance Measurements. *Keithley* [online]. 2013 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/document/resources/2Wire_4Wire%20Resistance%20Article.pdf

Přílohy

Seznam příloh

A Naměřené hodnoty vzorků s vodivým lepidlem PC 3201

B Naměřené hodnoty vzorků s vodivým lepidlem 8331S

C Naměřené hodnoty vzorků s vodivým lepidlem Ellecolit 3661

D Naměřené hodnoty referenčních vzorků

E Návrh vzorků v programu Eagle s SMD rezistory 0805

F Návrh vzorků v programu Eagle s QFN čipy

A Naměřené hodnoty vzorků s vodivým lepidlem PC 3201

č. vzorku č. rezistoru

	1_I	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	13,78	15,45	80,52	50,97	72,73	13,89	24,83	42,26	12,62
	4 mm	13,95	15,73	78,70	50,01	76,14	14,03	25,03	41,84	12,50
	3 mm	14,11	15,72	78,06	485,24	101,62	13,93	25,59	41,24	12,50
	2 mm	14,97	16,05	80,02	419,28	101,93	13,79	26,52	41,10	13,88
	1 mm	16,10	16,28	10,06	156,17	103,58	13,98	28,81	40,74	14,36
	0 mm	110,56	16,49	10,03	148,56	101,63	13,95	28,79	41,92	16,05
30 mm	5 mm	136,67	19,95	13,94	117,49	102,93	14,03	34,02	42,67	45,84
	4 mm	133,34	32,41	13,97	117,66	102,69	13,94	34,40	41,68	36,14
	3 mm	137,99	54,90	14,00	122,01	109,27	14,06	35,90	46,57	36,58
	2 mm	17,87	44,65	13,82	132,97	107,69	14,05	43,16	46,04	70,32
	1 mm	18,52	66,67	13,83	178,23	107,38	14,03	43,15	46,18	152,24
	0 mm	118,99	78,73	13,62	154,93	107,58	14,07	43,14	48,64	217,49
25 mm	5 mm	81,76	39,48	14,50	184,26	232,39	14,02	43,48	42,58	137,78
	4 mm	54,50	27,34	14,17	169,60	217,86	14,04	43,46	41,54	109,09
	3 mm	36,64	21,61	14,24	161,61	200,62	14,08	43,37	45,67	106,12
	2 mm	33,83	22,27	14,05	158,95	197,95	14,23	43,25	45,29	107,32
	1 mm	33,47	155,88	14,08	165,88	194,74	14,15	43,21	49,67	97,36
	0 mm	67,87	160,09	13,98	166,62	194,39	14,12	43,36	45,71	99,77
20 mm	5 mm	21,32	50,71	72,65	121,32	202,14	14,48	43,67	44,66	118,46
	4 mm	28,75	47,05	71,18	74,13	202,45	14,74	43,02	49,19	119,45
	3 mm	55,92	48,28	72,00	149,51	201,73	14,78	42,95	45,77	120,26
	2 mm	55,08	49,47	73,45	213,17	197,22	14,83	42,85	49,25	126,57
	1 mm	156,54	57,93	74,98	168,39	196,22	15,01	43,03	48,93	123,85
	0 mm	146,12	46,81	81,71	169,35	195,60	15,07	42,97	48,61	145,72
15 mm	5 mm	84,77	52,51	89,12	218,26	226,30	15,82	43,70	46,22	100,81
	4 mm	154,42	59,08	83,04	201,42	226,38	15,87	43,61	48,07	89,29
	3 mm	28,12	92,49	78,72	279,05	565,65	15,99	42,83	56,39	89,35
	2 mm	28,10	66,79	78,86	173,99	520,41	15,97	42,96	50,31	88,96
	1 mm	27,69	70,76	78,10	172,18	444,57	15,90	44,62	46,96	87,02
	0 mm	27,79	114,57	77,99	165,14	435,64	16,03	44,26	46,16	87,12
10 mm	5 mm	28,91	110,40	76,93	185,29	313,05	16,00	44,23	50,86	143,22
	4 mm	28,44	110,56	76,45	232,01	254,19	15,92	48,16	55,40	118,54
	3 mm	30,61	59,85	75,40	115,09	319,47	16,08	46,80	50,75	150,60
	2 mm	31,58	59,92	75,45	147,98	207,41	16,15	49,05	50,51	136,92
	1 mm	45,96	61,07	74,05	200,41	267,29	16,09	48,83	47,92	136,22
	0 mm	79,83	60,92	73,18	273,70	227,75	178,36	48,89	Inf	Inf
5 mm	5 mm	70,02	63,97	73,12	266,57	316,52	22,16	47,85	Inf	Inf
	4 mm	67,43	72,12	72,99	218,95	441,46	16,03	49,20	Inf	Inf
	3 mm	69,36	77,92	72,51	101,25	434,14	16,21	49,52	Inf	Inf
	2 mm	63,52	78,13	72,02	132,17	244,95	16,25	46,01	Inf	Inf

	1 mm	63,47	78,19	73,26	144,28	223,86	16,18	55,91	Inf	Inf
	0 mm	77,59	78,47	72,94	312,87	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

		2_l	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	264,68	155,23	559,32	96,64	920,39	537,45	773,60	37,58	362,68	
	4 mm	263,62	150,65	557,81	98,70	898,64	464,51	694,99	35,25	378,46	
	3 mm	253,37	142,32	545,79	95,18	886,66	461,75	671,77	33,39	395,78	
	2 mm	239,69	143,79	547,50	91,50	881,49	455,67	695,70	60,99	355,79	
	1 mm	226,31	156,86	552,06	89,91	868,64	423,27	718,69	59,39	362,19	
	0 mm	242,82	150,65	539,03	89,54	874,55	411,13	731,71	56,01	397,42	
30 mm	5 mm	238,39	443,13	856,63	101,79	1145,47	392,82	644,40	24,00	53,74	
	4 mm	237,76	539,19	825,88	110,20	1125,96	391,12	666,62	14,99	53,85	
	3 mm	232,47	519,95	841,09	114,19	1100,36	389,53	643,99	16,00	54,70	
	2 mm	223,75	581,42	810,70	117,54	1099,91	389,41	574,22	13,15	133,56	
	1 mm	222,53	448,49	793,62	93,82	1104,08	386,98	600,88	13,69	144,20	
	0 mm	216,61	442,41	801,97	93,36	1043,87	386,64	646,14	13,37	137,89	
25 mm	5 mm	225,35	449,93	227,95	322,34	952,35	365,15	419,17	13,67	128,61	
	4 mm	236,69	407,87	214,99	307,41	944,19	365,63	412,97	13,57	129,01	
	3 mm	233,94	365,61	230,69	224,45	905,98	331,60	404,51	13,54	137,42	
	2 mm	249,78	365,70	172,55	230,33	876,10	330,81	402,75	13,28	135,25	
	1 mm	219,61	432,72	115,35	242,39	929,41	325,24	407,23	13,90	135,85	
	0 mm	196,40	426,22	123,62	222,85	827,02	321,46	406,64	13,93	134,01	
20 mm	5 mm	16,44	16,34	120,83	441,56	839,86	346,47	425,22	14,14	162,39	
	4 mm	16,25	16,47	117,94	326,04	832,87	343,34	416,76	14,03	128,69	
	3 mm	16,96	16,51	108,03	174,26	848,05	341,91	415,66	13,82	128,19	
	2 mm	16,62	16,59	107,42	197,26	802,43	340,93	423,84	13,86	126,78	
	1 mm	16,45	16,59	108,78	199,17	737,66	336,73	407,43	13,87	124,09	
	0 mm	16,96	16,59	106,82	191,67	658,83	335,45	423,84	14,01	127,95	
15 mm	5 mm	31,79	17,67	37,79	411,91	158,87	317,80	386,55	15,52	123,80	
	4 mm	31,72	17,72	35,16	367,47	158,52	316,79	362,80	16,49	126,05	
	3 mm	31,50	17,69	32,03	359,51	292,51	309,49	332,71	10,15	127,66	
	2 mm	34,20	17,81	32,24	218,66	189,10	284,65	331,82	10,22	128,68	
	1 mm	33,11	17,82	32,75	229,36	189,75	267,09	309,01	10,14	120,48	
	0 mm	32,89	17,63	33,00	214,36	194,43	241,34	294,98	10,19	129,03	
10 mm	5 mm	36,09	17,97	30,85	313,32	242,77	261,36	331,03	10,31	129,40	
	4 mm	35,35	17,90	30,86	354,51	259,20	260,35	341,54	10,39	117,32	
	3 mm	35,12	17,96	31,45	270,28	238,10	242,38	343,52	10,56	112,02	
	2 mm	37,37	17,99	33,10	243,83	243,26	242,69	326,81	10,48	112,95	
	1 mm	34,31	17,85	37,68	266,13	233,08	240,29	326,57	10,42	116,54	
	0 mm	37,35	17,37	36,93	267,12	240,36	240,94	314,77	10,62	120,72	
5 mm	5 mm	67,84	17,91	40,97	57,79	758,54	250,69	338,78	10,75	56,58	
	4 mm	23,51	17,96	37,96	49,98	Inf	247,23	322,49	10,62	56,28	
	3 mm	27,25	18,26	37,31	272,79	Inf	Inf	343,11	10,61	55,97	

	2 mm	27,91	18,29	38,65	278,26	Inf	Inf	329,14	10,54	55,47
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

	3_I	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	72,53	9,77	114,03	6,22	6,95	12,58	48,66	6,70	5,38
	4 mm	394,95	9,80	114,42	6,30	6,87	12,72	48,40	6,89	5,21
	3 mm	334,72	9,88	114,82	6,34	6,95	12,71	48,28	6,71	5,42
	2 mm	244,16	9,95	115,15	6,29	7,16	12,54	52,23	6,85	5,37
	1 mm	240,44	9,85	115,95	6,33	7,11	12,76	68,40	6,80	5,44
	0 mm	232,59	9,90	116,31	6,49	7,00	12,86	66,88	6,88	5,65
30 mm	5 mm	149,45	9,94	119,48	6,42	7,33	14,44	72,27	6,68	6,20
	4 mm	351,73	9,92	119,95	6,42	7,28	14,48	69,64	6,82	6,04
	3 mm	413,80	9,91	117,21	6,42	7,31	14,44	69,93	6,95	6,26
	2 mm	412,24	10,09	117,17	6,28	7,51	14,25	69,39	6,95	6,20
	1 mm	364,52	10,05	116,95	6,19	7,50	14,32	68,69	6,85	6,19
	0 mm	380,74	9,97	117,02	6,22	7,48	14,21	68,60	6,90	6,08
25 mm	5 mm	251,53	10,09	118,00	6,42	7,47	14,50	869,52	6,82	6,58
	4 mm	239,15	9,97	118,20	6,47	7,37	14,54	885,80	7,04	6,43
	3 mm	245,24	9,99	118,16	6,42	7,47	14,51	802,15	7,02	6,79
	2 mm	163,34	10,07	118,54	6,40	7,50	14,44	765,38	7,11	6,62
	1 mm	162,41	9,93	118,63	6,50	7,41	14,46	693,43	6,97	6,72
	0 mm	165,23	10,04	118,60	6,61	7,38	14,55	746,16	7,04	6,67
20 mm	5 mm	175,33	10,13	120,37	6,94	7,38	14,75	894,21	9,34	9,12
	4 mm	144,73	10,12	120,75	6,84	7,47	14,70	899,97	9,29	9,31
	3 mm	154,64	10,13	120,47	7,07	7,36	14,79	779,34	9,28	8,91
	2 mm	140,38	10,11	120,83	7,53	7,36	14,77	702,88	9,40	8,82
	1 mm	139,47	10,09	121,29	8,43	7,36	14,75	625,59	9,40	9,02
	0 mm	138,32	10,06	121,73	9,07	7,51	14,74	787,96	9,41	8,91
15 mm	5 mm	133,88	10,24	213,32	9,39	7,41	14,82	602,34	10,39	10,81
	4 mm	137,41	10,28	218,59	9,38	7,41	14,88	750,64	11,97	11,19
	3 mm	134,03	10,38	219,34	8,95	7,63	14,72	579,82	14,80	11,08
	2 mm	130,96	10,20	140,64	9,09	7,51	14,80	593,72	24,57	11,83
	1 mm	133,89	10,27	160,57	9,22	7,46	14,98	585,26	21,76	13,25
	0 mm	172,34	10,36	114,08	9,01	7,67	14,75	868,25	21,52	11,87
10 mm	5 mm	149,78	10,48	105,56	9,74	7,44	15,14	190,67	20,08	17,52
	4 mm	144,62	10,60	176,02	9,52	7,69	14,82	203,17	19,93	19,61
	3 mm	136,36	10,57	173,17	9,34	7,64	14,86	106,98	19,74	15,31
	2 mm	138,97	10,50	168,86	9,34	7,57	14,98	130,84	22,48	14,07
	1 mm	132,06	10,45	169,43	9,28	7,71	14,85	109,81	25,09	13,93
	0 mm	150,78	10,60	141,39	9,34	7,72	14,86	101,48	20,11	13,67
5 mm	5 mm	145,28	11,90	208,11	9,83	7,86	15,85	160,90	19,27	35,71
	4 mm	142,21	11,84	177,92	9,99	7,85	15,60	164,61	Inf	41,82

	3 mm	141,79	11,16	181,82	11,82	7,71	15,77	Inf	Inf	Inf
	2 mm	142,10	11,38	140,54	12,87	7,62	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	142,57	11,74	209,74	Inf	7,78	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	142,46	11,88	209,71	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

	4_I	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	54,47	1874	1565	198,94	341,21	88,56	4329	276,30	1749
	4 mm	69,45	1943	1558	252,69	313,93	88,67	5541	319,49	1674
	3 mm	73,09	1914	1599	240,00	315,89	89,18	5268	212,13	1422
	2 mm	64,02	1793	1617	241,00	346,56	89,59	5234	218,31	1322
	1 mm	63,52	2015	1701	239,75	434,65	86,92	7744	213,13	1592
	0 mm	62,87	2100	2056	239,14	421,31	86,17	7670	215,66	1053
30 mm	5 mm	104,78	1918	5685	241,02	51848	94,77	68553	41856	1353
	4 mm	104,32	1881	6293	231,26	43899	90,40	70823	42697	1355
	3 mm	140,71	1912	9265	235,59	50175	91,88	45206	5264	1413
	2 mm	153,97	1811	4933	238,27	60563	94,76	38192	29520	1316
	1 mm	164,92	1904	9230	242,36	52178	94,51	26907	15734	1302
	0 mm	185,49	1949	7474	260,89	7863	93,62	28864	22123	1281
25 mm	5 mm	119,27	489,64	7122	1236	40452	93,63	1586	4864	1938
	4 mm	116,50	473,41	3142	1160	32553	102,94	3072	2922	2041
	3 mm	95,83	458,44	1535	1238	17326	111,15	3612	1688	3790
	2 mm	96,09	340,10	1339	1188	25542	104,15	47355	2938	1469
	1 mm	107,17	322,43	1304	125,73	25605	102,89	3343	2290	1499
	0 mm	120,95	335,69	1323	142,22	27398	101,83	4168	1303	1322
20 mm	5 mm	195,24	509,65	1531	405,65	20061	110,54	54236	604,32	1142
	4 mm	195,28	533,30	1519	329,33	27344	110,77	87293	778,61	1330
	3 mm	146,72	429,32	1541	1028	Inf	110,55	58146	889,81	1169
	2 mm	161,24	425,80	1386	Inf	Inf	117,37	30280	1132	1568
	1 mm	162,09	477,58	1399	Inf	Inf	117,18	Inf	744,03	1151
	0 mm	145,94	865,92	1560	Inf	Inf	156,21	Inf	511,84	1091
15 mm	5 mm	194,82	1932	3142	Inf	Inf	484,77	Inf	2911	1856
	4 mm	196,18	2095	4502	Inf	Inf	485,84	Inf	1355	2263
	3 mm	210,21	1434	29265	Inf	Inf	484,65	Inf	3409	1564
	2 mm	189,88	2520	26524	Inf	Inf	476,14	Inf	1774	1856
	1 mm	220,76	1395	Inf	Inf	Inf	514,32	Inf	1403	1784
	0 mm	234,66	Inf	Inf	Inf	Inf	601,66	Inf	Inf	1830
10 mm	5 mm	70,08	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	46,27	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	41,70	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	40,10	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	38,73	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	39,72	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
5	5 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

	4 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

	5_I	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	122,16	162,76	4705	135,57	3038	3076	88254	3579	3294
	4 mm	122,18	162,37	5972	138,50	3410	3453	98631	3822	3610
	3 mm	135,96	169,31	15574	90,15	5016	1506	91750	3878	4278
	2 mm	152,30	187,49	50476	90,47	2969	1516	66536	4938	3604
	1 mm	148,14	168,15	3784	91,41	3637	1366	58876	4393	4834
	0 mm	149,56	166,35	3110	95,13	3723	1216	61991	5343	5355
30 mm	5 mm	274,51	319,01	19153	127,28	3984	1956	Inf	2108	8597
	4 mm	271,54	314,14	40694	276,29	3709	2118	Inf	2106	9364
	3 mm	263,71	331,36	26850	330,89	3877	2132	Inf	2693	5654
	2 mm	262,06	372,38	31509	333,33	6216	2218	Inf	25439	2765
	1 mm	644,87	317,39	53523	341,84	5337	2276	Inf	2550	7430
	0 mm	676,72	313,02	Inf	369,02	Inf	2417	Inf	3061	5921
25 mm	5 mm	28,28	230,27	Inf	294,88	Inf	3992	Inf	2198	5613
	4 mm	27,96	234,75	Inf	294,94	Inf	3737	Inf	1832	3851
	3 mm	27,15	227,65	Inf	296,67	Inf	3509	Inf	2233	4721
	2 mm	28,84	259,64	Inf	294,39	Inf	3879	Inf	2265	4603
	1 mm	30,41	237,98	Inf	304,59	Inf	Inf	Inf	Inf	4977
	0 mm	40,13	255,39	Inf	399,20	Inf	Inf	Inf	Inf	3525
20 mm	5 mm	35,71	1479,30	Inf	376,42	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	36,49	2523,95	Inf	291,03	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	36,87	1365,25	Inf	334,89	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	68,30	1365,73	Inf	310,27	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	72,42	2750,19	Inf	300,83	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	98,78	2740,60	Inf	294,55	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
15 mm	5 mm	82,43	1537,00	Inf	643,60	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	103,54	1580,29	Inf	649,56	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	104,71	1459,04	Inf	634,35	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	105,71	1514,22	Inf	747,49	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	103,98	Inf	Inf	706,48	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
10 mm	5 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
5 mm	5 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

6_I		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	4,46	32,24	967,71	Inf	2521	122,78	189,46	Inf	76,46
	4 mm	4,77	33,05	948,91	Inf	2456	123,40	190,29	Inf	76,22
	3 mm	4,37	32,20	955,09	Inf	2516	122,85	190,07	Inf	76,08
	2 mm	4,34	31,84	977,27	Inf	2606	122,99	189,98	Inf	76,74
	1 mm	4,84	31,85	958,14	inf	2511	122,05	189,08	inf	77,60
	0 mm	4,74	33,31	960,76	Inf	2673	123,23	189,22	Inf	78,60
30 mm	5 mm	5,90	47,10	986,07	Inf	2673	123,06	218,32	Inf	149,96
	4 mm	5,99	45,96	986,21	Inf	2686	123,51	219,66	Inf	147,18
	3 mm	6,11	46,17	1020,93	Inf	2732	123,36	221,37	Inf	152,18
	2 mm	5,81	47,49	1008,01	Inf	2742	122,89	226,77	Inf	152,17
	1 mm	5,94	48,58	1080,49	Inf	2743	121,75	225,58	Inf	174,92
	0 mm	5,90	46,86	1064,12	Inf	2727	123,30	226,37	Inf	173,56
25 mm	5 mm	6,18	133,09	973,67	Inf	2772	124,21	238,39	Inf	154,25
	4 mm	6,28	166,66	1148,96	Inf	2926	124,32	241,63	Inf	236,14
	3 mm	6,31	153,38	1164,64	Inf	2950	124,21	241,21	Inf	379,50
	2 mm	6,15	151,92	1128,12	Inf	2965	123,74	252,81	Inf	570,22
	1 mm	6,11	151,11	1077,74	Inf	2953	124,11	255,81	Inf	580,24
	0 mm	6,29	140,31	1217,40	Inf	2974	124,18	265,38	Inf	620,36
20 mm	5 mm	9,80	142,19	1094,02	inf	2603	122,59	125,62	inf	656,32
	4 mm	8,79	150,26	1263,26	Inf	2682	124,31	122,57	Inf	620,30
	3 mm	12,78	118,16	1198,95	Inf	2548	124,74	106,13	Inf	881,89
	2 mm	19,06	235,98	1174,27	Inf	2502	126,77	102,94	Inf	498,41
	1 mm	15,62	128,52	1245,94	Inf	2539	125,79	102,22	Inf	509,54
	0 mm	inf	153,44	1175,77	Inf	2439	125,28	101,55	Inf	Inf
15 mm	5 mm	inf	475,81	1917,82	Inf	2459	125,37	101,33	Inf	inf
	4 mm	Inf	466,52	2162,70	Inf	2830	125,71	104,94	Inf	Inf
	3 mm	Inf	462,64	inf	inf	3994	125,74	120,16	inf	Inf
	2 mm	Inf	435,53	Inf	Inf	inf	126,95	105,15	Inf	inf
	1 mm	Inf	435,37	Inf	Inf	Inf	128,38	104,28	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	128,11	142,42	Inf	Inf
10 mm	5 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	112,15	172,85	Inf	inf
	4 mm	inf	Inf	Inf	Inf	Inf	114,02	179,53	Inf	inf
	3 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	116,73	244,78	Inf	Inf

	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	162,30	185,55	Inf	Inf
	1 mm	inf	inf	inf	inf	inf	180,02	189,94	inf	inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	176,06	223,09	Inf	Inf
5 mm	5 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	119,69	391,45	Inf	Inf
	4 mm	inf	inf	inf	inf	inf	121,04	446,41	inf	inf
	3 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	131,08	550,20	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	424,17	610,97	Inf	Inf
	1 mm	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
	0 mm	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf

B Naměřené hodnoty vzorků s vodivým lepidlem 8331S

č. vzorku		č. rezistoru								
1_II		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,45	0,55	0,57	0,39	0,42	0,51	0,75	0,73	0,40
	4 mm	0,30	0,54	0,59	0,34	0,26	0,71	0,65	0,74	0,42
	3 mm	0,41	0,61	0,52	0,40	0,28	0,68	0,73	0,59	0,59
	2 mm	0,46	0,52	0,54	0,38	0,42	0,55	0,75	0,65	0,54
	1 mm	0,33	0,52	0,53	0,38	0,46	0,54	0,61	0,88	0,34
	0 mm	0,31	0,64	0,61	0,44	0,28	0,74	0,62	0,75	0,43
30 mm	5 mm	0,48	0,61	0,52	0,47	0,31	0,66	0,75	0,60	0,63
	4 mm	0,40	0,51	0,60	0,28	0,43	0,64	0,76	0,68	0,55
	3 mm	0,31	0,56	0,63	0,32	0,45	0,65	0,66	0,91	0,38
	2 mm	0,34	0,60	0,46	0,44	0,39	0,72	0,59	0,80	0,58
	1 mm	0,44	0,57	0,65	0,31	0,46	0,64	0,70	0,74	0,54
	0 mm	0,42	0,55	0,59	0,40	0,42	0,60	0,80	0,67	0,50
25 mm	5 mm	0,42	0,49	0,53	0,38	0,52	0,55	0,83	0,72	0,53
	4 mm	0,42	0,54	0,65	0,33	0,42	0,67	0,77	0,72	0,56
	3 mm	0,39	0,72	0,66	0,44	0,32	0,84	0,59	0,88	0,42
	2 mm	0,35	0,61	0,52	0,44	0,39	0,79	0,61	0,81	0,62
	1 mm	0,48	0,59	0,54	0,45	0,56	0,59	0,77	0,78	0,50
	0 mm	0,44	0,57	0,59	0,43	0,45	0,65	0,80	0,72	0,57
20 mm	5 mm	0,42	0,57	0,58	0,37	0,53	0,58	0,89	0,71	0,55
	4 mm	0,47	0,62	0,56	0,52	0,33	0,81	0,72	0,77	0,63
	3 mm	0,43	0,55	0,59	0,32	0,49	0,72	0,75	0,79	0,58
	2 mm	0,49	0,64	0,66	0,42	0,45	0,65	0,82	0,89	0,36
	1 mm	0,43	0,76	0,63	0,55	0,38	0,74	0,70	0,96	0,38
	0 mm	0,44	0,59	0,56	0,44	0,54	0,59	0,87	0,85	0,51
15 mm	5 mm	0,40	0,75	0,63	0,47	0,35	0,81	0,82	0,75	0,67
	4 mm	0,46	0,69	0,65	0,46	0,49	0,73	0,85	0,92	0,35
	3 mm	0,42	0,79	0,66	0,51	0,39	0,87	0,65	0,92	0,57
	2 mm	0,50	0,72	0,77	0,48	0,47	0,74	0,83	0,82	0,61
	1 mm	0,37	0,78	0,73	0,41	0,46	0,93	0,67	0,94	0,51
	0 mm	0,43	0,67	0,69	0,35	0,56	0,77	0,79	0,91	0,55
10 mm	5 mm	0,39	0,77	0,60	0,50	0,44	0,90	0,72	1,06	0,41
	4 mm	0,43	0,70	0,70	0,36	0,46	0,87	0,82	0,88	0,60
	3 mm	0,37	0,86	0,76	0,53	0,39	1,03	0,64	1,03	0,52
	2 mm	0,37	0,84	0,67	0,53	0,46	0,99	0,70	1,06	0,47
	1 mm	0,45	0,77	0,76	0,42	0,61	0,82	0,83	1,03	0,61
	0 mm	0,36	0,84	0,78	0,45	0,53	0,99	0,69	1,09	0,50
5 mm	5 mm	0,47	0,78	0,73	0,54	0,56	0,96	0,91	0,93	0,64
	4 mm	0,40	0,79	0,77	0,50	0,61	0,93	0,90	1,02	0,55
	3 mm	0,58	0,86	0,84	0,52	0,56	1,09	0,86	1,05	0,65
	2 mm	0,53	0,91	0,89	0,63	0,56	1,02	1,02	1,09	0,69

1 mm	0,45	0,93	0,93	0,61	0,65	1,12	0,61	1,37	0,48
0 mm	0,58	0,93	0,95	0,56	0,71	1,04	15,20	inf	inf

č. vzorku č. rezistoru

2_II		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,71	0,84	0,56	0,50	0,59	0,24	0,85	1,50	0,69
	4 mm	0,75	0,87	0,56	0,48	0,60	0,23	0,86	1,51	0,67
	3 mm	0,73	0,83	0,53	0,48	0,60	0,27	0,86	1,49	0,60
	2 mm	0,70	0,83	0,56	0,45	0,62	0,38	0,64	1,74	0,51
	1 mm	0,73	0,93	0,47	0,64	0,43	0,44	0,70	1,62	0,63
	0 mm	0,68	0,90	0,44	0,62	0,53	0,33	0,77	1,61	0,63
30 mm	5 mm	0,75	0,99	0,63	0,49	0,55	0,41	0,80	1,76	0,57
	4 mm	0,71	0,90	0,45	0,62	0,54	0,35	0,93	1,64	0,55
	3 mm	0,86	0,90	0,51	0,59	0,62	0,18	1,09	1,50	0,69
	2 mm	0,80	0,90	0,67	0,43	0,63	0,34	0,98	1,54	0,76
	1 mm	0,69	0,95	0,63	0,47	0,62	0,37	0,89	1,74	0,48
	0 mm	0,72	0,95	0,64	0,46	0,48	0,48	0,90	1,65	0,64
25 mm	5 mm	0,76	0,99	0,56	0,59	0,47	0,47	0,98	1,78	0,57
	4 mm	0,74	0,92	0,49	0,69	0,57	0,36	1,10	1,69	0,56
	3 mm	0,86	0,88	0,53	0,62	0,58	0,27	1,25	1,50	0,69
	2 mm	0,80	0,85	0,64	0,44	0,67	0,28	1,15	1,64	0,72
	1 mm	0,82	0,85	0,58	0,53	0,58	0,32	1,25	1,55	0,77
	0 mm	0,73	0,98	0,65	0,49	0,62	0,38	1,08	1,77	0,53
20 mm	5 mm	0,88	0,95	0,57	0,67	0,63	0,27	0,67	0,63	0,27
	4 mm	0,78	0,86	0,62	0,50	0,67	0,33	0,50	0,67	0,33
	3 mm	0,85	0,92	0,66	0,55	0,61	0,31	0,55	0,61	0,31
	2 mm	0,73	0,98	0,64	0,61	0,45	0,49	0,61	0,45	0,49
	1 mm	0,76	0,90	0,49	0,71	0,55	0,34	0,71	0,55	0,34
	0 mm	0,73	0,94	0,55	0,58	0,58	0,41	0,58	0,58	0,41
15 mm	5 mm	0,84	0,89	0,68	0,49	0,61	0,34	1,43	1,58	0,73
	4 mm	0,70	0,90	0,63	0,54	0,59	0,47	1,21	1,84	0,68
	3 mm	0,86	1,00	0,59	0,69	0,49	0,42	1,41	1,65	0,82
	2 mm	0,85	0,86	0,54	0,57	0,70	0,25	1,52	1,66	0,73
	1 mm	0,79	0,88	0,63	0,52	0,66	0,36	1,48	1,62	0,78
	0 mm	0,71	0,87	0,64	0,54	0,65	0,43	1,31	1,91	0,58
10 mm	5 mm	0,82	0,85	0,59	0,53	0,69	0,33	1,48	1,73	0,61
	4 mm	0,73	0,98	0,68	0,51	0,66	0,41	1,40	1,86	0,57
	3 mm	0,76	0,97	0,66	0,57	0,63	0,44	1,41	1,90	0,59
	2 mm	0,79	0,99	0,55	0,76	0,47	0,50	1,50	1,80	0,71
	1 mm	0,78	1,01	0,63	0,65	0,60	0,49	1,48	1,92	0,65
	0 mm	0,89	0,94	0,57	0,72	0,59	0,39	1,71	1,67	0,89
5 mm	5 mm	0,86	0,92	0,71	0,55	0,78	0,35	1,67	1,78	0,77
	4 mm	0,91	0,96	0,69	0,65	0,73	0,36	1,69	1,88	0,66
	3 mm	0,87	1,10	0,69	0,80	0,55	0,55	1,68	1,91	0,71

	2 mm	0,98	1,11	0,73	0,81	0,61	0,64	1,83	2,01	0,82
	1 mm	0,98	1,04	0,66	0,86	0,81	0,41	2,09	1,87	0,88
	0 mm	0,97	1,05	0,79	0,73	0,74	0,52	2,04	1,89	0,93

č. vzorku č. rezistoru

	3_II	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,60	0,73	0,55	0,41	0,65	0,42	0,63	0,52	1,42
	4 mm	0,53	0,74	0,36	0,50	0,60	0,54	0,45	0,64	1,44
	3 mm	0,55	0,64	0,43	0,28	0,72	0,45	0,53	0,53	1,60
	2 mm	0,50	0,80	0,51	0,38	0,60	0,58	0,40	0,71	1,42
	1 mm	0,54	0,75	0,35	0,55	0,63	0,53	0,44	0,69	1,42
	0 mm	0,62	0,80	0,43	0,48	0,56	0,57	0,51	0,46	1,66
30 mm	5 mm	0,64	0,76	0,49	0,45	0,65	0,48	0,60	0,53	1,65
	4 mm	0,56	0,75	0,48	0,38	0,75	0,46	0,58	0,64	1,45
	3 mm	0,48	0,77	0,50	0,42	0,74	0,38	0,66	0,50	1,61
	2 mm	0,64	0,77	0,49	0,45	0,65	0,47	0,66	0,47	1,63
	1 mm	0,56	0,77	0,49	0,44	0,74	0,39	0,69	0,50	1,62
	0 mm	0,68	0,80	0,53	0,45	0,74	0,41	0,59	0,69	1,43
25 mm	5 mm	0,59	0,97	0,53	0,54	0,61	0,57	0,56	0,68	1,49
	4 mm	0,70	0,95	0,50	0,55	0,67	0,45	0,72	0,47	1,65
	3 mm	0,68	0,86	0,56	0,43	0,72	0,46	0,66	0,51	1,71
	2 mm	0,68	0,85	0,54	0,44	0,77	0,41	0,66	0,62	1,52
	1 mm	0,56	0,81	0,51	0,37	0,77	0,51	0,52	0,76	1,45
	0 mm	0,56	0,87	0,55	0,40	0,76	0,50	0,53	0,74	1,48
20 mm	5 mm	0,61	1,03	0,49	0,60	0,64	0,56	0,60	0,65	1,52
	4 mm	0,75	1,01	0,48	0,57	0,64	0,57	0,64	0,51	1,80
	3 mm	0,66	0,96	0,64	0,35	0,79	0,52	0,62	0,56	1,75
	2 mm	0,67	0,91	0,52	0,43	0,83	0,42	0,66	0,65	1,55
	1 mm	0,62	1,04	0,58	0,44	0,67	0,65	0,47	0,74	1,61
	0 mm	0,64	0,97	0,53	0,56	0,65	0,59	0,59	0,65	1,73
15 mm	5 mm	0,64	1,03	0,51	0,53	0,64	0,55	0,70	0,50	1,79
	4 mm	0,65	0,91	0,52	0,47	0,89	0,42	0,68	0,62	1,66
	3 mm	0,61	0,95	0,56	0,43	0,86	0,48	0,56	0,80	1,51
	2 mm	0,65	1,11	0,51	0,64	0,78	0,59	0,54	0,71	1,71
	1 mm	0,72	1,03	0,65	0,46	0,83	0,44	0,74	0,60	1,69
	0 mm	0,57	0,99	0,65	0,46	0,77	0,63	1,75	1,64	1,47
10 mm	5 mm	0,69	0,91	Inf	Inf	0,70	0,57	0,63	0,72	1,56
	4 mm	0,60	1,00	Inf	Inf	0,92	0,37	0,75	0,63	1,67
	3 mm	0,73	1,15	Inf	Inf	0,82	0,60	0,50	0,80	1,65
	2 mm	0,67	1,08	Inf	Inf	0,82	0,48	0,80	0,57	1,71
	1 mm	0,75	0,97	Inf	Inf	0,80	0,59	0,65	0,77	1,64
	0 mm	0,70	1,11	Inf	Inf	1,01	0,49	0,74	0,77	1,61
5 mm	5 mm	0,71	1,14	Inf	Inf	0,92	0,56	0,70	0,61	1,84
	4 mm	0,79	1,12	Inf	Inf	0,73	0,67	0,67	0,70	1,68

	3 mm	0,64	0,99	Inf	Inf	1,04	0,52	0,71	0,71	1,87
	2 mm	0,85	0,84	Inf	Inf	0,90	16,98	0,72	0,85	1,78
	1 mm	0,68	1,19	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	0,47	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

	4_II	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,41	0,41	0,19	0,21	0,33	0,18	0,35	0,29	0,57
	4 mm	0,40	0,41	0,27	0,21	0,26	0,24	0,33	0,27	0,57
	3 mm	0,33	0,53	0,28	0,35	0,22	0,31	0,21	0,44	0,45
	2 mm	0,35	0,34	0,26	0,09	0,26	0,29	0,32	0,25	0,61
	1 mm	0,33	0,53	0,28	0,28	0,18	0,33	0,16	0,44	0,50
	0 mm	0,39	0,49	0,23	0,27	0,16	0,40	0,19	0,33	0,66
30 mm	5 mm	0,35	0,49	0,26	0,27	0,14	0,42	0,25	0,22	0,73
	4 mm	0,37	0,40	0,28	0,20	0,30	0,23	0,29	0,47	0,43
	3 mm	0,31	0,47	0,17	0,37	0,11	0,32	0,18	0,45	0,49
	2 mm	0,45	0,47	0,20	0,28	0,23	0,27	0,40	0,24	0,59
	1 mm	0,39	0,42	0,38	0,18	0,25	0,23	0,34	0,33	0,48
	0 mm	0,31	0,56	0,33	0,21	0,16	0,47	0,10	0,43	0,56
25 mm	5 mm	0,26	0,43	0,33	0,18	0,23	0,45	0,13	0,43	0,55
	4 mm	0,31	0,43	0,14	0,28	0,24	0,38	0,18	0,44	0,50
	3 mm	0,43	0,47	0,22	0,30	0,17	0,38	0,23	0,27	0,76
	2 mm	0,43	0,48	0,23	0,31	0,34	0,19	0,39	0,26	0,67
	1 mm	0,33	0,35	0,22	0,24	0,29	0,22	0,41	0,21	0,67
	0 mm	0,41	0,41	0,29	0,21	0,33	0,25	0,27	0,47	0,42
20 mm	5 mm	0,26	0,39	0,30	0,12	0,34	0,40	0,14	0,51	0,52
	4 mm	0,30	0,47	0,25	0,22	0,22	0,42	0,16	0,43	0,60
	3 mm	0,39	0,47	0,38	0,19	0,26	0,32	0,32	0,30	0,71
	2 mm	0,29	0,37	0,27	0,17	0,36	0,27	0,22	0,50	0,47
	1 mm	0,28	0,48	0,21	0,27	0,25	0,36	0,18	0,48	0,59
	0 mm	0,39	0,43	0,40	0,11	0,29	0,35	0,32	0,30	0,73
15 mm	5 mm	0,37	0,53	0,27	0,31	0,19	0,33	0,43	0,25	0,67
	4 mm	0,37	0,38	0,31	0,10	0,32	0,33	0,30	0,32	0,74
	3 mm	0,38	0,45	0,32	0,24	0,28	0,33	0,31	0,31	0,75
	2 mm	0,43	0,44	0,33	0,20	0,28	0,33	0,36	0,25	0,73
	1 mm	0,34	0,57	0,34	0,29	0,11	0,42	0,28	0,41	0,57
	0 mm	0,32	0,48	0,19	0,28	0,26	0,45	0,19	0,44	0,61
10 mm	5 mm	0,30	0,48	0,19	0,28	0,27	0,47	0,22	0,39	0,71
	4 mm	0,40	0,46	0,42	0,13	0,32	0,37	0,32	0,33	0,74
	3 mm	0,34	0,56	0,36	0,24	0,17	0,56	0,19	0,40	0,64
	2 mm	0,42	0,55	0,28	0,33	0,27	0,28	0,47	0,30	0,68
	1 mm	0,42	0,49	0,35	0,26	0,33	0,38	0,42	0,27	0,69
	0 mm	0,35	0,63	0,39	0,29	0,20	0,55	0,18	0,47	0,67
5	5 mm	0,40	0,45	0,44	0,19	0,29	0,41	0,38	0,30	0,80

	4 mm	0,37	0,61	0,40	0,28	0,15	0,58	0,34	0,44	0,63
	3 mm	0,39	0,43	0,33	0,23	0,43	0,43	0,42	0,39	0,84
	2 mm	0,43	0,67	0,47	0,36	0,24	0,70	0,34	0,50	0,72
	1 mm	0,38	0,62	0,53	0,33	0,28	0,64	0,39	0,42	0,91
	0 mm	0,52	0,59	0,67	0,34	0,38	0,48	0,54	0,34	0,84

č. vzorku č. rezistoru

	5_II	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,75	0,58	0,62	0,40	0,39	0,63	0,43	0,47	0,50
	4 mm	0,88	0,64	0,56	0,54	0,29	0,37	0,64	0,40	0,51
	3 mm	0,85	0,68	0,59	0,55	0,26	0,57	0,52	0,53	0,41
	2 mm	0,87	0,49	0,61	0,39	0,40	0,48	0,61	0,35	0,48
	1 mm	0,82	0,56	0,54	0,50	0,31	0,59	0,58	0,31	0,64
	0 mm	0,88	0,49	0,65	0,36	0,49	0,50	0,62	0,37	0,54
30 mm	5 mm	0,84	0,58	0,57	0,53	0,33	0,63	0,52	0,38	0,70
	4 mm	0,89	0,53	0,59	0,47	0,47	0,52	0,56	0,59	0,37
	3 mm	0,86	0,63	0,56	0,55	0,36	0,43	0,69	0,42	0,54
	2 mm	0,85	0,51	0,61	0,45	0,39	0,65	0,42	0,55	0,51
	1 mm	0,87	0,63	0,58	0,51	0,33	0,61	0,48	0,43	0,67
	0 mm	0,96	0,60	0,64	0,47	0,40	0,46	0,58	0,58	0,56
25 mm	5 mm	0,95	0,51	0,63	0,37	0,47	0,55	0,62	0,46	0,69
	4 mm	0,94	0,74	0,61	0,60	0,30	0,70	0,58	0,55	0,55
	3 mm	0,95	0,55	0,65	0,41	0,45	0,56	0,64	0,43	0,67
	2 mm	0,92	0,63	0,54	0,53	0,42	0,67	0,56	0,52	0,73
	1 mm	0,97	0,64	0,70	0,45	0,45	0,57	0,68	0,48	0,69
	0 mm	0,93	0,63	0,63	0,45	0,45	0,63	0,54	0,64	0,62
20 mm	5 mm	1,18	0,62	0,58	0,58	0,49	0,48	0,83	0,58	0,69
	4 mm	0,95	0,69	0,53	0,65	0,47	0,67	0,64	0,69	0,63
	3 mm	1,01	0,63	0,74	0,43	0,52	0,63	0,83	0,55	0,75
	2 mm	0,99	0,71	0,55	0,66	0,43	0,64	0,73	0,74	0,59
	1 mm	1,06	0,70	0,71	0,53	0,50	0,59	0,91	0,56	0,63
	0 mm	1,03	0,77	0,66	0,61	0,41	0,71	0,85	0,54	0,82
15 mm	5 mm	0,98	0,78	0,74	0,53	0,71	0,73	0,98	0,79	0,69
	4 mm	1,09	0,72	0,69	0,64	0,68	0,85	0,99	0,81	0,70
	3 mm	1,17	0,78	0,64	0,57	0,80	0,77	1,39	0,71	0,84
	2 mm	1,05	0,90	0,73	0,60	0,88	0,82	1,34	0,74	0,64
	1 mm	1,15	0,77	0,73	0,72	1,24	0,97	1,37	0,84	0,63
	0 mm	1,06	0,75	0,69	0,56	2,94	0,90	1,49	0,59	0,89
10 mm	5 mm	1,13	0,81	0,81	4,07	4,38	2,69	1,69	0,69	0,78
	4 mm	1,08	0,83	0,66	10,95	11,27	11,58	1,41	0,86	0,83
	3 mm	1,09	0,78	0,74	17,84	18,15	18,46	1,68	0,93	0,64
	2 mm	1,18	0,76	0,73	24,73	25,04	25,35	2,14	0,81	0,92
	1 mm	1,16	1,00	0,84	31,61	31,92	32,24	2,33	0,92	0,78
	0 mm	1,17	0,96	0,82	38,50	38,81	39,12	2,54	0,78	0,97

5 mm	5 mm	1,35	1,01	1,00	0,78	6,67	0,94	3,59	0,95	0,90
	4 mm	1,26	1,07	0,90	0,81	14,09	1,15	3,99	1,13	1,03
	3 mm	1,42	1,14	1,16	0,88	49,65	1,20	4,24	1,41	1,03
	2 mm	1,71	1,62	1,42	1,63	Inf	2,33	59,44	2,02	1,41
	1 mm	2,34	2,43	2,51	2,02	Inf	2,87	Inf	Inf	Inf
	0 mm	2,39	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

6_II		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,33	0,53	0,35	0,54	0,36	0,43	0,41	0,66	0,51
	4 mm	0,45	0,60	0,39	0,50	0,51	0,25	0,56	0,47	0,62
	3 mm	0,44	0,50	0,46	0,54	0,38	0,39	0,48	0,43	0,70
	2 mm	0,32	0,58	0,49	0,49	0,36	0,51	0,30	0,70	0,46
	1 mm	0,35	0,56	0,32	0,68	0,24	0,51	0,38	0,55	0,58
	0 mm	0,35	0,55	0,44	0,60	0,29	0,43	0,50	0,44	0,78
30 mm	5 mm	0,46	0,54	0,43	0,50	0,46	0,37	0,56	0,48	0,69
	4 mm	0,33	0,50	0,50	0,56	0,26	0,57	0,31	0,66	0,58
	3 mm	0,37	0,54	0,33	0,68	0,32	0,44	0,44	0,59	0,58
	2 mm	0,51	0,57	0,37	0,60	0,47	0,28	0,60	0,46	0,66
	1 mm	0,46	0,57	0,56	0,44	0,51	0,43	0,48	0,56	0,69
	0 mm	0,47	0,56	0,49	0,54	0,42	0,43	0,56	0,49	0,76
25 mm	5 mm	0,53	0,61	0,40	0,65	0,36	0,56	0,45	0,51	0,83
	4 mm	0,50	0,55	0,45	0,53	0,50	0,36	0,52	0,64	0,52
	3 mm	0,43	0,67	0,54	0,51	0,47	0,51	0,37	0,73	0,51
	2 mm	0,42	0,72	0,51	0,65	0,34	0,63	0,38	0,65	0,63
	1 mm	0,36	0,59	0,40	0,62	0,43	0,47	0,46	0,65	0,61
	0 mm	0,54	0,65	0,44	0,67	0,39	0,56	0,55	0,48	0,84
20 mm	5 mm	0,47	0,90	0,74	0,63	0,69	0,83	0,49	0,90	0,62
	4 mm	0,54	1,02	0,72	0,76	0,58	0,93	0,58	0,64	0,99
	3 mm	0,65	0,93	0,73	0,71	0,73	0,78	0,68	0,76	0,72
	2 mm	0,55	0,93	0,62	0,75	0,67	0,86	0,53	0,86	0,69
	1 mm	0,65	0,90	0,71	0,70	0,70	0,74	0,69	0,67	0,81
	0 mm	0,54	1,06	0,71	0,76	0,57	1,02	0,45	0,77	0,76
15 mm	5 mm	0,58	0,99	0,65	0,81	0,48	0,81	0,46	0,74	0,74
	4 mm	0,62	0,83	0,62	0,70	0,73	0,52	0,59	0,64	0,80
	3 mm	0,47	0,93	0,72	0,64	0,73	0,74	0,45	0,89	0,63
	2 mm	0,57	0,93	0,61	0,78	0,69	0,82	0,61	0,79	0,68
	1 mm	0,70	0,95	0,68	0,81	0,70	0,68	0,74	0,68	0,78
	0 mm	0,59	0,89	0,75	0,67	0,78	0,96	0,64	0,73	0,70
10 mm	5 mm	0,53	1,00	0,62	0,76	0,74	1,07	0,52	0,84	0,80
	4 mm	0,61	0,94	0,81	0,65	0,97	1,07	0,62	0,76	0,88
	3 mm	0,54	1,11	0,95	0,73	0,92	1,53	0,47	0,89	0,78
	2 mm	0,77	1,21	1,03	0,90	0,97	1,96	0,67	0,68	1,03
	1 mm	0,77	1,19	1,49	0,85	1,29	7,44	0,75	0,97	0,79

	0 mm	0,74	1,34	1,52	1,01	1,07	7,55	0,67	0,92	0,88
5 mm	5 mm	0,81	1,22	1,19	0,80	1,54	8,38	0,74	0,92	0,99
	4 mm	0,79	1,52	1,42	1,08	1,39	8,93	0,73	1,01	0,93
	3 mm	1,11	1,43	1,86	0,92	1,97	21,71	0,86	1,19	1,17
	2 mm	1,79	10,93	Inf	1,41	11,51	20,26	1,26	2,85	1,46
	1 mm	2,50	56,17	Inf	1,46	24,36	Inf	1,12	2,77	1,50
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

	7_II	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,92	0,64	0,79	0,56	0,58	0,47	0,51	0,40	0,53
	4 mm	0,88	0,74	0,70	0,71	0,40	0,58	0,41	0,54	0,41
	3 mm	0,90	0,54	0,75	0,61	0,66	0,37	0,56	0,52	0,51
	2 mm	0,81	0,69	0,61	0,59	0,53	0,61	0,31	0,59	0,38
	1 mm	0,96	0,68	0,76	0,59	0,69	0,37	0,56	0,52	0,44
	0 mm	0,93	0,63	0,72	0,52	0,59	0,55	0,56	0,70	0,54
30 mm	5 mm	1,06	0,70	0,64	0,76	0,48	0,51	0,57	0,43	0,61
	4 mm	1,00	0,62	0,75	0,62	0,64	0,53	0,53	0,71	0,55
	3 mm	1,05	0,61	0,65	0,76	0,55	0,43	0,54	0,37	0,53
	2 mm	1,04	0,67	0,73	0,68	0,57	0,47	0,59	0,46	0,35
	1 mm	0,93	0,80	0,75	0,67	0,49	0,63	0,44	0,69	0,42
	0 mm	0,97	0,74	0,72	0,74	0,51	0,59	0,63	0,65	0,60
25 mm	5 mm	1,03	0,70	0,82	0,56	0,74	0,48	0,54	0,58	0,55
	4 mm	0,98	0,67	0,78	0,80	0,48	0,68	0,50	0,61	0,46
	3 mm	1,14	0,70	0,68	0,78	0,58	0,49	0,66	0,55	0,59
	2 mm	1,09	0,71	0,73	0,71	0,66	0,45	0,63	0,77	0,48
	1 mm	1,07	0,83	0,70	0,72	0,60	0,58	0,48	0,71	0,40
	0 mm	1,05	0,67	0,83	0,73	0,72	0,51	0,58	0,60	0,52
20 mm	5 mm	1,20	0,67	0,71	0,73	0,74	0,44	0,70	0,55	0,48
	4 mm	1,06	0,76	0,84	0,72	0,55	0,67	0,44	0,63	0,45
	3 mm	1,21	0,79	0,88	0,72	0,67	0,53	0,69	0,56	0,49
	2 mm	1,27	0,83	0,84	0,62	0,75	0,57	0,64	0,56	0,62
	1 mm	1,18	0,85	0,77	0,77	0,58	0,67	0,62	0,48	0,58
	0 mm	1,16	0,82	0,67	0,87	0,63	0,59	0,51	0,77	0,51
15 mm	5 mm	1,27	0,74	0,80	0,75	0,72	0,46	0,69	0,66	0,64
	4 mm	1,33	0,81	0,91	0,65	0,75	0,55	0,64	0,58	0,64
	3 mm	1,27	0,91	0,81	0,90	0,61	0,60	0,71	0,48	0,56
	2 mm	1,35	0,87	0,88	0,82	0,77	0,55	0,74	0,75	0,68
	1 mm	1,27	0,94	0,85	0,70	0,85	0,53	0,66	0,75	0,54
	0 mm	1,25	0,90	0,85	0,90	0,72	0,64	0,82	0,79	0,57
10 mm	5 mm	1,17	0,97	0,87	0,93	0,65	0,73	0,69	0,61	0,71
	4 mm	1,25	0,91	0,90	0,86	0,82	0,59	0,81	0,69	0,51
	3 mm	1,18	0,96	0,91	0,99	0,73	0,66	0,90	0,59	0,65
	2 mm	1,28	1,08	0,93	1,06	0,74	0,69	0,72	0,83	0,60

	1 mm	1,43	1,06	1,11	1,16	0,68	0,83	0,83	0,91	0,59
	0 mm	1,54	1,14	1,16	1,14	0,80	0,98	0,78	1,15	0,73
5 mm	5 mm	1,53	1,18	1,06	1,39	0,87	0,90	0,95	1,01	0,67
	4 mm	1,72	1,14	1,30	1,17	1,01	0,95	1,06	0,88	0,89
	3 mm	2,42	1,50	1,49	1,59	0,89	1,21	0,96	1,08	0,91
	2 mm	12,89	2,49	3,10	7,41	0,98	1,41	1,18	1,02	1,17
	1 mm	74,03	5,97	4,10	53,25	1,22	2,01	1,79	5,11	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

8_II		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	1,14	0,87	0,57	0,90	0,70	0,42	3,83	0,68	1,03
	4 mm	1,12	0,93	0,74	0,75	0,64	0,65	4,14	0,79	0,95
	3 mm	1,01	0,96	0,55	0,82	0,73	0,38	3,85	0,67	1,04
	2 mm	1,10	0,97	0,50	0,86	0,66	0,61	4,10	0,78	1,08
	1 mm	1,07	0,85	0,71	0,77	0,77	0,63	4,14	0,86	0,98
	0 mm	1,09	0,99	0,57	0,86	0,73	0,42	3,89	0,71	1,03
30 mm	5 mm	1,02	1,03	0,73	0,87	0,74	0,66	4,18	0,90	1,05
	4 mm	1,08	1,04	0,68	0,97	0,65	0,65	4,10	0,87	1,20
	3 mm	1,13	0,97	0,76	0,82	0,85	0,53	3,97	0,82	1,18
	2 mm	1,08	0,97	0,72	0,92	0,84	0,49	3,98	0,86	0,99
	1 mm	1,11	1,03	0,61	1,03	0,71	0,58	4,06	0,93	1,05
	0 mm	1,24	1,02	0,71	0,95	0,76	0,43	3,91	0,92	1,20
25 mm	5 mm	1,18	1,11	0,68	1,13	0,69	0,60	4,03	0,99	1,09
	4 mm	1,29	1,11	0,67	1,00	0,76	0,60	3,93	0,81	1,30
	3 mm	1,20	1,19	0,74	1,02	0,73	0,77	4,11	0,95	1,21
	2 mm	1,29	1,18	0,62	1,10	0,70	0,69	4,08	0,84	1,41
	1 mm	1,20	1,14	0,81	1,01	0,77	0,78	4,18	1,01	1,16
	0 mm	1,26	1,21	0,81	1,08	0,78	0,72	4,15	0,92	1,37
20 mm	5 mm	1,45	1,24	0,68	1,24	0,86	0,57	3,87	0,86	1,39
	4 mm	1,42	1,22	0,82	1,19	0,86	0,63	3,92	0,88	1,37
	3 mm	1,28	1,27	0,75	1,37	0,79	0,71	3,95	0,86	1,48
	2 mm	1,34	1,20	0,83	1,23	0,93	0,65	4,10	1,14	1,16
	1 mm	1,35	1,36	0,72	1,42	0,71	0,77	4,06	1,07	1,22
	0 mm	1,43	1,26	0,81	1,32	1,01	0,58	4,02	1,01	1,42
15 mm	5 mm	1,55	1,61	0,84	1,56	0,79	0,83	1,00	1,08	1,34
	4 mm	1,65	1,52	0,83	1,54	0,92	0,71	1,21	1,08	1,45
	3 mm	1,62	1,50	0,90	1,54	1,05	0,73	1,14	1,17	1,27
	2 mm	1,68	1,67	0,97	1,50	1,17	0,95	1,06	1,22	1,46
	1 mm	1,58	1,66	0,92	1,59	1,30	0,92	1,19	1,29	1,56
	0 mm	1,76	1,71	0,97	1,67	1,84	0,88	1,25	1,18	1,58
10 mm	5 mm	2,67	5,56	1,66	2,99	1,68	1,79	1,99	1,66	1,94
	4 mm	2,77	5,52	1,76	3,13	1,77	1,66	2,04	1,61	1,83
	3 mm	2,65	5,64	1,75	2,96	1,65	1,82	1,93	1,75	1,74

	2 mm	2,68	4,39	1,66	3,17	1,86	1,56	2,09	1,61	1,77
	1 mm	2,70	4,23	1,81	3,04	1,80	1,69	2,07	1,64	1,83
	0 mm	2,71	4,08	1,50	2,97	1,79	1,76	1,77	1,76	1,73
5 mm	5 mm	2,87	5,93	2,01	2,67	2,57	1,61	2,15	1,79	1,85
	4 mm	2,94	6,10	2,02	2,52	2,04	1,94	3,28	2,21	2,05
	3 mm	3,67	10,85	2,40	4,51	1,20	2,46	2,72	2,59	2,39
	2 mm	5,00	14,66	2,85	4,04	3,08	3,36	3,09	5,89	3,30
	1 mm	17,08	608,40	4,16	14,89	313,19	4,34	3,12	7,10	3,20
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

C Naměřené hodnoty vzorků s vodivým lepidlem Ellecolit 3661

č. vzorku č. rezistoru

	1_III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	3,86	4,52	2,47	7,99	2,91	3,61	4,17	2,99	2,31
	4 mm	4,01	4,45	2,47	7,91	2,99	3,51	4,27	2,87	2,45
	3 mm	3,91	4,56	2,58	7,94	2,90	3,61	4,15	2,99	2,37
	2 mm	3,99	4,58	2,53	7,98	2,91	3,54	4,25	2,90	2,41
	1 mm	3,99	4,39	2,64	7,85	2,99	3,57	4,23	2,93	2,40
	0 mm	4,00	4,61	2,70	8,05	2,93	3,63	4,20	3,04	2,36
30 mm	5 mm	3,93	4,62	2,57	8,03	2,87	3,63	4,26	2,96	2,41
	4 mm	4,07	4,49	2,74	7,98	3,02	3,51	4,33	2,95	2,41
	3 mm	3,99	4,66	2,65	8,12	2,94	3,63	4,27	3,09	2,34
	2 mm	4,22	4,75	2,67	8,39	3,06	3,61	4,37	3,05	2,43
	1 mm	4,13	4,68	2,87	8,20	3,11	3,64	4,39	3,07	2,41
	0 mm	4,23	5,04	2,89	8,40	3,04	3,70	3,82	3,12	2,40
25 mm	5 mm	4,32	5,07	3,19	8,71	3,14	3,76	4,53	3,13	2,46
	4 mm	4,40	4,97	3,24	8,77	3,28	3,73	4,62	3,22	2,45
	3 mm	4,39	5,05	3,35	8,79	3,31	3,73	4,52	3,21	2,46
	2 mm	4,42	4,98	3,41	8,78	3,34	3,71	4,60	3,17	2,44
	1 mm	4,47	5,20	3,96	8,99	3,39	3,76	4,74	3,14	2,50
	0 mm	4,59	5,28	4,21	8,88	3,42	3,76	4,79	3,23	2,45
20 mm	5 mm	4,47	4,92	4,23	8,83	3,35	3,79	4,68	3,22	2,49
	4 mm	4,39	4,91	4,27	8,90	3,33	3,83	4,70	3,27	2,48
	3 mm	4,68	5,02	4,50	8,96	3,68	3,79	4,86	3,48	2,48
	2 mm	4,84	5,17	4,76	9,13	4,00	3,80	4,90	3,61	2,44
	1 mm	4,65	5,32	4,74	9,17	3,95	3,96	5,05	3,59	2,51
	0 mm	4,96	5,31	5,09	9,31	4,22	3,91	5,10	3,66	2,54
15 mm	5 mm	4,90	5,24	5,36	9,34	4,45	3,91	5,28	3,77	2,57
	4 mm	4,83	5,39	5,24	9,44	4,36	3,98	5,33	3,74	2,56
	3 mm	4,97	5,27	5,36	9,67	4,75	4,02	5,58	3,98	2,62
	2 mm	4,90	5,59	5,39	9,98	5,01	4,21	5,74	4,06	2,74
	1 mm	5,21	5,83	6,32	10,40	5,14	4,16	5,97	4,31	2,67
	0 mm	5,12	5,95	6,58	11,75	5,13	4,30	6,04	4,23	2,72
10 mm	5 mm	5,15	5,78	6,94	12,55	5,03	4,07	5,73	4,28	2,72
	4 mm	4,92	6,03	7,17	12,83	4,98	4,25	5,68	4,28	2,74
	3 mm	5,29	6,15	7,73	12,88	5,29	4,16	5,88	4,66	2,76
	2 mm	5,29	6,63	10,25	13,82	5,88	4,42	6,25	4,65	3,15
	1 mm	5,70	9,28	12,37	19,35	6,63	4,82	7,47	5,16	3,17
	0 mm	5,89	8,76	12,26	16,28	6,65	4,68	7,41	5,04	3,06
5 mm	5 mm	5,68	8,07	12,46	16,63	6,22	4,59	6,62	4,89	3,06
	4 mm	5,78	7,93	12,45	15,62	6,22	4,52	7,12	5,08	3,07
	3 mm	6,28	8,68	13,56	22,13	7,54	4,91	8,04	5,74	3,27
	2 mm	6,39	10,08	19,64	143,63	9,74	5,47	9,21	6,82	3,83

	1 mm	6,79	11,86	33,46	32,84	11,93	5,65	9,54	7,18	3,90
	0 mm	6,62	10,17	28,63	Inf	10,11	5,58	9,48	7,01	3,92

č. vzorku č. rezistoru

		2_III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	6,28	10,92	10,40	2,43	9,10	5,21	7,32	5,53	2,26	
	4 mm	6,21	10,90	10,42	2,43	9,05	5,24	7,08	5,51	2,29	
	3 mm	6,24	10,89	10,42	2,45	9,14	5,26	7,09	5,46	2,30	
	2 mm	6,23	10,93	10,46	2,49	9,10	5,19	6,93	5,46	2,29	
	1 mm	6,29	10,91	10,41	2,49	9,15	5,24	6,71	5,45	2,37	
	0 mm	6,29	10,88	10,43	2,51	9,06	5,28	6,79	5,50	2,37	
30 mm	5 mm	6,41	10,85	10,41	2,62	9,21	5,26	6,85	5,45	2,38	
	4 mm	6,43	10,88	10,44	2,55	9,27	5,37	6,62	5,51	2,37	
	3 mm	6,44	10,95	10,48	2,63	9,33	5,30	6,56	5,48	2,39	
	2 mm	6,47	11,01	10,52	2,57	9,53	5,48	6,48	5,65	2,43	
	1 mm	6,51	11,03	10,56	2,62	9,78	5,37	6,49	5,75	2,46	
	0 mm	6,53	11,09	10,57	2,64	10,37	5,37	6,48	5,84	2,36	
25 mm	5 mm	6,82	11,24	10,53	2,76	10,80	5,45	6,50	5,79	2,52	
	4 mm	6,79	11,28	10,59	2,76	12,04	5,45	6,66	5,87	2,47	
	3 mm	6,82	11,44	10,74	2,72	11,91	5,63	6,50	6,47	2,54	
	2 mm	6,87	11,51	10,82	2,71	12,14	5,92	6,37	6,66	2,57	
	1 mm	6,88	11,65	10,87	2,72	12,67	6,06	6,57	6,71	2,67	
	0 mm	6,97	11,74	10,96	2,76	12,95	6,19	6,37	6,86	2,77	
20 mm	5 mm	7,66	11,67	11,13	3,31	15,37	5,89	6,82	8,82	2,88	
	4 mm	7,72	11,74	11,16	3,32	14,68	5,82	6,90	21,87	2,89	
	3 mm	7,76	11,93	11,32	3,32	14,36	5,83	6,83	22,37	2,95	
	2 mm	7,81	12,00	11,39	3,44	14,27	5,93	6,89	23,30	2,92	
	1 mm	7,87	11,98	11,43	3,55	14,32	5,99	6,74	22,37	3,01	
	0 mm	7,81	12,01	11,52	3,55	14,20	5,87	6,74	22,27	2,96	
15 mm	5 mm	7,93	10,79	11,29	3,50	14,47	5,92	7,03	20,39	3,03	
	4 mm	7,98	11,06	11,40	3,55	14,51	5,98	7,01	20,56	3,04	
	3 mm	8,05	11,20	11,54	3,64	14,65	5,89	6,85	20,93	3,11	
	2 mm	8,26	11,50	11,79	3,82	14,82	6,19	6,92	22,24	3,15	
	1 mm	8,26	12,28	12,07	3,86	14,85	6,34	10,24	24,16	3,20	
	0 mm	8,30	12,43	12,09	4,14	15,10	7,44	9,13	24,79	3,45	
10 mm	5 mm	8,26	12,18	11,78	4,10	15,62	6,98	7,01	33,18	3,50	
	4 mm	8,29	12,28	11,82	4,21	16,07	7,73	7,07	33,63	3,55	
	3 mm	8,43	12,32	11,95	4,39	15,87	7,72	6,88	34,70	3,53	
	2 mm	8,63	12,56	12,23	4,39	16,13	8,24	6,93	37,64	3,90	
	1 mm	8,99	12,62	13,34	4,64	16,58	8,93	7,83	45,55	4,36	
	0 mm	9,03	13,70	13,52	4,90	17,10	9,24	7,77	50,22	9,59	
5 mm	5 mm	9,78	16,70	14,86	5,52	17,19	9,18	7,74	59,50	10,06	
	4 mm	9,75	15,42	14,93	6,14	17,70	9,76	7,63	Inf	Inf	
	3 mm	10,73	17,85	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	

	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

	3_III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,97	3,33	0,86	1,80	0,91	3,88	4,74	8,87	1,52
	4 mm	0,96	3,07	0,85	1,67	1,06	3,82	4,79	8,82	1,52
	3 mm	1,06	3,15	1,07	1,57	1,07	3,82	4,84	8,78	1,53
	2 mm	0,76	3,20	1,09	1,55	1,09	3,84	4,74	8,87	1,43
	1 mm	0,82	3,31	0,93	1,70	0,95	3,97	4,67	8,96	1,41
	0 mm	1,04	3,26	0,88	1,80	0,91	4,00	5,02	8,94	1,42
30 mm	5 mm	1,07	3,24	1,04	1,62	1,11	4,51	5,13	8,99	1,43
	4 mm	0,88	3,49	0,93	1,79	0,91	4,33	5,34	8,65	1,52
	3 mm	0,84	3,43	0,91	1,75	0,96	4,37	5,27	9,04	1,57
	2 mm	1,02	3,34	1,08	1,66	1,08	4,17	5,02	8,99	1,69
	1 mm	0,94	3,34	1,05	1,69	1,11	4,05	5,45	8,96	1,68
	0 mm	0,98	3,64	0,90	1,87	1,08	4,17	5,33	9,16	1,69
25 mm	5 mm	0,99	3,38	1,04	1,76	1,16	4,04	5,52	8,55	1,64
	4 mm	0,88	3,64	1,06	1,84	1,07	4,22	5,30	8,98	1,54
	3 mm	0,92	3,76	0,94	1,93	1,07	4,36	5,85	9,08	1,62
	2 mm	1,01	3,55	1,09	1,83	1,23	4,17	5,98	9,04	1,65
	1 mm	0,93	3,53	1,12	1,83	1,26	4,24	5,90	8,98	1,63
	0 mm	1,23	3,89	1,31	2,00	1,07	4,33	5,90	9,14	1,50
20 mm	5 mm	1,40	3,75	2,06	1,89	1,34	4,10	5,92	8,94	1,50
	4 mm	1,30	4,14	2,02	2,10	1,18	4,27	5,93	9,20	1,49
	3 mm	1,51	4,08	2,18	2,06	1,53	4,21	6,30	9,26	1,60
	2 mm	1,43	4,26	2,22	2,32	1,73	4,40	6,25	9,64	1,58
	1 mm	1,57	4,24	2,08	2,49	1,73	4,40	6,41	10,24	1,60
	0 mm	1,39	4,34	2,38	2,30	1,91	4,29	6,44	1293,22	1,66
15 mm	5 mm	1,43	4,08	2,34	2,51	2,75	4,66	7,21	11,00	1,56
	4 mm	1,61	4,07	2,28	2,59	2,82	4,63	7,45	11,14	1,68
	3 mm	1,68	4,33	2,59	2,53	3,01	4,66	7,74	11,14	1,75
	2 mm	1,46	4,61	2,78	2,75	3,09	4,95	8,06	11,66	1,61
	1 mm	1,66	4,83	2,80	2,91	3,30	4,92	8,78	11,81	1,60
	0 mm	1,71	4,66	3,08	2,77	3,37	4,92	9,21	12,00	1,71
10 mm	5 mm	1,65	4,33	2,89	2,90	3,30	4,78	9,89	12,62	1,79
	4 mm	1,52	4,53	3,06	3,02	3,32	5,03	10,09	13,10	1,59
	3 mm	1,73	4,54	3,31	3,04	3,50	4,99	10,24	13,33	1,73
	2 mm	1,58	4,94	3,59	3,45	3,73	5,38	10,55	14,15	1,74
	1 mm	1,74	5,91	3,69	3,68	4,56	5,76	13,71	15,43	1,81
	0 mm	1,68	6,00	3,44	3,98	4,68	5,88	13,83	15,53	1,69
5	5 mm	1,89	5,88	3,81	3,70	4,55	5,78	14,32	14,48	1,84

	4 mm	1,64	6,01	3,60	3,86	4,37	5,95	14,02	14,39	1,85
	3 mm	1,94	5,91	3,78	3,71	4,42	5,89	14,49	14,33	1,85
	2 mm	1,85	6,04	4,27	4,18	5,94	6,65	15,81	14,95	1,83
	1 mm	2,01	6,61	4,78	Inf	Inf	7,00	15,43	18,53	2,02
	0 mm	1,98	6,33	4,81	Inf	Inf	6,84	17,05	17,44	1,84

č. vzorku č. rezistoru

		4 III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	3,37	3,96	6,57	8,84	42,24	5,23	6,32	2,88	9,54	
	4 mm	3,39	3,92	7,00	8,78	42,36	5,08	6,30	3,02	9,05	
	3 mm	3,11	4,07	6,74	8,90	42,23	5,36	6,08	3,09	8,83	
	2 mm	3,32	3,85	6,93	8,66	42,43	5,22	6,16	3,08	8,57	
	1 mm	3,06	4,03	6,77	8,84	42,22	5,30	6,23	3,09	9,22	
	0 mm	3,18	4,11	6,71	8,82	42,25	5,37	6,18	2,99	7,90	
30 mm	5 mm	3,17	4,23	6,94	14,71	42,78	5,91	6,74	3,09	7,87	
	4 mm	3,05	4,51	6,75	12,83	42,67	6,05	6,72	3,12	7,99	
	3 mm	3,32	4,48	6,87	12,27	42,85	6,07	7,14	2,89	8,30	
	2 mm	3,16	4,84	6,75	12,32	42,65	6,35	7,04	3,07	8,30	
	1 mm	3,36	4,73	6,65	12,39	42,82	6,38	7,25	2,98	8,71	
	0 mm	3,12	4,67	6,94	12,06	42,87	6,41	7,14	3,02	8,96	
25 mm	5 mm	3,38	5,13	7,15	13,14	42,84	6,26	7,05	7,05	8,89	
	4 mm	3,12	5,59	7,25	13,52	42,78	6,58	6,95	6,95	8,73	
	3 mm	3,08	5,63	7,03	12,35	42,79	7,51	7,07	7,07	8,98	
	2 mm	3,30	5,41	7,09	12,77	43,07	7,61	7,44	7,44	9,12	
	1 mm	3,36	5,47	7,23	12,32	43,14	7,50	8,84	8,84	9,53	
	0 mm	3,10	5,53	7,31	12,30	43,09	7,73	9,95	9,95	10,33	
20 mm	5 mm	3,35	6,55	7,19	12,37	42,84	8,20	9,30	3,26	9,62	
	4 mm	3,39	7,06	7,11	12,23	42,99	8,00	9,60	3,17	10,10	
	3 mm	3,36	8,15	7,35	11,73	43,09	8,38	9,71	3,33	10,22	
	2 mm	3,39	8,47	7,28	11,43	43,18	8,44	10,19	3,14	11,01	
	1 mm	3,40	8,53	7,33	11,47	43,28	8,20	10,34	3,19	10,77	
	0 mm	3,44	9,27	7,49	11,56	43,39	8,24	10,09	3,80	18,36	
15 mm	5 mm	3,71	8,40	7,95	11,52	43,19	8,02	9,49	3,80	16,52	
	4 mm	3,85	9,21	8,05	11,05	43,31	7,92	9,70	3,95	16,63	
	3 mm	4,04	9,88	8,28	11,36	43,32	8,15	9,99	4,02	16,94	
	2 mm	4,23	9,58	8,64	11,50	43,61	8,18	10,47	4,20	17,75	
	1 mm	4,34	9,82	8,64	11,35	43,58	8,35	10,49	4,29	17,63	
	0 mm	4,23	9,97	8,63	11,67	43,61	8,20	10,45	4,29	18,12	
10 mm	5 mm	4,43	10,63	8,76	11,09	43,30	7,74	7,77	3,85	16,25	
	4 mm	4,22	10,52	8,93	256,86	43,49	8,13	9,24	4,10	17,64	
	3 mm	4,32	10,88	8,79	252,67	43,63	8,45	9,42	4,16	18,96	
	2 mm	4,33	11,13	8,88	251,78	43,91	8,32	9,80	4,27	18,82	
	1 mm	4,41	11,13	9,08	240,14	43,96	8,48	10,38	4,43	20,09	

	0 mm	4,45	11,12	10,72	240,80	44,08	8,70	13,65	4,80	21,82
5 mm	5 mm	8,28	8,73	11,85	24,81	40,11	6,06	15,67	4,92	23,11
	4 mm	8,18	8,73	11,76	25,17	40,22	6,69	16,90	5,26	23,25
	3 mm	8,37	11,61	11,72	26,10	40,46	6,39	24,56	5,35	25,98
	2 mm	8,27	11,88	11,69	26,24	40,38	6,32	21,32	5,51	25,38
	1 mm	8,47	12,08	12,03	26,10	40,79	6,36	21,86	5,78	26,43
	0 mm	8,35	11,87	12,34	26,49	40,75	6,45	22,32	5,95	25,78

č. vzorku č. rezistoru

5_III		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	2,85	4,09	0,69	7,57	1,87	4,32	291,19	2,65	30,04
	4 mm	2,59	4,33	0,51	7,73	1,65	4,51	299,06	2,55	29,92
	3 mm	2,75	4,08	0,72	7,51	1,79	4,39	282,29	2,80	29,84
	2 mm	2,61	4,32	0,50	7,72	1,63	4,49	278,95	2,59	30,87
	1 mm	2,71	4,40	0,50	7,71	1,64	4,48	259,36	2,80	34,77
	0 mm	2,73	4,09	0,71	7,42	1,77	4,56	262,80	2,61	31,76
30 mm	5 mm	2,40	4,42	0,51	8,28	1,69	5,00	267,42	2,62	31,58
	4 mm	2,67	4,37	0,63	8,29	1,86	4,93	254,63	2,74	30,30
	3 mm	2,50	4,57	0,78	8,64	1,73	5,63	285,78	2,60	31,48
	2 mm	3,35	4,70	0,71	8,63	1,87	6,52	308,13	2,91	31,18
	1 mm	3,27	4,68	0,82	8,80	1,82	7,64	379,86	2,69	31,28
	0 mm	3,22	4,87	0,60	9,63	1,81	11,06	357,13	3,05	39,40
25 mm	5 mm	5,90	5,04	0,77	8,26	2,01	74,47	269,29	2,82	33,32
	4 mm	9,82	5,23	0,59	8,66	2,19	55,25	312,60	3,10	34,76
	3 mm	29,68	5,47	1,00	9,48	2,30	60,07	391,99	3,19	34,46
	2 mm	677,89	6,17	0,92	10,35	Inf	65,43	395,52	3,25	46,81
	1 mm	845,51	6,13	1,22	10,34	Inf	76,40	376,77	3,49	43,80
	0 mm	442,50	7,53	2,01	10,27	Inf	258,43	325,82	3,70	45,13
20 mm	5 mm	72,45	Inf	6,50	9,55	Inf	671,21	294,53	3,87	56,82
	4 mm	51,34	Inf	6,42	9,63	Inf	559,32	264,05	4,18	60,02
	3 mm	100,76	Inf	6,98	10,11	Inf	1519	267,39	4,80	60,58
	2 mm	123,70	Inf	7,04	10,13	Inf	553,48	264,79	5,83	60,43
	1 mm	109,05	Inf	6,93	9,67	Inf	790,15	265,91	7,08	60,60
	0 mm	103,60	Inf	6,92	9,66	Inf	1192	289,31	Inf	62,73
15 mm	5 mm	153,74	Inf	7,44	10,15	Inf	1030	253,69	Inf	70,67
	4 mm	148,11	Inf	7,57	9,94	Inf	1010	118,27	Inf	70,11
	3 mm	129,47	Inf	7,37	9,96	Inf	989,39	122,95	Inf	69,95
	2 mm	130,87	Inf	8,95	11,25	Inf	Inf	295,20	Inf	71,13
	1 mm	Inf	Inf	12,83	11,61	Inf	Inf	288,11	Inf	270,78
	0 mm	Inf	Inf	12,74	11,31	Inf	Inf	267,83	Inf	389,57
10 mm	5 mm	Inf	Inf	39,28	21,75	Inf	Inf	273,26	Inf	Inf
	4 mm	Inf	Inf	38,87	20,53	Inf	Inf	262,54	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	37,32	20,01	Inf	Inf	260,90	Inf	Inf

	2 mm	Inf	Inf	37,32	20,79	Inf	Inf	348,19	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	136,14	23,38	Inf	Inf	415,95	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	247,88	30,89	Inf	Inf	879,41	Inf	Inf
5 mm	5 mm	Inf	Inf	1180	244,21	Inf	Inf	313,09	Inf	Inf
	4 mm	Inf	Inf	4125	113,86	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	5599	94,57	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	3719	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

6_III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]	
40 mm	5 mm	3,64	64,99	9,80	17,38	4,91	2,55	16,01	13,96	16,88
	4 mm	3,70	65,25	9,54	17,59	4,80	2,62	16,01	13,87	17,06
	3 mm	3,80	64,70	9,60	17,47	4,86	2,54	16,17	13,69	17,13
	2 mm	3,74	70,78	9,48	17,57	4,75	2,61	16,07	13,83	16,95
	1 mm	3,67	135,22	9,39	17,36	4,73	2,57	16,21	13,65	17,12
	0 mm	3,73	153,79	9,41	17,24	5,01	2,53	16,11	13,85	17,03
30 mm	5 mm	8,68	82,83	9,03	16,52	5,44	2,62	16,04	14,59	21,80
	4 mm	8,90	83,83	9,08	16,56	5,35	2,83	15,87	14,70	20,34
	3 mm	9,42	77,02	9,06	16,79	5,35	2,78	16,08	14,60	21,97
	2 mm	9,61	96,19	9,10	16,81	5,58	2,66	16,23	14,49	30,67
	1 mm	9,45	97,48	9,12	16,95	5,48	2,94	16,17	14,61	27,53
	0 mm	9,53	90,91	9,18	17,41	5,70	2,91	16,53	15,06	30,31
25 mm	5 mm	12,96	158,57	13,53	19,11	6,91	4,68	18,52	912,46	54,96
	4 mm	15,84	155,09	14,16	19,39	7,11	5,35	18,62	Inf	163,97
	3 mm	15,29	139,39	14,59	19,86	7,90	6,19	19,29	Inf	Inf
	2 mm	16,46	159,77	15,54	20,49	10,02	14,20	21,47	Inf	Inf
	1 mm	15,84	87,25	16,09	21,48	12,62	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	101,26	1222	26,15	12,96	Inf	Inf	Inf	Inf
20 mm	5 mm	Inf	66,46	964,13	26,39	11,49	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	80,35	921,73	31,16	14,16	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	77,85	38548	71,51	20,29	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	76,08	765,64	107,80	32,61	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	73,00	1337	82,65	32,75	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	71,68	5558	90,25	33,00	Inf	Inf	Inf	Inf
15 mm	5 mm	Inf	65,73	Inf	141,36	22,37	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	76,01	Inf	290,83	42,05	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	77,27	Inf	157,45	50,22	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	74,55	Inf	296,57	64,12	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	72,94	Inf	293,40	74,68	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	71,92	Inf	290,73	74,63	Inf	Inf	Inf	Inf
10	5 mm	Inf	64,20	Inf	284,42	68,82	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	63,55	Inf	281,42	69,80	Inf	Inf	Inf	Inf

	3 mm	Inf	74,00	Inf	280,67	68,90	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	64,43	Inf	282,17	69,59	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	281,91	66,13	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	281,79	64,90	Inf	Inf	Inf	Inf
5 mm	5 mm	Inf	Inf	Inf	279,96	95,43	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	Inf	Inf	278,16	88,26	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	Inf	280,72	110,68	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	396,48	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	659,34	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	690,24	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

7_III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]	
40 mm	5 mm	10,56	12,74	6,93	8,07	13,28	25,84	40,74	20,97	54,43
	4 mm	10,66	12,77	7,01	8,00	14,58	26,29	40,83	21,01	54,23
	3 mm	10,72	12,69	6,97	7,95	16,24	26,32	40,16	21,27	50,76
	2 mm	10,86	12,92	7,03	8,11	16,54	26,09	39,91	21,15	59,03
	1 mm	11,14	12,95	7,24	8,17	17,18	27,05	41,72	21,56	60,78
	0 mm	13,42	13,03	7,82	8,71	19,75	29,88	46,42	23,88	60,49
30 mm	5 mm	13,33	13,08	8,28	8,61	18,12	63,51	42,50	23,49	165,61
	4 mm	13,37	13,12	8,16	8,77	18,20	62,92	43,35	23,63	171,90
	3 mm	13,61	13,33	9,10	8,84	19,07	64,59	41,88	23,78	92,75
	2 mm	15,78	13,20	10,33	9,11	25,86	80,02	44,31	24,48	78,93
	1 mm	17,33	13,27	10,40	9,32	26,35	81,30	42,92	24,99	183,62
	0 mm	Inf	14,16	15,03	9,80	28,14	82,64	43,11	25,59	155,84
25 mm	5 mm	Inf	16,24	17,77	10,39	34,52	87,26	44,30	27,42	461,40
	4 mm	Inf	16,52	18,45	10,60	37,81	101,69	44,76	27,90	155,24
	3 mm	Inf	16,71	18,53	10,82	49,98	157,37	49,93	28,97	189,00
	2 mm	Inf	16,36	18,01	11,23	64,52	123,43	55,80	30,36	184,63
	1 mm	Inf	16,79	19,53	11,25	83,33	107,94	168,24	30,94	197,69
	0 mm	Inf	17,94	19,69	11,30	69,73	127,76	Inf	31,21	212,91
20 mm	5 mm	Inf	21,14	17,57	11,32	559,70	104,56	Inf	32,36	60800,30
	4 mm	Inf	21,16	17,49	11,33	534,54	99,73	Inf	33,16	71568,20
	3 mm	Inf	25,60	19,70	11,71	Inf	332,64	Inf	35,60	Inf
	2 mm	Inf	24,59	20,31	13,19	Inf	127,63	Inf	44,56	Inf
	1 mm	Inf	28,28	21,03	14,34	Inf	112,18	Inf	53,69	Inf
	0 mm	Inf	27,72	21,47	15,51	Inf	Inf	Inf	61,32	Inf
15 mm	5 mm	Inf	55,17	25,97	17,15	Inf	Inf	Inf	67,04	Inf
	4 mm	Inf	54,45	31,47	17,15	Inf	Inf	Inf	68,34	Inf
	3 mm	Inf	58,48	33,44	17,61	Inf	Inf	Inf	72,19	Inf
	2 mm	Inf	53,14	33,93	58,81	Inf	Inf	Inf	132,77	Inf
	1 mm	Inf	52,88	31,05	59,32	Inf	Inf	Inf	164,36	Inf
	0 mm	Inf	52,38	30,50	59,32	Inf	Inf	Inf	166,54	Inf
10	5 mm	Inf	126,16	36,04	60,57	Inf	Inf	Inf	134,54	Inf

	4 mm	Inf	91,79	34,45	65,13	Inf	Inf	Inf	573,87	Inf
	3 mm	Inf	123,42	40,11	84,39	Inf	Inf	Inf	289,65	Inf
	2 mm	Inf	119,10	59,92	Inf	Inf	Inf	Inf	290,53	Inf
	1 mm	Inf	94,23	72,43	Inf	Inf	Inf	Inf	2736,32	Inf
	0 mm	Inf	89,17	68,60	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
5 mm	5 mm	Inf	125,09	95,22	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	4 mm	Inf	114,90	107,97	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	3 mm	Inf	Inf	1866,59	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

č. vzorku č. rezistoru

		8_III	1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	7,38	5,41	3,27	3,04	2,58	1,87	3,21	2,21	3,07	
	4 mm	7,57	5,49	3,27	3,11	2,54	1,84	3,24	2,24	2,81	
	3 mm	7,53	5,59	3,20	3,26	2,44	1,94	3,15	2,30	2,88	
	2 mm	7,53	5,43	3,21	3,08	2,58	1,88	3,20	2,13	3,08	
	1 mm	7,55	5,48	3,28	3,10	2,54	1,85	3,23	2,31	2,86	
	0 mm	7,66	5,70	3,33	3,13	2,47	1,99	3,23	2,50	2,90	
30 mm	5 mm	8,81	7,20	3,33	3,08	2,50	1,95	3,73	2,32	3,10	
	4 mm	8,81	7,36	3,33	3,21	2,41	2,11	3,55	2,51	3,03	
	3 mm	9,21	7,58	3,19	3,30	2,59	2,02	3,67	2,51	3,08	
	2 mm	10,86	8,17	3,40	3,34	2,82	1,94	3,98	2,51	3,45	
	1 mm	15,96	8,18	3,96	3,43	2,77	2,14	4,48	2,83	3,59	
	0 mm	17,67	8,05	4,33	3,71	2,60	2,32	5,36	2,91	3,86	
25 mm	5 mm	30,42	208,01	5,74	3,84	3,32	4,57	8,16	3,65	4,18	
	4 mm	36,00	186,04	6,24	3,81	3,42	4,85	8,47	3,82	4,20	
	3 mm	44,00	215,48	8,15	4,16	3,61	5,45	8,79	4,00	4,56	
	2 mm	63,34	351,02	9,81	4,63	3,90	7,27	11,43	4,71	5,53	
	1 mm	79,66	1556	12,55	5,51	4,01	9,35	13,31	4,98	6,94	
	0 mm	121,24	1793	17,40	8,42	3,98	Inf	26,92	5,45	8,26	
20 mm	5 mm	486,94	Inf	22,14	15,67	4,12	Inf	37,55	5,92	8,32	
	4 mm	318,28	Inf	21,63	16,35	4,04	Inf	37,68	5,97	8,79	
	3 mm	389,17	Inf	26,91	19,82	4,01	Inf	43,58	6,39	9,71	
	2 mm	323,54	Inf	26,31	19,77	4,01	Inf	45,52	7,31	11,67	
	1 mm	263,83	Inf	26,04	22,24	3,99	Inf	45,10	7,20	11,38	
	0 mm	263,94	Inf	25,21	26,67	3,99	Inf	46,17	7,27	11,50	
15 mm	5 mm	257,89	Inf	23,41	Inf	4,02	Inf	30,09	6,97	10,28	
	4 mm	Inf	Inf	23,73	Inf	4,10	Inf	31,34	7,09	10,52	
	3 mm	Inf	Inf	114,21	Inf	4,41	Inf	34,56	7,81	10,49	
	2 mm	Inf	Inf	554,38	Inf	4,52	Inf	40,10	8,35	11,46	
	1 mm	Inf	Inf	294,74	Inf	4,35	Inf	37,78	8,35	11,81	
	0 mm	Inf	Inf	378,66	Inf	4,49	Inf	36,40	8,48	12,72	

10 mm	5 mm	Inf	Inf	260,71	Inf	5,44	Inf	34,28	10,56	12,01
	4 mm	Inf	Inf	2468	Inf	5,48	Inf	38,47	10,44	11,95
	3 mm	Inf	Inf	4500	Inf	5,25	Inf	35,46	10,30	12,66
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	5,57	Inf	41,91	13,73	13,61
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	7,19	Inf	47,19	19,05	14,97
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	7,41	Inf	48,11	18,82	14,69
5 mm	5 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	15,93	Inf	35,55	64,48	15,03
	4 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	15,66	Inf	31,29	82,13	15,64
	3 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	17,22	Inf	32,32	156,77	17,12
	2 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	37,15	Inf	26,80
	1 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	35,43	Inf	29,29
	0 mm	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	33,42	Inf	28,45

D Naměřené hodnoty referenčních vzorků

č. rezistoru

vertikálně		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,201	0,146	0,265	0,056	0,297	0,118	0,208	0,154	0,165
	4 mm	0,209	0,120	0,169	0,101	0,275	0,160	0,120	0,306	0,025
	3 mm	0,146	0,294	0,113	0,337	0,122	0,201	0,149	0,256	0,179
	2 mm	0,113	0,168	0,074	0,234	0,183	0,188	0,172	0,240	0,205
	1 mm	0,123	0,187	0,145	0,161	0,178	0,266	0,082	0,238	0,202
	0 mm	0,071	0,117	0,207	0,119	0,264	0,129	0,229	0,279	0,155
30 mm	5 mm	0,166	0,128	0,163	0,177	0,268	0,091	0,302	0,107	0,127
	4 mm	0,087	0,099	0,232	0,089	0,165	0,312	0,056	0,328	0,233
	3 mm	0,209	0,167	0,281	0,051	0,294	0,109	0,245	0,158	0,067
	2 mm	0,174	0,210	0,089	0,308	0,084	0,283	0,142	0,165	0,245
	1 mm	0,158	0,128	0,278	0,084	0,216	0,197	0,296	0,048	0,164
	0 mm	0,162	0,191	0,178	0,236	0,081	0,258	0,229	0,088	0,145
25 mm	5 mm	0,196	0,036	0,089	0,121	0,311	0,051	0,301	0,085	0,164
	4 mm	0,157	0,240	0,095	0,279	0,061	0,284	0,163	0,157	0,045
	3 mm	0,182	0,070	0,258	0,093	0,191	0,182	0,280	0,048	0,209
	2 mm	0,171	0,260	0,162	0,209	0,058	0,296	0,194	0,212	0,062
	1 mm	0,152	0,100	0,257	0,043	0,283	0,135	0,191	0,149	0,258
	0 mm	0,137	0,275	0,175	0,200	0,081	0,381	0,068	0,190	0,151
20 mm	5 mm	0,195	0,175	0,271	0,109	0,207	0,166	0,220	0,083	0,274
	4 mm	0,145	0,251	0,055	0,298	0,157	0,218	0,147	0,223	0,066
	3 mm	0,187	0,103	0,256	0,057	0,196	0,138	0,294	0,093	0,097
	2 mm	0,162	0,255	0,102	0,304	0,058	0,226	0,182	0,215	0,078
	1 mm	0,182	0,049	0,134	0,065	0,367	0,117	0,227	0,152	0,210
	0 mm	0,249	0,127	0,187	0,158	0,232	0,110	0,291	0,183	0,076
15 mm	5 mm	0,169	0,214	0,100	0,279	0,069	0,295	0,129	0,168	0,150
	4 mm	0,237	0,237	0,151	0,235	0,085	0,278	0,224	0,053	0,317
	3 mm	0,235	0,148	0,225	0,133	0,192	0,203	0,283	0,040	0,231
	2 mm	0,133	0,251	0,228	0,132	0,173	0,367	0,027	0,212	0,048
	1 mm	0,194	0,215	0,166	0,177	0,149	0,311	0,094	0,183	0,214
	0 mm	0,198	0,128	0,284	0,016	0,258	0,206	0,248	0,079	0,270
10 mm	5 mm	0,102	0,243	0,250	0,121	0,199	0,237	0,067	0,336	0,071
	4 mm	0,094	0,200	0,122	0,181	0,216	0,253	0,095	0,265	0,079
	3 mm	0,275	0,103	0,092	0,232	0,164	0,174	0,352	0,036	0,297
	2 mm	0,178	0,119	0,267	0,055	0,351	0,069	0,266	0,168	0,196
	1 mm	0,232	0,184	0,236	0,175	0,230	0,197	0,254	0,057	0,284
	0 mm	0,132	0,227	0,236	0,093	0,168	0,354	0,111	0,224	0,179
5 mm	5 mm	0,198	0,112	0,246	0,025	0,337	0,152	0,197	0,163	0,238
	4 mm	0,162	0,129	0,179	0,133	0,328	0,148	0,272	0,235	0,032
	3 mm	0,106	0,219	0,171	0,224	0,168	0,310	0,149	0,205	0,320
	2 mm	0,281	0,193	0,233	0,193	0,304	0,213	0,335	0,120	0,210

	1 mm	0,221	0,294	0,174	0,325	0,113	0,389	0,150	0,257	0,213
	0 mm	0,292	0,278	0,172	0,296	0,175	0,334	0,188	0,241	0,278

č. rezistoru

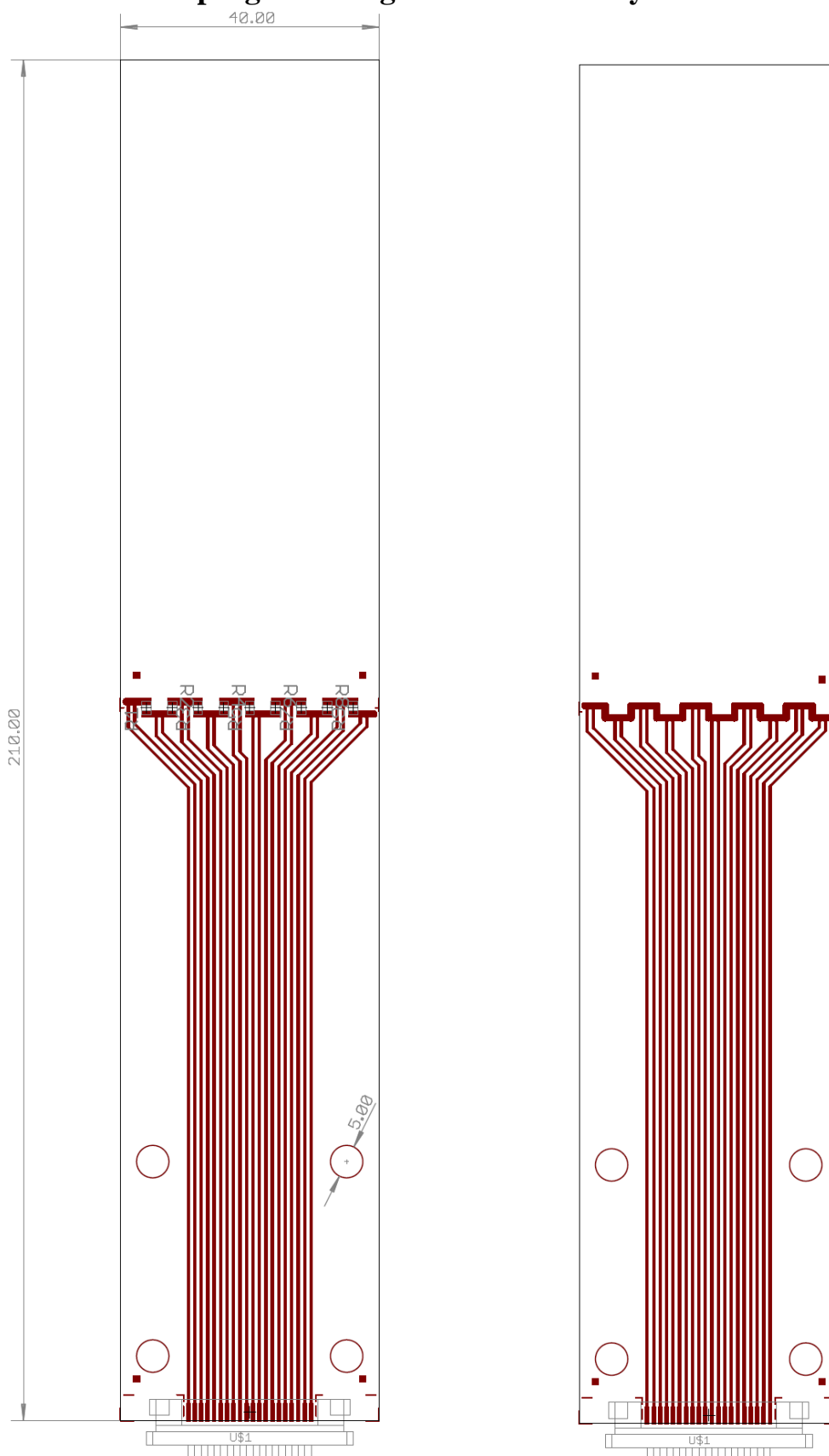
horizontálně		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
40 mm	5 mm	0,249	0,328	0,202	0,425	0,059	0,401	0,161	0,277	0,225
	4 mm	0,262	0,320	0,259	0,358	0,104	0,371	0,236	0,151	0,399
	3 mm	0,297	0,227	0,291	0,291	0,225	0,203	0,356	0,285	0,037
	2 mm	0,184	0,275	0,142	0,413	0,132	0,291	0,244	0,276	0,120
	1 mm	0,303	0,137	0,181	0,307	0,292	0,130	0,393	0,155	0,262
	0 mm	0,270	0,259	0,390	0,243	0,191	0,279	0,321	0,123	0,339
30 mm	5 mm	0,272	0,267	0,350	0,275	0,188	0,247	0,341	0,131	0,321
	4 mm	0,214	0,339	0,168	0,491	0,082	0,278	0,242	0,295	0,133
	3 mm	0,265	0,147	0,180	0,323	0,292	0,114	0,331	0,221	0,266
	2 mm	0,154	0,181	0,274	0,259	0,288	0,179	0,293	0,321	0,061
	1 mm	0,190	0,243	0,243	0,402	0,119	0,302	0,311	0,120	0,394
	0 mm	0,246	0,134	0,274	0,197	0,349	0,156	0,319	0,202	0,255
25 mm	5 mm	0,250	0,315	0,152	0,474	0,106	0,287	0,234	0,298	0,141
	4 mm	0,250	0,133	0,293	0,169	0,340	0,232	0,246	0,200	0,336
	3 mm	0,231	0,345	0,231	0,401	0,050	0,341	0,228	0,271	0,121
	2 mm	0,169	0,209	0,309	0,257	0,190	0,347	0,106	0,386	0,156
	1 mm	0,324	0,289	0,204	0,377	0,143	0,300	0,318	0,066	0,412
	0 mm	0,217	0,159	0,361	0,234	0,223	0,244	0,321	0,151	0,315
20 mm	5 mm	0,151	0,320	0,332	0,252	0,140	0,409	0,103	0,345	0,192
	4 mm	0,265	0,327	0,255	0,385	0,091	0,319	0,371	0,083	0,299
	3 mm	0,117	0,298	0,340	0,238	0,183	0,414	0,140	0,264	0,198
	2 mm	0,332	0,258	0,189	0,418	0,161	0,179	0,424	0,081	0,286
	1 mm	0,260	0,198	0,373	0,158	0,279	0,261	0,267	0,164	0,360
	0 mm	0,234	0,197	0,278	0,259	0,253	0,205	0,272	0,338	0,050
15 mm	5 mm	0,223	0,351	0,281	0,330	0,103	0,438	0,122	0,272	0,238
	4 mm	0,212	0,287	0,242	0,319	0,158	0,366	0,155	0,285	0,262
	3 mm	0,233	0,186	0,372	0,207	0,242	0,249	0,288	0,172	0,311
	2 mm	0,244	0,290	0,185	0,422	0,060	0,378	0,200	0,231	0,230
	1 mm	0,210	0,306	0,259	0,311	0,150	0,374	0,153	0,329	0,172
	0 mm	0,341	0,272	0,195	0,409	0,122	0,291	0,357	0,069	0,295
10 mm	5 mm	0,253	0,133	0,234	0,223	0,358	0,124	0,328	0,209	0,258
	4 mm	0,302	0,201	0,253	0,284	0,305	0,214	0,291	0,310	0,103
	3 mm	0,264	0,356	0,239	0,439	0,101	0,365	0,256	0,264	0,239
	2 mm	0,274	0,188	0,343	0,201	0,299	0,325	0,350	0,159	0,356
	1 mm	0,251	0,404	0,324	0,452	0,077	0,467	0,199	0,315	0,231
	0 mm	0,248	0,281	0,153	0,483	0,176	0,332	0,280	0,331	0,169
5 mm	5 mm	0,172	0,317	0,254	0,361	0,170	0,358	0,188	0,377	0,216
	4 mm	0,280	0,199	0,215	0,417	0,231	0,238	0,462	0,107	0,376
	3 mm	0,330	0,311	0,435	0,335	0,258	0,314	0,376	0,191	0,399

	2 mm	0,313	0,436	0,288	0,569	0,153	0,435	0,326	0,355	0,286
	1 mm	0,451	0,358	0,317	0,536	0,236	0,421	0,468	0,193	0,500
	0 mm	0,387	0,223	0,304	0,406	0,408	0,277	0,523	0,245	0,386

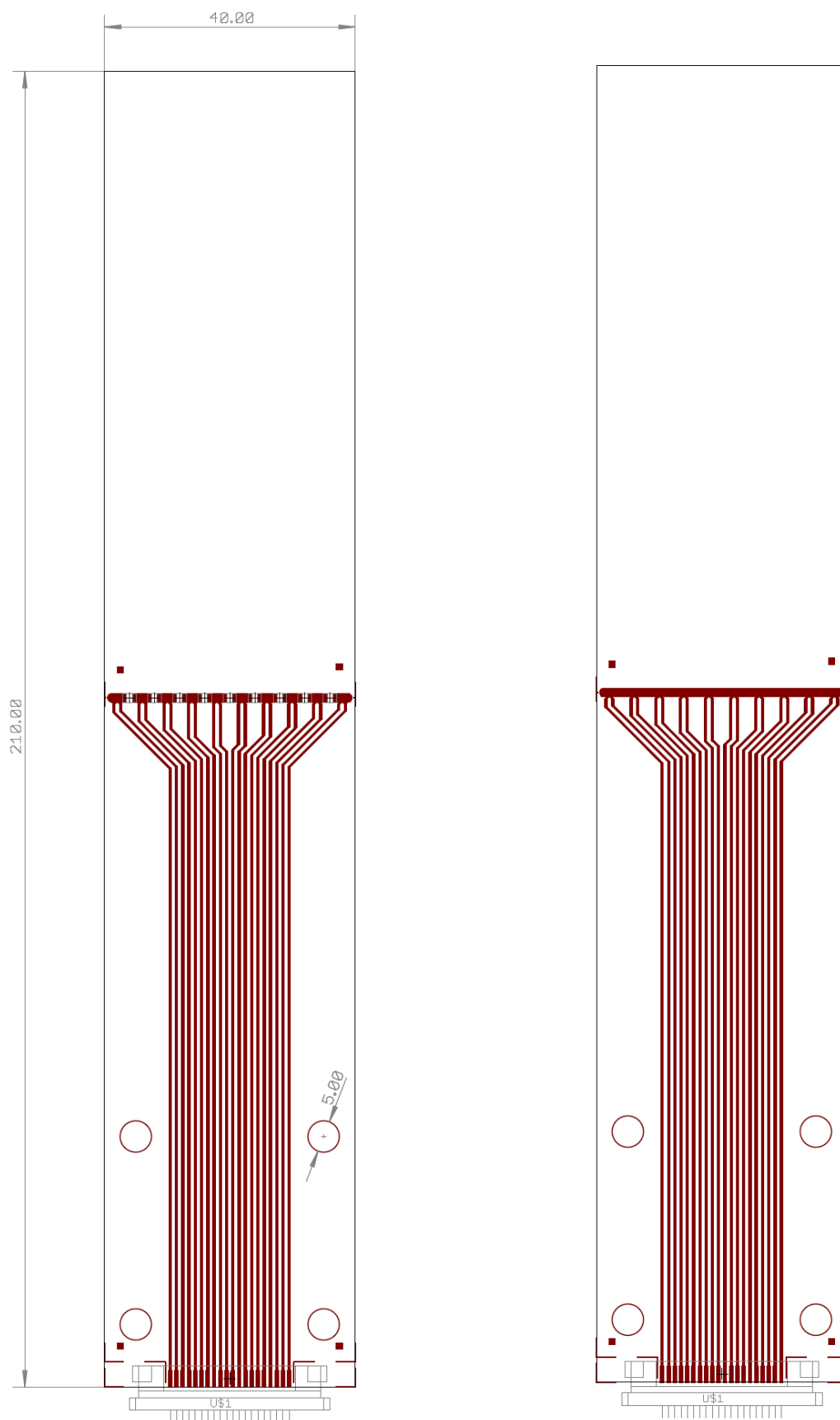
č. rezistoru

		1 [Ω]	2 [Ω]	3 [Ω]	4 [Ω]	5 [Ω]	6 [Ω]	7 [Ω]	8 [Ω]	9 [Ω]
20 mm	5 mm	37,23	36,12	36,65	37,78	39,46	40,79	40,73	39,60	38,75
	4 mm	37,24	36,14	36,84	37,86	39,48	40,79	40,74	39,59	38,80
	3 mm	37,26	36,10	36,81	37,91	39,42	40,83	40,69	39,61	38,76
	2 mm	37,26	36,12	36,83	37,88	39,45	40,79	40,73	39,58	38,78
	1 mm	37,23	36,09	36,86	37,83	39,49	40,75	40,75	39,55	38,79
	0 mm	37,20	36,09	36,82	37,87	39,44	40,79	40,74	39,57	38,78
15 mm	5 mm	37,75	36,54	37,44	38,36	40,32	41,25	41,29	40,40	39,24
	4 mm	37,76	36,60	37,34	38,34	40,00	41,26	41,26	40,01	39,25
	3 mm	37,81	36,79	37,68	38,74	40,43	41,71	41,72	40,49	39,65
	2 mm	38,54	37,18	37,89	38,96	40,64	42,02	42,01	40,91	40,01
	1 mm	38,46	37,15	37,87	38,87	40,62	41,90	41,93	40,78	39,95
	0 mm	38,39	37,13	37,83	38,86	40,58	41,87	41,94	40,75	39,92
10 mm	5 mm	38,29	36,78	37,70	38,93	40,46	41,68	41,68	40,65	39,59
	4 mm	38,29	36,96	37,69	38,73	40,41	41,72	41,72	40,55	39,65
	3 mm	38,26	36,99	37,68	38,72	40,44	41,72	41,86	40,67	39,79
	2 mm	38,45	37,14	37,83	38,94	40,61	41,95	41,93	40,78	39,86
	1 mm	38,59	37,27	38,01	39,11	40,80	42,15	42,12	40,97	40,00
	0 mm	38,50	37,20	38,22	39,34	41,06	42,42	42,38	41,17	40,20
5 mm	5 mm	38,45	37,11	37,89	39,05	40,69	42,15	42,06	40,78	39,86
	4 mm	38,34	37,18	37,98	39,11	40,78	42,13	42,13	40,89	39,97
	3 mm	38,37	37,23	38,04	39,09	40,83	42,10	42,15	40,88	40,13
	2 mm	38,66	37,52	38,31	39,45	41,15	42,50	42,49	41,24	40,29
	1 mm	38,74	37,66	38,60	39,82	41,52	42,89	42,86	41,61	40,65
	0 mm	39,26	38,03	38,84	40,02	41,78	43,15	43,12	41,88	40,90
max	x	44,56	43,21	44,60	45,97	48,34	50,29	51,59	50,77	48,34

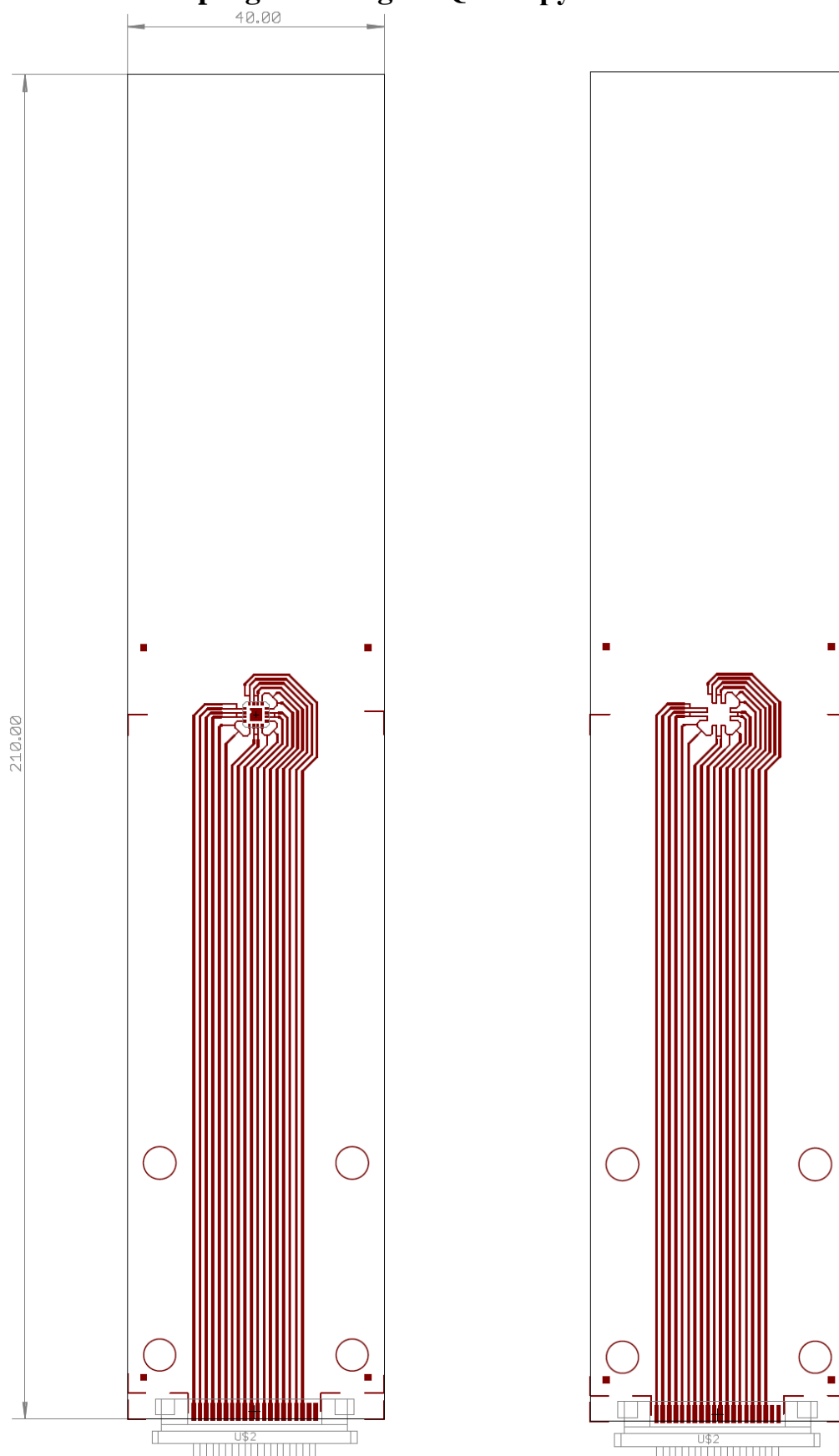
E Návrh vzorků v programu Eagle s SMD rezistory 0805



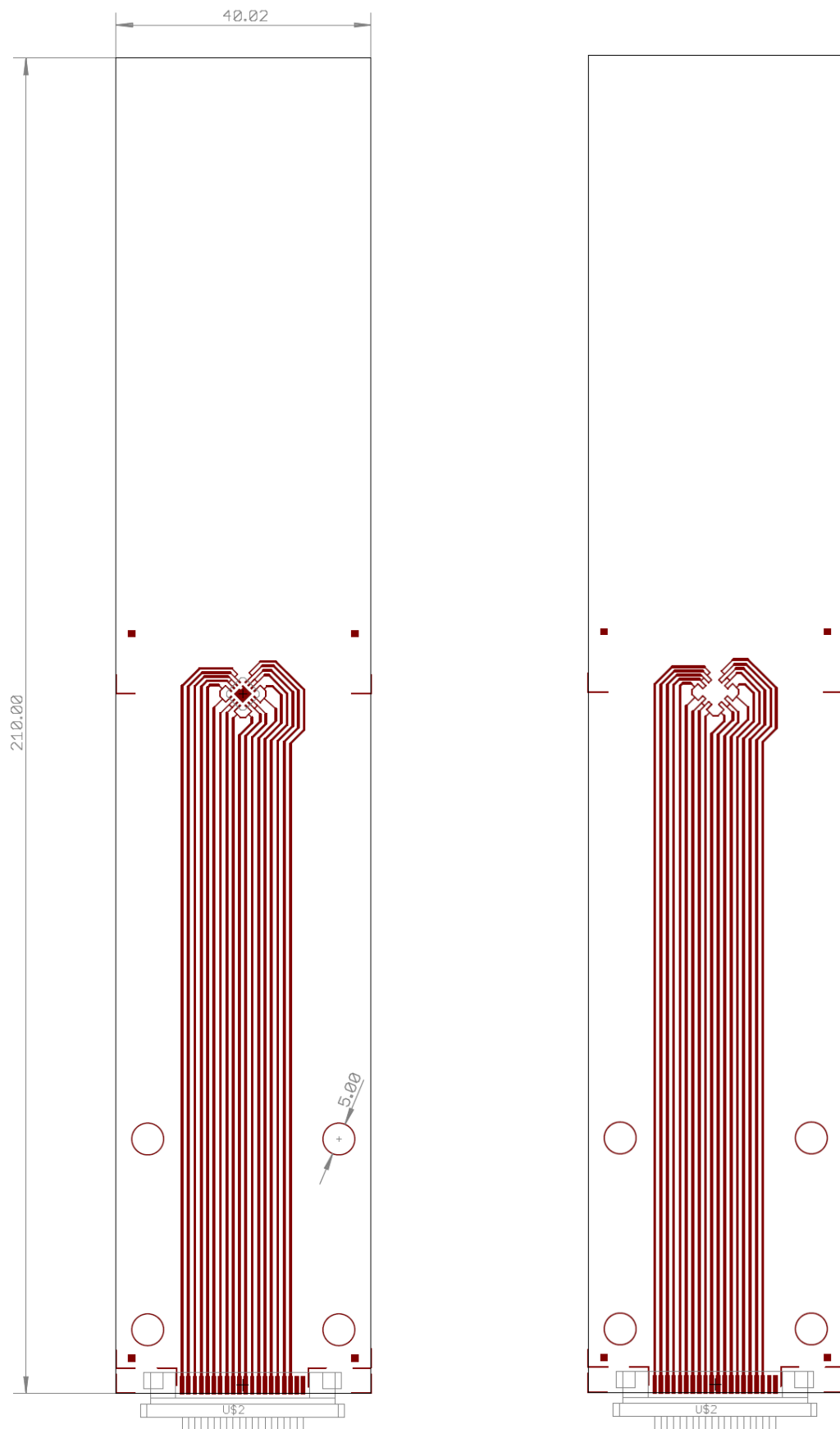
Obr. 1: Návrh vzorku s rezistory v horizontální poloze a vzorku s propojenými vývody.



Obr. 2: Návrh vzorku s rezistory ve vertikální poloze a vzorku s propojenými vývody.

F Návrh vzorků v programu Eagle s QFN čipy

Obr. 3: Návrh vzorku s QFN čipem ve vodorovné poloze a vzorku s propojenými vývody.



Obr. 4 Návrh vzorku s QFN čipem otočeným o 45° a vzorku s propojenými vývody.