

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra Materiálů a Technologií

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Funkční testy vodivých spojů SMD součástek na chytrých textiliích

Autor práce: **Bc. Karel Hamerník**  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Hirman, Ph.D.**

---

2021

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2021/2022

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel HAMERNÍK**  
Osobní číslo: **E19N0047P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Téma práce: **Funkční testy vodivých spojů SMD součástek na chytrých textiliích**  
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

### Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši funkčních testů využívaných pro (chytré) textilie.
2. Navrhněte vhodný postup funkčního testování vodivých spojů SMD součástek na chytrých textiliích.
3. Navrhněte experiment pro zjištění vlivu funkčního testování na vybrané vlastnosti zvolených spojů.
4. Proveďte a vyhodnoťte navržený experiment.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**


Seznam doporučené literatury:

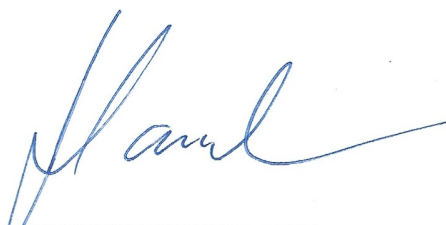
- Vědecké publikace (z konferencí, impaktovaných časopisů, ...)
- K.L. Mittal, A. Tanweer – Adhesion in Microelectronics
- R. J. Klein Wassink; Soldering in electronics
- S. Ebnesajjad, A.H. Landrock – Adhesives Technology Handbook
- Internetové zdroje

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Hirman, Ph.D.**  
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2022**



  
L.S.  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
\_\_\_\_\_  
**Doc. Ing. Alěš Hamáček, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se věnuje funkčním testům vodivých spojů na SMD součástkách osazených na chytrých textiliích, navrhnutím experimentu pro zjištění vlivu funkčního testování na vybrané vlastnosti spojů a jeho následným provedením. V první části práce je popsán aktuální stav chytrých textílií a jejich dělení. Dále jsou v diplomové práci popsány jednotlivé technologie kontaktování SMD součástek. Ve druhé části této práce je popsán mnou navržený experiment a jeho následné provedení. Zároveň tato práce obsahuje získaná data z jednotlivých technologií kontaktování, jedná se o pájený spoj, lepený spoj a spoj vytvořený pomocí termokomprese.



## **Klíčová slova**

Chytré textilie, funkční testování, kontaktování SMD součástek, nositelná elektronika, e-textilie, elektricky vodivé pružné stuhy, pájení na textilie, nevodivé lepidlo, vodivé lepidlo, termokomprese, praní.

## **Abstract**

This thesis deals with functional testing of conductive joints on SMD components mounted on smart fabrics, designing an experiment to determine the effect of functional testing on selected properties of the joints and its subsequent implementation. The first part of the thesis describes the current state of smart fabrics and their classification. Furthermore, the thesis describes the different technologies for contacting SMD components. The second part of this thesis describes the experiment designed by me and its subsequent implementation. At the same time, this thesis contains the data obtained from the different contacting technologies, these are solder joint, bonded joint and thermal compression joint.

## **Key words**

Smart textiles, functional testing, SMD component assembly, wearable electronics, e-textiles, electrically conductive stretchable textile ribbons, soldering onto textile, nonconductive adhesive, conductive adhesive, termocompression, washing.

## 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 bakalářské/diplomové práce, je legální

*Karel Hamerník*  
.....

Podpis

V Plzni, dne 9.5.2022

Bc. Karel Hamerník

## **Poděkování**

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ZČU č. SGS-2021-003 „Materiály, technologie a diagnostika v elektrotechnice“. Dále bych tímto chtěl poděkovat Ing, Martinovi Hirmanovovi, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

# Obsah

Úvod . . . . .	1
<b>1 Chytré textilie . . . . .</b>	<b>2</b>
1.1 Základní vlastnosti chytrých textilií . . . . .	2
1.1.1 Sensory pro chytré textilie . . . . .	3
1.1.2 Aktuátory . . . . .	4
1.1.3 Zpracování dat . . . . .	4
1.1.4 Úložiště . . . . .	5
1.1.5 Komunikace . . . . .	5
1.2 Materiály pro chytré textilie . . . . .	5
1.2.1 Optická vlákna . . . . .	6
1.2.2 Polymerní vlákna . . . . .	7
1.2.3 Kovová vlákna . . . . .	7
1.2.4 Vodivé inkousty . . . . .	8
1.2.5 Materiály s látkovou přeměnou . . . . .	8
1.3 Technologie výroby chytrých textilií . . . . .	9
1.3.1 Zpracování povrchu textilií pro integraci senzorů a vodivých drah	10
1.3.2 Následná integrace vodivých cest a snímačů do textilního povrchu	12
1.4 Aplikace chytrých textilií . . . . .	17
1.4.1 Textilie s tvarovou pamětí . . . . .	18
1.4.2 Textilie měnící barvu . . . . .	19
1.4.3 Textilie měnící fázi . . . . .	20
1.4.4 Nositelné chytré elektronické textilie . . . . .	21
<b>2 Kontaktování SMD součástek na smart textilie . . . . .</b>	<b>23</b>
2.1 Kontaktování pájením . . . . .	25
2.2 Kontaktování vodivým lepením . . . . .	27
2.3 Kontaktování nevodivým lepením . . . . .	28
2.4 Kontaktování termokompresí . . . . .	31
<b>3 Funkční testy (chytrých) textilií . . . . .</b>	<b>34</b>
3.1 Návrh testu . . . . .	36

3.1.1	Testování odolnosti praním . . . . .	37
3.1.2	Testování odolnosti proti potu . . . . .	38
3.1.3	Testování odolnosti proti odírání . . . . .	38
3.1.4	Testování odolnosti v ohybu . . . . .	38
3.2	Měření hodnot odporů . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Vyhodnocení . . . . .</b>	<b>41</b>
4.1	Výsledky experimentu metodou pájení . . . . .	42
4.2	Výsledky experimentu metodou vodivého lepení . . . . .	43
4.3	Výsledky experimentu metodou nevodivého lepení . . . . .	45
4.4	Výsledky experimentu metodou termokomprese . . . . .	48
4.5	Shrnutí experimentu . . . . .	50
	<b>Zhodnocení a závěr . . . . .</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam literatury a informačních zdrojů . . . . .</b>	<b>54</b>
	<b>Přílohy: . . . . .</b>	<b>i</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1.1	Kovové vlákno opředené nevodivou přízí (a.), příze ovinuta kovovým vláknem (b.), propletení kovového vlákna s nevodivým vláknem (c.) . . . . .	8
Obr. 1.2	Chytrá textilie přizpůsobená textilu . . . . .	9
Obr. 1.3	Chytrá textilie integrovaná do textilu . . . . .	10
Obr. 1.4	Chytrá textilie na bázi textilu . . . . .	10
Obr. 1.5	Schéma pletení . . . . .	11
Obr. 1.6	Metoda TFP za použití vodivého vlákna . . . . .	13
Obr. 1.7	Dvojitý zámkový steh . . . . .	13
Obr. 1.8	Ohebná DPS spojena nití na vyšívání obvod . . . . .	14
Obr. 1.9	Sítotisk plochý . . . . .	15
Obr. 1.10	Sítotisk rotační . . . . .	15
Obr. 1.11	Princip postupu inkoustového tisku . . . . .	16
Obr. 1.12	Princip tiskárny CREATIF . . . . .	17
Obr. 2.1	Průřez vodivou pružnou tkanou stuhou . . . . .	24
Obr. 2.2	Přerušení vodivé cesty pomocí bodové svářečky . . . . .	24
Obr. 2.3	Detailní pohled na stuhu před přerušením vodivých drah (vlevo) a po přerušení (vpravo) . . . . .	25
Obr. 2.4	Kontaktování pájením - Stuha . . . . .	25
Obr. 2.5	Kontaktování pájením - Nanesení pájky . . . . .	26
Obr. 2.6	Kontaktování pájením - Umístění součástky . . . . .	26
Obr. 2.7	Kontaktování pájením - Pájení . . . . .	26
Obr. 2.8	Kontaktování pájením - Zapouzdření nevodivým lepidem . . . . .	26
Obr. 2.9	Kontaktování vodivým lepením - Stuha . . . . .	27
Obr. 2.10	Kontaktování vodivým lepením - Nanesené lepidlo . . . . .	27
Obr. 2.11	Kontaktování vodivým lepením - Umístění součástky . . . . .	27
Obr. 2.12	Kontaktování vodivým lepením - Tepelné vytvrzení . . . . .	28
Obr. 2.13	Kontaktování vodivým lepením - Zapouzdření nevodivým lepidlem . . . . .	28
Obr. 2.14	Kontaktování nevodivým lepením - Stuha . . . . .	29
Obr. 2.15	Kontaktování nevodivým lepením - Nanesení nevodivého lepidla . . . . .	29
Obr. 2.16	Kontaktování nevodivým lepením - Umístění součástky . . . . .	29



Obr. 2.17	Kontaktování nevodivým lepením - Namáčknutí součástky ke stuze .	30
Obr. 2.18	Kontaktování nevodivým lepením - Vytvrzení lepidla pomocí UV záření . . . . .	30
Obr. 2.19	Kontaktování nevodivým lepidlem - Odebrání závaží, vznik díry . .	30
Obr. 2.20	Kontaktování nevodivým lepidlem - Opětovné nanesení lepidla . . .	30
Obr. 2.21	Kontaktování nevodivým lepidlem - Opětovné vytvrzení lepidla po- mocí UV záření . . . . .	31
Obr. 2.22	Kontaktování nevodivým lepidlem - Finální stav . . . . .	31
Obr. 2.23	Kontaktování termokompresí - Stuha . . . . .	32
Obr. 2.24	Kontaktování termokompresí - Umístění součástky . . . . .	32
Obr. 2.25	Kontaktování termokompresí - Posazení fóliového pouzdra . . . . .	32
Obr. 2.26	Kontaktování termokompresí - Umístění do termokompresního za- řízení, varianta I (vlevo) a varianta II (vpravo) . . . . .	32
Obr. 2.27	Kontaktování termokompresí - Přítlak pomocí vzduchového balónu, varianta I (vlevo) a varianta II (vpravo) . . . . .	33
Obr. 2.28	Kontaktování termokompresí - Finální stav . . . . .	33
Obr. 3.1	Triko . . . . .	36
Obr. 3.2	Detailní pohled na stuhy . . . . .	37
Obr. 3.3	Prací prášek SDCE ECE (A) Non-Phosphate . . . . .	38
Obr. 3.4	Ohmova metoda měření odporů . . . . .	40
Obr. 3.5	Čtyřvodičová metoda měření odporů . . . . .	40
Obr. 4.1	Legenda pro krabicový graf . . . . .	41
Obr. 4.2	Statisticky zpracované hodnoty odporů pájeného spoje . . . . .	43
Obr. 4.3	Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje z vodivého lepidla . .	45
Obr. 4.4	Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje z nevodivého lepidla .	47
Obr. 4.5	Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje za pomocí termokom- prese (Varianta I) . . . . .	49
Obr. 4.6	Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje za pomocí termokom- prese (Varianta II) . . . . .	50
Obr. 4.7	Mediány použitých metod ve spojnicovém (nahore) a krabicovém (dole) grafu . . . . .	51
Obr. 4.8	Vizuální porovnání stuh před (nahore) a po (dole) experimentu . . .	52

## Seznam tabulek

Tab. 1.1	Klasifikace chytrých textilií . . . . .	2
Tab. 3.1	Normy pro testování (chytrých) textilií . . . . .	34
Tab. 4.1	Hodnoty odporů při použití pájení . . . . .	42
Tab. 4.2	Hodnoty odporů při použití vodivého lepení . . . . .	44
Tab. 4.3	Hodnoty odporů při použití nevodivého lepení . . . . .	46
Tab. 4.4	Hodnoty odporů při použití termokomprese (varianta I) . . . . .	48
Tab. 4.5	Hodnoty odporů při použití termokomprese (varianta II) . . . . .	49

## Seznam symbolů a zkratk

ACA	Anisotropic Conductive Adhesive - Anizotropní vodivé lepidlo
Bi	Bismut
ČSN	Česko-Slovenská státní norma (Česká technická norma)
DPS	Deska Plošných Spojů
FBG	Fiber Bragg Grating - Vlákno s Braggovou mřížkou
GPS	Global Positioning System - Globální polohový systém
GSM	Groupe Spécial Mobile - Globální systém pro mobilní komunikaci
ICP	Intrinsically Conducting Polymer - Vnitřně vodivý polymer
ISO	International Organization for Standardization - Mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem.
ITA	Institut für Textiltechnik - Katedra univerzity v Cáchách, Německo
LED	Light-emitting Diode - Elektroluminiscenční dioda
NCA	Non Conductive Adhesive - Nevodivé lepidlo
PANI	Polyanilin
PCA	Polyacetylen
PCM	Phase Shift Material - Materiál měnící fázi
PES	Polyester
PET	Polyethylentereftalát
POF	Polymer Optical Fibre - Polymerové optické vlákno
PPy	Polypyrrol
PVC	Polyvinylchlorid
RF	Radio Frequency - Rádiová frekvence

SMD	Surf Mount Device - Součástky pro povrchovou montáž
Sn	Cín
TFP	Tailored Fiber Placement - Technologie uložení vláken
UV	Ultraviolet - Ultrafialové

## Úvod

Tato diplomová práce se zabývá chytrými textiliemi, konkrétně metodami kontaktování SMD součástek na chytré textilie. Cílem práce je určit nejefektivnější metodu kontaktování na základě vyhodnocení navržených funkčních testů. Použité metody kontaktování jsou nízkoteplotní pájení, které patří mezi nejspolehlivější metodu kontaktování, bohužel vysoká teplota použitá při pájení může poškodit textilie. Druhou metodou je použití vodivého lepidla, které se oproti pájení vytvrzuje při teplotách do 100°C avšak po delší dobu. Třetí metodou je použití nevodivého lepidla, u kterého není nutné žádné tepelné vytvrzování. Čtvrtou metodou je použití termokomprese, kdy je součástka připevněna na textil působením teploty a tlaku, potřebná teplota dosahuje obdobných hodnot jako u nízkoteplotního pájení a to 170°C.

Důvodem vzniku této práce je rostoucí trend chytrých textilií, známých také pod názvem smart textilie, či e-textilie. Chytré textilie jsou jednou z oblastí, která přináší textilním materiálům přidanou hodnotu. Jedná se o odvětví, které se rozvíjí díky novým technologiím, novým vláknům a textilním materiálům. Na výrobě inteligentních nebo chytrých textilií spolupracují další vědní obory, jako jsou nanotechnologie, věda o materiálech, design, elektronika a výpočetní technika atd. Chytré textilie lze také označit jako textilie nové generace.

# 1 Chytré textilie

Jako základní funkci textilu si každý z nás představí odívání, ochranu či estetiku, je zkrátka nepostradatelnou součástí všedního života každého z nás, v posledních letech se s rozvojem technologií a změnou poptávky zvyšuje nabídka chytrých textilií i jejich kvalita. Chytré textilie se dají využít jak pro jednoduché tak i pro složité aplikace. Svoje využití najdou například ve zdravotnictví, sportu, modním odvětví a také ve vojenství [1]. Chytré textilie mohou být rozděleny do dvou kategorií a to na estetické a výkonostní. Estetické chytré textilie využívají své schopnosti svítit a měnit barvu, typickým komerčním příkladem jsou světélkující šaty. Výkonostní chytré textilie můžeme dále dělit na pasivní chytré textilie, aktivní chytré textilie a ultra chytré textilie. Pasivní chytré textilie mohou pouze vnímat prostředí, protože se jedná pouze senzory. Aktivní chytré textilie mohou snímat podněty z okolního prostředí a také na ně reagovat, kromě funkce senzoru mají také funkci aktuátoru. Ultra chytré textilie jdou ještě o něco dál. Ultrachytré textilie jsou materiály, které vnímají, reagují, monitorují a přizpůsobují se podle podnětů nebo podmínek prostředí, jako jsou tepelné, mechanické, chemické, magnetické a další zdroje. Ultra chytré textilie mají kromě senzorů a aktuátorů také vlastní procesor, řídicí jednotku, která funguje jako mozek, s poznávacími, rozumovými a aktivačními schopnostmi [1]. Tabulka 1.1 ukazuje přehledně klasifikaci chytrých textilií.

Tab. 1.1: Klasifikace chytrých textilií

	Snímání vnějších podmínek	Reakce	Reakce a přizpůsobení
Pasivní chytré textilie	✓		
Aktivní chytré textilie	✓	✓	
Ultra chytré textilie	✓	✓	✓

Zdroj: [1]

## 1.1 Základní vlastnosti chytrých textilií

Chytré textilie jsou chytré systémy, které dokáží vnímat nebo sdělovat podmínky prostředí a dokáží detekovat a zpracovávat stav uživatele. Mohou k tomu využívat elektrické, tepelné, mechanické, chemické, magnetické a další detekční systémy. Chytré oděvy se od nositelných počítačových systémů liší tím, že odhalují význam oděvu, na kterém jsou

integrovány. Nositelné výpočetní systémy jsou tvořeny tak, že tradiční systémy jsou nějakým způsobem připevněny k oděvu. Použitá zařízení jsou umístěna netextilním způsobem, aniž by byla integrována. Ačkoli některé elektronické materiály byly pro použití v oděvech redukovány, skutečné chytré oděvy by měly využívat materiály vyrobené výhradně textilní výrobou. Elektronické materiály, které mají být umístěny, nesmí narušovat pohodlí standardního oděvu z textilního materiálu. Ideální chytré textilie by měli plnit těchto pět funkcí:

- Senzory,
- Aktuátory,
- Zpracování dat,
- Úložiště,
- Komunikace.

Kromě toho musí nutně splňovat funkce oděvu jako je pohodlí, trvanlivost, odolnost vůči běžným vlivům jako je pot a praní atd. [1, 4].

### 1.1.1 Senzory pro chytré textilie

Senzor je součástka, která transformuje určitý typ signálu na signál elektrický. V textiliích již existují systémy, které měří srdeční tep, dechovou frekvenci, tělesnou i okolní teplotu, pohyb a vlhkost, tyto systémy většinou pracují s instalací tradičních senzorů do textilií. V současné fázi inteligentních textilií se senzory vyrábějí ze skutečného textilního materiálu a senzory citlivé na srdeční činnost, dech a pohyb se již vyrábějí s uspokojivými výsledky. Mezi senzory používané v chytrých textiliích patří:

- Tepelné senzory: tepelný senzor detekuje tepelnou změnu, například termistor, který mění odpor v důsledku tepelné změny. Dalším příkladem jsou hydrogely reagující na podněty, které v reakci na tepelnou změnu nabobtnají.
- Světelné senzory: tyto senzory převádějí světelnou energii na výstupní napětí, například fotorezistory.
- Snímače zvuku: převádějí zvuk na elektrický signál, například piezoelektrické materiály.

- Senzory vlhkosti: tyto senzory měří absolutní nebo relativní vlhkost. Příkladem, který může být zajímavý pro textilní použití, je kapacitní zařízení, které mění dielektrické vlastnosti s absorpcí vlhkosti.
- Tlakové senzory: tyto senzory převádějí tlak na elektrický signál. Snímač tlaku může být založen na jednoduchých operacích, jako je otevření nebo uzavření obvodu. Mohou však být založeny i na složitějších formách, jako je kapacitní nebo piezoelektrický jev.
- Tenzometrické senzory: tyto senzory převádějí tah na elektrický signál. Snímače tahu mohou být založeny na polovodičových materiálech, strukturách snímajících tah nebo piezoelektrických jevech.
- Chemické senzory: jedná se o řadu senzorů, které detekují přítomnost a/nebo koncentraci chemických látek.
- Biosenzor: jedná se o snímací zařízení, které obsahuje biologické prvky, jež jsou primárním snímacím prvkem. Tento prvek reaguje změnou vlastnosti na vstupní analyt, například snímání hladiny glukózy v krvi [1, 9].

### 1.1.2 Aktuátory

Aktuátory, nebo také akční členy, jsou zařízení, která převádí elektrickou energii na jinou. Jedná se o zařízení, určená k provádění potřebných činností podle signálů ze snímače nebo procesoru. Aktuátory působí na základě účinku vyslaného ze snímače, který případně nejprve projde informačním procesorem, a provedou úkony, jako je pohybování předměty, uvolňování materiálů a vydávání hluku. Nejlepším příkladem v této oblasti jsou materiály s tvarovou pamětí. Dalším typem aktuátoru jsou materiály, které jsou schopny za určitých podmínek uvolňovat určité chemické látky, které mohou být zachyceny v ochranných mikrokapslích nebo chemicky vázány na polymer vlákna. Takovéto vylučovací materiály mají různé komerční využití [1, 10].

### 1.1.3 Zpracování dat

Zpracování dat je nutné pouze u aktivních a ultra chytrých textilií. Podle teorie informace je nutné zpracovat každou shromážděnou informaci a data a získat požadovaný



výstup. Proto, aby bylo možné získat požadovaný výstup zpracováním parametrů sbíracích senzory, je v chytrých textiliích zapotřebí procesor vhodný pro daný účel. Hlavním problémem ve zpracování dat je variabilita signálů a jejich analýza. Kromě toho je dalším problémem, se kterým se dnes setkáváme, energie potřebná pro procesor. Jelikož elektronické komponenty potřebné pro energii nejsou dostatečně malé a flexibilní. Dalším problémem může být vodotěsnost u těchto elektronických součástí, jedním z řešení může být zapouzdření [1, 11].

#### **1.1.4 Úložiště**

Další součástí chytrých textilií je skladování. Ačkoli se nejedná o základní cíl, očekává se, že chytré obleky budou potřebovat úložnou kapacitu, aby mohly fungovat samy o sobě. Zdroj energie potřebný pro provoz senzorů, procesorů a pohyblivých systémů v chytrých textiliích by měly být kombinovány se schopností ukládat energii. V dnešní době jsou k dispozici velmi malé a lehké baterie a toto řešení této energetické potřeby je metodou, která přichází v úvahu na prvním místě. I když se vyrábějí flexibilní, nemají dostatečný výkon a jsou stále ve vývoji. Na druhou stranu je situace jednodušší a požadavku na energii lze dosáhnout přímým kontaktem s oděvem nebo bezdrátovým spojením [1, 12]

#### **1.1.5 Komunikace**

Poslední ze složek chytrých textilií je komunikační složka, která je tvarována podle typu a potřeby komunikace. Existuje mnoho typů komunikace v rámci chytrých textilií. V dnešních prototypch je komunikace uvnitř oděvu zajištěna optickými vlákny nebo vodivými jemnými dráty. Ty jsou přirozeně tkané a mohou být umístěny v textilu bez použití stehů. Další možností je použít anténu a docílit tak bezdrátové komunikace. Anténa je integrována do oděvu a velkou výhodou je, že pro komunikaci lze využít velkou plochu, aniž by si toho byl uživatel vědom.

## **1.2 Materiály pro chytré textilie**

Materiálů, které se dají použít na vytvoření chytrých textilií je mnoho. Jedná se o:

- Optická vlákna,
- Polymerní vlákna,

- Kovová vlákna,
- Vodivé inkousty,
- Materiály s látkovou přeměnou.

Tyto materiály budou dále podrobněji popsány v následujících podkapitolách.

### 1.2.1 Optická vlákna

Optická vlákna se stále častěji používají k přenosu signálu a pomalu vytlačují standardní elektrické kabely v mnoha odvětvích, není tomu jinak ani u aplikace chytrých textilií. Optická vlákna se dělí na skleněná a plastová, jinak řečeno polymerní (POF - Polymer Optical Fibre). Ké své funkci optická vlákna využívají mechanismů indexu lomu a totálního odrazu.

Neustálý pokrok a vývoj v oblasti chytrých textilií klade nárok na miniaturizaci, nízkou spotřebu a bezdrátové připojení. Systém optických vláken všechny tyto požadavky splňuje. Optické vláknové senzory zaznamenaly velký rozvoj v mnoha oblastech použití, včetně průmyslu, monitorování stavu konstrukcí a zdravotnictví. V těchto aplikacích nabízejí optické vláknové senzory výhody, jako je kompaktnost, nízká hmotnost, možnost multiplexování, jiskrově bezpečný provoz a odolnost vůči elektromagnetickému rušení [15]. Tyto výhody jsou důležité zejména pro nositelné aplikace, kde je možné získat kompaktní snímače s bezpečným provozem. Absence elektrického proudu a s ním spojené elektromagnetické rušení je velice důležité například u použití asistenčních zařízení zejména u uživatelů se zdravotním postižením.

Tyto výhody motivují vývoj fotonicky integrovaných textilií, které se v prvních případech začaly používat jako oděvní doplňky nebo signalizační zařízení. S rozšířením optických vláknových senzorů se však tzv. fotonické textilie uplatňují na snímání tělesné teploty, dechu a srdeční frekvence. Mnohé z uváděných senzorů jsou založeny na vláknových Braggových mřížkách (FBG). Problémem u těchto senzorů je, že jsou stavěny na křemíková (skleněná) optická vlákna. Skleněná vlákna dosahují velice nízkých ztrát, ovšem za cenu malé ohebnosti a velké křehkosti. Překonat tyto nevýhody umožňují polymerní optická vlákna, která vykazují vyšší mezní deformace, pružnost a odolnost proti nárazu. Jejich odolný povrch také usnadňuje zabudování POF do textilií, kde byly tyto vlastnosti prokázány v mnoha případech pro nositelné senzory sloužící k hodnocení lid-

ského zdraví [15]. Pro integraci vláken se používá technologie tkaní, pletení nebo vyšívaní. Flexibilita látky je ovlivněna uspořádáním a typem používaných vláken.

### 1.2.2 Polymerní vlákna

Polymerní vlákna jsou obvykle nevodivá, například PVC či PET, najdou se ovšem i výjimky a to jsou vodivé polymery ICP (Intrinsically conducting polymer). Do této skupiny patří polyacetylen (PCA), polypyrrol (PPy), polyanilin (PANI) [16]. ICP mají dobré elektrické, mechanické a elektrochemické vlastnosti, díky kterým najdou své využití v chemických, biologických či plynových senzorech. Kromě senzorů se také využívají v nabíjecích bateriích, elektrochromních displejích či elektrokatalyzátorech. Vlastnosti ICP se dají dále velmi dobře vylepšit pomocí dopování [17]. Při dopování se přidává malé množství chemického činidla a mění se elektronická struktura. Proces dopování je vratný.

Vodivé polymery jsou k dispozici ve formě pevných sloučenin, tak i ve formě kapalných disperzí a roztoků. Kapalné verze lze snadno nanášet na textil metodami nanášení. Polypyrrol může být například nanesen chemickou a elektrochemickou oxidací na polyesterovou textilií [17]. Nanesením vodivých povlaků na textilie by se měl získat nový a technicky zajímavý textilní materiál.

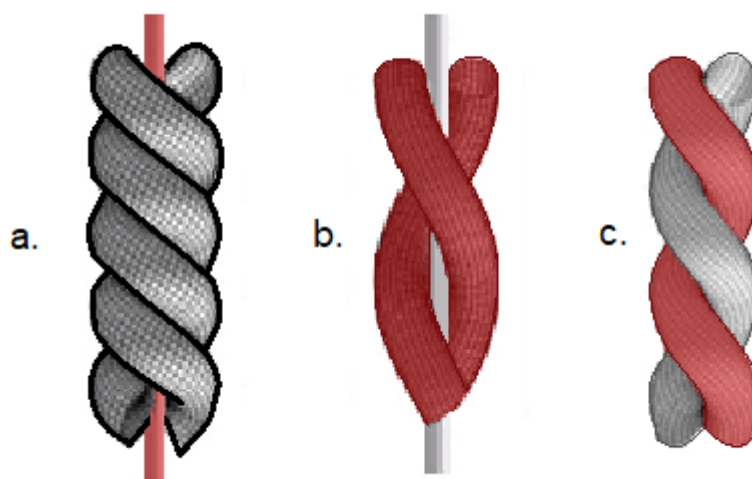
### 1.2.3 Kovová vlákna

Pro kovová vlákna se využívá převážně stříbro, zlato, měď, hliník, či nerezová ocel. Vlákna se splétají do nití nebo přízí. Ve formě nitě se mohou dále vplétat do textilií a vytvořit tak vodivé cestičky. Kovová vlákna se nejčastěji používají v kombinaci s klasickou nití. Struktury vodivých nití by se daly rozdělit do tří tříd.

**Příze plněná kovem** U přízí plněných kovem slouží jemný kovový drát jako jádro pokryté nevodivými vlákny. Textilní potahy mohou chránit jádro kovového vlákna a pomáhají mu odolávat fyzikálnímu namáhání a poskytují elektrickou izolaci. Kovové vlákno opředené nevodivou přízí je zobrazeno na Obr. 1.1 (a).

**Opřádání kovovým vláknem** Jedná se o kompozit kovu a příze. Vodivá příze se skládá především z vlákna nevodivé příze ovinuté jedním nebo více kovovými drátky. Příze ovinuta kovovým vláknem je zobrazena na Obr. 1.1 (b).

**Kovová příze** Kovová příze nemá strukturu jádro-plášť. Dochází zde k propletení vodivé a nevodivé nitě. Kovová vlákna, která jsou velmi jemně tažena nahrazují jedno vlákno nebo celá vlákna příze. Kovová vlákna se připravují buď ve formě vláken, nebo ve formě střížových vláken a zpracovávají se jako běžná příze. Propletení kovového vlákna s nevodivým vláknem je zobrazeno na Obr. 1.1 (c.).



Obr. 1.1: Kovové vlákno opředené nevodivou přízí (a.), příze ovinuta kovovým vláknem (b.), propletení kovového vlákna s nevodivým vláknem (c.)

Zdroj: [7]

#### 1.2.4 Vodivé inkousty

Další možností jak zajistit elektrickou vodivost na textiliích je použití vodivého inkoustu. Vodivý inkoust se používá převážně pro tištěnou elektroniku. Mezi používané inkousty patří například grafenový inkoust, vločky grafenu musí být rozpuštěny tak aby neucpali tiskařské hlavice.

Na univerzitě v Tokiu byl vyvinut speciální vodivý inkoust. Nově vyvinutý inkoust obsahuje tři složky a to stříbrné vločky, fluorizovaný kaučuk a fluorové smáčedlo. Smáčedlo snižuje povrchové napětí a řídí tvorbu povrchově lokalizovaných vodivých sítí stříbrných vloček v tištěném vodiči, který má vysokou vodivost a roztažitelnost [18].

#### 1.2.5 Materiály s látkovou přeměnou

Materiály s fázovou změnou, běžně označované jako PCM (Phase shift materials), jsou produkty, které uchovávají a uvolňují tepelnou energii během procesů tání a mrznutí. Ma-

teriály s fázovou změnou uvolňují při mrznutí velké množství energie ve formě latentního tepla, ale při tání absorbují stejné množství energie z bezprostředního okolí. To umožňuje skladování tepelné energie, teplo nebo chlad se uchovává z jednoho procesu nebo časového období a využívá se později nebo se přenáší na jiné místo. U chytrých textilií najdou svoje využití pro ochlazování nebo naopak zahřívání uživatele. Do vláken se vloží mikro kapsle s parafínovým voskem. Vosk buď absorbuje teplo a z pevného skupenství se stává kapalné, nebo naopak uvolňuje teplo a z kapalného skupenství se stává pevné.

### 1.3 Technologie výroby chytrých textilií

Vytvoření chytré textilie lze docílit několika způsoby. Níže jsou uvedeny nejdůležitější výrobní procesy a příklady použití. Různé technologie výroby chytrých textilií se liší podle úrovně integrace elektronických komponent do textilu. Rozlišujeme celkem tři úrovně integrace.

- Přizpůsobené textilu (Textile-adapted) - Jedná se o nejjednodušší variantu integrace, propojení textilu a elektrické součástky je provedeno například pomocí všitých kapes, nebo pomocí suchého zipu. Textilie je v tomto případě pouze „nosič“. Příkladem může být MP3 přehrávač umístěn ve speciální kapse na bundě, kabely jsou pak vedeny například očkem a kánálkem v kapuci. Příklad je na Obr. 1.2.



Obr. 1.2: Chytrá textilie přizpůsobená textilu

Zdroj: [19]

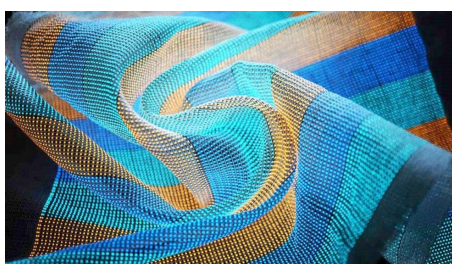
- Integrované do textilu (Textile-integrated) - Elektrické komponenty jsou integrované do textilu, například pomocí vodivých vláken. Tato metoda aktuálně patří mezi nejpoužívanější a nejrozšířenější. Příklad je na Obr. 1.3.



Obr. 1.3: Chytrá textilie integrovaná do textilu

Zdroj: [21]

- Na bázi textilu (Textile-based) - Textilie samy o sobě přebírají úkoly konvenčních pevných elektronických součástí, například vodivá příze, piezoelektrická nebo fluorescenční vlákna. Příklad je na Obr. 1.4.



Obr. 1.4: Chytrá textilie na bázi textilu

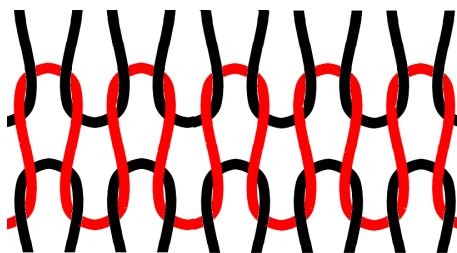
Zdroj: [20]

### 1.3.1 Zpracování povrchu textilií pro integraci senzorů a vodivých drah

Vytvoření vodivých cest v textilií je možné dvěma způsoby, prvním způsobem je zavést vodivé vlákno přímo mezi vlákna textilní, toho lze docílit pletením a tkaním. Druhou možností je nanešení vodivého materiálu už na vytvořený textil, více bude uvedeno v kapitole 1.3.2.

**Pletení:** Pletené látky vykazují vysokou pružnost a roztažitelnost, jsou velmi pohodlné při nošení na těle, mají dobrou prodyšnost, tepelnou retenci a ucházející odvod vlhkosti. Pletací stroj na nitích vytvoří očka, která se vzájemně spojují. Mezi takto upletenou textilií se poté vplétají speciální vlákna pro získání vodivých schopností, schéma pletení je zobrazeno na Obr. 1.5.

Pletené elektrody z polyamidových vláken potažených stříbrem se již používají ke sledování srdečního rytmu, dýchání a bioimpedance (složení tělesné tkáně). Footfalls & Heartbeats komerčně nabízí pletené senzory z polymerních přízí potažených nerezovou ocelí. Lze dosáhnout odporu v rozmezí 5-5000  $\Omega$  cm<sup>2</sup>, takže lze realizovat tlakové senzory a elektrody pro různé aplikace [23].



Obr. 1.5: Schéma pletení

Zdroj: [24]

U útkových pletenin je vzdálenost mezi vodiči omezena na přibližně 500  $\mu\text{m}$  vzhledem k velikosti smyček pleteniny. Li a spol. použili techniku intarzního pletení k výrobě obvodů z měděných vláken potažených polyuretanem pomocí plochého pletacího stroje. Útkový úplet je pružný a roztažitelný s pouze 1% změnou elektrického odporu po 1 000 000 cyklech roztažení při maximálním roztažení 20 %. Po 30 pracích cyklech pro jemné prádlo při 30 °C vykazovalo změnu odporu 16 % vzorků. Úplet byl použit v demonstrátoru v ochranné vestě pro měření zátěže a deformace. I když lze plochý úplet automatizovat, jeho reprodukovatelnost (viz prací schopnost) a přesnost jsou stále příliš nízké na to, aby je bylo možné produkovat v průmyslovém měřítku [25].

**Tkaní:** Tkaní patří mezi nejstarší metody výroby látek. Provádí se na tkalcovském stavu, v porovnání s pletenými látkami jsou tkané látky odolnější a lépe drží tvar. Vodivé příze se používají přímo jako osnovní nitě (Osnova je soustava rovnoběžně uložených nití, do které se zanáší útek) v tkalcovském stavu, a v závislosti na použitém tkalcovském stavu tvoří vodivé dráhy. Konvenční tkaní umožňuje pouze lineárně procházející síť, zatímco síť na otevřených stavech mohou být také posunuty do stran ve směru výroby.

Pro výrobu elektrických obvodů v tkaninách je třeba provést ještě další kroky po tkaní s vodivými přízemi. Například Locher a spol. popisují v článku metodu, při níž se izolační vrstva tkaniny z polyesteru a izolované měděné dráhy nejprve odstraní laserem v požadovaných bodech a poté se dráhy vodiče oddělí od zbytku mřížky. Osnovní a útkové příze jsou spojeny vodivým lepidlem a nakonec utěsněny epoxidem. Přestože lze tímto způsobem realizovat rozvržení obvodů s jemnějším rozlišením (vzdálenost jednotlivých vodičů je 150  $\mu\text{m}$ ) než při pletení, je tento proces obtížně průmyslově využitelný, z důvodů složitějších kroků a uspořádání lze navrhovat s menší volností než v případě vyšívání nebo pletení [26].

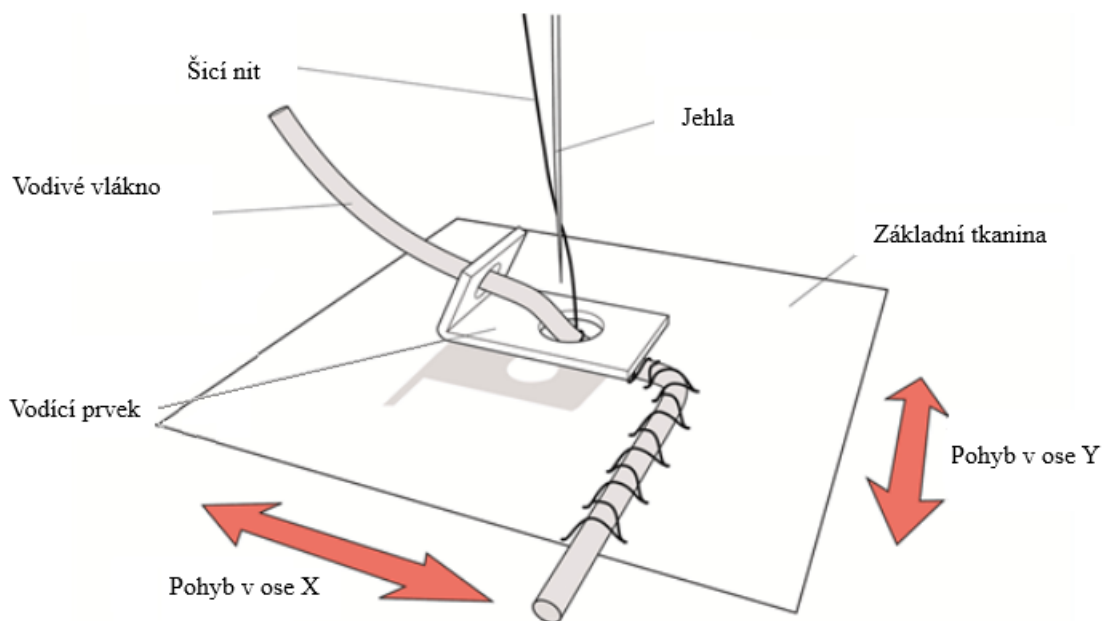
**Zdvojená textilie:** Jako alternativa k obyčejným „jednoduchým“ textiliím se také používá textilie zdvojená. Zdvojená textilie se skládá ze dvou vrstev tkaniny spojených vlásovými přízemi. Zdvojené útkové nebo osnovní úplety z vodivých přízí lze také použít jako odporové snímače tlaku, u nichž kontakt mezi horním a dolním povrchem textilie vyvolaný tlakem způsobuje změnu odporu.

### 1.3.2 Následná integrace vodivých cest a snímačů do textilního povrchu

Kromě přímé integrace vodivých cest při výrobě textilu, textilní povrchy mohou být také obohaceny funkčními přízemi a to vyšíváním nebo potiskem. Tyto technologie jsou také hojně využívány při výrobě chytrých textilií a v následujících odstavcích budou popsány.

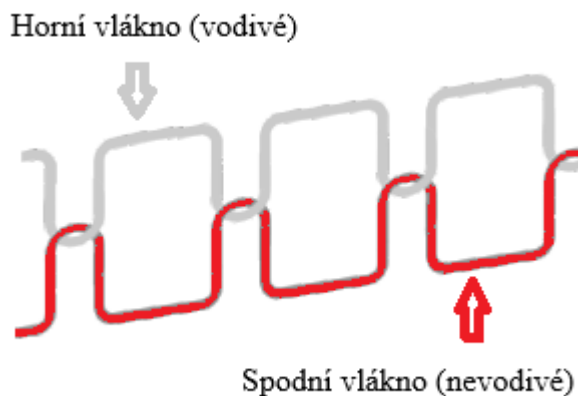
**Vyšívání:** Metody vyšívání řetízkovým stehem, standardním stehem a metodou TFP (Tailored Fiber Placement) patří k nejpoužívanějším technologiím v oblasti vyšívání. S technologií vyšívání lze realizovat flexibilní uspořádání vodivých stop z vodivých přízí nebo dokonce kovových drátků na textili. V procesu TFP je kladoucí vlákno umístěno s vysokou přesností na textilní podklad pomocí horního a spodního vlákna. Tato technologie byla původně vyvinuta pro výrobu vláknových kompozitů. Pokud použijeme elektricky vodivou přízi tzn. vodič je v místě pokládky elektricky vodivý, můžeme takto realizovat vodivé cesty. Metoda TFP je vhodná pro zpracování kovových vláken [27]. Princip metody TFP lze vidět na Obr. 1.6.





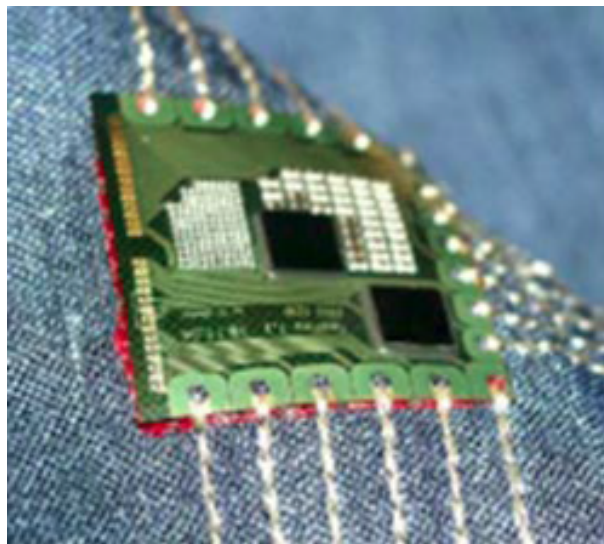
Obr. 1.6: Metoda TFP za použití vodivého vlákna  
Převzato a upraveno z: [28]

Pomocí dvojitého zámkového stehu lze na textilní povrchy flexibilně aplikovat senzory, vodiče, topné dráty atd. V závislosti na tom, zda je jedna nebo obě (horní a spodní) nitě vodivé, lze vyrobit jednostranné nebo oboustranné elektrodové podložky. Dvojitý zámkový steh je zobrazen na Obr. 1.7. Wang a spol. realizovali radiofrekvenční antény (RF) s kovově-polymerovými vlákny pomocí výšivky, přičemž dosáhli síly signálu jen o 1 dB nižší než u běžných měděných RF antén. Je však třeba otestovat jejich trvanlivost a omyvatelnost [29].



Obr. 1.7: Dvojitý zámkový steh

Mikroelektronické součástky mohou být na vyšívány obvod připojeny různými metodami. Kromě lepení a pájení lze ohebné DPS (Deska plošných spojů) kontaktovat přímo vyšívací nití, tento postup je zobrazen na Obr. 1.8.



Obr. 1.8: Ohebná DPS spojena nití na vyšívány obvod

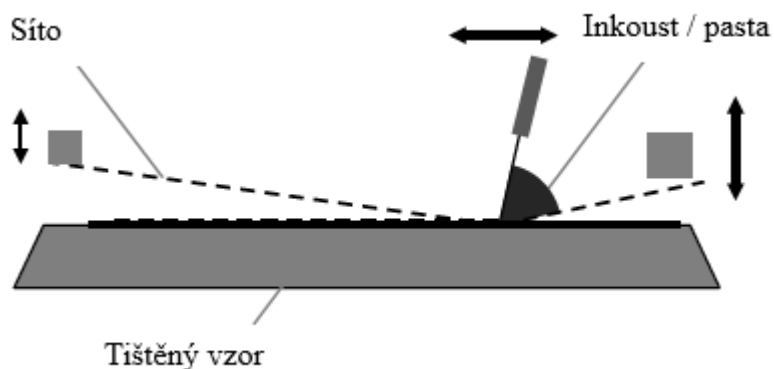
Zdroj: [19]

**DPS na textilu:** Vzhledem k možnosti vyššího rozlišení vodivých drah, a tedy možnosti integrovat SMD s mnohem menšími rozměry, jsou v následujícím textu představeny různé technologie potisku vhodné pro textilní substráty.

**Sítotisk a šablonový tisk:** Zatímco doposud zmíněné výrobní technologie využívají k dosažení inteligentních vlastností vodivé příze, níže jsou představeny aplikace chytrých textilií zahrnující potisk textilií. Speciální barvy umožňují implementovat inteligentní funkce do textilií s vysokým rozlišením. Největšími problémy při funkčním tisku na textil jsou odolnost proti praní a náchylnost k praskání při mechanickém namáhání. Výzkumníci z Tokijské univerzity vyvinuli nový typ vodivého inkoustu s vysokou vodivostí, mechanickou pevností a snadným použitím. Vodivost elastického vodiče při prodloužení 0 % je maximálně  $738 \frac{S}{cm}$  a při prodloužení 215 % je minimálně  $182 \frac{S}{cm}$  (pro porovnání měď má  $58 - 104 \frac{S}{cm}$ ). Složkami inkoustu jsou stříbrné vločky, fluorizovaný kaučuk a fluorové smáčedlo. Smáčedlo snižuje povrchové napětí a řídí tvorbu povrchově lokalizovaných vodivých sítí stříbrných vloček v tištěném vodiči tak, aby bylo dosaženo vysoké vodivosti a tažnosti [30].

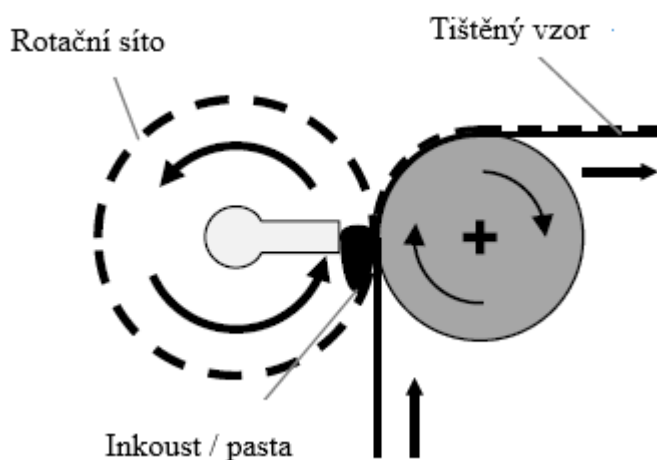
Tisk klasických barevných vzorků na textil lze realizovat různými postupy. Patří mezi

ně tisk pomocí tiskových válců, plochý tisk na šablony a rotační tisk na šablony. Při tisku pomocí tiskových válců se vzor, který má být vytištěn, vyryje na válečky, které vzor přenesou na textil. Metody sítotisku lze použít k tisku vodivých drah na nejrůznější materiály, od textilií po fólie a keramiku. Při plochém šablonovém tisku, známém také jako sítotisk, se vzor nanáší na plochou šablonu. Tisk se provádí pro jeden list šablony za druhým (Obr. 1.9). Tisková pasta se přes propustné síto šablony vtlačí na textil v požadovaném vzoru. V místech, kde textilie nemá být potištěna, je šablona pro tiskovou pastu nepropustná. Při rotačním tisku na šablonu se vzor šablony nanáší na válec, který tiskne pastu na textilii (Obr. 1.10). Na rozdíl od plochého šablonového tisku lze pak tento proces provádět kontinuálně. Proces sítotisku vyžaduje následné vytvrzení potištěné textilie v peci, které je nezbytné pro zachování vysoké vodivosti a fixaci potištěného materiálu k podkladu [31].



Obr. 1.9: Sítotisk plochý

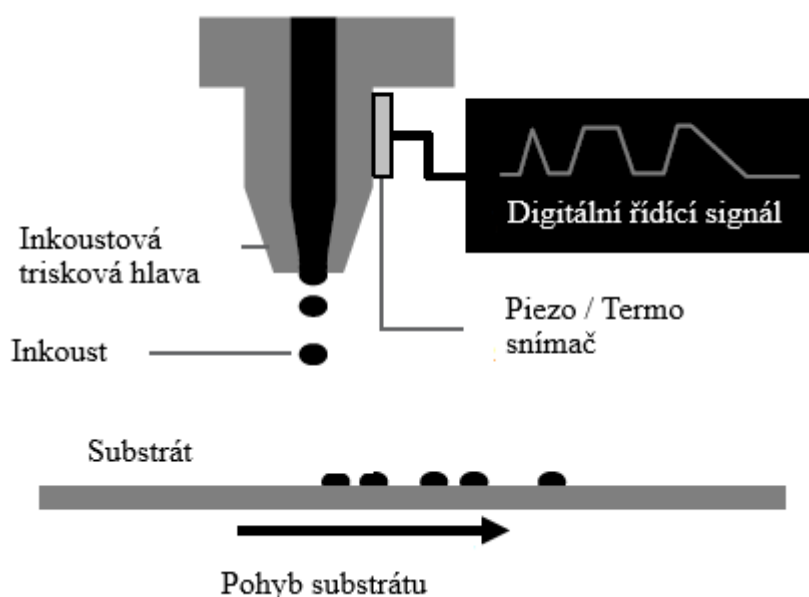
Zdroj: [19]



Obr. 1.10: Sítotisk rotační

Zdroj: [19]

**Inkoustový tisk:** Inkoustový tisk je alternativní technikou, která nevyžaduje vytvoření šablony. Jedná se o digitální tiskový proces, který používá většina komerčních papírových tiskáren. Digitální obraz je zpracován tiskárnou a tisková pasta je nanášena na nosný textil v malých kapkách přes trysku, aniž by se dotýkala textilu. To znamená, že v závislosti na rozlišení tiskárny lze vytisknout jakýkoli vzor. Důležitá je pouze zpracovatelnost tiskové pasty pro tiskárnu a potisknutelnost textilie. Princip inkoustového tisku je zobrazen na Obr. 1.11.



Obr. 1.11: Princip postupu inkoustového tisku

Převzato a upraveno z: [19]

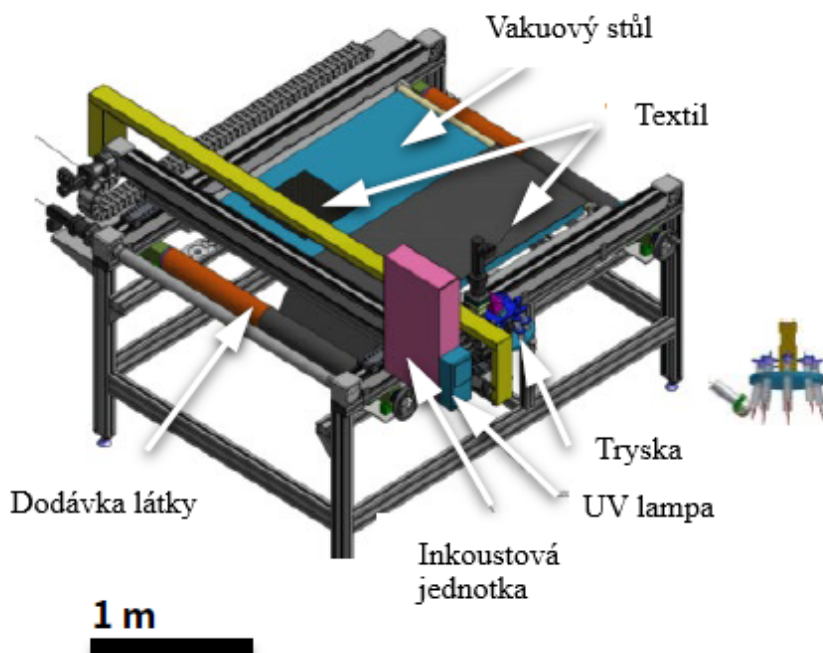
Při tisku na textil je třeba vzít v úvahu několik překážek:

- Nerovný a nehladký povrch textilií ztěžuje rovnoměrný tisk vodivých past.
- Textilie jsou pružné a ohebné a při použití v oděvech by měly být také pratelné a prodyšné. To vede k mimořádnému zatížení tištěné elektroniky.
- Jakýkoli fyzický kontakt s tiskem klade zvláštní nároky na tiskovou pastu, která musí být šetrná k pokožce.

Kromě běžných tiskových technologií byla vyvinuta takzvaná "tiskárna CREATIF", pojmenovaná podle výzkumného projektu CREATIF, Institut für Textiltechnik (ITA), Univerzity RWTH Aachen v Německu a Školou elektroniky a informatiky Univerzity v Southamptonu ve Velké Británii. Jedná se o digitální tiskárnu vybavenou tiskovými hlavami

pro funkční pasty, inkoustovou hlavou a příslušnými sušícími jednotkami. Tiskne na textilie elektricky vodivými, termochromnými, luminiscenčními, piezorezistivními a mnoha dalšími pastami, které realizují inteligentní funkce textilu. Složkami vodivých past jsou obvykle stříbrné vločky, fluorizovaný kaučuk a fluorové smáčedlo. Díky vysoké elasticitě past si zachovávají vysokou vodivost i při trojnásobném natažení materiálu [32].

Tisk probíhá ve vrstvách. Pro výrobu vodivých cest se používá pasta DuPont 5025 (měrný elektrický odpor vodivého inkoustu DuPont 5025 „Silver conductor“ je  $133 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ , pro srovnání stříbro má  $0,015 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ ). V první vrstvě jsou vytištěny neprotínající se dráhy a v následující vrstvě je vytištěno dielektrikum (izolační můstek) pro budoucí křížení drah. Tento proces se opakuje, dokud není realizován celý elektrický obvod. Princip činnosti tiskárny CREATIF je vidět na Obr. 1.12.



Obr. 1.12: Princip tiskárny CREATIF

Převzato a upraveno z: [19]

## 1.4 Aplikace chytrých textilií

Chytré textilie se v dnešní době těší stále větší oblibě a tak není divu, že na trhu se začíná objevovat více a více nových technologií a nových aplikací. Nejčastěji se ale chytré textilie stále vyskytují hlavně ve zdravotnictví, sportu, módě či armádním odvětví. V této podkapitole bude uvedeno několik málo příkladů z každého z těchto odvětví.

### 1.4.1 Textilie s tvarovou pamětí

Materiály, které si pamatují původní tvar, se nazývají materiály s tvarovou pamětí. Materiály se ze svého aktuálního tvaru při změně teploty vracejí do původního tvaru pomocí chemického, mechanického, magnetického nebo elektrického vnějšího působení. Existuje mnoho tříd materiálů s tvarovou pamětí, jako jsou slitiny, polymery, gely či keramika. V případě textilií se ze zmíněných materiálů nejčastěji používají slitiny a polymery s tvarovou pamětí. Důležitým bodem v těchto aplikacích je, že použitý materiál vykazuje efekt tvarové paměti při teplotách blízkých teplotě těla [1, 4, 12].

Slitiny s tvarovou pamětí jsou tvořeny kombinací dvou nebo více prvků s vlastnostmi tvrdosti a pružnosti, které se při určitých teplotách výrazně mění. Příkladem použití slitin s tvarovou pamětí v textiliích je slitina niklu a titanu, která se používá v ochranných oděvech proti ohni a vysokým teplotám a poskytuje různé úrovně ochrany v závislosti na teplotě. V rámci stupně aktivace se snadno deformovatelná slitina stává při daném stupni aktivace tužší a nabývá původního tvaru. Slitina nanesená na tkaninu ve formě rovného povrchu nabývá vlivem teploty tvaru pružiny, zvětšuje vzduchovou mezeru v tkanině, čímž zvyšuje ochranu oděvu a vznik popálenin druhého stupně za stejných podmínek. Stupeň aktivace lze upravit změnou poměru niklu a titanu ve slitině. Trička vyvinutá italskou společností Corpo Nove zkracují rukávy se zvýšením teploty a nevyžadují žehlení, což je další příklad použití slitin s tvarovou pamětí v textilu [1, 4, 12].

Polymery s tvarovou pamětí mohou být použity při výrobě vláken nebo mohou být aplikovány na textilie procesem povrchové úpravy, potahování nebo laminování. Polymery mají různou propustnost pro vodní páru, propustnost pro vzduch, modul pružnosti, index lomu a roztažnost. Polymer s tvarovou pamětí umístěný mezi dvěma vrstvami tkaniny má pod určitou teplotou těsnou strukturu a zabraňuje cirkulaci tepla, vody a větru kolem těla. Zvýšením teploty se molekuly začnou pohybovat a stanou se porézní strukturou, což má za následek vylučování tepla z těla. Tato pružná bariérová funkce umožňuje přizpůsobit izolační vlastnosti oděvu změnám teploty a zajistit optimální pohodlí v jakémkoli prostředí. Krystalická struktura materiálu při dané teplotě určuje mnoho jeho fyzikálních vlastností. Během fázové změny dochází kromě mikroskopických změn i ke změnám makroskopickým, jako je modul pružnosti, koeficient tření, elektrická vodivost a tvrdost [1, 4, 12].

Další z důležitých aplikací využívajících těchto změn jsou chirurgické přize. Pro en-

doskopickou chirurgii jsou určeny například samopřetkávané chirurgické nitě, dále jsou používány implantáty, které jsou v běžných okolních podmínkách malé. Bude tak možné provádět operace s malými řezy, což zkrátí dobu hojení a sníží riziko infekce [1, 4, 12].

#### 1.4.2 Textilie měnící barvu

Jedná se o inteligentní textilní materiály, které mají schopnost měnit barvu na základě vnějšího podnětu. Vznikají začleněním materiálů měnících barvu do struktury textilních materiálů. Materiály měnící barvu jsou chromové materiály nebo tzv. chameleonové materiály. Existuje mnoho různých mechanismů změny barvy, ale většinou se v důsledku vnějšího podnětového účinku mění elektronová hustota nebo molekulární struktura materiálu a dochází ke změně barvy, když podnětový účinek zmizí, vrátí se do původního stavu, kdy jsou stabilnější a získají svou prvotní barvu [1, 4, 33, 34].

Materiály měnící barvu jsou specifikovány podle mechanismu účinku. Základními parametry účinku jsou světlo, teplo, změna pH, roztok, tření a tlak. Nazývají se také podle typu účinku jako fotochromní (působící prvek je světlo), termochromní (působící prvek je teplo), elektrochromní (působící prvek je elektřina), solventchromní (působící prvek je roztok), halochromní (působící prvek je pH), tribochromní (působící prvek je tření), mechanochromní (působící prvek je tlak) [1, 4, 33, 34].

Aplikace chromových materiálů na textilní materiály může být provedena různými metodami v různých fázích. Například chromické barvivo lze použít k barvení vláken běžnými barvicími metodami, vlákna lze přidat do struktury vlákna ve fázi polymerace, vlákna měnící barvu lze získat taveninovým zvlákněním nebo mokřým zvlákněním, lze je smíchat s pryskyřicí a nanést na povrch tkaniny, a tím je použit k potisku nebo barvení tkaniny. Inteligentní textilie měnící barvy v závislosti na faktorech prostředí, jsou důležité kvůli svým estetickým výhodám. Předpokládá se, že používání textilií měnící barvu se v budoucnu v oblasti módy rozšíří a textilie budou měnit barvu v závislosti na mnoha dalších efektech kromě těch stávajících. V oblasti módy a dekorace lze pozorovat aplikace fotochromních, termochromních, elektrochromních a solventchromních textilií. Jsou k dispozici pro trička, tašky i klobouky [1, 4, 33, 34].

Reverzibilní vlastnost termochromních barviv měnit barvu nepřímo mění tepelně absorpční vlastnosti textilního materiálu. Zatímco odraz světla se zvyšuje, tmavší barvy zvyšují absorpci tepla. Díky těmto vlastnostem se termochromní barviva používají k po-



tahování uniforem hasičů, které při velmi vysokých teplotách zbledají a odrážejí tak teplo, stejně tak lze tyto vlastnosti využít v nátěrech budov. Skutečnost, že termochromní barviva urychlují rozměrové změny vláken, poskytuje další termoregulační účinek. Při vysokých teplotách se vlákna obsahující termochromní barviva zkracují. Póry tkaniny se zvětší, takže se dovnitř dostane velké množství vzduchu a následně se sníží tělesná teplota. Při nízkých teplotách se vlákna prodlouží, póry se uzavřou a tkanina udržuje tělesnou teplotu [1, 4, 33, 34].

### 1.4.3 Textilie měnící fázi

Materiály s fázovou změnou s textilním substrátem jsou v podstatě termoregulační materiály. Když je při zahřívání dosaženo teploty tání materiálu, dochází k přechodu z pevného skupenství do kapalného, tj. k fázové změně, při níž materiál s fázovou změnou absorbuje a ukládá velké množství tepla. Teplota materiálu zůstává během celé fázové změny prakticky konstantní. Při ochlazování téhož materiálu se akumulované teplo předává médiu a dochází k přechodu z kapalného do pevného stavu. Teplota materiálu opět zůstává po celou dobu fázové změny konstantní. Pokud změna teploty pokračuje s výjimkou fázové změny, mění se i teplota materiálu [1, 33, 34, 35].

Použitím dvou nebo více materiálů s fázovou změnou dohromady lze upravit rozsah teplot, při nichž dochází k fázové změně, a použít je tak ve specifických aplikacích. Textilní materiály, v nichž jsou použity materiály měnící fázi, mají chladičí účinek, zahřívací účinek nebo termoregulační účinek způsobený absorpcí nebo odvodem tepla v závislosti na okolních teplotních podmínkách. Míra všech účinků závisí na typu použitého materiálu, jeho tepelné kapacitě a množství aplikace. Aby bylo dosaženo požadovaného účinku, musí samozřejmě hodnoty teplot, při nichž materiál mění fázi, odpovídat hodnotám teplot, které se budou vyskytovat během používání. Aplikace materiálů měnících fázi na textilní materiály může být provedena různými způsoby. Mikrokapsulované materiály měnící fázi mohou být přidány do struktury syntetických vláken během tažení vláken, mohou být přidány do struktury netkaných textilií nebo mohou být naneseny na povrch textilií. U všech těchto aplikací je také velmi důležitý design výrobku. Například při přechodu z teplého vnitřního prostředí do chladného venkovního prostředí bylo zjištěno, že oděv obsahující fázově měnící materiál vykazuje zahřívací účinek v průměru mezi 12-15 minutami v závislosti na obsahu fázově měnícího materiálu a venkovních podmínkách. Pokud není



konstrukce oděvu dobře navržena, je také možné, že dojde k odvodu tepla z materiálu měnícího fázi [1, 33, 34, 35].

Když se podíváme na jejich použití, mají komerční využití v nemocničních lůžkách a polštářích. Díky termoregulačním účinkům udržují teplotu na úrovni, která pacientovi nevadí, a zajišťují, že se pacient nepotí, a tím přispívají k procesu hojení pacienta. Existují také studie o vyhřívacích nebo chladicích náplastech a vyhřívacích přikrývkách pro použití ve zdravotnictví. Při dlouhodobých operacích je možné zajistit tepelný komfort tím, že se zabrání pocení chirurgů tak, že se na vnitřní stranu jejich oděvů nanese povlak s materiálem měnícím fázi. Existují komercializované oděvy pro každodenní nošení, spodní prádlo, obuv a sportovní oblečení, na které se aplikují materiály měnící fázi [1, 33, 34, 35].

#### 1.4.4 Nositelné chytré elektronické textilie

Chytré elektronické textilie, které lze nosit na sobě, umožňují spolehlivější, zdravější a pohodlnější život v mnoha oblastech. Nositelné chytré elektronické textilie využívající změny teploty, světla, vlhkosti, a dalších vlivů prostředí, mohou detekovat, reagovat na tyto podněty, mohou se měnit podle vnějších podmínek, ukládat data a tato data dále používat k vytváření informací a komunikačním účelům. V tomto smyslu jsou vnímány jako inteligentní technologie, které budou mít vlastnosti pro podporu životně důležitých činností člověka, jako je vnímání, pohyb, komunikace, konání a přizpůsobování se podmínkám prostředí [1, 10, 35].

Čtyři základní prvky nositelných inteligentních elektronických textilií jsou vodivost, senzory, moduly bezdrátové komunikace a napájení. V závislosti na povaze těchto prvků se liší míra jejich integrace do textilního materiálu. Jako první způsob lze do textilního materiálu integrovat stávající elektronická zařízení. Příkladem může být záchranný pás, ke kterému jsou připojeny senzory. Největší výhodou je, že tento proces je velmi snadný. Nevýhodou jsou však velké a neohebné použité elektronické součástky, které ruší uživatele, a problémy s praním.

Druhou metodou je výroba elektronických součástek pomocí textilních materiálů a textilních výrobních technik (textronika) a jejich použití jako součásti oděvu. Výhodou této metody je snadný integrační proces, avšak nevýhodou zůstává fakt, že textilními materiály a metodami lze vyrobit omezený počet elektronických součástek [1, 10, 35].

Třetí metodou je výroba a využití vláken k zajištění některých elektronických funkcí

(fibertronika). Oblečení vybavené senzory, které monitorují životně důležité funkce, jako je dýchání, srdeční tep a tělesná teplota, zvyšuje mobilitu pacientů a zároveň poskytuje jistotu, že jsou neustále monitorováni, a zvyšuje životní úroveň chronických pacientů a zdravotně postižených. Vysoce výkonné aktivní sportovní oblečení zajišťuje zvýšení výkonnosti sledováním tělesných funkcí sportovců, jako je puls, dech, tělesná teplota a hodnoty související s aktivitou, například rychlost, vzdálenost, čas a kalorie. Různé aplikace jsou k dispozici v oblasti medicíny, sportovního oblečení a ochranných oděvů. Lifeshirt je příkladem ochranného využití inteligentních elektronických oděvů určených pro pracovníky v nebezpečných situacích, hasiče a pracovníky průmyslového úklidu. Lifeshirt je opasek, který obsahuje senzory, jež zjišťují ukazatele související s životně důležitými činnostmi, jako je frekvence dýchání, srdeční tep a tělesná teplota, a dokáže tyto informace přenášet do vzdáleného monitoru prostřednictvím modemu. Prostřednictvím tohoto opasku lze nepřetržitě sledovat zdravotní stav uživatele a na základě vyhodnocení celkové situace týmu přijímat strategická rozhodnutí. Inteligentní kombinéza Cyberia s nositelnou technologií je určena k nošení v polárních oblastech. Projekt byl zahájen s cílem vyvinout oděv zobrazující zdravotní údaje uživatele. Oděv zobrazující zdravotní údaje obsahuje také globální polohový systém (GPS) pro použití v případě ztráty a modul GSM, který může v případě abnormálního stavu automaticky odeslat souřadnice a zdravotní informace na předem určené číslo [1, 10, 35].

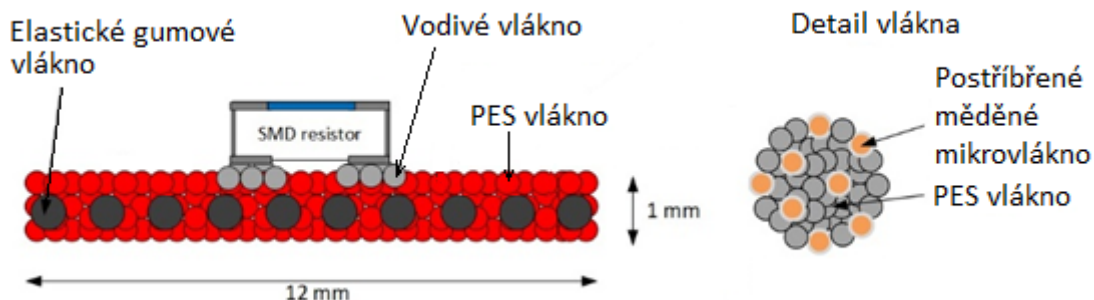
## 2 Kontaktování SMD součástek na smart textilie

Rozeznáváme dvě základní možnosti kontaktování SMD součástek na flexibilní desky plošných spojů (DPS), stejný způsob kontaktování lze použít i na chytré textilie. První metodou je pájení, které je nejrozšířenější, snadno automatizovatelné a velice spolehlivé. Druhou metodou je kontaktování za použití vodivých lepidel, u kterých je hlavní výhodou nízkoteplotní vytvrzovací profil. Kromě těchto dvou základních metod budou v této práci ještě popsány a použity dvě metody alternativní. První alternativní metodou je vytvoření vodivých spojů pomocí nevodivých lepidel. Nevodivá lepidla jsou svými vlastnostmi srovnatelná s lepidly vodivými. Druhou alternativní metodou je kontaktování za pomoci termokompresy.

Použitá chytrá textilie v tomto experimentu je tzv. *vodivá pružná tkaná stuha*, která byla vyvinuta ve spolupráci se společností VUB a.s. Tato stuha obsahuje tři základní typy vláken:

1. Polyesterová vlákna (PES) v osnově a útku
2. Gumová vlákna v osnově
3. Speciální hybridní vodivá vlákna v osnově

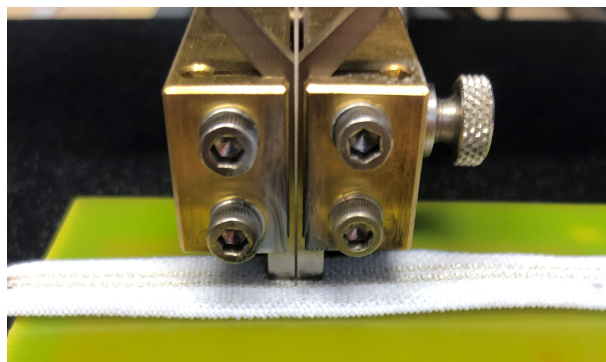
Vlákna PES přinášejí pevnost a odolnost, gumová vlákna roztažitelnost stuhy a hybridní vodivá vlákna elektrickou vodivost podél stuhy. Hybridní vodivé nitě vetkané do stuhy se skládají z PES kontinuálních monovláken o průměru 14,5  $\mu\text{m}$  a postříbřených měděných mikrodrátků o průměru 30  $\mu\text{m}$ . Každé hybridní vlákno obsahuje 8 těchto mikrodrátků. Páska je utkána v nataženém stavu, takže se po vyjmutí z tkalcovského stavu smrští a hybridní nitě uvnitř jsou přirozeně uspořádány do tvaru podkovy. Díky tomu lze stuhu opakovaně natahovat až na 170 % své původní délky, aniž by se vodivé hybridní nitě napínaly a výrazně se měnil jejich elektrický odpor, při návratu do své původní délky se odpor vrátí na svou hodnotu před natažením, průřez stuhou je zobrazen na Obr. 2.1. Šířka stuhy je 12 mm a její tloušťka je přibližně 1 mm. V pásku jsou vetkány dvě vodivé stopy s roztečí 2,54 mm (standardní rozteč pro elektronický průmysl). Každá stopa se skládá z 5 hybridních vodivých vláken. To znamená, že každá stopa se skládá celkem ze 40 postříbřených měděných mikrodrátků. Elektrický odpor jedné stopy se pohybuje v řádu ohmů na metr pásy. Tato vodivost je dostatečná pro většinu aplikací chytrého textilu.



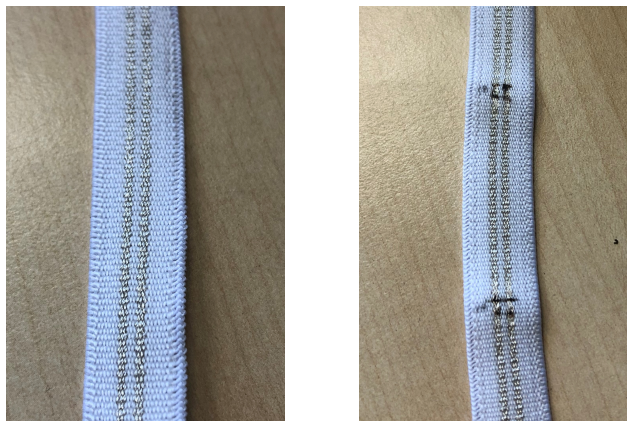
Obr. 2.1: Průřez vodivou pružnou tkanou stuhou  
Převzato a upraveno z: [36]

Pro každou ze čtyř výše zmíněných metod bylo použito deset čipových rezistorů SMD pouzdra typu 1206 s elektrickým odporem  $0 \Omega$  (Datasheet je uveden v příloze A). Pro experiment s nevodivým lepidlem byly kromě rezistorů navíc použity součástky SMD LED (světelná dioda) se stejným typem pouzdra 1206 s teplým bílým světlem (Datasheet je uveden v příloze B). Pro experiment s použitím termokomprese byly vytvořeny stuhy dvě s celkem 20 SMD rezistory, více bude popsáno v podkapitole 2.4. Rozměry těchto součástek jsou 3,2 mm na délku a 1,6 mm na šířku. Vzdálenost vodivých plošek na spodní straně součástky je 1,4 mm. Rozměry SMD součástek dokonale odpovídají rozteči vodivých stop pásků. Součástky byly osazeny kolmo na pásku.

Před osazením součástek na pásku musely být stopy v pásce nejprve přerušeny každých 5 cm stovkami ampérů. Elektrický výboj byl generován odporovou bodovou svářečkou od společnosti Sunstone (Obr. 2.2), aby bylo možné měřit elektrický odpor jednotlivých součástí metodou čtyřbodového snímání sondou. Na takto přerušenou pásku byly poté osazeny jednotlivé SMD součástky. Detail na stuhu před a po přerušení vodivých drah je zobrazen na Obr. 2.3.



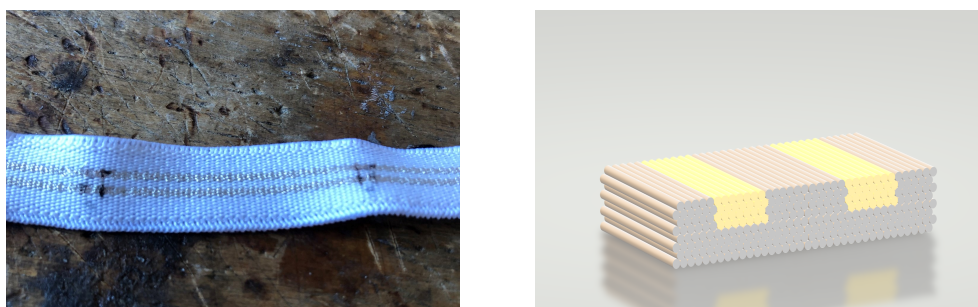
Obr. 2.2: Přerušování vodivé cesty pomocí bodové svářečky



Obr. 2.3: Detailní pohled na stuhu před přerušením vodivých drah (vlevo) a po přerušení (vpravo)

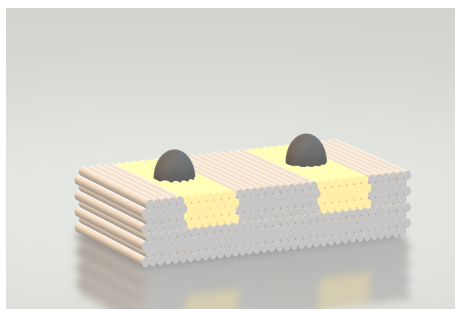
## 2.1 Kontaktování pájením

Pro pájení čipových rezistorů na páskové vodivé stopy byla použita nízkoteplotní pájecí pasta Nevo Shenmao PF 602 (SnBi) z cínu a bismutu s bodem tání 138 °C. Složení této pasty je 40-50 % cínu a 50-60 % bismutu (Datasheet je uveden v příloze C). Postup výroby pájených vzorků byl následující. Na stuhu byla pájecí pasta nanášena na dvě vodivé stopy dávkováním. Poté byl na pastu nasazen rezistor a jemně zatlačen pinzetou do stop. Poté bylo provedeno ruční pájení horkým vzduchem. Nakonec byl každý pájený rezistor zapouzdřen nevodivým lepidlem vytvrzovaným UV zářením, aby byla zajištěna vyšší chemická odolnost a lepší mechanické vlastnosti. Postup výroby pájených vzorků je detailně zobrazen na Obr. 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 a 2.8 kdy vlevo je vždy reálná situace a vpravo poté model vytvořený v programu MS Paint 3D.

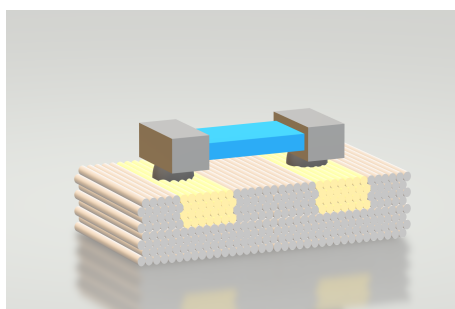


Obr. 2.4: Kontaktování pájením - Stuha

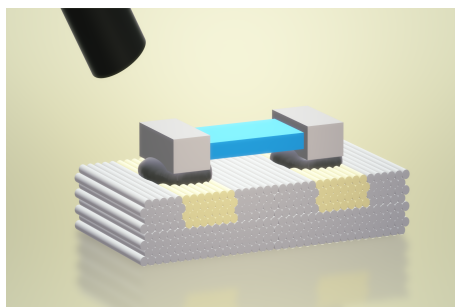




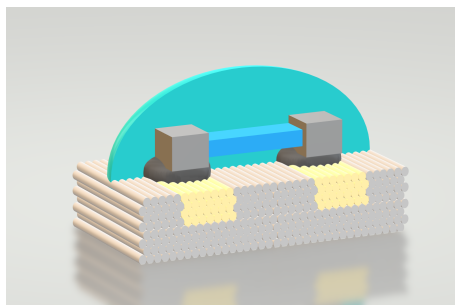
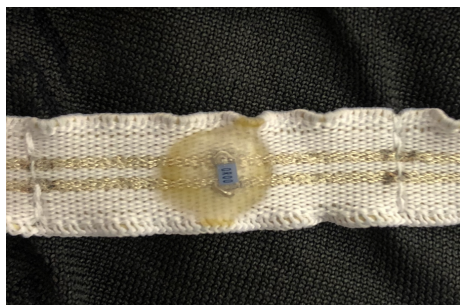
Obr. 2.5: Kontaktování pájením - Nanesení pájky



Obr. 2.6: Kontaktování pájením - Umístění součástky



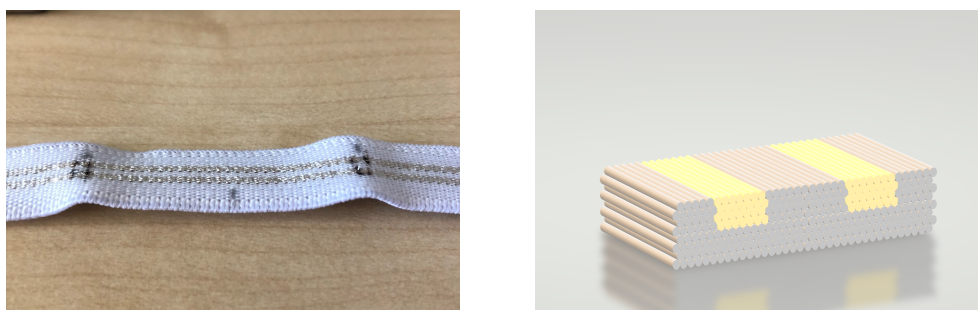
Obr. 2.7: Kontaktování pájením - Pájení



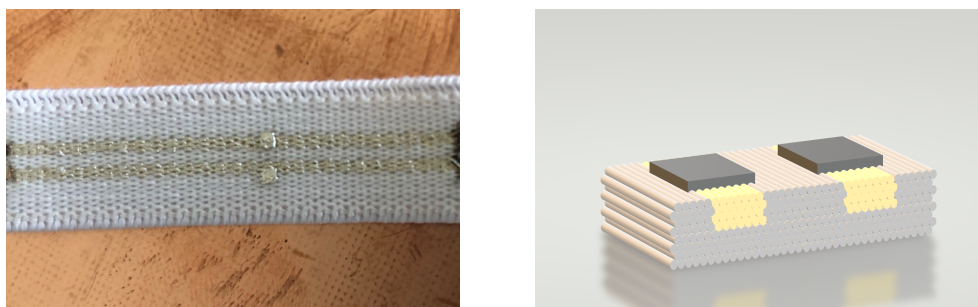
Obr. 2.8: Kontaktování pájením - Zapouzdření nevodivým lepidlem

## 2.2 Kontaktování vodivým lepením

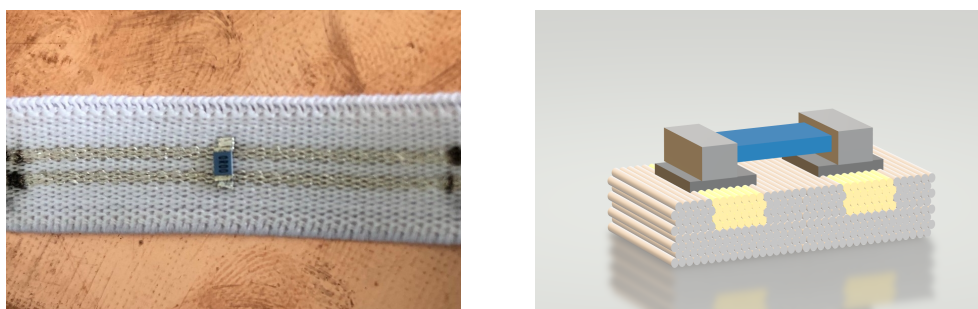
Pro kontaktování vodivým lepidlem bylo použito lepidlo EPO-TEK E4110 od firmy epoxy technology (Datasheet je uveden v příloze D). Jedná se o dvousložkové lepidlo kdy pevná složka A se před použitím smíchá s tekutou složkou B a vznikne tak vodivá sloučenina. Takto smíchané lepidlo bylo poté nanášeno na vodivé stopy stuhu pomocí metody šablonotisku, poté byly pomocí pinzety jednotlivé rezistory osazeny na stuhu. Celá stuha byla poté umístěna do pece na 6 hodin k vytvrzení při teplotě 60°C. Po vytvrzení byly jednotlivé součástky opět zapouzdřeny nevodivým lepidlem, stejně jako u metody kontaktování pájením, aby byla zajištěna vyšší chemická odolnost a lepší mechanické vlastnosti. Princip metody je zobrazen na Obr. 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 a 2.13.



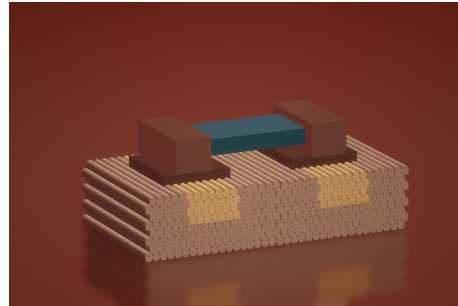
Obr. 2.9: Kontaktování vodivým lepením - Stuha



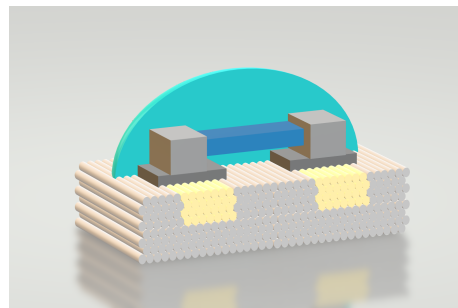
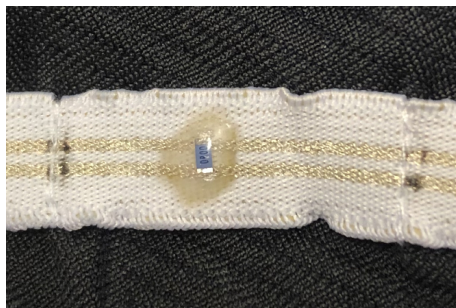
Obr. 2.10: Kontaktování vodivým lepením - Nanesené lepidlo



Obr. 2.11: Kontaktování vodivým lepením - Umístění součástky



Obr. 2.12: Kontaktování vodivým lepením - Tepelné vytvrzení



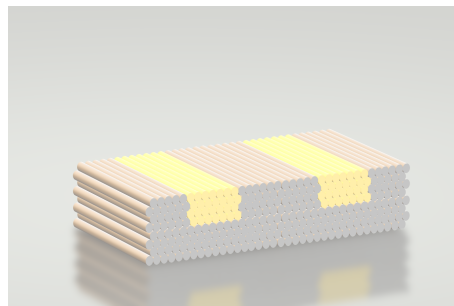
Obr. 2.13: Kontaktování vodivým lepením - Zapouzdření nevodivým lepidlem

### 2.3 Kontaktování nevodivým lepením

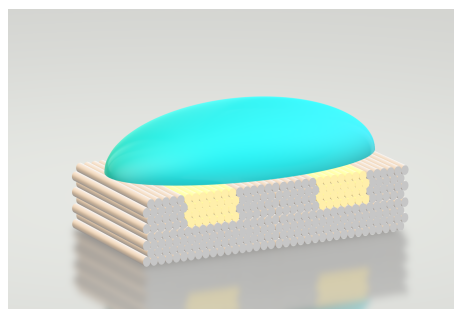
Pro třetí typ vzorků byl použit stejný typ a umístění čipových rezistorů jako u prvních dvou typů vzorků. K mechanickému spojení čipových rezistorů na pásky bylo použito elektricky nevodivé lepidlo na bázi akrylu (Non conductive adhesive - NCA) vytvrzované UV zářením (Datasheet je uveden v příloze E). Složení lepidla je 30-60 % isobornyl akrylátu, 10-30 % N-dimethylakrylamidu, 1-10 % trimethoxysilanu, 1-5 % gama-glycidoxypropyl trimethoxysilanu, 1-5 % oxidu křemičitého, 1-5 % difenyl trimethylbenzoylfosfin oxidu a 0,1-1 % hydroxyethyl akrylátu. Toto lepidlo má široký rozsah pracovních teplot (-40 °C až +150 °C). Postup výroby vzorku lepeného adhezivem byl následující. Lepidlo bylo nanášeno na stuhu mezi vodivé stopy vymačknutím z tuby. Poté byl rezistor osazen do lepidla a mechanicky zatlačen trnem do vodivých stop v pásku přítlačnou silou 30 N. Tlak způsobil vytlačení lepidla z prostoru mezi pájecí plošky rezistoru a vodivými stopami na pásku. Lepidlo dosáhlo bodově nulové tloušťky, což umožnilo kontakt mezi kovovými částmi. Podložky rezistorů byly rovněž vtlačeny do vodivých stop a



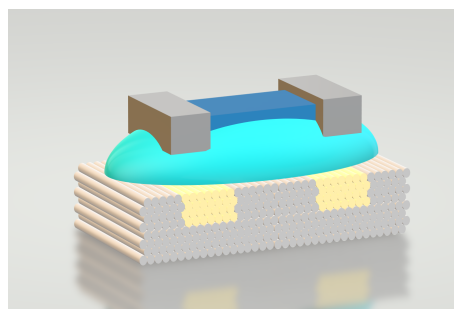
došlo k přímému kontaktu. Poté bylo lepidlo, kdy rezistor byl stále zatížen trnem, vytvrzeno UV světlem pod úhlem  $45^\circ$  z obou stran pro mechanickou fixaci přímého kontaktu. Po vytvrzení lepidla a odebrání přitlačné zátěže vznikla v tomto místě díra o velikosti přitlačného trnu, tato díra byla opětovně zakryta stejným lepidlem a opět vytvrzena UV světlem, aby byla zajištěna vyšší chemická odolnost a lepší mechanické vlastnosti. Celý princip této techniky lepení je znázorněn na Obr. 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21 a 2.22.



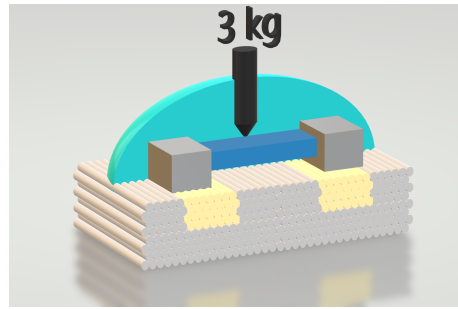
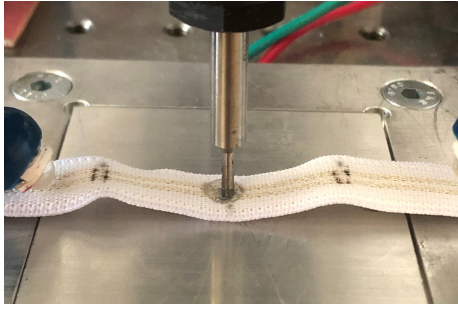
Obr. 2.14: Kontaktování nevodivým lepením - Stuha



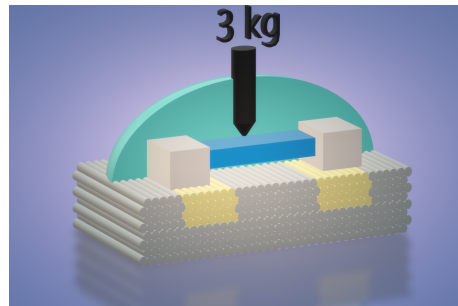
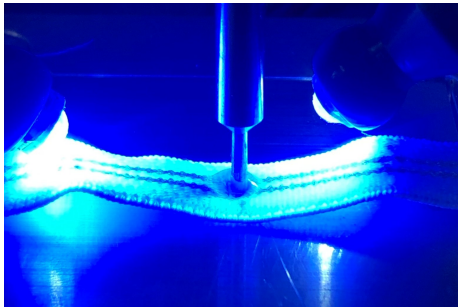
Obr. 2.15: Kontaktování nevodivým lepením - Nanesení nevodivého lepidla



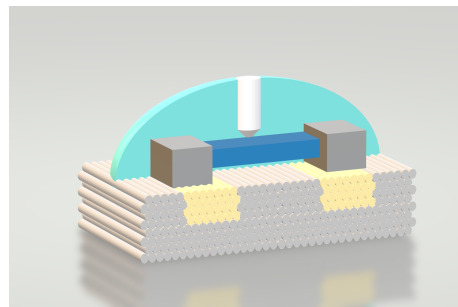
Obr. 2.16: Kontaktování nevodivým lepením - Umístění součástky



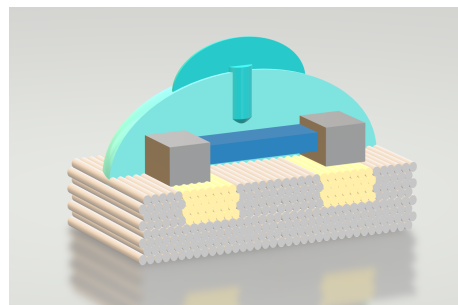
Obr. 2.17: Kontaktování nevodivým lepením - Namáčknutí součástky ke stuze



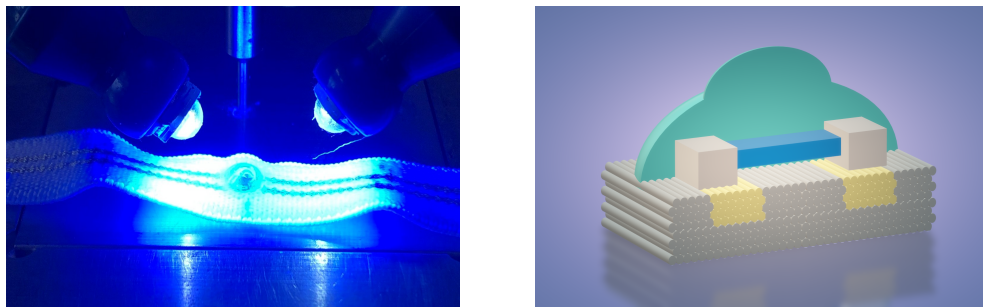
Obr. 2.18: Kontaktování nevodivým lepením - Vytvrzení lepidla pomocí UV záření



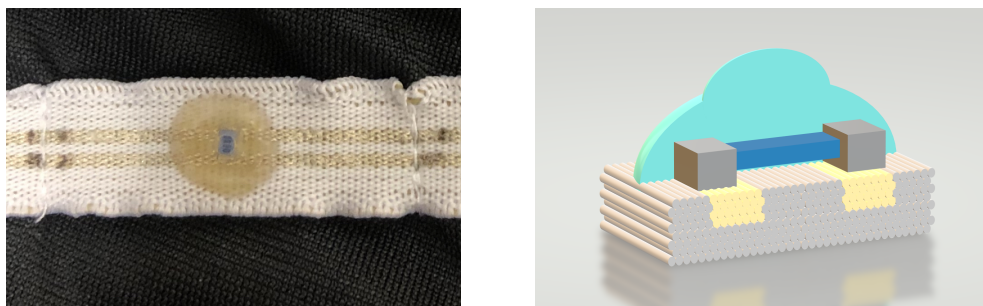
Obr. 2.19: Kontaktování nevodivým lepidlem - Odebrání závaží, vznik díry



Obr. 2.20: Kontaktování nevodivým lepidlem - Opětovné nanesení lepidla



Obr. 2.21: Kontaktování nevodivým lepidlem - Opětné vytvrzení lepidla pomocí UV záření

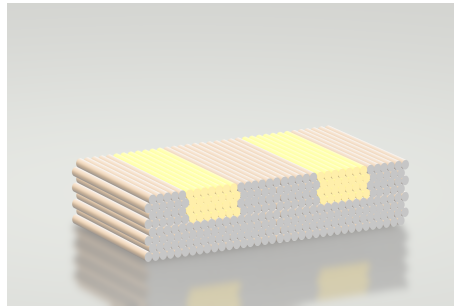


Obr. 2.22: Kontaktování nevodivým lepidlem - Finální stav

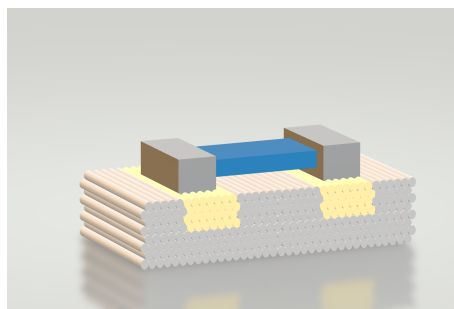
## 2.4 Kontaktování termokompresí

Termokompresní spojování je jednou z forem spojování v pevné fázi, konkrétně difúzního spojování. Proto je nutné současně působit tlakem a teplotou, aby se párující povrchy dostaly do atomární blízkosti a vytvořily se tak vazby. Postup výroby vzorku byl následující, na stuhu byly umístěny všechny SMD rezistory najednou a na rezistory byly poté posazeny fóliová pouzdra, celé takto připravené součástky byly poté umístěny do termokompresního zařízení. Ze spodu na stuhu působil vzduchový balón, který se nafukoval a stuhu i s rezistory tak napevno přitiskl k vyhřívanému plátu, jež působil zhora. Plát byl vyhřátý na teplotu 170 °C a kontakt se stuhou byl po dobu 90 sekund. Přítlačná síla vyvolaná vzduchovým balónem byla 600 g/cm<sup>2</sup>. U této metody není zapotřebí součástky zapouzdřit za pomoci nevodivého lepidla, jako toho bylo zapotřebí u předchozích třech vzorků, tuto roli zde plní fóliové pouzdro. Jak bylo zmíněno výše, pro tuto metodu byly vytvořeny celkem dva druhy vzorků a to kdy byly rezistory umístěny směrem k vyhřívanému plátu (varianta I), nebo směrem ke vzduchovému polštáři (varianta II). Velkou výhodou této metody oproti všem předchozím je, že lze osadit všechny součástky na stuhu najednou. Celý princip je znázorněn za pomoci programu MS Paint 3D na Obr. 2.23, 2.24, 2.25,

2.26, 2.27 a 2.28.



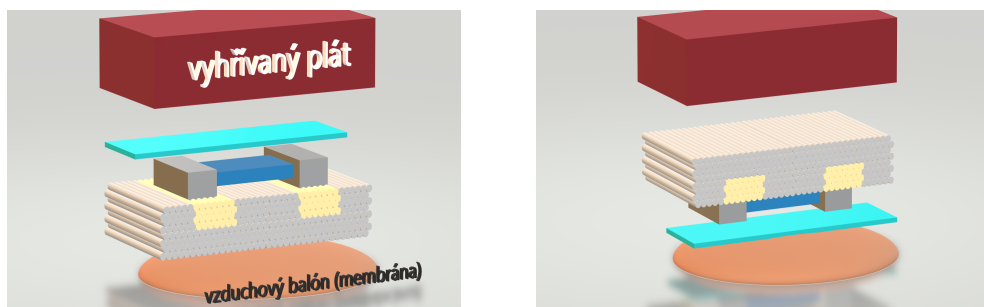
Obr. 2.23: Kontaktování termokompresí - Stuha



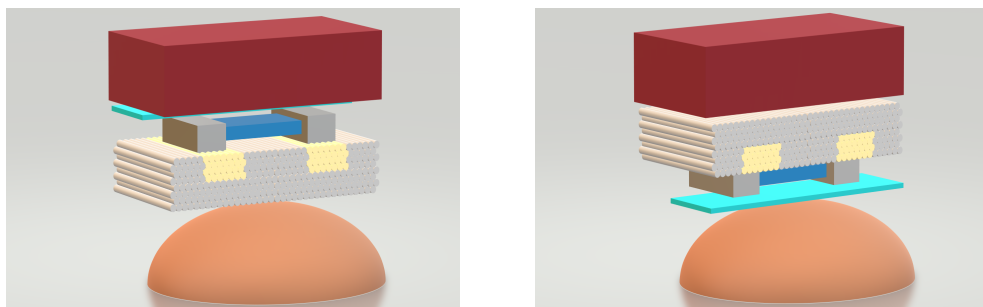
Obr. 2.24: Kontaktování termokompresí - Umístění součástky



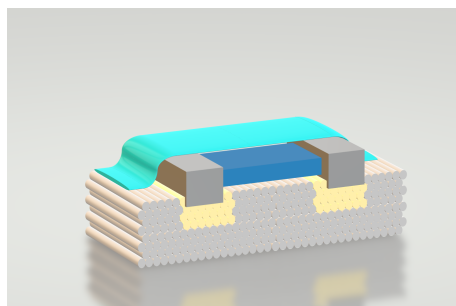
Obr. 2.25: Kontaktování termokompresí - Posazení fóliového pouzdra



Obr. 2.26: Kontaktování termokompresí - Umístění do termokompresního zařízení, varianta I (vlevo) a varianta II (vpravo)



Obr. 2.27: Kontaktování termokompresí - Přítlak pomocí vzduchového balónu, varianta I (vlevo) a varianta II (vpravo)



Obr. 2.28: Kontaktování termokompresí - Finální stav



### 3 Funkční testy (chytrých) textilií

Při výrobě chytrých textilií je snahou zachovat co nejvíce hlavních výhod klasických textilií jako je například flexibilita, prodyšnost, omyvatelnost a udržovatelnost. Mimo tyto vlastnosti je zde snaha o rozšíření v oblasti elektroniky, která tyto vlastnosti postrádá. U prvních výrobků v oblasti chytrých textilií šlo většinou tuto „chytrou oblast“ odejmout a textil následně vyprat jako každý jiný, avšak s nástupem moderních chytrých textilií, kdy je elektronika přímo integrovaná na vláknech už toto není dále možné.

Jelikož se jedná o obor, který je stále ve vývoji, je zde značný nedostatek standardů a norem, podle kterých by výrobci mohli postupovat. V tabulce 3.1 je uvedeno několik technických norem z kategorie ČSN 80-Textilní suroviny a výrobky, které se dají použít při testování klasických i chytrých textilií.

Tab. 3.1: Normy pro testování (chytrých) textilií

Norma	Název
ČSN EN ISO 3175-1 (800809)	Textilie - Profesionální ošetřování, chemické čištění a čištění za mokra plošných textilií a oděvů - Část 1: Hodnocení vlastností po čištění a konečné úpravě
ČSN EN ISO 3175-2 (800809)	Textilie - Profesionální ošetřování, chemické čištění a čištění za mokra plošných textilií a oděvů - Část 2: Postup pro zkoušení vlastností při čištění a konečné úpravě za použití tetrachlorethylenu
ČSN EN ISO 3175-3 (800809)	Textilie - Profesionální ošetřování, chemické čištění a čištění za mokra plošných textilií a oděvů - Část 3: Postup pro zkoušení vlastností při čištění a konečné úpravě za použití uhlovodíkových rozpouštědel
ČSN EN ISO 3175-4 (800809)	Textilie - Profesionální ošetřování, chemické čištění a čištění za mokra plošných textilií a oděvů - Část 4: Postup pro zkoušení vlastností při čištění a konečné úpravě za použití imitovaného čištění za mokra

## FUNKČNÍ TESTY (CHYTRÝCH) TEXTILÍ

ČSN EN ISO 3175-5 (800809)	Textilie - Profesionální ošetřování, chemické čištění a čištění za mokra plošných textilií a oděvů - Část 5: Postup pro zkoušení vlastností při čištění a konečné úpravě za použití dibutoxymethanu
ČSN EN ISO 3175-6 (800809)	Textilie - Profesionální ošetřování, chemické čištění a čištění za mokra plošných textilií a oděvů - Část 6: Postup pro zkoušení vlastností při čištění a konečné úpravě za použití dekamethylpentacyklosiloxanu
ČSN EN 16806-1 (800811)	Textilie a textilní výrobky - Textilie obsahující materiály s fázovou změnou (PCM) - Část 1: Stanovení akumulace a uvolňování tepla
ČSN EN ISO 13934-1 (800812)	Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií - Část 1: Zjištění maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip
ČSN EN ISO 13934-2 (800812)	Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií - Část 2: Zjištění maximální síly pomocí metody Grab
ČSN EN ISO 9237 (800817)	Textilie. Zjištění prodyšnosti plošných textilií
ČSN EN ISO 811 (800818)	Textilie - Stanovení odolnosti proti pronikání vody - Zkouška tlakem vody
ČSN EN ISO 11092 (800819)	Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení)
ČSN EN ISO 6330 (800821)	Textilie - Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií
ČSN EN ISO 2411 (800830)	Textilie povrstvené pryží nebo plasty - Zjištění přilnavosti povrstvení
ČSN EN 16812 (800831)	Textilie a textilní výrobky - Elektricky vodivé textilie - Stanovení lineárního elektrického odporu vodivých drah

### 3.1 Návrh testu

V této podkapitole bude rozepsán mnou navržený experiment pro funkční testování SMD součástek. Jednotlivé SMD součástky byly čtyřmi odlišnými metodami, popsané v kapitole 2, nakontaktovány na vodivé stuhu, které byly poté přišity na sportovní triko. Celkem bylo na triko našito 6 stuh, tři stuhu byly na levé straně hrudního koše podél žeber (stuhu 1,2,3) a tři na pravé straně (stuhu 4,5,6). Našité stuhu na triku jsou zobrazeny na Obr. 3.1 a 3.2.

1. Stuha - Termokomprese (varianta II)
2. Stuha - Pájení
3. Stuha - Nevodivé lepení
4. Stuha - Termokomprese (varianta I)
5. Stuha - Vodivé lepení
6. Stuha - Nevodivé lepení - LED



Obr. 3.1: Triko



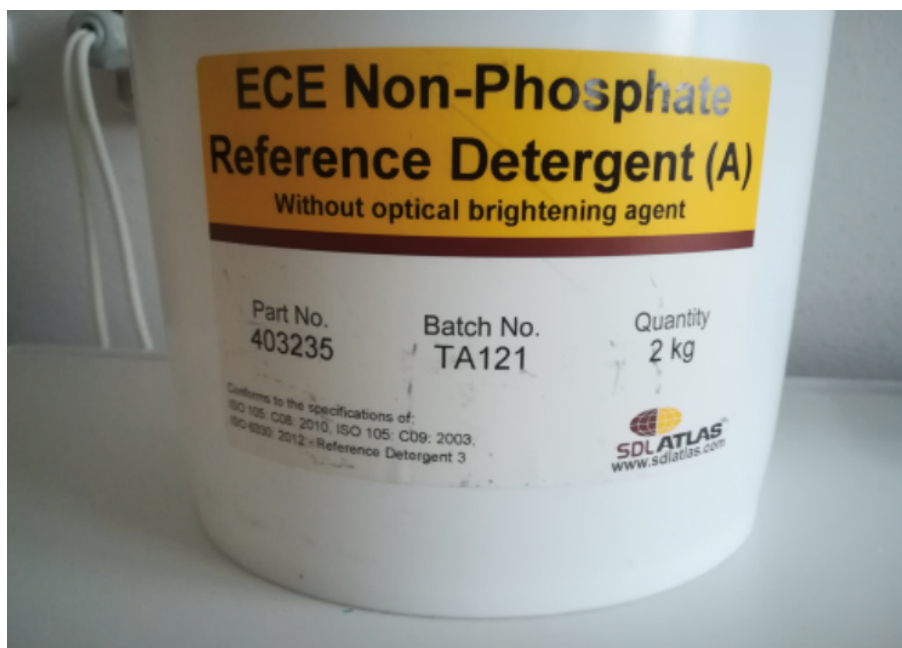


Obr. 3.2: Detailní pohled na stuhy

Funkční test byl pojat z hlediska reálného nošení a navržen byl tak aby obsáhl některé ze základních testů zmíněných v tabulce 3.1. Jedná se hlavně o mechanické namáhání (tahem, obyhem a třením), pocení, praní a sušení. Samotný cyklus testování trval jeden týden a test byl prováděn po dobu 20 týdnů. Test byl složen následovně: Triko bylo vyprané a usušené ve visu a poté dvakrát týdně podrobena zátěži při tréninku ve fitness centru. Po ukončení tohoto cyklu byly změřeny hodnoty odporů pomocí čtyř vodičové metody.

### 3.1.1 Testování odolnosti praním

Každá nositelná textilie se musí jednou za čas umýt, v dnešní době se k tomuto účelu používají převážně pračky. Pro tento experiment byla použita pračka Whirlpool Commercial Laundry 8 kg. Prací program byl zvolen pro jemné prádlo, prací cyklus trvá 50 minut, teplota praní je nastavena na 40°C při 400 otáčkách za minutu. Při praní bylo tričko vloženo do vaku na prádlo, aby se předešlo odírání s pracím bubnem či ostatními kusy prádla, které zde byly navíc vloženy pro simulaci běžného praní. Prací prášek byl použit SDCE ECE (A) Non-Phosphate (Obr. 3.3). Tento prací prášek je vyroben pro použití při zkouškách podle normy ISO 6330. Prášek neobsahuje fluorescenční zjasňující činidlo a jeho složení je přísně kontrolováno, aby bylo zajištěno splnění specifikace normy ISO. Tento nefosfátový prací prášek je sušený rozprašováním, aby se zajistilo, že nehrozí riziko rozdělení výrobku na jednotlivé složky, což odstraňuje možnost nekonzistentních výsledků.



Obr. 3.3: Prací prášek SDCE ECE (A) Non-Phosphate

### 3.1.2 Testování odolnosti proti potu

Jelikož je textilie běžně v kontaktu s lidskou pokožkou, která se přirozeně potí musí být chytré textilie odolné vůči potu. Při tomto experimentu bylo triko v každém cyklu nošeno celkem tři hodiny (2x 1,5h) a podrobena náročnému tréninku tak aby bylo celé nasáknuté potem, poté bylo usušeno. Zde je důležité zdůraznit, že pot na stuhly působí i poté co je triko usušené a to až do vyprání.

### 3.1.3 Testování odolnosti proti odírání

Kromě kontaktu s lidskou pokožkou jsou textilie také v kontaktu s jinými textiliemi či předměty. Při takovém kontaktu často dochází k oděru. Během funkčního testování trika ve fitness centru několikrát dochází ke kontaktu mezi trikem a lavičkou či podlahou.

### 3.1.4 Testování odolnosti v ohybu

Běžným používáním textilie se samotná textilie neustále ohýbá a namáhá. Z toho důvodu byly testovací vzorky našity na hrudník, konkrétně podél žeber, protože při běžném pohybu člověka se tato oblast nejvíce namáhá.

### 3.2 Měření hodnot odporů

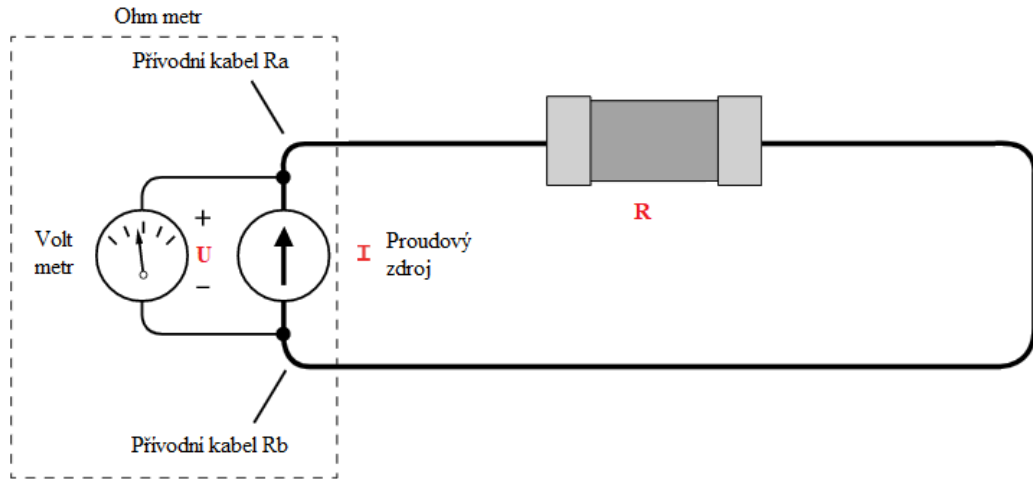
Jak již bylo zmíněno, měření probíhalo jednou týdně po dobu 20 týdnů. K měření odporů byla použita metoda čtyř vodičů, známa také jako Kelvinova metoda. Ohmův zákon definuje odpor "R" jako poměr napětí "U" na součástce a proudu "I", který jí prochází. Odpor měříme tak, že do vodiče pustíme zkušební proud a zjistíme vzniklý úbytek napětí. Z toho snadno vypočítáme odpor dle následujícího vzorce.

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (3.1)$$

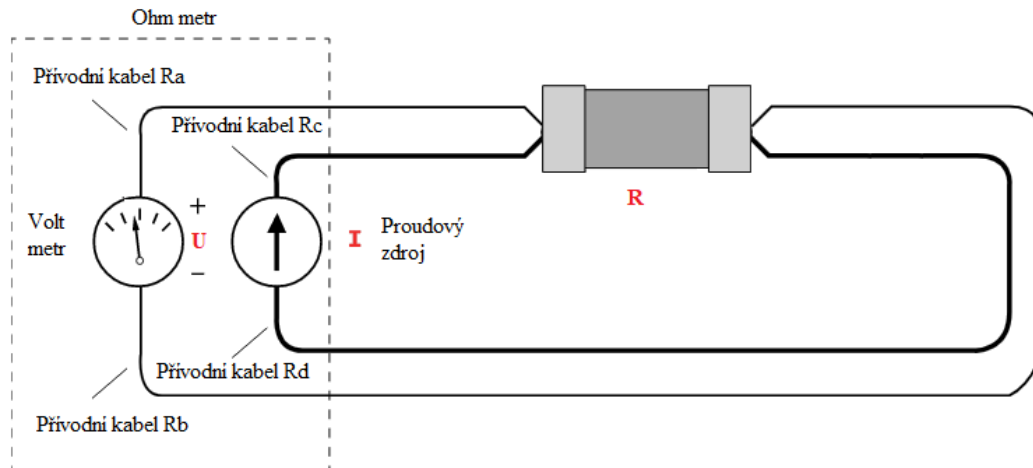
Uvažujeme-li k měření odporů ohmovou metodu, která je zobrazena na Obr. 3.4 tak mezi dvěma styčnými kolíky vodiče změříme odpor R, který nás zajímá. Celý obvod však zahrnuje odpor přívodních vodičů  $R_a$  a  $R_b$ , takže úbytek napětí použitý při výpočtu zahrnuje všechny tři tyto odpory:

$$R_c = \frac{U}{I} = R_a + R_b + R \quad (3.2)$$

V mnoha situacích je odpor přívodních vodičů mnohem menší než odpor součástky, kterou chceme měřit, a proto jej lze zanedbat. V tomto případě tomu tak není, rezistor použitý pro tento test má elektrický odpor  $0 \Omega$  (reálně jednotky  $m\Omega$ ) a odpor přívodních kabelů dosahuje hodnot okolo  $0,1 \Omega$ . Je zde tedy zapotřebí použít čtyřvodičovou metodu, ta je zobrazena na Obr. 3.5. Hlavní výhodou čtyřvodičového měření je to, že eliminuje jakýkoli vliv odporu upevňovacího prvku (přívodních kabelů) na získání přesné hodnoty odporu. Vzhledem k tomu, že při čtyřvodičovém měření se obvykle používají zkušební proudy výrazně vyšší, než jsou proudy potřebné pro dvouvodičové testování, je sekundární výhodou použití vysokoproudového zátěžového testu pro zapojení tím, že každým vodičem prochází proud 1 A nebo více, a možnost nastavení doby prodlevy od 100 ms do mnoha minut - pozorování pomalu rostoucího odporu během dlouhé doby prodlevy v důsledku tepelného ohřevu může odhalit problémy, které nebyly zjištěny při kratším intervalu měření.



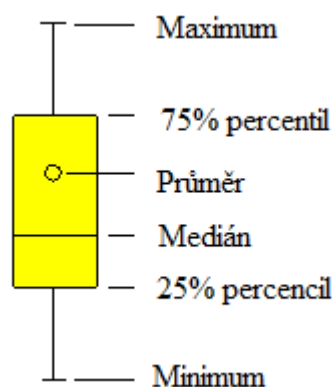
Obr. 3.4: Ohmova metoda měření odporů



Obr. 3.5: Čtyřvodičová metoda měření odporů

## 4 Vyhodnocení

V této kapitole budou popsány výsledky jednotlivých technologií kontaktování SMD součástek. Jak bylo popsáno výše, pro každou z pěti metod bylo použito 10 rezistorů s udávaným elektrickým odporem  $0 \Omega$ . Výsledky jsou pro každou technologii zobrazeny graficky a tabulárně. Kvůli většímu objemu hodnot pro každou metodu, jsou tyto hodnoty zpracovány statisticky a to za pomoci tzv. krabicového grafu. Jelikož tento typ grafu není tolik rozšířený, na Obr. 4.1 je zobrazena legenda.



Obr. 4.1: Legenda pro krabicový graf

Konkrétní hranici přijatelného elektrického odporu spoje nelze přesně určit a vždy závisí na konkrétní aplikaci, avšak pro účely vyhodnocení jsem si stanovil jako limitní hodnotu  $5 \Omega$ . Hodnoty, které jsou vyšší než  $5 \Omega$  jsou považovány za příliš veliké a proto nevhodné pro použití na chytré textilie. Během experimentu několik vzorků tuto hranici přesáhlo, z experimentu však nebyly vyjmuty, je to z toho důvodu, že při následujícím měření elektrický odpor byl opět pod touto hranicí. Z experimentu byly vyjmuty vzorky, jejichž hodnoty dosahovali stovek  $k\Omega$ , nebo byl jejich elektrický odpor nezměřitelný.

## 4.1 Výsledky experimentu metodou pájení

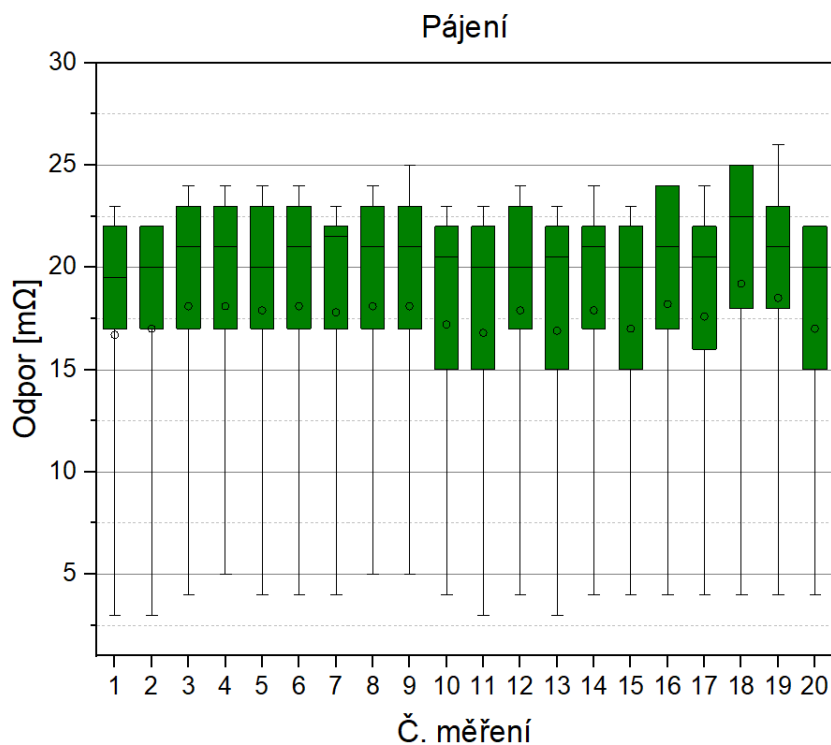
Naměřené hodnoty elektrického odporu pájených rezistorů jsou uvedeny v Tab. 4.1 a poté byly hodnoty statisticky zpracovány a lze je vidět na Obr. 4.2

Tab. 4.1: Hodnoty odporů při použití pájení

Č. *	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	4	3	17	20	23	22	17	20	19	22
2	4	3	17	20	22	21	22	20	19	22
3	4	5	17	21	23	24	24	21	19	23
4	5	5	17	21	23	23	24	21	19	23
5	4	5	17	20	24	24	23	20	19	23
6	4	5	17	21	23	24	24	21	19	23
7	4	5	17	22	22	23	23	21	19	22
8	5	5	17	21	23	23	24	21	19	23
9	5	5	17	22	23	23	25	20	19	22
10	4	4	15	21	23	22	23	20	18	22
11	3	3	15	20	23	22	22	20	18	22
12	4	5	17	20	24	24	23	20	19	23
13	4	3	15	21	22	23	23	20	17	21
14	4	5	17	22	22	23	24	21	20	21
15	4	4	15	20	22	22	23	20	18	22
16	4	5	17	21	24	24	24	21	19	23
17	4	5	16	21	22	23	24	20	19	22
18	4	5	18	23	25	25	24	22	21	25
19	4	6	18	21	26	23	24	21	19	23
20	6	4	15	20	22	22	22	20	18	21

\*Číslo Měření

\*\* Uvedené hodnoty odporů jsou v  $m\Omega$



Obr. 4.2: Statisticky zpracované hodnoty odporů pájeného spoje

Z výsledků je jasně patrné, že elektrický odpor se během jednotlivých měření neměnil, nebo jen velmi málo. Výrazně menší hodnoty odporu oproti ostatním mají rezistory R1 a R2 tento jev by mohl být způsoben lepším zapájením vzorků. Můžeme však s jistotou tvrdit, že metoda kontaktování pájením je vhodná a dosahuje skvělých výsledků.

## 4.2 Výsledky experimentu metodou vodivého lepení

Naměřené hodnoty elektrického odporu lepených rezistorů pomocí vodivého lepidla jsou uvedeny v Tab. 4.2 a poté byly hodnoty statisticky zpracovány a lze je vidět na Obr. 4.3

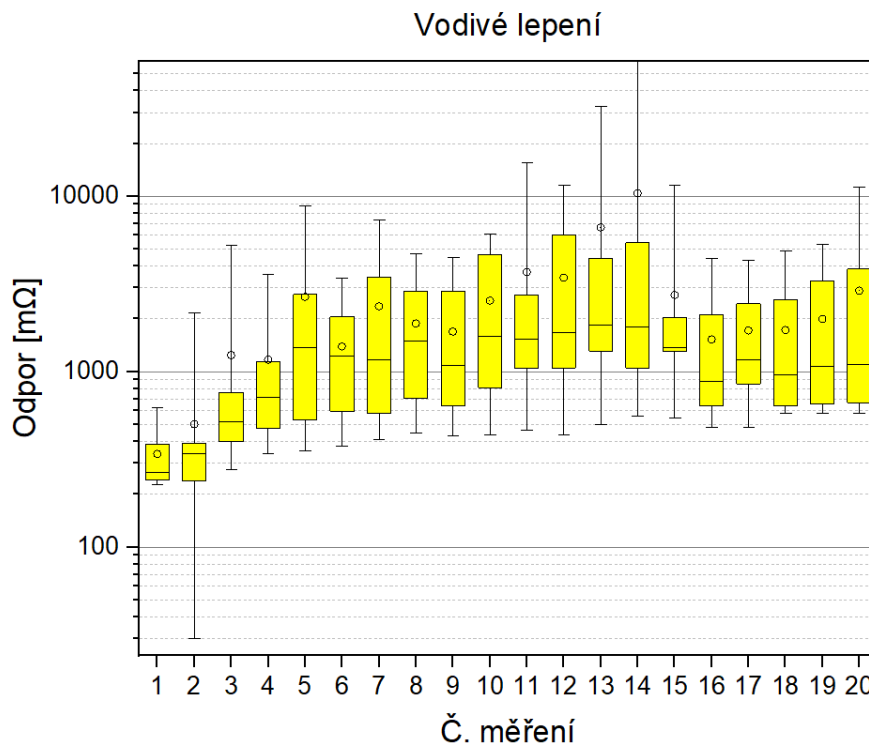
Tab. 4.2: Hodnoty odporů při použití vodivého lepení

Č. *	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	626	355	530	386	233	265	241	257	228	270
2	851	366	2170	392	30	328	260	30	237	355
3	3380	589	5244	503	761	399	277	425	303	538
4	3140	669	3567	754	1142	476	339	474	365	776
5	2754	1996	8790	2240	8067	502	353	677	528	740
6	3400	2055	1615	2112	1458	524	375	787	595	986
7	2624	1239	7326	3466	5373	582	408	1089	876	545
8	2868	1263	4687	2274	3266	643	444	1731	919	704
9	2887	1322	4480	1087	3528	604	430	1081	846	641
10	3302	1863	5422	4657	6072	618	437	1324	873	812
11	2749	1870	2343	9923	15550	623	463	1184	1045	1164
12	3957	1904	6139	11555	5996	629	435	1424	1051	1193
13	2362	1594	32630	4432	19130	662	499	2045	1636	1311
14	2955	1686	25114	5446	63213	692	555	1923	1051	1249
15	3720	1955		1375	11611	671	544	2022	1349	1310
16	2473	480		4439		582	697	1759	780	974
17	3271	1612		4334		612	481	1212	1092	1114
18	3552	581		4872		585	693	1577	995	930
19	5331	620		4873		581	694	1712	1142	1002
20	11310	634		5987		582	697	1729	1130	1077

\*Číslo Měření

\*\* Uvedené hodnoty odporů jsou v  $m\Omega$





Obr. 4.3: Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje z vodivého lepidla

Z výsledků naměřených hodnot vyplývá, že elektrický odpor spoje roste s každým následujícím měřením. Na začátku experimentu elektrický odpor nepřekročil hodnotu  $1 \Omega$  ani jeden z 10 vzorků. V 15. a 16. týdnu 2 z 10 vzorků vykazovali nekonečně veliký elektrický odpor a byly tedy z experimentu vyřazeny. Z tabulky 4.2 lze spatřit, že vzorky R1-R5 dosahují daleko větších a „nestabilnějších“ hodnot než vzorky R6-R10. Tento jev je pravděpodobně způsoben chybným nanesením vodivého lepidla, nebo jeho nevhodným množstvím. Pokud bychom tedy uvažovali pouze výsledky ze vzorků R6-R10 elektrický odpor nepřesáhl hranici  $2 \Omega$  a během experimentu rostl lineárně. Uvažujeme-li stanovenou hranici  $5 \Omega$  jako limitní, stále by 6 vzorků z 10 prošlo a tato metoda by také mohla být považována za vhodnou pro kontaktování na chytré textilie.

### 4.3 Výsledky experimentu metodou nevodivého lepení

Naměřené hodnoty elektrického odporu lepených rezistorů pomocí nevodivého lepidla jsou uvedeny v Tab. 4.3 a poté byly hodnoty statisticky zpracovány a lze je vidět na Obr. 4.4

Jak bylo zmíněno v kap. 2 pro nevodivé lepení byl navíc proveden experiment s LED

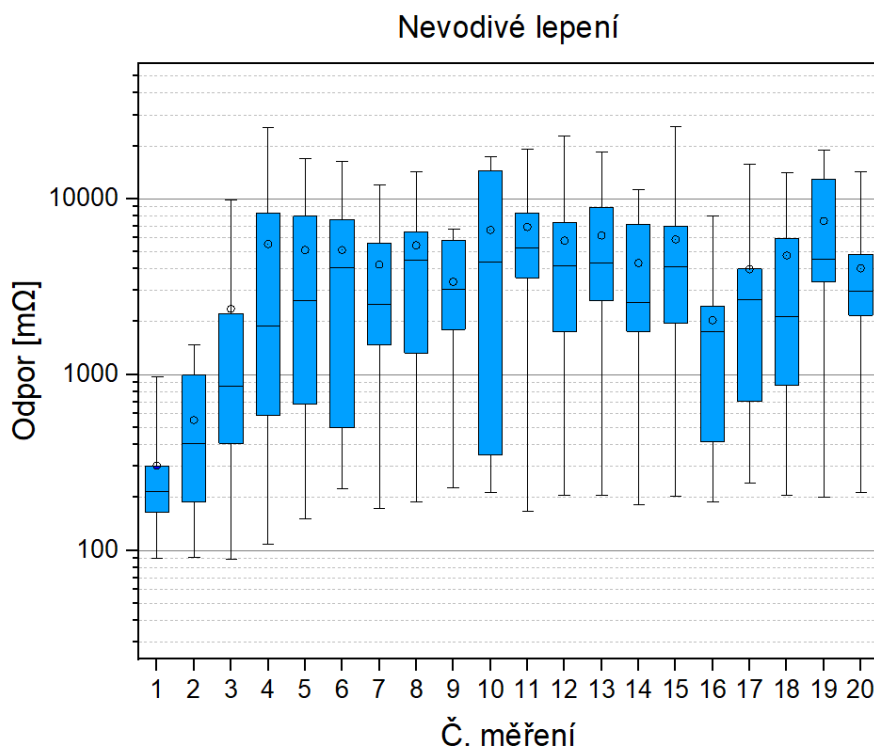
vzorky. Při každém měření bylo na stuhu přivedeno napětí o hodnotě 5 V, poté bylo pouze vizuálně porovnáváno jak jednotlivé diody svítí a zda vůbec svítí. Výsledky tohoto experimentu by se mohli považovat za úspěšné. Všechny vzorky vydrželi celý experiment, tedy 20 týdnů, je však nutné poznamenat, že po cca 15 týdnech některé diody svítily o něco méně, to ovšem nemusí být nutně způsobeno zvýšením elektrického odporu v místě kontaktu SMD součástky a vodivé stuhu, ale stuhou samotnou, její elektrický odpor se postupem času také mění. Na začátku experimentu měla vodivá dráha na stuze odpor v řádu  $m\Omega$ , na konci experimentu měla jedna vodivá dráha odpor 25  $\Omega$  a druhá 1  $k\Omega$ . Elektrický odpor stuhu ovšem nebyl součástí tohoto experimentu a proto se tím zde práce nezabývá.

Tab. 4.3: Hodnoty odporů při použití nevodivého lepení

Č.*	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	262	166	301	971	125	495	286	90	170	164
2	422	990	560	1027	144	385	1470	91	230	189
3	2230	1450	860	6870	670	9820	850	89	336	406
4	25300	2320	1200	9653	1450	8260	590	109	413	5900
5	7940	680	16820	12300	6270	2140	276	151	1312	3150
6	16200	7635	6280	9934	497	3490	393	225	4650	1750
7	11980	1472	4070	11732	2635	5611	638	174	1494	2381
8	6433	5775	12940	14150	6460	2831	1330	188	1058	3140
9	4109	3574	6235	6726	2560	1806	388	226	2291	5780
10	6427	15605	2290	17340	309	2227	349	213	14463	7174
11	12410	19101	3554	7333	2945	4774	4908	167	5611	8269
12	5673	22853	3660	9320	1756	4633	490	207	1876	7312
13	5477	18400	2621	12760	2751	8900	3114	206	721	6880
14	1888	11300	1901	5620	1763	3255	7145	182	745	9228
15	7234	25805	2241	5321	1956	3553	4686	204	735	6931
16	7980	2446	1977		786	2531	266	189	413	1751
17	7368	15785	2678		1420	3980	412	241	702	3181
18	14060	11172	2127		803	5513	5950	207	866	2062
19	4511	18998	3370		3979	12952	5322	202	3040	14826
20	2173	4824	2991		956	3230	2221	214	5334	14202

\*Číslo Měření

\*\* Uvedené hodnoty odporů jsou v  $m\Omega$



Obr. 4.4: Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje z nevodivého lepidla

Z výsledků naměřených během experimentu lze vidět, že hodnoty se během jednotlivých měření výrazně měnili. Tento jev je způsoben tím, že oproti předchozím dvěma metodám (pájení a vodivé lepení) zde nedochází k metalurgickému spojení SMD rezistoru a vodivé stuhu, ale pouze k mechanickému přitlačení součástky na stuhu, kontakt tedy není stabilní a lze zlepšit například působením tlaku na rezistor. V tomto experimentu ale byly rezistory ponechány bez působení jakékoliv vnější síly. Na začátku experimentu vykazovali všechny vzorky nízký elektrický odpor v řádu stovek  $m\Omega$ . Z prvu byl nárůst elektrického odporu spíše lineární, později už hodnoty dosahovali jednotek ohmů a opět klesaly atd. Pokud se ale podíváme na vzorek R8, vidíme že elektrický odpor je po celou dobu experimentu velmi nízký.

Použití této metody pro kontaktování na chytré textilie by mělo být předmětem dalšího zkoumání. Jak můžeme vidět, je možné dosáhnout nízkých hodnot elektrického odporu, ale kontakt není příliš stabilní. Dále výsledky z experimentu s LED vzorky naznačují, že použití této metody by se mohlo v některých případech využít.

#### 4.4 Výsledky experimentu metodou termokompresce

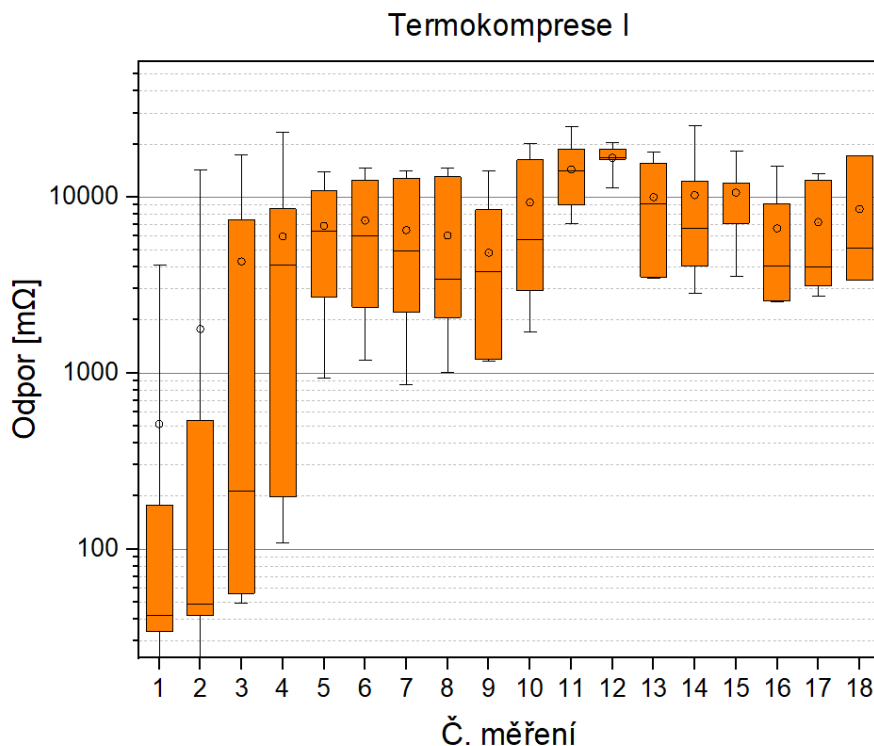
Naměřené hodnoty elektrického odporu rezistorů připevněných pomocí termokompresce jsou uvedeny v Tab. 4.4 pro variantu I a v Tab. 4.5 pro variantu II a poté byly hodnoty statisticky zpracovány a lze je vidět na Obr. 4.5 a 4.6

Tab. 4.4: Hodnoty odporů při použití termokompresce (varianta I)

Č.*	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	4100	580	178	24	44	40	35	25	69	34
2	14300	2556	539	24	51	42	42	31	105	46
3	17253	780	16840	62	55	49	350	56	7450	77
4	23400	8570		4930	9800	109	2460	187	4090	198
5		10800		5114	7990	2715	6426	13925		940
6		5160		5980	12380	2370	9772	14600		1176
7		4525		6012	855	4914	12700	14113		2206
8		3393		2065	1006	3380	13056	14581		4755
9		1323		1193	1168	8453	3748	14001		3810
10		16195		5694	2952	4089	1705	14421		20136
11		11986		18755	14380	25081	7042	14034		8985
12		11262		18754	16620	16388	20385			
13		15600		3510	3466	9171	18113			
14		25409		2849	12215	4065	6607			
15		18243		3538	12027	7072	11995			
16		9144		2565	14851	4040	2536			
17		12470		3112	13570	4008	2741			
18		5111		3387			17100			

\*Číslo Měření

\*\* Uvedené hodnoty odporů jsou v  $m\Omega$



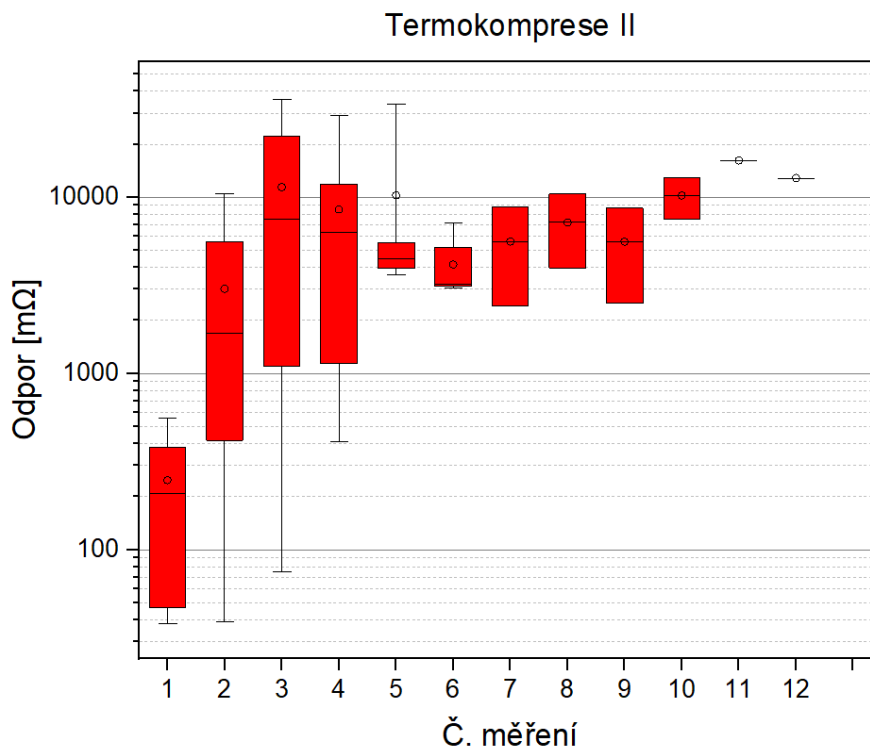
Obr. 4.5: Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje za pomoci termokompresa (Varianta I)

Tab. 4.5: Hodnoty odporů při použití termokompresa (varianta II)

Č.*	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	45	250	560	319	38	161	513	47	380	165
2	418	1600	10500	1780	39	1960	5560	73	7206	1090
3	6500	24850	7020	85	75	22140	35860	1095	8449	7970
4	29000	1140	16200	816	410	6607	2420	6080	11870	10650
5		33600		3629	4459	5529				3960
6				3192	3039	3229				7129
7				2400						8790
8				3957						10420
9				8659						2503
10				12903						7517
11				16153						
12				12811						

\*Číslo Měření

\*\* Uvedené hodnoty odporů jsou v mΩ



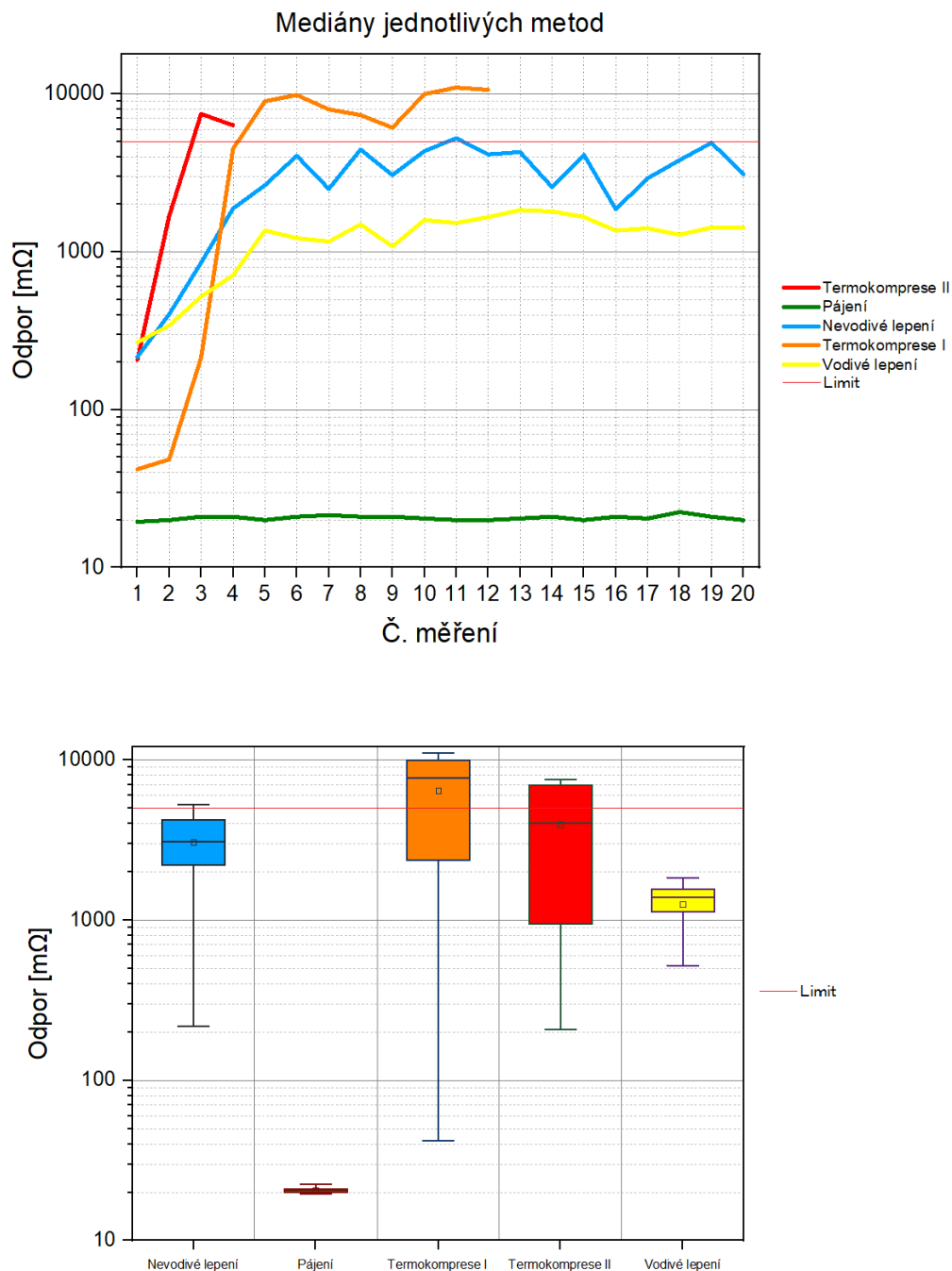
Obr. 4.6: Statisticky zpracované hodnoty odporů spoje za pomoci termokomprese (Varianta II)

Z výsledků experimentu lze na první pohled poznat, že hodnoty elektrického odporu jsou vysoké. Na začátku experimentu byly hodnoty téměř u všech vzorků velmi nízké, v řádu desítek  $m\Omega$ , nízkou hodnotu si poměrně stabilně udržovali po dobu 2-3 týdnů, ovšem poté elektrický odpor velmi rychle rostl a to až do jednotek  $G\Omega$ , tyto hodnoty byly poté z experimentu odebrány. Termokomprese varianta I byla o trochu lepší než varianta II, kde už po 4 týdnech testování byly znehodnoceny téměř všechny vzorky, nicméně ani zde se nedá mluvit o úspěchu hodnoty elektrického odporu byly příliš vysoké u všech vzorků a experiment nemohl být kvůli vysokým hodnotám měřen po dobu 20 týdnů jako pro všechny předešlé metody.

Technologie kontaktování za pomoci termokomprese tedy není vhodná na použití pro pružné vodivé stuhy.

## 4.5 Shrnutí experimentu

Pro porovnání všech metod jsou na Obr. 4.7 zobrazeny mediány všech metod během jednotlivých měření a to jak v krabicovém tak ve spojnicovém grafu.

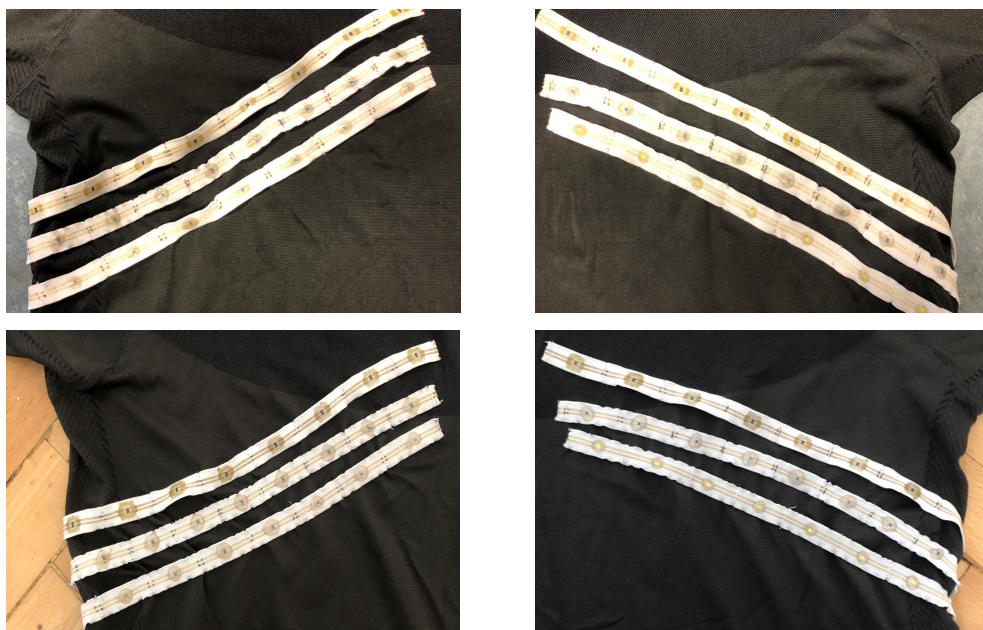


Obr. 4.7: Mediány použitých metod ve spojnicovém (nahore) a krabicovém (dole) grafu

Toto porovnání na základě mediánu, tedy prostřední hodnoty můžeme brát jako vypočítané. Z tohoto porovnání lze říci, že metody kontaktování pomocí pájení a vodivého lepení, tedy metody konvenční, dosahují dobrých výsledků. Naproti tomu metody kontaktování pomocí nevodivého lepidla a termokomprese, které lze považovat za alternativní metody kontaktování, dosahují horších výsledků. V případě termokomprese se jedná o

velmi nevhodnou metodu kontaktování na chytré textilie.

Další porovnání je z estetického a funkčního hlediska, estetika sice není předmětem zkoumání této práce ani nijak nesouvisí s testováním vodivých spojů. Funkčnost během samotného experimentu však hrála roli, vlivem potu, praní a mechanického namáhání se stuha osazená součástkami stáhla a zkrabatila a byla tak méně komfortní při nošení a pohybu. Detailní pohled na stuhy před a po konci experimentu je zobrazen na Obr. 4.8.



Obr. 4.8: Vizuální porovnání stuh před (nahore) a po (dole) experimentu



## Zhodnocení a závěr

Tato práce se zaměřuje na problematiku technologie kontaktování, a to hlavně pro použití na chytré textilie. Bylo zde shrnuto, jak vypadá současný stav chytrých textilií ve světě a kterým směrem by se tento obor mohl dále rozvíjet.

V práci jsou rozebrány čtyři metody kontaktování a to nízkoteplotní pájení, vodivé lepení, nevodivé lepení a termokompresní kontaktování. Dále je v práci popsána vodivá pružná tkaná stuha, která byla vyvinuta ve spolupráci se společností VUB a.s. a byla použita na zde popsany experiment. Po dokončení rešeršní části popsané v první polovině práce byl na základě cíle diplomové práce popsán a navržen experiment, jež měl za úkol otestovat jednotlivé technologie kontaktování na chytré textilie v praxi, tedy při samotném nošení a testovat změnu elektrického odporu samotných kontaktů. Závěrem experimentu je vyhodnocení, zda je daná technologie kontaktování vhodná pro použití na chytré textilie.

Nejlepších hodnot elektrického odporu dosáhl dle očekávání pájený spoj. Vodivý spoj je vytvořen pomocí pájky a vznikne tak metalurgické spojení dvou materiálů, nevýhodou této technologie je komplikovaná automatizace procesu, ještě větším problémem je fakt, že samotná stuha se během procesu pájení extrémně zahřívá a ztrácí tak jednu ze svých předností a to je velká flexibilita. Druhou nejlepší metodou kontaktování z hlediska hodnot elektrického odporu je použití vodivých lepidel. Elektrický odpor je sice o dva řády vyšší než u pájeného spoje, ale během procesu kontaktování nedochází k deformaci vodivé stuhly a navíc je samotný proces kontaktování snadno automatizovatelný. Na třetím místě je technologie kontaktování při použití nevodivých lepidel, hodnoty elektrického odporu zde jsou ještě vyšší než při použití vodivého lepidla, navíc zde není pevný vodivý spoj, pouze vnitřní pnutí lepidla drží vodivou stuhu a rezistor v kontaktu, hrozí zde tedy k nestabilitě kontaktu či jeho zániku, tento jev jsme také v experimentu mohli vidět. Použití této technologie na kontaktování k chytrým textiliím nemusí být nutně zavrženo, z části výsledků lze vidět, že lze dosáhnout velmi dobrých hodnot elektrického odporu, avšak při vzniku spoje musí být postupováno s velkou pečlivostí.

Naprosto nevhodnou metodou se jeví kontaktování pomocí termokompresy, na začátku experimentu bylo sice dosaženo velmi nízkých hodnot elektrického odporu, ovšem spoj není dostatečně pevný aby odolal mechanickému namáhání a dalším vlivům jako je praní či pot. Elektrický spoj tak velmi rychle zanikne a stává se nepoužitelným.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ÇELIKEL, Dilan Canan, nedatováno. Smart E-Textile Materials. In: Advanced Functional Materials [online]. s. 1–16. Dostupné z: doi:DOI: 10.5772/intechopen.92439
- [2] VENUGOPAL, Sameer M., David R. ALLEE, Manuel QUEVEDO-LOPEZ, Bruce GNADE, Eric FORSYTHE a David MORTON, 2010. Flexible electronics: What can it do? What should it do? IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings [online]. 644–649. ISSN 15417026. Dostupné z: doi:10.1109/IRPS.2010.5488757
- [3] SARIF ULLAH PATWARY, Md Syduzzaman, 2015. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview. Journal of Textile Science & Engineering [online]. 05(01), 1–7. Dostupné z: doi:10.4172/2165-8064.1000181
- [4] CHERENACK, Kunigunde a Liesbeth VAN PIETERSON, 2012. Smart textiles: Challenges and opportunities. Journal of Applied Physics [online]. 112(9). ISSN 00218979. Dostupné z: doi:10.1063/1.4742728
- [5] NAVRÁTIL, Jiří a Martin HIRMAN, 2018. Kontaktování SMD součástek na flexibilní DPS s pomocí nevodivých lepidel Connection of SMD Components on a Flexible PCB by Non-Conductive Adhesive. 97–100.
- [6] JONES, I. A. a WISE. R. J., 2005. Novel Joining Methods for Textiles and Smart Garments - TWI. Paper presented at Wearable Futures Conference, University of Wales, Newport, Wales [online] [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/novel-joining-methods-applicable-to-textiles-and-smart-garments-september-2005>
- [7] MINYOUNG, Suh, 2010. E-Textiles For Wearability: Review Of Integration Technologies | Textile World [online] [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2010/04/e-textiles-for-wearability-review-of-integration-technologies/>

- [8] ANON., 2019. Smart Textiles: The Future of the Fabric Industry | Apex Mills [online] [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: [https://www.apexmills.com/media\\_post/smart-textiles/](https://www.apexmills.com/media_post/smart-textiles/)
- [9] KALLMAYER, Christine a Erik SIMON, 2012. Large area sensor integration in textiles. International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2012 - Summary Proceedings [online]. m. Dostupné z: doi:10.1109/SSD.2012.6198112
- [10] CHO, Gilsoo, Keesam JEONG, Min Joo PAIK, Youngeun KWUN a Moonsoo SUNG, 2011. Performance evaluation of textile-based electrodes and motion sensors for smart clothing. IEEE Sensors Journal [online]. 11(12), 3183–3193. ISSN 1530437X. Dostupné z: doi:10.1109/JSEN.2011.2167508
- [11] SERGIO, Maximilian, Nicolò MANARESI, Fabio CAMPI, Roberto CANGALLO, Marco TARTAGNI a Roberto GUERRIERI, 2003. A dynamically reconfigurable monolithic CMOS pressure sensor for smart fabric. IEEE Journal of Solid-State Circuits [online]. 38(6), 966–975. ISSN 00189200. Dostupné z: doi:10.1109/JSSC.2003.811977
- [12] MEYER, Jan, Paul LUKOWICZ a Gerhard TRÖSTER, 2006. Textile pressure sensor for muscle activity and motion detection. Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC [online]. 69–74. ISSN 15504816. Dostupné z: doi:10.1109/ISWC.2006.286346
- [13] KALAS, David, Jan KALCIK, Jan REBOUN, Radek SOUKUP a Ales HAMACEK, 2021. Stretch Testing of SMD Resistors Contacted by a Novel Thermo-compression Method on a Textile Ribbon. Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology [online]. 2021-May, 1–5. ISSN 21612536. Dostupné z: doi:10.1109/ISSE51996.2021.9467635
- [14] DAVID, Kalas, Suchy STANISLAV, Kalcik JAN, Reboun JAN, Soukup RADEK a Hamacek ALES, 2020. Contacting of SMD Components on the Textile Substrates. IEEE [online]. 3, 1–6. Dostupné z: doi:10.1109/ISSE49702.2020.9120911
- [15] LEAL-JUNIOR, Arnaldo, Leticia AVELLAR, Anselmo FRIZERA a Carlos MARQUES, 2020. Smart textiles for multimodal wearable sensing using highly

- stretchable multiplexed optical fiber system. Scientific Reports [online]. 10(1), 1–12. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-020-70880-8
- [16] TAO, Xiaoming, 2015. Handbook of smart textiles [online]. ISBN 9789814451451. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-4451-45-1
- [17] REHNBY, Weronika, Maria GUSTAFSSON a Mikael SKRIFVAR, 2008. Coating of textile fabrics with conductive polymers for smart textile applications. Welcome to Ambience'08 [online]. (June 2008), 100–103. Dostupné z: <http://bada.hb.se/bitstream/2320/3936/1/Ambience08.pdf#page=58>
- [18] KULHÁNEK, Petr, 2015. Vodivé inkousty a chytré textilie. Aldebaran bulletin [online] [vid. 2021-12-02]. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2015\\_23\\_ink.php](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_23_ink.php)
- [19] GEHRKE, Inga, Vadim TENNER, Volker LUTZ, David SCHMELZEISEN a Thomas GRIES, 2019. Smart Textiles Production [online]. ISBN 9783038974970. Dostupné z: doi:10.3390/books978-3-03897-498-7
- [20] ANON., 2021. Large-area display textile integrated with functional systems [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.innovationintextiles.com/largearea-display-textile-integrated-with-functional-systems/>
- [21] ANON., nedatováno. Medical Smart Fabric Market is Growing | Wearable Technologies [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.wearable-technologies.com/2018/07/medical-smart-fabric-market-shows-noteworthy-growth-by-strong-cagr-up-to-2027/>
- [22] ANON., nedatováno. Technology — Footfalls & Heartbeats [online] [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.footfallsandheartbeats.com/technology>
- [23] ISAI, Cristina, Donal S. MCNALLY, Simon A. MCMMASTER a David T. BRANSON, 2019. Effect of mechanical preconditioning on the electrical properties of knitted conductive textiles during cyclic loading. Textile Research Journal [online]. 89(3), 445–460. ISSN 00405175. Dostupné z: doi:10.1177/0040517517748496
- [24] ANON., nedatováno. File:Maille.png - Wikimedia Commons [online] [vid. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=895445>

- [25] TAO, Xiao Ming a Qiao LI, 2014. Three-dimensionally deformable, highly stretchable, permeable, durable and washable fabric circuit boards [online]. Dostupné z: doi:10.1098/rspa.2014.0472
- [26] LOCHER, Ivo a Gerhard TRÖSTER, 2007. Fundamental building blocks for circuits on textiles. *IEEE Transactions on Advanced Packaging* [online]. 30(3), 541–550. ISSN 15213323. Dostupné z: doi:10.1109/TADVP.2007.898636
- [27] MECNIKA, V., K. SCHEULEN, C. F. ANDERSON, M. HÖRR a C. BRECKENFELDER, 2015. Joining technologies for electronic textiles. *Electronic Textiles: Smart Fabrics and Wearable Technology* [online]. 133–153. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-100201-8.00008-4
- [28] MECNIKA, Viktorija, Melanie HOERR, Ivars KRIEVINS, Stefan JOCKENHOVEL a Thomas GRIES, 2015. Technical Embroidery for Smart Textiles: Review. *Materials Science. Textile and Clothing Technology* [online]. 9, 56. ISSN 1691-3132. Dostupné z: doi:10.7250/MSTCT.2014.009
- [29] WANG, Z., J. L. VOLAKIS a A. KIOURTI, 2015. Embroidered antennas for communication systems [online]. B.m.: Elsevier Ltd. ISBN 9780081002230. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-100201-8.00011-4
- [30] MATSUHISA, Naoji, Martin KALTENBRUNNER, Tomoyuki YOKOTA, Hiroaki JINNO, Kazunori KURIBARA, Tsuyoshi SEKITANI a Takao SOMEYA, 2015. Printable elastic conductors with a high conductivity for electronic textile applications. *Nature Communications* [online]. 1–11. ISSN 20411723. Dostupné z: doi:10.1038/ncomms8461
- [31] LOCHER, Ivo a Gerhard TRÖSTER, 2016. Screen-printed Textile Transmission Lines: <http://dx.doi.org/10.1177/0040517507080679> [online]. 77(11), 837–842 [vid. 2022-02-20]. ISSN 00405175. Dostupné z: doi:10.1177/0040517507080679
- [32] ANON., nedatováno. CREATIF Project - EU FP7 [online] [vid. 2022-02-20]. Dostupné z: <http://www.creatif.ecs.soton.ac.uk/results.html>
- [33] ZHANG, Ru Quan, Jian Qiang LI, De Jun LI a Jing Jing XU, 2011. Study of the Structural Design and Capacitance Characteristics of Fabric Sensor. *Advanced Ma-*

- terials Research [online]. 194–196, 1489–1495 [vid. 2022-03-07]. ISSN 1662-8985. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.194-196.1489
- [34] AVLONI, J., R. LAU, M. OUYANG, L. FLORIO, A. R. HENN a Amelia SPARAVIGNA, 2008. Polypyrrole-coated nonwovens for electromagnetic shielding. *Journal of Industrial Textiles* [online]. 38(1), 55–68. ISSN 15280837. Dostupné z: doi:10.1177/1528083707087834
- [35] CASTANO, Lina M. a Alison B. FLATAU, 2014. Smart fabric sensors and e-textile technologies: A review. *Smart Materials and Structures* [online]. 23(5). ISSN 1361665X. Dostupné z: doi:10.1088/0964-1726/23/5/053001
- [36] HIRMAN, Martin, Jiri NAVRATIL, Michaela RADOUCHOVA, Jiri STULIK a Radek SOUKUP, 2022. Influence of Sweat on Joint and Sensor Reliability of E-Textiles. *Energies* [online]. 15(2). ISSN 19961073. Dostupné z: doi:10.3390/en15020506

## Přílohy:

### Příloha A: Datasheet SMD rezistorů 1206 použitých v experimentu



## microtech GmbH electronic Teltow

### Chip resistors - Made in Germany

#### Impuls resistant series

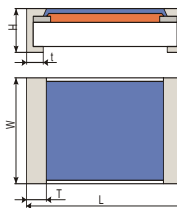
**Type:** CDI / CLI  
**Sizes:** 0402, 0603, 0805, 1206, 1210, 1218, 2010, 2512

#### Specific notes:

- Chip resistors in thick film technology
- Area of resistor with passivation of laquer
- Special impulse resistor coat
- High stability and reliability
- Conform with RoHS
- All configurations of chip resistors can make with one of these contacts:
  - ⇒ Electro-plated tinning
  - ⇒ Sticky contact
  - ⇒ Contact with low magnetic permeability
  - ⇒ Special contact which is resistant to influences by corrosive gas

#### Dimensions of chip resistor (in mm):

Size	L Length		W Width		H Depth		t Contact behind		T Contact in front	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0402	0,95	1,10	0,45	0,60	0,25	0,40	0,10	0,35	0,05	0,35
0603	1,50	1,70	0,75	0,95	0,35	0,55	0,10	0,50	0,10	0,50
0805	1,85	2,15	1,10	1,40	0,35	0,65	0,15	0,60	0,15	0,60
1206	2,90	3,35	1,45	1,75	0,35	0,65	0,25	0,75	0,25	0,75
1210	3,00	3,30	2,35	2,65	0,50	0,75	0,35	0,85	0,35	0,85
1218	3,00	3,30	4,50	4,80	0,50	0,75	0,35	0,85	0,35	0,85
2010	4,80	5,20	2,30	2,70	0,50	0,75	0,35	0,85	0,35	0,85
2512	6,10	6,50	3,00	3,30	0,50	0,75	0,35	0,85	0,35	0,85



#### Delivery forms:

- Bulk in plastic bags – from 20 pieces
- Tape of paper according to EN 60286-3
- Reel: 180mm packaging unit 5.000 or 330mm VPE 10.000, 20.000
- Tape of blister according to EN 60286-3 (from size 1210)
- Reel: 180mm packaging unit 4.000 or 330mm VPE 8.000, 16.000
- Specific barcodes for each customer

#### Ordering designations:

Type    Size    Value    Tolerance    TC    Labelling/ Packaging    Pieces/ Tape (kpcs)  
 ↓        ↓        ↓        ↓        ↓        ↓        ↓  
 Example: CDI    0805    1M    10,0%    50ppm/K    NP 5

- CDI- K / CLI- K – Sticky contact
- CDI- P / CLI- P – Contact with low magnetic permeability
- CDI- S / CLI- S – Special contact which is resistant to influences by corrosive gas
- P – Tape of paper
- B – Tape of blister
- S – Bulk
- K – With labelling (from size 0603)
- N – Without labelling

Příloha B: Datasheet SMD LED 1206 použitých v experimentu

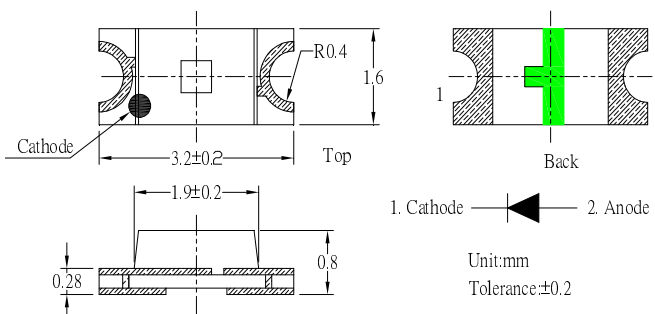


<b>3.2x1.6 x0.8mm SMD</b>
<b>OSXX1206C1A_N</b>
<b>Ver.A.1</b>

■Features

- Single chip
- Super high brightness of surface mount LED
- Compact package outline  
(L x W x T) of 3.2mm x 1.6mm x 0.8mm
- Compatible to IR reflow soldering.

■Outline Dimension



■Applications

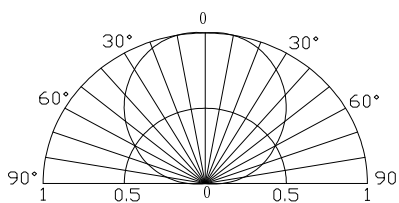
- Backlighting (switches, keys, etc.)
- Marker lights (e.g. steps, exit ways, etc.)

■Absolute Maximum Rating

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Value		Unit
		WT/MT/BL/TG	YG/YL/OR/HR	
DC Forward Current	I <sub>F</sub>	30	30	mA
Pulse Forward Current*	I <sub>FP</sub>	100	100	mA
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	5	5	V
Power Dissipation	P <sub>D</sub>	100	70	mW
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-40 ~ +85		°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-40~ +85		°C
Lead Soldering Temperature	T <sub>sol</sub>	260°C/5sec		-

■Directivity



\*Pulse width Max 0.1ms, Duty ratio max 1/10

■Electrical -Optical Characteristics

(Ta=25°C)

Part Number	Color		V <sub>F</sub> (V)			I <sub>R</sub> (μA)	I <sub>v</sub> (mcd)			λD(nm)			2θ1/2(deg)
			Min.	Typ.	Max.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Typ.
			I <sub>F</sub> =20mA			V <sub>R</sub> =5V		I <sub>F</sub> =20mA					
OSWT1206C1A_N	White	WT	3.0	-	3.6	100	400	450	-	X=0.29 Y=0.29			120
OSBL1206C1A_N	Blue	BL	3.0	-	3.6	100	80	100	-	460	465	475	120
OSTG1206C1A_N	True Green	TG	2.9	-	3.6	100	300	350	-	520	525	530	120
OSYG1206C1A_N	Yellow green	YG	1.8	-	2.5	100	20	45	-	565	570	575	120
OSYL1206C1A_N	Yellow	YL	1.8	-	2.5	100	60	90	-	585	590	595	120
OSOR1206C1A_N	Orange	OR	1.8	-	2.5	100	100	120	-	600	605	610	120
OSHR1206C1A_N	Red	HR	1.8	-	2.5	100	100	120	-	620	625	630	120

Note: \* Vf tolerance: ±0.05V

\* Dominant wavelength tolerance: ±1nm

\* Luminous intensity is NIST reading. Luminous intensity tolerance:±10%

LED & Application Technologies





Příloha C: Datasheet pájecí pasty použité v experimentu



**Lead-Free  
Solder Paste**

## Product Data Sheet

# FORMOSA No Clean Solder Paste

## Model: PF602-P

### Specification:

NO	Item	Specification	Standard
1	Appearance	Gray paste , No foreign , No Stiff	
2	Alloy	Sn/Bi58	JIS-Z-3282
3	Melting Point	138℃	DSC
4	Particle Size	(Type 3) +45μm 1% large , -20μm 10% less (Type 4) +38μm 1% large , -20μm 10% less	IPC-TM-650, 2.2.14
5	Powder Shape	Sphere	
6	Flux Content	10 ± 1.0wt%	JIS-Z-3197, 6.1
7	Halide Content	0.05 ± 0.02wt% (in flux)	JIS-Z-3197, 6.5
8	Viscosity	180 ± 30 Pa.s (25±1℃, 10rpm, Malcom )	JIS-Z-3284, Annex 6
9	Flux Type	ROL1	J-STD-004

### Physical Properties & Reliability Data

No	Test Item	Test Result	Test Method
1	Copper Plate Corrosion Test	PASS	JIS-Z-3197, 6.6.1
2	Spread Test	75% up	JIS-Z-3197, 6.10
3	Silver Chromate Test	PASS	IPC-TM-650, 2.6.33
4	Copper Mirror Test	PASS	IPC-TM-650, 2.6.32
5	Fluorides By Spot Test	PASS	IPC-TM-650, 2.3.35.1
6	S.I.R Test ▲	1×10 <sup>9</sup> up	IPC-TM-650, 2.6.3.3
7	Electro Migration Test ◆	1×10 <sup>12</sup> up Pass	IPC-TM-650, 2.6.14.1
8	Viscosity Test(25℃, 10rpm)	180 ± 30 Pa.s	JIS-Z-3284. Annex 6
9	Tack Test (gf)	140 up(8hr)	JIS-Z-3284. Annex 9
10	Slump Test	Less than 0.3 mm	JIS-Z-3284. Annex 8
11	Solder Ball Test	PASS	JIS-Z-3284. Annex 11

▲ Test Conditions : 85℃ , 85% RH

◆ Test Conditions : 65℃ , 85% RH

www.shenmao.com

## Příloha D: Datasheet vodivého lepidla použitého v experimentu



## EPO-TEK® E4110

Technical Data Sheet  
For Reference Only

Electrically Conductive, Silver Epoxy

**Date:** February 2021  
**Rev:** X  
**No. of Components:** Two  
**Mix Ratio by Weight:** 10 : 1  
**Specific Gravity:** Part A: 3.10 Part B: 0.95  
**Pot Life:** 4 Hours  
**Shelf Life- Bulk:** One year at room temperature

**Recommended Cure: 150°C / 1 Hour**

Minimum Alternative Cure(s):  
*May not achieve performance properties listed below*  
 100°C / 1 Hour  
 80°C / 3 Hours  
 60°C / 6 Hours  
 23°C / 3 Days

**NOTES:**

- Container(s) should be kept closed when not in use.
- Filled systems should be stirred thoroughly before mixing and prior to use.
- Performance properties (rheology, conductivity, others) of the product may vary from those stated on the data sheet when bi-pak/syringe packaging or post-processing of any kind is performed. Epoxy's warranties shall not apply to any products that have been reprocessed or repackaged from Epoxy's delivered status/container into any other containers of any kind, including but not limited to syringes, bi-paks, cartridges, pouches, tubes, capsules, films or other packages.
- Syringe packaging will impact initial viscosity and effective pot life, potentially beyond stated parameters.

**Product Description:** EPO-TEK® E4110 is an electrically conductive, silver-filled epoxy paste. This two component system is designed for low temperature curing from ambient to 80°C, although other heat cures can be used.

**Typical Properties:** Cure condition: 150°C / 1 Hour Different batches, conditions & applications yield differing results.  
 Data below is not guaranteed. To be used as a guide only, not as a specification. \* denotes test on lot acceptance basis

PHYSICAL PROPERTIES:			
* Color (before cure):	Part A: Silver	Part B: Clear	
* Consistency:	Smooth flowing paste		
* Viscosity (23°C) @ 100 rpm:	800 - 1,600	cPs	
Thixotropic Index:	2.1		
* Glass Transition Temp:	≥ 40	°C	(Dynamic Cure: 20-200°C/ISO 25 Min; Ramp -10-200°C @20°C/Min)
Coefficient of Thermal Expansion (CTE):			
Below Tg:	48	x 10 <sup>-6</sup> in/in°C	
Above Tg:	150	x 10 <sup>-6</sup> in/in°C	
Shore D Hardness:	60		
Lap Shear @ 23°C:	1,266	psi	
Die Shear @ 23°C:	≥ 5	Kg	1,778 psi
Degradation Temp:	380	°C	
Weight Loss:			
@ 200°C:	0.70	%	
Suggested Operating Temperature:	< 250	°C (Intermittent)	
Storage Modulus:	518,756	psi	
Ion Content:	Cl <sup>-</sup> : 151 ppm	Na <sup>+</sup> : 23 ppm	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 23 ppm	K <sup>+</sup> : 31 ppm	
* Particle Size:	≤ 45	microns	
ELECTRICAL AND THERMAL PROPERTIES:			
Thermal Conductivity:	1.4	W/mK	
* Volume Resistivity @ 23°C (150°C/1 Hour):	≤ 0.0005	Ohm-cm	
* Volume Resistivity @ 23°C (25°C 40-60%RH/3 Day Cure):	≤ 0.009	Ohm-cm	

## Epoxyes and Adhesives for Demanding Applications™

This information is based on data and tests believed to be accurate. Epoxy Technology, Inc. makes no warranties (expressed or implied) as to its accuracy and assumes no liability in connection with any use of this product.

EPOXY TECHNOLOGY, INC.

14 FORTUNE DRIVE, BILLERICA, MA 01821 (978) 667-3805, FAX (978) 663-9782

[www.epotek.com](http://www.epotek.com)

A Meridian Adhesives Group Company

## Příloha E: Datasheet nevodivého lepidla použitého v experimentu



Technical Data Sheet

# LOCTITE® AA 3926™

Known as LOCTITE® 3926™  
September 2020

## PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® AA 3926™ provides the following product characteristics:

<b>Technology</b>	Acrylic
<b>Chemical Type</b>	UV acrylic
<b>Appearance (uncured)</b>	Transparent to hazy liquid and Free of undissolved solids <sup>LMS</sup>
<b>Fluorescence</b>	Positive under UV light <sup>LMS</sup>
<b>Components</b>	One component - requires no mixing
<b>Viscosity</b>	Medium
<b>Cure</b>	Ultraviolet (UV) / Visible light
<b>Cure Benefit</b>	Production - high speed curing
<b>Application</b>	Bonding

LOCTITE® AA 3926™ is suitable for a wide variety of applications that require fast cure, flexibility, high adhesion and autoclave resistance. LOCTITE® AA 3926™ cures in seconds when exposed to light of the proper wavelength and intensity and achieves excellent adhesion to glass, plastics and metal. The ability of this product to fluoresce under black light facilitates inspection of bonded assemblies for adhesive presence. LOCTITE® AA 3926™ was specifically designed for bonding stainless steel cannulae into hubs, syringes and lancets for needle assemblies. The viscosity of this product makes the adhesive well suited for applications where the adhesive will be dispensed on the cannulae before assembly with the hub, needles with large gaps, or cannulae that end in the core pinbore to minimize the potential for blocking cannulae. Suitable for use in the assembly of **disposable medical devices**.

### ISO-10993

LOCTITE® AA 3926™ has been tested to Henkel's test protocols based on ISO 10993 biocompatibility standards, as a means to assist in the selection of products for use in the medical device industry.

## TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Specific Gravity @ 25 °C	1.08
Flash Point - See SDS	
Viscosity, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP): Spindle 4, speed 20 rpm	3,000 to 8,000 <sup>LMS</sup>

## TYPICAL CURING PERFORMANCE

### Fixture Time

Fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm<sup>2</sup>.

UV Fixture Time, Glass, seconds:

Black light: 6 mW/cm <sup>2</sup> , measured @ 365 nm	≤5 <sup>LMS</sup>
Zeta® 7410 light source: 30 mW/cm <sup>2</sup> , measured @ 365 nm	<5
Electrodeless, D bulb: 100 mW/cm <sup>2</sup> , measured @ 365 nm	<5

### Tack Free Time

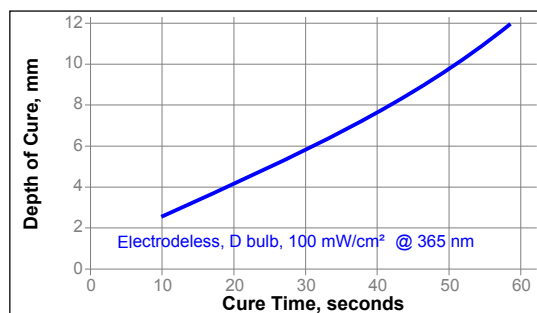
Tack Free Time is the time required to achieve a tack free surface

Tack Free Time, seconds:

Zeta® 7410: 30 mW/cm <sup>2</sup> , measured @ 365 nm,	>60
Electrodeless, D bulb: 100 mW/cm <sup>2</sup> , measured @ 365 nm	>60

### Depth of Cure

The graph below shows the increase in depth of cure with time at 100mW/cm<sup>2</sup> as measured from the thickness of the cured product formed in an aluminum weighing dish.



## TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Cured @ 100 mW/cm<sup>2</sup>, measured @ 365 nm, for 30 seconds per side using an Electrodeless system, D bulb

### Physical Properties:

Coefficient of Thermal Expansion, ISO 11359-2, K <sup>-1</sup> :	
Pre Tg	130×10 <sup>-06</sup>
Post Tg	220×10 <sup>-06</sup>



For the most direct access to local sales and technical support visit: [www.henkel.com/industrial](http://www.henkel.com/industrial)