

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Testování parametrů sítotiskových past pro textilní  
substráty**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**Fakulta elektrotechnická**  
**Akademický rok: 2016/2017**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav PLÍC**

Osobní číslo: **E14B0269P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**

Název tématu: **Testování parametrů sítotiskových past pro textilní substráty**

Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Seznamte se s technologií sítotisku a jeho využití ve výrobě smart textilií.
2. Proveďte rešerši sítotiskových past pro textilní substráty.
3. Vybrané pasty porovnejte z hlediska parametrů a dostupnosti.
4. Navrhněte motiv a postup pro testování.
5. Na navržených vzorcích ověřte vlastnosti vybrané pasty.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran


Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Bystřický**  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**

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



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

V Plzni dne 14. října 2016

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na technologii sítotisku a parametry vodivých sítotiskových past, které lze použít pro textilní substráty. Je zde popsána obecně technologie sítotisku a její využití v oblasti smart textilií. V praktické části jsou porovnány udávané parametry vodivých sítotiskových past použitelných pro textilní substráty. Dále jsou popsány motivy vodivých cest a textilní substráty, na které byla následně vytisknuta vybraná vodivá pasta. U těchto vzorků byl změřen jejich odpor po vytisknutí a následně po ohýbání a namáčení.

## **Klíčová slova**

Sítotisk, textilní substrát, smart textilie, vodivá pasta

## **Abstract**

The presented bachelor thesis is focused on a screen printing technology and parameters of conductive screen printing inks which can be used for textile substrates. The thesis universally describes the technology of screen printing process and its use in a smart textile technologies. In the practical part are being compared the given parameters by a producer of conductive screen printing inks usable for textile substrates. In thesis are furthermore described motives of conductive tracks and textile substrates on which was printed the selected conductive ink. The resistance of these samples was measured after the printing, the bending and after water dipping as well.

## **Key words**

Screen printing, textile substrate, smart textile, conductive ink

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2017

Václav Plíc

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Bystřickému za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 SÍTOTISK</b> .....	<b>11</b>
1.1 RÁM.....	12
1.2 SÍTOVINA (SÍTO).....	12
1.2.1 Dělení podle materiálu.....	12
1.2.2 Základní parametry sítovin.....	13
1.2.3 Napínání a fixace sítoviny.....	14
1.3 SÍTOTISKOVÁ ŠABLONA.....	15
1.4 TĚRKA.....	16
1.5 KVALITA TISKU.....	16
1.6 MOŽNOSTI PROVÁDĚNÍ SÍTOTISKU.....	17
<b>2 SMART TEXTILIE</b> .....	<b>19</b>
2.1 ROZDĚLENÍ SMART TEXTILÍ.....	19
2.2 POUŽITÍ SMART TEXTILÍ.....	19
2.3 TEXTILNÍ SUBSTRÁTY.....	22
2.4 VODIVOST TEXTILÍ.....	23
2.5 SÍTOTISK NA TEXTILNÍCH SUBSTRÁTECH.....	23
2.6 VODIVÉ SÍTOTISKOVÉ PASTY PRO TEXTILNÍ SUBSTRÁTY.....	25
<b>3 PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>27</b>
3.1 VÝBĚR VODIVÉ PASTY.....	27
3.2 DOSTUPNÉ TEXTILNÍ SUBSTRÁTY.....	29
3.3 MOTIV SÍTOTISKOVÉ ŠABLONY.....	30
3.4 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	31
3.4.1 Poloautomatický sítotiskový stroj Ekra E2.....	31
3.4.2 Měřicí přístroj Keithley 2701.....	32
3.5 TISK PODKLADOVÝCH VRSTEV.....	32
3.6 TISK VODIVÝCH TRAS.....	34
3.7 TISK OCHRANNÉHO ZAPOUZDŘENÍ.....	35
3.8 PROVEDENÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK.....	36
3.9 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	38
3.9.1 Vzorky černé textilie.....	38
3.9.2 Vzorky oranžové textilie.....	38
3.9.3 Vzorky modré textilie.....	39
3.9.4 Vzorky bílé textilie.....	39
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>40</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>42</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	
PŘÍLOHA A – ODPOR VYTIŠTĚNÝCH VZORKŮ.....	I
PŘÍLOHA B – FOTOGRAFIE VYTIŠTĚNÝCH VZORKŮ.....	III



## Seznam symbolů a zkratk

DPS .....	Deska plošného spoje
EKG .....	Elektrokardiografie
$\Omega/\square$ .....	Ohmy na čtverec
PAN .....	Polyakrylonitril
PES .....	Polyester
RFID .....	Radiofrekvenční identifikace
UV .....	Ultrafialové záření

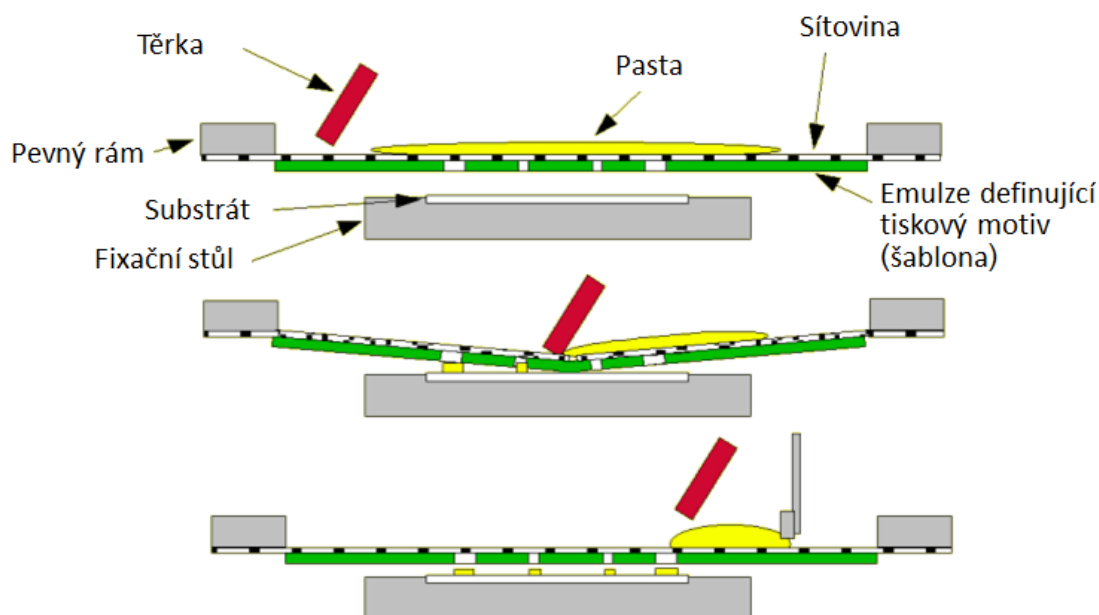
## Úvod

Téma smart textilií je v dnešní době stále více aktuální, a to zejména pro jejich velký potenciál využití v oblasti monitorování životních funkcí, nejčastěji EKG a tepu. Vodivost textilií může být prováděna mimo jiné pomocí sítotisku, na který je tato práce zaměřena. Samotný proces sítotisku je realizován za použití vodivých past, na které jsou kladeny vysoké nároky právě kvůli možnému užití smart textilií ve zdravotnictví. Tato práce je dále zaměřena na výběr vhodné z dostupných past na trhu a následné otestování její skutečných parametrů a vyhodnocení vhodnosti použití v této oblasti.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je rozdělena na dvě kapitoly. První kapitola popisuje všeobecně technologii sítotisku. Ve druhé kapitole jsou uvedeny možná použití smart textilií a využití sítotisku v této oblasti. V praktické části je proveden výběr vhodné pasty pro tisk na textil na základě parametrů uvedených výrobcem. Následně jsou zde popsány textilie a motivy sítotiskové šablony, které byly použity pro testování vybrané vodivé pasty. Dále jsou popsány jednotlivé části samotného tisku této pasty, po jejichž dokončení byl změřen odpor jednotlivých vodivých cest vytištěných vzorků. Poté byly se vzorky provedeny experimenty, po kterých opět následovalo měření odporu.

# 1 Sítotisk

Sítotisk je tisková technika spočívající v protlačování pasty skrz propustná místa obrazové šablony. Šablona je zafixována k sítovině, jež je napnuta na pevném rámu. Při tisku protlačuje těrka pastu sítovinou na materiál nazývaný substrát, který je umístěný pod sítovinou (viz *Obr. 1.1*). [1] Sítotisk se realizuje pomocí sítotiskových zařízení, která mohou být ruční, poloautomatická nebo plně automatická. [2] Hlavní výhodou sítotisku je možnost potisku mnoha druhů materiálu (kov, plast, dřevo, sklo, papír, atd.), které ani nemusí mít dokonale hladký povrch (např. keramika). [1]



Obr. 1.1 Princip sítotisku (převzato z [3])

Sítotisk lze rozdělit dle svého využití na dva základní druhy:

## Sítotisk grafický

Při grafickém sítotisku je pastou myšlena barva, která je nanášena na substrát, někdy postupně i více barev. Je zde kladen důraz na vizuální vjem výtisku. Tento druh je používán při potiskování různých předmětů, jako jsou CD, lahve, různé plastové výlisky, obaly, trička a další. Zvláštním druhem grafického sítotisku je sítotisk umělecký, který je označován také jako serigrafie. [1]

## Sítotisk funkční

Pro funkční sítotisk slouží pasta, která může být vodivá, izolační nebo třeba světlocitlivá. Funkční sítotisk je používán zejména při výrobě desek plošných spojů, kde se používá pro celoplošné nanášení fotorezistu, selektivní nanášení nepájevité masky nebo

selektivní tisk vodivých cest. [2] Tato práce je zaměřena zejména na tento druh sítotisku, kdy jako substrát není použita DPS, ale textil.

## 1.1 Rám

Rám slouží pro upevnění napnuté sítoviny. Dříve se používaly dřevěné rámy, které dnes mají uplatnění jen v ručním sítotisku. Pro velké rámy se nehodí kvůli nebezpečí deformace a s tím spojeným nerovnoměrným vypnutím sítoviny. Pro přesné aplikace je zapotřebí pevných ráků, proto se používají ráky kovové. Nejpoužívanější jsou ráky z hliníkových trubek zejména kvůli své lehkosti a pevnosti. Proto jsou vhodné i pro neautomatizované stroje. Pro aplikace, kde je potřeba velkých ráků bez tahové deformace, se používají ráky ocelové. [1] [4]

## 1.2 Sítoovina (síto)

Správně zvolená sítoovina je důležitým faktorem pro kvalitní tisk. Pro každou aplikaci se hodí jiné parametry sítoviny. Důležité je, aby rozpouštědla obsažená v pastě nepoškodila síto. Rozhodujících faktorů pro výběr sítoviny je hned několik. Jedním z nich je dostatečná odolnost proti oděru, který způsobuje třerka. Dalším je dostatečná velikost ok tak, aby propustila i větší pigmentová zrna obsažená v pastě. [4] Pro kvalitní tisk se doporučuje alespoň třikrát větší oka, než jaká je velikost částic v pastě. [3] Zároveň musí být dostatečně jemná, aby se zachovaly i nejjemnější detaily šablony. Při použití světlocitlivých past je potřeba, aby bylo síto odolné vůči UV záření. [4]

### 1.2.1 Dělení podle materiálu

#### Přírodní materiály

Přírodní materiály se používaly do padesátých let 20. století. Dnes se používají pouze v serigrafii, a to konkrétně hedvábí. Pro standardní tisk se nepoužívají zejména kvůli rozměrové nestálosti, absorpci vlhkosti a neschopnosti opakovaného použití z důvodu obtížného mytí. [1]

#### Syntetické materiály

V 90 % aplikací se používají sítoviny z polyesterových vláken (PES). Umožňují velmi silné napnutí, neabsorbují vlhkost a jsou vysoce odolné proti průtahu. Další používaná jsou vlákna polyamidová, která mají větší průtažnost. Dají se použít pro potisk drsné keramiky

nebo jiných nerovných předmětů. Kvůli vyšší elasticitě a absorpci vlhkosti se nepoužívají pro přesné a velkoformátové aplikace. [4] Pro specifické účely se používají také nylonová vlákna a metalizovaná PES vlákna (většinou poniklovaná). [2]

## Kovové materiály

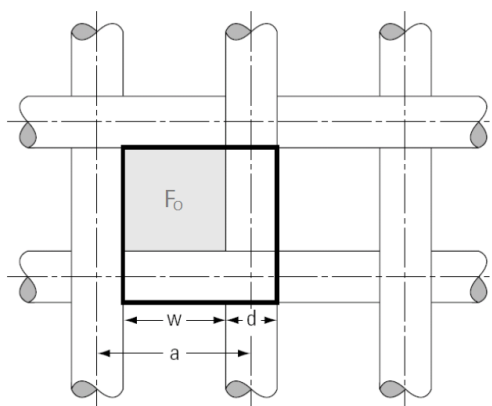
Kovová síta se používají zejména pro potisk hrubých materiálů. Jsou velmi odolná a při správném napnutí tiskem téměř nezničitelná. Používají se tenčí vlákna, než u syntetických materiálů, při stejné hustotě sítoviny. Díky tomu je větší otevřená plocha síta a lze tak nanést více pasty nebo naopak tisknout velmi jemné detaily. Jejich nevýhoda spočívá v obtížném napínání do sítotiskových rámců a vyšší ceně. Používají se většinou ocelová nebo nerezová vlákna. [1] [5]

### 1.2.2 Základní parametry sítovin

Prvním faktorem ovlivňující výsledný motiv je hustota sítoviny. Ta je udávána v počtu vláken na 1 cm. V praxi se používají sítoviny s hustotou 10 – 200 vláken na centimetr. V grafickém sítotisku s pevným substrátem se nejčastěji používají síta s hustotami okolo 100 vláken/cm. Pro grafický textilní sítotisk se používá běžně kolem 40 vláken/cm. [4] Druhým faktorem určujícím kvalitu výtisku je průměr vlákna, který se udává v mikrometrech. Doporučuje se, aby průměr vlákna byla alespoň třikrát menší, než bude nejtenčí tisknutá čára. Běžně se používají vlákna s průměrem 24  $\mu\text{m}$ , tenčí už jsou velmi křehká a nákladná. [3] Třetím parametrem je otevřená plocha síta (viz *Obr. 1.2*). Pro její výpočet lze použít vzorec

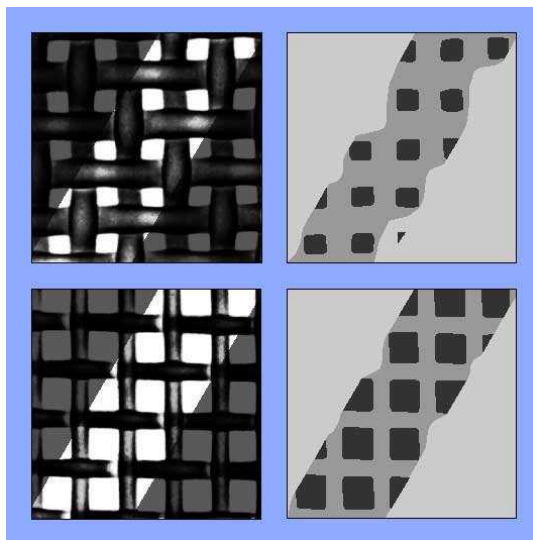
$$F_o = \frac{(a-d)^2}{a^2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde  $a$  je vzdálenost mezi vlákny [ $\mu\text{m}$ ] a  $d$  je průměr vlákna [ $\mu\text{m}$ ]. [3] [4]



Obr. 1.2 Parametry sítoviny (převzato z [4])

Vliv tloušťky vlákna při stejné hustotě síťoviny můžeme vidět na *Obr. 1.3*. Síťoviny se označují druhem materiálu, počtem vláken na cm a tloušťkou vláken v  $\mu\text{m}$  (např. PES 180/27). [1] [4]



*Obr. 1.3* Výsledek tisku u síťovin s různě tlustými vlákny při stejné hustotě síta (převzato z [4])

### 1.2.3 Napínání a fixace síťoviny

Po výběru vhodného rámu a síťoviny je síťovina napnutá a přilepena k rámu. Je důležité, aby síť bylo v celé své ploše rovnoměrně napnuté. Správné napnutí má zásadní vliv na přesnost tisku. K napínání síta se používají napínací zařízení, která mohou být mechanická nebo pneumatická. [1]

Celý proces je realizován tak, že doprostřed napínacího zařízení se pod síťovinu umístí rám. Síťovina se po celém obvodu upne do čelistí klapek. Ty v případě mechanického zařízení obsahují šnekový nebo pákový mechanismus, pomocí kterého je síť napínáno. U pneumatických zařízení jsou ovládány tlakem vzduchu, který je regulován pomocí pístu na požadovanou hodnotu. Výhodou pneumatických napínacích zařízení je rovnoměrný tah po celém obvodu síta. Napnutí síta se udává v jednotkách  $\text{N/cm}$  a je měřeno pomocí mechanických nebo elektronických zařízení (viz *Obr. 1.4*). Síť je napínáno postupně a celý proces může trvat i déle než 80 minut. [1] Po dostatečném napnutí je síť přilepeno k rámu lepidlem, které je nanášeno na síť a pomocí třerky protlačeno sítím na rám. Po zatuhnutí lepidla je síť vyjmuta z napínacího zařízení a jeho přebytek je oříznut podél vnějšího obvodu rámu. [1] [4]



Obr. 1.4 Měření napnutí sítoviny po přilepení k rámu v napínacím zařízení (převzato z [4])

### 1.3 Sítotisková šablona

Sítotisková šablona určuje podobu výsledného výtisku. Šablony lze na sítovině vytvořit různými metodami. Je to například přímé kreslení negativního motivu, kreslení motivu smývatelnou hmotou a poté ovrstvení, vyvolání a vymytí, nalepování vyřezaných šablonových filmů apod. V praxi je však nejpoužívanější výroba fotoprocesem. Používají se tři metody výroby šablon, kdy šablona vzniká díky fotocitlivé emulzi.

#### Přímá šablona

Přímá šablona se zhotovuje z fotocitlivé emulze nebo filmu. Fotoemulze je nanášena na síto pomocí ovrstvovacího korýtka, poté je exponována přes filmovou matici a následně vyvolána. [1] [3] Pro výrobu těchto šablon se dříve používaly bichromové emulze, které kvůli jejich zátěži pro odpadní vody v 70. letech 20. století nahradily diazoemulze. Ty se velmi snadno zpracovávají, kladou menší nároky na druh a výkon UV osvit a poměrně dobře vyrovnávají nerovnosti tkaniny. [4] [6] [7] Dále se používají fotopolymerové a diazopolymerové emulze, které vyžadují vysoký výkon osvit UV lampou. Jejich výhoda spočívá zejména ve vykreslování velmi přesných motivů s ostrými hranami a velmi dobré vyrovnání nerovnosti tkaniny. [7] Nanášejí se emulze o tloušťce od 8  $\mu\text{m}$  až do stovek  $\mu\text{m}$ . [6]

Fotocitlivé filmy se skládají z tenké polyesterové nosné folie, na které je fotocitlivá vrstva, která může být též fotopolymerová, diazo nebo diazopolymerová. Vyrábějí se

v tloušťkách od 15 do 400  $\mu\text{m}$  a použitá tloušťka se odvíjí od hustoty sítoviny. Čím řidší sítovina, tím větší tloušťka filmu je potřeba. [4] Hlavní výhody přímé šablony spočívají v dlouhé životnosti a velmi dobré přilnavosti k sítu. [1] [3]

### **Nepřímá šablona**

Nepřímá šablona je fotoemulze ve formě listu, jež je exponována a vyvolána předtím, než je nalepena na síto. Nepřímou šablonou může být také list vyřezaný pomocí laseru. [1] Přilnutí šablony k sítu není ideální. Tuto vlastnost lze považovat i za výhodu pro případ, že později chceme síto použít ještě pro jinou šablonu. V porovnání s přímou šablonou má tento typ snazší postup výroby, větší výslednou tloušťku, kratší životnost a vyšší cenu. [3]

### **Kombinovaná šablona**

Kombinovaná šablona je též fotoemulze ve formě listu, ale je fotoprocesem zpracována až po aplikaci na síto. [1] [2]

## **1.4 Těrka**

Těrka roztírá pastu po ploše síta a vtlačuje ji do jeho otvorů. Zásadně ovlivňuje kvalitu tisku, konkrétně tloušťku nánosu pasty na substrátu a její rovnoměrnost. Volba správné těrky je také rozhodujícím faktorem pro životnost šablony. V sítotisku jsou používány těrky z pryže nebo kovu. Výběr závisí na použité pastě a síti. Pro kvalitní tisk je důležité dodržet předepsaný přítlak, úhel a rychlost posuvu těrky. Dodržením těchto parametrů se dosahuje u strojního tisku mnohonásobně větší přesnosti než u ručního. [1] [2]

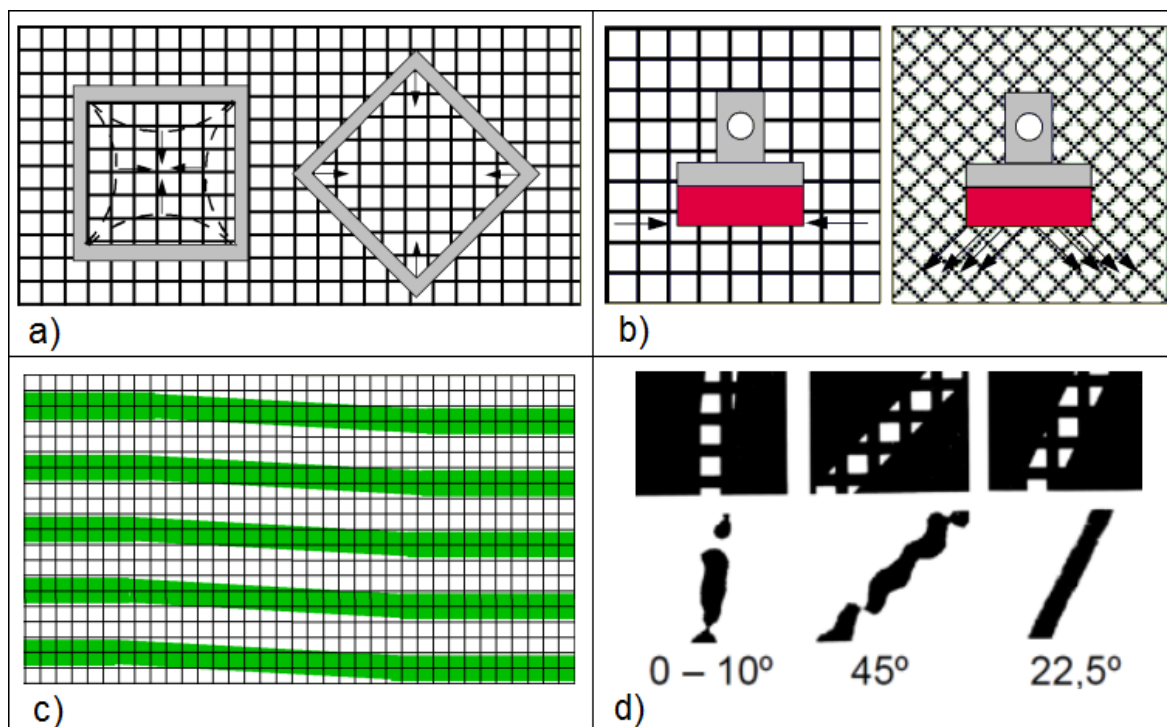
## **1.5 Kvalita tisku**

Faktorů určujících kvalitu tisku je mnoho a většina z nich zde již byla vyjmenována. Při výběru sítoviny je rozhodující především použitý materiál, elasticita, tloušťka vláken, počet vláken na centimetr a velikost ok. Důležitá je také správná volba poměru formátu rámu a obrazce a hodnota napnutí sítoviny. Neopomenutelným faktorem je také úhel mezi směrem vláken síta a tištěným motivem.

Běžně se síto uchytává pod úhlem  $45^\circ$  vůči rámu, a to ze třech důvodů. Jedním z nich je, deformace rámu způsobená pnutím síta. V případě nulového úhlu natočení působí síla na strany rámu, které se následně mohou prohýbat. Při natočení o  $45^\circ$  síla působí zejména na rohy, díky čemuž je lépe rozložena na celý rám (viz *Obr. 1.5 a*). Druhým důvodem je, že při



nulovém úhlu třerka po celou dobu svého pohybu zatěžuje v podélném směru stále ta samá vlákna a tím je nadměrně opotřebovává. V případě natočení se zatížení rozloží a prodlouží se tím životnost síta (viz Obr. 1.5 b). Třetím důvodem je tzv. „stair stepping“, jenž nastává při tisku rovnoběžné linky s vláknem síta. Při lepení síta k rámu se většinou nepodaří dodržet úhel přesně  $0^\circ$  a tím vznikne tento nežádoucí jev (viz Obr. 1.5 c). [3] Kromě natočení o  $45^\circ$  se používá také úhel  $22,5^\circ$ , na který se přišlo na základě experimentů a porovnání kvality výtisků. (viz Obr. 1.5 d). [5]



Obr. 1.5 a) Síly působící na rám způsobené pnutím síta (převzato z [3]); b) Zatěžování vláken síta třerkou (převzato z [3]); c) „Stair stepping“ (převzato z [3]); d) Tisk pod různými úhly (převzato z [5])

Dalšími parametry je přítlak, úhel, rychlost posuvu třerky a výška odtrhu, což je vzdálenost síta od substrátu. V neposlední řadě je také potřeba myslet na parametry samotné tisknuté pasty. U té nás zajímá zejména viskozita, vysychavost a velikost částic, které by měly snadno projít sítem. [2]

## 1.6 Možnosti provádění sítotisku

### Ruční sítotisk

Nejlevnější variantou je ruční sítotisk. Jeho využití je v dnešní době už jen pro hobby účely a serigrafii. Celý proces obstarává člověk. Substrát je připevněn naváděcími trny v tiskovém stolku. Přes něj je v rámu umístěno síto s šablonou. Tisk se provádí pomocí ruční třerky. Výsledný výtisk je tedy značně ovlivněn praxí obsluhy. [8]

### **Poloautomatický síťotisk**

Pro poloautomatické stroje je stále potřeba lidská obsluha, která nakládá a vykládá potiskovaný materiál. Samotný tisk probíhá automaticky podle nastavených parametrů jako je rychlost posuvu, úhel a přítlak těrky. Některé stroje jsou vybaveny softwarem pro kontrolu tisku, který rozpozná, případně upraví správné umístění substrátu. [9] Existují i tzv. tříčtvrtěautomaty, kde je potřeba ručně jen nakládat materiál. Tisk i vykládání je automatické. [1]

### **Automatický síťotisk**

Automatický síťotisk je provozuschopný bez zásahu obsluhy. Nakládání a vykládání je většinou realizováno pomocí dopravníkových pásů. V samotném zařízení je pomocí kamery nastavena správná poloha substrátu a následně je proveden tisk stejně jako u poloautomatického zařízení. [1]

## 2 Smart textilie

Smart textilie nebo také inteligentní textilie jsou charakteristické tím, že umí snímat a většinou i reagovat na okolní prostředí. Podněty, které umí smart textilie snímat mohou být teplota, tlak, napětí, chemické látky, magnetické pole nebo také záření. Naopak jejich reakce může být od signalizace naměřených hodnot, přes změnu barvy až ke změně tvaru textilie.

### 2.1 Rozdělení smart textilií

#### Pasivní smart textilie

Pasivní smart textilie jsou první generací smart textilií. Tyto textilie umějí pouze detekovat okolní podmínky. Jsou to tedy různé senzory. Jelikož znakem inteligence je schopnost reakce na podněty, není zcela správně tuto generaci zařazovat mezi inteligentní textilie. [10]

#### Aktivní smart textilie

Druhou generací jsou aktivní smart textilie, které obsahují jak senzory, tak i akční členy. Tyto akční členy umějí zareagovat na signál senzoru samy nebo pomocí vnější centrální řídicí jednotky. Lze sem zařadit voděodolné a paropropustné oděvy, oděvy měnící barvu podle okolních podmínek, vyhřívané obleky, textilie s tvarovou pamětí nebo třeba akumulující teplo. [11]

#### Ultra smart textilie

Třetí generace je nazývána Ultra smart textilie a je charakteristická tím, že dokáže sama vyhodnotit podněty a na základě toho přizpůsobit svoji funkci pomocí zabudované centrální řídicí jednotky. [11]

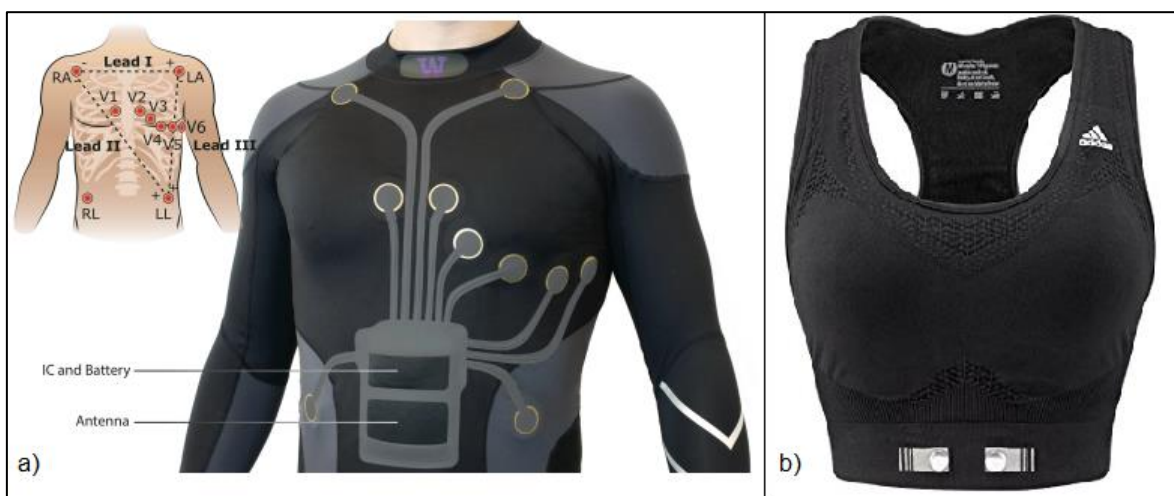
### 2.2 Použití smart textilií

V dnešní době již umí smart oděvy měřit vlhkost, teplotu, intenzitu UV záření, přítomnost chemikálií, EKG, tep a mnoho dalšího. Na Technické univerzitě v Liberci byly v roce 2014 představeny šaty, které umí měnit svoji barvu, a to na základě okolní teploty nebo světla. K tomuto jevu dochází tak, že chemická struktura pigmentů je měněna absorpcí UV záření nebo tepla. V praxi by se tak v budoucnu mohly z těchto materiálů dělat například plavky, které by změnou své barvy uživatele upozornily na překročení bezpečné dávky UV záření, což by vedlo k prevenci proti rakovině kůže. [12] V Itálii v roce 2001 představili

košili, která se dodaným teplem „sama vyžehlí“ díky její tvarové paměti. Stačí tedy na ni jen například foukat fénem a košile se během chvíle vrátí do předem definovaného tvaru. [13]

Velké naděje jsou vkládány do monitoringu EKG pomocí smart textilií. Vědci z Washingtonské univerzity vynalezli tričko (viz Obr. 2.1 a), které obsahuje 12 elektrod pro měření EKG, anténu, čip a baterii, díky čemuž umí nepřetržitě kontrolovat funkci srdce a údaje odesílat do chytrého telefonu při příkonu pouze 1mW. Baterie, čip i anténa jsou v jediném flexibilním obalu, který má tloušťku pouze 2,3 mm, čímž umožňuje snadnou integraci v oblasti oděvů a dává tak naději běžnému využívání této technologie. [14] O to se již snaží například společnosti Adidas (viz Obr. 2.1 b), Hexoskin, AIQ Smart Clothing, OMSignal, které již dodávají na trh trička a podprsenky, které umí kromě měření tepu a EKG zaznamenávat dýchání, teplotu, počet kroků, zrychlení a některé další aktivity. [15] [16] [17] [18]

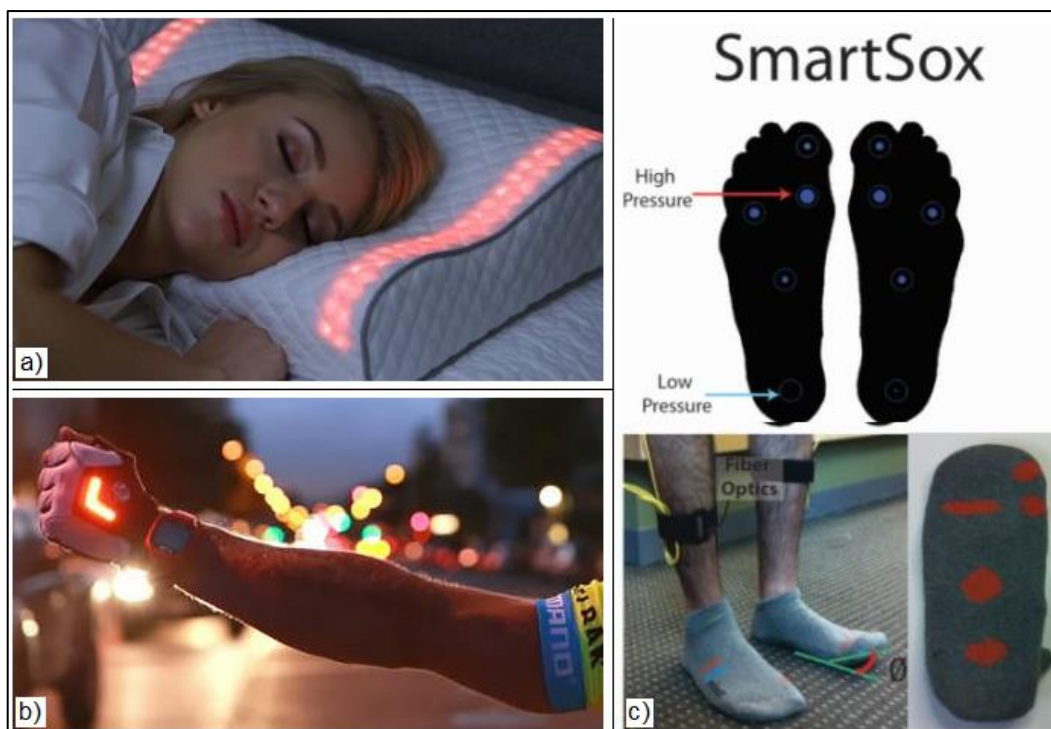
Velmi zajímavé pro sportovce a fitness nadšence je řešení společnosti Athos, jež nabízí sadu inteligentního trička a šortek, které kromě senzorů tepu obsahují 20 senzorů svalové aktivity a ta je zaznamenávána přes Bluetooth do mobilu. [19] Již zmiňovaná firma AIQ Smart Clothing nabízí navíc zimní rukavice, které umožňují ovládání mobilních telefonů i s kapacitní technologií dotykového displeje, oblečení s LED diodami pro lepší viditelnost uživatele ve tmě nebo také vyhřívané zimní oblečení při minimálním nárůstu hmotnosti oděvu. Všechny výrobky od AIQ navíc lze prát v pračce, což není u podobných výrobků vždy samozřejmostí. [17]



Obr. 2.1 a) Prototyp trička s 12 elektrodami pro měření EKG (převzato z [14]); b) Sportovní podprsenka Adidas s elektrodami pro měření tepové frekvence (převzato z [15])

Úplnou novinkou je prototyp chytrého polštáře Sunrise Smart Pillow, na jehož masovou výrobu dostali jeho vývojáři dostatek financí teprve nedávno. Tento chytrý polštář monitoruje spánek uživatele a připraví ho na probuzení postupnou vzrůstající intenzitou a měnící se barvou světla, které vyzařuje pomocí zabudovaných LED diod (viz Obr. 2.2 a). Tyto LED diody simulují východ slunce, takže postupně svítí od slabého červeno-oranžového až do intenzivního, téměř bílého světla. Celý tento proces trvá 5 – 30 minut a měl by vést k přirozenému probuzení uživatele. Celou dobu je váš spánek monitorován a budík s ohledem na nastavený čas vzbudí uživatele ve chvíli, kdy vyhodnotí, že již není spánek příliš hluboký. Polštář díky svým diodám lze také využít jako obyčejnou lampičku na čtení. [20] [21]

Dalším smart oděvem jsou cyklistické rukavice od společnosti Zackees, které pomocí LED diod umí indikovat směr odbočení (viz Obr. 2.2 b). [22] Pro těžké diabetiky zase slouží chytré ponožky Diabetes SmartSox vyvinuté v roce 2013 na univerzitě v Arizoně. Právě u těžkých diabetiků často dochází k postupné ztrátě citlivosti dolních končetin. Z toho důvodu si nejsou vědomi vzniku vředů na nohou, což velmi často může vést k jejich amputaci. Tyto speciální ponožky používají optická vlákna a senzory ke sledování teploty, tlaku a úhlu kloubů v chodidlech a uživatele upozorní, když něco přestane být v pořádku, takže by mělo být možné díky těmto ponožkám vředům předcházet (viz Obr. 2.2 c). [23]



Obr. 2.2 a) Chytrý polštář Sunrise Smart Pillow (převzato z [20]); b) Cyklistické rukavice indikující směr odbočení (převzato z [22]); c) Chytré ponožky Diabetes SmartSox (převzato z [23])

Dalším revolučním krokem v oblasti nositelných technologií je speciální hasičský oblek, který byl vyvinut v Regionálním inovačním centru elektrotechniky na Západočeské univerzitě. V oděvu jsou zabudovány senzory, řídicí jednotka, aktivní osvětlení a alarm. Celý chytrý oblek se skládá z bundy, kalhot, rukavic a bot. Polohu hasiče kontrolují gyroskop, akcelerometr a magnetometr umístěné v hasičově botě. Samotný oblek dokáže sledovat koncentraci výbušných plynů, vnitřní i vnější vlhkost, okolní i vnitřní teplotu a informace o životních funkcích hasiče. Pokud některé z těchto údajů překročí dovolené hodnoty, ozve se alarm zabudovaný v límci bundy. Všechny tyto informace jsou odesílány do tabletu velitele zásahu. Další zajímavostí tohoto vynálezu jsou rukavice, jež dokáží měřit teplotu předmětů kontaktně i na dálku. [24] [25]

## 2.3 Textilní substráty

V roce 2008 ve studii [26] testoval korejský tým pod vedením Yongsanga Kima vhodnost jednotlivých tkaných textilních substrátů pro sítotisk. Mezi testované materiály patřily tři druhy polyesterových (PES) vláken s různou jemností přízí. Dále byla testována bavlna, vlna, viskóza a polyakrylonitril (PAN). Viskóza je vyrobena na bázi regenerované celulózy, zatímco PAN vlákna jsou umělá vlákna vyrobená z propylenu a amoniaku. Studie ukázala, že pro co nejlepší vodivost je lepší vyšší hustota a menší průměr vláken. Také bylo zjištěno, že používané vodivé pasty nemají příliš dobré elastické vlastnosti, takže se při natahování tkaniny mohou potřhat a vodivé trasy přerušit. Proto je lepší použít tkaniny s nižší elasticitou, což zde nejlépe splňovaly PES tkaniny.

Belgický tým Ildy Kazani roku 2012 v experimentu [27] vybral hned 14 vzorků tkanin, na kterých byly testovány dva druhy sítotiskových past. Tyto vzorky byly z materiálů, jako je bavlna, viskóza, polyamid, polyester, bavlna/polyester a polyester/viskóza. Pro každý materiál bylo k dispozici několik vzorků s jinými parametry, jako je hustota tkaniny, způsob tkaní textilie, tloušťka tkaniny, apod. Experiment ukázal, že pro každou pastu je vhodný jiný druh tkaniny, takže žádný z nich se nedal shledat jako všeobecně nejvhodnější, ani nejnevhodnější.

## 2.4 Vodivost textilií

Je několik způsobů, jak docílit vodivosti textilií. Je to například všívání a vetkávání vodivých vláken do textilu, galvanizace textilu, lepení vodivých vláken na textilní substrát nebo tisk vodivých past. Pro vedení mezi jednotlivými prvky v oděvu je nejpoužívanější metoda tkaní nebo všívání vodivých přízí do textilu. Nevýhoda tkaní je, že je potřeba dodržet směr vláken textilie. To může vést ke zbytečně dlouhým cestám. [10] [26]

Galvanizace je využívána pro vetkaná vodivá vlákna, která neposkytují dostatečnou elektrickou vodivost pro aplikaci, ve které budou použita. Vodivé vlákno většinou vzniká chemickým pokovením nitě. Tato nit se slabou vrstvou kovu je následně vetkána do textilie. Textilie je následně ponořena do elektrolytu, který chemicky pokovená vlákna pokoví galvanicky. Pro pokovení textilií je většinou využíváno stříbra nebo mědi. [10] [28]

## 2.5 Sítotisk na textilních substrátech

V případě, že chceme vést vodivou trasu v jiném směru, než je směr vláken tkaniny nebo chceme vytvořit nějaký jiný vodivý motiv na textilu, lze k tomu využít sítotisk. Tisk na textil je obtížnější, než je tomu u DPS z důvodu nerovnosti povrchu a nízké hustotě a pevnosti substrátu. Je vhodné tisknout na co nejméně elastické látky, protože při napnutí látky může dojít k přerušení vodivých cest. Sítotiskem lze tisknout například senzory pro detekci přítomnosti biologických tekutin nebo měření pH, které je potřeba měřit u lidí trpících cukrovkou nebo obezitou. Pomocí sítotisku na textil lze vytisknout například i pasivní elektrotechnické prvky. [10] [26]

Rezistory lze realizovat pomocí tisku dlouhých klikatých tras jako je k vidění na *Obr. 2.3 a)*, kde je stříbrným inkoustem vytisknut rezistor na čtvercové ploše o rozměrech 25 mm x 25 mm a jeho odpor je 85  $\Omega$ . Pro tisk takových rezistorů lze použít vzorec

$$R = \rho \left( \frac{L}{TW} \right) [\Omega] \quad (2)$$

kde  $L$  je délka vodivé cesty,  $T$  tloušťka vodivé vrstvy,  $W$  šířka vodivé cesty a  $\rho$  je rezistivita vodivé pasty. Pro případ na *Obr. 2.3 a)* jsou hodnoty  $L = 300$  mm,  $T = 10$   $\mu$ m,  $W = 1$  mm a  $\rho = 2,8 \cdot 10^{-6}$   $\Omega$ -m. Pro rezistory s větším odporem lze použít pasty s vyšší rezistivitou, například pastu s částicemi uhlíku. [26]

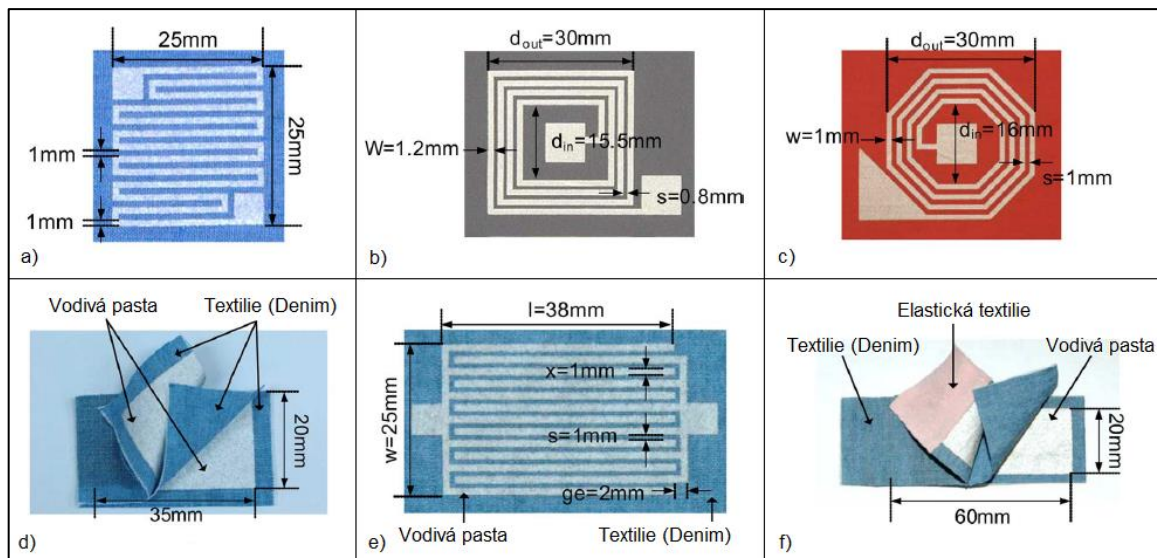
Další tisknutelný prvek může být induktor. Ten lze vytisknout například podle *Obr. 2.3 b)* a *Obr. 2.3 c)*. Zobrazené vzorky dosahují při frekvenci 10 MHz hodnot indukčnosti 577 nH pro čtvercový induktor a 970 nH pro oktogonální induktor. Rozměry obou induktorů lze vyčíst ze zmíněných obrázků.

Jsou tři způsoby, kterými lze realizovat kondenzátor v textiliích (viz *Obr. 2.3 d–f)*. První typ je jednoduchý deskový kondenzátor, kde jsou elektrody vytištěny na dvě textilie a mezi jejich líce je vložena třetí textilie (v tomto případě džínovina), která slouží jako dielektrikum. Kapacitu lze spočítat podle známého vzorečku pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} [\text{F}] \quad (3)$$

kde  $\varepsilon_0$  je permitivita vakua,  $\varepsilon_r$  je permitivita prostředí,  $S$  je plocha desek a  $d$  je vzdálenost elektrod. [26] Zobrazený vzorek má plochu elektrod 35 mm x 20 mm, tloušťka džínoviny je 320  $\mu\text{m}$  a kapacita 50 pF. Z důvodu pružnosti prostřední vrstvy se při přitlačení desek k sobě zvýší kapacita kondenzátoru. Kondenzátor typu A proto lze použít jako variabilní kapacitor pro detekci tlaku působícího kolmo na textilie. Kondenzátor typu B (viz *Obr. 2.3 e)* je vytištěn pouze na jedné textilii. Při rozměrech dle obrázku a tloušťce vodivé pasty 320  $\mu\text{m}$  je kapacita vytištěného vzorku 10 pF. Kapacita kondenzátoru se mění s vlhkostí. Lze ho tedy použít jako čidlo vlhkosti, což bylo vyzkoušeno ve studii [26]. Kapacitor typu C (viz *Obr. 2.3 f)* lze vyrobit stejným způsobem jako typ A, ale má navíc na obou stranách elastické tkaniny, které lze natáhnout, čímž se změní plocha překrytí desek a to vede ke změně kapacity. Díky tomuto kondenzátoru lze tak detekovat horizontální sílu na tkaninu. Vyobrazený vzorek o rozměrech 20 mm x 60 mm může mít kapacitu od 10 do 100 pF.





Obr. 2.3 a) Rezistor; b) Čtvercový induktor; c) Oktogonální induktor; d) Kondenzátor – Typ A; e) Kondenzátor – Typ B; f) Kondenzátor – Typ C; (vše převzato z [26])

Studie doktora Jeralda Yoo [29] se roku 2009 na korejském institutu vědy a techniky zabývala porovnáním dvou druhů elektrod pro měření EKG. Prvními jsou mokré Ag/AgCl elektrody, při jejichž použití je zapotřebí elektrolytického gelu, který postupně vysychá a dochází k degradaci signálu a podráždění kůže. Existují také studie, které poukazují na toxikologické účinky používaného gelu, který by mohl způsobovat dermatitidu. Druhým typem jsou suché elektrody nanesené na tričko sítotiskem. Při této studii bylo zjištěno, že suché elektrody mají značně vyšší impedanci pro nízké frekvence. Se zvyšující frekvencí se impedance suchých elektrod snižuje a okolo hodnoty 100 Hz jsou již hodnoty velmi srovnatelné s mokрыmi elektrodami. Pro dlouhodobé nošení jsou tedy suché elektrody vhodnější, protože nedráždí kůži. [29]

## 2.6 Vodivé sítotiskové pasty pro textilní substráty

Pro tisk vodivých cest na textilní substráty se používají pasty, které většinou obsahují částice kovů a vhodné pryskyřice v organickém nebo anorganickém rozpouštědle. Mezi používané kovy patří měď, stříbro nebo zlato. Nejpoužívanější jsou stříbrné pasty vzhledem k jejich vysoké konduktivitě. Naopak poměrně nízkou konduktivitu mají pasty obsahující jako hlavní složku uhlík, jež mají jednoznačnou výhodu v příznivé ceně a velké odolnosti vůči ohýbání a poškrábání. Použití pasty z mědi s sebou nese potíže, protože je termodynamicky nestálá v atmosférických podmínkách v důsledku oxidace. Při výběru pasty jsou sledovanými parametry zejména plošná rezistivita, viskozita, povrchové pnutí, podíl vodivé látky, velikost pevných částic, teplota a doba vytvrzování. [3] [27]

Největší problémy použití vodivých past na textilních substrátech nastávají při natahování potištěné látky a při jejím praní. Většina vodivých past není příliš flexibilní, takže při napínání potištěné textilie dochází k přerušování vodivých cest. Proto by se měly sítotiskové pasty nanášet na co nejméně elastické textilie. Většina dnes používaných sportovních oděvů je naopak právě z velmi flexibilních textilií, takže zde dochází ke kolizi. [26]

Druhý, již zmíněný problém je praní potištěných textilií. Na problémy při praní poukazuje experiment [27], který přináší poznatky o možnosti zapouzdření vodivých cest (v tomto případě termoplastickým polyuretanem), aby se zabránilo postupnému vymývání vodivé pasty z textilu během praní. Při porovnání zapouzdřených a nezapouzdřených cest byla vodivost mnohonásobně vyšší u zapouzdřených vzorků. Na možnost zapouzdření poukazuje i studie [26], která tvrdí, že i po padesáti cyklech praní může odpor dosahovat pouze dvojnásobku hodnot, které byly změřeny před prvním praním.

### 3 Praktická část

#### 3.1 Výběr vodivé pasty

Vodivý sítotisk na textil je stále poměrně nové odvětví, které není příliš rozšířené, proto není vůbec jednoduché sehnat vodivé pasty, které jsou přímo určené pro tisk na textil. Zejména z důvodu špatné odolnosti motivů na textilním substrátu a snadného porušení vodivých cest je velmi složité takovou pastu najít. Pro rozšíření tohoto výběru bylo vybíráno také z past, u kterých bylo uvedeno, že jsou určené pro flexibilní substráty.

Prvním výrobcem, který se zaměřuje přímo na tuto problematiku již mnoho let, je americká společnost Creative Materials. Tato firma vyvíjí kromě elektricky vodivých také dielektrické, silikonové nebo tepelně vodivé pasty a lepidla. Mezi vodivé pasty, které tato společnost nabízí, patří uhlíkové a stříbrné pasty. V této práci se snažíme dosáhnout co nejvyšší vodivosti, proto bylo vybíráno ze stříbrných past.

První z past tohoto výrobce, jež nás zaujaly, nese označení „124-29“. Tato pasta má předpoklady pro použití i jako těsnící tmel a má skvělou přilnavost ke Kaptonu, Mylaru, sklu a velkému množství dalších povrchů a dosahuje dobrých elektrických vlastností i při ohýbání. Udávaná plošná rezistivita je  $0,050 \Omega/\square$  (ohmů na čtverec) při tloušťce 1 mm. Další parametry uvádí *Tab. 3.1*. [30]

*Tab. 3.1 Parametry stříbrné pasty 124-29 od společnosti Creative Materials [30]*

<b>124-29</b>	
Viskozita [mPa·s]	18 000 – 20 000
Plošná rezistivita [ $\Omega/\square$ ]	0,050 při tloušťce 1 mm
Zastoupení stříbra [%]	neuveďeno
Teplotní rozsah [°C]	-55 až +120
Vytvrzování	několik minut při 100 °C
Skladování	6 měsíců v 25 °C, 9 měsíců v 5 °C, 12 měsíců v -10 °C

Pastu „124-12“ výrobce udává jako extrémně vodivou. Její udávaná plošná rezistivita (viz *Tab. 3.2*) při 1 mm tloušťky dosahuje hodnoty  $0,010 \Omega/\square$  a díky jejím parametrům lze tisknout i velmi tenké vodivé cesty, což vede ke snížení nákladů. Pasta by měla být dobře odolná i vůči oděru. Lze ji použít třeba pro RFID antény tisknuté na flexibilní substráty. [31]

Tab. 3.2 Parametry stříbrné pasty 124-12 od společnosti Creative Materials [31]

<b>124-12</b>	
Viskozita [mPa·s]	26 000 – 30 000
Plošná rezistivita [ $\Omega/\square$ ]	0,010 při tloušťce 1 mm
Zastoupení stříbra [%]	>84
Teplotní rozsah [°C]	-55 až +200
Vytvrzování	3 – 5 minut při 100 °C
Skladování	2 měsíce v 25 °C, 6 měsíců v 5 °C, 12 měsíců v -10 °C

Třetí pasta s označením „127-07“ je další z řady extrémně vodivých. Má velmi podobné parametry jako „124-12“ (viz Tab. 3.3), je ale navíc ještě flexibilnější a je vodivá i při natažení výtisku o 50 %. [32]

Tab. 3.3 Parametry stříbrné pasty 127-07 od společnosti Creative Materials [32]

<b>127-07</b>	
Viskozita [mPa·s]	20 000 – 25 000
Plošná rezistivita [ $\Omega/\square$ ]	0,008 při tloušťce 1 mm
Zastoupení stříbra [%]	>84
Teplotní rozsah [°C]	-55 až +120
Vytvrzování	3 – 5 minut při 175 °C
Skladování	< 1 týden v 25 °C, 6 měsíců v 5 °C, 12 měsíců v -10 °C

Čtvrtá pasta „124-33“ je jako jediná z uvedených past výrobcem přímo doporučená pro textilní substráty. Její udávaná plošná rezistivita je sice značně vyšší, než je tomu u předchozích past (viz Tab. 3.4), ale na základě doporučení výrobce jsme pro naši práci zvolili právě tuto. K dispozici jsme měli vzorek této pasty o hmotnosti 100 gramů, jehož pořizovací cena činila 400 dolarů, což je v současné době přibližně 9 500 Kč. [33]

Tab. 3.4 Parametry stříbrné pasty 124-33 od společnosti Creative Materials [33]

<b>124-33</b>	
Viskozita [mPa·s]	neuveďeno
Plošná rezistivita [ $\Omega/\square$ ]	0,200 při tloušťce 1mm
Zastoupení stříbra [%]	neuveďeno
Teplotní rozsah [°C]	-55 až +120
Vytvrzování	5 – 10 minut při 175 °C
Skladování	6 měsíců v 25 °C, 9 měsíců v 5 °C, 12 měsíců v -10 °C

Dalším výrobcem vodivých past pro flexibilní substráty je společnost Henkel, u které nás pro naše účely zaujaly dvě pasty. První z nich je „Electrodag 749SS“, u které výrobce uvádí, že má skvělou přilnavost k polyesterovému filmu a lze s ní tisknout jemné motivy. Další parametry obsahuje Tab. 3.5. [34]

Tab. 3.5 Parametry stříbrné pasty Electrodag 479SS od společnosti Henkel [34]

<b>Electrodag 479SS</b>	
Viskozita [mPa·s]	12 000
Plošná rezistivita [ $\Omega/\square$ ]	< 0,020 při tloušťce 1mm
Zastoupení pevné složky [%]	74,6
Teplotní rozsah [°C]	Max. 200 °C
Vytvrzování	15 minut při 93 °C
Skladování	12 měsíců při 2 °C – 8°C

Poslední pastou je „Electrodag 725A (6S-54)“, u které výrobce udává plošnou rezistivitu menší než 0,015  $\Omega/\square$  při tloušťce pouze 25  $\mu\text{m}$  (viz Tab. 3.6). [35] Na základě těchto parametrů jsme se rozhodli kontaktovat společnost Henkel se zájmem právě o tuto pastu. Firma Henkel nás odkázala na firmu OEM Automatic, která nám byla schopna poskytnout výše zmíněnou pastu pouze v 1 kg balení za cenu 19 926 Kč, ale námi poptávané vzorkové množství do 200 gramů bohužel nikoliv. Z tohoto důvodu jsme naše vzorky tisknuli pouze výše zmíněnou pastou „124-33“ od společnosti Creative Materials.

Tab. 3.6 Parametry stříbrné pasty Electrodag 725A (6S-54) od společnosti Henkel [35]

<b>Electrodag 725A (6S-54)</b>	
Viskozita [mPa·s]	11 000 – 14 000
Plošná rezistivita [ $\Omega/\square$ ]	< 0,015 při tloušťce 25 $\mu\text{m}$
Zastoupení pevné složky [%]	58 – 62
Teplotní rozsah [°C]	Max. 100°C
Vytvrzování	15 minut při 120 °C
Skladování	12 měsíců při 4 °C – 8 °C

### 3.2 Dostupné textilní substráty

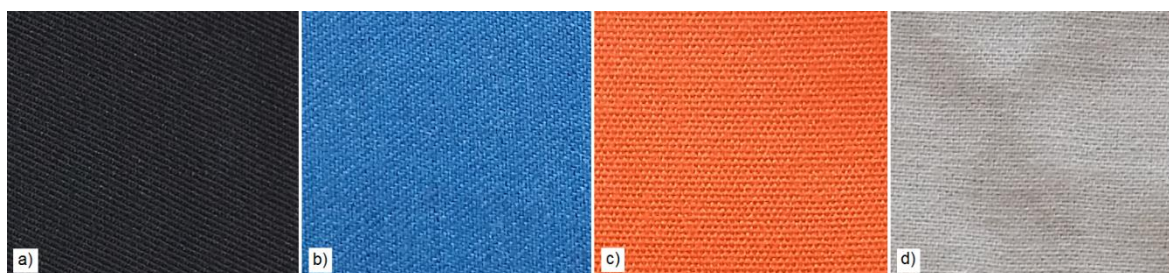
Hlavním záměrem této práce bylo vybrat pro tisk textilií, která má minimální elasticitu, aby nedošlo při napínání k porušení vodivých cest. První z použitých textilií (viz Obr. 3.1 a) pochází z české továrny Nová Mosilana – Brno, což je největší závod italského koncernu Marzotto group, který se pyšní označením největšího výrobce vlněných tkanin v Evropě. Vyrábí vlněné tkaniny například i pro luxusní módní značky jako je Armani, Versace nebo Hugo Boss. Námi získaná tkanina je černé barvy, byla vyrobena pro uniformy italské policie a je utkána výhradně z nejkvalitnější přírodní ovčí vlny z Nového Zélandu. [36]

Další tři tkaniny pochází od české společnosti VÚB a.s., která je mimo jiné zaměřena na výrobu a vývoj speciálních textilních ochranných oděvů, jako jsou například antistatické obleky nebo nehořlavé funkční prádlo. [37]

Druhý použitý substrát (viz *Obr. 3.1 b*) má modrou barvu a jedná se o nehořlavou textilií s gramáží 230 g/m<sup>2</sup>. Obsah látek v textilií je: 49 % nehořlavý modakryl, 42 % bavlna, 5 % para-aramid, 5 % polyamid a 1 % antistatická složka. Modakryl je PAN textilie obsahující nejméně 50 % a nejvýše 85 % akrylonitrilu. Para-aramid je známější pod výrazem Kevlar a jedná se o velmi pevný žáruvzdorný syntetický materiál.

Třetí tkaninou (viz *Obr. 3.1 c*) je oranžová nehořlavá textilie s gramáží 180 g/m<sup>2</sup>, jejíž obsah tvoří z 95 % Nomex III a z 5 % para-aramid. Nomex jsou aramidová vlákna více podobná textilu, než je tomu u Kevlaru, ale při zachování odolnosti vůči vysokým teplotám. [38]

Posledním materiálem (viz *Obr. 3.1 d*) je bílý kepr ze 100 % bavlny s gramáží 155 g/m<sup>2</sup>. Kepr je jedna ze základních vazeb tkanin, kterou poznáme podle soustavy šikmých souběžných řádků.



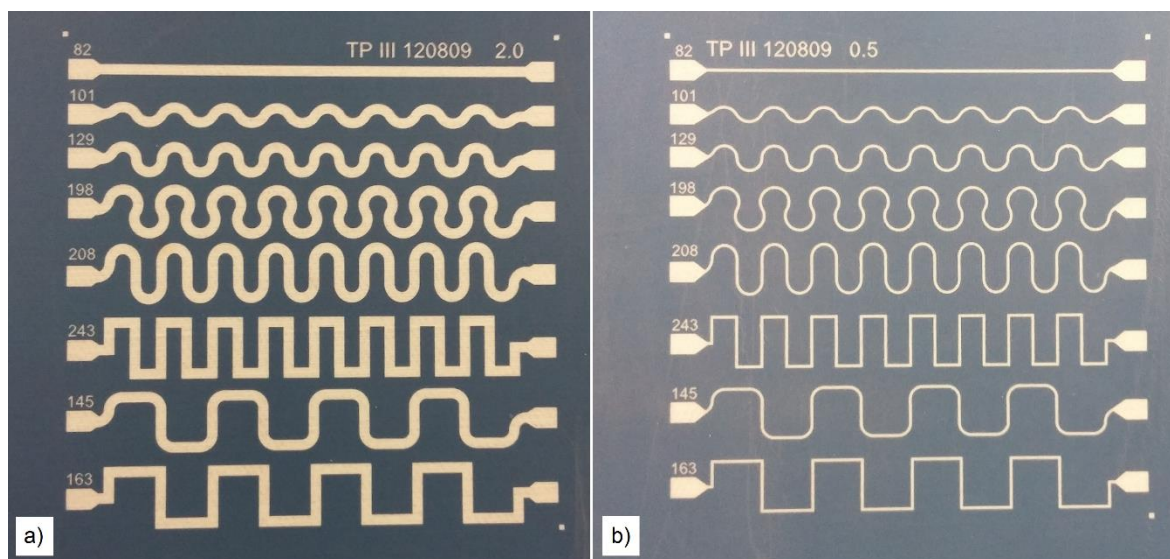
Obr. 3.1 Textilní substráty použité pro tisk

### 3.3 Motiv sítotiskové šablony

Vzhledem k nákladnosti a času byla použita již navržená sada motivů, která je pro naše účely naprosto vhodná. Jedná se o sadu třech sít s motivy o třech šířkách cest. Všechny tyto šablony využívají stejného síta nalepeného na rám pod úhlem 45°. Síto je vyrobeno z polyesteru, má hustotu 61 vláken/cm a průměr vláken 64 μm. Všechny tři šablony mají identický motiv, ale liší se v šířkách cest.

První šablona (viz *Obr. 3.2 a*) byla použita pro podkladové vrstvy a má šířku cest 2 mm (důvod aplikace podkladových vrstev je popsán v kapitole *Tisk podkladových vrstev*). Pomocí šablony s šířkou cest 0,5 mm (viz *Obr. 3.2 b*) byly na podklad tisknuty stříbrné vodivé cesty. Původním záměrem bylo použít jako ochrannou vrstvu třetí šablony s tloušťkou cest 1 mm, ale od toho bylo nakonec ustoupeno (viz kapitola *Tisk ochranného zapouzdření*) a byla pro ni použita šablona s šíří cest 2 mm.

Samotný motiv použitých šablon obsahuje 8 cest různých délek a tvarů (viz *Obr. 3.2*). Na obou koncích každé cesty jsou plošky pro měření odporu jednotlivých vodivých tras výtisku. První cesta je nejkratší možné přímé spojení obou plošek, proto by v případě úspěšného výtisku měla mít nejnižší odpor ze všech. Její délka je 82 mm. Další čtyři cesty nabývají zaoblených tvarů o různé délce a poloměru zaoblení. Délky těchto cest jsou: 101 mm pro druhou, 129 mm pro třetí, 198 mm pro čtvrtou a 208 mm pro pátou cestu. Šestá a osmá cesta mají pravoúhlé přechody mezi jednotlivými směry vedení s tím, že šestá cesta má oproti osmé dvojnásobný počet záhybů a tím i mnohem větší délku (konkrétně 243 mm pro šestou a 163 mm pro osmou cestu). Sedmá cesta je velmi podobná osmé, ale místo pravoúhlých cest má přechody směřů zaoblené, díky tomu je její délka jen 145 mm. Stejná podobnost vzniká i mezi cestami č. 5 a č. 6. Všechny délky cest lze přehledněji vyčíst z *Obr. 3.2*. Největší délky tedy nabývá šestá cesta a měla by tak po vytisknutí mít nejvyšší hodnotu odporu. Každý motiv také disponuje třemi naváděcími body, které slouží k umístění výtisku do sítotiskového stroje na stejné místo, jako byl umístěn při tisku předchozím (viz kapitola *Tisk vodivých tras*). Další součástí motivu jsou popisky s délkami a šířkami cest a označením motivu.



*Obr. 3.2* Motivy použitých sítotiskových šablon: a) Pro podkladové a překryvné vrstvy s šířkou cest 2 mm; b) Pro vodivé cesty s šířkou cest 0,5 mm

### 3.4 Použité přístroje

#### 3.4.1 Poloautomatický sítotiskový stroj Ekra E2

Samotný tisk byl prováděn na poloautomatickém sítotiskovém stroji Ekra E2 (viz *Obr. 3.3*). Na tomto stroji lze realizovat výtisky o velikosti až 370 mm x 450 mm a tloušťka substrátu může dosahovat až 30 mm. Tento stroj disponuje mimo jiné manuálním optickým

polohovacím systémem (MOPS), k čemuž využívá dvě kamery s vysokým rozlišením (jeho využití bude popsáno v kapitole *Tisk vodivých tras*). Substrát je umístěn na porézním kameni, na který je zafixován vznikem vakua mezi substrátem a podložkou. U přístroje lze nastavit rychlost posuvu těrky v rozmezí 10 – 170 mm/s a přítlak těrky v rozmezí 10 – 250 N. Dalšími nastavitelnými parametry jsou velikost odtrhu, tloušťka substrátu, počet opakování cyklu tisku a souřadnice dráhy těrky, které se nastavují podle velikosti motivu. Přístroj disponuje také předtěrku, která nejprve pastu rozetře po sítu a až poté je pasta protlačována sítím pomocí těrky.



Obr. 3.3 Poloaufomatický sítotiskový stroj Ekra E2 v laboratoři Regionálního Inovačního Centra Elektrotechniky Západočeské univerzity v Plzni

### 3.4.2 Měřicí přístroj Keithley 2701

Měření vzorků bylo prováděno čtyřbodovou metodou měření odporu za pomoci přístroje Keithley 2701. Rozsah měřicího přístroje byl  $100 \mu\Omega$  –  $120 M\Omega$  za použití testovacího proudu od  $0,7 \mu A$  do  $1 mA$ . Čtyřbodová metoda měření odporu je používána pro měření tenkých vrstev. Měří se pomocí čtyř hrotů tak, že mezi dvěma hroty prochází proud a pomocí dalších dvou hrotů je měřen úbytek napětí. [39]

## 3.5 Tisk podkladových vrstev

Na základě doporučení společnosti Creative Materials byly pod stříbrné cesty vytisknuty podkladové vrstvy, které byly realizovány pomocí pasty „EXP 2649-39“ od této společnosti. Jedná se o zelenou dielektrickou pastu, odolnou vůči rozpouštědlům a

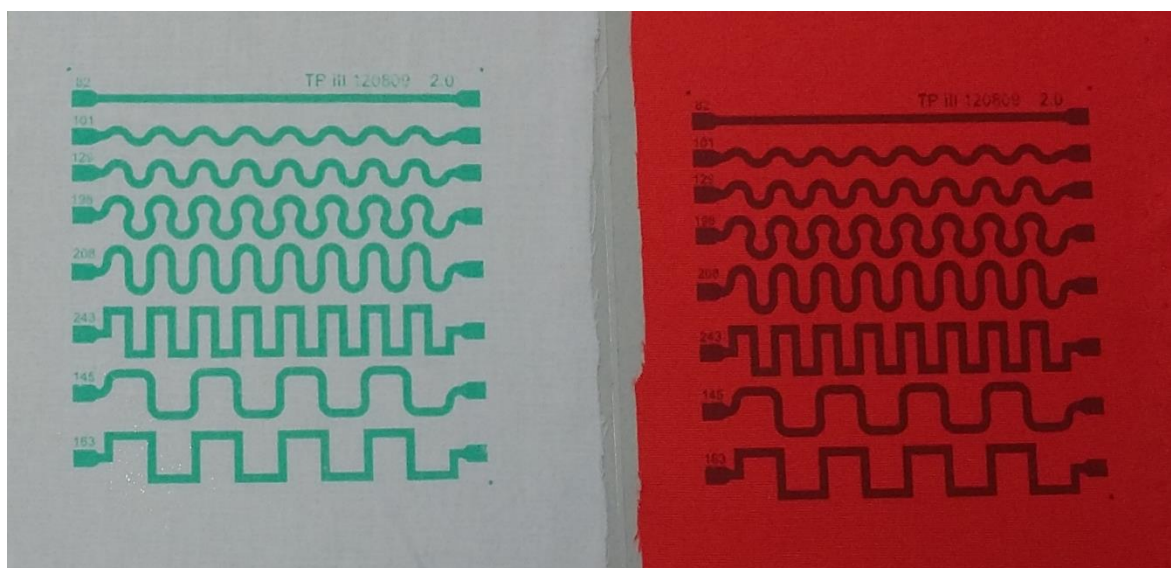


tvrditelnou pomocí UV záření. Vnitřní rezistivita této pasty je  $7,1 \cdot 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$  a dielektrická pevnost je 365 V/mm. [40] Tato pasta nám byla poskytnuta od Creative Materials v množství 500 gramů za 400 dolarů (v současnosti přibližně 9 500 Kč). Tuto pastu jsme se rozhodli použít i jako ochrannou vrstvu přes vodivé cesty, aby se zvýšila odolnost vůči oděru nebo případnému praní textilie.

Před tiskem bylo z každé textilie vystřiženo několik čtverců o velikosti o něco větší, než byly tisknuté motivy. Tyto čtverce byly poté nalepeny pomocí oboustranné lepenky na sklo-epoxidové desky. Lepení na tyto desky je potřeba z toho důvodu, že je substrát zafixován k podkladu pomocí vakua, kterého mezi podložkou a textilním substrátem nelze dosáhnout.

Pro podkladové vrstvy byla použita šablona s šířkou cest 2 mm. Nejprve do sítotiskového stroje bylo zafixováno síto, kde na něj byla nanášena rozmíchaná dielektrická pasta a následně bylo provedeno několik zkušebních tisků na papír, během kterých byl nastaven odtrh, dráha, přítlak a rychlost posuvu těrky. Pro tisk podkladových vrstev byly použity tyto hodnoty: odtrh 1 mm, rychlost posuvu těrky 40 mm/s a přítlak 15 N.

Po nastavení příslušných parametrů byly do zařízení postupně umístěny desky s textilním vzorkem, na které bylo tiskem nanášeno několik vrstev podkladové pasty, aby vznikla co nejvíce hladká, souvislá vrstva a zároveň byl substrát stále dostatečně ohebný. Po tisku byly desky umístěny do laboratorní jednotky s UV lampou, kde byly vytvrzovány po dobu deseti minut. Během vytvrzování bylo vyčištěno použité síto, těrka a předtěrka. Ukázky vzorků s podkladovými vrstvami uvádí *Obr. 3.4*.



*Obr. 3.4 První bílý a první oranžový vzorek po tisku podkladových vrstev*

### 3.6 Tisk vodivých tras

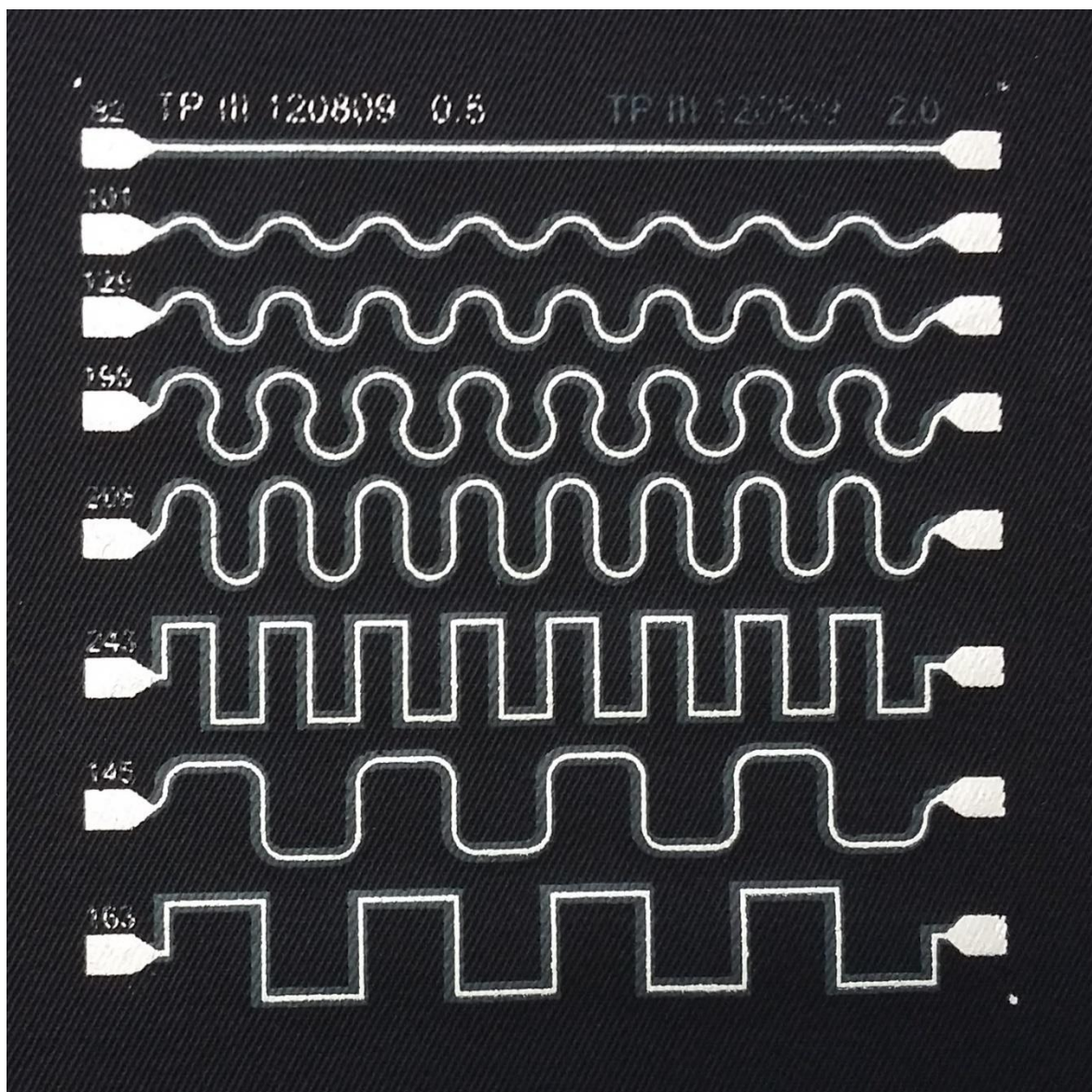
Po vytvrzení podkladových vrstev bylo do tiskového stroje umístěno síto s šablonou o šířce cest 0,5 mm. Na něj byla nanášena stříbrná pasta a opět bylo provedeno několik zkušebních tisků na papír pro nastavení parametrů tisku. Pro tisk vodivých vrstev byly použity následující parametry: odtrh 1,7 mm, rychlost posuvu těrky 25 mm/s a přítlak 15 N.

Následně bylo potřeba do zařízení umístit vzorky s podkladovými vrstvami podle naváděcích bodů, abychom tisk provedli přesně na stejná místa, jako byl proveden první tisk. K tomu slouží technologie MOPS, kdy kamery s vysokým rozlišením naskenují dva naváděcí body vytisknutého motivu a uloží je do paměti. V našem případě byl snímán levý horní roh a pravý spodní roh. Při přiložení substrátu s vytvrzenými podkladovými vrstvami se snažíme umístit vzorek co nejpřesněji podle předchozího umístění a kamery při rozpoznání naváděcích bodů nás navádí, kam vzorkem posunout, aby byl sesazen přesně na stejné místo jako předtím.

Poté bylo na vzorky nanášeno několik vrstev stříbrné pasty. Počet vrstev jsme se snažili stanovit tak, aby byly vodivé trasy souvislé. Pokud jsme u přerušených tras neviděli zlepšení mezi dvěma po sobě provedenými tisky, další vrstvy jsme již nenanášeli. Konkrétní množství vrstev u každého vzorku uvádí *Tab. 3.7*. Po nanášení stříbrných cest byly vzorky umístěny do pece, kde byly předehřívány po dobu 10 minut a poté byly 5 minut vytvrzovány při teplotě 130 °C. Během vytvrzování bylo vyčištěno síto, těrka a předtěrka od přebytečné pasty. Příklad výsledného výtisku lze vidět na *Obr. 3.5*.

*Tab. 3.7 Počet vrstev stříbrné pasty jednotlivých vzorků*

<b>vzorek</b>	1. černý	2. černý	3. černý	4. černý	1. oranžový
<b>počet vrstev stříbrné pasty</b>	6	5	6	6	4
<b>vzorek</b>	2. oranžový	1. modrý	2. modrý	1. bílý	2. bílý
<b>počet vrstev stříbrné pasty</b>	8	4	5	6	8



Obr. 3.5 Třetí černý vzorek po tisku vodivých tras a následném vytvrzení

### 3.7 Tisk ochranného zapouzdření

V první řadě je potřeba uvést, že nejprve byly vytisknuty všechny vrstvy, včetně zapouzdření, pouze na černý typ tkaniny. Až na základě jejich vyhodnocení byl prováděn tisk na další typy tkanin, které při tisku černých tkanin ještě nebyly k dispozici.

Ochranné zapouzdření bylo nanášeno stejnou pastou jako podkladové vrstvy, a to přes vodivé trasy tak, aby se zabránilo jejich případnému poškození v důsledku oděru nebo při případném praní textilie. Rozhodli jsme se pro zapouzdření pouze dvou vzorků, abychom případně mohli porovnat, jak velký rozdíl bude po mechanickém namáhání u zapouzdřených a nezapouzdřených tras.

Pro zkušební tisk zapouzdření byla použita šablona s 1mm šíří cest a nejméně povedený vzorek černé tkaniny (č. 4), který měl už po vytisknutí všechny vodivé trasy viditelně přerušené. Navíc na síto bylo potřeba přidat izolační pásku, kterou byly přelepeny plošky sloužící k měření odporu, aby zůstaly na textilií odhalené a ochranná vrstva tak nebránila měření. Postup tisku byl stejný jako u tisku podkladových vrstev včetně vytvrzování v laboratorní osvitové jednotce. Navíc bylo potřeba ještě sesadit vzorek podle naváděcích bodů, jako jsme to prováděli při tisku vodivých cest.

Během sesazování bylo zjištěno, že se textilie při vytvrzování v peci smrštila o několik milimetrů a nelze tedy naváděcí body přesně sesadit. Pokusili jsme se tedy mít na horním i spodním naváděcím bodě stejnou vzdálenost oproti původnímu motivu. To vedlo k tomu, že výsledný ochranný výtisk překrýval pouze dvě prostřední vodivé trasy celé a ostatní byly vždy částečně odhalené. Na základě toho jsme se rozhodli použít znovu šablonu s šířkou cest 2 mm, která by mohla vodivé cesty na textilií překrýt celé.

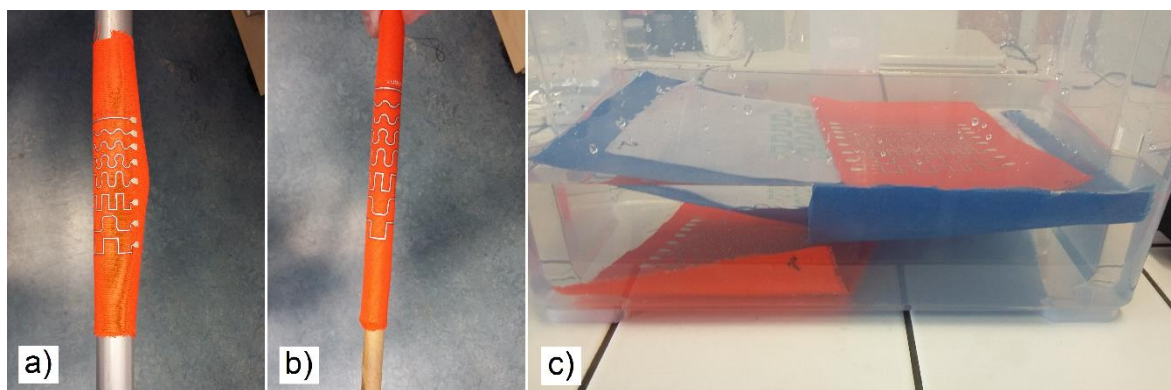
To se nakonec také povedlo, a bylo rozhodnuto pro vytisknutí čtyř ochranných vrstev na druhý vzorek a třech na třetí vzorek (viz *Příloha B – Obr. 4.1 b–c*). První vzorek zůstal bez zapouzdření (viz *Příloha B – Obr. 4.1 a*). Na základě naměřených vysokých hodnot odporu a nízkého počtu vodivých cest na černé textilií ihned po vytisknutí (viz kapitola *Výsledky měření*) bylo vyhodnoceno, že není potřeba cesty ochraňovat, ale napřed lépe zvládnout samotnou technologii tisku. Z tohoto důvodu již nebyla tato vrstva tisknuta na další tkaniny.

### 3.8 Provedení zatěžovacích zkoušek

Dohromady byl tisk proveden na čtyři vzorky černé textilie a po dvou vzorcích od modré, oranžové i bílé textilie. Po vytisknutí a vytvrzení vzorků byl měřen odpor jednotlivých vodivých tras. Následně byly vzorky vystavovány dále popsanému mechanickému zatížení a po každém z nich byl znovu změřen odpor jednotlivých tras. Nakonec byly vzorky namočený do vody, usušeny a poté byl znovu změřen odpor vodivých tras. Všechny naměřené hodnoty uvádí *Příloha A*. Čtvrtý vzorek černé tkaniny a první vzorek bílé nejsou v tabulkách uvedeny, protože už po vytisknutí byly všechny trasy viditelně porušené a nevodivé. Všechny buňky tabulky vyplněné pomlčkou měly hodnotu

odporu vyšší, než je rozsah měřicího přístroje (více než 120 M $\Omega$ ). Buňky s označením „X“ přestaly být vodivé, až během provádění zkoušky.

První z námi provedených zkoušek bylo namotání textilie na váleček o průměru 25 mm (viz *Obr. 3.6 a*). Každá tkanina byla namotána vždy tak, aby směr vodivých tras byl kolmý na osu válečku. Každá tkanina byla namotána celkem pětkrát lícem a pětkrát rubem vůči válečku. Poté byl změřen odpor všech vodivých tras každého vzorku. Druhá zkouška probíhala stejně, ale textilie byla namotávána na váleček o průměru jen 12 mm (viz *Obr. 3.6 b*). Po tomto mechanickém zatěžování byly opět proměřeny jednotlivé vodivé trasy. Posledním experimentem bylo namočení vzorků do vody o teplotě 20,4 °C na dobu 15 minut (viz *Obr. 3.6 c*), po kterém byly vzorky sušeny za pokojové teploty po dobu několika dní. Poté bylo provedeno poslední proměření vodivých tras.



*Obr. 3.6 a) namotávání tkaniny na váleček o průměru 25 mm; b) namotávání tkaniny na váleček o průměru 12 mm; c) namáčení vzorků ve vodě*

### 3.9 Výsledky měření

#### 3.9.1 Vzorky černé textilie

Tab. 3.8 Hodnoty odporu pro trasu s nejnižší hodnotou černé textilie po namočení

Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
44,6	67,6	63,4	58,4

Nejnižší odpor černých vzorků po namočení měla čtvrtá trasa druhého vzorku, jejíž hodnoty uvádí Tab. 3.8. Hodnoty všech tras černých vzorků jsou uvedeny v Příloze A – Tab. 4.1–Tab. 4.3.

Pouze u vzorků černé tkaniny došlo během experimentů k úplné ztrátě vedení některých úspěšně vytištěných stříbrných cest. Na začátku měření dosahovaly nejnižších hodnot z těchto vzorků dvě poměrně dlouhé trasy, a to konkrétně 26,7  $\Omega$  pro sedmou a 25,8  $\Omega$  pro osmou trasu prvního vzorku. První vzorek měl na začátku nejvyšší počet vodivých tras ze vzorků černé tkaniny, ale během namotávání na menší z válečků byly tři z původních pěti vodivých tras přerušeny. Druhý černý vzorek měl na začátku i na konci experimentů dvě vodivé trasy a třetí vzorek měl na začátku tři a na konci dvě vodivé trasy. U čtvrtého vzorku nebyla ani bezprostředně po tisku žádná z tras vodivá.

Hodnoty odporu se dle očekávání u těchto vzorků zvyšovaly provedením mechanického namáhání. Naopak po namočení zpravidla docházelo ke zlepšení vodivosti tras. Rozdíl mezi hodnotami zapouzdřených a nezapouzdřeného vzorku nebyl příliš znatelný. Fotografie těchto vzorků uvádí Příloha B – Obr. 4.1.

#### 3.9.2 Vzorky oranžové textilie

Tab. 3.9 Hodnoty odporu pro trasu s nejnižšími naměřenými hodnotami oranžové textilie

Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
23,92	25,82	29,16	26,67

Nejnižších hodnot odporu z oranžových vzorků dosahovala čtvrtá cesta prvního vzorku, jejíž hodnoty jsou v Tab. 3.9. Další hodnoty lze vyčíst z Tab. 4.4 a Tab. 4.5 v Příloze A.

Hodnoty odporu u oranžových vzorků se neměnily mezi jednotlivými měřeními tak skokově, jako tomu bylo u černých. Nicméně počet úspěšně vytištěných tras byl přibližně shodný jako u povedených vzorků černé tkaniny. První oranžový vzorek měl tři vodivé trasy a druhý vzorek čtyři. U prvního vzorku se během experimentů hodnoty odporu zvýšily u

vodivých tras přibližně pouze o 5  $\Omega$ , u druhého vzorku to bylo mezi 9,99  $\Omega$  až 13,63  $\Omega$ . U úspěšně vytisknutých tras oranžových vzorků se dle předpokladů zvyšovaly hodnoty odporu se zvyšující délkou cest. I u oranžových vzorků se mechanickým namáháním hodnota odporu zvýšila a po namočení snížila. Fotografie oranžových vzorků uvádí *Příloha B – Obr. 4.2*.

### 3.9.3 Vzorky modré textilie

*Tab. 3.10 Hodnoty odporu pro trasu s nejnižšími naměřenými hodnotami modré textilie*

Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
19,67	22,15	25,44	22,64

Nejnižší hodnoty odporu modrých vzorků měla sedmá trasa druhého z nich, jejíž hodnoty uvádí *Tab. 3.10*. Všechny hodnoty těchto vzorků jsou v *Tab. 4.6* a *Tab. 4.7* v *Příloze A*.

Modré vzorky měly o jednu úspěšně vytisknutou vodivou trasu více, než tomu bylo u oranžových. Žádná z těchto tras neměla po vytisknutí vyšší odpor, než 30  $\Omega$ . Nejvyšší hodnota byla změřena po namotávání na 12mm váleček a činila pouze 34,17  $\Omega$ . Po namočení byla nejvyšší hodnota dokonce jen 32,03  $\Omega$ . Nárůst odporu mezi prvním a třetím měřením byl od 4,14  $\Omega$  do 8,34  $\Omega$ , poté se při čtvrtém měření opět o několik jednotek snížil. I zde platilo, až na několik odchylek, že se zvyšoval odpor s délkou trasy. Fotografie obou vzorků uvádí *Obr. 4.3* v *Příloze B*.

### 3.9.4 Vzorky bílé textilie

*Tab. 3.11 Hodnoty odporu pro trasu s nejnižší hodnotou bílé textilie po tisku*

Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
14,28	18,34	23,62	26,5

Odpor trasy s nejnižší naměřenou hodnotou po tisku uvádí *Tab. 3.11*. Hodnoty dalších tras jsou uvedeny v *Příloze A – Tab. 4.8*.

Bílé vzorky vůči sobě dopadli naprosto odlišně. Zatímco první měl všechny cesty porušené, tak druhý měl jako jediný vzorek všechny cesty vodivé. U něj se mechanickými zkouškami odpor vždy o několik jednotek zvýšil, kdy nejvyšší nárůst byl zaznamenán u první trasy, kde byl rozdíl mezi prvním a třetím měřením 9,34  $\Omega$ . U této textilie jako jediné, se zvýšil odpor tras i po namočení, a to až o 11,07  $\Omega$  oproti třetímu měření. Výjimkou byla sedmá trasa, kde odpor o 3,7  $\Omega$  poklesl. Fotografie obou vzorků jsou na *Obr. 4.4* v *Příloze B*.

## Závěr

Tato práce byla zpracována za účelem nalezení vhodné vodivé sítotiskové pasty pro textilní substráty nabízené v současnosti na trhu a jejího následného otestování na různých typech textilie, aby mohla být následně vyhodnocena vhodnost této pasty v praxi. Aby bylo možné tohoto cíle dosáhnout, bylo potřeba se nejprve seznámit s technologií sítotisku a možnostmi jejího využití v oblasti smart textilií. To bylo provedeno v prvních dvou kapitolách.

V praktické části byl proveden průzkum trhu s vodivými pastami za účelem nalezení vhodné pasty pro tisk na textil. Byla nalezena pouze jediná pasta, kterou výrobce přímo doporučuje pro použití na textilním substrátu. Právě tato pasta byla vybrána pro experimenty prováděné v této práci, kdy byl s ní za použití vytvořených sítotiskových šablon s vhodným motivem proveden tisk na poloautomatickém sítotiskovém stroji Ekra E2. K dispozici byly čtyři druhy textilie a na každou z nich byly vytisknuty alespoň dva vzorky s vodivými cestami pomocí vhodného motivu. Dohromady bylo vytisknuto deset vzorků, ale dva byly ihned vyřazeny, protože žádná z tras u nich nebyla souvislá.

Původním záměrem bylo vytisknuté vodivé trasy ochránit dielektrickým zapouzdřením, aby se během experimentů nezhoršovala jejich vodivost. To bylo vyzkoušeno na černé textilii, ale na základě vzniklých komplikací (viz kapitola *Tisk ochranného zapouzdření*) bylo od této varianty ustoupeno. Navíc u zapouzdřených vzorků černé tkaniny nebylo shledáno během experimentů žádné zřetelné zlepšení oproti nezapouzdřenému vzorku.

O vhodnosti pasty bylo rozhodováno na základě porovnání hodnot odporů jednotlivých tras, nikoliv na základě porovnání s plošnou rezistivitou uváděnou výrobcem. Černá vlněná tkanina byla pro použití s touto pastou vyhodnocena jako nevhodná z důvodu vysokých hodnot odporu vodivých tras a tendence přerušování těchto tras v průběhu experimentů. Bílá bavlněná tkanina také nebyla vyhodnocena jako příliš vhodná, protože u ní po namočení došlo ke zvýšení odporu jednotlivých tras. Jelikož tento jev u ostatních tkanin nenastal, vysvětlením by mohla být rozdílná nasákavost jednotlivých druhů textilií. Jediná bílá tkanina se při namočení ihned potopila až ke dnu a po vyndání z vody měla značně vyšší hmotnost, než před tím. Ostatní tkaniny se držely během experimentů spíše u hladiny, s tím, že černé



ani modré vzorky nesestoupili ke dnu ani po 15 minutách ve vodě a jejich odpor po namočení naopak klesal stejně jako u oranžových.

Jako nejlépe vytisknutý byl vyhodnocen druhý vzorek bílé tkaniny s osmi vrstvami stříbrné pasty, který měl jako jediný všechny trasy vodivé. Nicméně jako nejvhodnější textilní substrát z testovaných byla pro tuto pastu vyhodnocena modrá tkanina, která měla u svého druhého vzorku po tisku i po prvním experimentu u všech pěti souvislých tras nejnižší hodnoty odporu ve srovnání se stejnými trasami jiných tkanin, a to maximálně 29,74  $\Omega$  po tisku a 31,17  $\Omega$  po namotání na 25mm váleček. U jediné trasy tohoto vzorku byly hodnoty odporu po posledních dvou experimentech nepatrně horší, než u prvního oranžového vzorku. Konkrétně to byly hodnoty čtvrté trasy, kterou měl první oranžový vzorek nižší po namotání na 12mm váleček o 1,63  $\Omega$  a po namočení o 1,31  $\Omega$ . Celkově měl první oranžový vzorek velmi srovnatelné hodnoty s druhým modrým (viz *Příloha A – Tab. 4.4 a Tab. 4.7*), a proto byly tyto dvě nehořlavé tkaniny vyhodnoceny jako nejvhodnější z testovaných.

U všech druhů tkanin byl u vzorků s více vrstvami stříbrné pasty větší počet vodivých tras. Jelikož ale byl v některých případech u vzorků s více vrstvami stříbrné pasty odpor vyšší, než u vzorků s méně vrstvami a v některých tomu bylo naopak, nebylo rozhodnuto o nejvhodnějším počtu vrstev.

Hodnoty odporu bílého, modrých a oranžových vzorků ukazují, že lze pomocí této pasty dosáhnout dobrých výsledků, ale technologie tisku zatím není zvládnuta dostatečně dobře, aby všechny výtisky byly plně funkční. Také vzniklo podezření, že na některých místech síta byly usazeny nečistoty, které bránili průchodu pasty, protože některé trasy byly přerušeny u více vzorků na zcela stejných místech. Řešením je tedy pokusit se o zlepšení výsledků změnou parametrů tisku a důkladným vyčištěním síta před tiskem.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] A. Lešikar, *Sítotisk: úvod do technologie sítotisku*. Praha, Nakladatelství grafické školy, 2010, ISBN 978-80-86824-09-3
- [2] T. Řeřicha, „3. cvičení, Studijní podklady k předmětu KET/Technologie elektroniky“, *Západočeská univerzita, Plzeň*, 2015.
- [3] A. Hobby, „The Gwent Group, Leaders in paste manufacturing, sensor/ biosensor development and Instrumentation .“ [Online]. Dostupné z: [http://www.gwent.org/gem\\_screen\\_printing.html](http://www.gwent.org/gem_screen_printing.html). [cit. 30-led-2017].
- [4] „Střední škola hotelová, obchodní a polygrafická, Studijní podklady k předmětu Úvod do polygrafie“ [Online]. Dostupné z: <http://sshopct.cz/polygrafie/all/8/data/> [cit. 30-led-2017] Český Těšín, 2011.
- [5] V. Skočil, „Diferenciace, Studijní podklady k předmětu KET/Technologie elektroniky“, *Západočeská univerzita, Plzeň*, 2015.
- [6] M. Bodejčková, „Emulze pro výrobu sítotiskových šablon – postupy a novinky“, *Servis Centrum Blog*. [Online]. Dostupné z: <http://scbrnoblog.projekty4g.cz/emulze-pro-vyrobu-sitotiskovych-sablon-postupy-a-novinky/>. [cit. 17-dub-2017].
- [7] „Šablony - Šablonové mat. - Emulze | Servis Centrum“. [Online]. Dostupné z: <http://www.sc-brno.cz/cz/sitotisk/sablony/sablonove-mat/emulze>. [cit. 17-dub-2017].
- [8] M. Kašperová, „Fotonávod: Jak se dělá sítotisk“, *Blog iDNES.cz*. [Online]. Dostupné z: <http://stisk.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=336109>. [cit. 30-led-2017].
- [9] „Kea – vysoce přesný univerzální sítotisk“. [Online]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:8721/kea-vysoce-presny-univerzalni-sitotisk>. [cit. 30-led-2017].
- [10] K. Cherenack a L. van Pieteron, „Smart textiles: Challenges and opportunities“, *Journal of Applied Physics*, lis. 2012.
- [11] K. Baba, „Smart Textile | E Textiles | Textiles“, *Scribd*. [Online]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/46071948/Smart-Textile>. [cit. 23-dub-2017].
- [12] L. Tomanová, „Šaty budoucnosti jako druhá kůže kyborgova“, *Material Times*, 09-pro-2014. [Online]. Dostupné z: <https://www.materialtimes.com/tema-tydne/saty-budoucnosti-jako-druha-kuze-kyborgova.html>. [cit. 24-dub-2017].
- [13] „BBC News | EUROPE | Smart shirt rolls up its sleeves“. [Online]. Dostupné z: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/1458231.stm>. [cit. 25-dub-2017].
- [14] T. Morrison, J. Silver, a B. Otis, „A Single-chip Encrypted Wireless 12-Lead ECG Smart Shirt for Continuous Health Monitoring“, *Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers*. [Online]. Dostupné z: <http://wireless.ee.washington.edu/files/2013/01/06858433.pdf>. [cit. 25-dub-2017].
- [15] „Adidas Heart Rate Monitoring Smart Bra - seamless“, *Amazon*. [Online]. Dostupné z: [https://www.amazon.com/adidas-miCoach-Seamless-Monitoring-Medium/dp/B018RIB7TO/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1480689490&sr=8-1&keywords=heart+rate+sensing+bra](https://www.amazon.com/adidas-miCoach-Seamless-Monitoring-Medium/dp/B018RIB7TO/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1480689490&sr=8-1&keywords=heart+rate+sensing+bra). [cit. 25-dub-2017].
- [16] C. T. inc (Hexoskin), „Hexoskin Smart Shirts - Cardiac, Respiratory, Sleep & Activity Metrics“, *Carre Technologies inc (Hexoskin)*. [Online]. Dostupné z: <https://www.hexoskin.com/>. [cit. 26-dub-2017].
- [17] „AIQ: Smart Clothing“, *AIQ: Smart Clothing*. [Online]. Dostupné z: <http://www.aiqsmartclothing.com/>. [cit. 26-dub-2017].
- [18] „OMbra - The ultimate running bra that just happens to be smart“, *OMsignal*. [Online]. Dostupné z: <https://omsignal.com/>. [cit. 26-dub-2017].
- [19] „Athos Training System“. [Online]. Dostupné z: <http://www.liveathos.com>. [cit. 26-dub-2017].

- [20] „The Sunrise Smart Pillow: Sleep Smart. Wake Naturally.“, *Kickstarter*. [Online]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/modem/the-sunrise-smart-pillow-sleep-smart-wake-naturall>. [cit. 27-dub-2017].
- [21] „Chytré mohou být už i polštáře“, *Novinky.cz*. [Online]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/internet-a-pc/436178-chytre-mohou-byt-uz-i-polstare.html>. [cit. 27-dub-2017].
- [22] „Zackees® Turn Signal Winter Gloves“, *Zackees*. [Online]. Dostupné z: <https://zackees.com/product/zackees-turn-signal-winter-glove/>. [cit. 27-dub-2017].
- [23] J. M. Gellerman, „UA Studies Use of ‚Smart‘ Socks to Prevent Amputations in Diabetes Patients“, *UANews*. [Online]. Dostupné z: <https://uanews.arizona.edu/story/ua-studies-use-of-smart-socks-to-prevent-amputations-in-diabetes-patients>. [cit. 27-dub-2017].
- [24] K. Modrá, „Chytrý zásahový oblek z RICE zvítězil v mezinárodním tendru“, *Zpravodajský portál Západočeské univerzity v Plzni*. [Online]. Dostupné z: <https://info.zcu.cz/clanek.jsp?id=717>. [cit. 29-dub-2017].
- [25] B. Němcová, „Vědci vyvinuli oblek pro hasiče, dokáže sledovat životní funkce i žár“, *iDNES.cz*, 08-bře-2014. [Online]. Dostupné z: [http://plzen.idnes.cz/vedci-chytry-zasahovy-oblek-hasici-dud-/plzen-zpravy.aspx?c=A140304\\_145440\\_plzen-zpravy\\_pp](http://plzen.idnes.cz/vedci-chytry-zasahovy-oblek-hasici-dud-/plzen-zpravy.aspx?c=A140304_145440_plzen-zpravy_pp). [cit. 29-dub-2017].
- [26] Y. Kim, H. Kim, a H. J. Yoo, „Electrical Characterization of Screen-Printed Circuits on the Fabric“, *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, roč. 33, č. 1, s. 196–205, úno. 2010, DOI 10.1109/TADV.2009.2034536
- [27] I. Kazani, C. Hertleer, G. De Mey, A. Schwarz, G. Guxho, a L. Van Langenhove, „Electrical Conductive Textiles Obtained by Screen Printing“, *Fibers & Textiles in Eastern Europe*, roč. 20, č. 1, s. 57–63, 2012. [Online]. Dostupné z: [www.fibtex.lodz.pl/2012/1/57.pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/2012/1/57.pdf) [cit. 6-kvě-2017]
- [28] M. S. Sataev, S. T. Koshkarbaeva, A. B. Tleuova, S. Perni, S. B. Aidarova, a P. Prokopovich, „Novel process for coating textile materials with silver to prepare antimicrobial fabrics“, *ELSEVIER*. [Online]. Dostupné z: [http://portal.kazntu.kz/files/publicate/2015-02-04-1839\\_0.pdf](http://portal.kazntu.kz/files/publicate/2015-02-04-1839_0.pdf) [cit. 29-dub-2017]
- [29] J. Yoo, L. Yan, S. Lee, H. Kim, a H. J. Yoo, „A Wearable ECG Acquisition System With Compact Planar-Fashionable Circuit Board-Based Shirt“, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, roč. 13, č. 6, s. 897–902, lis. 2009. [Online]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5272225/> [cit. 29-dub-2017]. DOI 10.1109/TITB.2009.2033053
- [30] „124-29 - Datasheet - Creative Materials“. [Online]. Dostupné z: [https://server.creativematerials.com/datasheets/DS\\_124\\_29.pdf](https://server.creativematerials.com/datasheets/DS_124_29.pdf) [cit. 20-kvě-2017].
- [31] „124-12 - Datasheet - Creative Materials“. [Online]. Dostupné z: [https://server.creativematerials.com/datasheets/DS\\_124\\_12.pdf](https://server.creativematerials.com/datasheets/DS_124_12.pdf) [cit. 20-kvě-2017].
- [32] „127-07 - Datasheet - Creative Materials“. [Online]. Dostupné z: [https://server.creativematerials.com/datasheets/DS\\_127\\_07.pdf](https://server.creativematerials.com/datasheets/DS_127_07.pdf) [cit. 20-kvě-2017].
- [33] „124-33 - Datasheet - Creative Materials“. [Online]. Dostupné z: [https://server.creativematerials.com/datasheets/DS\\_124\\_33.pdf](https://server.creativematerials.com/datasheets/DS_124_33.pdf) [cit. 20-kvě-2017].
- [34] „Electrodag 479SS - Datasheet - Henkel“. [Online]. Dostupné z: [https://tds.us.henkel.com/NA/UT/HNAUTTDS.nsf/web/74063B1021BDECCA852575F5004509A6/\\$File/ELECTRODAG%20479SS-EN.pdf](https://tds.us.henkel.com/NA/UT/HNAUTTDS.nsf/web/74063B1021BDECCA852575F5004509A6/$File/ELECTRODAG%20479SS-EN.pdf) [cit. 20-kvě-2017].
- [35] „Electrodag 725A (6S-54) - Datasheet - Henkel“. [Online]. Dostupné z: [https://tds.us.henkel.com/NA/UT/HNAUTTDS.nsf/web/5B15000AB5AD9326852576230070C1D1/\\$File/ELECTRODAG%20725A%20\(6S-54\)-EN.pdf](https://tds.us.henkel.com/NA/UT/HNAUTTDS.nsf/web/5B15000AB5AD9326852576230070C1D1/$File/ELECTRODAG%20725A%20(6S-54)-EN.pdf) [cit. 20-kvě-2017].

- [36] „Nová Mosilana / O Firmě". [Online]. Dostupné z: <http://novamosilana.cz/#o-firme>. [cit. 21-kvě-2017].
- [37] „Speciální textilie, Antistatika a ESD, Nehořlavé funkční prádlo, Wellness a relax". [Online]. Dostupné z: <http://www.vubas.cz/specialni-textilie>. [cit. 21-kvě-2017].
- [38] „DuPont™ Nomex® 455 (NOMEX III) aramidových střížových". [Online]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=920f9c539b394c2cbdce6ee3d1c257d4>. [cit. 21-kvě-2017].
- [39] „Keithley - Integra Series - Model 2701". [Online]. Dostupné z: [http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/document/resources/2701\\_Brochure.pdf](http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/document/resources/2701_Brochure.pdf) [cit. 30-kvě-2017]
- [40] „EXP 2649-39 - Datasheet - Creative Materials".

## Přílohy

### Příloha A – Odpor vytištěných vzorků

Tab. 4.1 Odpory jednotlivých tras 1. vzorku černé textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	-	-	-	-
2.	87,3	1200	X	X
3.	-	-	-	-
4.	-	-	-	-
5.	67,4	85	206	196
6.	73,9	262	375	126,9
7.	26,7	38,4	X	3636
8.	25,8	133	X	X

Tab. 4.2 Odpory jednotlivých tras 2. vzorku černé textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	-
3.	-	-	-	-
4.	44,6	67,6	63,4	58,4
5.	-	-	-	-
6.	66,4	109,3	179	106,56
7.	-	-	-	-
8.	-	-	-	-

Tab. 4.3 Odpory jednotlivých tras 3. vzorku černé textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	27,6	27,4	X	X
2.	-	-	-	-
3.	-	-	-	-
4.	-	-	-	-
5.	-	-	-	-
6.	-	-	-	-
7.	39,4	40,2	67	91
8.	116,5	120,6	408	187

Tab. 4.4 Odpory jednotlivých tras 1. vzorku oranžové textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	-
3.	-	-	-	-
4.	23,92	25,82	29,16	26,67
5.	27,56	29,38	32,64	30,41
6.	31,92	33,54	37,18	34,45
7.	-	-	-	-
8.	-	-	-	-

Tab. 4.5 Odpory jednotlivých tras 2. vzorku oranžové textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	-
3.	-	-	-	-
4.	40,02	44,25	53,14	48,26
5.	40,61	42,52	50,6	46,96
6.	-	-	-	-
7.	26,7	31,5	40,33	34,78
8.	28,7	33,78	43,8	37,75

Tab. 4.6 Odpory jednotlivých tras 1. vzorku modré textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	-
3.	-	-	-	-
4.	26,54	28,73	31,7	29,49
5.	28,4	31,54	34,17	31,79
6.	-	-	-	-
7.	-	-	-	-
8.	23,42	26,83	31,76	27,88

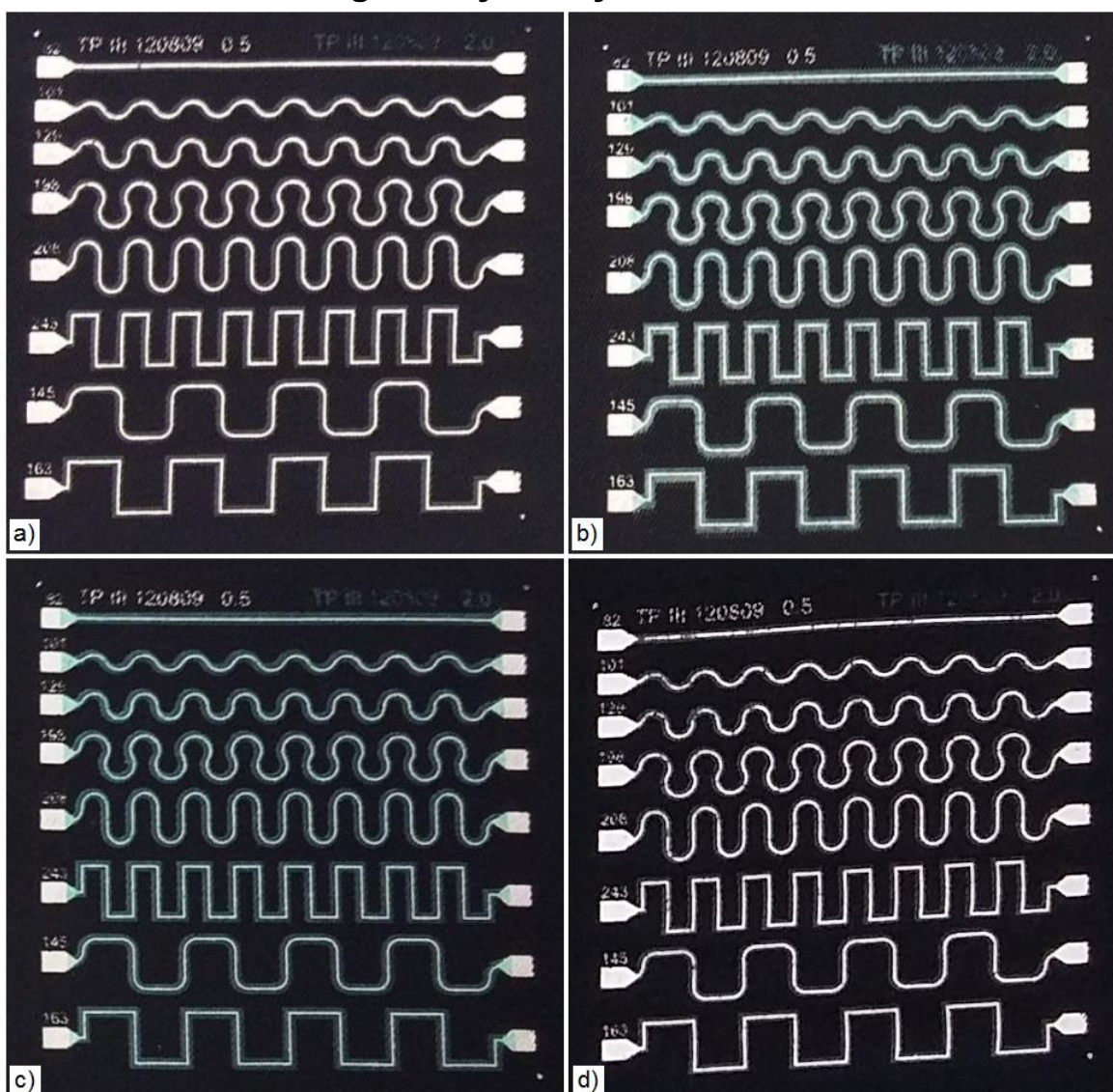
Tab. 4.7 Odpory jednotlivých tras 2. vzorku modré textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	-
3.	-	-	-	-
4.	23,63	25,64	30,79	27,98
5.	25,31	26,85	29,45	27,63
6.	29,74	31,17	33,97	32,03
7.	19,67	22,15	25,44	22,64
8.	22,48	25,78	29,81	26,57

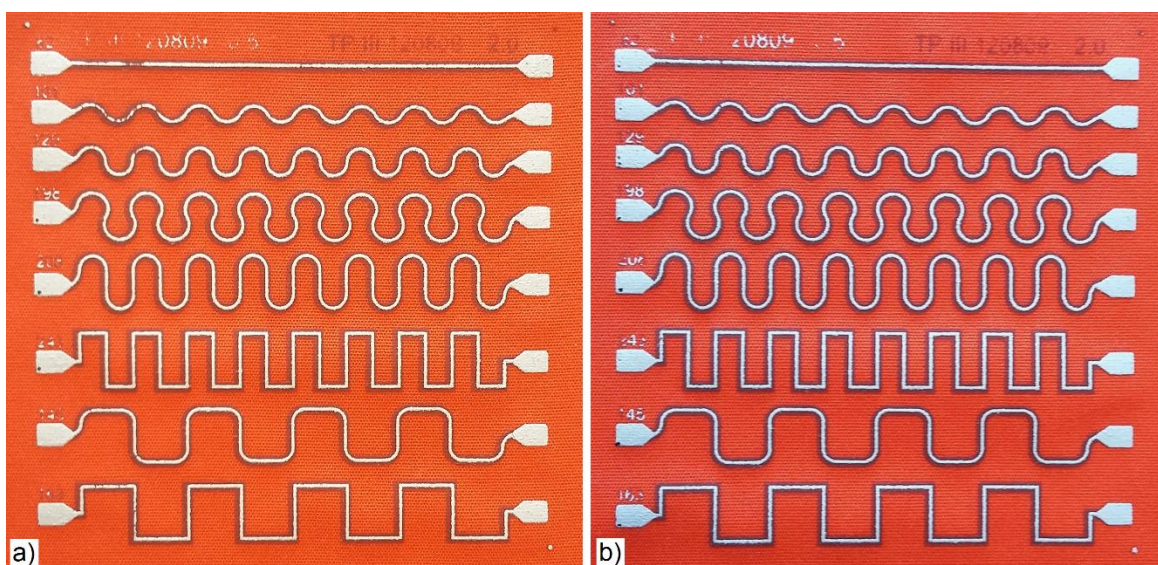
Tab. 4.8 Odpory jednotlivých tras 2. vzorku bílé textilie

Trasa	Po tisku [ $\Omega$ ]	Po 25 mm [ $\Omega$ ]	Po 12 mm [ $\Omega$ ]	Po namočení [ $\Omega$ ]
1.	14,28	18,34	23,62	26,5
2.	15,98	18,8	22,95	27,1
3.	20,02	22,31	26,15	32,59
4.	29,15	31,18	34,48	43,34
5.	30,8	32,65	35,82	44,7
6.	35,87	37,65	40,88	51,95
7.	23,3	25,65	29,73	26,03
8.	24,88	27,14	31,39	38,84

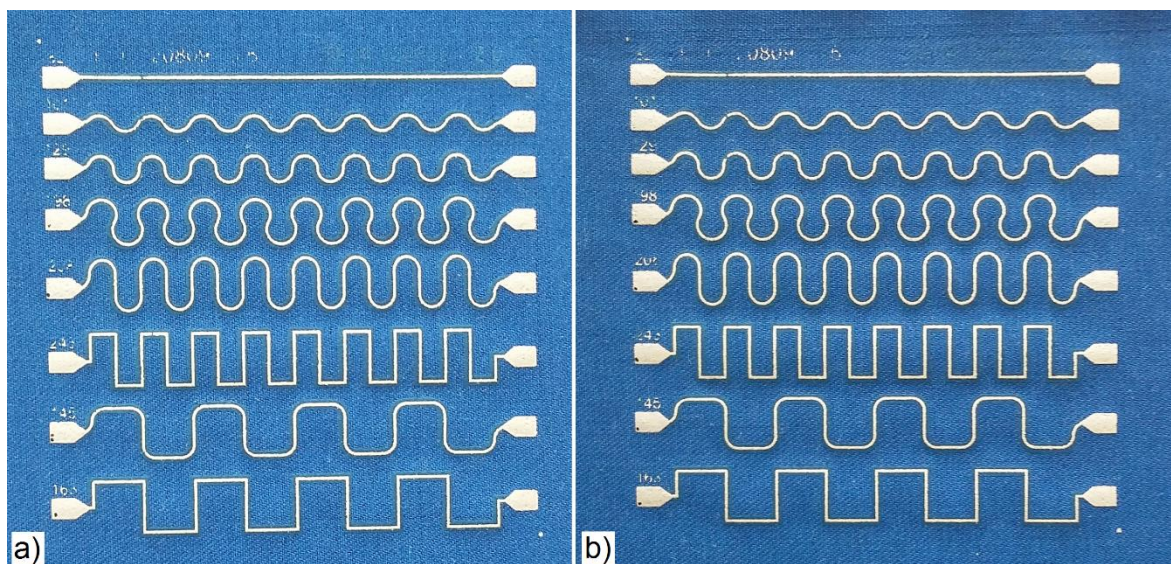
## Příloha B – Fotografie vytištěných vzorků



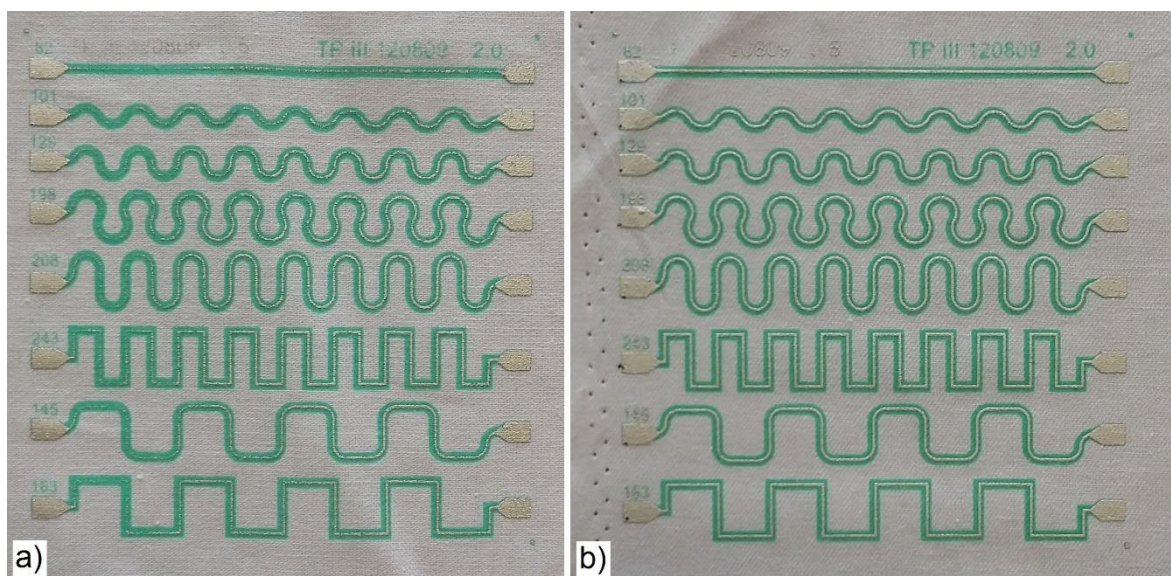
Obr. 4.1 a) První černý vzorek; b) Druhý černý vzorek s ochranným zapouzdřením; c) Třetí černý vzorek s ochranným zapouzdřením; d) Čtvrtý černý vzorek před tiskem ochranného zapouzdření



Obr. 4.2 a) První oranžový vzorek; b) Druhý oranžový vzorek



Obr. 4.3 a) První modrý vzorek; b) Druhý modrý vzorek



Obr. 4.4 a) První bílý vzorek; b) Druhý bílý vzorek