

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Katedra polygrafie a fotofyziky

Tisk vodivých vrstev pro Smart textile aplikace

Bc. Klára Lounová

Diplomová práce

2020



Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Klára Lounová**  
Osobní číslo: **C18526**  
Studijní program: **N3441 Polygrafie**  
Studijní obor: **Polygrafie**  
Téma práce: **Tisk vodivých vrstev pro Smart textile aplikace**  
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

### Zásady pro vypracování

1. Proveďte rešerši v odborné a patentové literatuře na téma potisku textilních materiálů s cílem zhotovení vodivých drah.
2. Zpracujte danou rešerši do uceleného přehledu a uveďte, na jakých typech textilních materiálů se vrstvy připravují, jak jsou textilie upravovány, jaké tiskové techniky se pro vodivé vrstvy využívají.
3. Na vybrané textilní materiály připravte za využití vhodných tiskových formulací testovací obrazce.
4. Proveďte důkladnou charakterizaci připravených vrstev. Komentujte vliv volených parametrů vrstev na dosažené parametry.
5. Z provedených analýz vyvodte závěry a doporučení.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D.**  
Katedra polygrafie a fotofyziky

Oponent diplomové práce: **Ing. Jan Bourek, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **28. února 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **7. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

---

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.**  
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na mou práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice

V Pardubicích dne 30. 6. 2020

Bc. Klára Lounová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Tomáši Syrovému, Ph.D. za jeho pomoc, odborné vedení, trpělivost a čas, který mi věnoval při zpracování mé diplomové práce. Ráda bych také poděkovala své rodině a mému snoubenci za podporu ve studiu i v životě.

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16\_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá tiskem vodivých vrstev na textilní materiály. Teoretická část popisuje textilní materiály, jejich výrobu, výhody a nevýhody. Dále popisuje tiskové formulace, které se využívají pro tisk vodivých vrstev, tiskové technologie a elektrické vlastnosti vodivých vrstev. Experimentální část se zabývá tiskem funkčních vrstev na textilní materiály. Zabývá se také měřením povrchového odporu vodivých vrstev, ohybovými a tahovými testy, a jejich následným vyhodnocením.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

tisk na textilní materiály, sítotisk, microdispensing, vodivé tiskové formulace, stříbrné tiskové formulace, uhlíkové tiskové formulace

## **TITLE**

Printing of conductive layers for Smart textile applications

## **ANNOTATION**

The master thesis deals with the printing of conductive layers on textile materials. The theoretical part describes textile materials, their production, advantages and disadvantages. It also describes printing formulations that are used for printing conductive layers, printing technology and electrical properties of conductive layers. The experimental part deals with the printing of functional layers on textile materials. It also deals with the measurement of surface resistance of conductive layers, bending and tensile tests, and their subsequent evaluation.

## **KEYWORDS**

printing on textile materials, screen printing, microdispensing, conductive printing formulations, silver printing formulations, carbon printing formulations



# OBSAH

ÚVOD.....	11
1          TEORETICKÁ ČÁST .....	12
1.1    Inteligentní textilie .....	12
1.1.1  Definice inteligentních textilií .....	12
1.2    Textilní materiály .....	13
1.2.1  Přírodní vlákna rostlinného původu .....	13
1.2.2  Vlákna z přírodních polymerů .....	14
1.2.3  Vlákna ze syntetických polymerů .....	17
1.3    Podkladová vrstva (primer).....	18
1.4    Tiskové vodivé formulace.....	19
1.5    Tiskové technologie .....	21
1.5.1  Inkjetový tisk .....	22
1.5.2  Sítotisk.....	23
1.5.3  Microdispensing .....	24
1.6    Elektrické a mechanické vlastnosti citace!!! .....	26
1.6.1  Elektrické vlastnosti .....	26
2          EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	28
2.1    Experimentální materiály .....	28
2.2    Experimentální zařízení .....	29
2.2.1  Sítotiskový stroj S-200HF .....	29
2.2.2  Microdispensingová tiskárna.....	29
2.3    Použitý software.....	29
2.4    Potisk textilních materiálů.....	30
2.4.1  Sítotisk.....	30
2.4.2  Microdispensing .....	69
3          ZÁVĚR .....	88



# ÚVOD

Vodivé funkční vrstvy mohou být do textilních materiálů zabudovány různými technologiemi, ať už se jedná o vyšívání, tkaní nebo tisk. Funkční vrstvy na textilní materiály mohou být vytištěny za použití tiskových technik jako je sítotisk, inkjetový tisk či technologie microdispensingu.

Tisk funkčních vrstev může probíhat jak na přírodní textilní materiály, tak i na textilie, které jsou tvořeny z polymerních vláken. Na kvalitu a vodivost funkčních vrstev bude mít vliv nejen typ textilního materiálu, ale i jeho vlastnosti a struktura vláken. Problémem textilních materiálů, které mají vláknitou strukturu, může být jejich vysoká absorpce tiskové formulace vedoucí k nehomogenosti tiskové struktury na povrchu textilního materiálu, což může zapříčinit snížení či přerušení vodivosti tiskové formulace. Problému lze předejít vytvořením podkladové vrstvy (primer), která zabrání textilnímu materiálu absorbovat tiskovou formulaci. Další možností je provést několik přetisků, kdy s přibývajícím počtem vrstev tiskové formulace dochází ke snížení elektrického odporu, tedy k vyšší vodivosti.

V této diplomové práci je zkoumána vodivost tiskových formulací na textilních materiálech. Textilní materiály byly potištěny tiskovou technikou sítotisku a microdispensingem. Sledovaným parametrem je kvalita tisku a vodivost tiskových formulací. Velký vliv má i typ zvoleného textilního materiálu.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Inteligentní textilie

Inteligentní, chytré či e-textilie jsou kombinací high-tech technologií a módního oblečení. Pojem e-textilie vznikl na konci 90. let s cílem vytvořit materiály, které mění své vlastnosti působením určitých podnětů [1].

V poslední době se vývoji tisku vodivých vrstev na textilních materiálech věnuje velká pozornost. Textilní materiály vybavené funkčními vrstvami mohou být použity v různých průmyslových odvětvích, například v lékařství pro stanovení zdravotního stavu, při ošetření či sledování fyziologických funkcí, jako je monitorování dýchání a srdečního rytmu, monitorování teploty aj. Rovněž jsou součástí sportovního vybavení a své využití najdou i v armádě atd. [1].

### 1.1.1 Definice inteligentních textilií

V knize [2] jsou definovány a popsány inteligentní textilie a jejich aplikace. Inteligentní (smart) textilie lze definovat jako textilie, které jsou schopny snímat změny a reagovat na ně. Inteligentní textilie mohou být rozděleny do dvou kategorií: aktivní a pasivní.

V případě pasivních inteligentních textilií se mění vlastnosti podle stimulace prostředí (hydrofilní, hydrofobní textilie, materiály s tvarovou pamětí atd.). Aktivní inteligentní textilie mají senzory a akční členy, které umožňují připojit interní parametry k přenášené zprávě, detekovat různé signály z prostředí (např. teplota, intenzita světla, znečištění) a na základě těchto signálů reagovat. Dále existuje i kategorie ultra inteligentních textilií, jež umožňují snímat, reagovat a přizpůsobit se vnějším podnětům [1].

## 1.2 Textilní materiály

### 1.2.1 Přírodní vlákna rostlinného původu

#### **Bavlna**

Základní surovinou pro získání bavlny je rostlina bavlníku, která byla objevena několik tisíc let před našim letopočtem. Z vlákna bavlny je vyrobena příze, která je následně použita k výrobě tkaniny, jež může být utkána do libovolné hustoty [3, 4].

Cenu bavlny ovlivňuje především kvalita vlákna, která se může lišit v závislosti na délce vlákna, jednotnosti a jeho síle [3]. Celulóza, která je v bavlně obsažena, na sebe velmi dobře váže barvu, což nabízí designérům flexibilitu při výrobě produktů [3, 4]. Bavlněné vlákno je schopno dobře absorbovat vodu, a to až 27násobek své vlastní hmotnosti [4].

Mezi výhody bavlny patří jemnost, měkkost, prodyšnost a schopnost dobře schnout [3, 5, 6]. Nevýhodou může být ekologická zátěž a zdravotní rizika při konvenčním pěstování bavlníku [5, 8]. Možnou alternativou je nekonvenční způsob jejího pěstování, tzv. bio bavlna. Při jejím pěstování nejsou využívány chemické látky, především pesticidy [5]. Mezi pesticidy patří například herbicidy používané k hubení nežádoucích rostlin, fungicidy k ochraně před plísněmi a insekticidy používané k hubení nežádoucího hmyzu [5, 6]. Díky tomu nedochází ke kontaminaci spodních vod, půdy a styku pěstitelů se škodlivými chemickými látkami [5, 6].

Při pěstování nekonvenční bavlny se namísto syntetických hnojiv využívají organická hnojiva (kompost či hnůj) a místo insekticidů se využívá hmyz, který bavlníku neškodí, ale požírá hmyz, který je pro bavlník škodlivý [6]. Nevýhodou u bio bavlny jsou vysoké náklady, především z důvodů každoročních přísných kontrol a vyšších nároků kladených na pěstování a skladování bio bavlny [6].

## 1.2.2 Vlákna z přírodních polymerů

V případě přírodních polymerů se nejedná o čistě přírodní produkty, jelikož jde o chemicky upravená vlákna, ale mohou představovat alternativu k přírodním materiálům. Na rozdíl od syntetických polyesterů či polyamidů apod. se totiž v přírodě dokážou rozložit.

### Přírodní polymery – polysacharidy

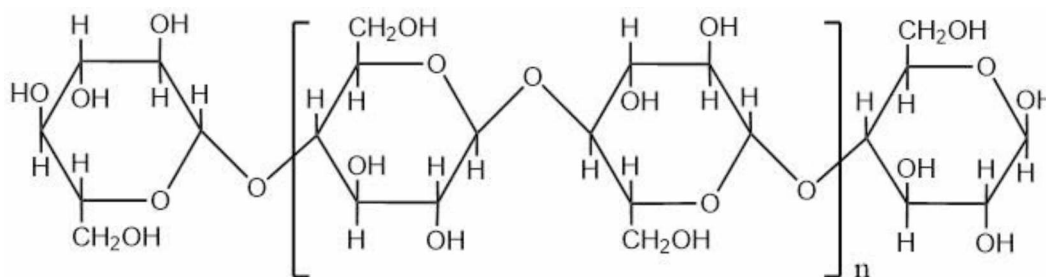
Polysacharidy jsou polymery, jejichž makromolekuly se skládají z velkého počtu spojených molekul monosacharidů [9]. Tyto molekuly jsou spojené glykosidickými vazbami. Od sloučeniny glyceraldéhyd je odvozena genetická řada cukrů [10]. Glyceraldéhyd se vyskytuje v pravotočivé (D) a levotočivé formě (L). V případě pravotočivé formy mají cukry na posledním uhlíku stejnou asymetrickou konfiguraci vpravo. U levotočivé formy je tomu obráceně, stejná asymetrická konfigurace se nachází vlevo. Dále se monosacharidy vyskytují jako  $\alpha$  nebo  $\beta$  anomery [10].

### Celulóza

Celulóza ( $C_6H_{10}O_5$ ) patří mezi přírodní polymery (obr. 1). Jedná se o lineární polysacharid, nacházející se v buněčných stěnách rostlin. Celulóza společně se škrobem je odvozená od D-glukózy [10]. Rozdíl mezi celulózou a škrobem je v anomeraci. Celulóza je tvořena monomerními jednotkami  $\beta$ -D-glukopyranosy, což je cyklická forma D-glukózy [10, 11]. Škrob je tvořen  $\alpha$ -D-glukopyranosou, která se liší od  $\beta$ -D-glukopyranosy orientací hemiacetalového hydroxyly [11]. V případě celulózy jsou molekuly glukózy spojené v polohách 1,4  $\beta$ -glykosidickou vazbou [10]. Strukturu celulózy tvoří jednotky celobiózy, které se opakují [10, 11].

V celulóze se nacházejí vodíkové vazby (intramolekulární a intermolekulární). Existence intermolekulárních vodíkových vazeb způsobuje nerozpustnost celulózy ve vodě a v běžných rozpouštědlech, proto je celulóza rozpustná pouze v určitých druzích rozpouštědel (například N-metylmorfolin-N-oxid, chlorid zinečnatý, hydroxid tetraaminměďnatý, hydroxid etylendiaminkademnatý aj. [10, 11]. Dále rozpustnost ovlivňuje polymerační stupeň, čím vyšší polymerační stupeň, tím horší rozpustnost v rozpouštědlech [11].

Pro výrobu textilních vláken jako jsou viskóza a modal se používá regenerovaná celulóza. Regenerovaná celulóza se od původní celulózy neliší chemickým složením, ale má odlišnou molekulovou hmotnost a nadmolekulární strukturu [10].



Obrázek 1: Struktura celulózy. Adaptováno z [10]

## Viskóza

Viskózová vlákna jsou vyrobena z regenerované celulózy z různých druhů stromů (smrk, jedle nebo korkové dřevo) či bavlny [12–14]. Viskózová vlákna se vyrábí z celulózy, která je máčena v roztoku hydroxidu sodného (mercerace) za vzniku alkylcelulózy [10, 15]. Takto připravená alkylcelulóza se po několika dnech zrání převede reakcí se sirouhlíkem na xantogenát celulózy [10]. Následuje zrání viskózy, při kterém se mění chemické složení viskózy a její vlastnosti [14]. V další části výroby se připravená viskóza protlačuje tryskami do srážecí lázně, která obsahuje roztok kyseliny sírové a jiné látky (např. sírany) [10, 15]. V této lázni se srážejí vlákna, která podléhají působení kyseliny sírové a síranů, a dochází k regeneraci celulózy za uvolnění sirouhlíku [10].

Při výrobě viskózy vznikají vedlejší produkty (sulfidy, koloidní síra atd.), které je potřeba z viskózového vlákna odstranit [15]. Mezi výhody viskózy patří dobré absorpční vlastnosti, měkkost, splývavost. V závislosti na gramáži látky se liší její vlastnosti. Látky s nižší gramáží jsou jemnější a splývavější, a čím je gramáž vyšší, tím mají látky větší pevnost a odolnost [13, 16]

## Bambus a bambusová viskóza

Bambus se řadí mezi trávy, a jako jediný z trav patří mezi dřevnaté rostliny. Rostliny bambusu se nacházejí především v tropických a subtropických oblastech [17]. Bambus je rychle rostoucí vysoká rostlina, jejíž pěstování je jednoduché a nenáročné [17, 18]. Při pěstování není potřeba využívat pesticidy, proto je šetrné k životnímu prostředí [17]. Ve světě existuje více než 1 500 druhů bambusů, ale jen několik málo druhů se využívá pro výrobu textilních materiálů [19].

Výhodou bambusu je nejen rychlý růst, ale také pevnost, pružnost a lehkost [17]. Pro výrobu bambusových vláken se využívají dva hlavní postupy [19]. Bambusová vlákna lze získat mechanickou cestou za použití přírodních enzymů [17]. Další možností výroby vláken je

chemický proces. Jedná se o stejný výrobní proces jako při výrobě viskózy [17–18]. Výsledkem tohoto procesu výroby je tzv. bambusová viskóza. Bambusová vlákna vyrobená mechanickou cestou mají jiné vlastnosti než bambusová vlákna vyrobená chemickou cestou [17].

Bambusové textilie neabsorbují v UV oblasti a mají antibakteriální vlastnosti, které zanikají při výrobě bambusového vlákna chemickou cestou [17, 18]. Bambusové vlákno vyrobené mechanickou cestou se podobá vláknu ze lnu nebo konopí [17]. Bambusová viskóza je na rozdíl od bambusových vláken více lesklá, měkká a jemná [17, 18]. Dále také díky mikrostruktuře ve vláknu vysoce absorbuje vlhkost [18].

### **Modal**

Viskóza i modal jsou velice podobné. V obou případech se jedná o vlákna vyrobená na bázi regenerované celulózy [20]. Výroba modalu probíhá modifikovaným procesem výroby viskózy, proto má i odlišné vlastnosti než viskóza.

Modal se vyrábí z dřevěných štěpků z bukového dřeva [12, 21]. Buničina se získává z celulózy, která je rozpuštěna mechanickým/fyzikálním způsobem a následně se spřádají vlákna [22]. Na rozdíl od viskózy, kterou lze vyrobit z vícera druhů stromů, lze modal vyrobit jediné z dřeva bukového [12].

Mezi vlastnosti vláken modalu patří pevnost, pružnost, odolnost vůči namáhání, rozměrová stabilita, dobrá absorpce vlhkosti, jemnost, hladkost a možnost dosáhnout různorodé barevnosti [12, 20, 21, 22]. Další výhodou modalu je vysoká míra výtěžnosti při výrobě vláken, minimální dopad na životní prostředí a 100% rozložitelnost [21,22].

V případě výroby vláken, kde jako vedlejší produkt vzniká síran sodný, který je následně získáván zpět a dále znovu využíván v jiných odvětvích [22].

### **Lyocell**

Tencel je obchodní název pro Lyocell. Jedná se o vlákno vyrobené z celulózy eukalyptu [23]. Výhodou těchto vláken je ekologičnost, 100 % rozložitelnost a udržitelnost [24]. Ve srovnání s bavlnou má tencel větší výtěžnost. [23] Dalšími vlastnostmi jsou hladkost, jemnost, prodyšnost, barvová stálost a absorpce vody [24, 25].

Výroba tencelu je šetrná k životnímu prostředí, jelikož se vyrábí bez použití sirouhlíku, který je využíván při výrobě viskózy [14]. Ve srovnání se složitou výrobou viskózy a modalu představuje výroba tencelu jednodušší alternativu [26].

Tencel se vyrábí rozpuštěním a zpracováním buničiny z celulózy eukalyptu v uzavřené smyčce bez chemické derivatizaci [23, 26]. K rozpuštění buničiny se používá organické

rozpouštědlo N-methylmorfolin-N-oxid (NMMO) a LiCl [14, 26]. Rozpouštědlo NMMO rozpouští celulózu pomocí oxidovému kyslíku, který má větší afinitu k OH skupině celulózy, čímž rozruší vodíkovou vazbu mezi dvěma řetězci [14]. Díky technologii vyvinuté společností Lenzing se více než 99,5 % rozpouštědla regeneruje v uzavřené smyčce a je opětovně používáno ve výrobním procesu [26].

### **1.2.3 Vlákna ze syntetických polymerů**

#### **Polyesterová vlákna**

Polyesterová vlákna se vyrábí chemickou reakcí – polykondenzací ze dvou vstupních surovin, a to z dimethyltereftalátu a ethylenglykolu, případně z kyseliny tereftalové a ethylenglykolu.

Výroba polyesteru neboli polyethyltereftalátu zahrnuje dva stupně výroby. V prvním stupni se při teplotách 190–195 °C připraví bis-hydroxyethyltereftalát přeesterifikací dimethyltereftalátu ethylenglykolem nebo přímou esterifikací kyseliny tereftalové ethylenglykolem [10]. V druhém stupni při teplotách 265–280 °C probíhá polykondenzace, při které vznikají dlouhé lineární molekuly polyethyltereftalátu a zároveň dochází k oddestilování ethylenglykolu [10]. Takto vzniklá tavenina se následně zvlákňuje, dlouží a poté je zařazena fixace pro zajištění mechanických vlastností. Dále se případně vlákna ve formě kabelu či stříže dodává do přádelny, kde jsou upravovány řezáním nebo trháním na staplová vlákna [27, 28].

Mezi výhody polyesterových vláken patří především dobré mechanické vlastnosti, odolnost vůči oděru, světlostálost, tvarová stabilita, odolnost vůči chemickým vlivům, vysoká životnost materiálu a nízká cena [29, 30]. Nevýhodou tohoto materiálu je pak žmolovitost a nabíjení elektrostatickou elektřinou [29]. Polyesterová vlákna nacházejí uplatnění nejen v textilním průmyslu.

### 1.3 Podkladová vrstva (primer)

U porézních tkanin je povrch tkaniny modifikován vytvořením podkladové vrstvy. Vytvořením podkladové vrstvy se získá hladší povrch, který zabraňuje absorpci vodivého inkoustu a nižší absorpce barvy vede k lepší vodivosti tištěných drah [31].

Pro vytvoření podkladové vrstvy se používá například Smart Fabric Ink, neboli Fabink, což je polyuretanová pasta tvrditelná UV zářením, která tvoří vrstvu rozhraní [31]. Fabink se využívá pro tisk sítotiskem. Vyznačuje se dobrou pružností a přilnavostí k látkám [32, 33]. Pro vytvoření podkladové vrstvy se také například využívá Appretan® N 9415, které se nanáší pomocí inkjetového tisku [34]. Appretan® N 9415 je termoplastická, ve vodě dispergovatelná akrylátová kopolymerní pryskyřice, která má dobrou flexibilitu a přilnavost k textilním substrátům [34].

Ve studii K. Yang a kol. [32] byla použita pro tisk podkladové vrstvy Fabink-UV-IF1 (univerzální podkladová pasta) a Fabink-UV-IF010 (vodotěsná podkladová pasta). Podkladová vrstva se skládala ze čtyř přetisků pro jednoduchou strukturu a ze tří přetisků pro duální strukturu (Fabink-UV-IF1 a Fabink-UV-IF010). Následoval tisk jedné stříbrné vrstvy Fabink-TC-AG1. Vytvrzení probíhalo při 120 °C po dobu 10 minut. Na závěr byla po tisku stříbrné pasty vytvořena enkapsulační vrstva opět ze čtyř přetisků pro jednoduchou strukturu a ze tří pro duální strukturu. Po každém tisku následovalo vytvrzení pomocí UV záření. Poté byla testována odolnost vůči vodě ponořením vzorků do vody na dobu 24 hodin a sušením při 40 °C po dobu 30 minut. Z jejich studie vyplývá, že natištěním podkladové vrstvy se získá hladký povrch a není vyžadováno tisknout více vodivých vrstev, protože je dosahováno nízkých hodnot povrchového odporu. Odolnost vůči vodě ovlivňuje především druh pasty, který se použije pro tvorbu podkladové vrstvy.

## 1.4 Tiskové vodivé formulace

K tisku funkčních vrstev na textilní materiály se využívají vodivé formulace, které vedou elektrický proud. K tisku vodivých vrstev se obvykle používají tiskové formulace obsahující stříbro. Ale také formulace obsahující měď, vodivé polymery, uhlíkové nanomateriály nebo grafen [34].

Tištěné funkční vrstvy musí být vytištěny v dobrém rozlišení, ale také musí mít patřičnou přilnavost k potiskovanému substrátu a dobrou elektrickou vodivost. Proto musí vodivé formulace obsahovat určitý podíl vodivých částic nebo vodivého polymeru [35] a dále pojivo, které zajistí dobrou přilnavost k potiskovanému substrátu, tedy textilnímu materiálu [36]. Vodivé formulace bývají založené na vodní, či rozpouštědlové bázi a obsahují vodivé (kovové, uhlíkové, aj.) částice a polymery rozpustné nebo dispergovatelné v rozpouštědle [35, 37].

Stoppa M. et al. [37] v článku uvádí, že pro dosažení vysoké vodivosti a rovnoměrnosti tištěných struktur je nutné provést několik přetisků, což vede zároveň ke snížení elektrického odporu. Pro vytvoření tištěné vodivé dráhy musí dojít ke slinování částic, čímž se vytvoří spojitá kovová vrstva. Slinování je proces prolnutí částic při teplotách pod bodem tání kovu. Například u struktury vloček se jedná spíše o jev povrchové difúze než o změnu fáze mezi pevnou látkou a kapalinou.

Rozhodujícími parametry pro výběr použité tiskové formulace jsou povrchové napětí, viskozita, velikost pevných částic, plošný elektrický odpor, množství vodivého materiálu, teplota a čas vytvrzování [35].

### **Tiskové formulace obsahující měď**

Měď má výbornou tepelnou vodivost, elektrickou vodivost a velmi malý elektrický odpor, ale se zvyšujícím se obsahem nečistot v mědi a teplotou klesá elektrická vodivost [38]. Nevýhodou barev obsahujících měď je jejich termodynamická nestálost v atmosférických podmínkách, kterou zapříčiňuje oxidace mědi [35].

### **Tiskové formulace obsahující stříbro**

Stříbro se vyznačuje vynikající tepelnou a elektrickou vodivostí, chemickou stabilitou a dostupností [38, 39]. Barvy s obsahem stříbra patří v tištěné elektronice mezi nejpoužívanější, a to především díky jejich vysoké vodivosti [35].

Jedná se o tiskové formulace obsahující vločky nebo nanočástice stříbra. Stříbrné nanočástice lze využít jak do pastózních tiskových formulací, tak i do nízkoviskózních

inkjetových formulací. Na trhu jsou dostupné formulace pro tiskové techniky, jako je sítotisk, inkjetový tisk, hlubotisk či flexotisk [39]. Stříbrné vločky se používají do pastózních formulací, které jsou využívány pro tiskovou techniku sítotisku [36].

Po tisku stříbrnou tiskovou formulací je nutné provést vytvrzení či slinování. U stříbrných formulací, které jsou vyrobené z nanočástic stříbra, jejichž velikost je pod 100 nm, není vyžadováno, aby teplota slinování byla vyšší než 150 °C [39]. Tato teplota je vhodná i pro některé potiskované substráty, pro které by vyšší teplota byla destruktivní, například plastové folie aj. Stříbrné tiskové formulace se využívají pro tisk antén, RFID štítky či elektronické obvody [39, 40].

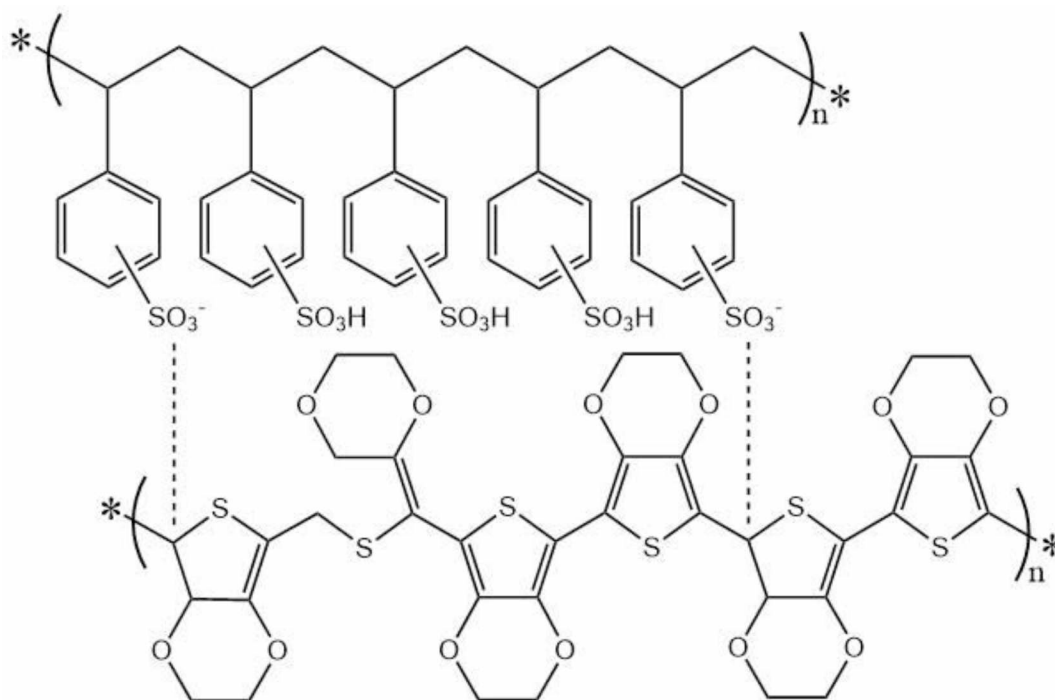
### **Tiskové formulace obsahující uhlík**

Vodivé barvy mohou obsahovat uhlíkové nanotrubic, které mají výborné elektrické vlastnosti, dále grafit nebo saze [41]. Výhodou barev s obsahem uhlíku je cena a odolnost vůči poškrábání a ohýbání. Další výhodou je dobrá stabilita v atmosféře, včetně vyšších teplot [39]. Mezi nevýhody ve srovnání s vodivou formulací obsahující stříbro patří nízká vodivost [35]. U uhlíkových nanotubic je nevýhodou obecně obtížná dispergovatelnost, zvláště v koncentracích více než 1 hm. % [41].

### **Tiskové formulace obsahující vodivé polymery**

Vodivé polymery lze rozdělit na dvě skupiny, a to polymery s vlastní vodivostí a kompozitní polymery. V případě vodivých polymerů s vlastní vodivostí se jedná o konjugované polymery [42]. U kompozitních polymerů se jedná o spojení polymeru a vodivých materiálů prostřednictvím disperze nebo laminace [39, 42]. Nejčastěji se pro spojení polymerů a vodivých materiálů využívá disperze. Mezi běžně používané polymery patří například polyethylen, polypropylen, polystyren, PVC, epoxidová pryskyřice, akrylová pryskyřice. Jako vodivé materiály, které se přidávají k polymeru, lze použít například saze, kovový prášek, zlato, stříbro, měď, grafit či vodivé nanomateriály [39]. Důležitými parametry u vodivých polymerů jsou elektrická vodivost a elektrochemické vlastnosti [43]. Nejčastěji používaným vodivým polymerem je poly(3,4-ethylendioxythiofen):polystyrenulfonát, nebo-li PEDOT:PSS [42].

PEDOT:PSS (obr. 2) je transparentní vodivý polymer, tvořený kombinací dvou ionomerů poly(3,4-ethylendioxythiofenu) a polystyrenulfonátu [39]. Kde sulfonylové skupiny jsou deprotonovány a mají záporný náboj, kdežto PEDOT je konjugovaný polymer s kladným nábojem [40].



Obrázek 2: Struktura PEDOT:PSS. Adaptováno z [39]

## 1.5 Tiskové technologie

Elektronické textilní materiály jsou vytvářeny pomocí elektronických a výpočetních technik. Elektronické textilie umožňují sledovat různé signály a provádět procesy, které mohou zjednodušit život uživatelů [34]. Existuje několik způsobů, jak do textilu vodivé materiály zavést.

Prvním způsobem je zavedení vodivých prvků do tkanin. Vodivé prvky lze do textilu zavést tkaním, pletením nebo vyšíváním [31, 32, 44]. Nevýhodou takto vytvořených prvků je vysoká cena, ale také omezení z hlediska konstrukce elektrických obvodů [32, 44]. V případě vodivých vláken je vyžadováno polymerní vodivé vlákno [32].

Další možností je tisk vodivých prvků na textilní materiály. Jako techniky tisku se používá sítotisk a inkjetový tisk [31, 44]. Výhody tisku vodivých vrstev zahrnují vysoké rozlišení, volnost designu a tisk na různé substráty (např. bavlnu, polyesterové materiály) [31].

### **1.5.1 Inkjetový tisk**

Principem funkce inkjetového tisku je vypuzování malých kapek z tiskové hlavy, která je umístěna nad potiskovaným substrátem na konkrétní pozici. Tisk je prováděn podle digitální předlohy. Inkjetový tisk se dle tvorby kapek rozděluje na dva základní typy, kontinuální a drop-on-demand. Princip tisku drop-on-demand je používán především k potisku textilních materiálů (termální a piezoelektrický).

#### **Kontinuální inkjetový tisk**

Při kontinuálním tisku generuje tryska souvislý proud kapek. Inkoust je přiváděn ze zásobníku do generátoru. Působením tlaku piezoelektrického krystalu jsou poté kapky inkoustu vystřelovány mezi dva páry elektrod. Kapky nabité mezi dvěma páry elektrod dopadnou na potiskovaný materiál a nenabité kapky jsou vychýleny a odvedeny zpět do zásobníku.

#### **Drop-on-demand**

V případě tisku touto technologií jsou na základě elektrických impulsů vystřelovány kapky inkoustu z tiskové hlavy. Tryska vystřeluje pouze kapky, které mají na potiskovaném materiálu tvořit obraz. Tisk se podle způsobu vytváření kapek dělí na piezoelektrický a termální.

#### **Termální inkjetový tisk**

Princip termálního inkjetového tisku je založen na tvorbě kapek tlakem par, které jsou odpařeny z kapalně fáze inkoustu. Inkoust je přiváděn ze zásobníku k topnému tělísku, které je umístěno v blízkosti trysky. Při průchodu elektrického proudu do topného tělíska dochází k odpaření malého množství inkoustu. Kapka inkoustu je z tiskové hlavy vytlačena vlivem rostoucího tlaku odpařeného rozpouštědla. Inkoust je následně ze zásobníku do tiskové hlavy doplněn v důsledku vzniklého podtlaku v tiskové hlavě. Pro tento typ tisku jsou používány především vodou ředitelné inkousty.

Výhodou termálního tisku je cena tiskových hlav, což umožňuje umístit vedle sebe větší počet trysek. Dalšími výhodami je tvorba malých kapek a kvalita tisku.

#### **Piezoelektrický inkjetový tisk**

V případě piezoelektrického inkjetového tisku se využívá princip piezoelektrického jevu, k němuž dochází u určitých krystalických látek, u kterých je stlačený krystal elektricky nabit. Piezoelektrický tisk využívá tzv. obrácený piezoelektrický jev. Principem obráceného

piezoelektrického jevu je změna tvaru/rozměru krystalu, ke které dochází přivedením elektrického napětí. Odstraněním napětí získává krystal opět svůj původní tvar/rozměr. Elektrickým signálem vedeným k elektrodám piezoelektrického krystalu dochází ke změně tvaru/rozměru, a tím se mění i objem v tiskové hlavě. Tlakové změny vyvolané elektrickým signálem vytvářejí efekt akustické rezonance, čímž dochází k vystřelení kapek z trysky. Výhodami piezoelektrického inkjetového tisku je dlouhá životnost, univerzálnost a možnost použití všech typů inkoustů. Nevýhodou je vyšší cena.

Problematika inkjetového tisku je podrobněji popsána v knize [45].

### **1.5.2 Sítotisk**

Sítotisk patří mezi průtiskové techniky tisku a má širokou škálu uplatnění. Využívá se jak v uměleckém, tak i v grafickém, technickém či textilním odvětví. Jedná se o technologii, která je nejčastěji používána pro tisk vodivých cest [36].

Princip tisku spočívá v tom, že skrze síto, na kterém je připraven tiskový motiv, se protlačuje tisková barva. Tisková barva se nanáší i protlačuje za pomoci těrky, která protlačuje barvu přes volné otvory v sítovině na potiskovaný materiál. Množství nanesené barvy ovlivňuje nejen typ sítoviny, stupeň napnutí, vzdálenost mezi tiskovou formou a potiskovaným materiálem, typ těrky, její úhel a tlak, ale i typ a vlastnosti tiskové barvy [45].

Sítotisk lze podle typu konstrukce rozdělit na plochý a rotační. Podle stupně mechanizace se dále dělí na manuální, poloautomatický či plně automatický. Kvalitu a vlastnosti tisku ovlivňují různé faktory, například viskozita barvy, rychlost tisku, úhel a geometrie těrky, velikost ok na sítovině a materiál sítovin [46]. Jako materiál pro sítovinu se používá například polyester, polyamid, ale i nerezová ocel [45, 46]. Těrka se volí na základě parametrů tištěného motivu [36]. Důležitými parametry těrky jsou tvrdost, tloušťka, velikost a tvar. Tvar těrky může být pravoúhlý, zkosený nebo zaoblený, ale nejčastěji se využívá pravoúhlý profil těrky [45]. Tvrdost těrky se udává v jednotkách shore A, kdy se pro přenos menší vrstvy barvy používá těrka tvrdší, pro větší množství barvy naopak měkčí [45].

Sítotisk umožňuje přenést barvu v relativně tlustých vrstvách, což dovoluje tisk struktur s nízkým odporem, proto je v případě tištěné elektroniky využíván například pro tisk senzorů, elektrických zařízení a obvodů [46]. Výhodou sítotisku je tisk na různé substráty, relativně nízká cena, vysoké rozlišení a přesnost [36, 46]. Nevýhodou sítotisku může být zasychání barvy na sítovině, což zapříčiní nemožnost průchodu barvy skrz sítovinu [36].

### 1.5.3 Microdispensing

Microdispensing je technologie, při které dochází k přesnému a opakovatelnému nanášení kapalin na substrát v rozsahu nanolitřů až mikrolitřů [47]. Dávkování kapaliny je prováděno digitálně řízeným aplikováním na konkrétní, často obtížná místa se stanovenou malou tolerancí, proto je vyžadována vysoká přesnost [48]. Důležitými faktory ovlivňujícími výslednou kvalitu microdispensingu jsou především nastavení platformy a ovládacího softwaru, vhodná volba dávkovací jehly, stříkačky a tlaku [49]. Dalším faktorem ovlivňujícím kvalitu microdispensingu je rychlost dávkování kapaliny [50].

Microdispensing je možné z hlediska technologie rozdělit na dvě kategorie, kontaktní microdispensing a bezkontaktní microdispensing [48].

U kontaktního způsobu aplikace je nutné, aby tryska byla v přímém kontaktu se substrátem prostřednictvím kapaliny [50]. Kontaktní způsob aplikace lze dále rozdělit na tyto tři technologie: technologie s časovým působením tlaku, technologie se šnekovým čerpadlem a technologie s pístovou pumpou [51].

#### **Technologie s časovým působením tlaku**

Tato technologie využívá působení stlačeného vzduchu k vytlačování kapaliny ze stříkačky [51]. Množství vytlačované kapaliny závisí na několika faktorech, a to na průměru jehly, tlaku vzduchu, době vytlačování kapaliny a viskozitě kapaliny [50, 52]. Mezi jeho výhody patří flexibilita, jednoduchá obsluha a snadná údržba, proto se jedná o nejrozšířenější metodu [51].

#### **Technologie s pístovou pumpou**

Princip této technologie popisuje T. Gaugel et al. [53] a spočívá ve vytlačování kapaliny vlivem pístu. Kapalina je ze zásobníku přiváděna do čerpací komory vlivem podtlaku způsobeného pohybem pístu nahoru. Při pohybu pístu směrem dolů dochází k uzavření přívodu kapaliny ze zásobníku a k vytlačení kapaliny z jehly. Pohyb pístu zajišťuje motor nebo elektromagnet, přičemž pohon zajišťovaný elektromagnetem je rychlejší a přesnější [54].

#### **Technologie se šnekovým čerpadlem**

T. Gaugel et al. [53] ve svém článku popsal princip technologie se šnekovým čerpadlem. Kapalina umístěná v komoře je pomocí rotujícího šroubu dopravována do dávkovací jehly. Tento způsob microdispensingu je využíván zejména pro dávkování kapaliny se střední nebo vysokou viskozitou. Výhodou je, že lze snadno měnit objem dávkování za jednotku času.

Nevýhodou této technologie je, že vlivem rychlosti otáčení šroubu a působením tlaku může docházet ke změnám viskozity.

V případě bezkontaktního microdispensingu nedochází ke kontaktu jehly se substrátem. Pro vytvoření kapky je zapotřebí tlakový puls, jehož působením dochází k překonání povrchového napětí kapaliny a viskozity, čímž dojde k následnému vypuzení kapky z jehly [55]. Bezkontaktní microdispensingové technologie lze rozdělit do čtyř kategorií, a to: piezo technologie, technologie využívající akustické vlny, technologie využívající ventil a technologie využívající pozitivní posuv.

### **Piezo technologie**

Tato technologie využívající piezo pracuje na stejném principu jako inkjetové tiskárny [56]. Jedná se tedy v principu o inkjetový tisk s jednou tiskovou tryskou. Princip inkjetového tisku byl popsán v kapitole 2.5.1.

### **Technologie využívající akustické vlny**

Princip této technologie spočívá ve vypuzování kapek z kapaliny působením akustických vln na otvor skleněné kapiláry [55].

### **Technologie využívající elektromagnetický ventil**

Tuto technologii, jejíž princip spočívá ve využívání ventilu a zdroji tlaku popisuje ve svém článku S. Bammesberger et al. [55]. Jako zdroj lze použít například membránové či peristaltické čerpadlo nebo tlakovou láhev s regulátorem tlaku. Dávkovací ventil je ovládán elektromagneticky [55, 56]. Díky přesnému ovládní ventilu, lze aplikovat kapičky bezkontaktně. Ventil se otevírá a uzavírá s vysokou frekvencí, čímž vytlačuje kapalinu skrze trysku. Kapalína je přiváděna za konstantního tlaku. V trysce dojde k vytvoření impulsu, což vede k rychlému uvolnění kapky z trysky přímo na substrát bez vychýlení kapek [47].

## 1.6 Elektrické a mechanické vlastnosti

Elektrické a mechanické vlastnosti jsou spolu úzce spjaté. Vodivost ovlivňují mechanické vlastnosti. Ohýbání, skládání a vlhkost mohou být častými příčinami poškození vodivých drah na textilních materiálech. Z tohoto důvodu se provádějí různé druhy testů pro vyhodnocení vlivů na vodivost tištěných drah.

Vodivost také ovlivňuje tloušťka nanesené tiskové vodivé formulace. V případě inkjetového tisku toho může být dosaženo více průchody tiskárnou. U sítotisku množství nanesené barvy ovlivňuje volba sítovinu a těrky.

### 1.6.1 Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor  $R$ , jehož základní jednotkou je ohm  $[\Omega]$ , se stanoví tak, že mezi dva body vodiče přiložíme napětí  $U$  a mezi těmito body změříme protékající proud  $I$  [57]. Odpor se následně vypočítá za pomoci rovnice 1:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Převrácenou hodnotou elektrického odporu je vodivost. Jednotkou vodivosti je siemens  $[S]$ . Vodivost se vypočítá dle rovnice 2:

$$G = \frac{1}{R} \quad (2)$$

Vodivost či elektrický odpor charakterizuje schopnost vodivých materiálů vést elektrický proud. Specifický odpor  $\rho$ , jehož jednotkou je  $[\Omega \cdot \text{cm}]$ , lze vypočítat podle rovnice 3:

$$\rho = Rd \frac{a}{b} \quad (3)$$

kde  $a$  je délka měřících elektrod,  $b$  je vzdálenost mezi nanesenými elektrodami a  $d$  je tloušťka vrstvy.

Povrchový odpor  $R_{sq}$  lze vyjádřit jako odpor v ohmech na čtverec  $[\Omega/\text{sq}]$  za předpokladu, že délka elektrod je rovná vzdálenosti mezi elektrodami a obě elektrody jsou tenké [58]. Na měření povrchového odporu má vliv například teplota, vlhkost vzduchu, kontakt mezi elektrodami a měřeným vzorkem aj. [59].

Vodivost v elektricky vodivých materiálech lze stanovit různými metodami. K měření elektrických vlastností je možné využít dvě základní metody. Tyto metody se liší v uspořádání elektrod [58]. První metodou je metoda dvoubodová, která využívá protékající proud na

povrchu měřeného vzorku ke zjištění povrchového odporu. V případě dvoubodové metody slouží elektrické kontakty jak pro průchod proudu, tak i pro měření napětí [60].

Druhou metodou je čtyřbodová metoda, u které protéká proud objemem vzorku. Pomocí této metody získáme hodnoty specifického (měrného) odporu. Specifický odpor lze stanovit u vysoce vodivých látek i pomocí dvoubodové metody, ale nikoliv s takovou přesností jako u metody čtyřbodové [58]. K měření se používají čtyři elektrické kontakty, kde vnější dva kontakty slouží pro průchod proudu, zatímco vnitřní kontakty se používají pro měření napětí [60]. Výhodou čtyřbodové metody je vyloučení povrchového odporu mezi měřicími elektrodami a vzorkem, což vede k přesnějším výsledkům [61].

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část popisuje postup a vyhodnocení získaných výstupů. V první řadě byly zvoleny textilní materiály pro tisk funkčních vrstev. Na tyto textilní materiály byly natištěny testovací obrazce různými tiskovými formulacemi pomocí sítotisku a microdispensingu. První měřenou hodnotou byl elektrický odpor vybraných prvků na testovacím obrazci pomocí čtyřbodové metody. Následně bylo provedeno testování jednotlivých potištěných textilních materiálu ohybovými a tahovými cykly. Mezi jednotlivými cykly bylo provedeno měření elektrického odporu pomocí dvoubodové metody. Na základě změřených elektrických odporů a znalosti geometrie vzorku byly stanoveny hodnoty povrchového odporu. Na závěr byla provedena analýza získaných výsledků.

### 2.1 Experimentální materiály

Použitými experimentální materiály byly tkanina Tencel, bambusová viskóza – zkr. bambus (95 % viskóza, 5 % elastan), netkaná textilie (70 % polyester, 30% polyamid), polyesterová textilie Amanda (PES/PES micro) s PUR membránou, 100% polyester (Intercolor a.s.) s PUR membránou. Jako testované tiskové formulace byly zvoleny následující formulace:

- Tisková stříbrná formulace, číslo šarže 2020\_02\_17\_2; zkr. 02\_17 (příprava Syrový) – stříbrný kompozit s elastomerním polymerem
- Tisková stříbrná formulace, číslo šarže 2020\_05\_11\_1; zkr. 05\_11 (příprava Syrový) – stříbrný kompozit s elastomerním polymerem s vyšším obsahem polymeru (ve srovnání s tiskovou formulací 2020\_02\_17\_2)
- Tisková uhlíková formulace, číslo šarže 2020\_05\_27\_1; zkr. 05\_27 (příprava Syrový) – uhlíkový kompozit na bázi grafenu s flexibilním polymerem na bázi TPU
- Tisková formulace DuPont PE874 – komerční elastomerní vodivá formulace pro textilní materiály
- Tisková formulace P1 – komerční stříbrný kompozit pro tisk na flexibilní fólie
- Primer, číslo šarže 2020\_02\_17\_1 (příprava Syrový) – rozpouštědlová tisková formulace na bázi elastomerního polymeru

Pro tiskovou techniku sítotisku byly vybrány sítoviny od společnosti SAATI:

- Sítoovina s označením 43/80 – jedná se o sítovinu s počtem 43 vláken/cm a průměrem vláken 80  $\mu\text{m}$
- Sítoovina s označením 77/48 – jedná se o sítovinu s počtem 77 vláken/cm a průměrem vláken 48  $\mu\text{m}$

## **2.2 Experimentální zařízení**

V této části je uveden výčet jednotlivých přístrojů a zařízení, včetně jejich specifikací.

Vakuový kopírovací rám s pružnou gumovou membránou, vzduchovou vývěvou a zdrojem UV záření; CDI Spark 2120 Esko; sítotiskový stroj S-200HF; microdispensingová tiskárna; sušárna Memert uf75; multimetr Tektronix DMM4040; mikroskop Nikon Eclipse LV-DIA-N.

### **2.2.1 Sítotiskový stroj S-200HF**

Pro tisk na textilní materiály byl použit sítotiskový stroj S-200HF od firmy Ever Bright. Jedná se o poloautomatický sítotiskový stroj pro tisk z plošné tiskové formy. Maximální rychlost tisku je 1000 ks/h. Maximální tiskové rozměry jsou 150 × 100 mm.

### **2.2.2 Microdispensingová tiskárna**

Pro účel tisku microdispensingem byla použita tiskárna, která byla sestavena na katedře polygrafie a fotofyziky Univerzity Pardubice. Tiskárna využívá technologii časového působení tlaku, která spadá do kategorie kontaktního microdispensingu. Princip této technologie je podrobněji popsán v kapitole 1.5.3.

Tiskárna je ovládána softwarem CNC USB Controller, který zajišťuje pohyb posuvných ramen v osách XYZ. Nedílnou součástí tiskárny je také kompresor s regulací tlaku.

## **2.3 Použitý software**

Použité softwary byly CNC USB Controller, NIS Elements BR, Adobe InDesign CS6, Adobe Illustrator CS6, Microsoft Word, Microsoft Excel.

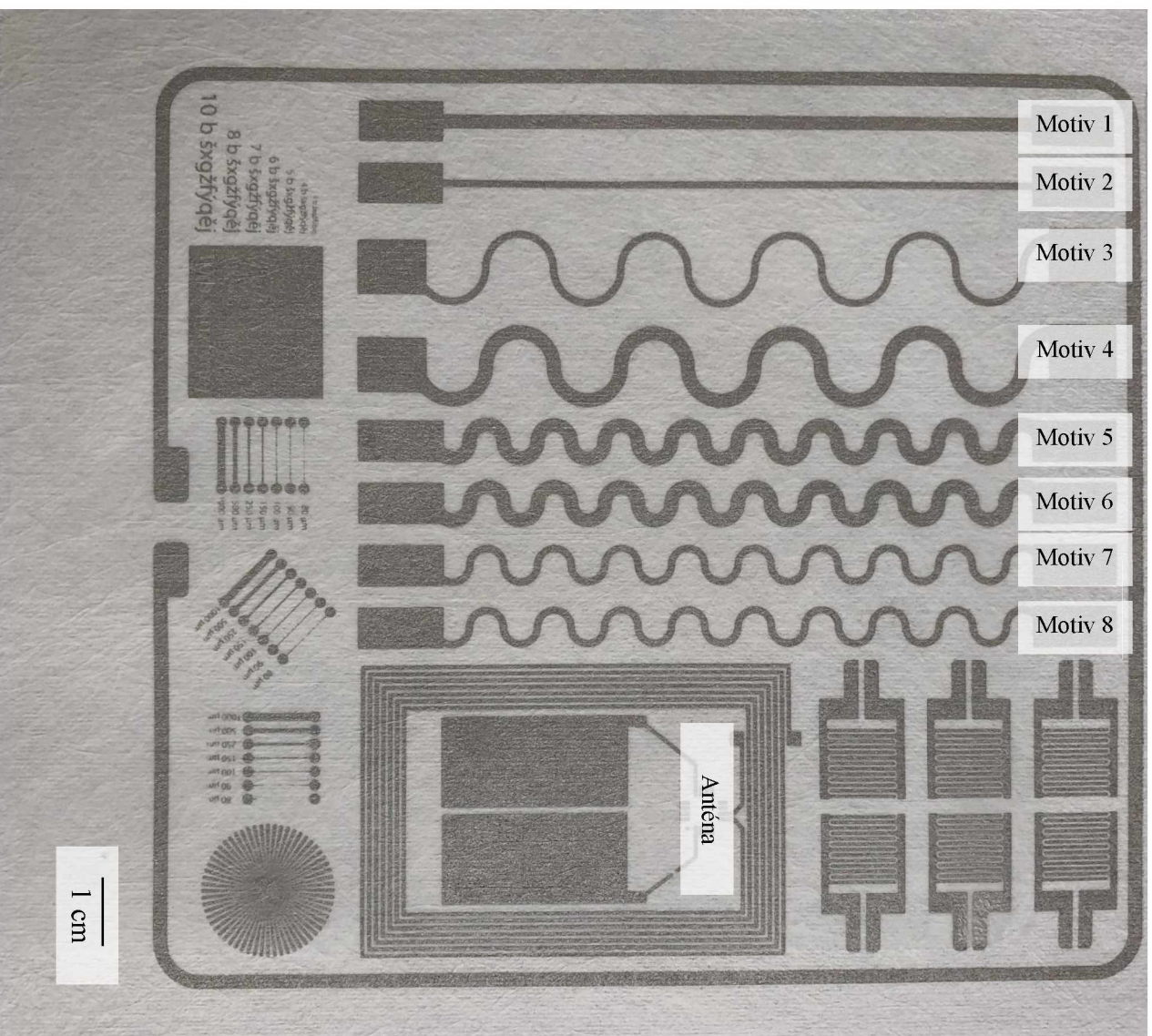
## 2.4 Potisk textilních materiálů

### 2.4.1 Sítotisk

Prvním krokem byla příprava tiskové předlohy, která obsahovala linky a meandry různé tloušťky, anténu, různé velikosti písma a další obrazce. Tisková předloha byla vypálena laserem na film s černou krycí vrstvou. Působením laseru, dojde k ablaci černé krycí vrstvy v netisknoucích místech. Poté proběhlo dočištění ethanolem.

Dalším krokem byla příprava síta. Sítovina napnutá v sítotiskovém rámu byla odmaštěna přípravkem Direct Prep 2 od výrobce SAATI. Následovalo ovrstvení sítovinu světlocitlivou emulzí Dirasol 915. Světlocitlivá emulze byla na sítovinu nanášena v několika vrstvách, z těrkové strany síta ve třech vrstvách a z tříčové strany v pěti vrstvách. Před nanášením další vrstvy bylo nutné úplné vysušení předchozí vrstvy. Po nanášení všech vrstev byla na sítovinu z tiskové strany upevněna tisková šablona. Následoval osvit pomocí UV záření, doba osvitů byla 370 s v případě sítovinu 43/80 a 145 s v případě sítovinu 77/48. Na závěr byla tisková šablona na sítovině vyvolána pod proudem vody a dosušena.

Po přípravě síta následoval samotný tisk. Sítotisková šablona byla upnuta do čelistí poloautomatického sítotiskového stroje a následně byl nastaven tlak těrky a předtěrky. Na šablonu byla nanášena tisková formulace a pod ni umístěn potiskovaný materiál. Každý textilní materiál nebyl potištěn všemi tiskovými formulacemi, přehled kombinací tiskových formulací a textilních materiálů je znázorněn v tabulce 1 pro sítovinu 77/48 a v tabulce 2 pro sítovinu 43/80. Na netkanou textilii byly natištěny pro každou tiskovou formulaci tři vzorky, první vzorek byl opatřen tiskovou formulací v jedné vrstvě, druhý vzorek ve dvou vrstvách a třetí vzorek ve třech vrstvách. Při tisku dvou a více vrstev tiskových formulací probíhal tisk vždy mokrá do mokré. V případě textilních materiálů Tencel a polyester (Intercolor) byly tiskové formulace natištěny ve dvou vrstvách z důvodu hrubé struktury textilie. Testovací obrazec je zobrazen na obrázku 3.



Obrázek 3: Náhled restovacilno obrazce pro sitotisk

Tabulka 1: Šablona se síťovinou 77/48 – přehled kombinací tiskových formulací a textilních materiálů

	02_17	5_11	PE874	P1
<b>Netkaná textilie</b>	✓	×	×	✓
<b>Netkaná textilie + primer</b>	✓	×	×	✓
<b>Bambus</b>	✓	×	×	✓
<b>Bambus + primer</b>	✓	×	×	✓
<b>Tencel</b>	✓	×	×	✓
<b>Tencel + primer</b>	✓	×	×	×
<b>Polyester (Amanda)</b>	✓	×	×	✓
<b>Polyester (Amanda) s PUR membránou</b>	✓	×	×	✓
<b>Polyester (Intercolor)</b>	✓	×	×	✓
<b>Polyester (Intercolor) s PUR membránou</b>	✓	×	×	✓

Tabulka 2: Šablona se síťovinou 43/80 – přehled kombinací tiskových formulací a textilních materiálů

	02_17	05_11	PE874	P1
<b>Netkaná textilie</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Netkaná textilie + primer</b>	✓	×	×	✓
<b>Bambus</b>	✓	✓	✓	✓
<b>Bambus + primer</b>	✓	×	×	✓
<b>Tencel</b>	✓	×	×	✓
<b>Tencel + primer</b>	×	×	×	×
<b>Polyester (Amanda)</b>	✓	×	×	✓
<b>Polyester (Amanda) s PUR membránou</b>	✓	×	×	✓
<b>Polyester (Intercolor)</b>	✓	×	×	✓
<b>Polyester (Intercolor) s PUR membránou</b>	✓	×	×	✓

Po natištění všech textilních materiálů následovala měření odporu pomocí čtyřbodové metody. Hodnoty naměřených elektrických odporů byly přeočteny na povrchový odpor (1) a jsou zobrazeny v příloze J1–L1.

$$R_{sq} = \frac{\rho}{\text{počet čtverců}} \quad (4)$$

kde  $\rho$  je naměřený elektrický odpor a *počet čtverců* je vypočítaná hodnota z podílu délky a šířky vytištěných motivů.

Poté následovaly ohybové a tahové testy, které spočívaly v měření povrchového odporu dvoubodovou metodou mezi jednotlivými ohybovými a tahovými cykly. Pro ohybové a tahové testy byla modifikována microdispensingová tiskárna, na kterou byly přidělaný dvě čelisti vzdálené od sebe 35 mm, do kterých byl upnut testovaný vzorek. Během ohybového testování se jedna z čelistí přibližovala k druhé vždy o 15 mm a poté zpět do původní polohy. Poloměr ohybu byl 0,7 cm. Měření povrchového odporu probíhalo po 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 a 500 cyklech. Pro ohybové testování byly vybrány dva druhy textilních materiálů, netkaná textilie a bambusová viskóza. Tahové testy spočívaly v oddalování jedné čelisti od druhé, a to o 10 mm. Testovaná bambusová viskóza byla natažena o 28 %. Měření povrchového odporu u tahových testů probíhalo po 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 70, 90 a 110 cyklech. Tahové testy byly provedeny pouze pro bambusovou viskózu.

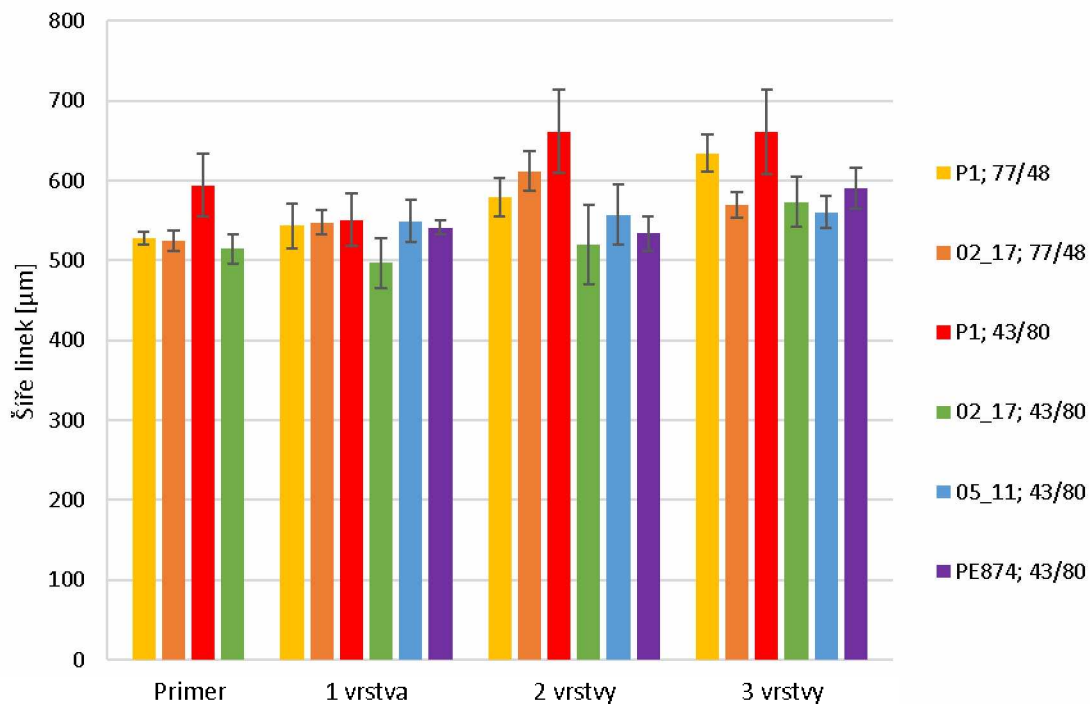
U ohybových a tahových testů byly hodnoty naměřeného elektrického odporu vztaženy k počáteční hodnotě elektrické odporu. Jedná se o hodnotu, která vyjadřuje relativní změnu elektrického odporu v závislosti na cyklech mechanického namáhání:

$$R/R_0 \quad (5)$$

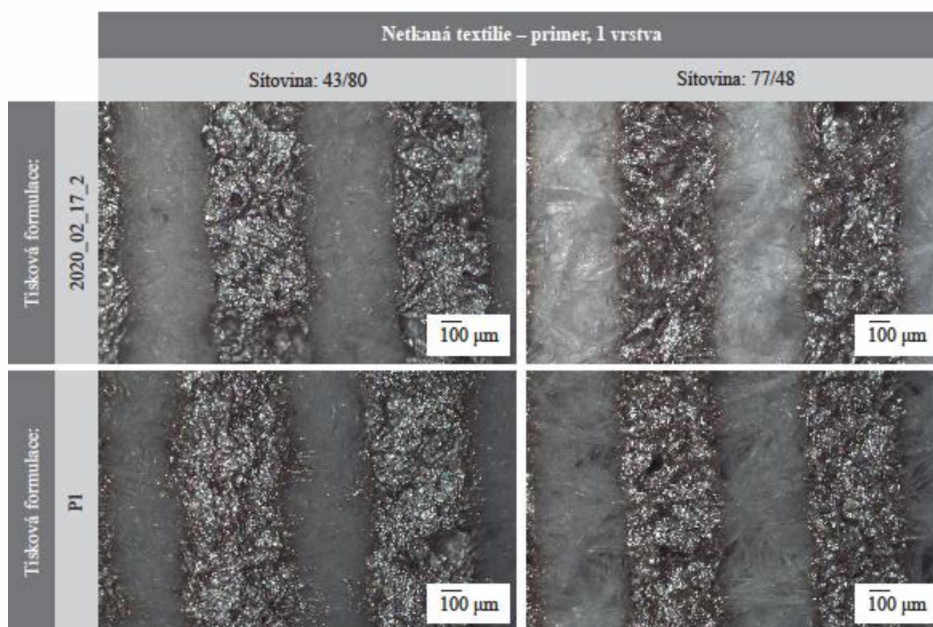
### 2.4.1.1 Hodnocení kvality tisku – sítotisk

U vytištěných testovacích obrazců byly zhotoveny snímky pomocí optického mikroskopu Nikon Eclipse LV-DIA-N a programu NIS Elements BR. Snímány byly pouze vybrané prvky, mezi které patří písmo o velikosti 7 b, svislá linka o tloušťce 250  $\mu\text{m}$ , anténa. Následně byla změřena šířka linek na šesti místech v případě antény a na třech místech u 250  $\mu\text{m}$  linky. Poté byly tyto naměřené hodnoty zprůměrovány. Mikroskopické snímky antény a její naměřené hodnoty šíře linek jsou zobrazeny na obrázcích 4-18. Další snímky s příslušnými obrázky jsou součástí přílohy B1–I2.

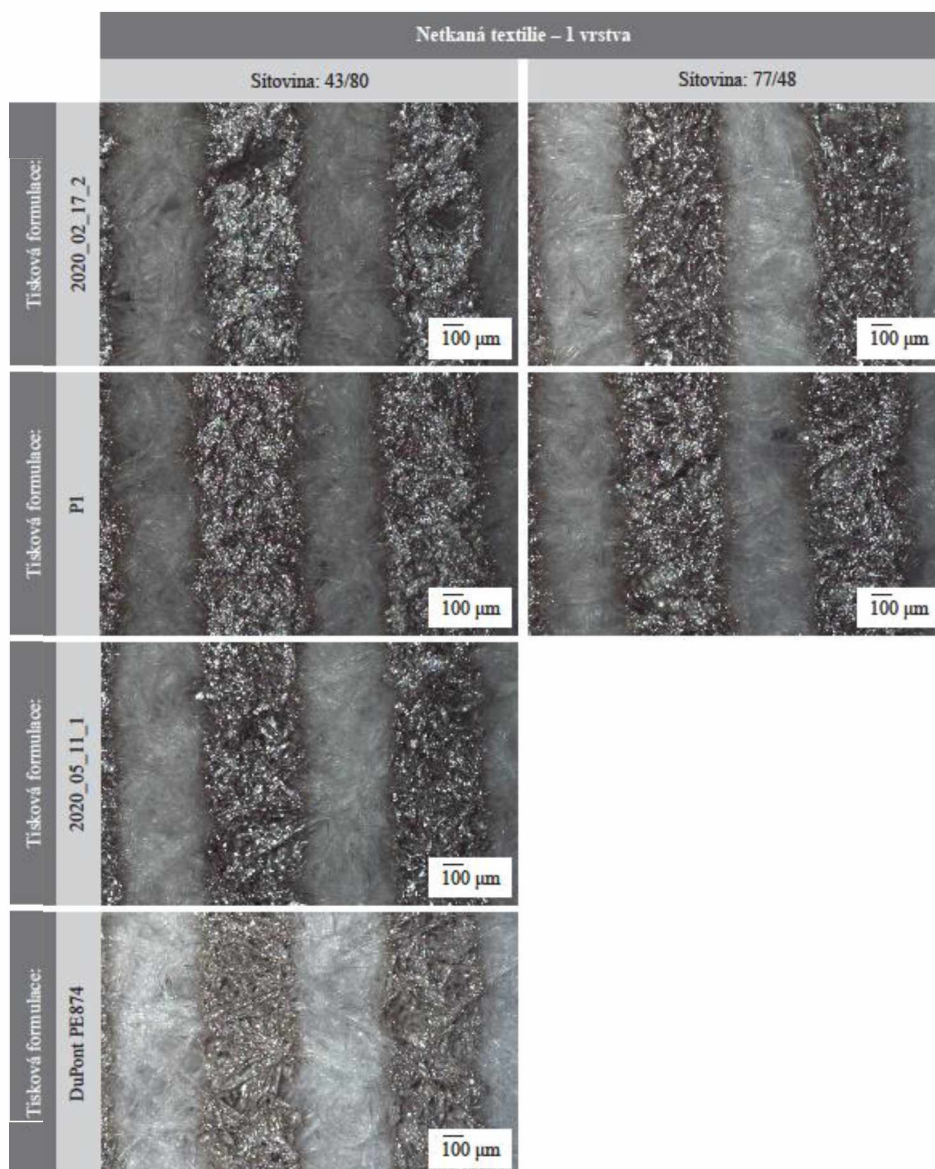
Šíře linek naměřené na netkané textilií u antény (obr. 4) se nepatrně rozšiřují s přibývajícím počtem vrstev. V případě netkané textilie dosahují jednotlivé tiskové formulace velmi podobných výsledků. Pouze tisková formulace P1 vytištěná oběma šablonami dosahuje nepatrně horších výsledků než ostatní tiskové formulace. Nominální hodnota šíře linky u antény je 500  $\mu\text{m}$ . Mikroskopické snímky antény na netkané textilií jsou na obrázcích 5–8. Obdobné rozdíly v šíři linek byly zjištěny i u dalšího měřeného prvku, u 250  $\mu\text{m}$  linka (obr. 1 v příloze A1). Z měření šíře 250  $\mu\text{m}$  linky vyplývá, že všechny vytištěné linky jsou podstatně širší než požadovaný rozměr. Šířka linek byla ovlivněna zejména počtem vrstev. Nejbližší nominální hodnotě byla tisková formulace 02\_17, která byla vytištěna šablonou se sítovinou 43/80 v jedné vrstvě na netkanou textilií s vrstvou primeru. Naměřené hodnota šířky u této tiskové formulace byla  $253,98 \pm 8,90 \mu\text{m}$ . Nepatrně vyšší hodnota  $254,79 \pm 8,75 \mu\text{m}$  byla i u stejné tiskové formulace, která byla vytištěna stejnou šablonou na netkané textilií bez primeru. Rozlišení 7 b písma bylo na netkané textilií velice dobré i s přibývajícím počtem vrstev. Výjimkou bylo 7 b písmo tištěné šablonou se sítovinou 43/80 tiskovou formulací 02\_17, které bylo v případě jedné vrstvy téměř nečitelné nebo byla písmena nekompletní. Mikroskopické snímky 250  $\mu\text{m}$  linky a 7 b písma jsou na netkané textilií v přílohách B1–E1.



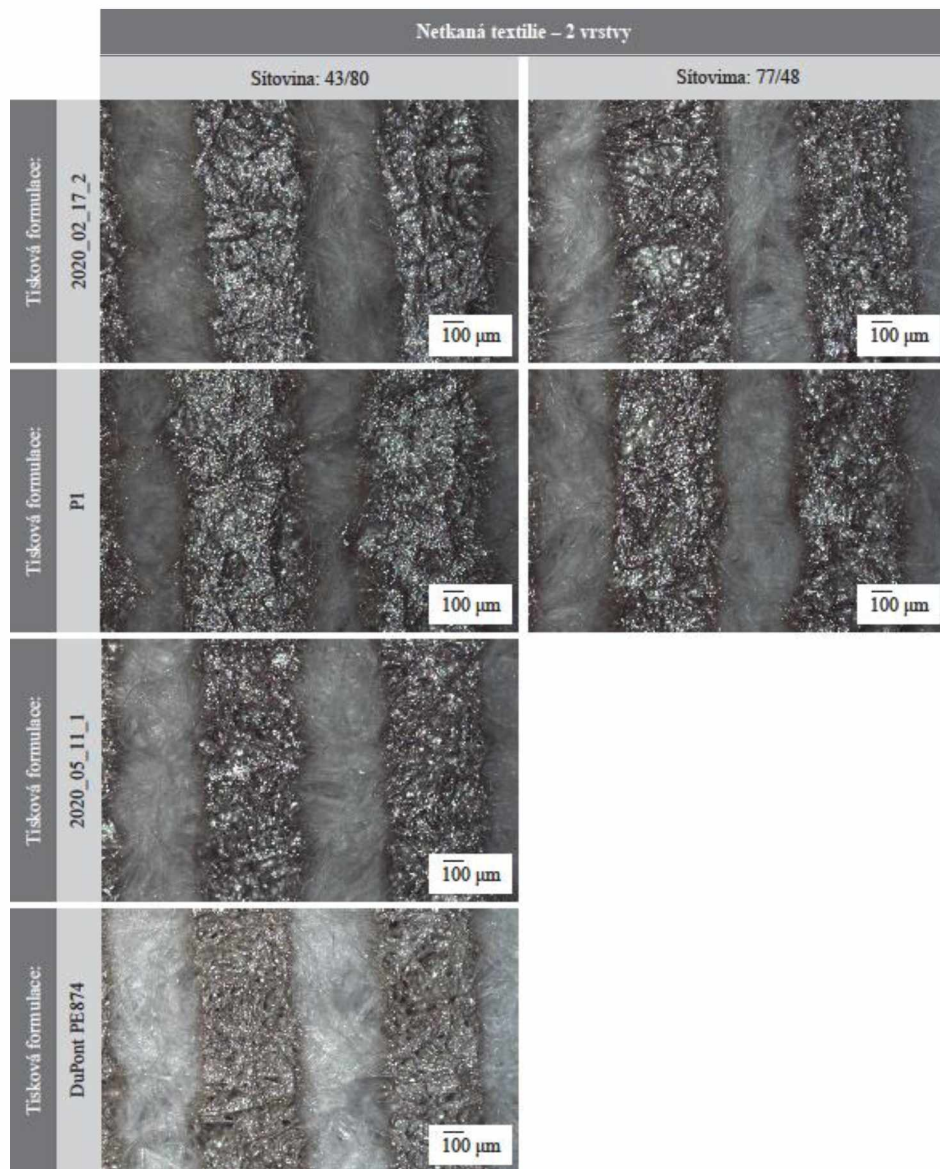
Obrázek 4: Naměřené šíře linek u antény, s nominální hodnotou šíře linky 500 µm, vytištěné na netkanou textilií tiskovými formulacemi P1, 02\_17, 05\_11 a DuPont PE874



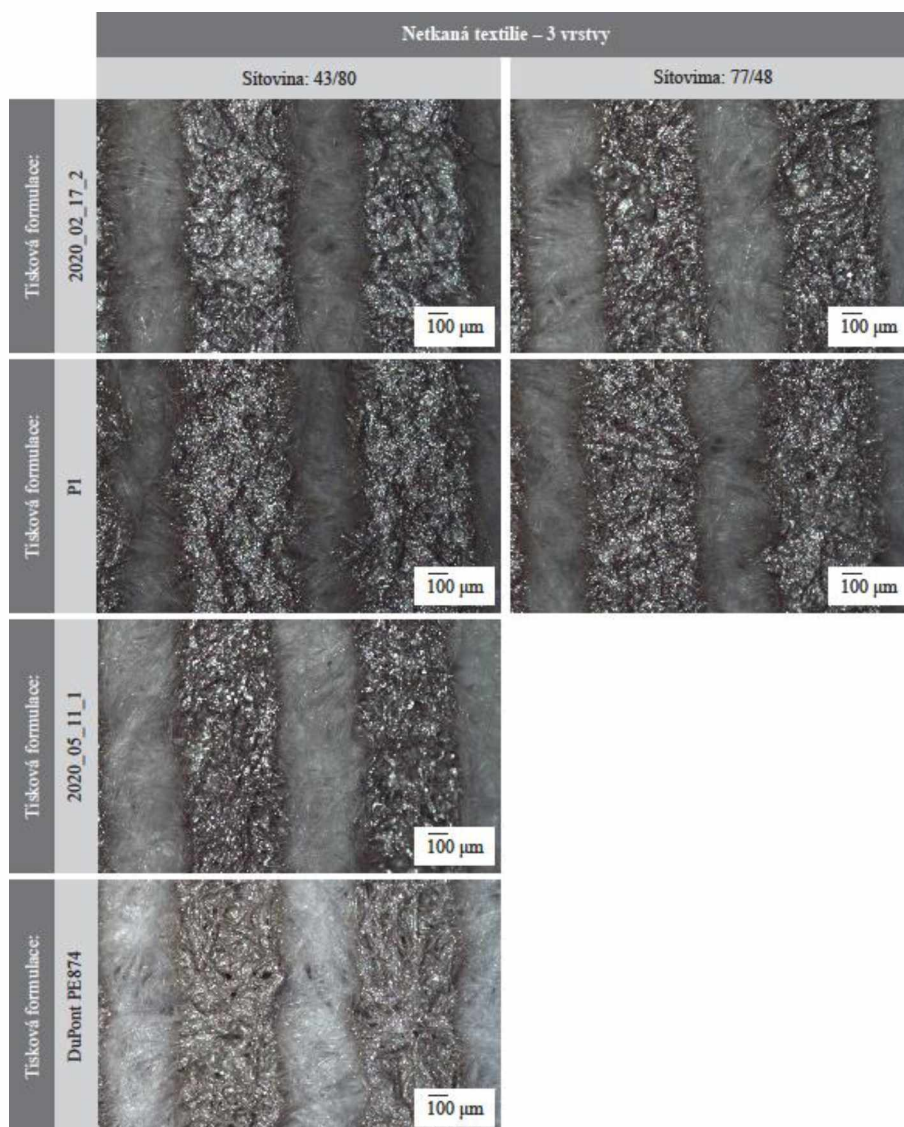
Obrázek 5: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500 µm, tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 v jedné vrstvě na netkanou textilií opatřenou vrstvou primeru



Obrázek 6: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500 µm, tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 v jedné vrstvě na netkanou textilii

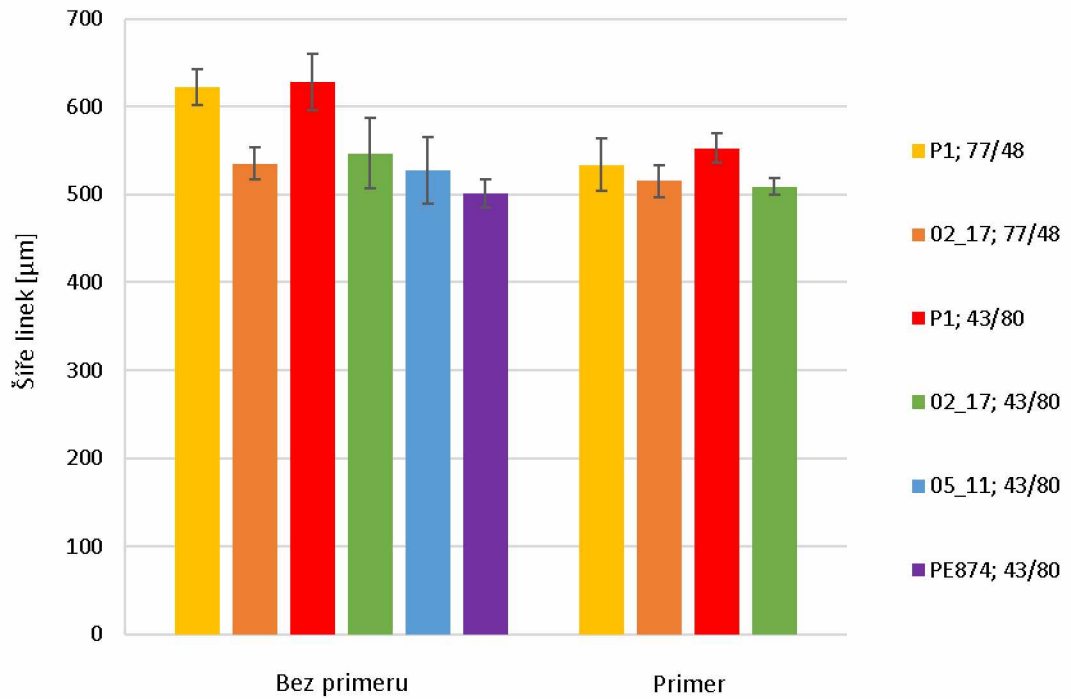


Obrázek 7: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500 µm, tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 ve dvou vrstvách na netkanou textilii

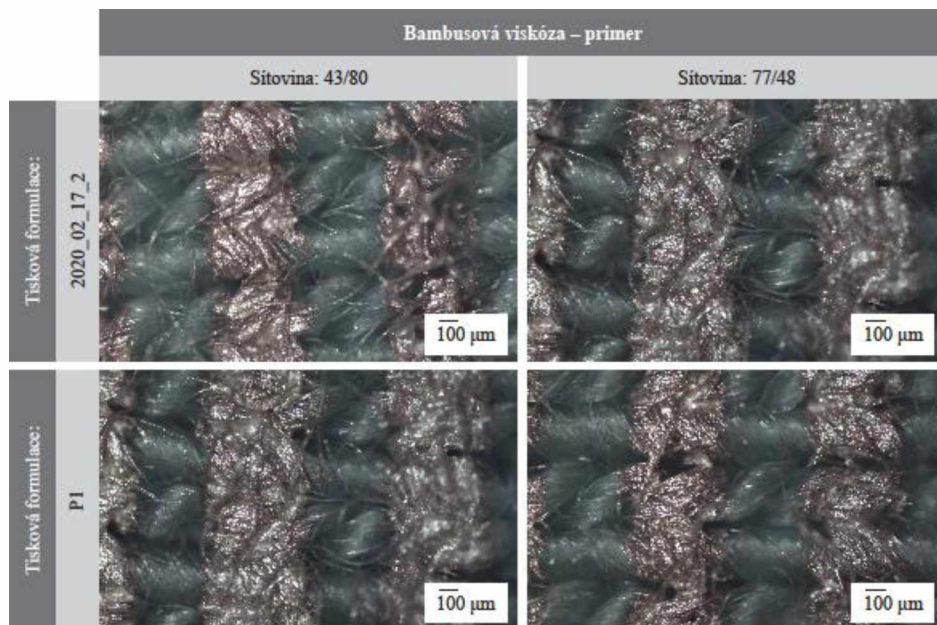


Obrázek 8: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 ve třech vrstvách na netkanou textilii

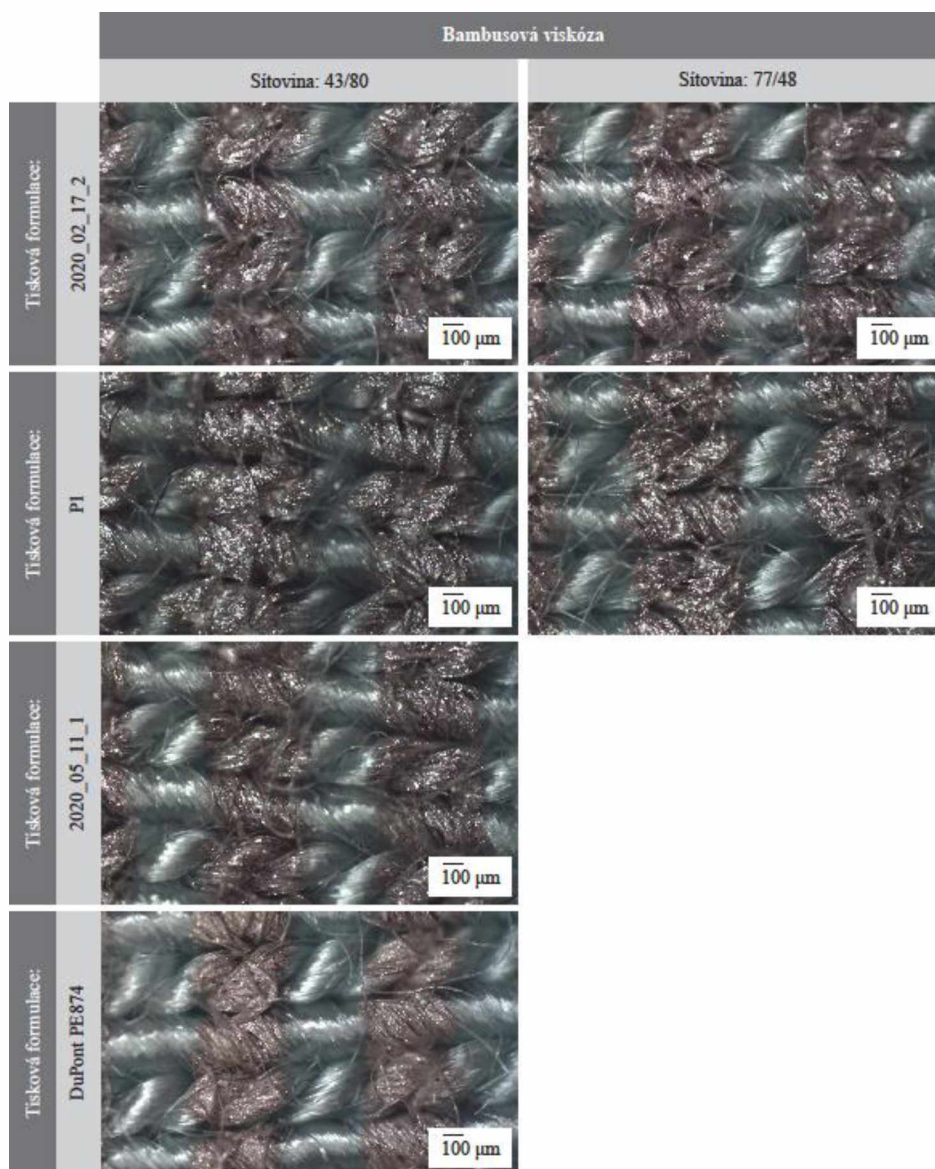
V případě bambusové viskózy s primerem (obr. 9–11) lze pozorovat menší šíři linek než na bambusové viskóze bez primeru. U tiskové formulace P1 jsou opět širší linky větší ve srovnání s dalšími tiskovými formulacemi. Linka o nominální šíři 250  $\mu\text{m}$  (obr.2 v příloze A1), na bambusové viskóze bez primeru, byla u tiskové formulace 02\_17 tištěné šablonou se sítovinou 77/48 užší než nominální hodnota. Naměřená hodnota byla  $208,17 \pm 11,03 \mu\text{m}$ . Blízko nominální hodnotě byly i tiskové formulace 05\_11, u které byla naměřená hodnota  $248,25 \pm 15,07 \mu\text{m}$  a DuPont PE874, která byla o šířce  $262,97 \pm 10,03 \mu\text{m}$ . Pro obě tiskové formulace byla použita šablona se sítovinou 43/80. Rozlišení 7 b písma bylo horší u bambusové viskózy s primerem než bez primeru, obzvláště pak u tiskové formulace 02\_17. Mikroskopické snímky 250  $\mu\text{m}$  linky a 7 b písma na bambusové viskóze jsou v přílohách E2–F2.



Obrázek 9: Naměřené šíře linek u antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , vytištěné na bambusovou viskózu tiskovými formulacemi P1, 02\_17, 05\_11 a DuPont PE874

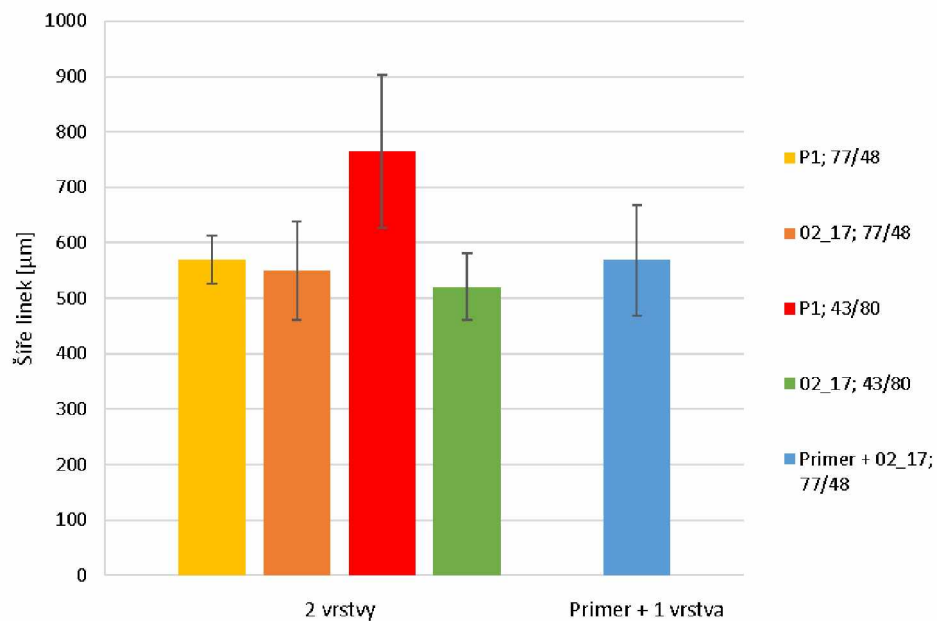


Obrázek 10: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 na bambusovou viskózu opatřenou vrstvou primeru

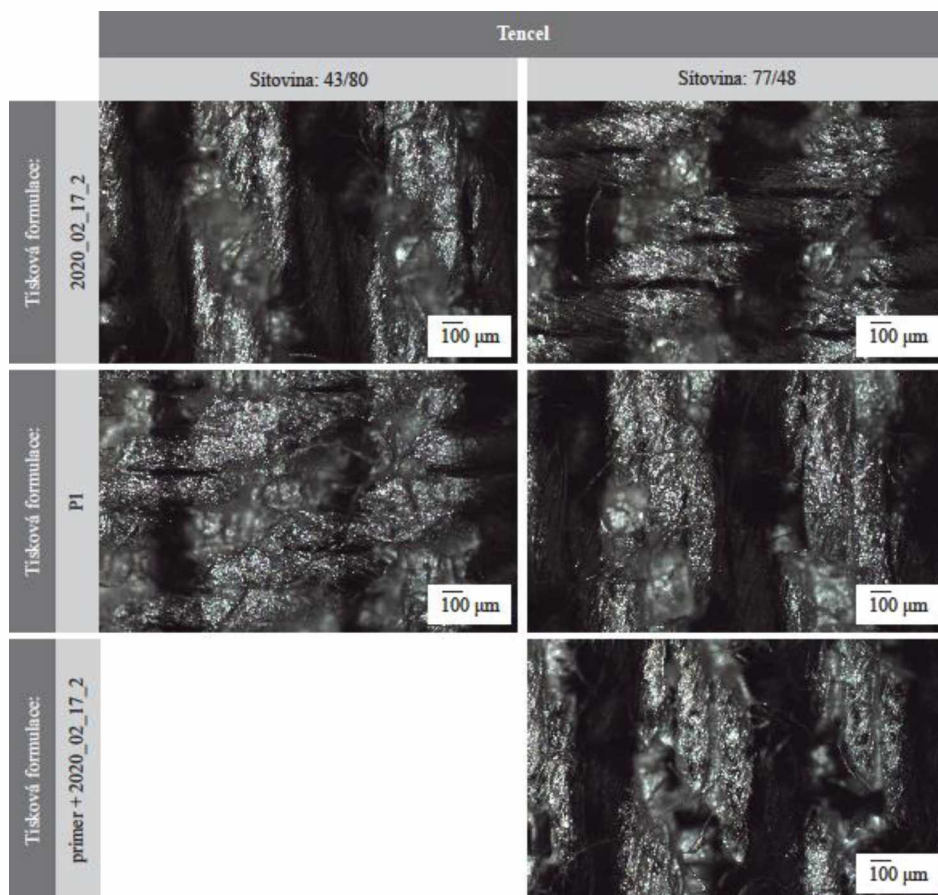


Obrázek 11: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 na bambusovou viskózu

Na tkanině Tencel (obr. 12–13) vykazovala výraznější rozdíl v naměřené šířce formulace P1. Nejužší naměřená šířka linky u tohoto textilního materiálu byla u tiskové formulace 02\_17. Tato formulace vykazovala podobné nebo menší šířky i u předchozích textilních materiálů. V případě Tencelu se linka, která měla být široká 250  $\mu\text{m}$  (obr. 3 v příloze A2) neblížila nominální hodnotě ani u jedné z tiskových formulací. Linky byly vždy širší, důvodem by mohly být dva tisky tiskovou formulací a hrubá struktura textilního materiálu. Rozlišení 7 b písma bylo u tohoto textilního materiálu poměrně špatné. Vlivem vláknité struktury a tiskem dvou vrstev docházelo k různým deformacím písmen. Mikroskopické snímky 250  $\mu\text{m}$  linky a 7 b písma na tkanině Tencel jsou v přílohách G1–G2.

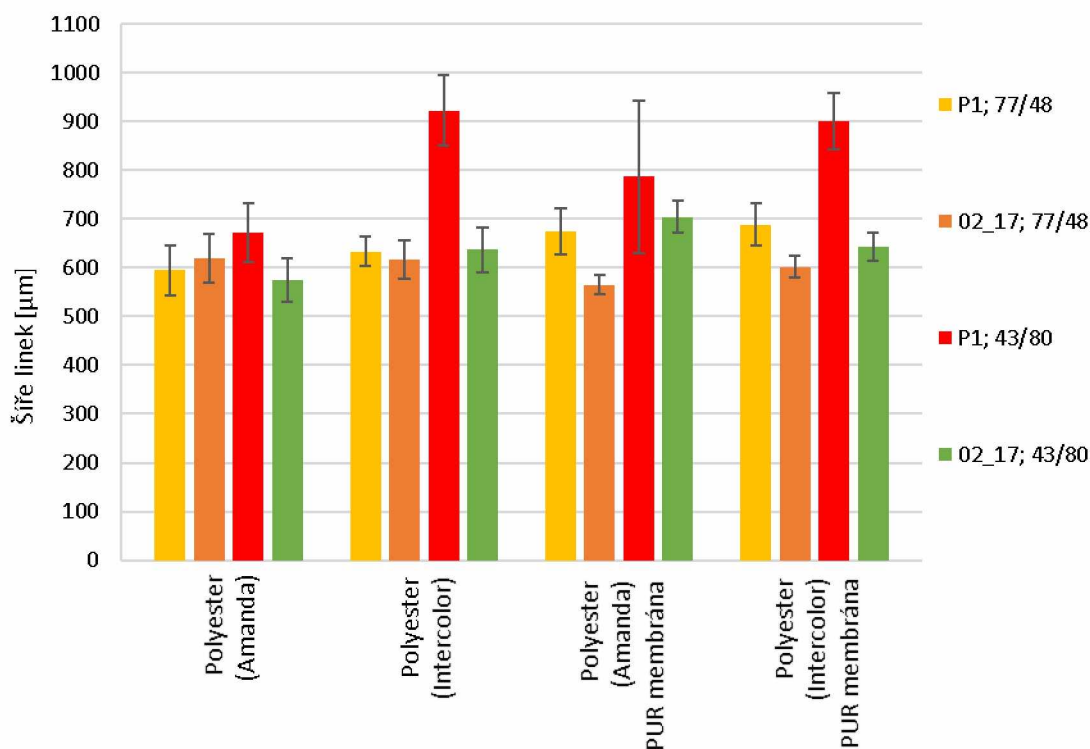


Obrázek 12: Naměřené šíře linek u antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , vytištěné na tkanině Tencel tiskovými formulacemi P1 a 02\_17

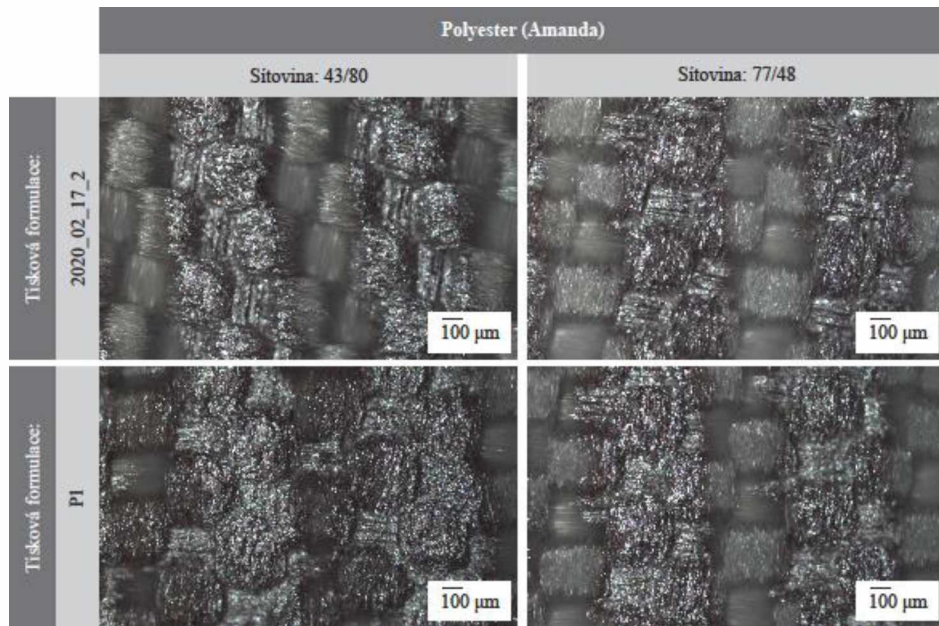


Obrázek 13: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 na tkaninu Tencel

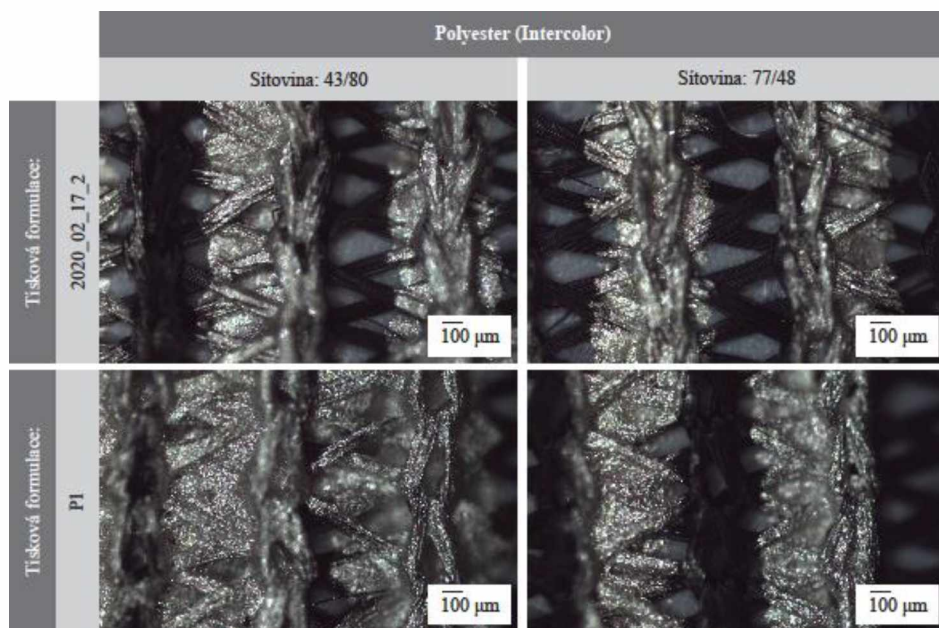
Výrazně širší linky byly naměřeny na obou polyesterových textiliích (obr. 14), obzvláště pak na straně s PUR membránou. Důvodem naměřené větší šíře na polyesterových textiliích s PUR membránou může být jejich hladký povrch. Mikroskopické snímky antény na polyesterové textilii jsou na obrázcích 15–18. Šířka 250  $\mu\text{m}$  linky (obr. 4 v příloze A2) byla stejně jako v předchozích případech širší než nominální hodnota. Nejvíce se jí ovšem blížila opět tisková formulace 02\_17, která byla tištěna za použití šablony se sítovinou 77/48 na polyesterovou textilii (Intercolor). Naměřená hodnota šířky byla  $274,83 \pm 8,01 \mu\text{m}$ . Písmo o velikosti 7 b bylo na polyesterové textilii (Amanda) značně rozšířeno u tiskové formulace P1, která byla tištěna šablonou se sítovinou 43/80. Stejnou šablonou bylo vytištěno písmo tiskovou formulací 02\_17, které v tomto případě bylo nekompletní. U stejné textilie, ale ze strany s PUR membránou, došlo k ještě výraznějšímu rozšíření písma než na lícové straně. Písmo na polyesterové textilii (Intercolor) bylo ve všech případech nečitelné, důvodem by mohla být její hrubá struktura. Mikroskopické snímky 250  $\mu\text{m}$  linky a 7 b písma na polyesterových textiliích jsou v příloze H1–I2.



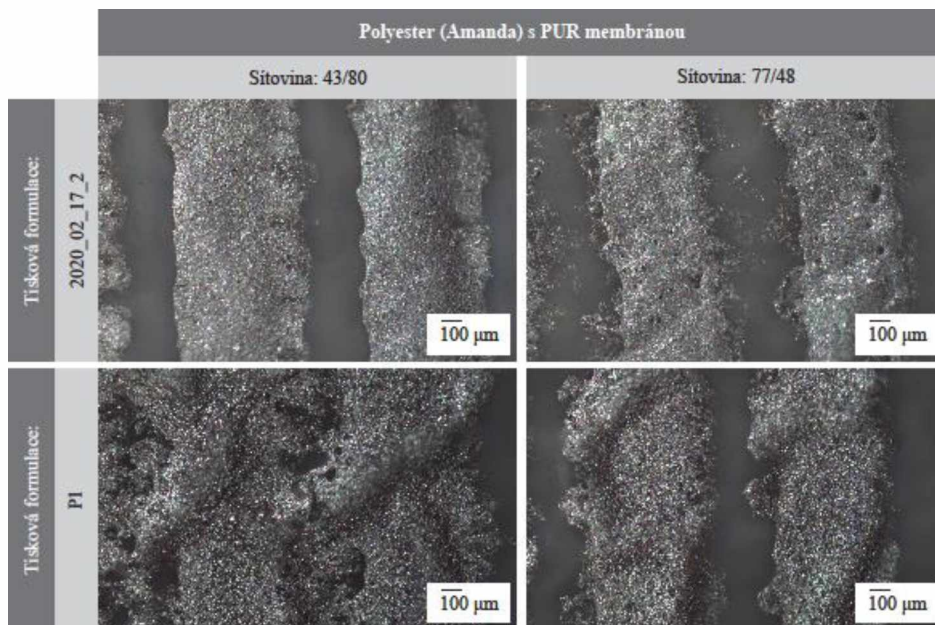
Obrázek 34: Naměřené šíře linek u antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , vytištěné na polyesterové textilii Amanda a Intercolor tiskovými formulacemi P1 a 02\_17



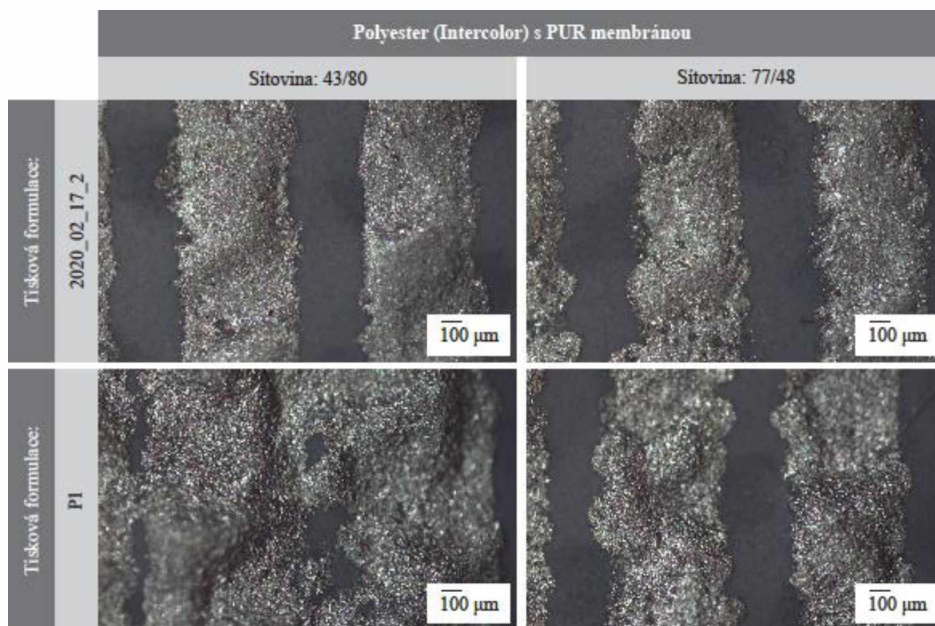
Obrázek 15: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 na polyesterovou textilií (Amanda)



Obrázek 16: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 na polyesterovou textilií (Intercolor)



Obrázek 17: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 na polyesterovou textilií (Amanda) s PUR membránou

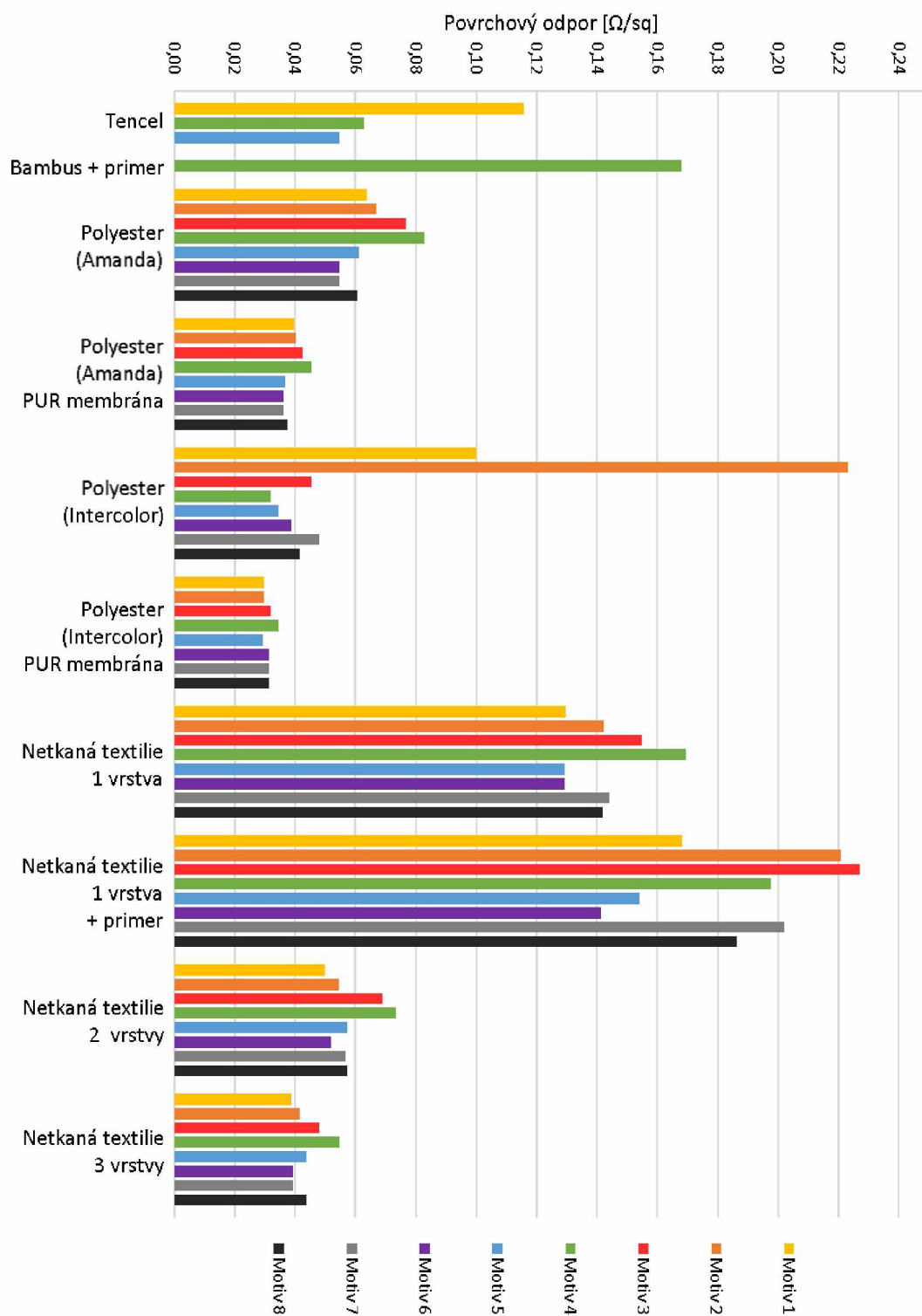


Obrázek 18: Mikroskopické snímky antény, s nominální hodnotou šíře linky 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 na polyesterovou textilií (Intercolor) s PUR membránou

#### **2.4.1.2 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací P1 v závislosti na textilním materiálu**

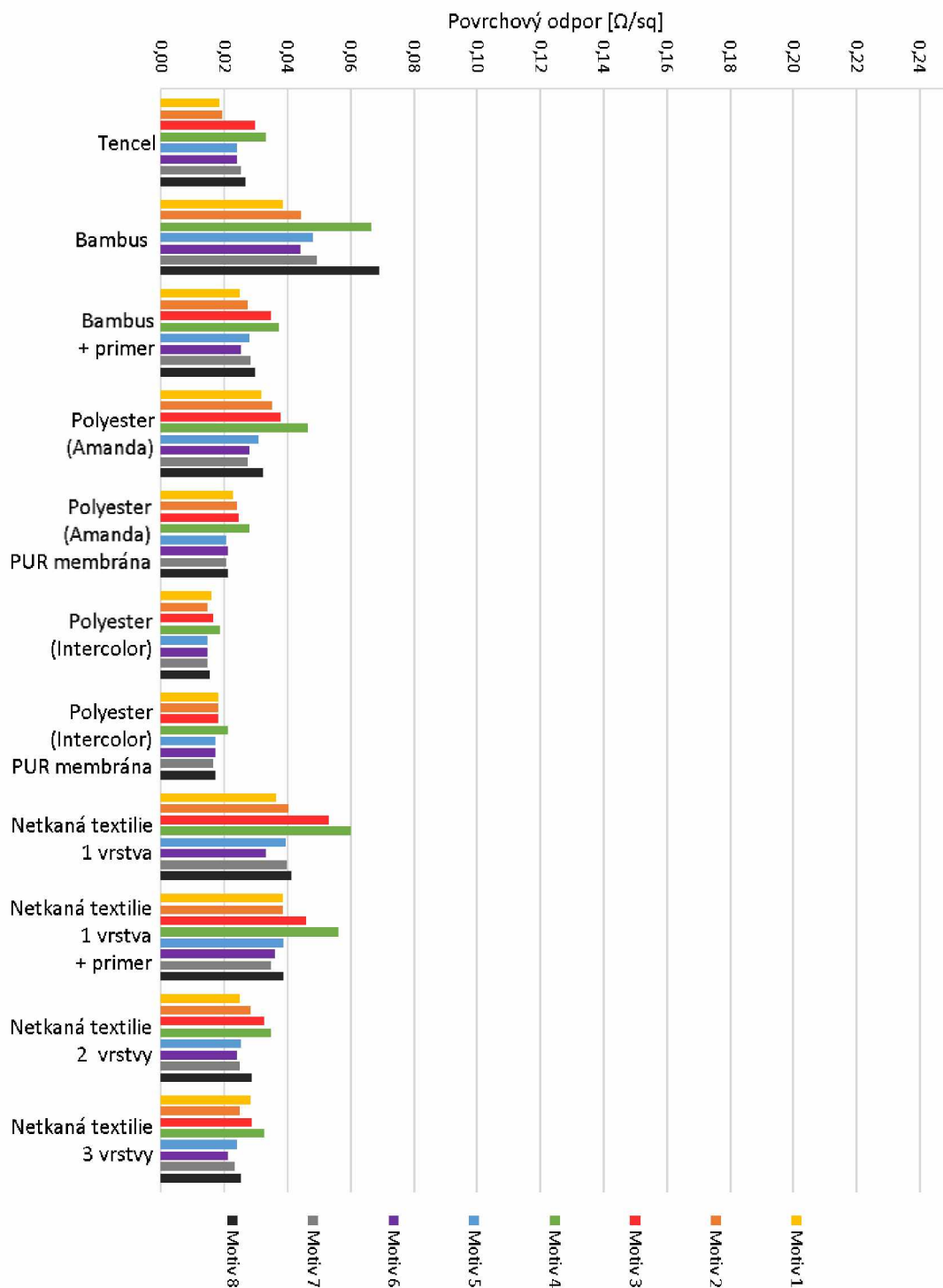
Z textilních materiálů potištěných tiskovou formulací P1 pomocí šablony se sítovinou 77/48 (obr. 19) vykazovaly nejvyšší hodnoty povrchových odporů tištěné motivy na netkanou textilií s jednou vrstvou tiskové formulace a primeru a netkanou textilií s jednou vrstvou tiskové formulace. Nejnižších hodnot povrchového odporu dosahovalo měření u polyesterové textilie (Intercolor) s PUR membránou. Nejhorší výsledky vykazovaly opět vodivé dráhy na bambusové viskóze, kvůli její vysoké absorpci a struktuře povrchu. Tabulka s uvedenými hodnotami naměřenými u textilií potištěných pomocí šablony se sítovinou 77/48 jsou uvedeny v tabulce 3 v příloze K1.

Obrázek 19: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací P1, šablonou se síťovinou 77/48 na různé textilní materiály



Textilie potištěné pomocí šablony se sítovinou 43/80 (obr. 20) vykazují nižší hodnoty stanoveného povrchového odporu. Je to dáno přenosem většího množství tiskové formulace oproti šabloně se sítovinou 77/48. Nejvyšší povrchový odpor byl naměřen u bambusové viskózy a netkané textilie s jednou vrstvou tiskové formulace. Tyto hodnoty však výrazně nepřevyšují hodnoty povrchového odporu naměřené u ostatních textilií. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4 v příloze K2. Z grafu je též patrné, že pro netkanou textilií při tisku 2 vrstev dochází k poklesu povrchového odporu. U třetí vrstvy daný pokles již není tak markantní.

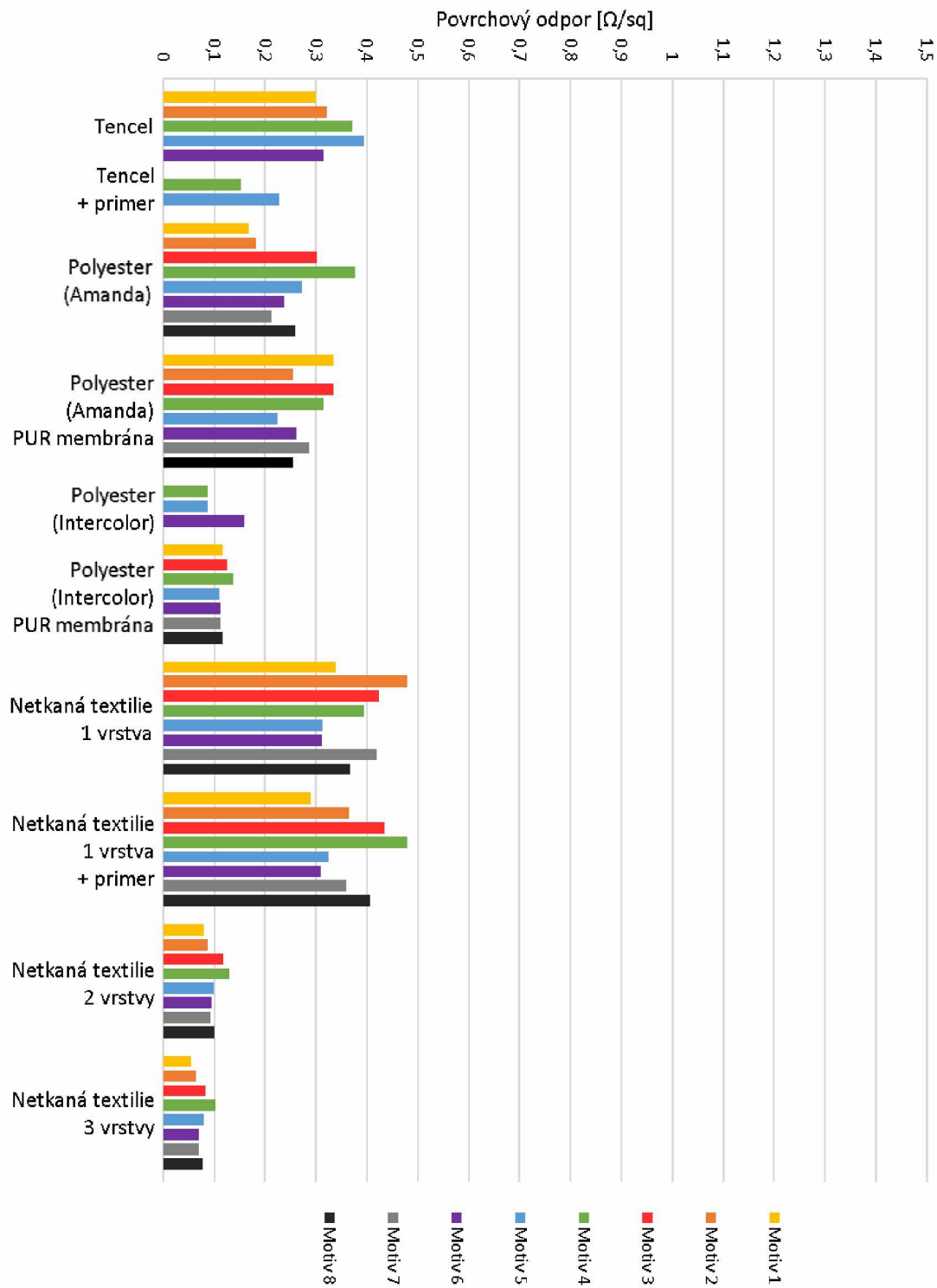
Obrázek 20: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací P1, šablonou se slovinou 43/80 na různé textilní materiály



### **2.4.1.3 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací 2020\_02\_17\_2 v závislosti na textilním materiálu**

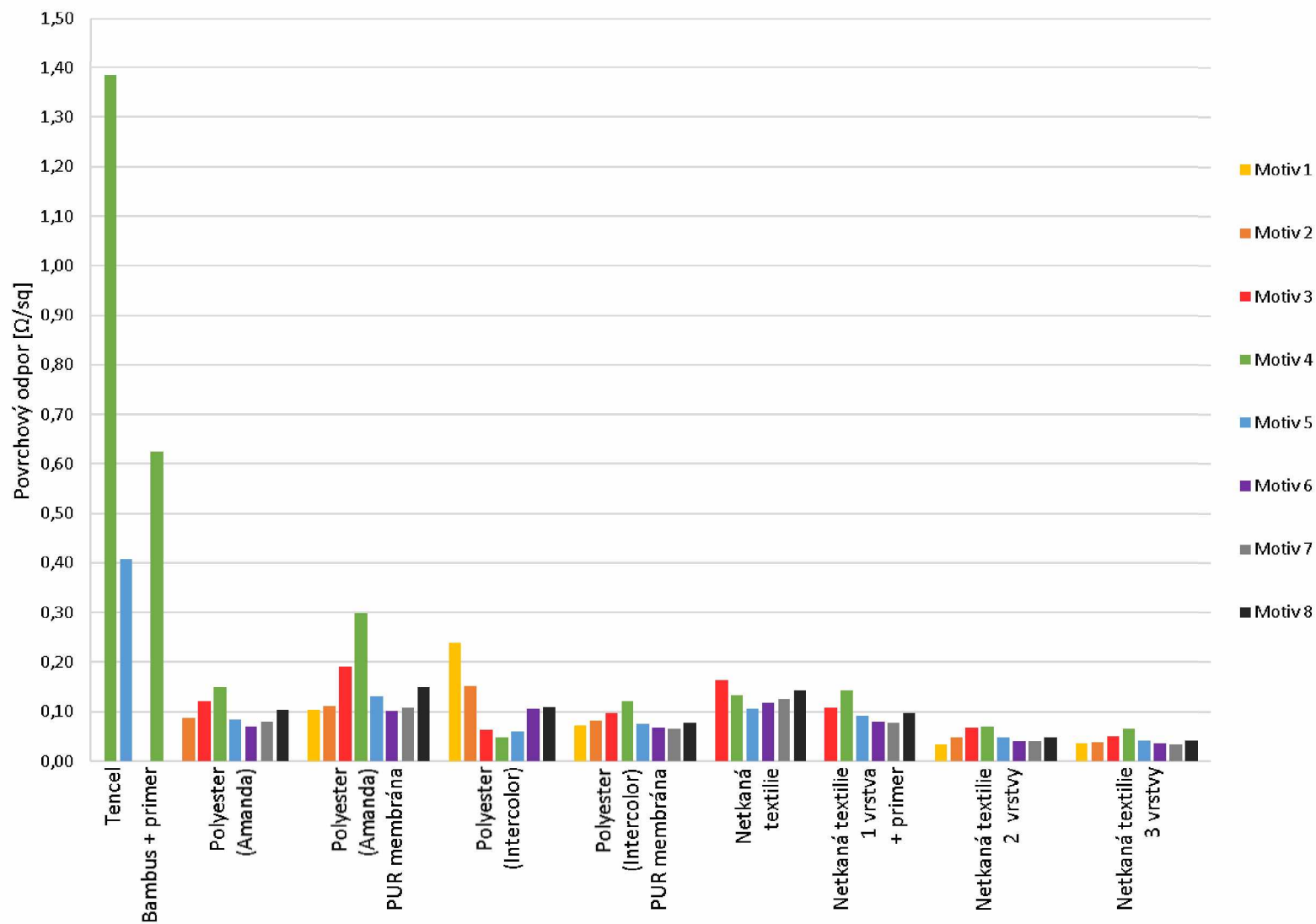
Tisková formulace 02\_17 byla natištěna pomocí sítotisku na jednotlivé textilní materiály. Následně byla posuzována její vhodná kombinace s jednotlivými textilními materiály s ohledem na výši naměřené hodnoty povrchového odporu. Hodnoty povrchového odporu pro šablonu se sítovinou 77/48 jsou zobrazeny na obrázku 21. Z tohoto grafu je patrné, že nejnižší hodnota povrchového odporu byla naměřena u netkané textilie potištěné třemi vrstvami. Naopak nejvyšší naměřený povrchový odpor vodivých drah byl naměřen u textilního materiálu z bambusové viskózy a bambusové viskózy opatřené jednou vrstvou primeru. Tyto hodnoty se pohybovaly v řádu až několika  $M\Omega$ , neboť vodivé dráhy vlivem struktury substrátu byly významně přerušeny. Z důvodu přehlednosti grafu nebyly tyto hodnoty zpracovány do grafu, jsou však uvedeny v tabulce 1, která je v příloze J1.

Obrázek 21: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací 02\_17, šablonou se síťovinou 77/48 na různé textilní materiály



Naměřené hodnoty povrchového odporu pro šablonu se síťovinou 43/80 jsou zobrazeny na obrázku 22. Ve srovnání s hodnotami naměřenými u předešlé šablony vykazovaly testovací obrazce natištěné na textiliích nižší hodnoty povrchového odporu. Z čehož lze usoudit, že typ zvoleného síta má vliv na kvalitu, resp. spojitost vodivých drah výsledného potisku. Hodnoty naměřených povrchových odporů u všech potištěných textilií se pohybovaly v rozsahu od 0,03 do 0,3  $\Omega/\text{sq}$ . Výjimkou byly textilie Tencel a bambusová viskóza s primerem, které vykazovaly hodnoty povrchového odporu až 1,38  $\Omega/\text{sq}$ . U této šablony již nebylo možné provést tisk vodivých struktur na textili Tencel opatřenou vrstvou primeru z důvodu omezeného množství primeru. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2, která je v příloze J2. U bambusové viskózy nebyly naměřeny u žádného z motivů hodnoty povrchového odporu, důvodem byly nespojitě vodivé dráhy po tisku.

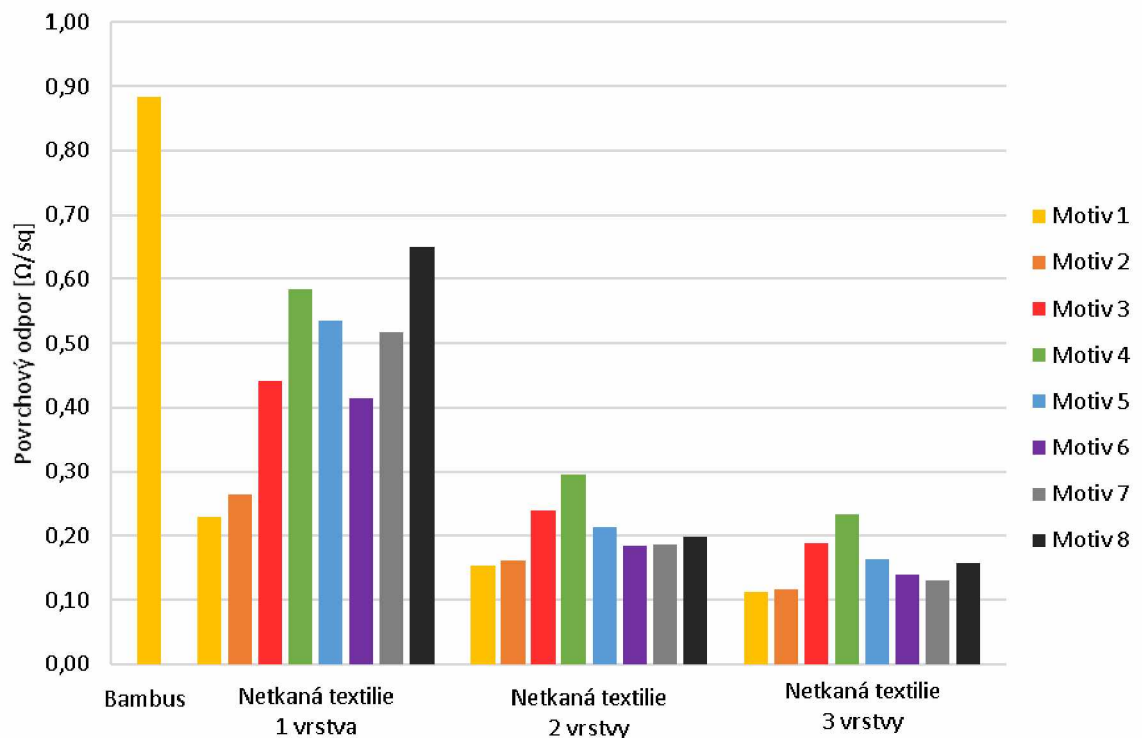
V případě, že není v grafu znázorněn sloupec pro některý z tištěných motivů, nebyla u tohoto motivu taktéž hodnota povrchového odporu měřitelná vlivem nespojitosti vodivých drah.



Obrázek 22: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací 02\_17, šablonou se síťovinou 43/80 na různé textilní materiály

#### 2.4.1.4 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací 2020\_05\_11\_1 v závislosti na textilním materiálu

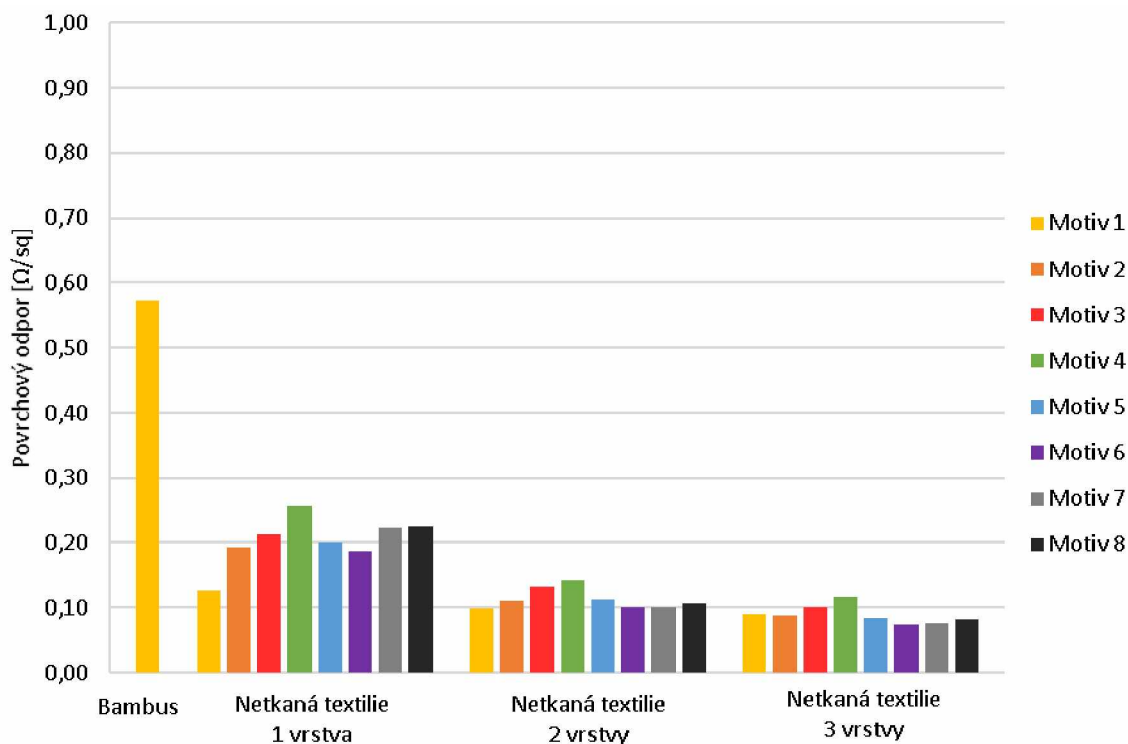
Tisková formulace 05\_11 (obr. 23) byla tištěna pouze pomocí šablony se síťovinou 43/80, a to na netkanou textilii a bambusovou viskózu. Vodivé dráhy na bambusové viskóze vykazovaly nejvyšší naměřenou hodnotu povrchového odporu. Vysoké hodnoty povrchového odporu byly naměřeny i u vodivých drah na netkané textilii. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány do tabulky 5 v příloze L1.



Obrázek 23: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací 05\_11, šablonou se síťovinou 43/80 na bambusovou viskózu a netkanou textilii

#### 2.4.1.5 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací DuPont PE874 v závislosti na textilním materiálu

Tisková formulace DuPont (obr. 24) byla, stejně jako v případě předchozí tiskové formulace, tištěna pouze pomocí šablony se síťovinou 43/80 na netkanou textilii a bambusovou viskózu. Vodivá dráha na bambusové viskóze vykazovala opět nejvyšší naměřenou hodnotu povrchového odporu. Hodnoty povrchových odporů jsou uvedeny v tabulce 6 v příloze L1.

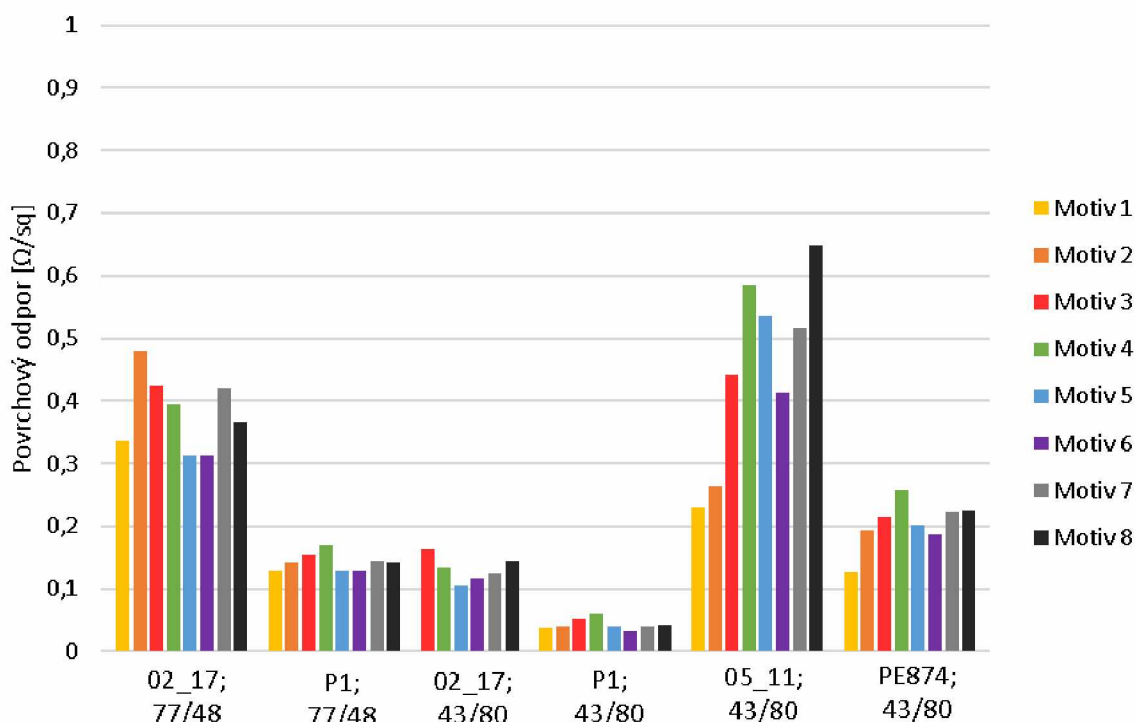


Obrázek 24: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací DuPont PE874, šablonou se síťovinou 43/80 na bambusovou viskózu a netkanou textilii

### 2.4.1.6 Porovnání povrchového odporu vodivých drah na netkané textilii v závislosti na tiskové formulaci

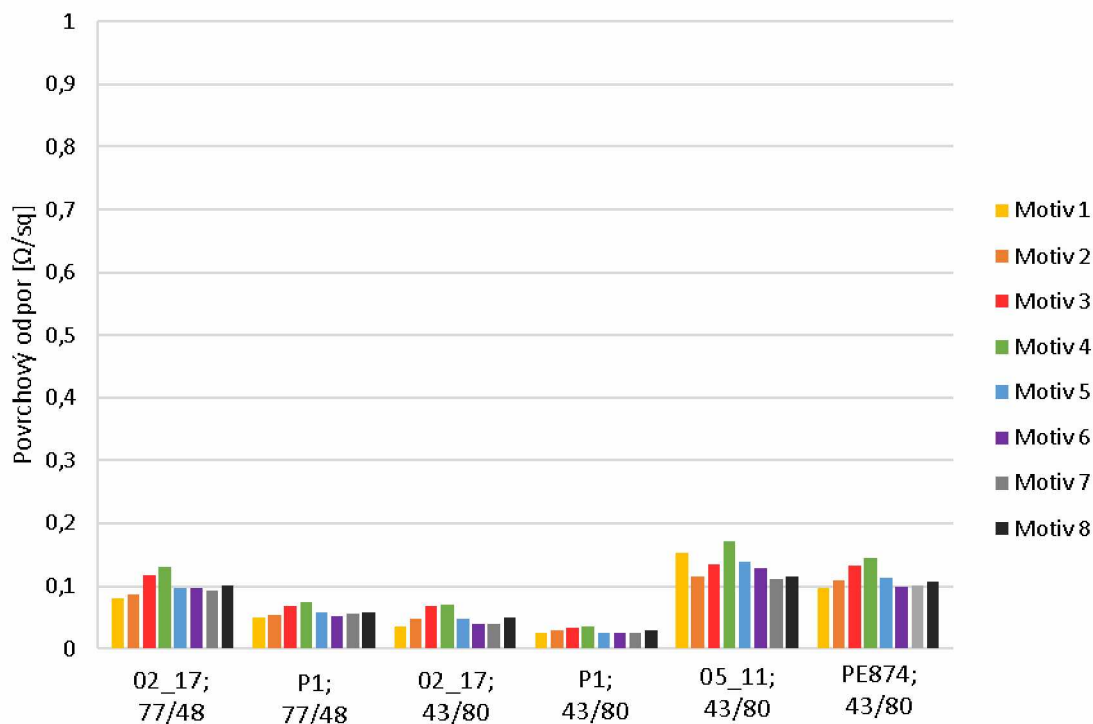
Netkaná textilie byla potištěna těmito tiskovými formulacemi, tisková formulace 02\_17, tisková formulace 05\_11, P1 a DuPont PE874. Tiskové formulace 05\_11 a DuPont PE874 byly tištěny pouze šablonou se síťovinou 43/80 a zbylé formulace byly tištěny oběma šablonami. Tiskové formulace byly natištěny a měřeny postupně v jedné, dvou a třech vrstvách.

Nejlepších hodnot naměřeného povrchového odporu (obr. 25) u vzorků s jednou vrstvou tiskové formulace dosahovaly testované obrazce vytištěné tiskovou formulací P1 s použitím šablony se síťovinou 43/80. Ale tato formulace vykazovala dobré výsledky i za použití šablony se síťovinou 77/48. V případě tiskové formulace 05\_11 byly hodnoty naměřeného povrchového odporu nejvyšší.



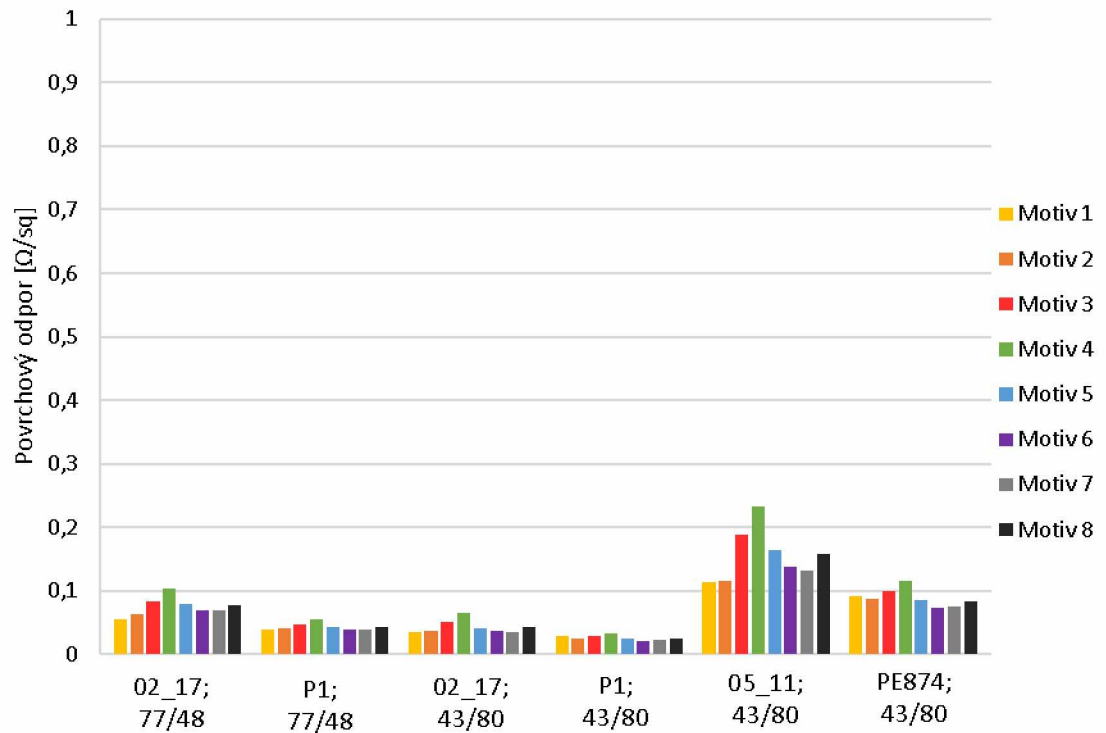
Obrázek 25: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 v jedné vrstvě, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na netkanou textilii

U tiskových formulací, které byly vytištěny ve dvou vrstvách (obr. 26) dosahovaly všechny tiskové formulace nižších hodnot povrchového odporu v porovnání s výsledky tisku s šablonou se síťovinou 77/48. O něco vyšších hodnot dosahovaly tiskové formulace 05\_11 a DuPont PE874.



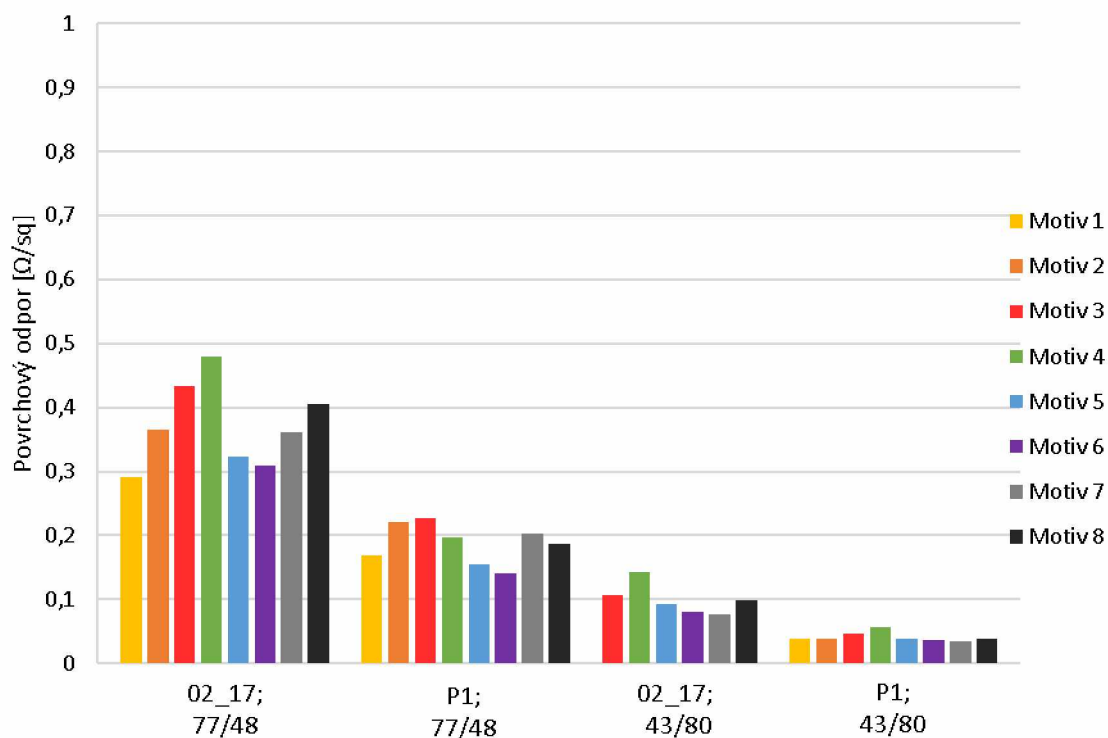
Obrázek 26: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 ve dvou vrstvách, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na netkanou textilii

Formulace vytištěné ve třech vrstvách (obr. 27) na netkanou textilií vykazovaly opět všechny tiskové formulace nízkých hodnot povrchového odporu, výjimkou je pouze formulace 05\_11, která dosahuje nepatrně vyšších hodnot. Obecně lze konstatovat, že s přibývajícím počtem vrstev tiskové formulace se hodnoty povrchového odporu snižují.



Obrázek 27: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874 ve třech vrstvách, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na netkanou textilií

Netkaná textilie byla také opatřena jednou vrstvou primeru a následně na ni byla natištěna jedna vrstva tiskové formulace (obr. 28). Pro tisk na netkanou textilií s vrstvou primeru byly použity tyto dvě formulace 02\_17 a P1. Obě tyto formulace byly tištěny šablonou se síťovinou 43/80 i 77/48. Ve srovnání s netkanou textilií, která byla pouze s jednou vrstvou tiskové formulace a bez primeru, vykazovala textilie s primerem nižší hodnoty u obou tiskových formulací. Důvodem je vytvoření hladšího povrchu a snížení penetrace tiskové formulace do struktury textilie. Výjimku tvořila tisková formulace 02\_17 tištěná šablonou se síťovinou 77/48, která dosahovala o něco vyšších hodnot.

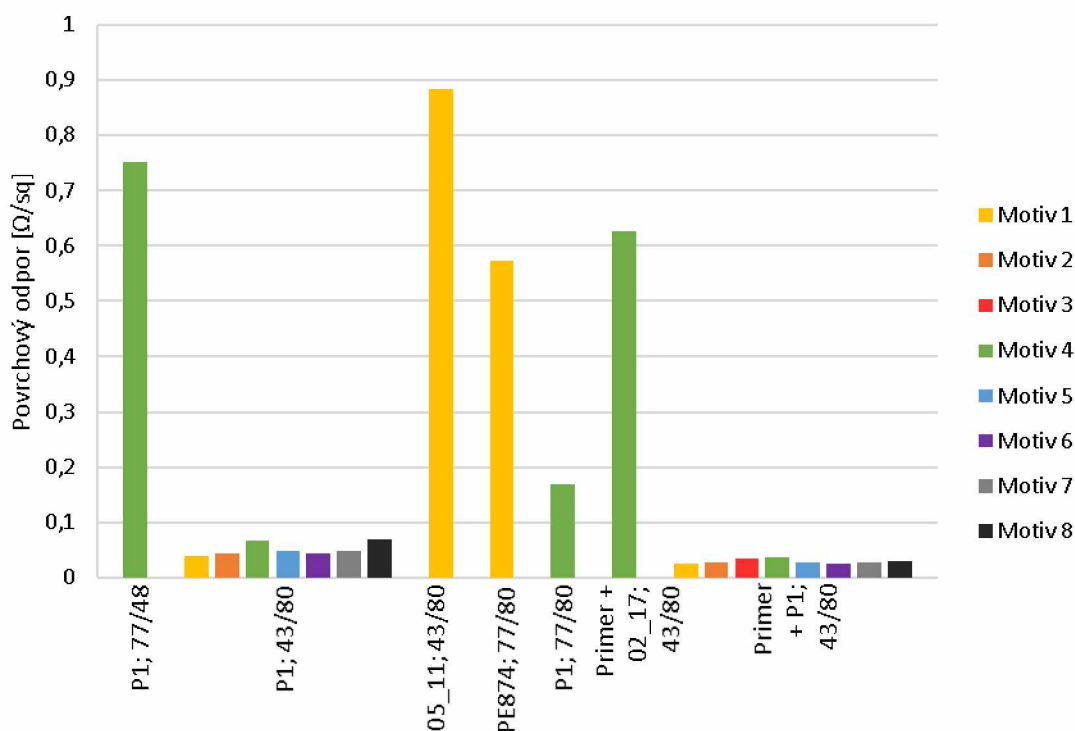


Obrázek 28: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17 a P1 v jedné vrstvě, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na netkanou textilií opatřenou vrstvou primeru

### 2.4.1.7 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných na bambusové viskóze v závislosti na tiskové formulaci

Bambusová viskóza (obr. 29) byla potištěna následovně: šablonou se síťovinou 43/80 byly tištěny formulace 02\_17, P1, 05\_11, DuPont PE874; šablonou se síťovinou 77/48 byly tištěny pouze formulace 02\_17 a P1. Bambusová viskóza, na kterou byla nanášena vrstva primeru, byla tištěna opět oběma šablonami a tiskovými formulacemi 02\_17 a P1.

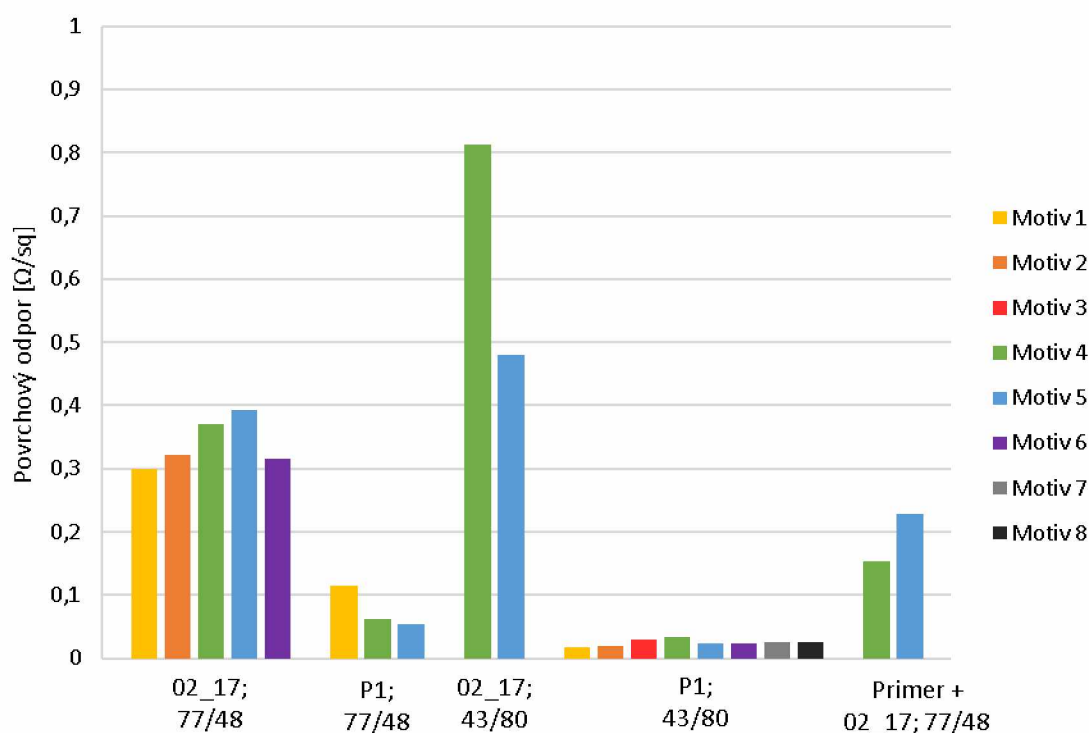
U tohoto textilního materiálu velká část testovaných prvků nebyla měřitelná nebo dosahovala vysokých hodnot v řádech až několika  $M\Omega$ . Příčinou může být velmi vysoká absorpční schopnost textilie, hrubá struktura textilie, a tak vysoká nespojitost vodivých drah vlivem malého množství nanášené tiskové formulace. Dobrých výsledků dosahovala pouze tisková formulace P1, tištěná šablonou se síťovinou 43/80, a to jak na bambusové viskóze s primerem, tak i bez něj.



Obrázek 29: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17, P1, 05\_11 a DuPont PE874, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na bambusovou viskózu

### 2.4.1.8 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných na tkanině Tencel v závislosti na tiskové formulaci

Pro tisk oběma síty na tkaninu (obr. 30) Tencel byly použity tiskové formulace 02\_17 a P1. Tisková formulace 02\_17 byla tištěna za použití šablony se síťovinou 77/48 i na tkaninu Tencel, na kterou byla před samotným tiskem formulacemi nanese vrstva primeru. Z důvodu velmi hrubé struktury této tkaniny byly nanese dvě vrstvy tiskové formulace, kromě tkaniny s primerem, u které byla pouze jedna vrstva. Nejlepších výsledků opět dosahovala kombinace tiskové formulace P1 a šablony se síťovinou 43/80. V ostatních případech byly hodnoty povrchového odporu značně vyšší nebo nebyly naměřeny vůbec. Nelze ani konstatovat, že by nanese primeru před samotným tiskem mělo zásadní vliv na zlepšení vodivosti dané textilie.

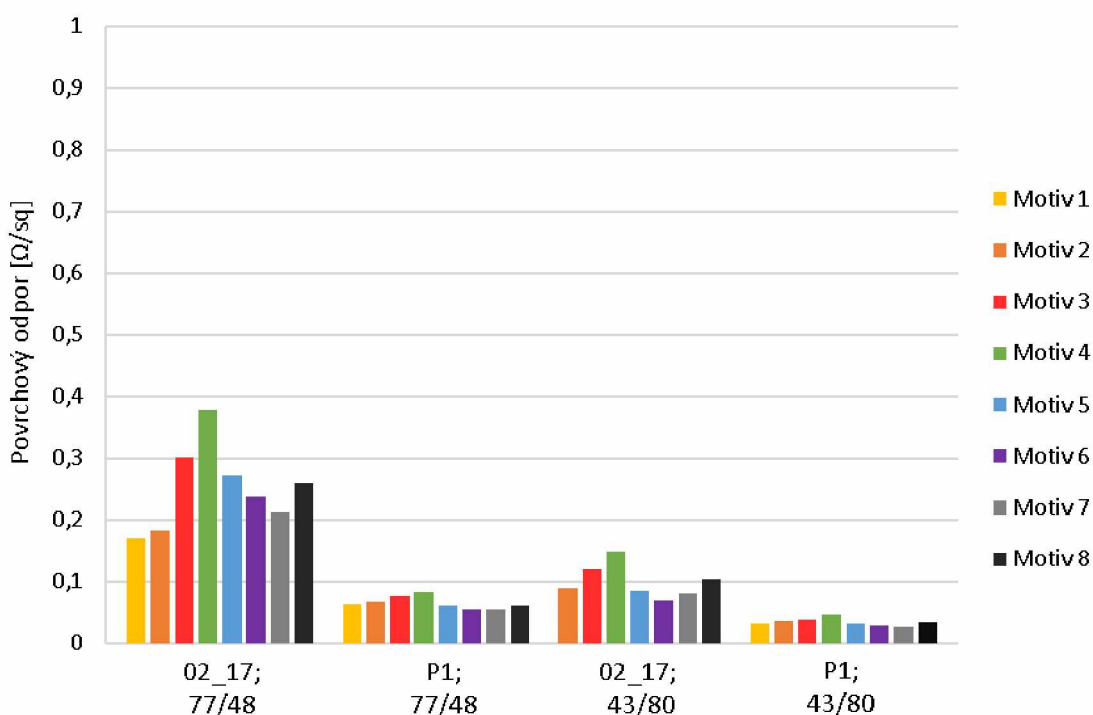


Obrázek 30: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17 a P1, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na tkaninu Tencel

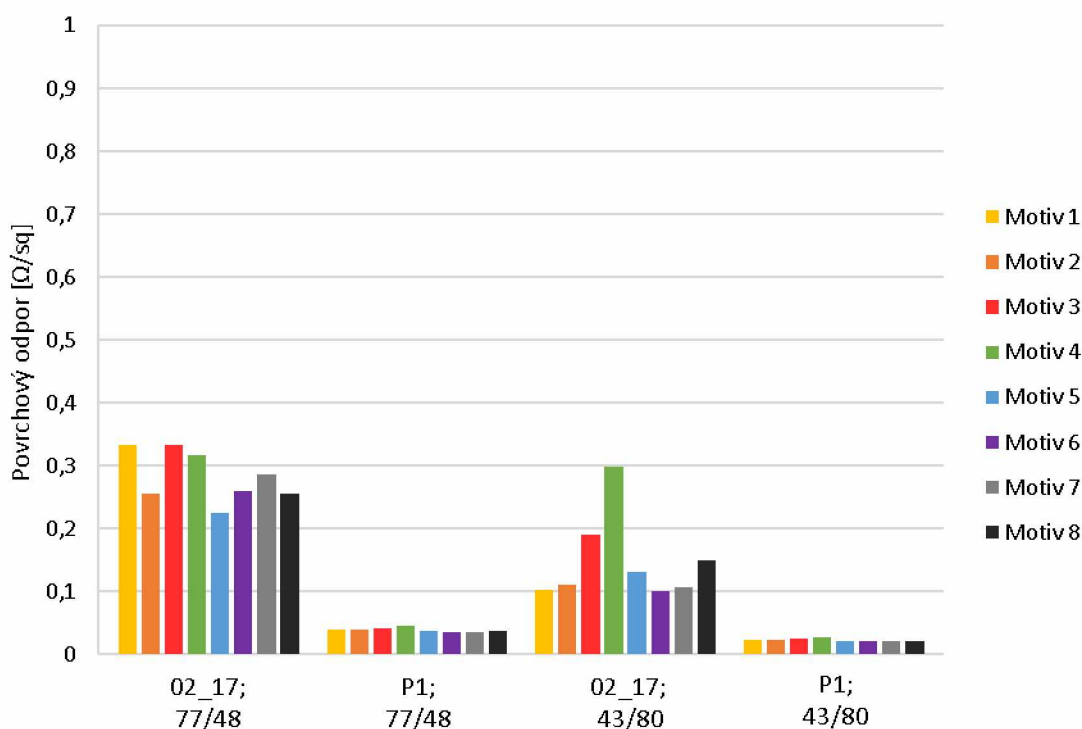
### 2.4.1.9 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných na polyesterové textilii (Amanda) v závislosti na tiskové formulaci

V případě textilie z polyesteru (obr. 31) byly použity tiskové formulace 02\_17 a P1, které byly potisknuty za použití šablony se síťovinou jak 43/80, tak i 77/48. Naměřené hodnoty povrchového odporu byly relativně nízké, důvodem může být fakt, že se jedná o syntetické textilie s hutnou vazbou vláken, relativně hladkým povrchem a nedochází u nich k absorpci tiskové formulace. Stejně jako v předchozím případě nejvodivější vrstvy poskytovala kombinace P1 a šablona se síťovinou 43/80, ale také formulace P1 v kombinaci se síťovinou 77/48, která dosahovala pouze nepatrně vyšších naměřených hodnot. Nejhorší kombinací opět byla tisková formulace 02\_17, která byla tisknuta pomocí šablony se síťovinou 77/48.

U této textilie byla potištěna i rubová strana, kterou tvořila vrstva membrány PUR (obr. 32). Použité tiskové formulace i typy sít byly stejné jako u tisku lícové strany. Ve srovnání s lícovou stranou byla rubová strana dokonale hladká díky PUR membráně. Lícová strana byla oproti tomu lehce strukturovaná. Naměřené hodnoty se příliš nelišily od hodnoty naměřených na lícové straně.



Obrázek 31: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17 a P1, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na polyesterovou textilií (Amanda)

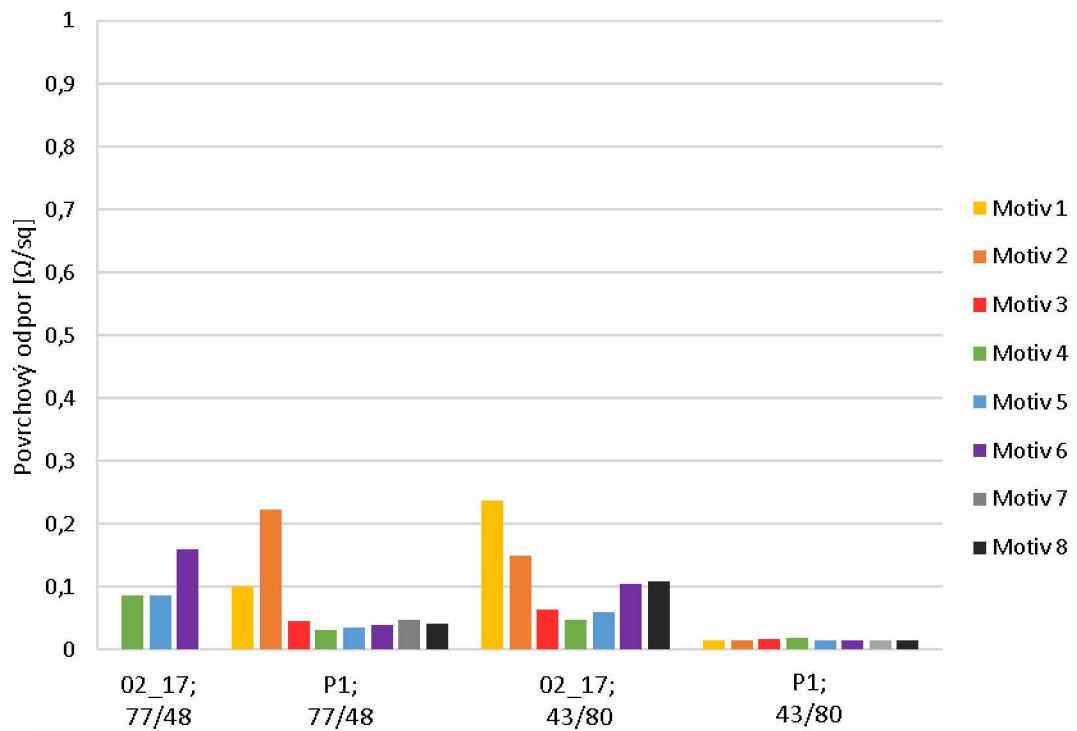


Obrázek 32: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17 a P1, šablonou se síťovinou 77/48 i 43/80 na polyesterovou textilii (Amanda) s PUR membránou

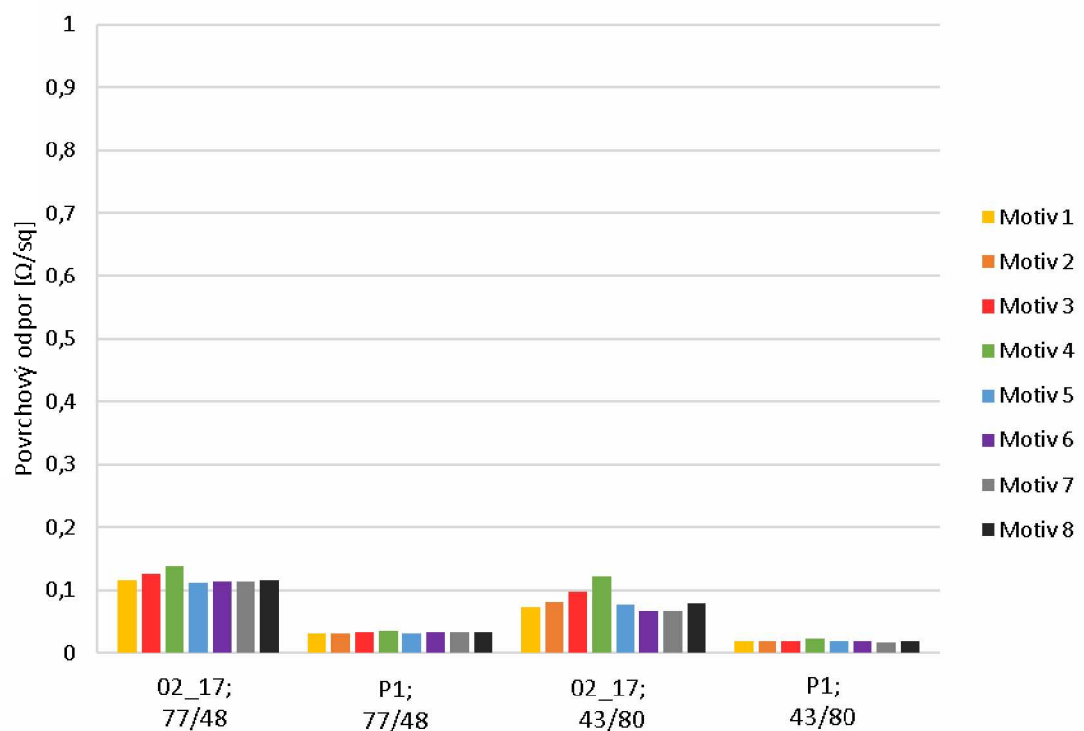
#### 2.4.1.10 Porovnání polyesterové textilie (Intercolor) v závislosti na tiskové formulaci

Vzorky z polyesterové textilie (Intercolor) (obr. 33) byly potištěny oběma šablonami, tj. síťovina 43/80 a 77/48 a tiskovou formulací 02\_17 a tiskovou formulací P1. Tisk obou tiskových formulací byl proveden ve dvou vrstvách z důvodu hrubé struktury textilního materiálu. Všechny takto potištěné vzorky vykazovaly nízké hodnoty naměřeného povrchového odporu. Výjimku tvořila kombinace tiskové formulace 02\_17 a šablony se síťovinou 77/48, u které byly hodnoty povrchového odporu o něco vyšší. Měřitelné byly však pouze tři z osmi měřených motivů.

Textilní materiál polyester (Intercolor) s PUR membránou (obr. 34) byl potištěn stejnou kombinací tiskových formulací a sít jako výše uvedená polyesterová textilie (Intercolor). V případě podšívkoviny s membránou byly naměřeny u všech vzorků nízké hodnoty povrchového odporu.



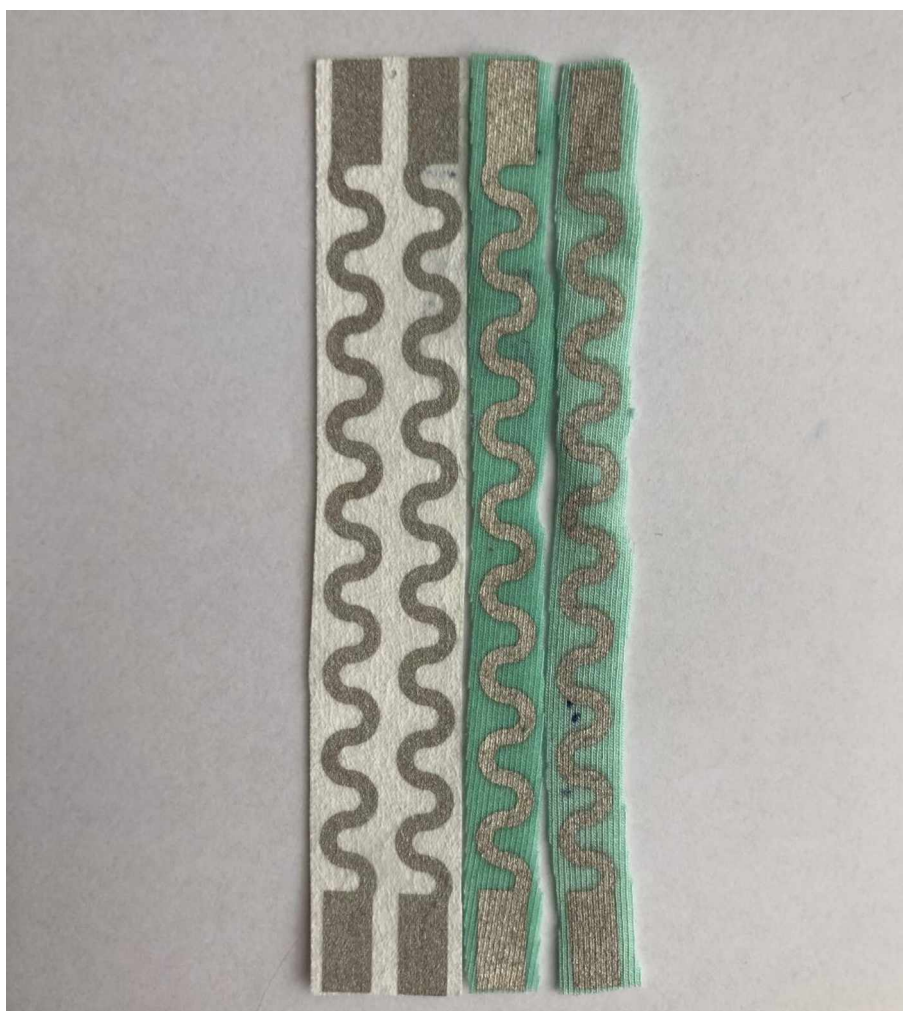
Obrázek 33: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17 a P1, šablonou se sítovinou 77/48 i 43/80 na polyesterovou textílii (Intercolor)



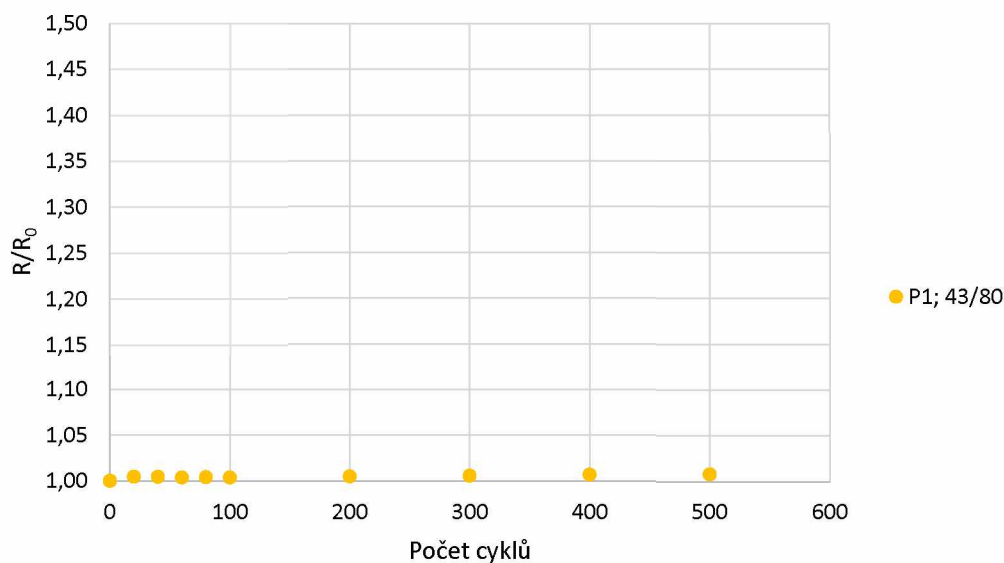
Obrázek 34: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovými formulacemi 02\_17 a P1, šablonou se sítovinou 77/48 i 43/80 na polyesterovou textílii (Intercolor) s PUR membránou

#### 2.4.1.11 Ohybové testy – sítotisk

Ohybové testy u textilií, které byly potištěny tiskovou technikou sítotisku, byly provedeny pouze u netkané textilie a bambusové viskózy. Pro ohybové testy byla zvolena vybraná struktura z testovacího obrazce (obr. 35) Tiskové formulace, které byly použity pro tisk na bambusovou viskózu nedosahovaly dobrých výsledků. Některé tiskové formulace nebyly měřitelné již na počátku ohybových testů. Jedinou tiskovou formulací, která obstála u ohybových testů byla tisková formulace P1, která byla vytištěna na bambusovou viskózu s vrstvou primeru za použití síta 43/80. Důvodem může být, že tato tisková formulace u sítotisku vykazuje velmi uspokojivé výsledky po tisku dané textilie v kombinaci s tímto typem šablony. Průběh tiskové formulace během ohybových testů je zaznamenán na obrázku 36.

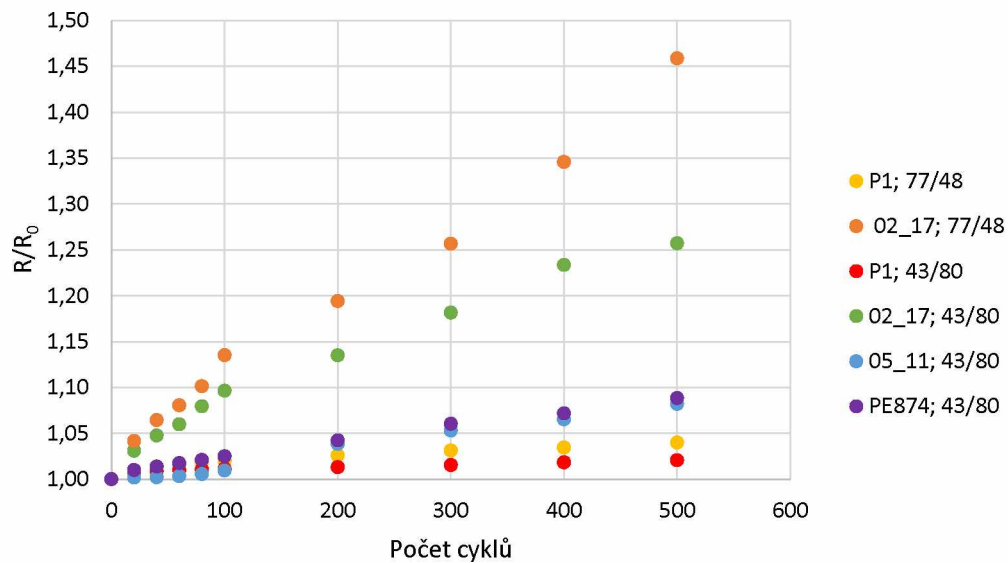


*Obrázek 35: Náhled zvolených testovaných motivů č. 5 a 6 u sítotisku pro ohybové a tahové testy*

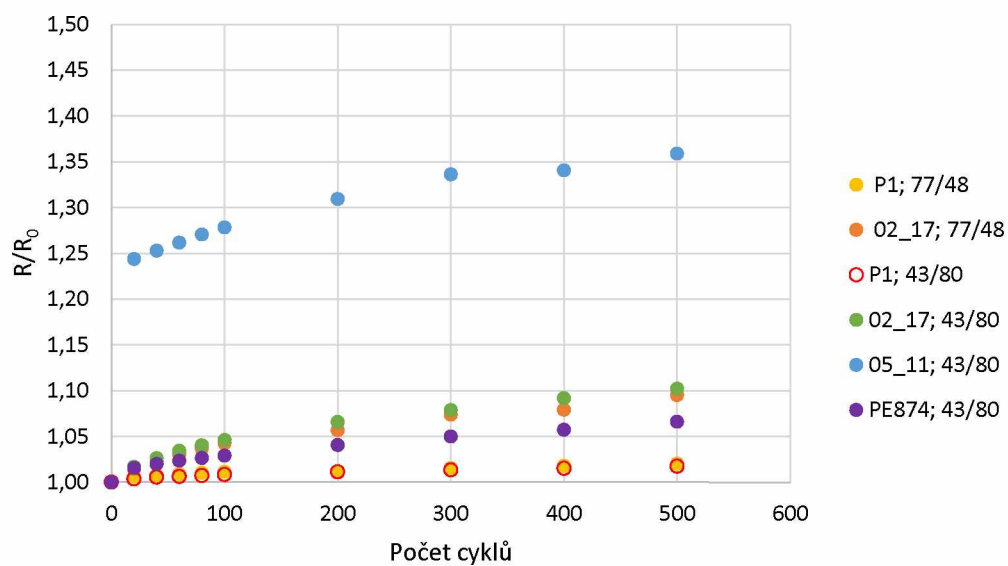


Obrázek 36: Průběh ohybových testů tištěných na bambusovou viskózu

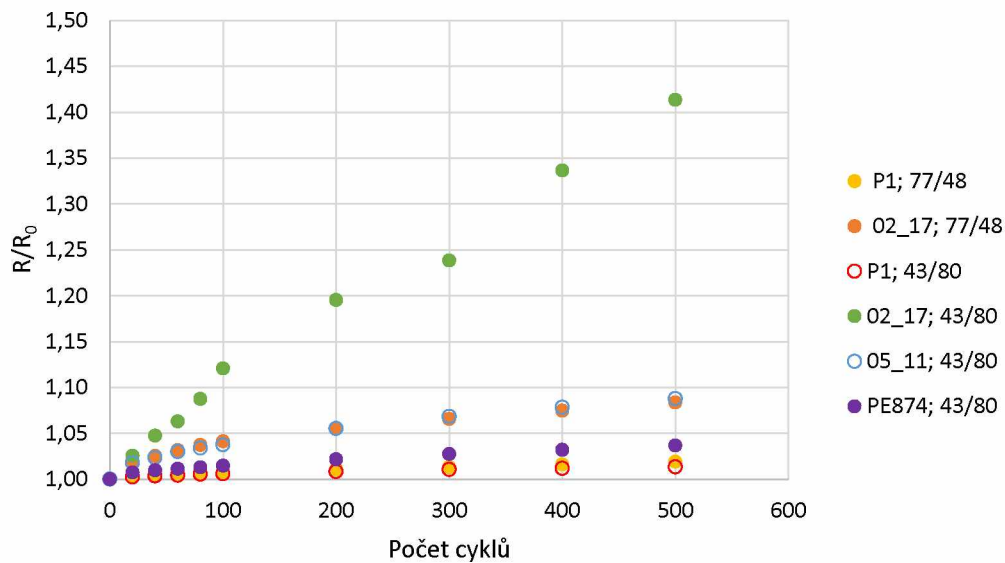
V případě netkané textilie (obr. 37) lze pozorovat, že ze všech testovaných formulací vykazuje nejlepší průběh tisková formulace P1, následně tisková formulace 05\_11 a DuPont PE874. Důvodem, proč tisková formulace 05\_11 a DuPont PE874 dosahuje výborných výsledků, může být přítomnost elastomerního polymeru v této formulaci. Tisková formulace 02\_17, která byla vytištěna na netkanou textilií s primerem i bez něj, dosahuje v kombinaci se šablonou se sítovinou 77/48 značně horší změny povrchového odporu v závislosti na počtu cyklů. V případě dvou vrstev (obr.38) dosahovala překvapivě nejhorších hodnot formulace 05\_11, která skokově vykazovala změnu povrchového odporu po prvních cyklech. Následně si udržovala trend jako ostatní formulace. Z výsledku pro dvě vrstvy je patrné, že dvě vrstvy, které znamenají větší vrstvu formulace mají obecně pozitivní vliv na stabilitu vodivé dráhy v ohybových testech. Stejně zlepšení je patrné i pro tři vrstvy tiskové formulace (obr. 39). Na netkané textilií, která byla opatřena vrstvou primeru (obr. 40) došlo k značnému zlepšení u tiskové formulace 02\_17, která byla tištěna šablonou se sítovinou 43/80 ve srovnání s netkanou textilií bez vrstvy primeru.



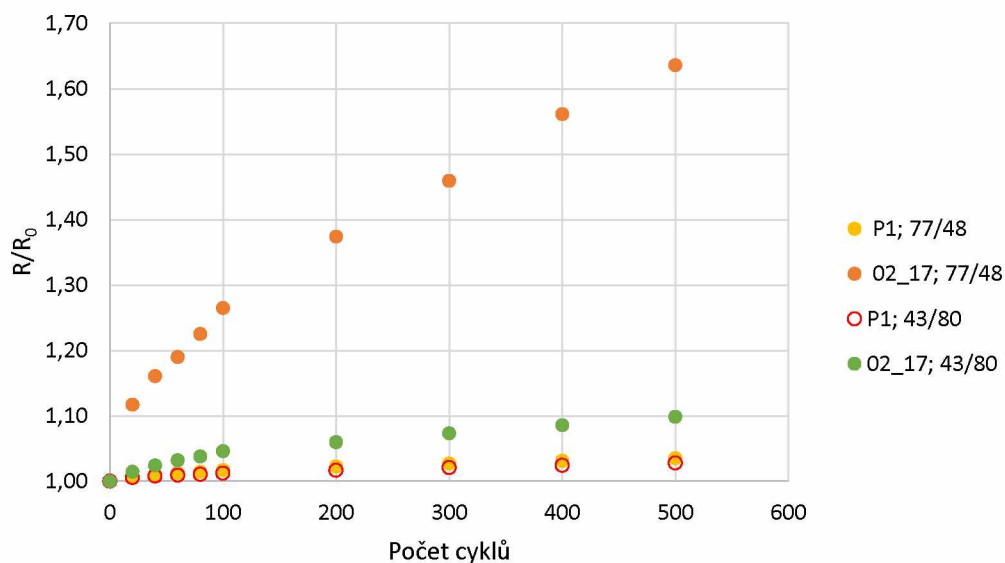
Obrázek 37: Průběh ohybových testů pro netkanou textilii potištěnou jednou vrstvou tiskové formulace



Obrázek 38: Průběh ohybových testů pro netkanou textilii potištěnou dvěma vrstvami tiskové formulace



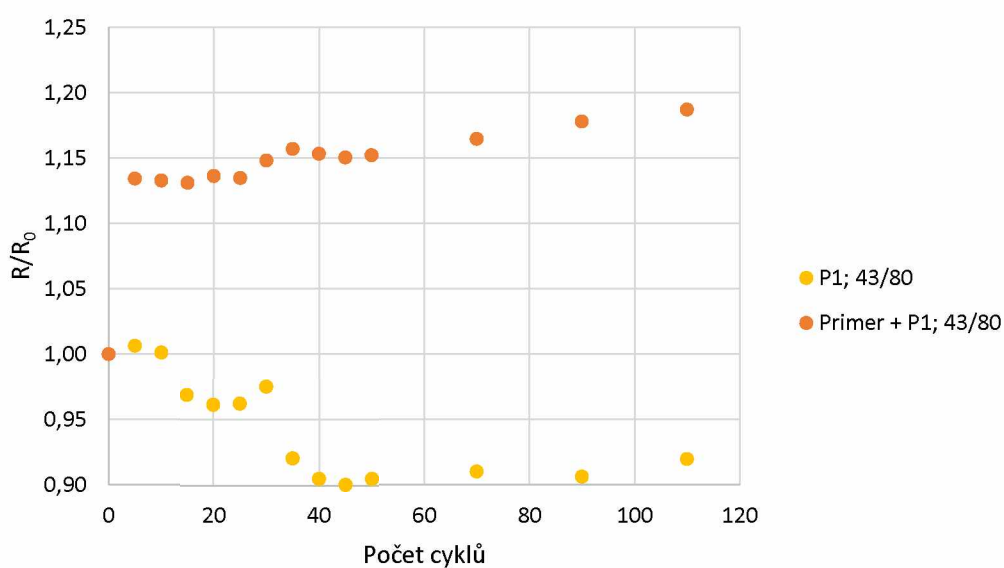
Obrázek 39: Průběh ohybových testů pro netkanou textilii tištěnou třemi vrstvami tiskové formulace



Obrázek 40: Průběh ohybových testů pro netkanou textilii opatřenou vrstvou primeru a tištěnou jednou vrstvou tiskové formulace

### 2.4.1.12 Tahové testy – sítotisk

Tahové testy byly provedeny u bambusové viskózy z důvodu její elasticity. Převážná část tiskových formulací nebyla měřitelná již na počátku tohoto testování nebo v průběhu došlo k přerušení elektrické vodivosti. Příčinou přerušení bylo popraskání tiskových formulací a tím i ztráta vodivosti. Tiskové formulace, které obstály u tahových testů jsou formulace P1 a P1 vytištěna na bambusovou viskózu po nanesení primeru (obr. 41). V obou případech byly tiskové formulace tištěny za použití šablony se sítovinou 43/80. U tiskové formulace P1 (bez primeru) lze dokonce pozorovat klesající průběh během tahových testů.

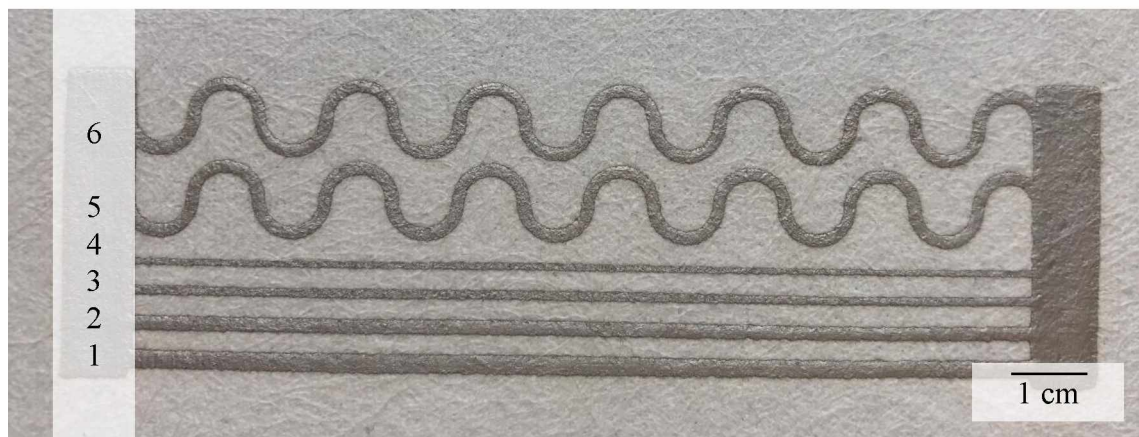


Obrázek 41: Průběh tahových testů na bambusové viskóze (sítotisk)

## 2.4.2 Microdispensing

Navržený testovaný obrazec byl pomocí microdispensingové tiskárny vytištěn na všechny výše zmíněné textilní materiály. Byly použity následující tiskové formulace: tisková formulace s číslem šarže 2020\_02\_17\_2, tisková formulace s číslem šarže 2020\_05\_11\_1, uhlíková tisková formulace s číslem šarže 2020\_05\_27\_1 a tisková formulace DuPont PE874.

Testovací obrazce (obr. 42) byly vytištěny tryskou o vnitřním průměru 330  $\mu\text{m}$ , rychlost a tlak se lišily v závislosti na textilním materiálu. Rychlost, tlak a druh tiskové formulace mají značný vliv na množství a kvalitu nanesené tiskové formulace, proto bylo nastavení tlaku a rychlosti tisku pro každý textilní materiál a jednotlivé tiskové formulace upraveno. Zvolené rychlosti a tlak pro danou tiskovou formulaci a textilní materiál jsou zaznamenány v tabulce 3. Testovací obrazec tvořily linky, které měly různou šířku od 0,5 mm do 1 mm. Testovací obrazec zahrnoval i strukturu meandru, kterou tvořila linka o šířce 0,6 mm.



Obrázek 42: Náhled testovacího obrazce pro microdispensing

Tabulka 3: Nastavení rychlostí a tlaků pro danou tiskovou formulaci a textilní materiál

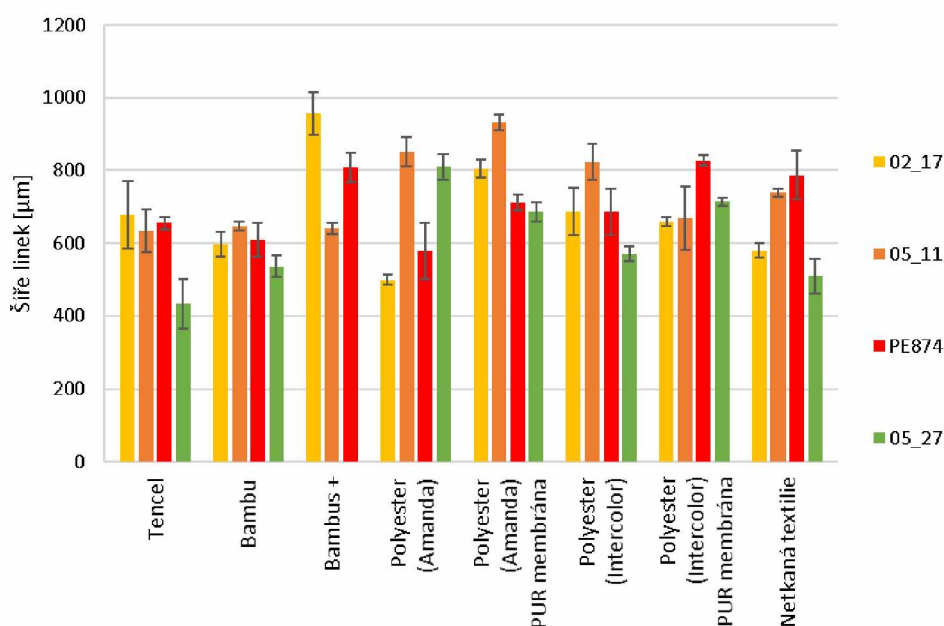
Textilní materiál	2020_02_17_2		2020_5_11_1		DuPont PE874		P1	
	Rychlost [mm/min]	Tlak [kPa]	Rychlost [mm/min]	Tlak [kPa]	Rychlost [mm/min]	Tlak [kPa]	Rychlost [mm/min]	Tlak [kPa]
Netkaná textilie	400	294	300	333	350	196	300	314
Bambus	350	333	300	294	350	294	300	314
Bambus + primer	350	333	300	294	–	–	300	314
Tencel	350	294	300	294	350	294	300	319
Polyester (Amanda)	400	333	300	294	350	294	300	294
Polyester (Amanda) s PUR membránou	350	294	300	235	350	196	300	294
Polyester (Intercolor)	350	255	300	294	350	294	300	294
Polyester (Intercolor) s PUR membránou	350	255	300	294	350	196	300	294

Po vytištění všech testovacích obrazců byl změřen povrchový odpor čtyřbodovou metodou. Naměřené hodnoty odporu byly porovnány v závislosti na textilním materiálu a tiskové formulaci a zpracovány do grafů. Stejně jako u textilních materiálů potištěných sítotiskem byly i zde provedeny ohybové a tahové testy. Nastavení i počet cyklů byly stejné jako u sítotisku. Ohybové testy byly provedeny pro všechny typy textilií a tahové testy opět pouze pro bambusovou viskózu.

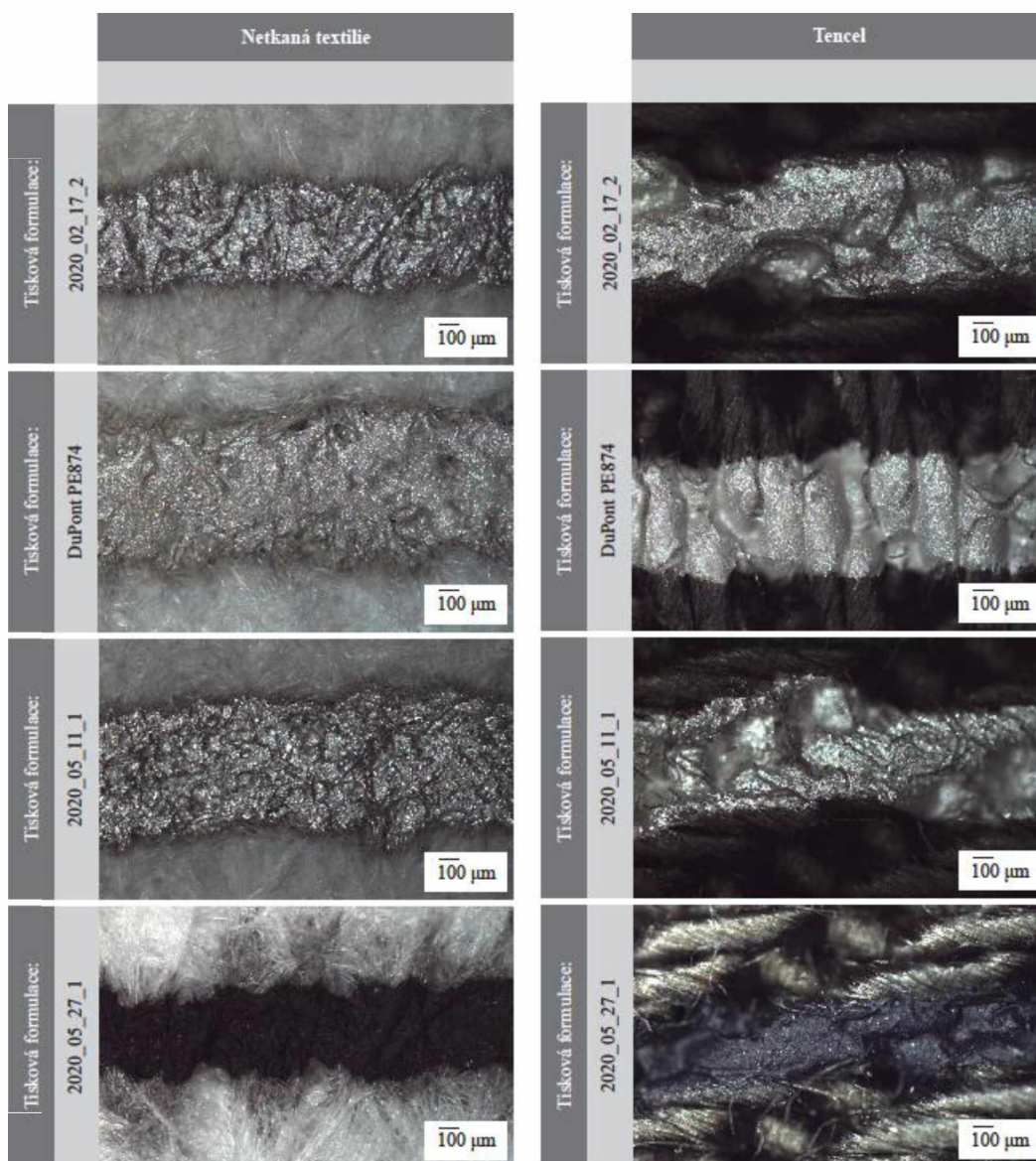
### 2.4.2.1 Hodnocení kvality tisku – microdispensing

Mikroskopické snímky byly pořízeny pro nejtěsnější linku, s nominální hodnotou 500  $\mu\text{m}$ , vytištěnou na různé textilní materiály. Šířka linek byla změřena na třech místech a zprůměrována. Mikroskopické snímky jsou zobrazeny na obrázcích 44–47. Všechny naměřené hodnoty šíře linek tiskových formulací jsou zobrazeny na obrázku 43.

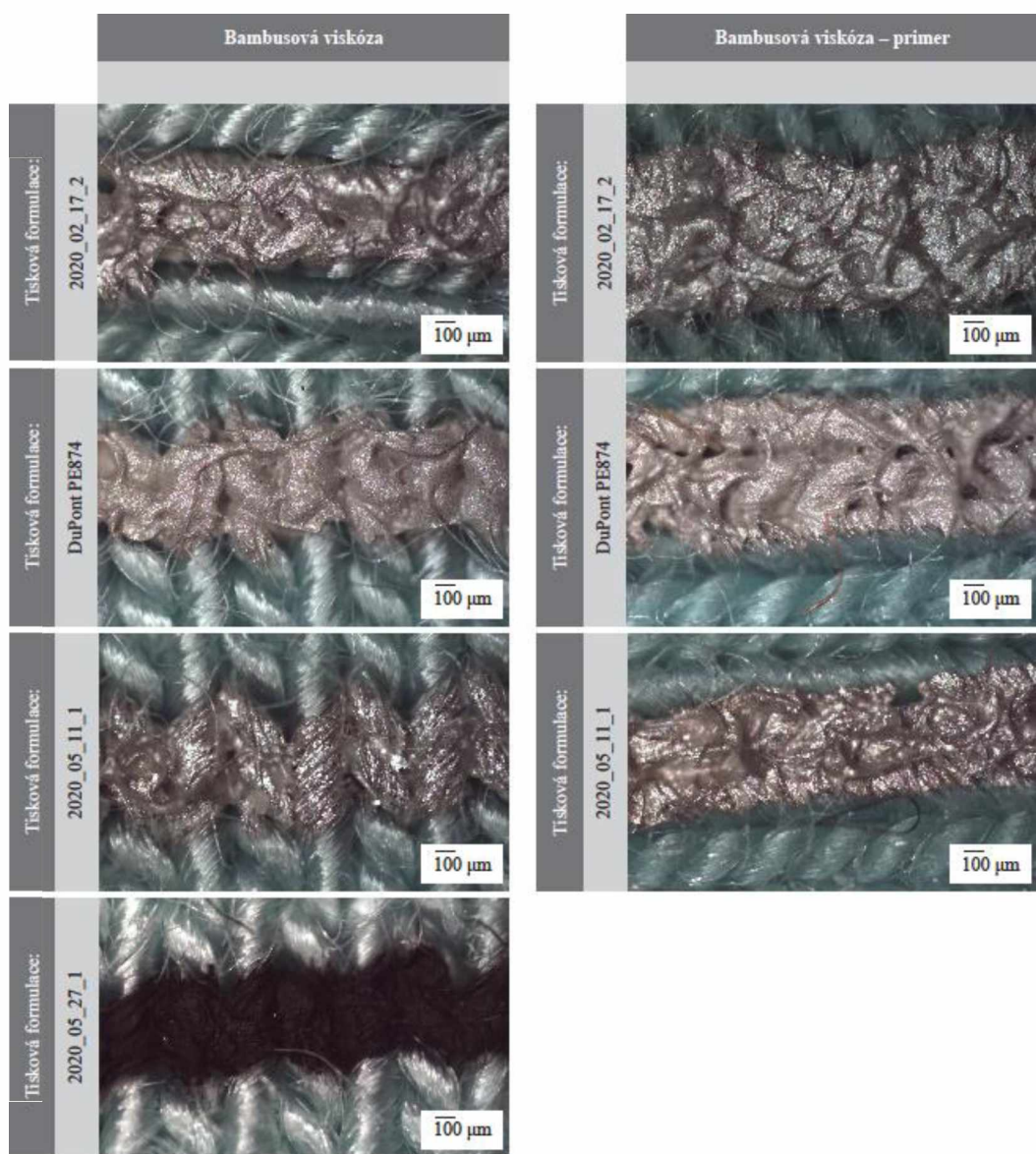
Uhlíková tisková formulace 05\_27 dosahuje téměř u všech textilních materiálů nejužších linek, což je pravděpodobně dáno i nejnižším přenosem tiskové formulace, neboť mohl být využit nižší tlak oproti ostatním formulacím. Ostatní tiskové formulace vykazují různé šířky linek v závislosti na potiskovaném textilním materiálu. V případě textilního materiálu byly nejužší linky naměřeny na tkanině Tencel a bambusové viskóze.



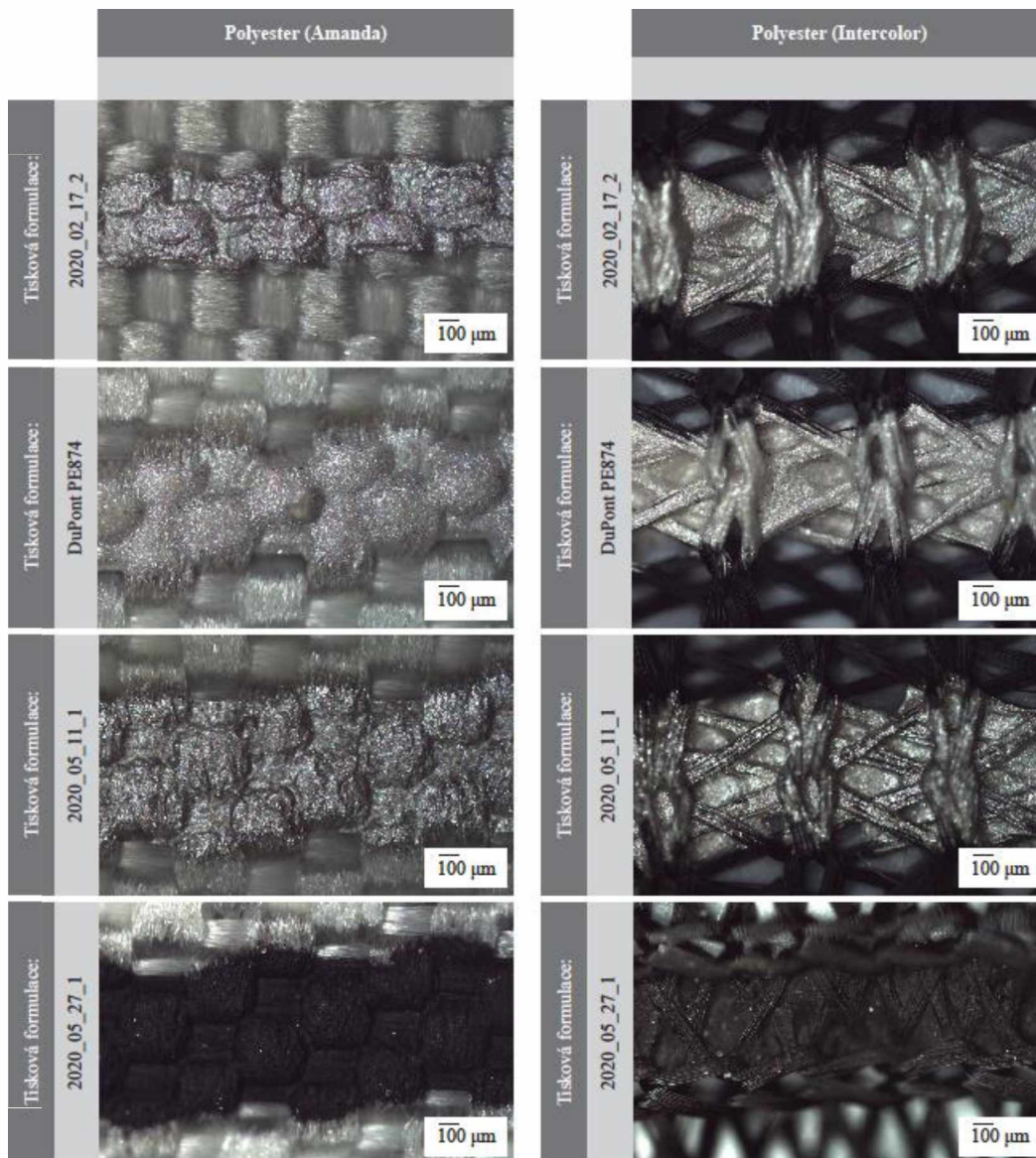
Obrázek 43: Naměřené šíře nejtěsnější linky, s nominální hodnotou 500  $\mu\text{m}$ , vytištěné microdispensingem tiskovými formulacemi 02\_17, 05\_11, DuPont PE874 a 05\_27 na různé textilní materiály



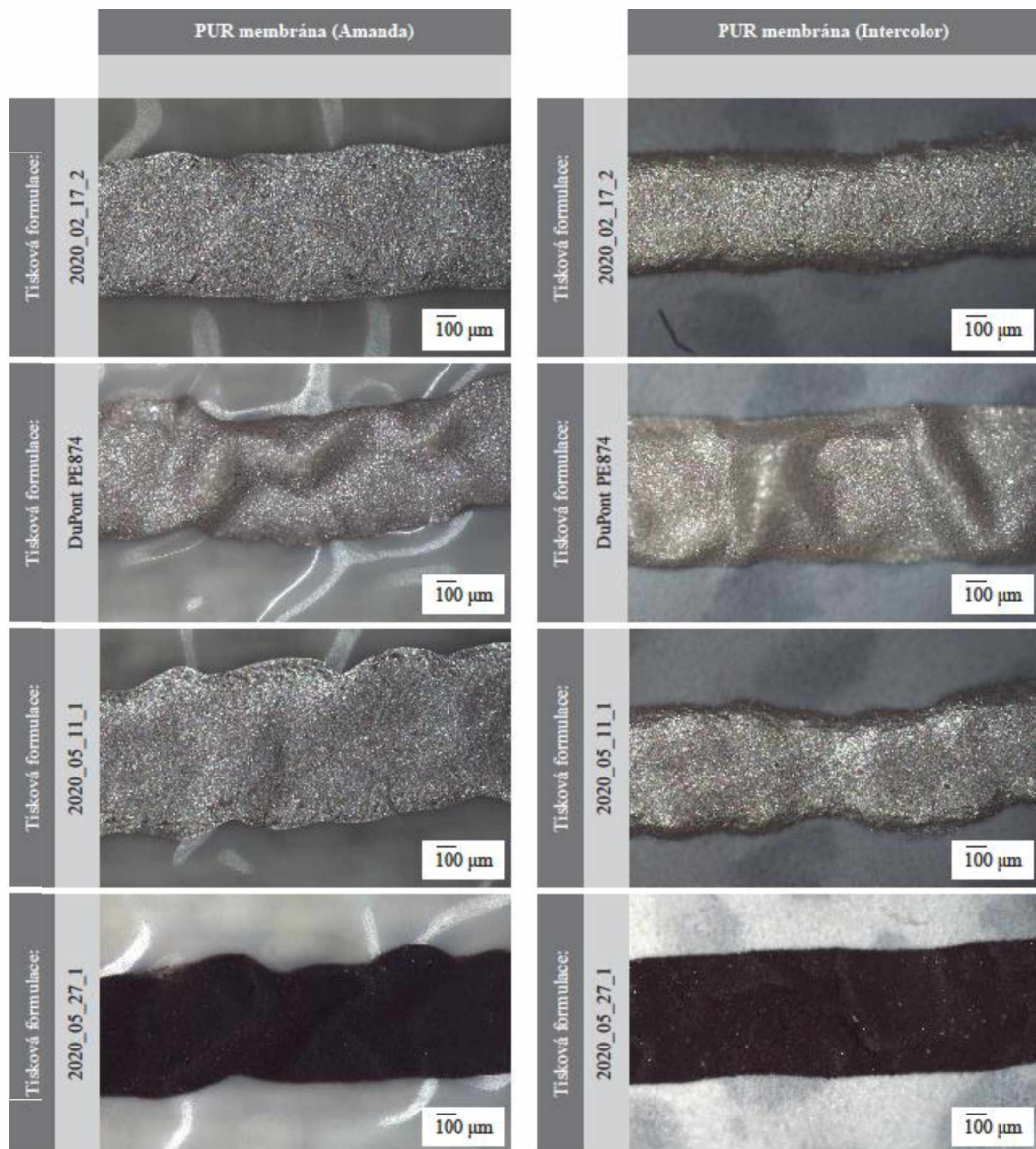
Obrázek 44: Mikroskopické snímky nejtenčí linky, s nominální hodnotou 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, DuPont PE874, 05\_11 a 05\_27 na netkanou textilii a tkaninu Tencel



Obrázek 45: Mikroskopické snímky nejtenčí linky, s nominální hodnotou 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, DuPont PE874, 05\_11 a 05\_27 na bambusovou viskózu a bambusovou viskózu s primerem



Obrázek 46: Mikroskopické snímky nejtenčí linky, s nominální hodnotou 500 µm, tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, DuPont PE874, 05\_11 a 05\_27 na polyesterové textilie Amanda a Intercolor

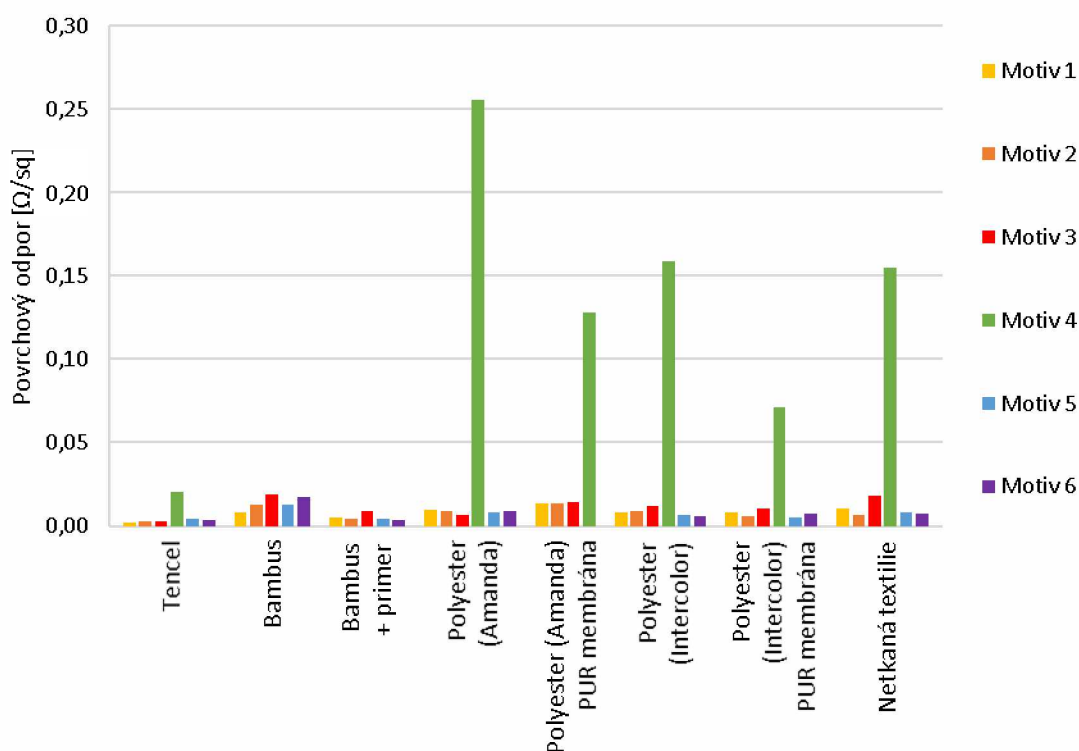


Obrázek 47: Mikroskopické snímky nejtenčí linky, s nominální hodnotou 500  $\mu\text{m}$ , tištěné tiskovými formulacemi 02\_17, DuPont PE874, 05\_11 a 05\_27 na PUR membránu Amanda a Intercolor

#### 2.4.2.2 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací 2020\_02\_17\_2 v závislosti na textilním materiálu

Pro měření elektrického odporu čtyřbodovou metodou byl vybrán vždy jeden vzorek od každého textilního materiálu. Zbylé vzorky byly použity pro ohybové a tahové testy.

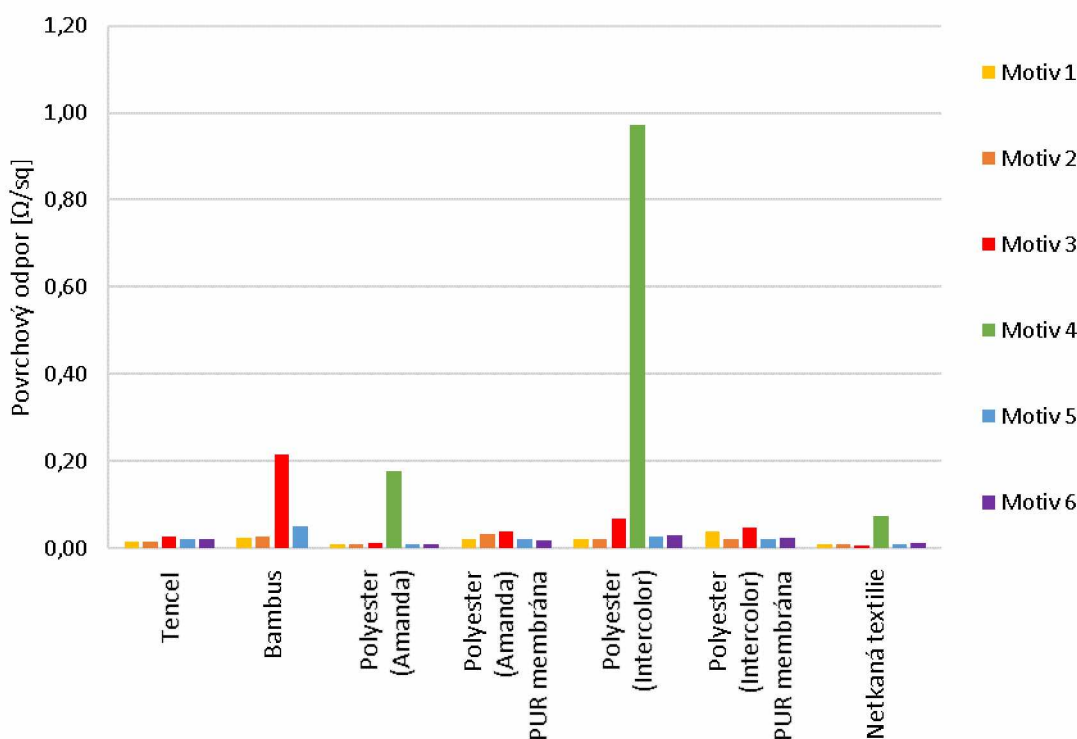
Z obrázku 48 je patrné, že v případě nejtenčí linky (motiv 4) byly hodnoty ve srovnání s dalšími podstatně vyšší pravděpodobně díky lokálním zúžením, či drobným poruchám. Nejtenčí linka na bambusové viskóze nebyla měřitelná vůbec. Nejlepší výsledky u této tiskové formulace vykazovala tkanina Tencel a bambusová viskóza opatřena vrstvou primeru, hned poté polyesterové textilie s PUR membránou i bez ní. Naměřené hodnoty povrchového odporu jsou v tabulce 7 v příloze L2



Obrázek 48: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací 2020\_02\_27\_2

### 2.4.2.3 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací 2020\_5\_11\_1 v závislosti na textilním materiálu

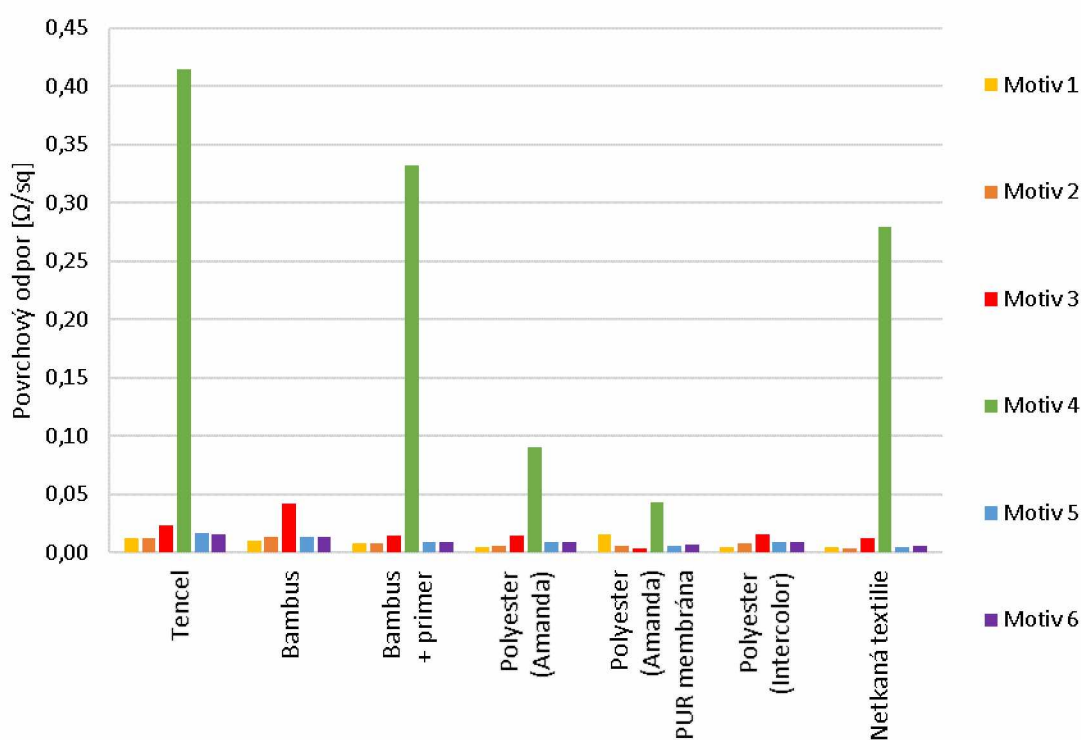
Tato tisková formulace 05\_11 (obr. 49) vykazovala po měření elektrického odporu značně horší výsledky než předchozí formulace 02\_17. Nejtenčí linku (motiv 4) nebylo u textilního materiálu Tencel, bambusová viskóza, polyester (Amanda) s PUR membránou a polyester (Intercolor) s PUR membránou možné změřit vůbec. Nejlepších výsledků u této tiskové formulace dosahovala netkaná textilie, poté polyester (Amanda) a Tencel. Testované motivy na bambusové viskóze s vrstvou primeru nebylo možné změřit z důvodu špatné vodivosti. Naměřené hodnoty povrchového odporu jsou v tabulce 8 v příloze M1.



Obrázek 49: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací 2020\_05\_11\_1

#### 2.4.2.4 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných stříbrnou tiskovou formulací DuPont PE874 v závislosti na textilním materiálu

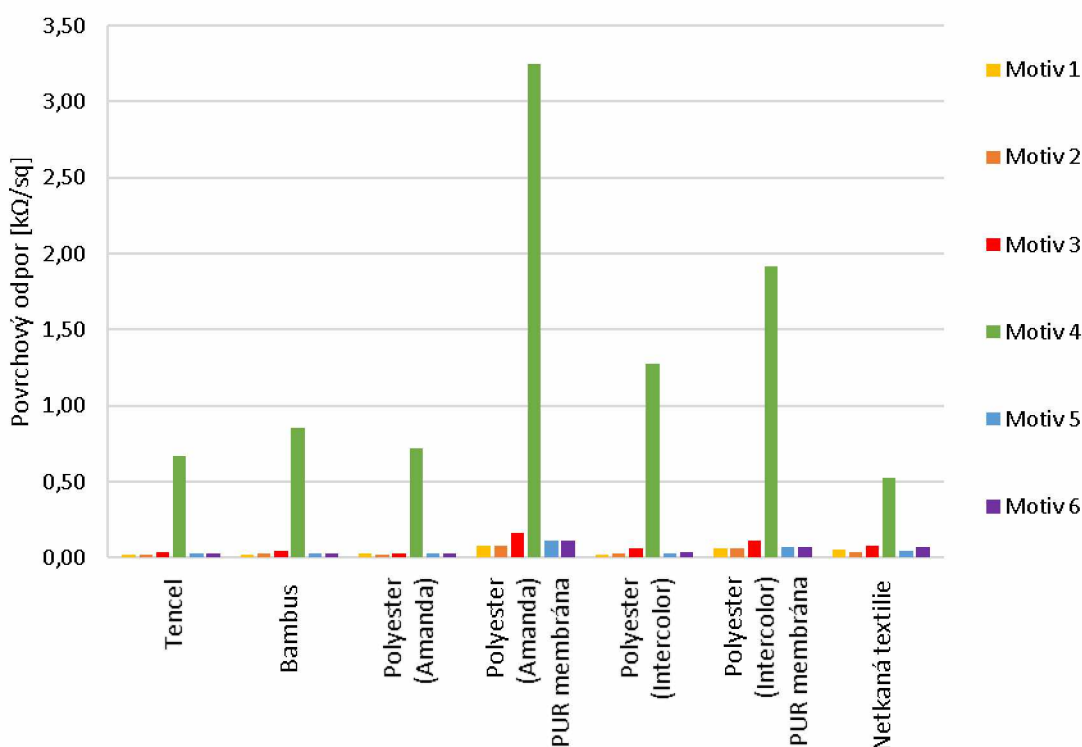
Tuto tiskovou formulaci (obr. 50) nebylo možné změřit na polyesterové textilií (Intercolor) s PUR membránou. Důvodem byla delaminace tiskové formulace po sušení vlivem špatné adheze tiskové formulace k PUR membráně. Daný problém byl shledán i u potisku na polyesterové textilií (Amanda) s PUR membránou, avšak zde bylo možné povrchový odpor změřit před úplnou delaminací. Naměřené hodnoty povrchového odporu jsou v tabulce 9 v příloze M2.



Obrázek 50: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací DuPont PE874

#### 2.4.2.5 Porovnání povrchového odporu vodivých drah natištěných uhlíkovou tiskovou formulací 2020\_5\_27\_1 v závislosti na textilním materiálu

V případě této uhlíkové tiskové formulace dosahovala nejlepších výsledků tkanina Tencel, polyester (Amanda), bambusová viskóza, poté netkaná textilie a polyester (Intercolor). Nejhůře dopadl tisk vodivé formulace na polyesterové textilie s PUR membránou, obzvláště pak u nejtenčí linky (motiv 4). Tato tisková formulace nebyla vytištěna z důvodu nedostatku textilního materiálu na bambusovou viskózu opatřenou vrstvou primeru. Vlivem toho, že formulace na bázi uhlíku jsou oproti stříbrným formulacím řadově rozdílné hodnoty povrchového odporu, jak je patrné z obrázku 51. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 10 v příloze N1.



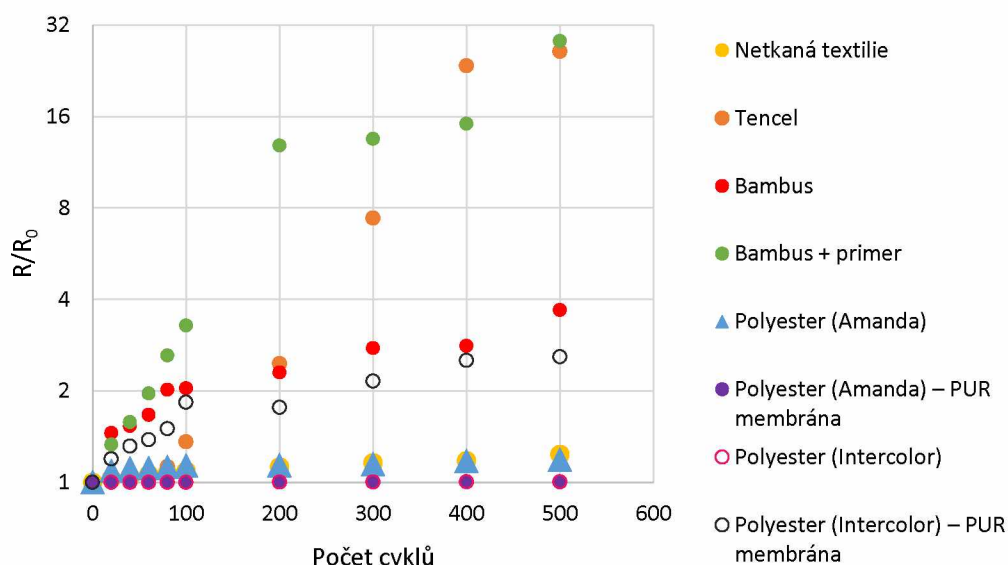
Obrázek 51: Povrchový odpor vytištěných motivů tiskovou formulací 2020\_05\_27\_1

### 2.4.2.6 Ohybové testy – microdispensing

Ohybové testy byly provedeny pro všechny typy textilií a tiskové formulace s číslem šarže 2020\_02\_17\_2, 2020\_05\_11\_1, 2020\_05\_27\_1 a DuPont PE874. Vzorky byly rozděleny na dvě části, a to na linky a meandry. Poloměr ohybu byl stejně jako u sítotisku 0,7 cm.

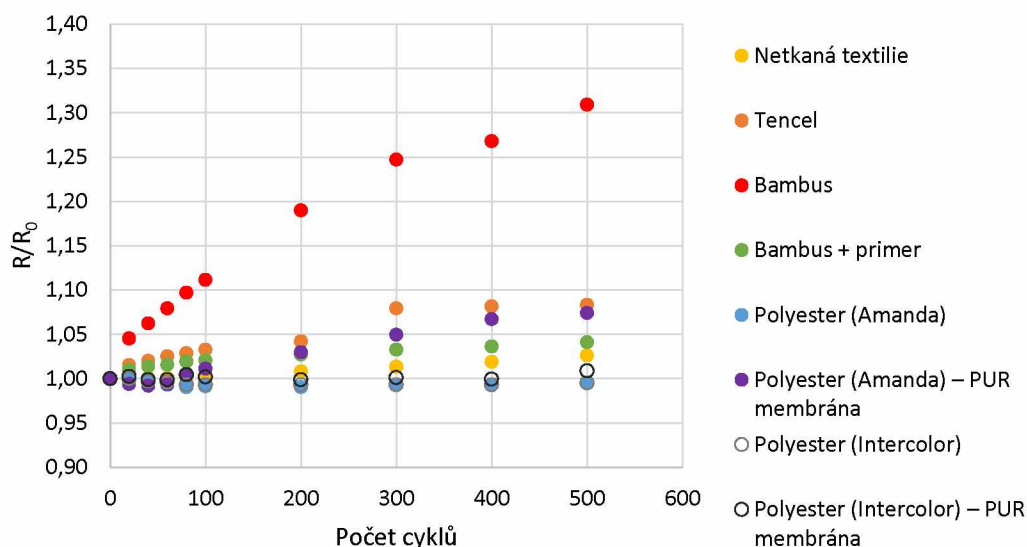
#### 2.4.2.6.1 Ohybové testy – linky

Tisková formulace 02\_17 (obr. 52) vykazovala výborné výsledky na netkané textilii a obou typech polyesterů (s výjimkou polyesterové textilie (Interocolor) s PUR membránou), u které se získané hodnoty téměř nelišily od původní naměřené hodnoty. Následovala bambusová viskóza a polyesterová textilie (Interocolor) s PUR membránou. Nejhorších výsledků dosahovaly vodivé vrstvy na bambusové viskóze s vrstvou primeru a na tkanině Tencel.



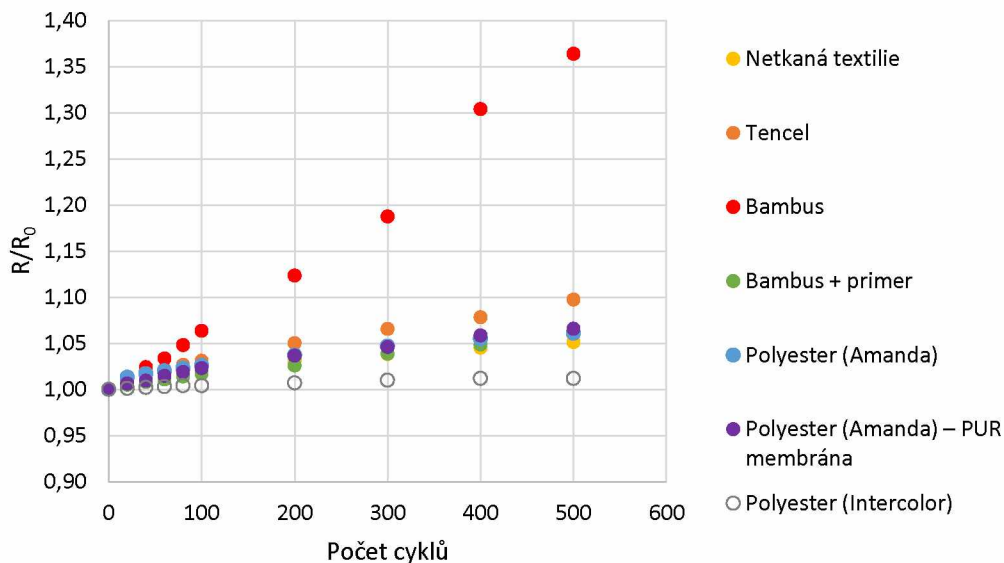
Obrázek 52: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací 2020\_02\_17\_2 (linky)

Tisková formulace 05\_11 (obr. 53) vykazovala obdobné výsledky jako výše zmíněná tisková formulace 02\_17. U ohybových testů při daném počtu cyklů nedošlo téměř k žádné změně u vrstev tištěných na polyesterové textilie (včetně strany s PUR membránou), výjimkou byla polyesterové textilie (Amanda) s PUR membránou. Hned za nimi byla netkaná textilie, textilie z bambusové viskózy s vrstvou primeru a tkanina Tencel. U této tiskové formulace nejhůře dopadly vodivé vrstvy na bambusové viskóze.



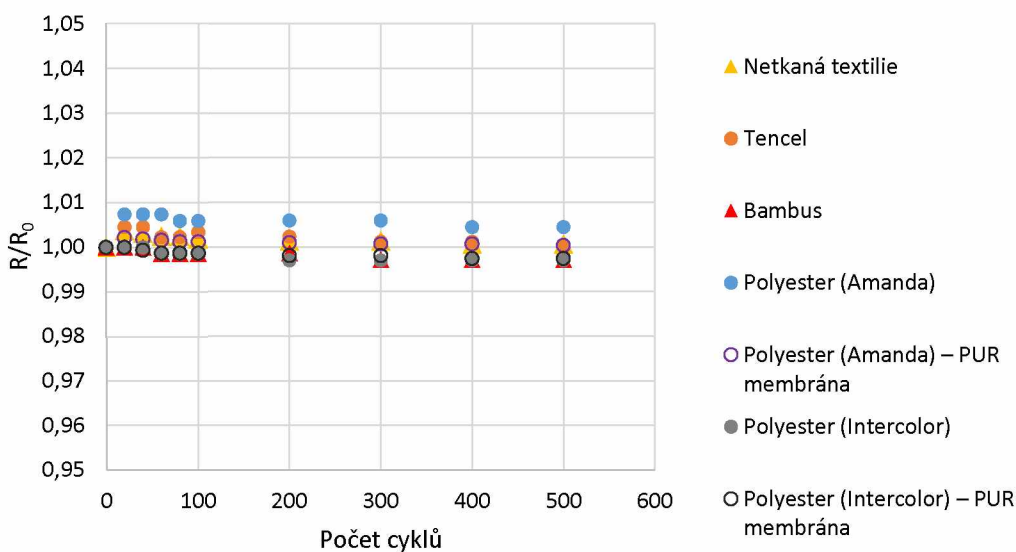
Obrázek 53: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací 2020\_05\_11\_1 (linky)

V případě tiskové formulace DuPont PE874 (obr. 54) byly získány nejlepší výsledky na polyesterové textili (Intercolor), hned poté na netkané textili, tkanině Tencel, polyesterové textili (Amanda) a polyesterové textili (Amanda) s PUR membránou. Problémem u polyesterové textili (Amanda) s PUR membránou byla špatná adheze tiskové formulace k tomuto materiálu. Stejný problém vykazovala i polyesterová textilie (Intercolor) s PUR membránou. Tato tisková formulace se ihned po sušení rozpadla a nebyla měřitelná na rozdíl od polyesterové textili (Amanda) s PUR membránou. Nejhorších výsledků dosahovaly opět vrstvy na bambusové viskóze.



Obrázek 54: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací DuPont PE874 (linky)

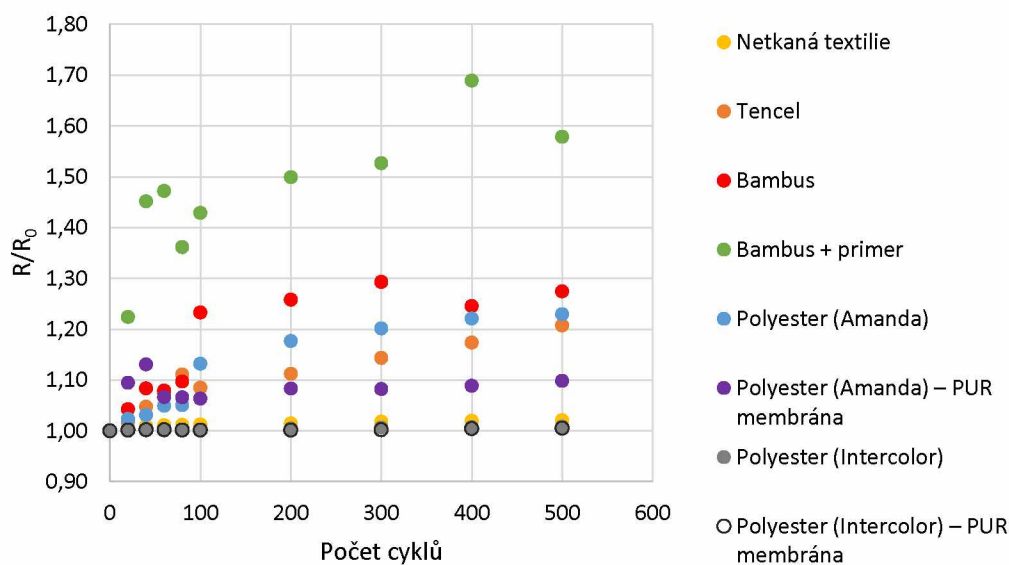
Tisková formulace 05\_27 vykazovala ze všech tiskových formulací nejlepší výsledky. Z obrázku 55 je patrné, že se vlivem ohýbání příliš hodnoty neměnily. V případě některých textilních materiálů lze pozorovat, že po prvních 20 cyklech došlo k mírnému nárůstu a následně naměřené hodnoty klesaly. Příčinou může být to, že došlo ke vzdálení uhlíkových částic od sebe a stabilizaci daného stavu.



Obrázek 55: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací 2020\_05\_27\_1 (linky)

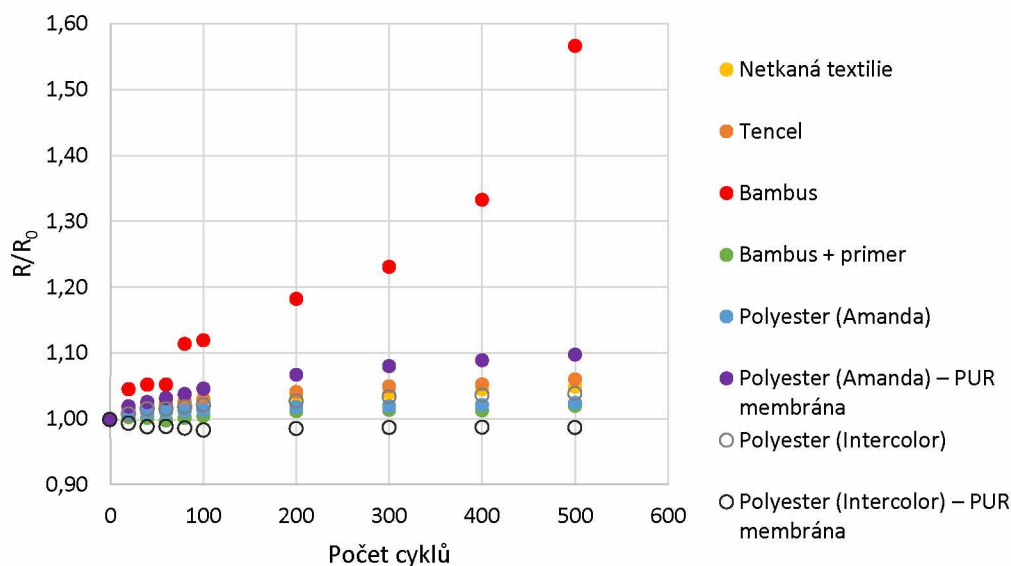
#### 2.4.2.6.2 Ohybové testy – meandry

Tisková formulace 02\_17 (obr. 56) v případě meandrů vykazuje značně horší výsledky než u linek. Ohybové testy neměly téměř žádný vliv na odpor u vzorků netkané textilie a na obou polyesterových textiliích s PUR membránou. Nejhorších získaných hodnot dosahují vzorky opět na bambusové viskóze s primerem, hned za ní vzorky na samotné bambusové viskóze.



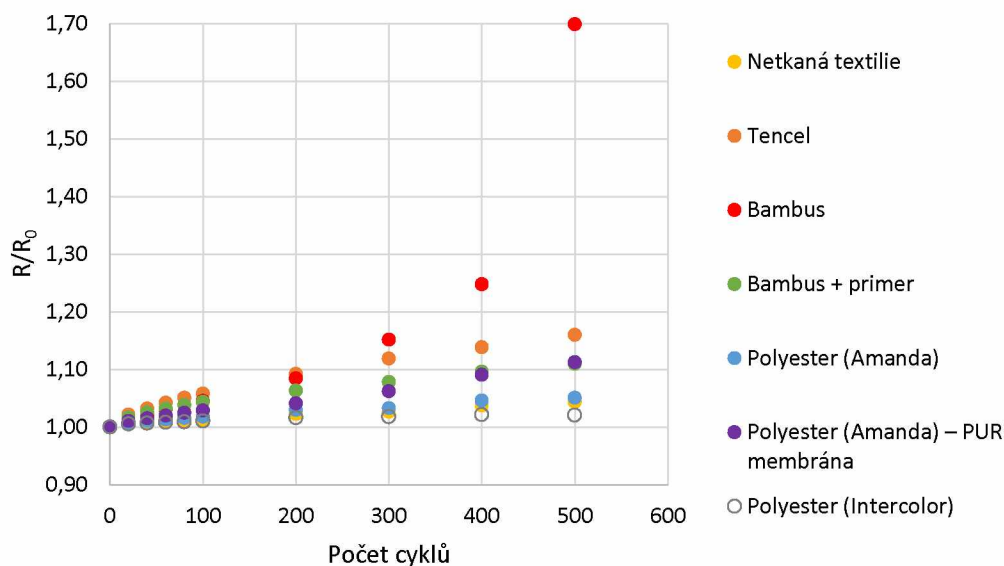
Obrázek 56: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací 2020\_02\_17\_2 (meandry)

Tisková formulace 05\_11 (obr. 57) u meandrů má mírně horší průběh než u linek, nicméně není zde takové zhoršení jako u předchozí tiskové formulace. V případě meandrů i linek může být důvodem to, že tato tisková formulace obsahuje více elastomerního polymeru, a proto nedocházelo k takovému poškození jako u tiskové formulace 02\_17. Nejnižších hodnot poškození vodivých drah, zde dosahovala polyesterová textilie (Intercolor) s PUR membránou, ihned poté bambusová viskóza s primerem, polyesterová textilie (Amanda), polyesterová textilie (Intercolor), netkaná textilie, tkanina Tencel a polyesterová textilie (Amanda) s PUR membránou. Zvýšení povrchového odporu bylo do 10 %, výjimkou byla neupravená bambusová viskóza, kde vzorky vykazovaly nejvyšší nárůst.



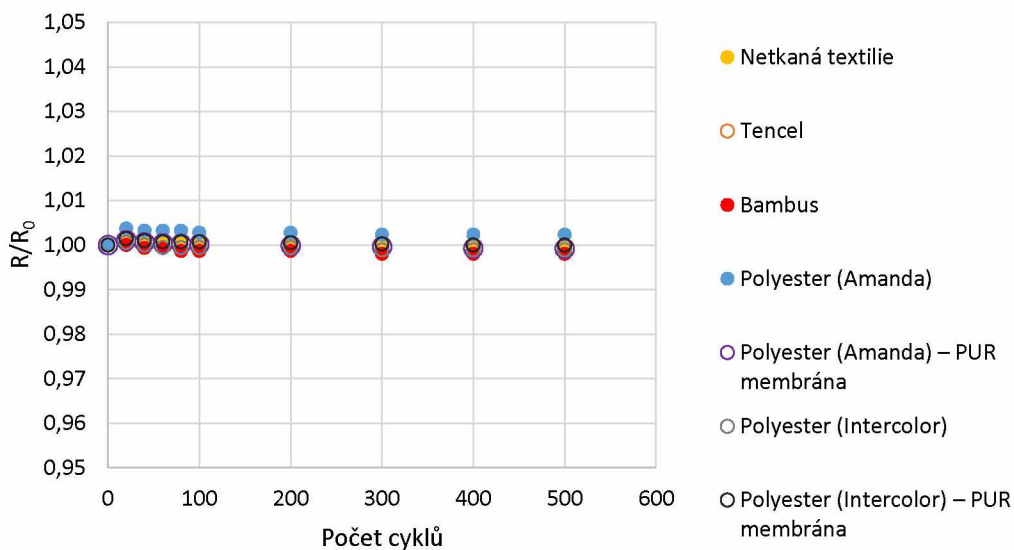
Obrázek 57: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací 2020\_05\_11\_1 (meandry)

Tisková formulace DuPont PE874 (obr. 58), v případě meandrů, měla mírné zhoršení na některých textilních materiálech, a to u tkaniny Tencel, polyesterové textilie (Amanda) s PUR membránou a bambusová viskóza s primerem a bambusová viskóza. Podobné výsledky, jako u linek, měly meandry na těchto textiliích: polyesterová textilie (Amanda) a netkaná textilie. Nejlepší výsledky vykazovala opět polyesterová textilie (Intercolor). Vodivé vrstvy na polyesterové textili (Intercolor) s PUR membránou nebyly opět měřitelné z důvodu špatné adheze k textilii a rozpadnutí. Vzorky na polyesterové textilii (Amanda) s PUR membránou bylo možné podrobit ohybovým testům, ačkoliv měla zmíněný problém se špatnou adhezí.



Obrázek 58: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací DuPont PE874 (meandry)

U tiskové formulace 05\_27 (obr. 59) došlo v případě meandrů k mírnému zlepšení oproti linkám. Během ohybových testů nedošlo téměř k žádnému zhoršení. Tato tisková formulace obstála ze všech tiskových formulací u ohybových testů nejlépe.

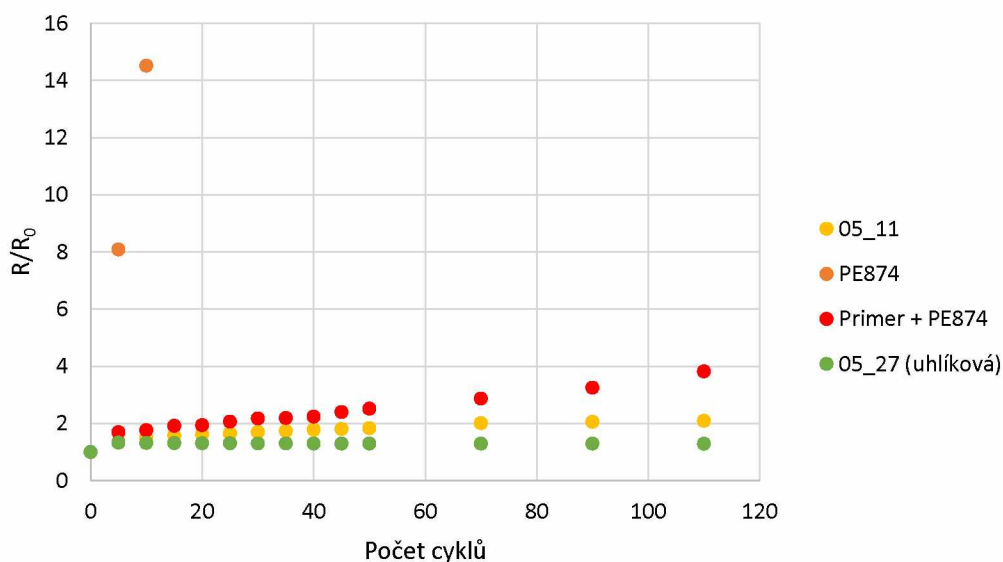


Obrázek 59: Průběh ohybových testů na různých textilních materiálech potištěných tiskovou formulací 2020\_05\_27\_1 (meandry)

### 2.4.2.7 Tahové testy – microdispensing

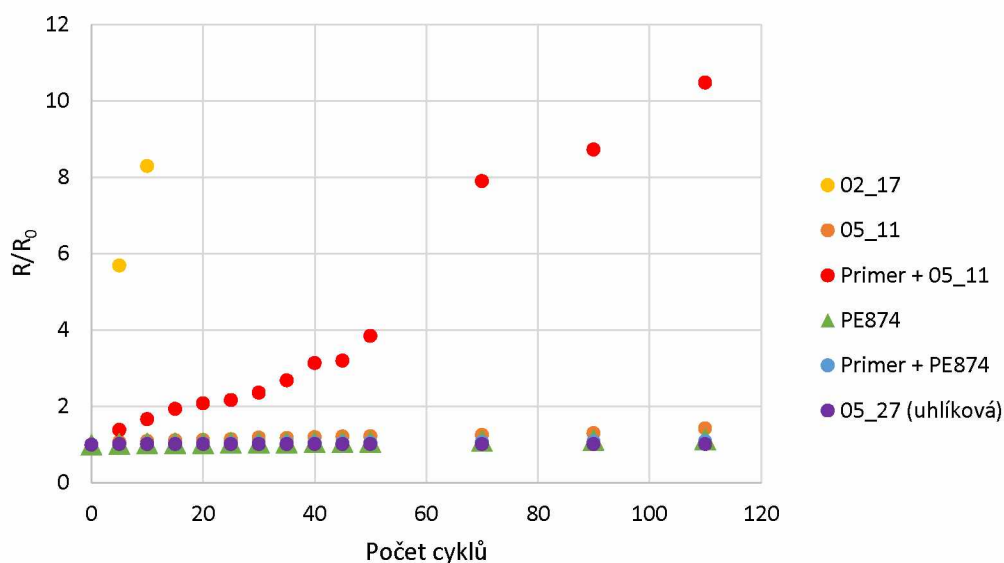
Tahové testy u microdispensingu byly taktéž provedeny pouze pro bambusovou viskózu a tiskové formulace 02\_17, 05\_11, DuPont PE874 a 05\_27. Testovací obrazec byl znovu rozdělen na dvě části – linky a meandry. Bambusová viskóza byla natažena o 28 %.

V případě linek (obr. 60) obstály u tahových testů pouze tiskové formulace 05\_27, 05\_11 a tisková formulace DuPont PE 874, která byla natištěna na bambusovou viskózu s primerem. Důvodem může být přítomnost elastomerního polymeru u tiskové formulace 05\_11, resp. vyšší obsah elastomerního polymeru oproti formulaci 02\_17 a přítomnost flexibilního polymeru na bázi TPU u tiskové formulace 05\_27. Tisková formulace DuPont PE874 natištěna na bambusovou viskózu (bez primeru) nebyla po 10 cyklech měřitelná. Stejně tak i tiskové formulace, které nejsou zaznamenány v grafu. Všechny výše zmíněné tiskové formulace, s výjimkou formulace 05\_27, byly tištěny jak na bambusovou viskózu s primerem, tak na samotnou bambusovou viskózu. Nejlepších výsledků v odolnosti vůči průtahu dosahovala uhlíková tisková formulace 05\_27 a stříbrná formulace 05\_11. Tiskové formulace (02\_17, primer + 02\_17, primer + 05\_11), které nejsou zaneseny do grafů nebyly měřitelné již po prvních 5 cyklech nebo byly naměřeny příliš vysoké hodnoty odporu.



Obrázek 60: Průběh tahových testů na bambusové viskóze (linky)

Struktura meandrů (obr. 61) u tahových testů měla ve srovnání s linkami mírně lepší výsledky. Při porovnání linek a meandrů, které byly podrobeny tahovým testům, vykazují meandry lepší hodnoty, ve smyslu nižšího poškození vodivých drah. U tiskových formulací 05\_27 a DuPont PE874 (tištěna na bambusovou viskózu bez primeru i sním) nebyla zaznamenána téměř žádná změna. Následovala tisková formulace 05\_11. Největší zhoršení během tahových testů bylo zaznamenáno u tiskové formulace 05\_11, která byla natištěna na bambusovou viskózu s primerem. Nicméně na rozdíl od tiskové formulace 02\_17 nedošlo k přerušení vodivosti.



Obrázek 61: Průběh tahových testů na bambusové viskóze (meandr)

### 3 ZÁVĚR

V experimentální části diplomové práce byly textilní materiály potištěny vodivými tiskovými formulacemi s vodivými částicemi na bázi stříbra a uhlíku. Mezi potištěné textilní materiály patří netkaná textilie, netkaná textilie s primerem, bambusová viskóza, bambusová viskóza s primerem, tkanina Tencel a dva druhy textilie z polyesterových vláken, které byly z jedné strany opatřeny PUR membránou. Tisk na textilní materiály byl proveden pomocí sítotisku a microdispensingu.

Pro tiskovou techniku sítotisku byly vybrány dva druhy sítovin. Tiskové šablony byly zhotoveny na síto s počtem a průměrem vláken ( $\mu\text{m}$ ) 77/48 a 43/80. Následně byly potištěny textilní materiály za použití čtyř tiskových formulací. Všechny tiskové formulace, které byly použity pro sítotisk byly na bázi stříbra. Na netkanou textilií a bambusovou viskózu byla před samotným tiskem nanесena podkladová vrstva, tedy primer na bázi elastomeru.

Po tisku následovalo měření pomocí čtyřbodové metody, kde výsledky ukázaly, že značný vliv na hodnoty elektrického odporu má zvolený typ síta, ale i počet vytištěných vrstev. V tomto případě byly nižší hodnoty povrchového odporu zjištěny u síta s počtem a průměrem vláken 43/80. Při porovnání povrchového odporu u netkané textilie byly nejlepší výsledky u podmínek tisku, kde byly vytištěny tiskové motivy ve třech vrstvách v režimu mokrá do mokré. Nejnižší zjištěné hodnoty povrchového odporu byly u tiskové formulace P1, která vykazovala výborné výsledky na všech textilních materiálech. Nejhorší výsledky byly na přírodních textilních materiálech jako je tkanina Tencel a bambusová viskóza, kde zjištěné hodnoty povrchového odporu byly poměrně vysoké nebo nebyly měřitelné. To bylo dáno vazbou textilií a jejich hrubou strukturou, která způsobovala nespojitost tištěných drah, či jejich významné lokální zúžení.

Poté byly zhotoveny mikroskopické snímky a zkoumána šíře a kvalita vytištěných motivů. Ačkoli tisková formulace P1 dosahovala nejlepších výsledků, co se týče vodivosti, v tomto případě docházelo u této formulace k největšímu rozšíření linek a písma v porovnání k tiskovým datům. Nejužší linky byly naměřeny u tiskové formulace 2020\_02\_17\_2, v průměru se lišily o 50  $\mu\text{m}$ .

Na závěr byly provedeny ohybové a tahové testy. Ohybové testy byly u sítotisku provedeny pro netkanou textilií a bambusovou viskózu. V obou případech obstála nejlépe tisková formulace P1 tištěna sítem 43/80, ihned za ní byly tiskové formulace 2020\_05\_11\_1 a DuPont PE874. Tahové testy byly provedeny pouze pro bambusovou viskózu, protože jako jediná

z testovaných textilních materiálů byla elastická. I u těchto testů obstála pouze tisková formulace P1 tištěna sítím 43/80 na bambusovou viskózu s primerem i bez něj.

Tisková struktura tištěna microdispensingem byla tvořena linkami a meandry, nejširší linka byla tvořena šesti vzájemně paralelními liniemi (1 mm), další čtyřmi (0,6 mm), dvěma (0,2 mm) a jednou linkou (0,5 mm). Meandry byly vytištěny o šířce 0,6 mm. Tisk byl zhotoven za použití čtyř tiskových formulací. Jednalo se o tři stříbrné tiskové formulace (2020\_02\_17\_2, 2020\_05\_11\_1 a DuPont PE874) a jednu uhlíkovou formulaci (2020\_05\_27\_1). Po tisku byly zjištěny hodnoty povrchového odporu. U všech tiskových formulací byly zjištěné hodnoty poměrně nízké, výjimkou byla linka tištěna jedním průchodem, která dosahovala vysokých hodnot ve srovnání s ostatními linkami a meandry, nebo ji nebylo možné změřit vůbec, díky jejímu přerušení. Špatné výsledky byly zjištěny u kombinace tiskové formulace DuPont PE874 a polyesterové textilie s PUR membránou. Po sušení došlo u této tiskové formulace k delaminaci z potiskovaného substrátu. Důvodem byla špatná adheze tiskové formulace k PUR membráně.

Ohybové testy byly provedeny pro všechny typy textilních materiálů. V případě ohybových testů byly zjištěny nejlepší výsledky u uhlíkové tiskové formulace 2020\_05\_27\_1. U této tiskové formulace nedošlo k téměř žádným změnám na všech textilních materiálech ani po 500 cyklech. U zbylých tiskových formulací záleželo především na textilním materiálu. Ze stříbrných tiskových formulací byly nejlepší výsledky u tiskové formulace 2020\_05\_11\_1. Nejhorší výsledky byly obecně zjištěny u stříbrných tiskových formulací na bambusové viskóze.

Tahové testy byly opět provedeny pouze na bambusové viskóze, a to ze stejného důvodu jako u sítotisku. U tahových testů především záleželo, zda se jedná o linku či meandr. Nejlepší výsledky byly zjištěny v případě linky u uhlíkové tiskové formulace, v případě meandrů u všech tiskových formulací. Výjimkou u meandrů byly tiskové formulace 2020\_02\_17\_2 tištěné na bambusovou viskózu s primerem i bez něj a tisková formulace 2020\_05\_11\_1 tištěná na bambusovou viskózu s primerem.

## 4 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] E. ROTARI a C. NEGARA. Possibilities and applications of smart textiles. MATEC Web of Conferences [online]. 2017, 112 [cit. 2020-01-17]. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711204025>. ISSN 2261-236X. Dostupné z :[https://www.researchgate.net/publication/318110866\\_Possibilities\\_and\\_applications\\_of\\_smart\\_textiles](https://www.researchgate.net/publication/318110866_Possibilities_and_applications_of_smart_textiles)
- [2] V. KONCAR. Smart Textiles and Their Applications. 1st edition. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016. ISBN 9780081005835.
- [3] Bavlna - Cotton - Baumwolle - aneb co jste možná nevěděli. Vesna [online]. Pardubice: Vesna [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.vesna.cz/bavlna-cotton-baumwolle-aneb-co-jste-mozna-nevedeli>.
- [4] 100 Facts about Cotton. International Cotton Advisory Committee [online]. Washington DC: International Cotton Advisory Committee, 2018 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.icac.org/LearningCorner/LearningCorner?CategoryId=1&MenuId=14>
- [5] M. SOLNIČKOVÁ. Vlastnosti konvenční bavlny a bio bavlny [online]. Liberec, 2009 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/111343>. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Vladimír Kovačič.
- [6] J. SIMČINOVÁ. Propagace textilních výrobků z bio-bavlny [online]. Liberec, 2008 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/111052>. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Larisa Očeretná.
- [7] G. NOVOTNÝ. Globální obchod s bavlnou a jeho sociální a environmentální důsledky ve středoasijských republikách [online]. Brno, 2013 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/fc53z/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Daněk.

- [8] S. FERRIGNO, R. GUADAGNINI a K. TYRELL. Is cotton conquering its chemical addiction?. In: A review of pesticide use in global cotton production [online]. Pesticide Action Network UK, 2018, s. 1-76 [cit. 2019-11-10].
- [9] V. DUCHÁČEK. Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2., přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [10] J. ŠŇUPÁREK. Makromolekulární chemie: Úvod do chemie a technologie polymerů. Vyd. 3., dopl. a upr. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-761-2.
- [11] A. ŠUSTKOVÁ. Zpracování celulózy pro průmyslové aplikace [online]. Zlín, 2018 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/42772>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Ondřej Krejčí.
- [12] P. VERMA. Modal fibers. Fibre2Fashion [online]. Fibre2Fashion Pvt. Ltd., 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/5169/modal-fibre-to-fabric>
- [13] Viskóza. Gina [online]. Hradec Králové: Milpex s.r.o., © 2005-2017 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.gina.cz/Informace-ozbozi/Materialy/Viskoza.aspx>
- [14] T. ŠVAGERKA. Vliv jemnosti viskózových a lyocellových vláken na jejich vlastnosti a barvitelnost [online]. Liberec, 2008 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/38941>. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní.
- [15] V. HLADÍK. Textilní vlákna: vysokoškolská příručka. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970.
- [16] Viskóza. Látkaniny [online]. Látkaniny, © 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.latkaniny.cz/viskoza/>

- [17] Z. GREGUŠOVÁ. Studium vlastností bambusových vláken a regenerovaných celulóзовých vláken získávaných z bambusu [online]. Liberec, 2011 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/11516>. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Jitka Nováková.
- [18] E. ALEXOPOULOU. Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts: Bamboo Production for Industrial Utilization [online]. Academic Press, 2018 [cit. 2019-11-10]. ISBN 978-0-12-812900-5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812900-5.00006-0>
- [19] M. WAITE. Sustainable Textiles: the Role of Bamboo and a Comparison of Bamboo Textile properties. Journal of Textile and Apparel, Technology and Management [online]. Dept. of Textile and Apparel, Technology and Management, 2010, 6(3), 1-22 [cit. 2019-11-10]. ISSN 1533-0915. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/231608434\\_Sustainable\\_Textiles\\_the\\_Role\\_of\\_Bamboo\\_and\\_a\\_Comparison\\_of\\_Bamboo\\_Textile\\_properties\\_Part\\_II](https://www.researchgate.net/publication/231608434_Sustainable_Textiles_the_Role_of_Bamboo_and_a_Comparison_of_Bamboo_Textile_properties_Part_II)
- [20] Modal. Gina [online]. Hradec Králové: Milpex s.r.o., © 2005-2017 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.gina.cz/Informace-o-zbozi/Materialy/Modal.aspx>
- [21] Modal yarn. Varvaressos S.A. [online]. Varvaressos S.A. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://varvaressos.eu/en/yarns/yarns-from-cellulosic-man-made-fibers/modal-yarn/>
- [22] Fiber production: Viscose and modal process. Lenzing AG [online]. Lenzing AG, © 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.lenzing.com/sustainability/production/fiber-production/>
- [23] O materiálech. EtikButik [online]. Praha: EtikButik, © 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.etikbutik.cz/o-nas/o-materialech>
- [24] Tencel. Tencel [online]. Lenzing: Tencel™, © 2018 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.tencel.com/about>

- [25] Tencel. V říši látek [online]. Lubina: V říši látek [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <http://vrisilatek.cz/kategorie-produktu/tencel/>
- [26] Fiber production: Lyocell process. Lenzing AG [online]. Lenzing: Lenzing AG, © 2019 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.lenzing.com/sustainability/production/fiber-production/>
- [27] M. MÜLLER. Vliv stárnutí na vlastnosti polyesterových vláken [online]. Liberec, 2011 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/11651/V%20155-11%20Tb.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta Textilní. Vedoucí práce Blanka Tomková.
- [28] Polyesterová vlákna. Škola textilu [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/467/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Polyesterova-vlakna.html>
- [29] B. VOBĚRKOVÁ, Barbora. Porovnání trvanlivostních vlastností PES materiálů vyrobených klasickým způsobem a z recyklovaných pet zdrojů [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/25518/Bakalarska\\_prace\\_\\_Voberkova\\_Barbora.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/25518/Bakalarska_prace__Voberkova_Barbora.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Petra Komárková.
- [30] Polyester. Gina [online]. Hradec Králové: Milpex, © 2005-2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.gina.cz/Informace-o-zbozi/Materialy/Polyester.aspx>
- [31] H. KAO, CH. CHUANG, L. CHANG, CH. CHO a H. CHIU. Inkjet-printed silver films on textiles for wearable electronics applications. Surface & Coatings Technology [online]. Elsevier B.V, 2019, 362, 328-332 [cit. 2019-04-06]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2019.01.076. ISSN 0257-8972. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.076>

- [32] K. YANG, R. TORAH, Y. WEI, S. BEEBY a J. TUDOR. Waterproof and durable screen printed silver conductive tracks on textiles. *Textile Research Journal* [online]. London, England: SAGE Publications, 2013, 83(19), 2023-2031 [cit. 2019-04-06]. DOI: 10.1177/0040517513490063. ISSN 0040-5175. Dostupné z: <https://search.proquest.com/docview/1470372150?accountid=17239>
- [33] H. SAGHLATOON, L. SYDANHEIMO, L. UKKONEN a M. TENTZERIS. Optimization of Inkjet Printing of Patch Antennas on Low-Cost Fibrous Substrates. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* [online]. IEEE, 2014, 13, 915-918 [cit. 2019-04-28]. DOI: 10.1109/LAWP.2014.2322572. ISSN 1536-1225. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6812131>
- [34] Z. STEMPIEN, E. RYBICKI, T. RYBICKI a J. LESNIKOWSKI. Inkjet-printing deposition of silver electro-conductive layers on textile substrates at low sintering temperature by using an aqueous silver ions-containing ink for textronic applications. *Sensors & Actuators: B. Chemical* [online]. Elsevier B.V, 2016, 224, 714-725 [cit. 2019-04-06]. DOI: 10.1016/j.snb.2015.10.074. ISSN 0925-4005. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400515305402>
- [35] V. PLIC. Testování parametrů sítotiskových past pro textilní substráty [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27824/1/BP%20Plic%20Vaclav.pdf>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Tomáš Bystřický.
- [36] J. NEZHYBOVÁ. Tisk vodivých inkoustů na textilní materiály [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/112590/V\\_02214\\_T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/112590/V_02214_T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Ladislav Torčík.
- [37] M. STOPPA, A. CHIOLERIO. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors* [online]. 2014, 14(7) [cit. 2020-01-17]. DOI: <https://doi.org/10.3390/s140711957>. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/7/11957>

- [38] J.FOUD. Motivy a dielektrika na Cu a Al substrátech [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/27812/1/BP\\_Foud\\_Jan.pdf](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/27812/1/BP_Foud_Jan.pdf). Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Jiří Hlína.
- [39] Z. CUI. Printed Electronics: Materials, Technologies and Applications [online]. Singapore: John Wiley & Sons, 2016 [cit. 2020-06-23]. ISBN 9781118920923.
- [40] G. NISATO, D. LUPO a S. GANZ. Organic and Printed Electronics: Fundamentals and Applications [online]. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2016 [cit. 2020-06-23]. ISBN 978-981-4669-75-7. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/301339718\\_Organic\\_Field-Effect\\_Transistors](https://www.researchgate.net/publication/301339718_Organic_Field-Effect_Transistors)
- [41] M. ZIGLER. Elektrické vlastnosti kompozitních materiálů s plnivý na bázi vodivých polymerů [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/2672/1/ZIGLER\\_DP.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/2672/1/ZIGLER_DP.pdf). Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Robert Vik.
- [42] P. MACEK. Vodivé polymery pro ESD ochrany [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/2717/1/DP%20Macek%20Pavel.pdf>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Jan Řeboun.
- [43] J. KOTAS. Elektricky vodivé organické sloučeniny [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/9396/1/Kotas\\_Zaverecna%20prace.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/9396/1/Kotas_Zaverecna%20prace.pdf). Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Silvan Pretl.
- [44] O. NECHYPORCHUK, J. YU, V. NIERSTRASZ a R. BORDES. Cellulose Nanofibril-Based Coatings of Woven Cotton Fabrics for Improved Inkjet Printing with a Potential in E-Textile Manufacturing. ACS Sustainable Chemistry and Engineering [online]. American Chemical Society, 2017, 5(6), 4793-4801 [cit. 2019-04-06]. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b00200. ISSN 21680485. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.7b00200>

- [45] M. KAPLANOVÁ. Moderní polygrafie. 1. vyd. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009. ISBN 978-80-254-4230-2.
- [46] S. KHAN, L. LORENZELLI a R. DAHIYA. Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates: A Review. IEEE Sensors Journal [online]. 2015, 15(6), 3164–3185 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6974982>
- [47] Vermes Microdispensing. Vermes Microdispensing [online]. Holzkirchen: Vermes Microdispensing GmbH, © 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.vermes.com/faq/>
- [48] P. LANGER. Contact versus Non-Contact Dispensing. Nordson EFD [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.nordson.com/en/divisions/efd/blog/043018-contact-versus-non-contact-dispensing>
- [49] J. FUGERE. Microdispensing Pastes and Adhesives. HDI The magazine of high-density interconnect [online]. 2001, 4(10) [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.dltechnology.com/uploads/hdi.pdf>
- [50] Micro Dispensing Techniques. Fluid Metering [online]. Oxfordshire: Integrated Dispensing System Ltd, 2014 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: [http://fluidmetering.co.uk/liquidyn/liquidyn\\_techniques.htm](http://fluidmetering.co.uk/liquidyn/liquidyn_techniques.htm)
- [51] X. B. CHEN, G. SHOENAU a W. J. ZHANG. Modeling of time-pressure fluid dispensing processes. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing [online]. IEEE, 2000, 23(10), 300–305 [cit. 2020-06-23]. DOI: 10.1109/6104.895075. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/895075>
- [52] P. SWANSON. The “Endless Piston” Pump Technology for Precision Dispensing [online]. Intertronics [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.intertronics.co.uk/wp-content/uploads/2017/05/wp12-1The-Endless-Piston-Pump-Technology-for-Precision-Dispensing.pdf>

- [53] T. GAUGEL, S. BECHTEL a J. NEUMANN-RODEKIRCH. Advanced micro-dispensing system for conductive adhesives [online]. IEEE, 2001 [cit. 2020-06-23]. ISBN 0-7803-7220-4. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/973253>
- [54] Š. KOSOVÁ. Tisk a charakterizace vodivých funkčních struktur na 3D objektech [online]. Pardubice, 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/nzhmv5/KosovaS\\_Tisk\\_a\\_chrakterizace\\_TS\\_2019.pdf](https://theses.cz/id/nzhmv5/KosovaS_Tisk_a_chrakterizace_TS_2019.pdf). Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce Tomáš Syrový.
- [55] S. BAMMESBERGER, A. ERNST, N. LOSLEBEN, L. TANGUY, R. ZENGERLE a P. KOLTAY. Quantitative characterization of non-contact microdispensing technologies for the sub-microliter range. *Drug Discovery Today* [online]. 2013, 18(9–10), 435–446 [cit. 2020-06-23]. DOI: 10.1016/j.drudis.2012.12.001.
- [56] K. H. GROTE a E. K. ANTONSSON. Springer Handbook of Mechanical Engineering [online]. Springer Science & Business Media, 2009 [cit. 2020-06-23]. ISBN 978-3-540-30738-9. Dostupné z: [https://www.academia.edu/36968135/Springer\\_Handbook\\_of\\_Mechanical\\_Engineering](https://www.academia.edu/36968135/Springer_Handbook_of_Mechanical_Engineering)
- [57] D. HALLIDAY, J. WALKER a R. RESNIK. Fyzika. Brno: VUTIUM, 2005. ISBN 8021418680.
- [58] D. K. SCHRODER. Semiconductor material and device characterization. 3rd. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-0-471-73906-7.
- [59] O. KRČMÁŘ. Metody měření a vyhodnocení elektrostatických vlastností textilií [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/10468/1/BP%20Krcmar%20Ondrej%2C%20Metody%20mereni%20a%20vyhodnoceni%20elektrostatickych%20vlastnosti%20textilii.pdf>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Karel Hromadka.

- [60] S. WANG, D. WANG a J. CHUNG. Method of sensing impact damage in carbon fiber polymer-matrix composite by electrical resistance measurement. *Journal of Materials Science* [online]. 2006, 41, 2281–2289 [cit. 2020-06-23]. DOI: 10.1007/s10853-006-7172-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10853-006-7172-9>
- [61] C. HERTLEER a L. VAN LANGENHOVE. *Standards for smart textiles* [online]. Singapore: Springer, 2015 [cit. 2020-06-07]. ISBN 978-981-4451-68-0. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-981-4451-68-0\\_40-1](https://doi.org/10.1007/978-981-4451-68-0_40-1)