

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Využití tiskových technologií pro oblast Smart Textile
David Waldhans

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Waldhans**
Osobní číslo: **C18382**
Studijní program: **B3441 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Název tématu: **Využití tiskových technologií pro oblast Smart Textile**
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

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

1. Provedte rešerši v odborné a patentové literatuře na téma tvorby funkčních struktur pro oblast Smart Textile realizovaných pomocí tiskových technologií.
2. Zpracujte danou rešerši do uceleného přehledu a uveďte jaké tiskové techniky se využívají, případně jaké typy funkčních prvků byly zhotoveny a jakých výsledků u nich bylo dosaženo.
3. Uveďte metody hodnocení vybraných charakteristik vybraných Smart Textile prvků, testování jejich stability, aj.
4. Provedte kritické zhodnocení dané problematiky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D.

Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **27. února 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2019**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



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

V Pardubicích dne 27. února 2019

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne:

David Waldhans

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Doc. Ing. Tomáši Syrovému, Ph.D., za jeho užitečné rady a připomínky, které mi při zhotovení této práce udělil a hlavně za jeho velkou trpělivost.

ANOTACE

V této práci je popsána problematika tiskových technologií pro oblast Smart Textil a jejich aplikace. Je zde vysvětlena oblast Smart textilií, jejich rozdělení, používané materiály, funkční struktury a používané tiskové technologie a následné hodnocení těchto vytištěných struktur.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chytré textilie, Inteligentní textilie, materiálový tisk, tiskové technologie, Sítotisk, Hlubotisk, Flexotisk, Ink-Jet, 3D tisk

TITLE

Printing technologies used for Smart Textile

ANNOTATION

In this work is described the issue of printing technologies for Smart Textile and their applications. There is explained the area of Smart Textiles, their classification, used materials, functional structures and used printing technologies and subsequent evaluation of these printed structures.

KEYWORDS

Smart textile, Intelligent textile, material printing, printing technologies, Screen printing, Gravure, Flexography, Ink-Jet, 3D print

OBSAH

Seznam zkratk	9
Úvod	10
1 Smart textile	11
1.1 Inteligentní materiály	11
1.2 Chytré textilie	12
2 Materiály pro IT	12
2.1 IT využívající vodivá vlákna	13
2.2 IT využívající vodivé polymery	14
2.3 IT využívající vrstvy na bázi vodivých tiskových formulací	15
2.4 IT využívající uhlíkové kompozity	15
3 Funkční struktury v Inteligentních textíliích	18
3.1 Senzory	18
3.2 Akční členy	20
3.3 Řídící jednotky	22
4 Tiskové technologie pro oblast IT	23
4.1 Hlubotisk	23
4.2 Flexotisk	25
4.3 Sítotisk	27
4.4 Ink-Jet	28
4.5 Aerosol Jet Printing	30
4.6 3D tisk	33
5 Metody hodnocení	35
5.1 Metody hmatového hodnocení tkanin	36
5.2 Metoda pro stanovení elektrické vodivosti	36
5.3 Metody pro stanovení Fázové změny	38
5.4 Testy odolnosti v praní a sušení	38
Závěr	42

Bibliografie	43
Seznam obrázků	49

SEZNAM ZKRATEK

IM	Inteligentní materiál
IT	Inteligentní textilie
TFT	Tenkovrstvý tranzistor
OTFT	Organický tenkovrstvý tranzistor
PEN	Polyethylnaftalát
PA66	Polyamid 66
PLA	Kyselina polymléčná
CNT	Uhlíkové nanotrubicce
SC	Superkondenzátor
AATCC	Americká asociace textilních chemiků a koloristů
EKG	Elektrokardiogram
PET	Polyethylentereftalát
RFID	Radiofrekvenční identifikační značky
ELD	Bezproudové ukládání
SMA	Tvarové paměťové slitiny
SMP	Polymery s tvarovou pamětí
EAP	Elektroaktivní polymer
AJP	Aerosol Jet printing

ÚVOD

Smart textile neboli oblast chytrých, či někdy inteligentních textilií je nové odvětví. Dříve totiž nebyly dostatečné technologie a miniaturizace zařízení, aby je bylo možné aplikovat do textilu, a hlavně nebyly dostatečně vodivé polymery či jiné tiskové formulace. V dnešní době je toto odvětví na vzestupu jak u nás, tak i ve světě. Tyto technologie se uplatňují v řadě odvětví jako na příklad ve zdravotnictví, sportu nebo v armádním sektoru. Obecně lze chytrý textil popsat jako textilní výrobek, který je schopen reagovat na vnější podmínky, a to za pomoci elektrických zařízení nebo speciálních vodivých vláken. Jedním z hlavních důvodů rychlého rozvoje chytrých textilií jsou aplikace pro lékařský a vojenský průmysl, kde se investují do tohoto odvětví velké peníze. Například pro materiál přizpůsobující se barvou k prostředí nebo pro ochranu a monitorování životních funkcí nositele. Pro hodnocení kvality chytrých/inteligentních textilií je zatím omezené množství norem či mezinárodních standardů, ale díky perspektivě dané oblasti jsou další v přípravách. V této oblasti je mnoho věcí, co musí splňovat určitou kvalitu, a proto je obtížné vytvořit všechny potřebné normy a testy hned v počátku.

1 SMART TEXTILE

1.1 Inteligentní materiály

Čím dál častěji se můžeme setkat s pojmem Smart materials v českém překladu Inteligentní materiál. Pod pojmem „inteligentní materiál“ (IM) si nepředstavujeme nic s žádnou inteligencí jako takovou nebo třeba i tou umělou. Jedná se o inteligenci reagovat na vnější podmínky a patřičně se na ně přizpůsobit. [1] Tyto materiály dokáží reagovat na podmínky jako jsou například tlak, teplota, elektrické nebo magnetické pole, záření, chemické látky a spoustu dalšího. A výsledkem pak může být efekt jako změna barvy, indexu lomu, změna objemu, rozdělení tlaku a napětí. Mezi tyto materiály patří: [2]

- Termochromní materiály – přenos tepelné energie (tepla) do materiálu mění jeho barvu. Lze použít dva principy změny barevnosti, a to termochromní kapalné krystaly nebo termochromní molekulové komplexy s přenosem náboje.
- Termotropní materiály – přenos tepelné energie (nebo záření pro fototropní, elektřinu pro elektotropní atd.) do materiálu mění svou mikrostrukturu fázovou změnou. V jiné fázi většina materiálů vykazuje různé vlastnosti, včetně vodivosti, propustnosti, objemové expanze a rozpustnosti.
- Tvarová paměť – přenos tepelné energie mění mikrostrukturu změnou krystalické fáze. Tato změna umožňuje více tvarů ve vztahu k stimulu.
- Fotovoltaika – přenos energie záření z viditelného spektra (nebo infračerveného spektra pro termofotovoltaiku) umožňuje při zakomponování fotovoltaických struktur do chytřích textilií produkovat elektrický proud.
- Termoelektrický materiál – přenos elektrického proudu vytváří teplotní rozdíl na opačných stranách materiálu. Tím lze vyhřívat, resp. chladit určitou část oděvu. Na druhou stranu lze na základě daného principu vyrábět elektrickou energii.
- Piezoelektrický materiál – Většina piezoelektrických struktur je obousměrná v tom, že přiložením potenciálu na piezoelektrický element může být způsobena jeho deformace, ale i obráceně, jeho deformací může být generován elektrický potenciál.
- Fotoluminescentní materiál – vstup záření např. z oblasti ultrafialového spektra je přeměněna na energii záření ve viditelném spektru.

- Electrostriční materiál – aplikace proudu (nebo magnetického pole) se deformuje nebo mění tvar materiálu.

1.2 Chytré textilie

Chytré nebo také Inteligentní textilie (IT) patří mezi inteligentní materiály, které dokáží reagovat na vnější podmínky mechanického, tepelného, elektrického, chemického nebo magnetického působení. Podle funkčnosti dělíme IT do dvou skupin: [3]

- Pasivní inteligentní textilie – skupina textilií, které jsou pouhými senzory vnějších podmínek a podmětů.
- Aktivní inteligentní textilie – skupina textilií, které mají jak senzory, tak i akumulátory.
- Pokročilé chytré textilie – schopné vnímat, reagovat a přizpůsobovat své chování daným okolnostem.

Aby IT byl opravdu inteligentní a schopné reagovat na prostředí musí obsahovat senzory, které vytvářejí síť pro detekci vnějších podnětů. Spolu se senzory tvoří základ IT také ovládací prvky, které vyhodnocují daný signál, buď samostatně nebo přes centrální řídicí jednotku. Signál ze senzorů může být nejrůznější povahy, jak je popsáno už v podkapitole 1.1.

2 MATERIÁLY PRO IT

Za poslední desetiletí bylo použito mnoho materiálů a kombinací materiálů pro vytvoření vhodné IT. Tyto materiály v sobě obsahují zabudované miniaturizované počítače, digitální komponenty nebo elektroniku, poskytují nové funkce oděvům, převyšující klasické používání. Elektricky vodivé textilie zahrnují vodivá vlákna, příze, tkaniny a finální výrobky z nich vyrobené. Často jsou předpokladem pro fungování inteligentních textilií a jejich kvalita určuje trvanlivost, omyvatelnost, opakovatelnost a vláknité vlastnosti inteligentních textilií.

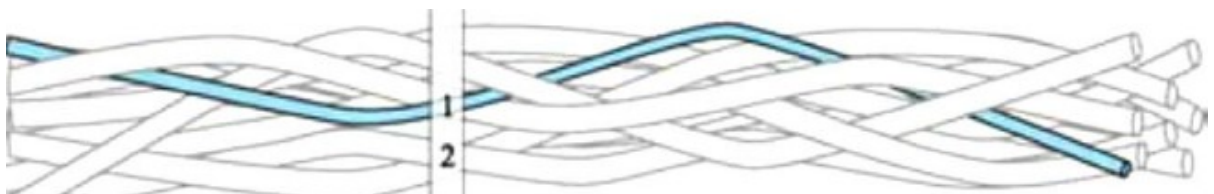
Výroba vodivých komponent do pružné elektroniky je klíčovým problémem při dosahování velkoplošné výroby inteligentních textilií. Existuje mnoho publikovaných studií, které uvádějí vodiče integrované s pružnými podklady, jako jsou uhlíkové kompozity, vodivé polymery a kov. Vodivé polymery jsou dnes dobře dostupné ale mají relativně nižší vodivost, například polymery PEDOT nebo Polypyrrol mají vodivost kolem 100–1000 S/cm). Mezi často užívanými materiály jsou použity různé formy kovových materiálů (nitě, tisknutelné kompozity, napařené vrstvy na textilních vláknech), protože jsou levné, vysoce vodivé a široce kom-

patibilní. Pružnost použitých kovových prvků a vláken je klíčem pro trvanlivost e-textilní a nositelné elektroniky. Nízkonákladová a velkoplošná výroba flexibilní elektroniky pomocí tiskových procesů by mohla radikálně změnit pohled lidí na elektroniku a podstatně rozšířit spektrum potenciálních materiálů. Díky své jednorozměrné struktuře a vynikajícím elektrickým vlastnostem jsou uhlíkové nanotrubičky (CNT) nebo grafen jednou z nejslibnějších materiálových aplikací. Vědci stále hledají účinnou technologii ve využití jednovrstvého grafenu. [4]

2.1 IT využívající vodivá vlákna

Jsou to textilní struktury, které vykazují elektrickou nebo tepelnou vodivost. Mohou mít různé funkce, jako jsou antistatické aplikace, stínění elektromagnetického rušení, elektronické aplikace, infračervené absorpce nebo ochranné oděvy ve výbušných prostorech. Běžným způsobem výroby kovových vláken je tažení drátu, tj. mechanický výrobní proces. Tažná hubice, používaná pro tažení vlákna, se skládá z ocelového držáku s jádrem z keramiky, karbidu nebo diamantu. Počáteční průměr kovového drátu se mění v závislosti na materiálu. Například u mědi je obvykle 8 mm, u železa 5 mm. Po tažení je drát žhán při teplotách mezi 600 a 900 °C. Následně jsou kaleny. Jemný kovový drát je pak ovinut na otočný válec pro tažení drátu. Tyto vlákna lze přímo použít při tkaní a pletení. Důležité je, že podle použitého materiálu lze dosáhnout různé elektrické vlastnosti. [5]

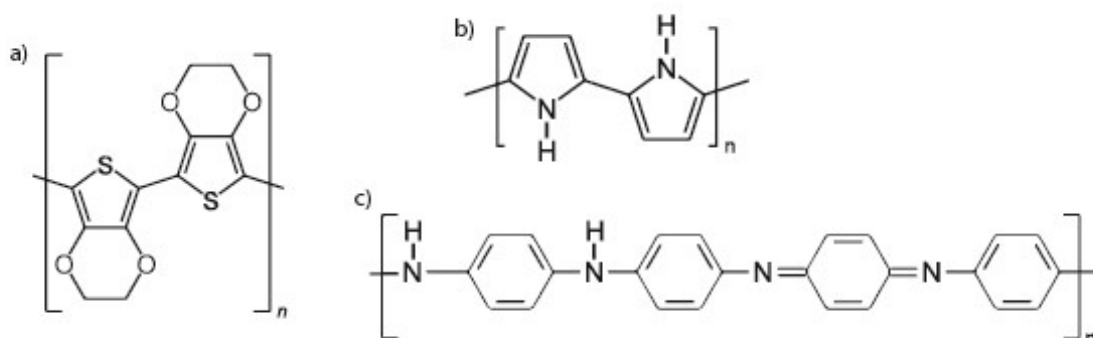
Společnost Swiss-Shield (Švýcarsko) se specializuje na výrobu kovových monovláken, které jsou zabudovány do základních přízí, jako je bavlna, polyester nebo polyamidy. Kovové vlákna jsou vyrobena například z mědi, mosazi, bronzu, stříbra, zlata a hliníku. Na následujícím obrázku 1 je znázorněna typická vodivá příze se základními vlákny a kovovým vláknem zakrouceným kolem nich. Modré vlákno 1 představuje kov a ostatní bílá vlákna 2 jsou obyčejné příze. [5]



Obrázek 1: Schéma vodivého vlákna sestávajícího z normálními vlákny [5]

2.2 IT využívající vodivé polymery

Důležitou součástí vývoje inteligentních textilií jsou vodivé polymery, které jsou definovány jako organické polymery schopné vést elektrinu. Kombinují některé mechanické vlastnosti plastů s elektrickými vlastnostmi typickými pro kovy. Nejzajímavější ve skupině těchto polymerů jsou PEDOT, polyanilin, polypyrrol. Komerčně dostupné inteligentní textilní výrobky, kde mají zásadní roli vodivé polymery, jsou například zdravotnické textilie, ochranné oděvy, displeje s dotykovou obrazovkou, pružné textilní klávesnice a senzory pro různé oblasti. [6]



Obrázek 2: Strukturní vzorce a) PEDOT b) Polypyrrol c) Polyanilin [3]

Polymery nabízejí několik výhod pro tiskové technologie inteligentních materiálů, a to nízká cena, vyšší univerzálnost než anorganické materiály a vyšší flexibilita. Navíc jsou jejich výrobní postupy jednoduché a lze je tisknout na řadu typů podkladů. Existuje také široká možnost přizpůsobení postranních řetězců a molekulární struktury, zavádění neutrálních nebo nabitých plniv, jakož i částic se specifickými vlastnostmi do materiálu nebo do polymerních kompozitů, což umožňuje výrobu materiálů s využitím specifických chemických a fyzikálních vlastností. [7]

Vodivá vlákna jsou posledních let na vzestupu a jsou součástí prudce se rozvíjejícího vývoje. Jako nový přístup k výrobě vodivých vláken se v poslední době začíná používat řada nových syntetických přístupů, aby se vytvořila mezifázová vrstva na povrchu polymerních vláken. Tato mezifázová vrstva slouží jako platforma pro ukotvení katalyzátorů pro následující bezproudové ukládání kovu (ELD). Navržená mezifázová vrstva výrazně zvyšuje adhezi mezi polymerními substráty a deponovanými kovovými vrstvami, aby se zlepšila trvanlivost inteligentních textilií. ELD je levná a jednoduchá metoda pro výrobu kovových povrchů (Cu, Ni, Ag, Au atd.) na měkkých a roztažitelných podkladech, jako jsou pryž, plast nebo textil. Rozhraní polymeru hraje důležitou roli v průběhu celého procesu, protože povrchová modifikace

významně zvyšuje adhezi mezi nanočásticemi kovu a pružnými substráty. Prvním krokem je modifikace surových substrátů aplikací vodivého polymeru, druhý krok zahrnuje imobilizaci zachycených katalyzátorů a ve třetím kroku dochází k bezproudovému uložení v lázni, přičemž na katalyzované ploše rostou nanočástice kovů. ELD poskytuje silnou adhezi k překonání mechanických poruch a nestability, což minimalizuje praskání kovové vrstvy z povrchu substrátu, když jsou vodiče namáhány. Kovové povrchy vyrobené pomocí ELD jsou obvykle vysoce kvalitní, s vynikajícími vodivými vlastnostmi. Výzkum ELD však zůstává v počáteční fázi. Je zde několik nevýhod, jako je dlouhá reakční doba a zdoluhavé syntézní kroky povrchové polymerace, které omezují průmyslový rozsah výroby a brání praktickým aplikacím. [4]

2.3 IT využívající vrstvy na bázi vodivých tiskových formulací

Interaktivní elektronické textilie mohou být také vyráběny pomocí vodivých tiskových formulací. Vodivé tiskové formulace nejčastěji využívají částice na bázi kovů jako je Ag, Cu nebo Au. Řada z nich je založena na vodě: voda je hlavní složkou inkoustu, ale též je využíváno mnoho rozpouštědlových. Tyto specializované tiskové formulace mohou být tisknuty na různé materiály, mezi které patří i textilie. Existuje řada technologií, které mohou tisknout vodivý inkoust na textilní substrát jako například ink-Jet a sítotisk. Inkousty mohou také obsahovat přísady, které se používají k vyladění vlastností inkoustu (reologie, povrchové napětí, adheze) nebo přidání specifických vlastností, čímž se zvýší jejich užité vlastnosti. [5]

Po tisku kovového inkoustu, kdy se vytvoří vodivý tištěný vzor, se musí částice slinout, aby se vytvořila souvislá vodivá vrstva mezi nimi a bylo dosaženo elektrické vodivosti. Slinování je proces spojování částic dohromady při teplotách pod odpovídajícím bodem tavení kovu, zahrnující spíše povrchové jevy než fázovou změnu mezi pevnou látkou a kapalinou. Například, s inkousty založenými na zlatých částicích (1,5 nm průměr), teplota tání byla experimentálně stanovena na minimum 380 °C. Zatímco pro inkousty založené na stříbrných částicích kovů (15 až 20 nm v průměru), kompletní slinovací fáze byla do 180 °C. [5]

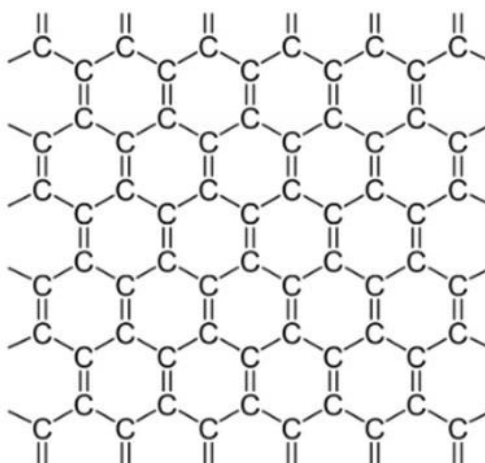
2.4 IT využívající uhlíkové kompozity

Na rozdíl od konvenční mikroelektroniky, jejíž důraz je kladen na miniaturizaci a maximální výkon, se makroelektronika zaměřuje na velkoplošné a levné aplikace a nové aplikace, u nichž je např. důležitá flexibilita. V posledních letech přitahují pozornost především nanomateriály, jako jsou například uhlíkové nanotrubičky, které mají velký potenciál pro pružnou elektroniku

díky jejich extrémně vysoké mobilitě nosičů náboje, vynikající mechanické pružnosti a stabilitě. V současné době je k dispozici několik strategií pro přípravu CNT. Obecně je lze klasifikovat do dvou kategorií: suché procesy a mokré procesy. V materiálovém průmyslu, jsou polovodičové CNT již komerčně dostupné ve velkých množstvích, stále zde ale existuje velká škála problémů jako nerovnoměrnost částic, pokud jde o délku nanotrubic. Dá se říci, že vysoká čistota a dobrá rovnoměrnost materiálu je výhodná pro stabilní elektrické vlastnosti v aplikacích. Kromě toho jsou žádoucí delší nanotrubičky, aby se zvýšil počet spojů mezi, což by mohlo vést k dalšímu zlepšení vodivosti. Dispergace dlouhých nanotrubic ($> 10 \mu\text{m}$) však není snadná. Povrchově aktivní látky používané k dispergování CNT se obtížně odstraňují a mohou působit jako bariéry pro elektronickou vodivost. V dané oblasti proto stále probíhá výzkum nových metod dispergace bez povrchově aktivních látek, aby se CNT účinně dispergovaly bez poškození nebo zkrácení jejich struktury. [8]

Polovodičové uhlíkové nanotrubičky jsou ideálními kandidáty např. pro materiál pružných TFT, a to z důvodu jedinečné kombinace nízkoteplotního zpracování, optické průhlednosti a vynikajících elektrických vlastností. S použitím vysoce čistých disperzí CNT byly získány sítě nanotrubiček s vysokou hustotou, které následně umožnily výrobu TFT a logických obvodů na pevných i pružných podkladech. Pomocí vhodné povrchové chemie, lze hustotu sítě nastavit až $65 \text{ trubek}/\mu\text{m}^2$, což určuje maximální výkon zařízení. Použití ultratenkých polyimidových substrátů vede k vysoce flexibilním TFT a obvody vykazují vynikající stabilitu po tisících cyklů ohybu s poloměrem zakřivení přibližně 1 mm. [8]

Grafen je materiál, kde je každý atom uhlíku kovalentně vázán na tři další atomy uhlíku. Grafen je zajímavý materiál, který má velký teoretický specifický povrch, vysokou vnitřní pohyblivost nositelů náboje, vysokou hodnotu Youngova modulu, dobrou tepelnou vodivost, optickou propustnost a dobrou elektrickou vodivost. Tento materiál si zaslouží pozornost pro aplikace, jako jsou například transparentní vodivé elektrody. Grafen jako robustní, ale zároveň pružná struktura poskytuje řadu možností pro modifikaci nebo funkcionalizaci jeho struktury. Grafen má také vysokou mobilitu nosičů náboje, která je vyšší než jakýkoli známý materiál a výzkumníci vyvíjejí metody pro využití této vlastnosti v elektronice. [9]



Obrázek 3: Struktura grafenu [9]

V článku skupiny pracující na univerzitě v Menchestru je popsán vysoce vodivý, vysoce flexibilní, lehký a levný grafen pro bezdrátové komunikační aplikace. Jako důkaz konceptu byly navrženy, vyrobeny a charakterizovány tištěné antény na papírových substrátech. Aby bylo možné prozkoumat jeho potenciál v nosných komunikačních aplikacích, byly experimentálně studovány vlastnosti antény pod různými případy mechanického namáhání. Výsledky měření ukazují, že tištěný grafen lze použít pro přenos vysokofrekvenčních signálů, v bezdrátových přenosných komunikačních systémech. Tištěný grafen může být dále zpracováván při nízké teplotě, takže je kompatibilní s ohnivzdornými materiály citlivými na teplo, jako jsou papíry a textilie. Grafen byl dispergován v daném rozpouštědle za vzniku 10% grafenového inkoustu (Grat-Ink 102E). V inkoustu bylo obsaženo méně než 1 % povrchově aktivních látek v podobě polymeru. Přítomnost povrchově aktivních látek zlepšuje disperzi grafenových částic a upravuje i viskozitu napomáhající tvorbě kvalitních vrstev. Jako substrát byl použit běžný papír a vzorky byly tištěny na ručním laboratorním sítotisku. Byly sušeny při 100 °C po dobu 10 minut. Následně byl vzorek válcován za použití kompresního válce pro získání vysoce hustých grafenových laminátů. Byla měřena vodivost a povrchový odpor tištěného grafenu za různých kompresních poměrů (kompresní poměr je definován jako poměr snížení tloušťky stlačeného vzorku ku tloušťce nelisovaného vzorku). Odolnost vrstvy grafenového laminátového vzorku byla měřena čtyřbodovou sondou (RM3000, Jandel, UK). Tloušťky nestlačených a komprimovaných grafenových vzorů byly měřeny digitálním tloušťkoměrem (PC-485, Teclock). Bylo provedeno celkem 10 měření na různých místech, aby se získala průměrná hodnota každého vzorku. Z výsledků plyne, že když je kompresní poměr 0 %, je tloušťka 31,6 μm a vodivost $8,3 \cdot 10^2 \text{ S/m}$. S nárůstem kompresního poměru stoupá vodivost a odpovídajícím poměrem se snižuje odpor vodivé vrstvy. Když je kompresní poměr 81 %, tj. tloušťka tištěného grafenu

6,0 μm , vodivost se zvyšuje na $4,3 \cdot 10^4 \text{ S/m}$, což znamená, že vodivost je zlepšena více než padesátkrát. Také odpor je snížen na $3,8 \Omega$. Tištěný grafen byl ohýbán a zkroucen a je zřejmé, že toto mechanické namáhání tištěných vrstev nemění vlastnosti, což je velmi žádoucí pro flexibilní nositelné zařízení. [10]

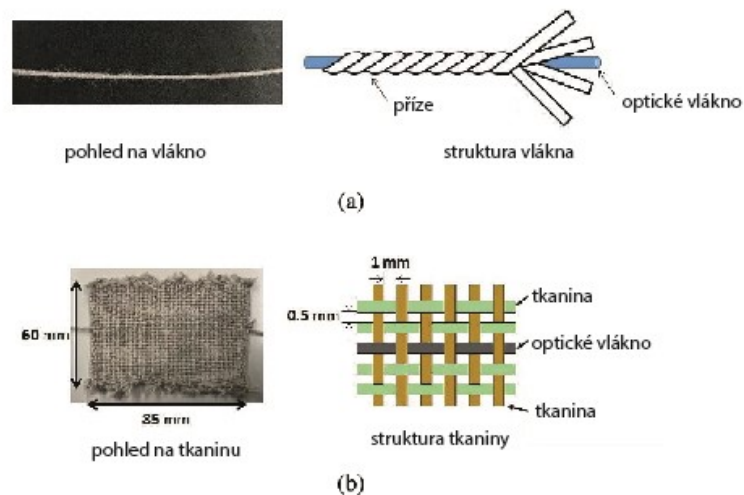
3 FUNKČNÍ STRUKTURY V IT

Základní komponenty inteligentních textilií jsou senzory, akční členy a řídicí jednotky. Nanotechnologie je klíčem k inteligentnímu textilnímu průmyslu. Příchod inteligentních nanotextilií způsobil revoluci v oblečení, které nosíme. Technologický vývoj v oblasti mikroelektromechanických systémů a nanoelektromechanických systémů, nabídl technologický impuls pro návrh inteligentních senzorů. Elektroaktivní vlákna hrají významnou roli v budoucím vývoji inteligentních textilií, to souvisí i s výrobou a distribuce energií, která je jednou z klíčových výzev inteligentního textilního systému. [11]

3.1 Senzory

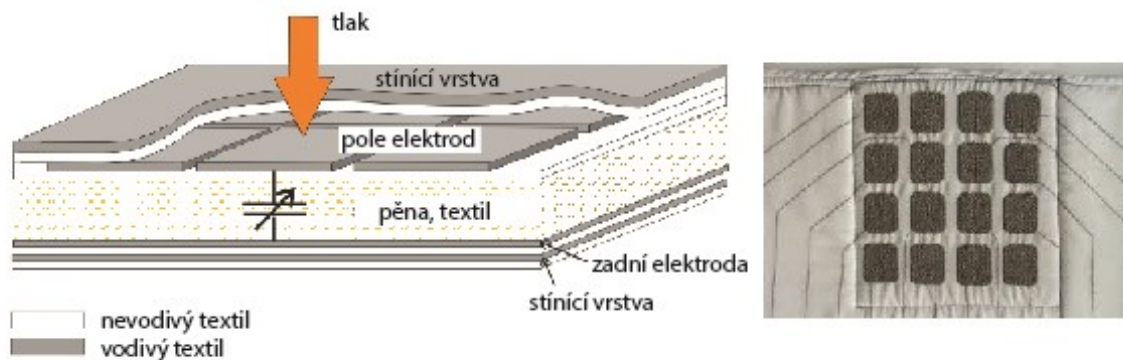
Základem senzoru je to, že transformuje signál na jiný signál. Tento signál může číst a chápat předdefinovaná čtečka, kterou může být reálné zařízení nebo osoba. Pokud jde o reálná zařízení, pak se nakonec většina signálů transformuje na elektrický. Elektrovodivé materiály jsou proto s ohledem na inteligentní textilie nanejvýš důležité. Samozřejmě, kromě technických úvah, konceptů, materiálů, konstrukcí a úprav se musí zaměřit na vhodnost pro použití v nebo jako textilní materiál. To zahrnuje kritéria jako flexibilita, odolnost vůči vodě (praní), odolnost proti deformaci, záření atd. Materiál, který má schopnost transformovat signál na elektrický, je například termočlánek. [11] Oblast senzorů je velice široká od senzorů pro snímání tlaku a síly, mechanického namáhání, optických vlastností, senzory pro detekci chemikálií a plynů, citlivé na teplotu a vlhkost až po senzory, které mají tvarovou paměť. [12]

Celosvětově se vyvíjejí například senzory pro monitorování srdečního tepu a dýchání, aby bylo možné nepřetržité sledování životních funkcí. Zde byla navržena nová inteligentní textilie pro monitorování tepu a dýchání, díky začlenění optického vláknového senzoru do textilní tkaniny. Jako optické vlákno bylo použito vlákno Hetro-Core, které bylo zapleteno do vlněné příze. Pro extrakci dat byla provedena analýza frekvenčního spektra, kdy frekvenční spektrum, ve kterém je hlavní pík při 0,25 Hz odpovídá dýchání. Spektrum má navíc malý pík v rozsahu 0,84–1,57 Hz, což odpovídá srdeční frekvenci 50–96krát za minutu. Rozsah je přisuzován zkreslení oděvu v důsledku srdečního tepu, který je častější než samotné dýchání. Textilie byla testována, aby byla zajištěna citlivost na změny namáhání. Při plném rozsahu 2,3 dB, což odpovídá zatížení 0,2 N byla naměřena standardní odchylka 1 %. [13]



Obrázek 4: a) vlákno Hetro-Core b) tkanina s vláknem Hetro-Core [13]

Další senzor je textilní, kapacitní senzor tlaku určený pro integraci do oděvu pro měření tlaku na lidské tělo. Oblasti aplikací pokrývají všechny domény, kde je zapotřebí měkký a ohebný senzor například v rehabilitaci, prevenci proleženin nebo detekci pohybu v důsledku svalových činností. Bylo vyvinuto několik textilních senzorů s prostorovým rozlišením 2×2 cm a průměrnou chybou pod 4 % a s rozsahem měření 0 až 10 N/cm^2 . Textilní senzor tlaku se skládá ze základní třívrstvé struktury, která tvoří kapacitní odpor s nevodivým dielektrikem a vodivými vrstvami jako elektrodami, oddělené z obou stran stínící vrstvou. Pro dosažení prostorového efektu bylo vyšíváno pole pomocí individuálně spojených elektrod pomocí stříbra potaženého přízí. [14]



Obrázek 5: a) Schéma snímače b) Snímač tlaku s 16 snímacími prvky vyšívanými vodivou přízí [14]

Navržené senzory vlhkosti, které byly přímo vytištěny na textilií pomocí technologie inkoustového tisku, mají perspektivní možnost integrace s nositelnou elektronikou používanou pro lékařství. Připravené senzory byly testovány v kontrolovaném prostředí při teplotě 25 °C a vlhkosti 5–95 %. Rozlišení 70 až 100 μm zaručuje kontinuitu stop a odpovídající nízký odpor sensorových elektrod (50–150 Ω). Byla použita tisková formulace Ag (stříbrné nanočástice) typu U5603 od firmy SunChemical. Elektrické charakteristiky snímače silně závisí na zvolené frekvenci měření. Nízká frekvence měření (přibližně 100 Hz) zajišťuje pokrytí nejširšího měřicího rozsahu vlhkosti 35–95 %. [15]

3.2 Akční členy

Akční členy reagují na impuls vyplývající z funkce senzoru. Tyto akční členy dávají věci do pohybu, uvolňují látky, vytvářejí hluk a mnoho dalších. Materiály s tvarovou pamětí jsou v této oblasti nejnámějšími příklady. Transformují tepelnou energii do pohybu. Vzhledem ke své schopnosti reagovat na změnu teploty může být slitina s tvarovou pamětí použita jako pohon a dokonale navazuje na požadavky kladené na inteligentní textilie. Slitiny s tvarovou pamětí existují ve formě nití, což je činí kompatibilními s textilními materiály. Ačkoli polymery s tvarovou pamětí jsou levnější, používají se méně často. To je dáno tím, že během cyklu obnovy nemohou být velmi zatíženy. [11] Existují dva typy materiálu s tvarovou pamětí: jeden mění svůj tvar s teplotní změnou a druhý mění svůj tvar elektrickými stimulacemi. Tvarové paměťové slitiny (SMA) a polymery s tvarovou pamětí (SMP) jsou materiály, které mění své tvary vlivem změny teploty. Tento druh materiálu může být použit například při navrhování oděvů, které rozšiřují svoje otvory pro větrání, když teplota uvnitř oděvu stoupá. Dalším materiálem, který v poslední době přitahuje pozornost, je elektroaktivní polymer (EAP). Protože

změny tvaru tohoto materiálu nastávají při relativně nízkém napětí, je elektroaktivní polymer často používán jako materiál pro dotykový displej nebo umělé svaly. [16]

Regulace teploty je jednou z důležitých funkcí oblečení. Termoregulace chytrým oblečením se posuzuje ze dvou úhlů. Jedním z nich je výzkum textilního materiálu, který může vyzařovat teplo mimo svou funkci uchovávání tepla, a druhý hledá způsoby, jak zvýšit pohodlí nositele kontrolou teploty oblečení. Většina topných prvků používá princip Jouleova tepla, které vzniká při průchodu elektrického proudu vodivým materiálem. Například se může používat jako akční člen materiál s fázovou změnou, který dokáže regulovat teplotu. Když teplota stoupne, materiál se roztaví a absorbuje teplo a když teplota klesne, materiál tuhne a vydává teplo. [16]

Dalším materiálem fungujícím jako akční člen může být termochromní materiál, který mění barvu v závislosti na okolní teplotě. Fotoluminiscenční materiál, optickoluminiscenční materiál a elektroluminiscenční materiál jsou tři hlavní luminiscenční materiály, které lze snadno aplikovat do textilu. Tyto materiály se používají například pro bezpečnost, kdy je nedostatek světla (noc), a materiál dokáže vyzařit světlo. Také se dají například použít pro indikaci zvýšené teploty (zdravotnictví nebo hasiči), kdy reagují změnou barvy. [16]

Tým Son Thai Ly a Joo Yong Kim vyrobil SMP pro 3D tisk na FDM tiskárně. Filament pro tiskárnu byl SMP na bázi polyuretanu s kompozity CNT. Za účelem výroby vlákna o průměru 1,75 mm pro filament do 3D tiskárny byla vytvořena jednoduchá výrobní linka. Roztavený SMP materiál byl protlačen matricí s kruhovým výřezem a nově vzniklé vlákno se ihned ponořilo do vody, kde ztuhlo, a nakonec se navíjelo na kotouč. Rychlost otáčení kotouče byla stanovena na 10 otáček za minutu (0,6 m/min), teplota tání byla mezi 190–200 °C. Získané vlákno mělo průměr v rozmezí $\pm 0,1$ mm. Vzorky byly vytištěny tiskárnou Rep Rap Prusa I3. Vysoká teplota tisku snadno spojuje vrstvy do silnějších, které obsahují více CNT, což vede ke zvýšení vodivosti vzorku. Výsledky naznačují, že pro FDM s filamentem SMP/CNT vodivost mezi vrstvami není dobrá a vodivost je tvořena uvnitř samostatných vrstev. Při působení tepla (45 °C) se vzorek vrátil do původního stavu za 10 s. [17]



Obrázek 6: Výsledný SMP filament [17]

3.3 Řídící jednotky

Zpracování dat je jednou ze složek, které jsou vyžadovány pouze při aktivním zpracování. Dosud nejsou k dispozici žádné textilní materiály, které by mohly tento úkol splnit. Konvenční prvky elektroniky přizpůsobené IT jsou stále nezbytné. Jsou však k dispozici v miniaturizované, a dokonce i ve flexibilní formě. Probíhá výzkum zaměřený na fixaci aktivních prvků na vláknech. Pro snímání, zpracování dat, ovládání, komunikaci obvykle potřebují energii, většinou elektrickou energii. Efektivní hospodaření s energií bude zahrnovat vhodnou kombinaci přenosu energie a ukládání energie. Zdroje energie, které jsou k dispozici pro oděv, jsou například tělesné teplo, mechanický pohyb (z deformace tkanin, kinetika z pohybu těla) nebo záření. Přenos energie musí být kombinován se skladováním. Nejčastěji se využívají akumulátory, které jsou stále menší a lehčí. K dispozici jsou i flexibilní verze, i když méně výkonné. V současné době se lithium-iontové baterie nacházejí v mnoha aplikacích. U některých aplikacích, kde dochází k velkým teplotním výkyvům, může být užitečné ukládat i tepelnou energii. Materiály pracující na principu fázové změny mají schopnost, tak učinit a jsou již zavedeny v textilním průmyslu. [11]

V této studii autoři vytiskli vysoce flexibilní, zinko-stříbrnou (Zn-Ag₂O) baterii. Dobíjecí baterie Zn-Ag₂O má kapacitou přibližně 2,5 mAh/cm² a byla tištěna na flexibilní polyuretan. Tisk byl proveden pomocí poloautomatické sítotiskové tiskárny MPM-SPM. Vzorky byly nanamáhány a natahovány rychlostí 0,1 cm/s od 0 % do 100 %. Byl sledován i odpor během cyklů natahování při napětí 0,8–2,3 V. Při napnutém stavu má elektroda vysoký odpor přibližně

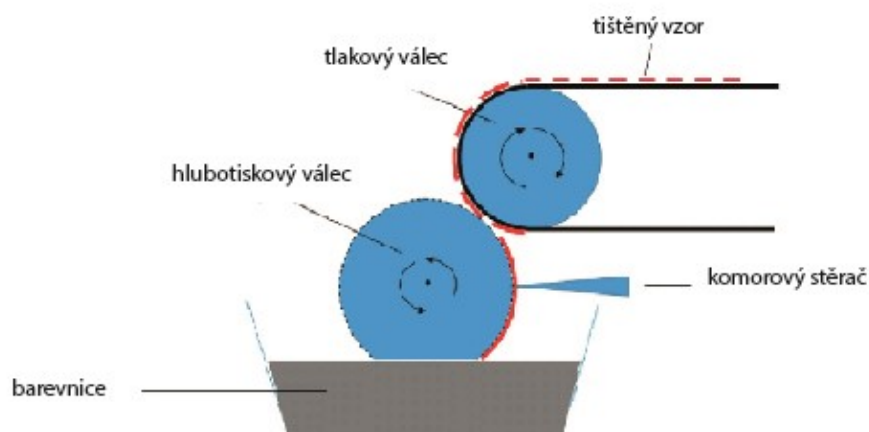
2,3 k Ω v důsledku deformace elektrody. Když jsou však elektrody uvolněny vykazují nižší odpor 0,65 k Ω . Autoři, tak demonstrovali úspěšnou výrobu a provoz tisknutelného, vysoce flexibilního dobíjecího článku baterie Zn-Ag₂O na bázi elastického pojiva SIS (polystyren-polyisopren-polystyren). [18]

4 TISKOVÉ TECHNOLOGIE PRO OBLAST IT

V této kapitole budou podrobně probrány tiskové technologie, které jsou vhodné pro tisk funkčních struktur na textilní materiály. Integrace elektronicky funkčních materiálů s využitím tisku vhodných tiskových formulací představuje nejběžnější způsob její realizace v rámci vznikající oblasti tištěné elektroniky. Vývoj tištěné elektroniky nabízí možnost všudypřítomných nízko nákladových a flexibilních prvků. Základem této technologie jsou vysoce funkční inkousty a tiskové techniky, jako je inkoustový tisk (Ink-Jet), hlubotisk, flexotisk a sítotisk. [19]

4.1 Hlubotisk

Hlubotisk využívá přímý přenos funkčních tiskových formulací fyzickým kontaktem rytých jamek se substrátem. Je schopen vytvářet vysoce kvalitní vzory nákladově efektivním způsobem typickým pro proces v režimu R2R (roll to roll). Tisková jednotka pro hlubotisk se skládá z velkého válce elektrolyticky pokoveného mědí a rytého válce s jamkami. Jamky jsou vyryty buď elektromechanickými prostředky nebo laserem. Rytý válec je galvanicky pokoven chro-



Obrázek 7: Princip Hlubotisku [40]

mem, který jej chrání před opotřebením při přenosu inkoustu a kontaktu se substrátem. Vlastnosti tiskových formulací a poměr šířka/hloubka buněk s jejich počtem hrají hlavní roli v dosažitelném rozlišení hlubotisku. [20]

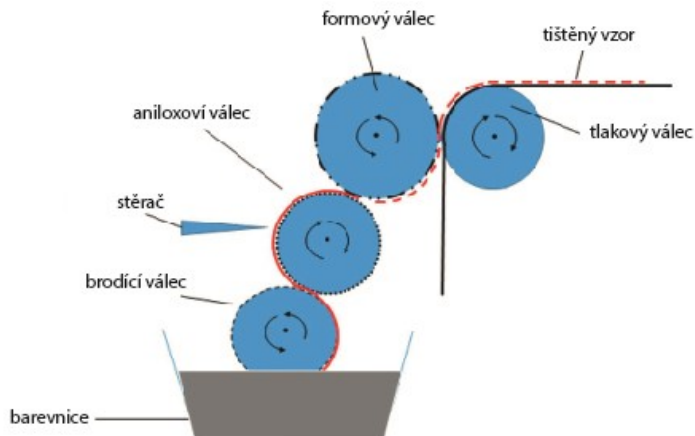
Tisk grafenu hlubotiskem byl použit pro rychlou výrobu vodivých vzorů na pružných podkladech. Vývoj vhodných tiskových formulací a tiskových parametrů umožňuje zhotovení vzorů s rozlišením do 30 μm . Krokem slinování se získají vodivé linie s vysokou spolehlivostí a rovnoměrností, které poskytují účinnou metodu pro integraci grafenu do velkoplošné tištěné a flexibilní elektroniky. Zatímco ink-jet nabízí tiskovou techniku, která je ideální pro rychlé prototypování ve výzkumných laboratořích, její omezená průchodnost motivuje vývoj alternativních tiskových strategií pro průmyslové aplikace. Hlubotisk je v tomto ohledu slibnou volbou, protože nabízí vysokorychlostní nanášení tiskových formulací při vysokém rozlišení. [21]

V této studii jsou používány tři způsoby pro tisk, které jsou silně ovlivněny fyzikálními vlastnostmi inkoustu, zejména viskozitou a povrchovým napětím. Protože povrchové napětí je do značné míry určeno rozpouštědlem, terpineolem, které bylo dříve prokázáno jako vhodné pro vodivé inkousty, je viskozita nejdůležitějším parametrem inkoustu. K tomuto účelu byly vyrobeny tři různé inkousty s různou viskozitou v rozsahu 0,2–3 Pa·s. Významné tiskové parametry, včetně rychlosti a tlaku a rychlosti tisku, byly optimalizovány tak, aby se tiskly vzory teček jednotlivých inkoustů, což nabízí přímé srovnání jako funkce viskozity inkoustu. Protože inkoust s vyšší viskozitou vykazoval vynikající rozlišení a věrnost vzoru, byl tento inkoust použit pro zbytek této studie. Zatímco nanášení inkoustu z jednotlivých buněk je jádrem hlubotisku, jsou pro elektronické aplikace obzvláště důležité spojitě čáry. Nepřetržité lineární tištěné prvky vyžadují dobře fungující šíření a slučování inkoustu ze sousedních jamek, což závisí na vzdálenosti mezi jamkami ale i na reologických vlastnostech. Hlubotiskové grafenové linie byly dále charakterizovány pro posouzení jejich vhodnosti pro tištěnou elektroniku. Měření šířky čar ukázali širokou laditelnost v rozlišení změnou velikosti jamek. Pro jamky o velikosti 15 μm , které se použili na linie, byla naměřena tloušťka linie asi 30 μm . Elektrická kontinuita takových tenkých čar v měřítku makroskopické délky, dokonce i přes povrch s relativně velkými defekty, je důkazem spolehlivosti a kvality tiskového procesu. Celkově byla změřena elektrická vodivost tištěných grafenových čar přibližně na 10 000 S/m. Kromě toho, že jsou tištěné vzory vysoce vodivé, vykazují robustní mechanickou toleranci vůči ohybovému namáhání. Linie s 50 μm , tak i 30 μm hlubotiskovými jamkami nevykazují žádnou měřitelnou ztrátu vodivosti přes 500 cyklů ohybu při poloměru zakřivení 2 mm nebo ekvivalentním kmitání

3,1 %. Výsledky ukazují na dobrou potiskovatelnost flexibilních materiálů jako jsou například folie nebo textil. [21]

4.2 Flexotisk

Flexotisk se používá pro vysokorychlostní tisk tištěné elektroniky a skoro stejné kvalitní jako hlubotisk pro vzory s vysokým rozlišením. Široká škála inkoustů (inkousty na bázi rozpouštědel, vody, inkousty vytvrzující UV záření) může být potištěna flexotiskem s pryžovou nebo fotopolymerní formou. Při kontaktu tiskových míst s barvou aniloxového se přenáší tiskové formulace mezi deskou a tlakovým válcem. Výsledkem jsou rovnoměrné tenké vrstvy a nabízí skoro stejně dobrou spolehlivost vzoru a ostrost hran jako hlubotisk. Aniloxový válec a jeho vlastnosti (lineatura, objem jamek) řídí množství tiskové formulace, která má být přenesena na substrát. Objem aniloxu, tj. velikost a lineatura rytých jamek, silně ovlivňuje rozlišení tištěných vzorů. Vyplnění rytého aniloxu vyžaduje jemnou rovnováhu mezi směsí nanočástic a nosné tekutiny. Co nejvyšší koncentrace roztoků jsou žádoucí pro dobrou vodivost (v případě kovových inkoustů), což však může vést k vysokým hodnotám viskozity, které nespádají do norem typického flexotisku. [20]



Obrázek 8: Princip flexotisku [40]

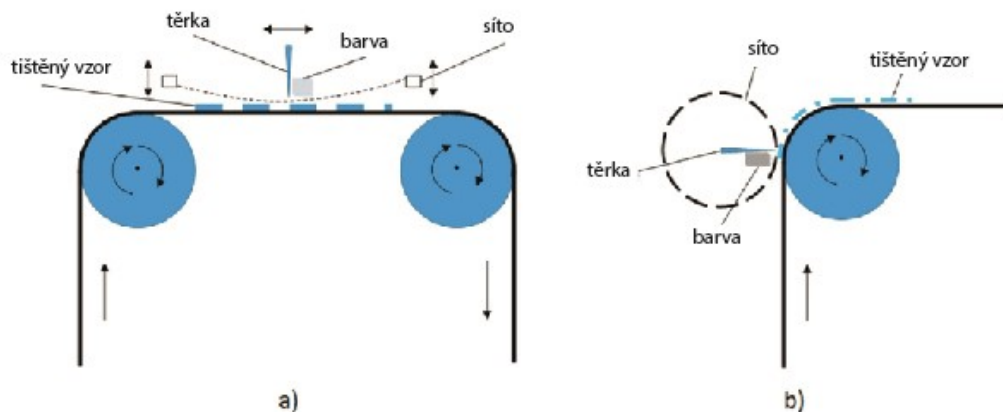
Vývoj flexotiskového procesu s grafenovým inkoustem je procesem, kde proces tisku začíná přípravou tiskové desky nebo flexotiskového štočku. Na desku štočku, kde je tisková deska připevněna válcem, je navržen vzor vícečetné pevné čáry. V procesu válec/válec se inkoust přenesení do tiskové formy s použitím rytého válce, známého jako aniloxový válec. Aniloxový válec je primární kontrolou množství inkoustu přeneseného na desku. Objem, který může mít, závisí na velikosti, frekvenci a hloubce vyrytých jamek. Kvalitně dispergovaný grafen je krok

k posunu vpřed, tak aby se dosáhlo vysokorychlostního tisku pro elektronické funkční struktury. Je dobrou volbou pro jednoduchou, rychlou a levnou metodu, možností tisku válec/válec. Studie proveditelnosti grafenu jako tiskové barvy, která má být použita v kombinaci flexotisku při výrobě více linií, jsou proveditelná díky úspěchu v jiných tiskových technikách, jako je například ink-jet. [22]

Ve studii, kdy se tiskly struktury na bázi uhlíkových nanotrubic, flexotiskovým strojem za použití disperzí vícevrstevných uhlíkových nanotrubiček ve vodě. Uhlíkové nanotrubičky byly naneseny na textilní substrát vyrobený z polyesterových a polyamidových mikrovláken a také na oboustranně natíraný papír, aby se vytvořily elektricky vodivé vrstvy, které mohou být použity jako topné prvky. Byly tištěny vrstvy uhlíkových nanotrubic, kde poměr výkonu (určeného podle Stefan-Boltzmannova zákona) tištěných vrstev na spotřebovaný elektrický výkon představuje účinnost systému. Tiskové zkoušky byly prováděny na flexotiskovém stroji Flexi-Proof 100-630 firmy Erichsen. Disperze CNT, která byla přenesena na substrát pomocí tiskové desky nyloflex ACE firmy Flint Group, o tloušťce 1,7 mm. Byl použit keramický aniloxový válec s objemem jamek $25 \text{ cm}^3/\text{m}^2$, rychlost tisku byla 25 m/min pro textilní materiál a pro papírový substrát 50 m/min. Jako substrát byla použita netkaná textilie z polyesterových a polyamidových mikrovláken s plošnou hmotností $130 \text{ g}/\text{m}^2$. Pro papírový substrát byl použit papír NopaCoat Stratos s plošnou hmotností $90 \text{ g}/\text{m}^2$. Vzorky se třemi potištěnými vrstvami vykazují při povrchovém napětí 37–45 mN/m průměrné zvýšení teploty přibližně o $13 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0,02 \text{ W}/\text{cm}^2$). U 8 vrstev se dosáhne průměrné hodnoty $69 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0,1 \text{ W}/\text{cm}^2$). A při tisku 20 vrstev se dosáhne povrchové teploty $169 \text{ }^\circ\text{C}$ s hodnotou příkonu elektrické energie cca $0,6 \text{ W}/\text{cm}^2$. Papírové referenční vzorky potištěné 3 nebo 5 vrstvami vykazují vyšší hodnoty elektrického výkonu. Jejich hodnota činí $56 \text{ }^\circ\text{C}$ s přibližně $0,1 \text{ W}/\text{cm}^2$ (pro 3 vrstvy) a $93 \text{ }^\circ\text{C}$ s $0,3 \text{ W}/\text{m}^2$ (pro 5 vrstev). Vzorky na textilním substrátu s 20 potištěnými vrstvami a povrchem o teplotě $169 \text{ }^\circ\text{C}$ mají účinnost okolo 25 %, vzorky s 3 vrstvami a povrchovou teplotou $34 \text{ }^\circ\text{C}$ mají účinnost asi 40 %. U papírových vzorku je tato účinnost 15–19 %. [23]

4.3 Sítotisk

Sítotisk je jednou z nejpoužívanějších technologií pro tištěnou elektroniku a po desítky let se využívá v elektronickém průmyslu pro tisk vodivých cest na deskách plošných spojů. Je obecně všestrannější ve srovnání s jinými tiskovými technikami, protože zahrnuje jednoduchost, cenovou dostupnost, rychlost a možnost flexibility procesu výroby. Proces tisku může být reprodukován opakováním několika kroků a lze rychle vytvořit optimální provozní proces. Navzdory těmto zajímavostem představuje sítotisk také několik výzev pro tisk flexibilních zařízení. Patří mezi ně vysoká tloušťka filmu, vystavení tiskových formulací atmosféře a zasychání inkoustu na sítu pro nekvalitní tiskové formulace, které zhoršuje kvalitu tisku. Výhody, jako je vysoká rozlišovací schopnost a vysoká přesnost vícevrstvých struktur, však přispívají k širokému uplatnění sítotisku ve srovnání s jinými tiskovými technikami. [20]



Obrázek 9: Princip sítotisku a) plošný b) rotační [40]

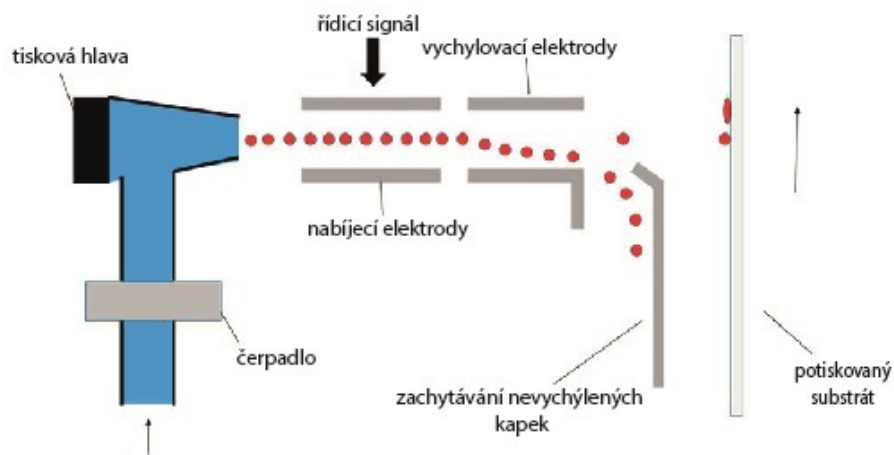
Sítotisk nabízí výhody pro využití grafenu do výrobního procesu. Zvláště je požadován sítotisk s vysokým rozlišením, aby se zlepšilo rozlišení obrazu a vlastnosti elektronických zařízení, to ale vyžaduje zlepšení návrhu tiskových formulací, tak i způsoby tisku. Zde řešíme tyto výzvy novou strategií pomocí silikonové šablony s vysokou vodivostí a flexibilní grafenovou formulací. Silikonová šablona umožňuje tisknout definované vzory s vysokým rozlišením. Kromě toho se vyvíjí viskózní a koncentrovaný grafenový inkoust a studují se vlastnosti tiskových formulací na parametry tisku. Díky lze tisknout vysoce kvalitní vzory s vysokou elektrickou vodivostí a vynikající mechanickými vlastnostmi. [19]

Rychlý vývoj nositelné elektroniky, vyžaduje novou generaci prvků pro ukládání energie, které splňují nároky na budoucí požadavky. Aby bylo možné tyto nové nositelné přístroje používat, musí mít systém pro ukládání energie jako například flexibilní superkondenzátory (SC).

Ty jsou z mnoha dostupných zařízení pro ukládání energie slibnými kandidáty díky jejich rychlému nabíjení, dlouhým životním cyklům a dobré spolehlivosti. Ve studii, kde byla použita metoda sítotisku pro tisk grafenového vzoru na tkané bavlněné textilie, bylo v důsledku silné interakce mezi hydroxylovými skupinami a bavlněnými vlákny dosaženo vynikající mechanické stability a pružnosti. Suspenze grafenu ve vodě byla použita pro tisk SC zařízení, jejíž viskozita byla modifikována za použití akrylátového zahušťovačla za účelem dosažení požadované viskozity ($> 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) pro sítotisk. Při testech jako ohýbání, mechanické namáhání, a dokonce i vystavení proudu vody neměly téměř žádný negativní účinek na strukturní integritu vrstvy, dokonce ani na mikroskopické úrovni. Vytisknuté zařízení SC v pevné fázi vykazovalo vynikající elektrochemickou stabilitu, a to i po 10 000 cyklech, a bylo schopno udržet až 97 % své původní kapacity. [24]

4.4 Ink-Jet

Ink-jet je rychle se rozvíjející digitální tisková technika pro bezkontaktní tisk. K dispozici jsou dva základní typy ink-jetových tiskáren, a to typ kontinuálního tisku a drop-on-demand. U kontinuálního způsobu tisku jsou kapičky vystřelovány kontinuálně a na potiskovaný materiál dopadají pouze elektricky nabitě kapičky, které nebyly vychýleny pomocí vychylovací elektrody. Zatímco u Drop-on-demand je princip tisku jiný a to tak, že kapičky jsou vystřelovány pouze tehdy, když mají být tisknuty na potiskovaný materiál. Chemická stabilita, rozpustnost v běžných rozpouštědlech, levné řešení a nízkoteplotní zpracování jsou některé z klíčových požadavků na tiskové formulace pro ink-jetové tiskárny. Vývoj koloidního roztoku pro správné nánášení kapek na cílovou plochu a udržování přijatelné kvality tištěných obvodů je náročné vzhledem k vlivu rychlosti odpařování rozpouštědel a povaze aktivních částic. Kvalita tiskových formulací je důležitý parametr, tak aby ink-jet stal průmyslovou výrobní technikou pro tištěnou elektroniku. Nižší rozlišení 20–50 μm , také přispívá k problematice ink-jetového systému, proto je v řešení například úprava chaotického chování kapiček během letu. Potřebné úpravy viskozity a koncentrace aktivních složek tiskových formulací jsou potřebné pro správné vypuzování kapek a stabilní tisk. [20]



Obrázek 10: Princip kontinuálního ink-jetu [40]

Inkoustový tisk je jednou z nejslibnějších technik pro velkoplošnou výrobu pružné elektroniky. Lze tisknout řadu komponentů, jako jsou tranzistory, fotovoltaická zařízení nebo například displeje. Ink-jet je univerzální tisková technika, využitelná i pro hromadnou výrobu a umožňuje tisk kontrolovaného množství tiskových formulací na substrát. Ink-jet se posunul od zakázek tisku textu či grafiky k nástroji pro rychlou laboratorní výrobu, která se používá například pro tisk tenkovrstvých tranzistorů (TFT) na bázi organických vodivých a polovodivých tiskových formulací. [25]

Vodivá tisková formulace pro ink-jet musí splňovat specifické požadavky, jako jsou optimalizace vhodné rozpustnosti/dispergace aktivní složky, viskozity a povrchového napětí. U ink-jetových vodivých inkoustů bylo použito několik materiálů, například nanočástice kovů, vodivé polymery, uhlíkaté materiály. V případě některých aplikací nanočástic kovů jsou jejich náklady a provozní teplota příliš vysoké na to, aby mohly být použity ve velkých množstvích. Vodivé polymery mají výhody pro flexibilní displeje, ale vodivost je relativně nízká. Materiály na bázi uhlíku mohou být v těchto případech dobrými kandidáty z důvodu jejich nízké ceny a vysoké vodivosti. Zejména mezi různými materiály na bázi uhlíku, grafenu nebo ploché monovrstvy uhlíkových částic, jsou tyto materiály považovány za potenciální průlom, pokud jde o nanoelektroniku, a to díky svým pozoruhodným vlastnostem. [26]

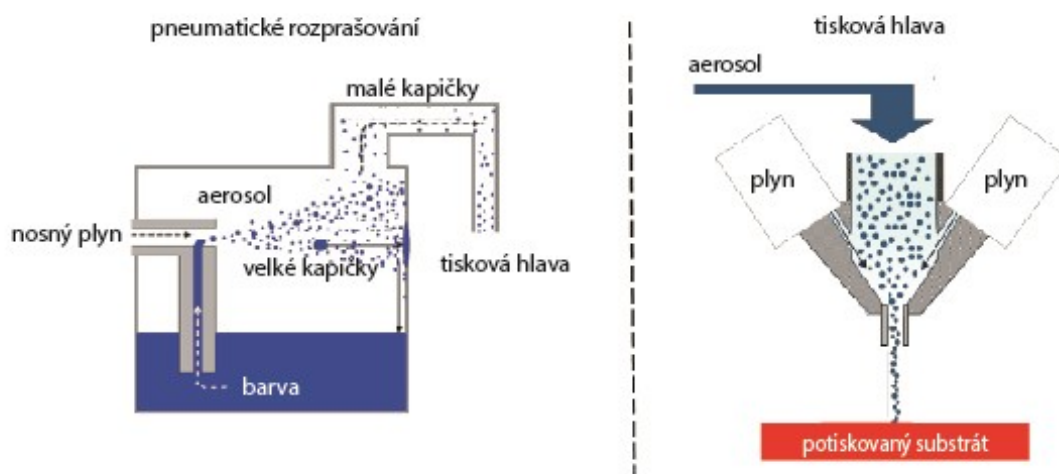
Použití ink-jetového tisku vykazuje velké výhody jako například rychlost přípravy, šetření množství tiskových formulací a bezkontaktní tisk, ve srovnání s jinými konvenčními tiskovými technologiemi, jako je hlubotisk, sítotisk nebo ofsetový tisk, což umožňuje snížení výrobních nákladů díky jeho efektivnímu využití materiálu a přístupu přímého tisku bez nutnosti použití fyzických tiskových forem. Několik technologických omezení pro tištěnou elektroniku

však může bránit jeho aplikačnímu potenciálu, např. stabilita tištěných prvků za atmosférických podmínek. Z pohledu využití vybraných tištěných prvků je důležité sledovat parametry v závislosti na specifických mechanických, chemických a teplotních úpravách, které se obvykle objevují ve výrobních procesech textilií a mají vliv na elektrické vlastnosti například organických tenkovrstvých tranzistorů (OTFT). Proto se OTFT vyrábí se stříbrnými elektrodami, dielektrikem vytvrditelným UV zářením a aktivní polovodičovou vrstvou. Všechny vrstvy byly nanášeny pomocí inkoustového tisku. Z pohledu budoucí reálné aplikace, při elektrické charakterizaci tištěných OTFT, byla použita jednoduchá metoda zapouzdření, po které následovala studie umožňující porovnání elektrických charakteristik výkonu ošetřených a neošetřených OTFT. Z hlediska zátěžových testů průmyslové kalandrování, barvení a mytí byly vybrány jako typické textilní postupy, a které mohou ovlivnit charakteristiky tištěných OTFT. Tisk všech vrstev byl proveden pomocí tiskárny Dimatix Materials Printer 2831. Tiskárna byla vybavena piezoelektrickými tiskovými hlavami, z nichž každá měla 16 trysek o průměru asi 21,5 μm a objem kapek tiskové hlavy byl 10 pl. Jako substrát byl použit film z polyethylnaftalátu (PEN) o tloušťce 125 μm . Tento substrát obsahuje povrchovou úpravu na jedné straně pro lepší adhezi vrstev. Získaná pohyblivost nositelů náboje u daných OTFT zařízení po působení různých textilních procesů pro oba poměry tloušťky a délky OTFT je přibližně pro délku kanálu 15 μm o 60–70 % nižší ve srovnání s mobilitou tranzistorů s délkou kanálu 10 μm . Pozorovaná průměrná degradace v oblasti pohybové mobility OTFT pro délku 10 μm je asi 34 %, zatímco pro délku 15 μm je degradace 23 %. Získané výsledky jsou povzbudivé pro aplikace OTFT integrované v textiliích. Zajištění řádného zapouzdření zařízení pomocí tohoto jednoduchého přístupu má za následek velmi vysokou stabilitu proti vodě, vlhkosti a chemikáliím, které se obvykle používají v textilní výrobě. Při omezení mechanického ohýbání a vysokých teplot mají OTFT stále dostatečný elektrický výkon pro potenciální funkční aplikace integrované v textiliích. [27]

4.5 Aerosol Jet Printing

Zatímco dnes se ink-jet používá zcela běžně, byla vyvinuta metoda tisku, jako je například Aerosol Jet printing (AJP). Tato technologie, která je prodávána společností Optomec, a funguje na principu aerodynamického zaostření proudu kapek aerosolu a následné nanesení na substrát, jak je znázorněno na obrázku 7. Ačkoliv se nejedná o tradiční tiskovou metodu, Aerosol je bezkontaktní výrobní proces, takže přináší výhody, které nelze realizovat pomocí používaných kontaktních metod. Některé z výhod jako bezkontaktní tisk, nevyžadující tiskovou

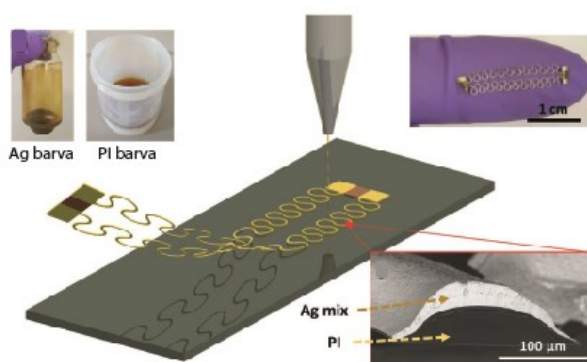
formu. Existuje tedy méně celkových výrobních kroků. Zatímco inkoustový tisk se stal poměrně rozšířeným pro účely výzkumu a vývoje tenkovrstvé elektroniky, má určitá omezení, zejména s použitím některých tiskových formulací. Systém AJP řeší některá tyto omezení. Ink-jet funguje dobře s tiskovými formulacemi s nízkou viskozitou, zatímco AJP systém umožňuje používat širokou škálu pracovních viskozit tiskových formulací. Patří mezi ně jak organické vodivé, tak vodivé kovové inkousty. U ink-jetu existují určité problémy s ucpáváním trysek, zatímco u AJP nejsou žádné problémy. Systém aerosol může být vybaven vířivými tryskami a vysokovýkonnými rozprašovači pro splnění výrobních požadavků. Společnost tvrdí, že systém bude poskytovat řešení pro RFID antény, palivové články, tenzometry, tištěné struktury, tištěné tranzistory a další. Systémy AJP umožňuje nanášet tiskové formulace na materiály jako je textil. To z něj činí ideální řešení pro tisk senzorů, které lze integrovat například do chytrého textilu. [28]



Obrázek 11: Princip aerosolového tisku [28]

AJP byl použit k výrobě samo stojících flexibilních vodivých drátů a funkční vícevrstvé struktury schopné snímat napětí. Funkční struktury složené z elastomerních polymerů, s vodivými a funkčními vrstvami na povrchu, byly tištěny vrstva po vrstvě na substrátu s PVA filmem. PVA film byl následně rozpuštěn ve vodě, aby se uvolnily tištěné struktury, čímž vzniklo funkční zařízení (samostatný drát). Přístroje vyrobené touto metodou vykazovaly dobrou elektrickou stabilitu a pružnost a jsou tedy vhodné pro aplikace ve flexibilní elektronice, jako je chytrý textil. První vrstva vzoru byla vytištěna pomocí polyamidového inkoustu za vzniku tenké čáry o šířce 200 μm a tloušťce 30 μm , přičemž byly použity tři tiskové průchody. V této práci

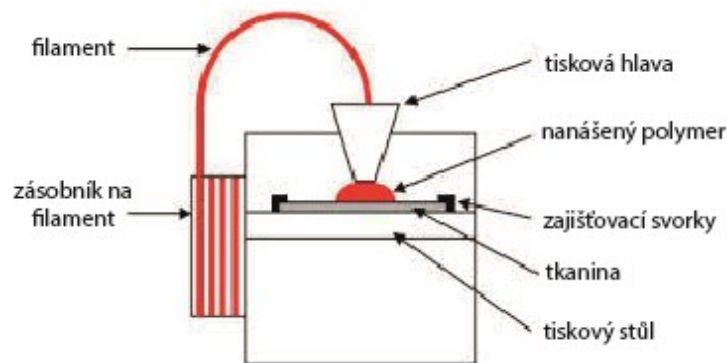
se každý tiskový vzor skládal z více paralelních vinutých čar s malým posunem kolem 20 μm mezi jednotlivými řádky, aby se vytvořil dostatečně široký, ale strukturálně roztažitelný drát. Účelem vícenásobných průchodů je postupné budování tloušťky až 50 μm , přičemž účelem tisku více vrstev je regulace tloušťky tištěných čar. V další tiskové fázi bylo několik dalších vrstev materiálu vytištěno přímo na první vzorek polyimidu ze směsi stříbra a polyimidu, což bylo dosaženo kombinací toku aerosolu jednotlivých inkoustů pomocí pneumatického rozprašování. Správným vyladěním poměru rychlosti průtoku a výběrem vhodného počtu tištěných vrstev, dosáhly horní vrstvy tiskových struktur dobré elektrické vodivosti s rozumným mechanickým spojením s podkladovým vzorem polyimidu. Takto vytištěné vzorky pak byly zpracovávány při teplotě 130 $^{\circ}\text{C}$ po dobu 12 hodin, aby se odpařily všechny zbývající organické rozpouštědla a povrchově aktivní činidla, které mohly být přítomny v tiskových formulacích. Požadovaný čas pro rozpuštění nosné vrstvy PVA závisel na tvaru a ploše tištěné struktury, která ovlivnila, jak rychle mohla voda pronikat pod strukturu a rozpouštět PVA. Vytištěné vodiče by pak mohly být zvednuty ze substrátů, aby byly zcela volné a samonosné, tak se vytvořilo vytištěné vlákno (drát), které může být použito pro výrobu chytrých textilií. [29]



Obrázek 12: Schéma vytvoření vlákna [29]

4.6 3D tisk

3D tisk, jako nový způsob tisku pro ukládání materiálu do vrstev a vytvoření tak trojrozměrného obrazu, používá se proto, aby se zavedly pružnější, efektivnější a nákladově výhodnější procesy v oblasti funkčních textilií. Cílem je vyvinout výrobní proces pro inteligentní a funkční textilie. Pro 3D tisk bylo vyvinuto několik principů tisku, jako například vhodná a ekonomicky výhodná technologie Fused Deposition Modeling (FDM). Tento princip je založen na roztavení filamentu, protlačení skrz trysku v tekutém stavu a následném ztuhnutí na podložce. Může být použit pro vývoj funkčních nebo chytrých textilií kdy nanáší polymer na textilní tkaninu nebo dokonce celou látku vytiskne. Vzory se pak nanáší přímo na textil bez použití masek. Má tu výhodu, že je schopen zpracovávat materiály s vysokou viskozitou a tisknout více vrstev pro dosažení silné vrstvy, a tak i relativně vysoké elektrické vodivosti. [30]



Obrázek 13: Princip FDM tiskárny [31]

Touto metodou tisku se zabývá i následná studie, která zkoumá vliv parametrů procesu 3D tisku, jako je teplota extruderu, teplota konstrukční platformy, rychlost tisku a adheze uvedených polymerů a nanokompozitů na tkaninu. Použitá 3D tiskárna byla dvouhlavá WANHAO Duplicator 4/4x zakoupená od Creative Tools AB. Maximální velikost tisku byla $22,5 \times 14,5 \times 15$ cm (délka, šířka a výška) s průměrem trysky 0,4 mm. Materiál pro tisk byl zvolen přírodní bílý nylon (Taulman 3D-618 Nylon) s vodivými nanočástičkami uhlíkových nanotubiček, který byl tisknut na různé struktury spletané tkaniny z vlákna (PLA) a polyamidu 66 (PA66). Experiment byl proveden pro porovnání adheze nylonu na PLA a PA66 s měnícími se faktory, a to pro různé teploty extruderu, teploty platformy a rychlosti tisku. Z výsledků je patrné, že adhezní síla vůči teplotě extruderu má lineární charakter což znamená, že existuje významný vliv teploty extruderu na adhezi. Když se teplota extruderu nylonu blíží bodu tání tkaniny PA66 ($268,6$ °C), došlo k difúzi polymerů, a to způsobilo vyšší adhezi. Dále bylo prokázáno, že adhezní síla závisí na tloušťce tištěné vrstvy. Když se tiskne rychleji způsobuje to

nižší tloušťku vrstvy a je pozorován i pokles pevnosti. Protože pronikání makromolekul polymerů do tkaniny je při vysoké rychlosti tisku pomalé, adhezní síly jsou menší než kohezní síly a následně se snižuje i celková adhezní síla. [30]

Eujin Pei a jeho tým zkoumali tisk polymerů na textilie s použitím FDM tiskárny. Práce poukazuje na stále se zvyšující zájem o výzkum elektroniky, kterou lze nosit pomocí integrace na pohodlných textiliích, a to bez kompromisů v kvalitě, tak aby se zachovaly vlastnosti typické pro textil. Pro experimenty byly použity materiály pro filamenty jako PLA nebo nylonová vlákna. PLA byl vybrán díky svým vlastnostem a výhodě, že je biologicky rozložitelný. Nylon 645 byl použit, protože má dobrou kombinaci pevnosti a ohybových vlastností. Na světovém trhu dominují dvě vlákna, bavlna jako přírodní tkanina a polyester jako syntetická tkanina. V tomto výzkumu se používá jako potiskovaný materiál právě zmíněná bavlna a polyester a další často používané látky, jako je polypropylen, nylon nebo sójová tkanina. Pro experimenty byly nakonec použity pouze sójové a přírodní bavlněné tkaniny. Sója je syntetická proteinová tkanina, má hladký povrch a vynikající vlastnosti. Materiál má stejnou absorpci vlhkosti jako bavlna, ale s vyšší pevností než vlna, bavlna nebo hedvábí. Mezi polymery měl PLA nejlepší výsledky, následovaný nylonem. PLA měl velmi dobrou přilnavost a stále vykazoval vysokou kvalitu tisku s dobrou pevností v ohybu. Přestože je PLA ve vodě rozpustný a není dostatečně trvanlivý pro dlouhodobé namáhání, tak je materiál stále vhodný pro výrobu prototypů a pro krátkodobé použití. Pokud jde o adhezi materiálů, tkané látky polywool, tkané bavlněné a pletené sójové tkaniny se osvědčily dobře. V této práci byl testován také nový materiál Bendlay, který ukázal slibné výsledky. Tento materiál na bázi butadienu nabízí transparentnost, dobrou pružnost s tvrdostí D65 a může být navíc barven. [31]

4D tisk byl vyvinut, když se výzkumníci snažili kombinovat inteligentní materiály a 3D tisk. 4D tisk používá čas k vytvoření tvarové změny 3D tištěných objektů, když je vystaven vnějším podnětům. 4D tištěné materiály reagují na podněty, jako je pH, vlhkost a teplota, aby aktivovaly tištěné komponenty bez použití elektroniky nebo motorů. Na inteligentních materiálech, které jsou schopny snímat vnější podněty a reagovat na ně, bylo provedeno mnoho výzkumů. V tomto článku jsou prozkoumány způsoby využití této technologie. 4D tisk má perspektivu zjednodušit návrh a výrobu různých produktů a má obrovský potenciál vytvářet části, které samy reagují na své prostředí. Pro tisk musí být splněny tři klíčové aspekty. Prvním z nich je použití kompozitních materiálů, které jsou smíchány nebo obsahují více materiálů s proměnlivými vlastnostmi, které jsou tisknuty vrstvou po vrstvě a jsou citlivé na vnější podněty. Druhým aspektem je podnět, který bude působit na objekt, který způsobí, že se materiál změní.

Příklady těchto podnětů zahrnují zahřívání, ochlazení, ultrafialové světlo, magnetickou energii, vítr, vodu nebo dokonce vlhkost. Posledním aspektem je čas, kdy má změna proběhnout, a výsledkem je změna stavu objektu. 4D tisk má různá potenciální použití nejen s využitím vlastností změny tvaru, ale i jiných vlastností, jako je změna barvy a textury polymeru. To by mohlo být užitečné v aplikacích chytrých textiliích, které by reagovaly na různé podněty z povětrnostních podmínek a umožnit tak lepší větrání nebo izolaci nositeli případně změnit texturu tkaniny pro zvýšení pohodlí a funkčnosti. [32]

5 METODY HODNOCENÍ

S vývojem nových vláken a neustálým zlepšováním materiálových struktur se rozmanitost textilních materiálů v průběhu let stala velmi důležitou oblastí pro chytré textilie. Byly vyvinuty látky pro různé aktivity, klima a trendy, které zaručují optimální pohodlí při používání. Nicméně vývoj takového množství různých materiálů ztěžuje vyhodnocení tkanin podle jejich kvality a vhodnosti. Každá textilie má specifické vlastnosti, které jsou výhodné pro některé typy oděvů, ale mohou být nepříznivé pro ostatní, pokud jde o pohodlí. Použití nevhodných nebo méně kvalitních tkanin je často základním aspektem, který určuje úspěch nebo neúspěch textilního výrobku. Rostoucí automatizace procesů výroby oděvů navíc vyžaduje přesnější kontrolu vlastností tkanin. [33]

Inteligentní textilie byly rozšířeny do různých oblastí použití textilních materiálů: (lékařské aplikace – monitorování a léčba, ochranný oděv – tepelná izolace, bezpečnost – lokalizace osob a další). Standardizace této rychle se rozvíjející textilní oblasti je na počátku. Do září 2010 neexistovala žádná norma EN nebo ISO pro inteligentní textilie. Vývoj nových norem bude sledovat vývoj oblasti inteligentních textilií jak z hlediska nové terminologie, tak z hlediska vývoje nových metod a uplatňování stávajících norem v oblasti textilu (CEN/TC 248). Nová technická zpráva poskytuje řešení základních terminologických problémů souvisejících s řádným používáním nových termínů a definic inteligentních materiálů a definuje prvky, které mají být standardizovány a normovány. Standardizace je podmínkou udržitelného rozvoje inteligentních textilií v budoucnu.

Díky existenci standardů je zaručena kvalita, bezpečnost a spolehlivost zboží, které spotřebitelé nakupují. Normy popisují všeobecně chápáné a přijaté specifikace a postupy, které zajišťují, že produkty fungují správně, jsou kompatibilní nebo pracují bezpečně. Standardy dále poskytují technologický jazyk, kterému dodavatelé rozumějí na jedné straně a jejich zákazníci

na straně druhé. V prostorách laboratoře pro testování textilu jsou normy základním pracovním nástrojem, protože popisují, jak by mělo být měření na kusu textilu prováděno, např. Postup, jak měřit pevnost v tahu příze, je přesně popsán ve standardu. zkušební metoda EN ISO 2062. Při určování pevnosti v tahu příze v různých laboratořích podle této zvláštní normy budou všechny laboratoře zkoušet přízi podle stejného postupu, což činí jejich výsledky srovnatelnými. [34]

5.1 Metody hmatového hodnocení tkanin

Omak tkanin je důležitou metodou hodnocení tkanin, kterou zavedl oděvní a textilní průmysl. Omak se vztahuje k celkovému pocitu, který se objevuje při dotyku nebo manipulaci s tkaninou v prstech. Atraktivita omaku látky závisí na jejím konečném použití, jakož i na možných kulturních a individuálních preferencích nositele. Atributy látky mohou být získány subjektivním hodnocením nebo objektivním měřením. V poslední době výzkumníci pracovali na vztahu a predikci parametrů látkové ruky tkanin pomocí tzv. „Neuronových sítí“. Nová oblast výzkumu se snaží napodobit subjektivní metodu hodnocení tkanin tak, že prakticky simuluje dotek tkanin novými hmatovými technologiemi. Hlavní problém tohoto hodnocení se objevuje u subjektivních hodnocení, která jsou prováděna na různých místech nebo v různých časech. S cílem čelit tomuto problému vydala organizace AATCC (Americká asociace textilních chemiků a koloristů) pokyny pro standardizaci subjektivního hodnocení tkanin, které navrhují možné podmínky hodnocení. [33]

5.2 Metoda pro stanovení elektrické vodivosti

Stanovení lineárního elektrického odporu v inteligentních textiliích pro elektricky vodivé dráhy používají k vedení elektrického proudu, například k připojení různých součástí, jako jsou snímače, akční členy nebo jednotka pro zpracování dat. Vodivé dráhy jsou definovány jako elektricky vodivá část textilie s poměrem délky k šířce alespoň 10 ku 1. Znalost elektrického chování těchto drah je důležitá. Norma zatím popisuje dva způsoby měření lineárního odporu (odpor stejnosměrného proudu na jednotku délky) těchto vodivých drah. Jsou definovány dvě zkušební metody: dvoubodová čtyřvodičová a čtyřbodová čtyřvodičová metoda. Výsledkem zkoušky je lineární odpor v Ohm na metr (Ω/m) pod stejnosměrným proudem. Metoda čtyř elektrod je výhodným způsobem měření, protože eliminuje kontaktní odpor mezi měřicími svorkami a vzorkem, což vede k přesnějšímu výsledku měření. Pro úspěšnou realizaci tohoto

měření je třeba použít minimálně čtyři místa, na kterých je možné vytvořit kontakt mezi vzorkem a svorkami. V některých případech to však není možné, například když je elektricky vodivá příze potažena izolační vrstvou, kterou nelze odstranit bez poškození příze. V takové situaci je třeba použít dvouelektrodový přístup. [34]

Byly vyvinuty tištěné, ohebné a nositelné elektrody pro monitorování elektrokardiogramových signálů (EKG), na kterých byla testována elektrická vodivost. Stříbrný inkoust na bázi mikrovloček stříbra byl tisknut sítotiskem na pružném polyethylentereftalátovém (PET) materiálu. Byl rovněž použit vícevrstvý kompozit z uhlíkových nanotrubiček, jako kontaktní plocha s tělem. Tyto nosné pružné elektrody EKG, se třemi různými poloměry 8, 12 a 16 mm, byly vyrobeny v Centru rozvoje tiskové elektroniky na univerzitě v západním Michiganu. Elektrody byly vytištěny pomocí sítotiskového stroje HMI MSP-485. Vytištěné elektrody, pak byly sušeny v sušárně při teplotě 120 °C po dobu 20 minut. Vodivost kompozitu pro vzorky s celkovými rozměry 20 × 20 × 0,3 mm byla měřena za použití čtyřelektrodového systému pomocí sondy (SRM-232 a programovatelného zdroje Keithley 2400). Výzkum ukázal, že kompozit ukazuje odezvu elektrické vodivosti pro různé koncentrace v rozmezí od 2 % do 8 % CNT v polymeru. Testy byly provedeny na třech vzorcích celkem čtyřikrát. Vodivost kompozitů vzrostla na 8,3 mS/m (pro 2 %), na 90,5 mS/m (pro 4 %) na 566,0 mS/m (pro 6 %) a na 938,8 mS/m (pro 8 %), protože koncentrace vodivých v nevodivých částic byly zvýšeny z 2 % až na 8 %. Od 9 do 10 % se začala zhoršovat adheze kompozitu s Ag, což mělo za následek odlupovací účinek. Jako optimální hodnota byla proto vybrána hodnota 8 %, i když to nebyla nejvyšší možná koncentrace hodnota. [35]

V této studii byla zkoumána vodivost měřením odporu po tisku a po mytí. Tištěné textilní materiály vykazují po tisku dobré elektrické vlastnosti, ale po dvaceti mycích cyklech se však vodivost značně snížila. Proto, aby se zlepšila omyvatelnost, byla na potištěné vzorky nanесena ochranná polyuretanová vrstva, což vedlo k dobré vodivosti tkanin i po umytí. Bylo vybráno 14 tkaných textilních podkladů, vyrobených z různých materiálů: přírodních, syntetických i smíšených vláken (bavlna, polyamid, polyester a další). V této studii byly použity dva inkousty na bázi stříbra, Elektrodag PF 410, vyráběný firmou Henkel, a vodivý inkoust 5025 DuPont tištěny pomocí sítotisku. Odpor tištěných vzorků byl měřen čtyřbodovou metodou pomocí přístroje MR-1 firmy Schuetz Messtechnik. Jedná se o čtyřbodovou metodu měření elektrického odporu, která využívá samostatných párů proudových a napěťově citlivých elektrod ke zlepšení přesnosti ve srovnání s tradiční dvoubodovou metodou snímání. Pro inkoust Electrodag PF 410 se hodnota pohybovala hodnota odporu po tisku v rozmezí od 0,030 do

0,129 Ω , zatímco u inkoustu 5025 se údaje pohybovaly mezi 0,020 a 0,104 Ω . Vodivý inkoust Electrodag PF 410 má nižší povrchové napětí, proto proniká snadněji a hlouběji do textilního podkladu, což má za následek vyšší odolnost než při použití vodivého inkoustu 5025. Tedy hodnoty odporu před a po promývání vodivého inkoustu Elektrodag PF 410 (0,032–0,171 Ω) byly vyšší než u vodivého inkoustu 5025 (0,010–0,074 Ω). [36]

5.3 Metody pro stanovení Fázové změny

Materiály fázové změny jsou takové látky, jejichž fáze se mění v předem stanoveném a omezeném teplotním intervalu. K vysoké absorpci a uvolnění tepla dochází při změně fáze (z pevné na kapalnou nebo z kapalnou na pevnou). Díky tomuto chování při tání/tuhnutí mohou být tyto materiály použity jako tepelně regulační materiály a mohou se aktivně podílet na tepelném komfortu, který textil poskytuje. Materiály fázové změny používané v textilním sektoru jsou obvykle parafinové vosky v pevném nebo kapalném stavu. Jedná se o uhlovodíky s různou délkou řetězce jako například oktadekan ($C_{18}H_{38}$). Dosud však nebyl k dispozici žádný standard, který by skutečně měřil či stanovil účinek fázové změny. [34]

První část normy se týká samotného materiálu. Zařízení, které je použito v této metodě měření, je diferenciální skenovací kalorimetrie a sledovanou veličinou je entalpie fúze (J/g) a entalpie krystalizace (J/g). Entalpie fúze indikuje změnu entalpie což je, když dané množství materiálu změni svou fází z pevné na kapalnou, jinými slovy, když se roztaví. Teplota, při které k tomu jevu dochází, je bod tání. Podobně entalpie krystalizace se vztahuje k entalpii materiálu, když tuhne, čímž se mění fáze z kapaliny na pevnou látku. Způsob provádění tohoto měření je popsán v první části normy. Druhá část normy je dynamickým měřením a výsledkem je hodnocení přeneseného tepla, zatímco třetí část je měřením související s výrobkem. V této části je navržen postup měření pro určení přenosu tepla mezi uživatelem a produktem, např. když osoba nosí tento oděv. [34]

5.4 Testy odolnosti v praní a sušení

Pro potřeby výroby a nákupu textilií pro zdravotnictví byla vydána norma PNJ 600-80-2005, která doplňuje požadavky stanovené v ČSN P ENV 14237 Textilie ve zdravotnictví. Jejím cílem je zajistit takovou kvalitativní úroveň, která by vytvořila předpoklady pro efektivnost při užívání a údržbě prádla. Norma stanovuje technické požadavky na prádlo a oděvy ve zdravotnictví. Tyto testy praní se provádějí podle normy ČSN EN ISO 6330 podle postupu č. 1A a 2A.

- Testy sušení se provádí podle postupu E (čl. 8.5). Postup pro praní a sušení se opakuje až pětkrát.
- Příprava vzorků pro praní a postup vyhodnocení jsou stanoveny v normě ČSN EN 25077 a ČSN EN ISO 3759.
- Zjišťování změny vzhledu po praní se provádí podle normy PNJ 521-80-94. Postup praní se provádí podle čl. 4.1. Hodnocení změny vzhledu polštářů a příkrývek se provádí až po deseti cyklech praní a sušení.
- Ukazatel nasákavosti se zjišťuje po 1. praní, postupy praní se provádějí podle čl. 4.1. Zkouška nasákavosti se provádí podle ČSN EN 80 0831, metody 2.
- Zkoušení stálobarevnosti v praní se provádí podle ČSN EN ISO 105-C06 podle zkoušek E2S a D3S.
- Obsah volného formaldehydu se zjišťuje podle ČSN EN ISO 14184-1.
- Obsah migrujících prvků se stanoví podle vyhlášky MZ České republiky č.84/2001Sb., příloha č.10 pomocí atomové absorpční spektroskopie.
- Kvalitativní důkaz aromatických aminů se provádí podle ČSN 62 1156 ve vodném výluhu provedeném podle Čs. lékopisu č. 4/1987, str. 143, výluh I, bod A.
- Ostatní zkušební metody pro jednotlivé ukazatele užitečných vlastností a zdravotní nezávadnosti jsou stanoveny v tabulkách 1 až 7.

Jednotlivé výrobky se značí v souladu s právními předpisy: zákon č. 634/1992 Sb. o ochraně spotřebitele, v platném znění - vyhláška MPO č. 92/1999 Sb., kterou se stanoví podrobnosti označování textilních výrobků údaji o složení materiálu. Způsob údržby materiálů se značí podle ČSN EN 23758. V případě potřeby se doplňuje způsob údržby slovním popisem. Na každý výrobek (nebo skupinu konstrukčně shodných výrobků, tj. výrobků technologicky a konstrukčně shodných se stejnými užitečnými vlastnostmi) vydá podle normy výrobce materiálový list. Každý výrobce čísluje materiálové listy samostatně. Materiálové listy jsou určeny číslem této normy, názvem výrobce a pořadovým číslem materiálového listu u daného výrobce. V materiálových listech uvede výrobce tyto údaje: označení výrobku, symboly údržby podle ČSN EN 23758 a konstrukčně technologické ukazatele jako například rozměry, hmotnost v g/m^2 (jedná se o plošnou hmotnost textilie, ze které je výrobek zhotoven), materiálové složení podle Vyhlášky MPO č. 92/1999 Sb., provedení, je-li to u daného výrobku vhodné. [37]

V této studii byly vytvořeny radiofrekvenční identifikační značky (RFID štítky) sítotiskem na dvou různých textilních substrátech (materiál A 100 % bavlna a materiál B 35 % bavlna s 65 % polyesteru). Bylo testováno různých účinků a typů mycích cyklů na dvě klíčové vlastnosti pasivních RFID štítků: prahový výkon a teoretický rozsah čtení. Cílem této práce bylo zjistit odolnost v praní, aby se objasnilo, ve kterých aplikacích mohou být RFID štítky použity. V některých předchozích pracích bylo prokázáno, že mechanické namáhání způsobené pračkou (bubnem pračky) má vliv na tyto nositelné antény. Dosud však nebyly poskytnuty žádné informace o účincích různých teplot nebo pracích prostředků. V této studii byly štítky testovány ve 3 různých promývacích cyklech. Průmyslové praní bylo prováděno ve zkušební komoře pro měření teploty a vlhkosti od společnosti Feutron GmbH. Bylo provedeno simulování teploty při průmyslovém praní tkanin používaných, například v nemocnicích, kde teplota praní musí být minimálně 70 °C pro minimální dobu praní 10 minut. Proto byla zvolena teplota až 95 °C a relativní vlhkost tak vysoká, jak je to jen možné (100% vlhkost) a jeden cyklus trval 15 minut. Toto testovací schéma nezahrnuje žádné mechanické namáhání (obvykle způsobené pračkou), protože měl být testován pouze pro účinek teploty praní a sušení. Sušení v průmyslových mycích linkách se obvykle provádí při vysokých teplotách, a proto bylo rozhodnuto sušit tkaniny při teplotě 85 °C po dobu 15 minut. Promývání bylo provedeno namočením vzorků v normálním promývacím kyblíku s 2 dm³ vody. To by mělo představovat normální mycí teplotu oděvu v domácím prostředí. Promytí bylo provedeno při 60 °C a trvalo 1 hodinu. Opět nebylo přítomno žádné mechanické namáhání. Sušení pro domácí praní bylo prováděno v prostředí místnosti po dobu 4 hodin. Průmyslové praní a domácí promývání bylo provedeno bez čisticích prostředků. Dále pak bylo provedeno mytí s využitím čisticích prostředků v normální myčce na nádobí, aby se zjistily účinky čisticích prostředků na RFID štítky. Toto mytí bylo provedeno při teplotě 40 °C, opět bez mechanického namáhání, a trvalo 1 hodinu. Po mytí byly tkaniny pečlivě opláchnuty. Opláchnuté tkaniny bez pracího prostředku byly sušeny při pokojové teplotě po dobu 4 hodin. Všechna tato promývací schémata byla opakována desetkrát a v každém promývacím cyklu bylo 6 RFID štítků. Po všech testech byly měřeny jejich vlastnosti a jejich spolehlivosti. Všechna měření provedená pro tuto studii byla prováděna s použitím RFID měřicím zařízením v bezodrazové komoře s měřicí vzdáleností 45 cm. Prahová hodnota ukazuje minimální výkon ve vysílacím portu čtečky pro aktivaci štítku. Teoretický rozsah čtení popisuje maximální vzdálenost mezi RFID štítkem a čtecí anténou ve volném prostoru, tj. prostředí bez odrazů nebo vnějších poruch. Výsledky testů ukázali, že netestovaný štítek vykazoval nejlepší čtecí rozsah na obou tkaninách. RFID štítek na materiálu A ukázal maximální čtecí rozsah 9 m pro kmitočet 950 MHz a štítek na materiálu B ukázal maximální čtecí rozsah přibližně

1,8 m na frekvenčním rozsahu 930–970 MHz. Tkaninový substrát má tedy podstatný vliv na čtení štítku díky povrchové struktuře. Povrch tkaniny B je ve srovnání s tkaninou A více nerovnoměrný. Mytí pomocí čistících prostředků zkrátilo teoretický rozsah čtení na obou tkaninách, ale účinek je významnější na tkanině A, protože maximální rozsah snímání je zkrácen na 2,5 m v celém pásmu RFID. Jak bylo popsáno, horší vlastnosti štítku na materiálu B je částečně způsoben kvalitou vodivých vrstev, která v případě B trpí špatnou kvalitou tisku díky velmi nerovnoměrnému povrchu tkaniny. Simulované cykly pravděpodobně také způsobily zhoršení kvality vodivých drah štítku na materiálu A, což způsobuje výraznější úpadek vlastností ve srovnání s B. Mycí prostředek spolu s vodou pravděpodobně ovlivňuje vlastnosti štítku v důsledku vymývání stříbra. Účinek průmyslového praní je o něco výraznější než účinek domácího praní. Vzhledem k tomu, že teplota sušení je vysoká pouze při průmyslovém praní ale účinky obou mycích schémat jsou velmi podobné, lze předpokládat, že rozsahy čtení jsou většinou ovlivněny především vysokými teplotami praní. Z výsledků je zřejmé, že kombinace vysoké teploty a vysoké vlhkosti má vliv na snížení kvality antény a způsobuje degradaci jejích vlastností. [38]

ZÁVĚR

Dříve byly inteligentní textilie prezentovány jako výrobky, které byly používány ve velmi omezených oblastech. Po vědeckém úsilí a vývojových fázích jsou dnes chytré textilie začleňovány do mnoho odvětví, jako například zdravotnictví, armádní sektor nebo použity pro monitorování a ochranu uživatele. Dnes jsou ale prezentovány jako budoucnost textilního průmyslu. Nyní je k dispozici mnoho komerčních produktů a, jak bylo uvedeno v této práci, mnoho vědeckých i průmyslových skupin vyvíjí nová řešení, nápady a konkrétní produkty, to má za následek rostoucí poptávku po inteligentních textiliích. Hlavní výzvou v současné době je, jak propojit komponenty a najít alternativy ke konvenčním elektronickým materiálům, které se obtížně integrují s měkkými textilními substráty.

Inteligentní textilie musí být dostatečně pružné, aby se daly nosit po dlouhou dobu, aniž by to uživateli způsobovalo nepříjemné pocity. To je důležité pro vytvoření životaschopných a dostupných produktů. Cesta vpřed spočívá například v integraci materiálů na nanoúrovni, protože to zachovává flexibilní vlastnosti a hmatové vlastnosti, které očekáváme od našeho oblečení. Další oblast, na kterou je potřeba se zaměřit jsou standardy pro chytré textilie. Jsou zde stále se zvyšující nároky na komfort, bezpečnost a účinnost chytrého textilu, a to zejména v lékařském průmyslu. Proto je potřeba vytvořit mezinárodní standardy speciálně připravené pro chytrý textil, kde se zahrnují nároky na textilní materiál, elektronické zařízení, opakovanou použitelnost (praní, sušení) a hlavně nároky na bezpečnost uživatele.

Očekává se, že v případě zdokonalení technologie baterií nebo při využití alternativních zdrojů energie, jako je například systém pro získávání energie z okolního prostředí (Energy harvesting systém), dojde k mnohem většímu nasazení nositelné elektroniky do textilií. To je obzvláště důležité pro chytré textilie, protože většina konvenčních zdrojů energie není vhodná pro integraci do textilií v důsledku velikosti, nepružnosti nebo nízké odolnosti v praní. Přijetí chytrých textilií bude nakonec záviset na celkových nákladech jako náklady na materiál a levnější výrobní procesy. Zde se nabízí právě uplatnění tiskových technologií s vodivými tiskovými formulacemi, které jsou ve srovnání s klasickou elektronikou levnější a rychlejší na výrobu. Díky zdokonalení materiálů a kolik jich může být použito v textilu, a hlavně vhodnými energetickými řešeními by se chytré textilie mohly přiblížit směrem ke skutečným nositelným počítačům.

BIBLIOGRAFIE

- [1] LENDLEIN, Andreas, Yujun FENG, Dirk GRIJPMAN a Yuanjin ZHAO. Smart Materials. *ChemPhysChem* [online]. 2018, **19**(16), 1938-1940 [cit. 2019-04-19]. DOI: 10.1002/cphc.201800578. ISSN 14394235. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/cphc.201800578>
- [2] ADDINGTON, D. a Daniel SCHODEK. *Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions*. Boston: Architectural Press, 2005. ISBN isbn0750662255.
- [3] *Smart Textiles and Their Applications*. Woodhead Pub, 2016. ISBN 978-0-08-100574-3.
- [4] ZHU, Chuang, Yi LI a Xuqing LIU. Polymer Interface Molecular Engineering for E-Textiles. *Polymers* [online]. 2018, **10**(6) [cit. 2019-06-20]. DOI: 10.3390/polym10060573. ISSN 2073-4360. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2073-4360/10/6/573>
- [5] STOPPA, Matteo a Alessandro CHIOLERIO. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors* [online]. 2014, **14**(7), 11957-11992 [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.3390/s140711957. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/7/11957>
- [6] GRANCARIĆ, Ana, Ivona JERKOVIĆ, Vladan KONCAR, Cedric COCHRANE, Fern KELLY, Damien SOULAT a Xavier LEGRAND. Conductive polymers for smart textile applications. *Journal of Industrial Textiles* [online]. 2017, **48**(3), 612-642 [cit. 2019-05-14]. DOI: 10.1177/1528083717699368. ISSN 1528-0837.
- [7] OLIVEIRA, J., V. CORREIA, H. CASTRO, P. MARTINS a S. LANCEROS-MENDEZ. Polymer-based smart materials by printing technologies: Improving application and integration. *Additive Manufacturing* [online]. 2018, **21**, 269-283 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1016/j.addma.2018.03.012. ISSN 22148604. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214860417304797>
- [8] CAI, Le a Chuan WANG. Carbon Nanotube Flexible and Stretchable Electronics. *Nanoscale Research Letters* [online]. 2015, **10**(1) [cit. 2019-06-27]. DOI: 10.1186/s11671-015-1013-1. ISSN 1931-7573.
- [9] ZHU, Yanwu, Shanthi MURALI, Weiwei CAI, Xuesong LI, Ji SUK, Jeffrey POTTS a Rodney RUOFF. Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications.

- Advanced Materials* [online]. 2010, **22**(35), 3906-3924 [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1002/adma.201001068. ISSN 09359648. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adma.201001068>
- [10] HUANG, Xianjun, Ting LENG, Mengjian ZHU et al. Highly Flexible and Conductive Printed Graphene for Wireless Wearable Communications Applications. *Scientific Reports* [online]. 2016, **5**(1) [cit. 2019-06-20]. DOI: 10.1038/srep18298. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/srep18298>
- [11] VAN LANGENHOVE, Lieva a Carla HERTLEER. Smart clothing: a new life. *International Journal of Clothing Science and Technology* [online]. 2004, **16**(12), 63-72 [cit. 2019-05-21]. DOI: 10.1108/09556220410520360. ISSN 0955-6222. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/09556220410520360>
- [12] CASTANO, Lina a Alison FLATAU. Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. *Smart Materials and Structures* [online]. 2014, **23**(5) [cit. 2019-06-27]. DOI: 10.1088/0964-1726/23/5/053001. ISSN 0964-1726. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0964-1726/23/i=5/a=053001?key=crossref.dfc5304248622f5263649ee5b74bebcc>
- [13] KOYAMA, Yuya, Michiko NISHIYAMA a Kazuhiro WATANABE. Smart Textile Using Hetero-Core Optical Fiber for Heartbeat and Respiration Monitoring. *IEEE Sensors Journal* [online]. 2018, **18**(15), 6175-6180 [cit. 2019-06-28]. DOI: 10.1109/JSEN.2018.2847333. ISSN 1530-437X. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8385125/>
- [14] MEYER, Jan, Paul LUKOWICZ a Gerhard TROSTER. Textile Pressure Sensor for Muscle Activity and Motion Detection. In: *2006 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers* [online]. IEEE, 2006, s. 69-72 [cit. 2019-06-28]. DOI: 10.1109/ISWC.2006.286346. ISBN 1-4244-0597-1. ISSN 1550-4816.
- [15] WEREMCZUK, Jerzy, Grzegorz TARAPATA a Ryszard JACHOWICZ. Humidity Sensor Printed on Textile with Use of Ink-Jet Technology. *Procedia Engineering* [online]. 2012, **47**, 1366-1369 [cit. 2019-07-08]. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.410. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705812044736>
- [16] CHO, Gilsoo. *Smart clothing: technology and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4200-8852-6.
- [17] LY, Son Thai a Joo Yong KIM. 4D printing – fused deposition modeling printing with thermal-responsive shape memory polymers. *International Journal of Precision Engineering*

- and Manufacturing-Green Technology* [online]. 2017, **4**(3), 267-272 [cit. 2019-07-08]. DOI: 10.1007/s40684-017-0032-z. ISSN 2288-6206.
- [18] KUMAR, Rajan, Jaewook SHIN, Lu YIN, Jung-Min YOU, Ying Shirley MENG a Joseph WANG. All-Printed, Stretchable Zn-Ag 2 O Rechargeable Battery via Hyperelastic Binder for Self-Powering Wearable Electronics. *Advanced Energy Materials* [online]. 2017, **7**(8) [cit. 2019-07-08]. DOI: 10.1002/aenm.201602096. ISSN 16146832. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/aenm.201602096>
- [19] HYUN, Woo, Ethan SECOR, Mark HERSAM, C. FRISBIE a Lorraine FRANCIS. High-Resolution Patterning of Graphene by Screen Printing with a Silicon Stencil for Highly Flexible Printed Electronics. *Advanced Materials* [online]. 2015, **27**(1), 109-115 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1002/adma.201404133. ISSN 09359648. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adma.201404133>
- [20] KHAN, Saleem, Leandro LORENZELLI a Ravinder DAHIYA. Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates: A Review. *IEEE Sensors Journal* [online]. 2015, **15**(6), 3164-3185 [cit. 2019-05-29]. DOI: 10.1109/JSEN.2014.2375203. ISSN 1530-437X. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6974982/>
- [21] SECOR, Ethan, Sooman LIM, Heng ZHANG, C. FRISBIE, Lorraine FRANCIS a Mark HERSAM. Gravure Printing of Graphene for Large-area Flexible Electronics. *Advanced Materials* [online]. 2014, **26**(26), 4533-4538 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1002/adma.201401052. ISSN 09359648. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adma.201401052>
- [22] HASSAN, S., Mohd YUSOF, M.I. MAKSUD, M.N. NODIN a Noor REJAB. A Feasibility Study of Roll to Roll Printing on Graphene. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2015, **799-800**, 402-406 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.402. ISSN 1662-7482. Dostupné z: <https://www.scientific.net/AMM.799-800.402>
- [23] FISCHER, Thomas, Nora WETZOLD, Holg ELSNER, Lothar KROLL a Arved HÜBLER. Carbon Nanotube Areas — Printed on Textile and Paper Substrates. *Nanomaterials and Nanotechnology* [online]. 2011, **1** [cit. 2019-05-27]. DOI: 10.5772/50946. ISSN 1847-9804. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.5772/50946>
- [24] ABDELKADER, Amr, Nazmul KARIM, Cristina VALLÉS, Shaila AFROJ, Kostya NOVOSELOV a Stephen YEATES. Ultraflexible and robust graphene supercapacitors

- printed on textiles for wearable electronics applications. *2D Materials* [online]. 2017, **4**(3) [cit. 2019-05-27]. DOI: 10.1088/2053-1583/aa7d71. ISSN 2053-1583.
- [25] TORRISI, Felice, Tawfique HASAN, Weiping WU et al. Inkjet-Printed Graphene Electronics. *ACS Nano* [online]. 2012, **6**(4), 2992-3006 [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1021/nn2044609. ISSN 1936-0851.
- [26] SHIN, Keun-Young, Jin-Yong HONG a Jyongsik JANG. Micropatterning of Graphene Sheets by Inkjet Printing and Its Wideband Dipole-Antenna Application. *Advanced Materials* [online]. 2011, **23**(18), 2113-2118 [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1002/adma.201100345. ISSN 09359648. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/adma.201100345>
- [27] CASTRO, H.F., E. SOWADE, J.G. ROCHA, P. ALPUIM, A.V. MACHADO, R.R. BAUMANN a S. LANCEROS-MÉNDEZ. Degradation of all-inkjet-printed organic thin-film transistors with TIPS-pentacene under processes applied in textile manufacturing. *Organic Electronics* [online]. 2015, **22**, 12-19 [cit. 2019-05-27]. DOI: 10.1016/j.orgel.2015.03.028. ISSN 15661199.
- [28] KING, Bruce a Mike RENN. *AEROSOL JET® DIRECT WRITE PRINTING FOR MIL-AERO ELECTRONIC APPLICATIONS* [online]. b.r., , 6 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: http://www.optomec.com/wpcontent/uploads/2014/04/Optomec_Aerosol_Jet_Direct_Write_Printing_for_Mil_Aero_Electronic_Apps.pdf
- [29] JING, Qingshen, Yeon CHOI, Michael SMITH, Canlin OU, Tommaso BUSOLO a Sohini KAR-NARAYAN. Freestanding Functional Structures by Aerosol-Jet Printing for Stretchable Electronics and Sensing Applications. *Advanced Materials Technologies* [online]. 2019 [cit. 2019-06-18]. DOI: 10.1002/admt.201900048. ISSN 2365-709X. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/admt.201900048>
- [30] HASHEMI SANATGAR, Razieh, Christine CAMPAGNE a Vincent NIERSTRASZ. Investigation of the adhesion properties of direct 3D printing of polymers and nanocomposites on textiles: Effect of FDM printing process parameters. *Applied Surface Science* [online]. 2017, **403**, 551-563 [cit. 2019-05-28]. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.01.112. ISSN 01694332. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433217301137>
- [31] PEI, Eujin, Jinsong SHEN a Jennifer WATLING. Direct 3D printing of polymers onto textiles: experimental studies and applications: [1]. *Rapid Prototyping Journal*. Bradford: Emerald Group Publishing Limited, 2015, **21**(5), 556-571. ISSN 13552546.

- [32] RAYATE, Amol a Prashant JAIN. A Review on 4D Printing Material Composites and Their Applications. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2018, **5**(9), 20474-20484 [cit. 2019-06-18]. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.06.424. ISSN 22147853. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785318315542>
- [33] LUIBLE, Christiane, Minna VARHEENMAA, Nadia MAGNENAT-THALMANN a Harriet MEINANDER. Subjective Fabric Evaluation. In: *2007 International Conference on Cyberworlds (CW'07)* [online]. IEEE, 2007, s. 285-291 [cit. 2019-06-05]. DOI: 10.1109/CW.2007.57. ISBN 0-7695-3005-2.
- [34] HERTLEER, Carla a Lieva VAN LANGENHOVE. Standards for Smart Textiles. TAO, Xiaoming, ed., Xiaoming TAO. *Handbook of Smart Textiles* [online]. Singapore: Springer Singapore, 2014, s. 1-11 [cit. 2019-06-11]. DOI: 10.1007/978-981-4451-68-0_40-1. ISBN 978-981-4451-68-0. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-981-4451-68-0_40-1
- [35] CHLAIHAWI, Amer, Binu NARAKATHU, Sepehr EMAMIAN, Bradley BAZUIN a Massood ATASHBAR. Development of printed and flexible dry ECG electrodes. *Sensing and Bio-Sensing Research* [online]. 2018, **20**, 9-15 [cit. 2019-06-15]. DOI: 10.1016/j.sbsr.2018.05.001. ISSN 22141804. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214180418300254>
- [36] KAZANI, Ilda, Carla HERTLEER, Gilbert DE MEY, Anne SCHWARZ, Genti GUXHO a Lieva VAN LANGENHOVE. Electrical Conductive Textiles Obtained by Screen Printing. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2012, , 57-63. ISSN 1230-3666.
- [37] PNJ 600-80-2005. *PRÁDLO PRO ZDRAVOTNICTVÍ: Technické požadavky*. Brno: Textilní zkušební ústav, 2005.
- [38] VIRKKI, J., T. BJÖRNINEN, T. KELLOMÄKI, S. MERILAMPI, I. SHAFIQ, L. UKKONEN, L. SYDÄNHEIMO a Y.C. CHAN. Reliability of washable wearable screen printed UHF RFID tags. *Microelectronics Reliability* [online]. 2014, **54**(4), 840-846 [cit. 2019-06-19]. DOI: 10.1016/j.microrel.2013.12.011. ISSN 00262714. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026271413004496>
- [39] CARLSON, Andrew, Audrey BOWEN, Yonggang HUANG, Ralph NUZZO a John ROGERS. Transfer Printing Techniques for Materials Assembly and Micro/Nanodevice Fabrication. *Advanced Materials* [online]. 2012, **24**(39), 5284-5318 [cit. 2019-06-04]. DOI: 10.1002/adma.201201386. ISSN 09359648.

- [40] TAN, H., T. TRAN a C. CHUA. A review of printed passive electronic components through fully additive manufacturing methods. *Virtual and Physical Prototyping* [online]. 2016, **11**(4), 271-288 [cit. 2019-06-13]. DOI: 10.1080/17452759.2016.1217586. ISSN 1745-2759. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17452759.2016.1217586>
- [41] YOON, Jongwon, Yunkyung JEONG, Heeje KIM et al. Robust and stretchable indium gallium zinc oxide-based electronic textiles formed by cilia-assisted transfer printing. *Nature Communications* [online]. 2016, **7**(1) [cit. 2019-06-28]. DOI: 10.1038/ncomms11477. ISSN 2041-1723. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/ncomms11477>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma vodivého vlákna seskaná s normálními vlákny [5].....	13
Obrázek 2: Strukturní vzorce a) PEDOT b) Polypyrrol c) Polyanilin [3].....	14
Obrázek 3: Struktura grafenu [9]	17
Obrázek 4: a) vlákno Hetro-Core b) tkanina s vláknem Hetro-Core [13].....	19
Obrázek 5: a) Schéma snímače b) Snímač tlaku s 16 snímacími prvky vyšívanými vodivou přízí [14].....	20
Obrázek 6: Výsledný SMP filament [17].....	22
Obrázek 7: Princip Hlubotisku [40]	23
Obrázek 8: Princip flexotisku [40].....	25
Obrázek 9: Princip sítotisku a) plošný b) rotační [40]	27
Obrázek 10: Princip kontinuálního ink-jetu [40]	29
Obrázek 11: Princip aerosolového tisku [28].....	31
Obrázek 12: Schéma vytvoření vlákna [29].....	32
Obrázek 13: Princip FDM tiskárny [31]	33