

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Všíváné antény pro aplikace v oblasti internetu věcí

Abstrakt

Tato práce se zabývá všívanými anténami a jejich potencionálním využitím v oblasti internetu věcí. V teoretické části je vysvětlena a diskutována problematika oblastí smart textilií a internetu věcí včetně jejich aplikací. Dále jsou zde popsány vhodné technologie pro výrobu flexibilních antén. V rámci praktické části práce byl navržen a realizován půlvlnný dipól, který byl realizován současně technologií všívání a tisku. V závěru práce je připojeno kritické zhodnocení realizovaného dipólu.

Klíčová slova

Smart, smart textilie, internet věcí, IoT, sítotisk, všívání, pletení, dipól, anténa

Abstract

This thesis is aimed on embroidered antennas and their potential use in the Internet of Things. The theoretical part explains and discusses the issues of smart textiles and the Internet of Things, including their applications. Furthermore, there are described suitable technologies for the production of flexible antennas. In the practical part of the thesis there was designed a half-wave dipole, which was realized by screen-printing and embroidery together. At the end of the thesis, a critical evaluation of the implemented dipole is attached.

Key words

Smart, smart textiles, Internet of Things, IoT, screen printing, embroidery, knitting, dipole, antenna

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 15.5.2017

Jakub Levora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Soukupovi Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 SMART TEXTILIE	10
1.1 ROZDĚLENÍ SMART TEXTILÍ.....	11
1.2 SMART HASIČSKÝ ZÁSAHOVÝ OBLEK.....	12
2 INTERNET VĚCÍ	14
2.1 VYUŽITÍ IoT.....	15
2.1.1 SMART city.....	16
2.1.2 Smart home.....	16
2.1.3 Zemědělství.....	16
2.1.4 Zdravotnictví.....	17
2.2 BEZPEČNOST IoT.....	17
2.3 SHRNUTÍ VÝHOD A NEVÝHOD IoT.....	18
3 POPIS TECHNOLOGIÍ NUTNÝCH PRO REALIZACI VŠÍVANÉ ANTÉNY DO PLOŠNÉ TEXTILIE	20
3.1 TECHNIKA VYŠÍVÁNÍ.....	20
3.2 SÍTOTISK.....	22
3.3 TECHNIKA PLETENÍ.....	24
3.4 ZHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNIK.....	25
4 PŘEHLED JIŽ REALIZOVANÝCH ANTÉN DO PLOŠNÝCH TEXTILÍ	28
4.1 VŠÍVANÁ ŠIROKOPÁSMOVÁ ANTÉNA PRO APLIKACI V LÉKAŘSKÉM PROSTŘEDÍ.....	28
4.2 ANTÉNA PRO SMART HASIČSKÝ OBLEK.....	29
4.3 PLETENÁ BEZDRÁTOVÁ ANTÉNA PRO SBĚR ENERGIE.....	30
4.4 KONFIGUROVATELNÁ ŠIROKOPÁSMOVÁ TEXTILNÍ ANTÉNA.....	31
4.5 VÝHODY A NEVÝHODY UVEDENÝCH REALIZACÍ ANTÉN.....	33
5 PRAKTICKÁ ČÁST	35
5.1 ZÁKLADNÍ TEORIE A PARAMETRY ANTÉN.....	35
5.2 NÁVRH PŮVLNĚNÉHO DIPÓLU.....	38
5.3 REALIZACE ANTÉNY.....	40
5.4 MĚŘENÍ ANTÉN.....	45
6 ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÉ REALIZACE A VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	53
ZÁVĚR	56
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	57
7 PŘÍLOHA	1

Seznam symbolů a zkratek

Zkratka	Anglický popis	Český popis
LED	Light-Emitting Diode	Luminiscenční dioda
IoT	Internet of Things	Internet věcí
RFID	Radio Frequency Identification	Radiofrekvenční identifikační systém
M2M	Machine-to-Machine	Výměna informací mezi technologickými zařízeními
M2H	Machine-to-Human	Výměna informací mezi člověkem a technologickým zařízením
LBS	Location-Based Services	Lokálně kontextové služby
LOC	Lab-on-a-Chip	Jedna nebo více laboratorních funkcí v jednom čipu
AR	Augmented reality	Rozšířená realita
IZS		Integrovaný záchranný systém
MHD		Městská hromadná doprava
R2R	Roll-to-Roll	”roll-to-roll” výrobní proces
PPy	Polypyrrole	Vodivá polymerní sloučenina
CAD	Computer-aided design	Počítačem podporované projektování
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
WAN	Wide Area Network	Rozsáhlá síť
ISM	Industrial, scientific and medical	Pásmo pro rádiové vysílání v oborech průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice

Úvod

Smart technologie se stále více stávají každodenní součástí života každého z nás. Čím dál tím více nám ulehčují život například pomocí informačních tabulí ohledně příjezdu nejbližšího spojení městské hromadné dopravy nebo ohledně počtu volných míst na parkovišti. Stejně tak svůj prudký vzestup zažívá fenomén s názvem internet věcí. Například propojení všech výrobních stanic bezdrátovým internetem a jejich komunikací s řídicím počítačem může zajišťovat nejen rychlejší reakci na získané podněty, ale také další nesmírně cenná data, která mohou být pro podnik klíčová vzhledem k jeho dalšímu rozvoji.

Aplikace smart technologií je široká a nachází své uplatnění také u textilií. V dnešní době již můžeme nacházet smart textilie například v podobě funkčních trik s integrovanými elektronickými prvky, které umožňují měřit srdeční frekvenci. Anténní prvky se na textilních flexibilních substrátech začínají objevovat zatím především v experimentální rovině. Nicméně jejich srovnatelné parametry s konvenčními anténami a především pak jejich flexibilita, která umožňuje jejich integraci přímo do oděvu, tím tak otevírá možnost potenciálního propojení s internetem věcí s vyhlídkou sériové výroby textilních antén například pro snadnou komunikaci záchranných složek pomocí jejich chytrých obleků.

1 Smart textilie

Bez textilních materiálů si nedovedeme představit běžný život. Každý z nás je využívá dennodenně i mimochodem proto, že nám poskytují vlastnosti jako pohodlnost, nízká hmotnost, nebo také elasticita. V případě potřeby nás však dokáží také ochránit před větrem, chladem nebo sluncem. Pod pojmem textilie si představíme nejčastěji části oděvu, jako například tričko nebo košile. Běžně je však používáme i na čalounění interiéru, mají však i izolační vlastnosti, pro které se používají ve stavebnictví.

Na rozdíl od konvenčních textilií, smart textilie mají kromě výše popsaných běžných funkcí další nadstandartní vlastnosti a schopnosti dosažené za použití moderních technologií a přístupů z oblasti vědy a techniky. Inteligentní textilie jsou takové, které snímají a reagují s okolním prostředím na mechanické, tepelné, chemické, elektrické nebo magnetické zdroje. Všívání senzorů můžeme uplatnit k detekování lidských funkcí, k detekci rozličných chemických látek, fyzikálních nebo elektrických podnětů. Nová vlákna a textilní materiály umožňují vytvářet takové inteligentní textilie k vytvoření užitečných technických oděvů, jako jsou oděvy kosmonautů, pilotů, lékařů, chemiků a dalších. Smart textilie můžeme rozdělit do tří základních skupin: aktivní, pasivní a velmi inteligentní textilie. Tyto skupiny se liší v tom, do jaké míry podávají zpětnou vazbu, zda pouze detekují anebo samy regulují dané veličiny. [1, 2]

Smart textilie jsou v současné době na prudkém vzestupu a již se začínají integrovat do mnoha segmentů světového trhu. Velká část je ale zatím ve fázi výzkumných projektů, to však nevyvrací fakt, že tyto technologie jsou budoucností nejen pro oděvní průmysl. Největší poptávka po smart textiliích pochází především ze strany bezpečnostních a záchranných složek, kde je v blízké době pravděpodobně největší potenciál pro takovéto systémy. Nesmíme však zapomenout ani na rychlý rozvoj, který probíhá v rámci vojenských aplikací smart textilií. Avšak kromě těchto segmentů může být využití také u výrobců oděvů a sportovních potřeb. [3]

Vidina běžného užívání smart pracovních obleků pro lékaře a pacienty je velice lákavá. Tyto systémy by mohly komunikovat s moderními komponenty v lékařských zařízeních a pomohly by tak doktorům lépe zanalyzovat stav pacienta a predikovat vývoj jeho zranění a lépe tak reagovat s další léčbou. Avšak jak je tato vidina lákavá, tak v současné době zatím není plně reálná. Vzhledem k tomu, že existuje mnoho potenciálních aplikací pro

integrované senzorové systémy a také stále existuje mnoho neprobádaných aplikací a nezodpovězených otázek, případný pokus o standardizaci by měl být schopen poskytnout univerzálnost umístění senzorů a jejich počet na oblečení pro pokrytí celého těla. [3, 4]

Nutno však zmínit také technologické problémy, které se zatím nepovedlo dostatečně vyřešit. V oblasti smart textilií je velmi důležité a zároveň obtížné vytvořit jednotlivé komponenty tak, aby byly schopné odolávat především velkým odstředivým silám při praní textilie v automatické pračce. Kromě problému s pratelností další výzvou je vyřešení robustního, spolehlivého a zároveň levného způsobu kontaktování komponentů s dalšími součástmi systému, jako například propojení mezi anténami a senzory. [5]

1.1 Rozdělení smart textilií

S ohledem na funkcionalitu můžeme smart textilie rozdělit do tří základních kategorií.

- 1) *Pasivní smart textilie* – jedná se o první generaci, která dokáže pouze detekovat vnější podněty, takováto reakce však nemá zpětnou vazbu.
- 2) *Aktivní smart textilie* – na rozdíl od pasivních, aktivní chytré textilie obsahují kromě senzoru také aktuátor, který může na daný podnět ze senzoru reagovat buď okamžitě, nebo pomocí centrální řídicí jednotky. Do této kategorie můžeme zařadit například textil s tvarovou pamětí, látky měnící barvu při kontaktu s vodou a nebo voděodolné textilie.
- 3) *Velmi inteligentní textilie* – jedná se o třetí generaci chytrých textilií, ve které je snaha, aby byl celý elektronický systém součástí denního života díky jeho integraci do oděvu. Kromě detekování podnětu senzorem, následné reakce aktuátoru je zde snaha i přizpůsobit funkčnost svému okolí. U této kategorie navíc obsahuje jakési ústředí pro poznávání a vyhodnocování situací a pro následné vysílání podnětů směrem k aktuátorům. Textilie z této kategorie by měly být využívány zejména v oblasti speciálních obleků pro lékaře, piloty nebo kosmonauty. [6, 7]

1.2 Smart hasičský zásahový oblek

Jako příklad využití smart textilií lze uvést projekt chytrého hasičského zásahového obleku, který je řešen na Západočeské univerzitě v Plzni ve spolupráci společnostmi VOCHOC, Holík, Applycon a Elitronic. Jedná se o oblek, do kterého jsou integrovány elektronické funkční bloky, které pomáhají ke shromažďování informací nejen o životních funkcích hasiče a jeho okolním prostředí v reálném čase, ale také přispívají ke zvýšení ochrany hasiče před úrazy způsobené ohněm a dalších potencionálních nebezpečí.



Obr. 1.1: Hasičský smart oblek. Převzato z [8]

Oblek (viz Obr. 1.1) v sobě ukrývá integrované senzory teploty, modul pro snímání životních funkcí (např. srdeční tep), akustickou sirénu nebo také integrované aktivní osvětlení. Dále v sobě může oblek ukrývat další senzory reagující na zvolené druhy plynů. Všechny tyto informace jsou pomocí kontrolní jednotky přenášeny na frekvenci 868 MHz do řídicího tabletu, který má u sebe velitel zásahu. Díky tomu má velmi podrobný přehled o hasičích, kteří zasahují. Tento smart oblek může být ještě doplněn o rukavice taktéž s teplotními senzory. [8]

V případě nebezpečí nebo kritických hodnot zaznamenaných pomocí senzorů se automaticky spustí světelná a akustická výstraha na obleku, která na nebezpečí upozorňuje své okolí. Kromě toho se nebezpečný stav také ukáže na tabletu, který má u sebe k dispozici velitel zásahu. Velitel zásahu však může přes tablet vidět také polohu, současnou pozici jeho těla (zda například hasič stojí, sedí nebo leží). Vidí ale také fyziologické funkce jako je třeba srdeční tep.

2 Internet věcí

Dnešní počítače, a vlastně také internet, jsou téměř úplně závislé na lidech a jejich informacích. Většina dat obsažená na internetu musela být nejprve zpracována nebo vytvořena člověkem, ať už napsáním textu, stiskem tlačítka na nahrávání videa, vyfocení obrázku nebo naskenováním dokumentu. V dnešním uspěchaném světě jsou však lidský čas, pozornost a přesnost příliš vzácné na to, aby se spotřebovávaly na sbírání dat z reálného světa. Internet, tak jak ho známe, nám pomalu přestává stačit. Svě místo si začíná získávat internet věcí. V podstatě se jedná o propojení a komunikaci vestavěných zařízení mezi sebou, především pak pomocí bezdrátové komunikace. Smysl celé věci je v komunikaci jednotlivých zařízení mezi sebou bez lidského zásahu. [9]

Poprvé pojem Internet věcí (anglicky Internet of Things – IoT) pronesl Kevin Ashton v roce 1999 na prezentaci ve firmě Procter & Gamble. Tento termín se zde využil ve spojitosti s využitím RFID technologií v dodavatelském řetězci. Představoval svou vizi jako všudypřítomnost techniky a inteligentního prostředí. Dal tak vzniknout fenoménu, který se nyní dotýká snad všech oborů lidské společnosti v moderním světě. Internet věcí již v dnešní době potvrzuje svou důležitost v oblasti informatiky, komunikačních technologií a rozvoji společnosti. Třeba že základní koncepty a myšlenky jsou zformovány, je zapotřebí ještě značného úsilí k úplnému rozvoji tohoto perspektivního odvětví k naplnění svého potenciálu. [9–11]

Hlavní úkoly IoT:

- Sběr dat
- Uložení dat
- Analýza dat
- Sdílení výsledků

Koncepty a technologie, které vedly k internetu věcí, již existují nějaký čas. Mnoho lidí se odkazuje na principy Machine-to-Machine (M2M) komunikace a považují je za zaměnitelné s IoT. Ve skutečnosti M2M lze považovat za podmnožinu internetu věcí. Internet věcí v sobě zahrnuje více principů, jako třeba Machine-to-Human (M2H), radiofrekvenční identifikace (Radio Frequency Identification – RFID), Location-Based Services (LBS), Lab-on-a-Chip (LOC) senzory, rozšířenou realitu (AR), robotiku a vozovou

telematiku. Mnohé části IoT jsou výsledkem vojenského vývoje a průmyslových aplikací dodavatelského řetězce. Jejich společným znakem je kombinování vstupních zaznamenávacích a sensorických objektů s komunikačními prostředky. Tok těchto dat následně prochází přes kombinaci drátových a bezdrátových sítí. [10]

Schopnost vložené a distribuované inteligence v síti je hlavním architektonickým prvkem internetu věcí ze tří hlavních důvodů:

- Sběr dat: Centralizovaný sběr dat a řízení smart objektů nezajišťuje rozšiřitelnost internetu. Například řízení několika milionů senzorů a akčních členů v “Smart grid“ síti nelze účinně provést pomocí centralizovaného přístupu. [10]
- Uchovávání síťových zdrojů: Vzhledem k tomu, že propustnost sítě může být nedostatečná, shromažďování environmentálních údajů z centrálního místa v síti nevyhnutelně vede k použití velkého množství kapacity sítě. [10]
- Funkce uzavřené smyčky: Pro některé případy, internet věcí vyžaduje sníženou reakční dobu. Například doba posílání poplachu přes více cest ze senzoru do centralizovaného systému (který spouští analýzu a následně vysílá odpovídající reakci) může mít za následek nepřijatelné zpoždění, než odešle příkaz příslušnému aktuátoru. [10]

Kdybychom měli počítače, které by věděly vše důležité o svém úkolu, samy by si nashromáždily potřebná data bez naší pomoci. Lidem by to ušetřilo spoustu času, který by se dal využít na analýzu a propočítání nashromážděných dat. Výrazně bychom tak snížili přebytečná data a náklady.

2.1 Využití IoT

Z celého potenciálu internetu věcí si získává největší pozornost oblast Smart city, Smart home, obecná bezpečnost, zemědělství, nebo také zdravotnictví. Technologie internetu věcí je a bude i nadále více využívána i v ostatních oborech. Na základě různých zdrojů [10, 11] se předpokládá, že kolem roku 2020 bude do internetu věcí zapojeno desítky miliard přístrojů. V souladu s informacemi popsány výše, většina vlád po celém světě berou IoT jako oblast inovace a růstu. Začínají tomu věnovat větší pozornost a urychlovat tak vývoj a

přidávat nové služby. Nicméně i soukromé společnosti mají internet věcí důkladně zabudovaný do svých aktivit. V následujících odstavcích jsou zevrubně představeny některá využití internetu věcí. [11]

2.1.1 SMART city

V koncepci Smart city hraje IoT dominantní roli. Do projektu se již zapojilo několik evropských velkoměst v čele s Barcelonou. Cílem projektů je integrovat inteligentní technologie, které přispějí ke zvýšení kvality života ve městě a k integraci městských systémů. V současné době se již Smart city netýká pouze používaných technologií, ale napomáhá celkovému hospodářskému růstu měst, kvalitě jejich životního prostředí a kvalitě života občanů. V České republice tento koncept rozvíjí např. město Písek, prvky Smart city jsou však k vidění i v mnoha dalších českých městech, například v Brně nebo Plzni. Kromě výše popsaných výhod Smart city pomáhá k plynulosti dopravy monitoringem dopravních nehod. [11]

Lze uvést bodově konkrétní příklady nejrozšířenějších implementací Smart city do měst:

- Počítadla parkovacích míst
- Panely odjezdů hromadné dopravy
- Ovládání semaforů pro IZS a MHD
- Parkovací místa krytá fotovoltaickými panely
- Objednávání na úřady

2.1.2 Smart home

Nástup bezdrátového připojení k internetu vypomohl automatizaci v domácnostech. Zařízení jako chytrý televizor nebo mobilní telefon mají v sobě zabudovaný wifi přijímač, přes který je snadné propojit tyto produkty. Nicméně je to pouze vrchol ledovce, v současné době chytré budovy monitorují spotřebu energie, za pomoci senzorů snímají, jaké prostředí je uvnitř jednotlivých místností. Na základě naměřených dat se nastaví výhřev kotle, intenzita osvětlení a další záležitosti podle potřeb uživatele. [11]

2.1.3 Zemědělství

Do tohoto odvětví můžeme zařadit především automatizaci, která prospívá k maximalizaci produkce nebo k udržování nastavené vlhkosti nebo teploty. Tyto a další

funkce můžeme nalézt například ve sklenících nebo kompostech. IoT ale můžeme samozřejmě nalézt také na meteorologických stanicích pro sledování povětrnostních podmínek. Tato data lze pak buď ihned zveřejnit nebo použít pro vytvoření předpovědi počasí. [11]

2.1.4 Zdravotnictví

Jedním z hlavních důvodů obecně pro použití jak IoT, tak smart technologií je zdravotnictví. Je zde neustálý tlak na zavádění nových technologií, které by rychleji, nebo efektivněji sloužili k léčení nemocných nebo zraněných. Ze širokého spektra použití můžeme jmenovat třeba systém k detekci pádu osoby. Toto se využívá především u seniorů nebo zdravotně postižených osob. Co se týče seniorů, tak další významné vylepšení slouží v dálkové kontrole zdravotního stavu, kdy se přes drátovou nebo bezdrátovou síť vysílají údaje o momentálním stavu (např. tělesná teplota, tepová frekvence nebo EKG) do nemocnic. Jako další jsou automatizované chladničky, které samy regulují podmínky uvnitř tak, aby byly například očkovací látky nebo léky uchovávány v pokud možno ideálním prostředí. [11]

2.2 Bezpečnost IoT

S nespornými výhodami automatizovaných systémů však automaticky vyvstává otazník nad bezpečností těchto systémů. Aby nám tyto smart technologie usnadňovaly každodenní život, vystavujeme tak víc a víc naše citlivá data v nebezpečí před útokem ze strany hackerů.

Jak už bylo napsáno výše, každoročně se zvyšuje počet zařízení připojených do internetu věcí, s tím však možná skrytě, ale stejným tempem roste hrozba ze strany bezpečnosti. Vývoj internetu věcí začíná být na takové úrovni, že do něj může být připojeno nepřeberné množství zařízení, od chladničky až po hasicí přístroj. Stejně tak ale může být připojen stolní počítač obsahující naše osobní informace. To je přesně potencionální cíl útočníků, na který je potřeba reagovat dostatečnou ochranou. [12]

Jako prvotní krok k zabezpečení IoT je implementace bezpečnostních standardů, které by musel splňovat každý výrobek, který se může eventuálně připojit k internetu věcí. Samozřejmě že snaha o zabezpečení by neměla přicházet pouze od výrobců, ale svůj díl ku prospěchu musí udělat také zákazník použitím kvalitních zabezpečovacích systémů. [12]

Internetový server Živě.cz [13] potom upozorňuje především na hrozbu chybně zabezpečených webových kamer, které lze dohledat i dokonce přes známý internetový vyhledávač Google. Samozřejmě že v těchto případech pravděpodobně ponese vinu spíše uživatel, který nevěnoval pozornost nastavení zabezpečení. Nicméně i samotní výrobci přístrojů, které využívají přístup k internetu, musí cítit jistou zodpovědnost za úroveň bezpečnosti, kterou jejich výrobci vykazují.

2.3 Shrnutí výhod a nevýhod IoT

Vzhledem k výše popsaným odvětvím, kde se internet věcí prosazuje, je zřejmé, že nám systémy připojené do IoT zaručují větší návaznost jednotlivých procesů. Zvyšuje se nejenom efektivita celého systému, ale také vykonává práci, kterou by jinak museli dělat lidé. Tok dat a informací napříč podniky je také rychlejší a tím může být včasnější reakce na základě těchto dat. Připojení všech věcí k internetu nám zajišťuje prakticky okamžitou zpětnou vazbu a získávání těchto dat klidně na velké vzdálenosti.

Tab. 2.1: Shrnutí výhod a nevýhod IoT

+	-
<ul style="list-style-type: none"> • Urychlení komunikace • Zvýšení efektivity • Rychlá zpětná vazba • Vyšší úroveň automatizace • Získávání informací na dálku • Přínos nových funkcionalit (např. Smart city) • Získávání dalších skrytých dat 	<ul style="list-style-type: none"> • Zamoření elektromag. signály (tzv. elektromagnetický smog) • Vzájemné rušení signálů stejné nebo podobné frekvence • Nízká úroveň zabezpečení • Dopad na lidské zdraví • Zvýšení závislosti na technologiích

Další výhodu IoT můžeme ukázat například na chytré lednici v domácnosti, která je vybavena obrazovkou a kamerami ve chladicím prostoru, které monitorují stav zásob a podle zjištěných nedostatků buď navrhuje nákup daných surovin, nebo sama provede objednávku přes internet. Při získávání stěžejních informací určených k analýze a vyhodnocování lze získat i doplňková skrytá data, která mohou mít buď čistě statistický účel, nebo mohou sloužit jako postranní rozhodující kritérium pro možné změny. Tato skrytá data se již běžně používají v marketingu, například se shromažďují data o počtu zákazníků obchodního řetězce v jednotlivých hodinách otevírací doby podniku.

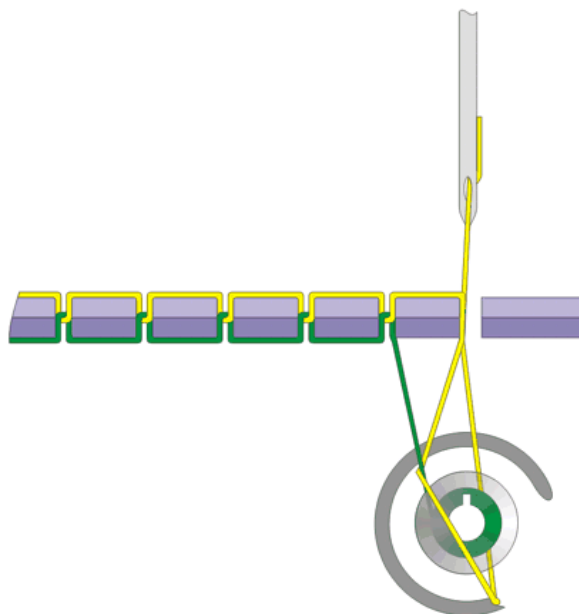
Avšak i přes nesporné výhody těchto technologií (viz. Tab. 2.1) je ale nutné zmínit i záporné aspekty této technologie, které již nyní vyvstávají nebo teprve mohou vyplynout. Problém nejenom internetu věcí jako takového, ale celého telekomunikačního odvětví je zamořování elektromagnetickými signály. V ovzduší je již teď velké množství elektromagnetických signálů od televizního digitálního vysílání, satelitního vysílání až po mobilní a wifi data. Navíc je nastaven trend, že počet těchto signálů neustále narůstá. Při takto velkém množství signálů je riziko, že se signály o stejné nebo podobné frekvenci budou rušit a na místo určení tak dojde k jejich zkreslení, respektive budou obdržena zkreslená či neúplná data. Stejně tak množství signálů může mít špatný vliv na lidské zdraví. Pokud by se člověk vystavoval delší dobu záření například z wifi signálů, mohlo by to mít špatný vliv na jeho zdraví. Podle některých studií to může vést až k riziku vzniku karcinogenních rakovinotvorných buněk. Bezpečnosti internetu věcí již byla věnována kapitola 2.2. Jedná se o citlivý problém vzhledem k nebezpečnosti, kdy mohou být odcizena důležitá data ať o společnosti, nebo o technologických postupech procesů. V dnešních dnech je společnost bezesporu závislá na dodávkách elektrické energie, bez které se neobejdeme jak v domácnostech, tak ani v průmyslových podnicích. Se zaváděním IoT by už nebyla závislost jen na elektrické energii, ale také na internetovém připojení, bez kterého by nefungovala výroba z důvodu nutnosti komunikace mezi jednotlivými zařízeními a z důvodu ukládání a načítání dat z cloudu.

Celkově tak lze shrnout situaci, že i přes obrovský přínos internetu věcí do rozvoje a efektivity zdravotnictví, výroby, zemědělství a dalších oborů jsou zde současně přítomny problémy hlavně v oblasti zabezpečení systémů a tzv. elektromagnetického smogu. Pokud se ale bude na těchto aspektech pracovat, speciálně pak na bezpečnosti a ochraně dat, bude mít IoT ještě širší pole uplatnění.

3 Popis technologií nutných pro realizaci všívané antény do plošné textilie

3.1 Technika vyšívání

Vyšívání je textilní technika, při které se vytváří motiv vzájemným provlékáním nitě do podkladové látky (substrát). Z historického hlediska se vyšívání používalo, a stále používá, ke zdobení a zkrášlování oděvů, také pro vyšívání obrazů. S příchodem moderních šicích strojů se vyšívání používá také pro vytváření vodivých či nevodivých funkčních motivů. Při vytváření nositelných antén a dalších aplikací se používají speciální vodivé nitě, které mají polymerní jádro a vnější stříbrný nebo niklový obal pro zaručení vodivosti.[14] Nevýhoda těchto nití je v rozdílné flexibilitě vodivých a nevodivých vláken. Vodivá vlákna jsou méně flexibilní a hrozí u nich tak větší riziko přetržení. [15]



Obr. 3.1: Princip vázaného stehu. Převzato z [16]

Podle zvoleného druhu můžeme rozlišovat velké množství typů stehů, jako například křížkový steh, řetízkový steh, vázaný steh apod. Velmi rozšířenou technikou vyšívání šicím strojem je používání vázaného stehu. Princip vázaného stehu je znázorněn na Obr. 3.1. U této metody se používají dvě nitě, horní nit (žlutá) a spodní nit (zelená). Skrz látku se provlékne horní nit a díky rotačnímu chapači se vytvoří očko, do kterého se provlékne spodní nit. Celý steh se pak utáhne napínací pákou. [16]

Pro realizaci elektrických všívaných prvků a antén je na Katedře technologií a měření ZČU je používán vyšívací stroj Bernina 750 QE. Jedná se o výrobek švýcarské firmy Bernina

International, jejíž kořeny sahají až do roku 1893. Firma se za celou dobu své existence drží na vysoké úrovni a stále přináší inovace nutné pro její další rozvoj. Společnost si zakládá především na kvalitě a tradici, kterou si buduje doslova napříč stoletími. [17]



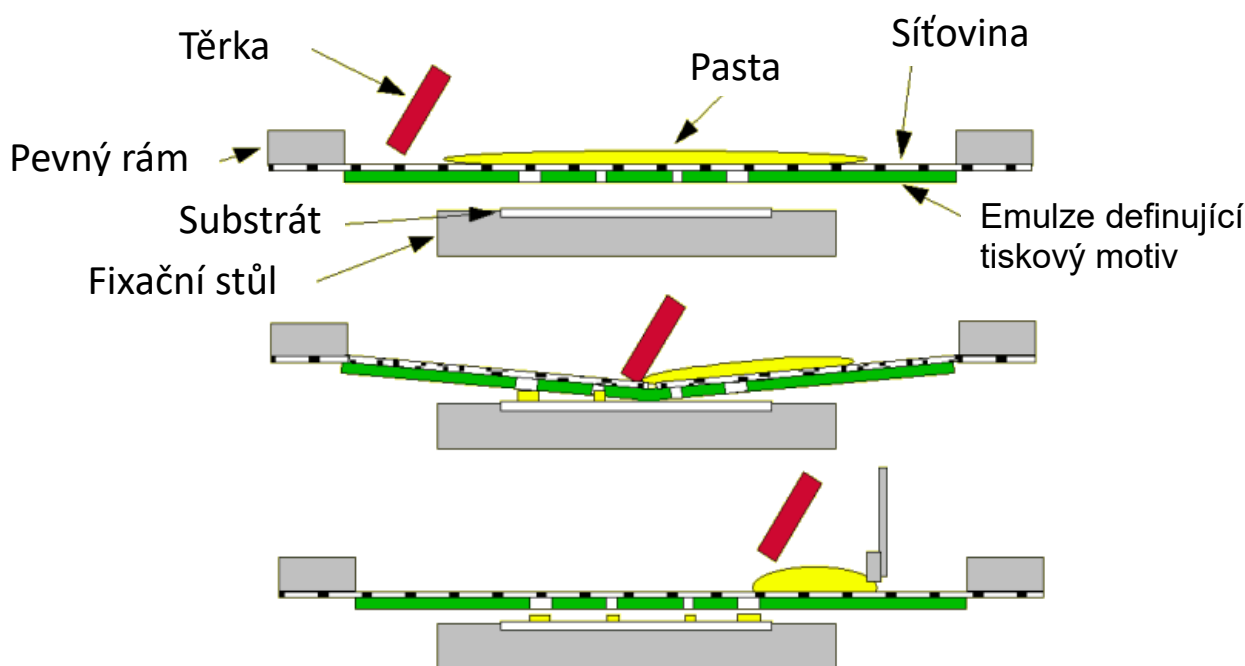
Obr. 3.2: Vyšívací stroj Bernina 750QE

Samotný vyšívací stroj Bernina 750 QE, který je vyobrazen na Obr. 3.2, patří v sérii produktů řady 700 do střední třídy, disponuje 837 typy stehů a s rychlostí až 1000 stehů za minutu s možností regulace délky stehu až do 6 mm. Celému přístroji dominuje dotykový displej, který zobrazuje stehy a pomáhá s nastavením přístroje. Velmi praktické je taky LED osvětlení pracovní plochy. [18]

K šicímu stroji Bernina lze také dokoupit přídatný software Bernina Designer Plus, který slouží jako uživatelské rozhraní k nastavení široké škály základních, ale i velice podrobných a detailních, prvků v přípravné fázi návrhu plošné textilie. Výhodou softwaru je však i možnost připojení šicích strojů jiných značek. Krom toho dokáže kooperovat s grafickým programem CorelDRAW, čehož se využilo i při návrhu antény v rámci této práce. [19]

3.2 Síťotisk

Sítotisková technologie je zřejmě neznámější technika pro nanášení vrstev, ať vodivých či nevodivých, na substráty. Je velice variabilní, z hlediska materiálu, který lze použít jako substrát, se může použít téměř jakýkoli pevný materiál stejně jako papír, textilie, keramika, plasty a tak dále. Tato technika patří v porovnání s ostatními, jako například ink-jet, aerosol-jet, mezi nejrozšířenější a také nejlépe prozkoumanou technologií. Jedná se o průtiskovou metodu, kdy je nanášená vrstva ve formě pasty protlačována skrz síto pomocí těrky. [20, 21]



Obr. 3.3: Proces sítotisku. Převzato z [21]

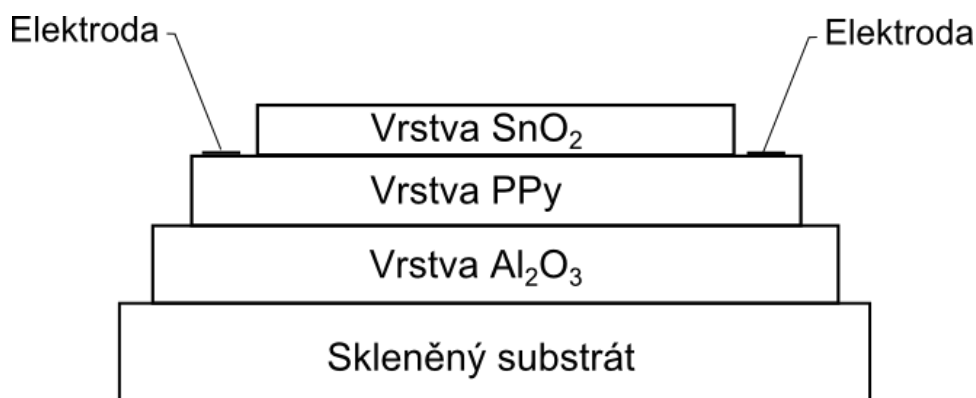
Základní proces sítotisku se skládá z několika kroků (viz Obr. 3.3). Na sítu je pomocí emulze a fotoproduktu vytvořen požadovaný motiv. Nejprve je potřeba provést tzv. zaplavení síta, tedy nanést těrku pastu rovnoměrně na celé síto do všech jeho otvorů. V dalším kroku se tažením těrky přes síto protlačí pasta na substrát přesně v potřebných místech. [20]

Sítotiskem se obecně vytvářejí vrstvy tlusté od 5 μm do 125 μm , jejich minimální šířka je však závislá hlavně na vlastnostech použitého síta a na parametrech použité pasty, především pak na viskozitě, smáčivosti apod. Při nanášení touto metodou je důležitá viskozita pasty.

Mezi výhody patří její snadnější zapojitelnost do výrobního procesu Roll-to-roll (R2R). Je to výrobní proces, při kterém se na pohybující se “nekonečný“ pás substrátu nanáší vrstvy

velkou rychlostí. Až po nanesení všech vrstev je substrát nastříhán na jednotlivé výrobky. Z hlediska financí a rychlosti je tento proces velice výhodný a považuje se za budoucnost v hromadné výrobě. [22]

Využití sítotisku k přípravě vrstev v elektrotechnice lze ukázat na příkladu z oboru detekování plynů, konkrétně pak na chemickém vodivostním senzoru oxidu uhličitého vyvinutého týmem z indického města Amravati. Chemické vodivostní senzory pracují na principu změny odporu jejich aktivní vrstvy v závislosti na koncentraci detekované látky na jejím okolí [23]. U tohoto senzoru je na sebe nanášeno více aktivních vrstev, aby se tím snížily negativní vlastnosti jednotlivých vrstev takovým způsobem, aby za každých podmínek byl senzor co nejvíce citlivý na detekovanou látku. [24]

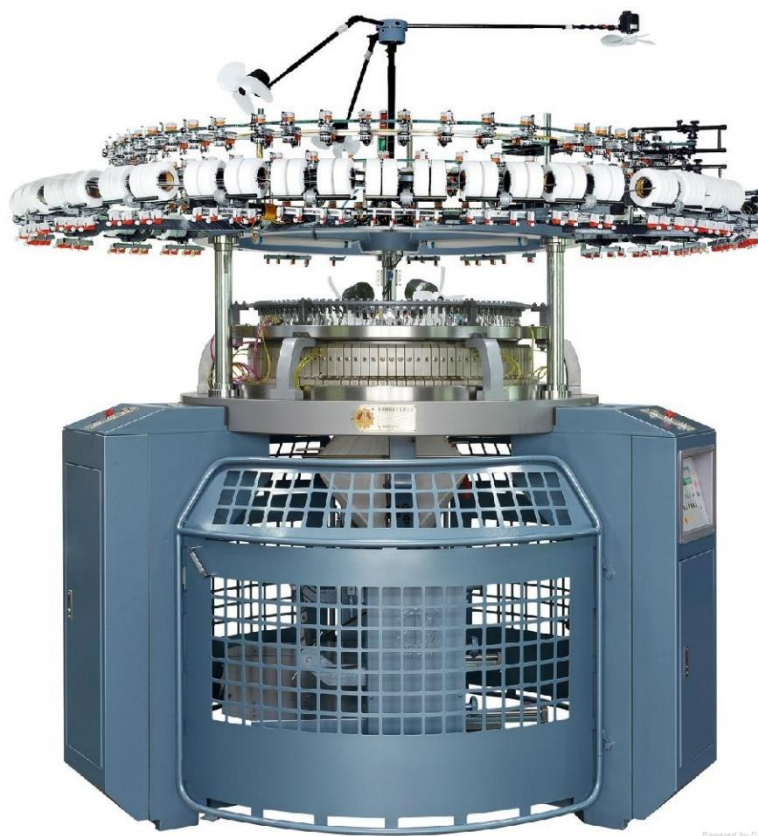


Obr. 3.4: Struktura SnO₂/PPy senzoru. Převzato z [24]

Jak už bylo zmíněno, jedná se o senzor s více aktivními vrstvami. Názorně je zobrazen na Obr. 3.4. Celý senzor se potom realizuje v několika krocích. Základem je skleněný substrát vyztužený o vrstvu Al₂O₃ (oxid hlinitý), která substrátu ke sklu dodává dobrou tepelnou vodivost. Pasta s oxidem hlinitým je na skleněnou plochu nanášena sítotiskem na skleněný substrát a na 24 hodin ponechána při pokojové teplotě, aby se vysušila. Vysoušení se provádí, aby se z nanášené vrstvy odstranila přebytečná rozpouštědla. Po uplynutí jednoho dne je vyhřívána po 2 hodiny za teploty 150 °C, aby se substrát s pastou vytvrdil. Na takto připravený substrát se pomocí sítotisku nanese první aktivní vrstva ve formě pasty s příměsí polypyrrolu. Obdobně jako u nanášení předchozí pasty následuje nejdříve jeden den vysoušení a pak vytvrzování při teplotě 150 °C. Na vytvrzenou vrstvu Ppy se nanese druhá a poslední aktivní vrstva SnO₂, kde se nanášená vrstva nechá opět vysušit, nyní se však bude vytvrzovat po 3 hodiny na 200 °C. Pro takto vyrobený senzor stačí jenom nanést kontakty, v tomto případě ze stříbra. [24, 25]

3.3 Technika pletení

Pletení je proces, při kterém se pomocí jedné nebo více dlouhých nití s definovanými vlastnostmi vytváří řada smyček, ze které vzniká plošná tkanina. Tato technika může být použita k vytvoření zajímavých strukturálních a vizuálních designů. Stejně jako u techniky vyšívání, i pletení lze rozdělit na ruční a strojní. Ruční pletení je tradiční, s použitím dvou jehlic se vlna provléká okem vlny, které je již upletené na jehlici. Tento postup se neustále opakuje, dokud se nevytvoří požadovaný výrobek. Pomocí průmyslových pletacích strojů a za podpory CAD systémů pak lze vytvářet i náročnější design s vysokou přesností v porovnání s ručním pletením. [26]



Obr. 3.5: Profesionální průmyslový okrouhlý pletací stroj [27]

Jako základní rozdělení můžeme pletací stroje rozdělit na zátažné a osnovní. Rozdíl mezi nimi tvoří způsob vytvoření řádku, zda byl vytvořen jednou nití (zátažné), nebo soustavou nití (osnovní). Pletací stroje můžeme dále rozdělit podle jejich tvaru na ploché a okrouhlé pletací stroje. U plochých jsou jednotlivé jehly umístěny v řadě za sebou, zatímco u okrouhlého stroje jsou jehly uspořádané po obvodu kružnice. Okrouhlé pletací stroje

můžeme dále rozdělit podle průměru na stroje malopřůměrové a na stroje s průměrem nad 165 mm. Příklad profesionálního okrouhlého pletacího stroje je vyobrazen na Obr. 3.5. [28]

Okrouhlé pletací stroje jsou v současnosti nejpoužívanějším druhem pletacího stroje v průmyslové výrobě. Mají jazýčkové jehly umístěné za sebou do kruhu, které se postupně po směru nebo proti směru hodinových ručiček nadzvedávají nahoru, přiváděná nit se jehlou nadzvedne a vznikne očko, kterým se provlékne již hotová část pleteniny. Jazýčková jehla následně klesne zas dolů a celý proces se opakuje u vedlejší jehly. [28, 29]

3.4 Zhodnocení jednotlivých technik

Z hlediska vyhodnocení těchto metod samozřejmě není možné jasně určit, která z těchto metod je nejlepší, jelikož každá technika má své kladné a záporné vlastnosti. Sítotisk se od pletení a vyšívání liší tím, že jako materiál pro vytváření motivů nepoužívá lineární textilie, ale vytváří se nanášením pasty na substrát. Z tohoto důvodu má vyšší přesnost vytváření motivů. Taktéž lze vytvářet největší plochy (i v porovnání s ink-jet/aerosol-jet), čímž se při použití výrobního procesu R2R výrazně zvyšuje rychlost samotného tisku. Taktéž je možné vytisknout prakticky jakýkoliv motiv s možností soutisku více motivů. Naopak mezi nevýhody řadíme nemožnost efektivně tisknout na jiné, než na planární substráty. Časově náročnější je pak příprava před samotným tiskem kvůli přípravě síta s daným motivem. Materiálové ztráty zde vznikají při samotném nanášením pasty na substrát, kdy je prakticky nemožné spotřebovat pouze pastu potřebnou na motiv, ale jistá část zůstane v sítu i na těrce. Tisková formulace pasty musí být připravena tak, aby byla zajištěna její dobrá adheze na substrát a byly co nejméně ovlivněny její funkční vlastnosti.

Na rozdíl od sítotisku, při vyšívání se motivy vytváří našíváním funkční lineární textilie do substrátu, obvykle textilního. Jedná se o široce zavedenou a prověřenou technologii i v průmyslové oblasti. Výhodou už oproti sítotisku nacházíme ve faktu, že lze velice operativně měnit, byť jen nepatrně, design motivu. Toto u sítotisku vzhledem k předem připraveným sítům s danými motivy není možné. U našívání lze v závislosti na požadavcích použít na jednom motivu vodivé nebo třeba odporové nitě. V případě nutnosti lze i již vytvořený motiv znovu přešíť za účelem dosažení jeho větší robustnosti. Vyšívání ale dosahuje v porovnání se sítotiskem nižších rychlostí vytváření motivů, u složitějších motivů může docházet k nakrabacení substrátu a také co se týče přesnosti, je na tom sítotisk lépe.

Obecně pak je problém s kontaktováním vodivých motivů na textilních substrátech a stejně je tomu i v případě vyšívání.

Tab. 3.1: Zhodnocení jednotlivých technik

Technika	+	-
Sítotisk	<ul style="list-style-type: none"> • Relativně velká rychlost tisku • Velkoplošnost • Možnost soutisku více motivů • Relativně vysoká přesnost tisku • Je možné vytisknout jakýkoliv motiv 	<ul style="list-style-type: none"> • Lze tisknout pouze na planární substráty • Nutná příprava sít s funkčním motivem • Větší spotřeba vstupního materiálu (pasty) • Při tisku na textilní substráty nutné použít adhezní vrstvu tzv. primer •
Vyšívání	<ul style="list-style-type: none"> • Klasická textilní technologie • Možnost kastomizace motivu u každého produktu • Možnost vyšívání odporové i vodivé šicí nitě • Možnost přešívání motivů (zvýšení vodivosti při použití vodivých šicích nití) • Je možné vyšít jakýkoliv motiv 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižší rychlost vytváření motivu • U složitějších motivů dochází k nakrabacení textilního substrátu • Požadovaný motiv lze realizovat s přesností +/- 1 mm • Větší problém s kontaktováním vodivých šicích nití
Pletení (okrouhlé pletací stroje)	<ul style="list-style-type: none"> • Relativně vysoká rychlost • Možnost integrovat do pleteniny odporové i vodivé šicí nitě 	<ul style="list-style-type: none"> • Je možné realizovat pouze motivy v jednom směru a v daném rastru • Větší problém s kontaktováním vodivých šicích nití • Roztahování pleteniny

Co se týče techniky pletení, v tomto zhodnocení se omezíme na kruhové pletací stroje. Pletením vytváříme funkční (vodivé) motivy přímo jejím zapletením do struktury textilie. Dosahují relativně vysoké rychlosti, ale přece jenom metoda R2R u sítotisku dosahuje ve výsledku vyšších rychlostí. Podobně jako u vyšívání, i zde se do textilie dají integrovat jak vodivé, tak odporové nitě. Nevýhodou této techniky je realizace motivů pouze v daném rastru a daném směru. Stejně jako u vyšívání, tak i zde vzniká problém s kontaktováním. Problém by mohlo způsobovat mechanické napínání pleteniny třeba v případě, kdy by

v pletenině byla vytvořena vodivou nití anténa. V případě jejího roztažení by se změnila parametry, což je nežádoucí.

Celkově je tak nemožné určit nejlepší a nejvhodnější technologie pro realizaci antény. Vše záleží na požadavcích na daný výrobek. Sítotisk je nejvhodnější pro velkosériovou výrobu s vysokou přesností. Méně efektivní je při změně motivu, kde vznikají nemalé materiální ztráty. V tomto pohledu jsou techniky vyšívání a pletení flexibilnější, využívají funkčních nití, které jsou dostatečně flexibilní, takže se lépe aplikují na textilní substráty. Mají však nižší přesnost a vlastní motiv se vytváří nižší rychlostí.

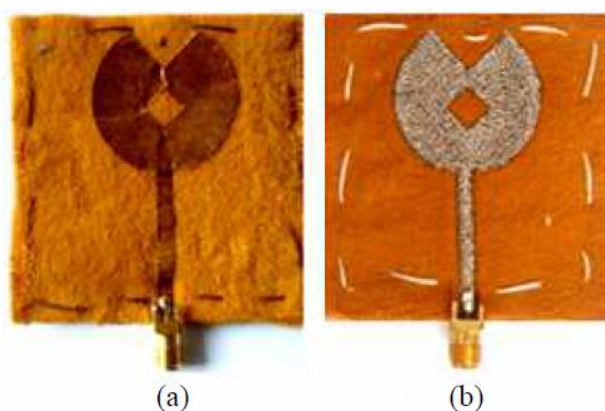
4 Přehled již realizovaných antén do plošných textilií

V akademické sféře a v digitálních databázích odborné literatury (např. IEEE) se objevují práce zabývající se tematikou všívaných antén, značná část těchto prací se upíná k jejich využití v medicíně. Již bylo zmíněno, že jedním z “hnacích motorů“ pro rozvoj jsou právě odvětví, která souvisejí se záchranou lidského života. Následující odstavce představují některé příklady již realizovaných návrhů nebo výzkumů z oblasti realizace antén do plošných textilií.

4.1 Všívaná širokopásmová anténa pro aplikaci v lékařském prostředí

Tým složený ze spolupracovníků z Malajsie, Súdánu a Velké Británie ve své studii představuje všívanou širokopásmovou anténu připravenou na textilní substrát, která je určena k využití na oblečení v oblasti medicíny.

V této práci se jako substrát využívá flanelová tkanina, která je vyrobena ze 100% bavlny a zároveň je vhodná pro nošení. Naopak jako vodivé materiály využili dva typy materiálů. Pro první vzorek vodivé cesty je použita samolepící vodivá fólie o tloušťce 0,03 mm. Nicméně je tento materiál krajně nevhodný vzhledem k tomu, že má být anténa všítá do oblečení a kde je předpoklad, že se bude oblečení prát. Tato fólie by velice pravděpodobně nevydržela hlavně odstředivé síly při vysoušecím cyklu. Jako druhý typ už proto bylo zvoleno kvalitní vodivé vlákno. S odkazem na výrobce vlákna se jedná o postříbřené nylonové vlákno, které by mělo splňovat požadavky na pevnost a vodivost. Zároveň by mělo odolávat deformacím a také již zmíněným odstředivým silám, nit by taktéž měla odolávat teplotě až 150 °C. [30]

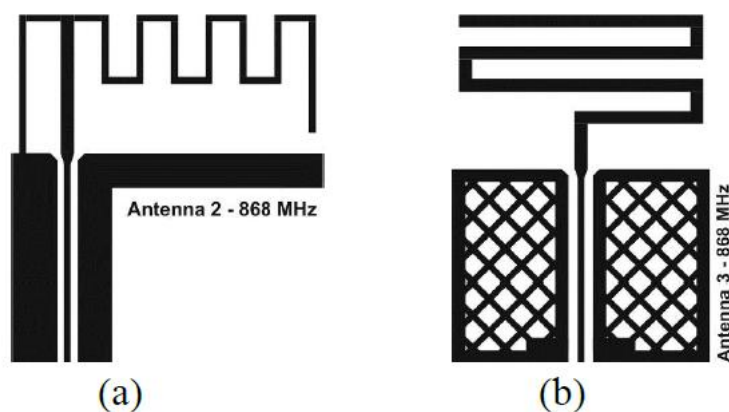


Obr. 4.1: Obrázek vyrobených prototypů všívaných širokopásmových antén. a) prototyp s měděnou vodivou fólií. b) prototyp s vodivou nití. Převzato z [30]

Celkově tedy byly vyrobeny dva prototypy antén, jedna s vodivou folií a jedna s vodivou nití. Pro oba prototypy byly jako substrát použity 3 vrstvy flanelové tkaniny naskládané na sebe. V případě vodivé folie se však její uchycení na substrát ukázalo jako kritické. Vytvoření přesného tvaru antény z vodivé folie bylo náročnější a bylo vytvořeno pomocí skalpelu. Pro vyšívání druhého typu této antény na třívrstvý flanelový substrát se použil počítačem řízený vyšívací stroj. Avšak flanel je tkanina, která je hladká a pevná a zároveň obsahuje velké množství pórů naplněných vzduchem. Tyto vlastnosti jsou příznivé ve chvíli, kdy je na sobě více vrstev flanelu. V tomto případě je tak vodivá vrstva našita na obě strany substrátu. Na první (přední) vrstvě je vyhotovena vyzářovací část antény. Druhá, prostřední vrstva flanelu slouží jako izolant a třetí (zadní) strana má na sobě vyšitou uzemňovací plochu. K takto připraveným anténám se pájením připojují SMA koaxiální konektory. Na závěr práce jsou uváděny výsledky testování těchto prototypů. Tým je shrnuje jako uspokojivé, nicméně se nedokázal odstranit problém s pratelností oblečení tak, aby anténa nebyla poškozena. Právě vylepšení antény k odstranění tohoto problému si dává za další cíle ve výzkumu. [30]

4.2 Anténa pro smart hasičský oblek

Pod záštitou Katedry technologií a měření Západočeské univerzity vznikla tištěná anténa pro chytrý hasičský oblek taktéž vyvíjený na stejné katedře. Většina elektronických systémů potřebuje komunikační rozhraní ke komunikaci, stejně tak chytrý hasičský oblek potřebuje komunikační anténu k přijímání a především k odesílání informací do centrální řídicí jednotky obsluhované velitelem zásahu. Cílem celého výzkumu tak bylo navrhnout a vyrobit tištěnou flíčkovou anténu pro komunikaci na frekvenci 868 MHz realizovanou na textilním substrátu. Pro výrobu antény pracovníci zvolili sítotiskovou metodu nanášení vodivé vrstvy. [31]



Obr. 4.2: Tvar planární antény a) tvar č.2 b) tvar č.3. Převzato z [31]

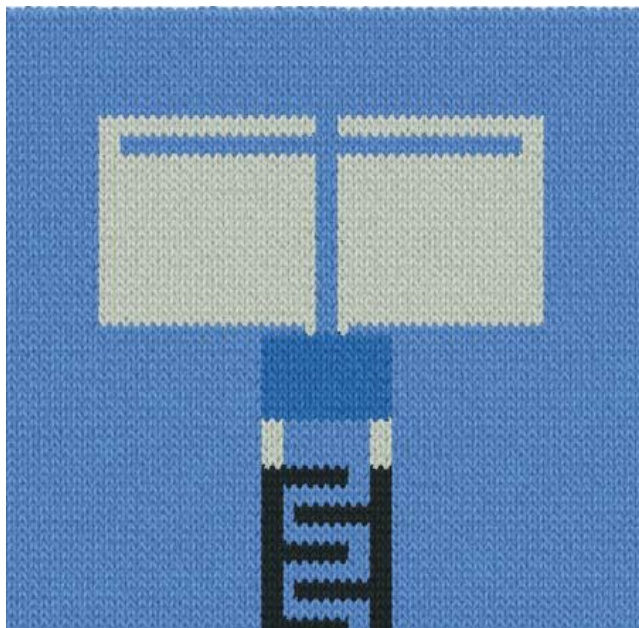
Byly vytvořeny dva druhy planárních antén pomocí sítotisku na textilní substrát. Antény mají malé rozměry a pouze jednu vodivou vrstvu. Vykazují rezonanční frekvenci na 868 MHz a jejich využití je pro WAN komunikaci. To znamená přenos dat mezi řídicí jednotkou integrovanou v hasičském obleku a centrální jednotkou, která obsluhuje velitel zásahu. Ještě předtím, než se anténa začala vyrábět, ověřovaly se parametry antény pomocí metody momentů. Pro samotnou výrobu se pak použil textilní substrát Kermel opatřený primární vrstvou Mecedur H5580. Vodivá pasta určená pro sítotisk byla dodána od společnosti FabInk. Vyrobená anténa potom byla ještě osazena SMA konektory umožňující měření reálných parametrů. Výsledná vyrobená a osazená anténa je vidět na Obr. 4.3. [31]



Obr. 4.3: Smart anténa pro hasičský oblek [31]

4.3 Pletená bezdrátová anténa pro sběr energie

Pro příklad použití techniky pletení lze uvést pletenou anténu vyvíjenou na univerzitě Drexel, která je celá upletená na tamních plošných pletacích strojích a slouží k získávání energie z frekvence okolo 2,4 GHz. To je frekvence, na které pracují wifi sítě. Jde o tzv. energy harvesting, který v případě tohoto zařízení získává energii z bezdrátových vln o frekvenci 2,4 GHz, které ho obklopují. Tato energie může být použita pro napájení jiných zařízení připojených ke stejnému dílu textilu nebo externě připojena konektorem, popřípadě může být energie uchována v superkondenzátoru. [32]

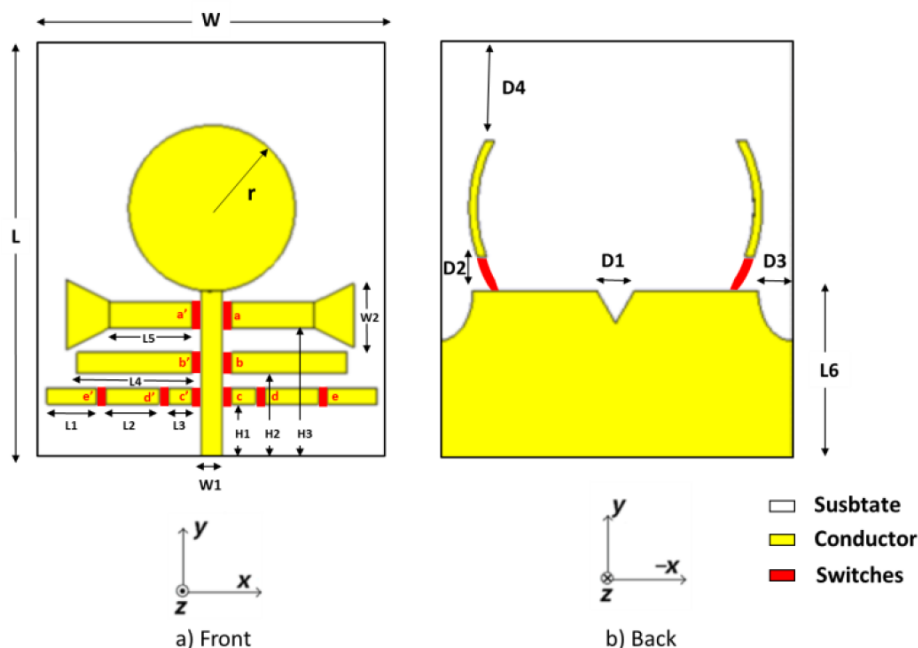


Obr. 4.4: Pletená bezdrátová anténa. Převzato z [32]

Výhodou této antény (viz. Obr. 4.4) je, že se jedná o pasivní systém a nevzniká nutnost, aby se uživatel pro shromažďování energie pohyboval a ve chvíli, kdy není přítomen žádný wifi signál, ze kterého by se mohla sbírat energii, začne systém spotřebovávat naakumulovanou energii ze superkondenzátoru. Pro výrobu této antény byl použit pletací stroj SSG122SV od firmy Shima Seiki pocházející z Japonska. Je to počítačem řízený pletací stroj pro vytváření plošných výrobků a jeden z bestsellerů této firmy. Design se připraví v elektronické podobě a poté se nahraje přímo do pletacího stroje, který dle zvolených parametrů zpracuje příkazy a provede operaci. Výhodou je, že se z jednoho obslužného počítače dá najednou ovládat více pletacích strojů, což v případě potřeby zaručuje urychlení sériové výroby. Šířka pleteného plošného materiálu může být až 122 cm. [32, 33]

4.4 Konfigurovatelná širokopásmová textilní anténa

Výzkumný tým z univerzity v Londýně ve své práci představuje širokopásmovou textilní anténu pracující v ISM pásmech. Tato anténa může najít uplatnění na vojenské uniformě nebo v jiném oděvu. Během návrhu bylo vyrobeno pět různých prototypů, na kterých byly testovány klíčové parametry pro dosažení optimálního návrhu. Také byly použity dvě metody výroby této antény, u první metody byla použita vodivá nit všitá do textilního substrátu a u druhé metody byla laserovými nůžkami ustřižená tenká měděná ploška a nalepená na textil lepidlem. Jako substrát se využívá tkanina nebo kůže společně s využitím tovární měděné a popřípadě jiné vodivé nitě pro konstrukci kovové části antény. [34]



Obr. 4.5: Geometrie rekonfigurovatelné antény a) přední strana b) zadní strana.
Převzato z [34]

U navrhované antény je možné provádět dva druhy rekonfiguračních mechanismů. První je frekvenční přenastavení, kdy se změní rozměry jednotlivých vodivých výčnělků (viz Obr. 4.5), což má přímý dopad na frekvenci. Tato změna rozměrů bude mít v konečném důsledku taky dopad na délku záření antény. Jako druhý způsob přenastavení parametrů je změna vzoru působením dvou semi-elyptickými výčnělky umístěnými na zadní části antény. Připojení uzemnění k některému z výčnělků způsobí změnu ve vyzařovacím diagramu antény. [34]

4.5 Výhody a nevýhody uvedených realizací antén

Nyní můžeme krátce shrnout představené realizované antény na základě použitých metod při výrobě. Základní postřehy jsou shrnuty v Tab. 4.1. V případě širokopásmové všíváné antény, která své využití shledává v oblasti lékařství, se používalo mimo jiné techniky vyšívání. Z toho plynou výhody v podobě našítí na prakticky jakýkoliv flexibilní substrát a příprava samotného motivu a také eventuálního přepracování motivu je mnohem jednodušší například v porovnání se sítotiskem. Zároveň ale může být našitý motiv náchylný k odírání, stejně tak sériovější výroba bude pomalejší, než by tomu bylo u zmíněného sítotisku.

Tab. 4.1: Výhody a nevýhody uvedených realizací antén

Realizovaná anténa	+	-
Všíváná širokopásmová anténa pro aplikaci v lékařském prostředí	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilní substrát • Jednoduchost přípravy motivu 	<ul style="list-style-type: none"> • Nižší odolnost proti oděru • Pomalejší výroba
Tištěná anténa pro smart hasičský oblek	<ul style="list-style-type: none"> • Jemný motiv • Relativně rychlá výroba 	<ul style="list-style-type: none"> • Použití primeru a vrchní ochranné vrstvy • Vytvrzování vrstev • Vydrží nižší počet pracích cyklů
Pletená bezdrátová anténa pro sběr energie	<ul style="list-style-type: none"> • Energy harvesting 	<ul style="list-style-type: none"> • Roztahováním úpletu se mění parametry antény • Obtížnější kontaktování
Konfigurovatelná širokopásmová textilní anténa	<ul style="list-style-type: none"> • Nastavitelné parametry 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutnost odborné obsluhy • Složitější na výrobu

Druhá představená anténa je tištěná a byla použita pro smart hasičský oblek vyvinutý na Západočeské univerzitě. Byla připravena sítotiskem, z čehož vyplývá, že natištěný motiv bude velmi jemný a případná sériová výroba bude rychlá. Je zde ale nutnost použití primeru jako první vrstvy na textilní substrát, která vyrovná nerovnosti na textilií a připraví tak základovou plochu pro natištění funkční vrstvy. Funkční vrstva je poté přetištěna krycí vrstvou, takže celá anténa je plně enkapsulována. Jedná se o tzv. embedded printing. Mezi slabé stránky této antény patří zdlouhavější proces vytvrzování jednotlivých nanosených

vrstev a také její nižší výdrž vůči pracím cyklům, kdy se motiv může postupně vytrácet a anténa tak přicházet o své parametry.

U další antény vyrobené technikou pletení je největší kladnou stránkou její samotná funkce. Anténa sloužící ke sbírání a případně uchovávání energie pro další využití má však i své záporné stránky. Především díky využití pletení může dojít k roztažení úpletu, z teorie antén potom dochází ke změně parametrů a anténa potom může efektivně přijímat jiné frekvence, než ke kterým byla navržena, rovněž vyvstává problém s kontaktováním.

Jako poslední byla popsána konfigurovatelná textilní anténa, která se vyšila na textilní substrát. Nespornou výhodou je právě možnost přenastavení jednotlivých plošek antény tak, že se mění přijímané a vysílané pásmo frekvencí. Tento druh antén však není příliš standartní, vyžaduje to tak odborné znalosti obsluhy s její manipulací a rekonfigurací, taktéž výroba je potom znatelně složitější kvůli nekonvenčnosti zvoleného řešení.

Celkově tak výhody a nevýhody jednotlivých realizací citelně závisí na zvolené metodě přípravy antény, vytváření jejích motivů a v neposlední řadě také na požadavcích a specializacích, které má výsledný produkt splňovat.

5 Praktická část

Tato práce se ve své praktické části zaměřuje na návrh a proces výroby antény připravené kombinací sítotiskové technologie s následným přešitím vodivou nití. Toto řešení bylo zvoleno proto, aby v případě eventuálního polámání sítotiskové vrstvy vzniklé ohýbáním substrátu, vyšitá vrstva celou vodivou část antény zpevňovala, držela ji kompaktní a zejména, aby zajišťovala její konstantní vodivost. Připravovaly se jak dipólové, tak patchové antény. Nicméně dále v rámci této diplomové práce byly měřeny a testovány pouze dipólové antény. Cílem bylo, aby tato anténa splňovala požadavky na širokopásmovou všesměrovou anténu, tudíž aby byla použitelná na široké pásmo frekvencí s vysíláním resp. přijímáním signálu ze všech směrů. V této praktické části bude dále nastíněna elementární teorie antén, základní návrh dipólové antény spolu s postupem výroby antény a následným měření a vyhodnocením získaných výsledků. [35, 36]

5.1 Základní teorie a parametry antén

Anténa je zařízení pro vyzařování nebo příjem elektromagnetického vysokofrekvenčního vlnění. Antény jsou hraniční prvek mezi přenosovým prostředím a vedením (např. koaxiální nebo dvou vodičové). Slouží k transformaci vysokofrekvenční energie vedenou vodičem do volného prostoru a opačně. Podle toho můžeme antény rozdělit na vysílací a přijímací. Vysílací anténa přeměňuje elektrickou energii na elektromagnetické vlnění šířené do volného prostoru. Přijímací anténa má funkci přesně opačnou. Dále můžeme antény rozdělovat podle zpracovávaného pásma na širokopásmové a úzkopásmové, nebo podle velikosti vyzařovaného či přijímaného signálu na všesměrové a směrové. [35, 36]

Základní parametry antén

Pro další průběh této práce je potřeba objasnit základní parametry antén, ze kterých je pro nás nejdůležitější otázka impedance, popřípadě impedančního přizpůsobení.

Zisk antény

Udává velikost napětí přijímaného signálu v porovnání s referenční anténou. Tou bývá nejčastěji půlvlnný dipól. Zisk antény v decibelech můžeme získat dle následujícího vztahu, kde U_a je napětí přijaté měřenou anténou a U_d je stejné napětí naměřené půlvlnným dipólem.

$$g = 20 \cdot \log \frac{U_a}{U_d} \text{ (dB)} \quad (1)$$

Impedance

Znalost velikosti impedance je jedním z klíčových parametrů antény. Cílem je vyrovnat impedanci antény s impedancí připojovaného konektoru, tím se dosáhne impedančního přizpůsobení. Tedy situaci, kdy činitelé odrazu zátěže a zdroje jsou komplexně sdruženy. V tu chvíli je obvod v rezonanci a nedochází k nežádoucímu stojatému vlnění. Avšak v případě, že je obvod impedančně nepřizpůsobený, dochází pak k vyššímu zatěžování obvodu a část signálu se může po odrazu vrátit na vstup s určitým zpožděním a způsobovat tak rušení a znehodnocování přijímaného vlnění. Obvykle se při navrhování dnešních anténních systémů snažíme docílit impedance antény 50Ω , popřípadě 75Ω . [36, 37]

Úhel záření (směrnost)

Tento parametr úzce souvisí s rozdělením antén na směrové a všesměrové. Říká nám, v jakém vyzařovacím úhlu lze efektivně vyzařovat nebo přijímat signál. Může být posuzována podle vyzařovacího diagramu, který vyjadřuje závislost účinnosti antény na úhlu natočení od zdroje signálu.

Šířka pásma B3

Popisuje nám frekvenční oblast, ve které anténa dokáže přijmout signál s určitou efektivitou.

Druhy antén

Dále budou popsány základní druhy antén, které se dotýkají problematiky všíváných antén a smart technologií s výjimkami v podobě elementárních antén (např. půlvlnný dipól). Mezi tyto specifitěji vybrané antény patří například flíčková nebo dipólová anténa, které již byly ostatně zmíněny v Kapitole 4.

Půlvlnný dipól

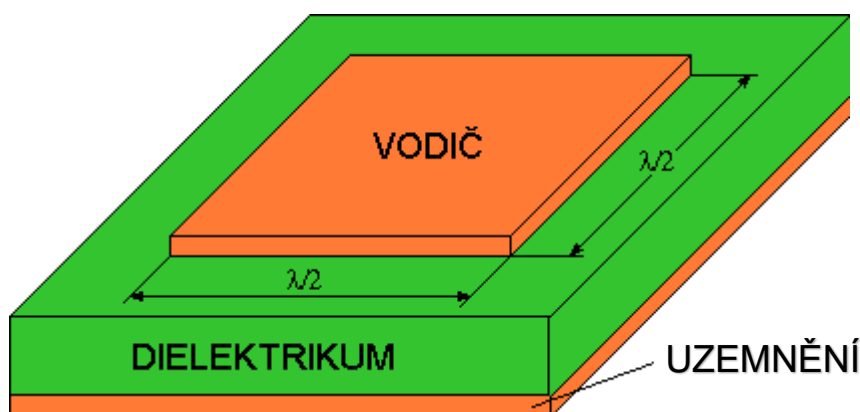
Elementární typ antény, který představuje základ pro většinu ostatních antén. Délka ramen se určí dle vlnové délky, pro kterou je anténa navrhovaná, délka obou ramen by měla odpovídat polovině vlnové délky a délka jednoho ramena by pak měla být logicky čtvrtina požadované vlnové délky. Krom jiného slouží k zjišťování výše popsaného zisku g .

Monopól (prutová anténa)

Na rozdíl od dipólu má monopól pouze jedno rameno (prut), které má délku čtvrtiny vlnové délky, kde jeho druhé rameno nahrazuje díky principu zrcadlení v zemi pod anténou a chová se jako reflektor.

Flíčková (patchová) anténa

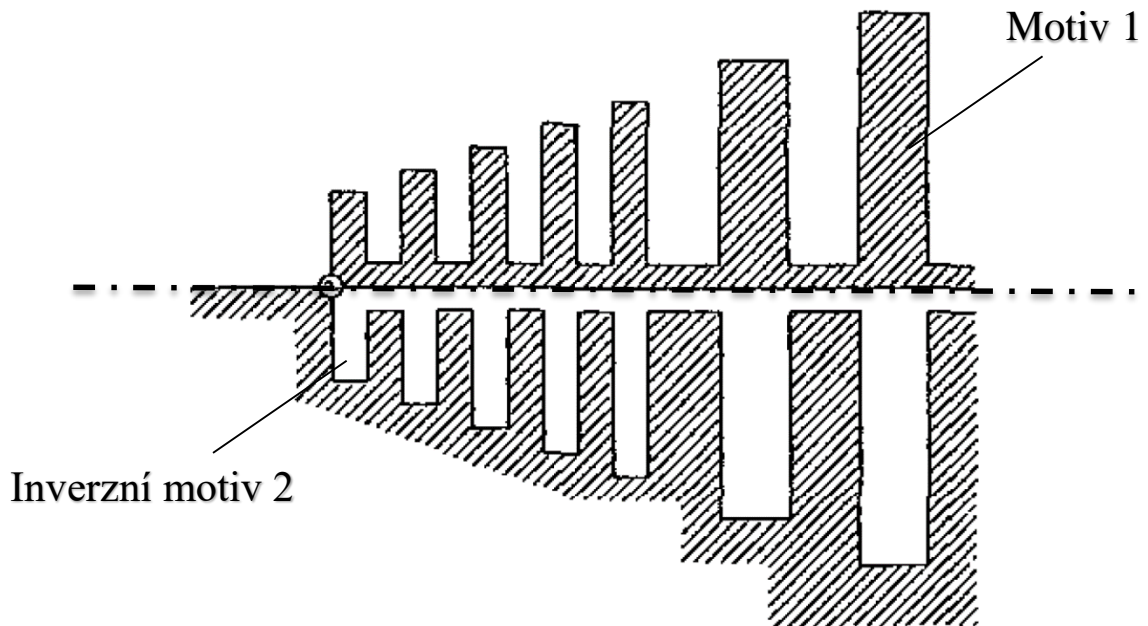
Jedná se o druh planární antény, která má vodivý motiv vytvořený na nevodivé ploše, například na desce plošného spoje, která zároveň odděluje vyzářovací plošku od spodní zemnicí plochy (viz. Obr. 5.1). Tato anténa již byla zmíněna v kapitole 4.2. Flíčkové antény se mohou lišit tvarem předního motivu, který může mít obdélníkový, trojúhelníkový nebo jiný tvar. Je hojně používána pro bezdrátovou komunikaci a to hlavně díky svým kompaktním rozměrům. [38]



Obr. 5.1: Principiální znázornění patchové antény. Převzato z [39]

Komplementární anténa

Jedná se o anténu, která dokáže efektivně pracovat na velice širokém pásmu frekvencí. I proto by její používání mohlo být vhodné v kombinaci s IoT, protože by mohla přijímat a vysílat signály z jednotlivých zařízení na velké škále kmitočtů. Anténa se skládá ze dvou členů, kde jednu část tvoří normální motiv antény a druhou část tvoří stejný motiv, který je zrcadlově otočený a vyhotoven inverzně (vodivá vrstva je v místech, kde v první části nebyla a naopak), tento princip komplementární antény je znázorněn na Obr. 5.2 níže. Samotná anténa byla poprvé vytvořena jako vedlejší produkt při vývoji známé Yagi antény. [40]



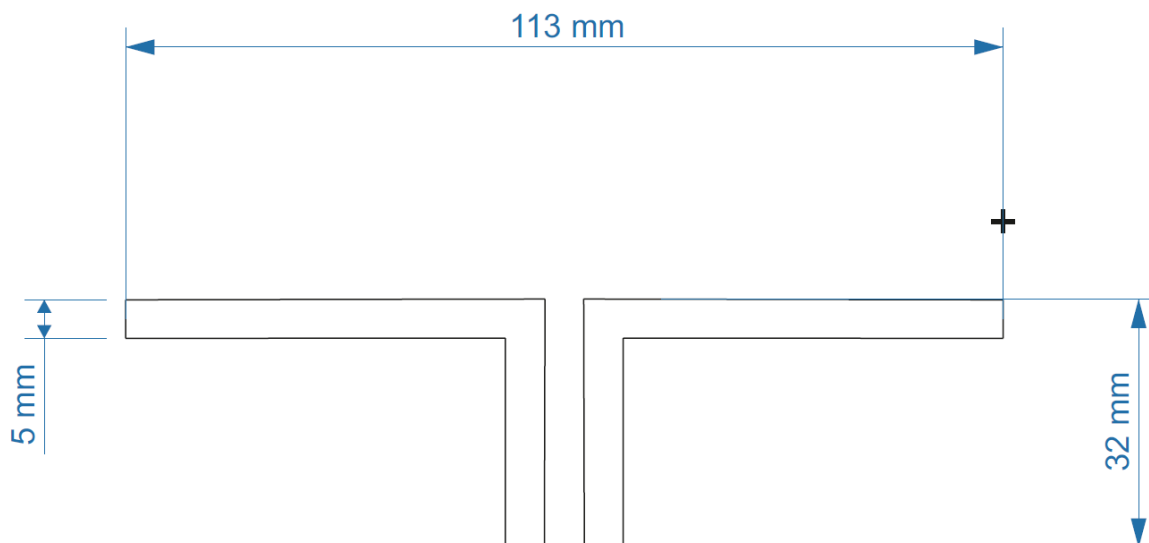
Obr. 5.2: Principiální zobrazení komplementární antény. Převzato z [40]

5.2 Návrh půlvlnného dipólu

Při samotném návrhů je důležité si na začátku uvědomit alespoň základní parametry a požadavky na samotnou anténu. V našem případě vycházíme z frekvence 868 MHz a impedance 50Ω . Již bylo zmíněno, že ramena půlvlnného dipólu mají svá ramena dlouhá polovinu vlnové délky, respektive jedno rameno je dlouhé čtvrtinu vlnové délky. Proto prvním krokem je převedení frekvence na vlnovou délku, přičemž vlnová délka λ je rovna poměru rychlosti světla c (v našem případě zjednodušeno a zaokrouhlo na $3 \cdot 10^8$ m/s) k dané frekvenci f . Z hlediska návrhu je však důležitější hodnota $\lambda/2$ resp. $\lambda/4$.

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2 \cdot f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 868 \cdot 10^6} = 0,173 \text{ m} \Rightarrow 17,3 \text{ cm} \quad (2)$$

V tuto chvíli jsme tedy vypočítali délku dvou ramen, jedno rameno má tedy délku 8,65 cm.



Obr. 5.3: Návrh dipólové antény v programu CorelDRAW

Nicméně navzdory navrhnutým velikostem ramen byly na základě zkušeností Katedry technologií a měření zvoleny již vyzkoušené parametry dipólu, které lze vidět na Obr. 5.3. Celý návrh byl vytvořen v programu CorelDRAW. Od této digitální realizace se následně odvíjela celá výroba. Tento návrh však nemusí být konečný, v případě kdyby výsledky neodpovídaly požadavkům, lze část vyrobeného dipólu “ustříhnout”, tedy zmenšit velikost ramen a tím změnit parametry antény.

Dále je možné na základě informací z katalogového listu použité vodivé pasty určit odpor dipólu. K jeho určení je potřeba znát hodnotu rezistivity na čtverec, která má hodnotu $0,2 \Omega/\text{čtverec}$, nicméně se jedná o tabulkovou hodnotu platnou pro jednu natištěnou vrstvu pomocí sítotisku. U přešívání je velice složité teoreticky určit hodnotu rezistivity. Vzhledem ke zjištěným parametrům dipólu (viz výše) můžeme určit, že jedna polovina antény obsahuje $16,2$ čtverce o velikosti 5×5 mm. Tedy jedno rameno antény má odpor $3,24 \Omega$.

$$R = 16,2 \cdot 0,2 = 3,24 \Omega \quad (3)$$

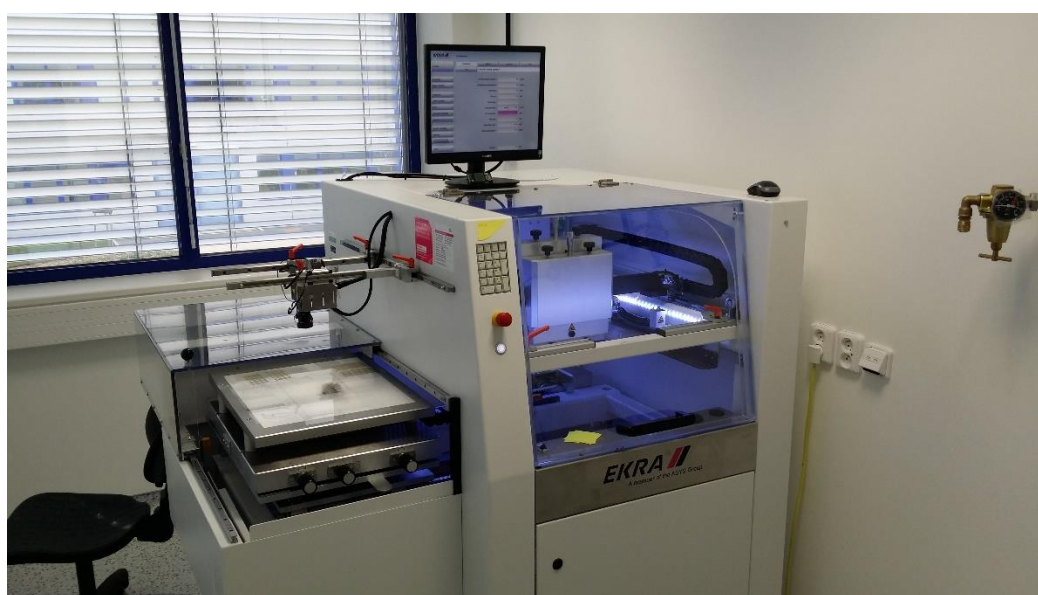
Avšak i v případě tohoto návrhu se jedná pouze o teoretické vyjádření odporu vodivé cesty. Pravou hodnotu lze určit prakticky pouze následným experimentálním měřením. Jelikož, jak bude popsáno později, byla anténa vyrobena několikanásobným přetištěním, aby byla vrstva souvislá a spojitá, není již uvedená hodnota odporu na čtverec úplně relevantní. Uvedená hodnota odporu na čtverec je plně platná pouze v případě, že jsou splněny všechny parametry, které jsou uvedeny v katalogovém listu pasty. Pro nanášení sítotiskem je

předepsáno použití polyesterového síta s jemností 230 mesh a polyurethanová těrka. Při dodržení těchto podmínek a jednou tisku je platná hodnota $0,2 \Omega/\text{čtverec}$. Vícenásobně přetištěná vrstva může vykazovat vyšší vodivost, než jednou vytištěná vrstva. Při následném přešití je odhad hodnoty odporu velice složitý a přesná hodnota se musí změřit experimentálně.

5.3 Realizace antény

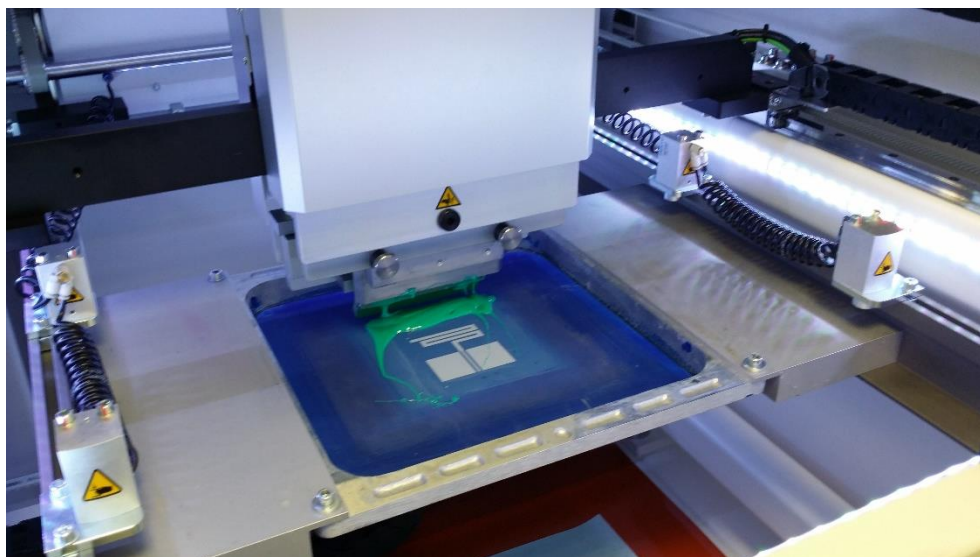
Po návrhu antény následovala její samotná příprava. Byl zvolen netradiční způsob realizace flexibilní antény na textilní substrát, který se skládá ze dvou kroků. V prvním kroku byl motiv natištěn technologií sítotisku na látku. Jako druhý krok následovalo přešití takto vyrobené antény vodivou hybridní šicí nití.

Průběh procesu sítotisku, kterým se na látku připravil motiv dipólové a patchové antény, probíhal v následujících krocích. Nejprve bylo nutné přetransformovat návrh antény do elektronické podoby s přidanými sesazovacími body. Na základě elektronického vzoru bylo vyrobeno síto s motivem, přes které se následně natiskla samotná anténa. V rámci přípravy výroby bylo potřebné zajistit odpovídající flexibilní vodivou pastu vhodnou pro tisk na textilní substráty. Na základě provedené rešerše byla vybrána stříbrná flexibilní pasta od firmy CreativeMaterials s označením 124-33. Od téže firmy byl dodán i primer, který je nutný jako podkladová vrstva zajišťující lepší přilnutí vodivé pasty k substrátu. Jako substrát byla použita černá tkanina



Obr. 5.4: Sítotiskové zařízení Ekra E2

Celý proces sítotisku probíhal v laboratoři Regionálního inovačního centra pro elektrotechniku v Plzni (RICE), konkrétně bylo použito sítotiskové zařízení Ekra E2, které je vidět na Obr. 5.4. Tento přístroj je určený pro sítotiskový a šablonový tisk na pevné i flexibilní substráty. Maximální velikost natištěného motivu je 370 x 450 mm. Přístroj disponuje dvěma kamerami, které pomáhají při sesazování tisku tak, aby bylo zajištěno jejich přesné sesazení na určenou plochu. Nastavení přístroje je prováděno pomocí počítačového rozhraní. Specifické nastavení (např. parametry pro tisk na textilní substrát) lze uložit do paměti a v případě potřeby později jednoduše načíst a ihned pokračovat v procesu bez zdlouhavého nastavování. Celý proces sítotisku může být buď zcela automatický, kdy jednotlivé úkony na sebe ihned navazují, nebo lze ručně postupovat od úkonu k úkonu. [41]

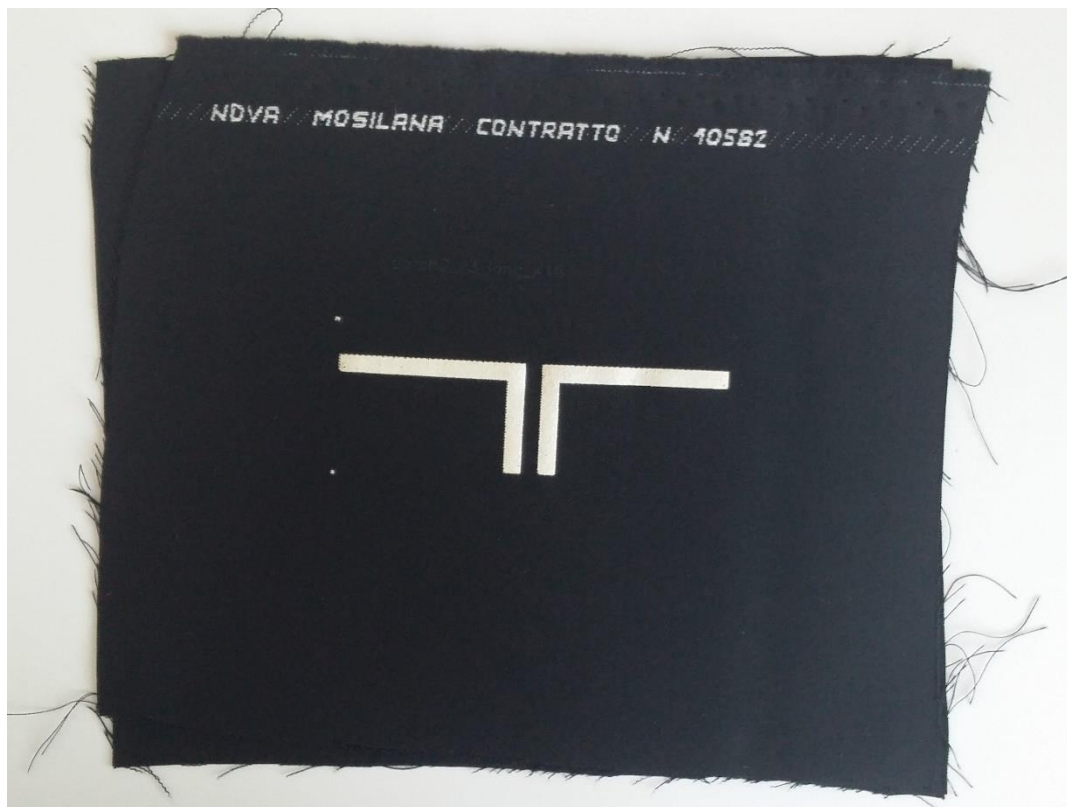


Obr. 5.5: Proces nanášení primeru (zelená pasta) během výroby patchové antény

Poté, co byli připraveny všechny potřebné součásti pro tisk antény, se přikročilo k samotnému procesu vytváření motivu antény na textilní substrát. Nejprve se na textílii nanasla vrstva primeru, která slouží jako adhezivum a zároveň má za úkol vyrovnat jinak nerovný povrch textílie tak, aby se vodivá vrstva nanášela na pokud možno hladký rovný povrch. Po důkladném promíchání byl primer nanesen na síto vložené do sítotiskového zařízení a vytiskl se zkušební vzorek na rovný hladký povrch, aby se ověřilo, že vytištěný motiv splňuje všechny požadavky. Po zkušebním tisku se přistoupilo k nanášení primeru tentokrát už na textílii, která byla přilepena na keramickou destičku kvůli zamezení zvlnění textílie a jejího přilepení na síto během tisku. Avšak primer se po prvním přetištění neuchytil

na celé potřebné ploše motivu, především kvůli nerovnostem látky. Bylo tak potřeba přetištění několikrát opakovat do té doby, dokud nebyla vrstva celistvá. Potom se textilie dala na 7 minut do UV zářiče, aby se primer vytvrdil a mohlo se pokračovat v tisku vodivé vrstvy. Na Obr. 5.5 můžeme vidět průběh nanášení primeru na textilii přes připravené síto.

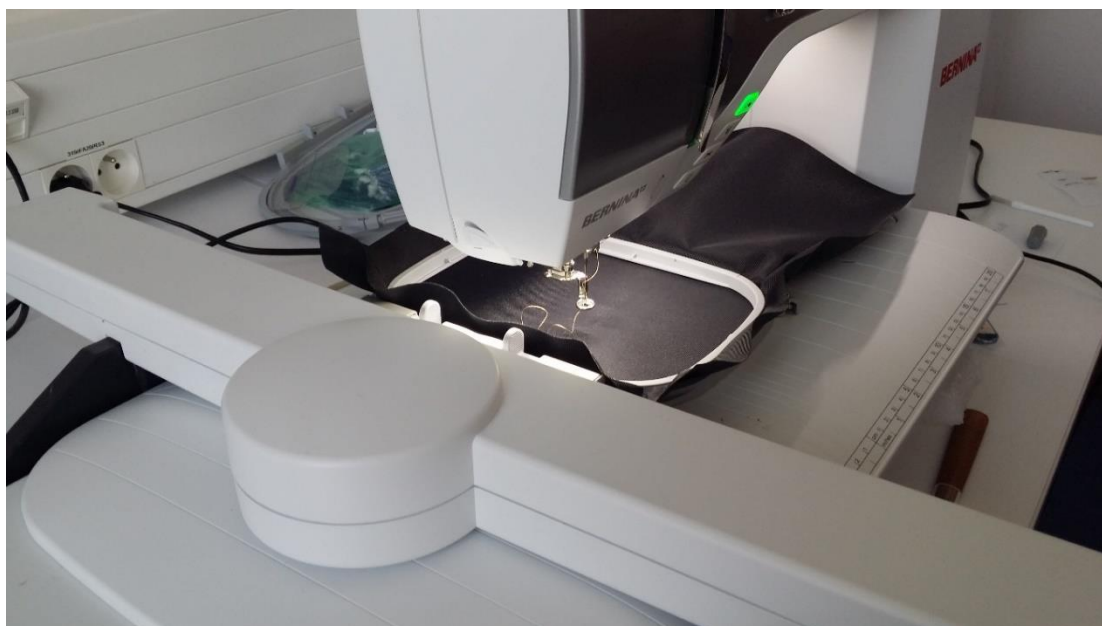
Substrát s naneseným primerem se poté opatřil vodivou vrstvou. Muselo být dbáno na to, že stříbrná vodivá vrstva je mnohem dražší, než byl primer. Proto bylo potřeba co nejvíce eliminovat případné materiální ztráty. Opět byl proveden testovací tisk a poté se už přistoupilo k tisku na připravený substrát. Ani zde ale natištění nebylo ideální a taktéž bylo nutné motiv tisknout několikrát. Jenom to potvrzuje současný stav, že tištění na textilní substráty je stále ve fázi vývoje a je potřeba ještě dalších inovací k dosažení bezproblémového tisku. Po přetištění připravené textilie stříbrnou pastou se vzorky vložily do pece na 5 minut na 150 °C, aby se vodivá vrstva vytvrdila.



Obr. 5.6: Vzorek se sítotiskem natištěnou vodivou vrstvou

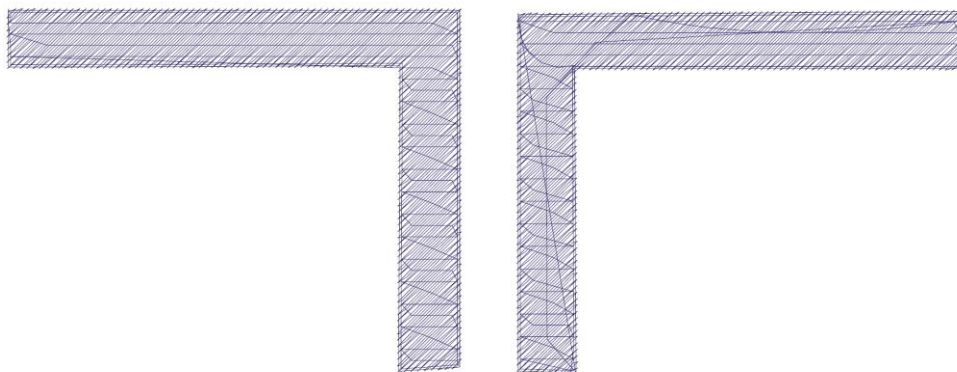
Výsledný vzorek s natištěnou stříbrnou pastou, který byl připraven pro další fázi přípravy v podobě vyšívání daného motivu vodivou nití, lze vidět na Obr. 5.6. Po takto připraveném motivu na textilním substrátu se pokračovalo v přípravě v dalším pracovišti na RICE, tentokrát v laboratoři vybavené šicím strojem Bernina 750QE, který byl již zmíněn v kapitole 3.1. V první řadě bylo potřeba upravit digitální návrh antény, který byl již použit

u procesu sítotisku, v programu Bernina Designer Plus. V tomto podpůrném softwaru k šicímu stroji se motiv překreslí podle zvolených parametrů (např. délka stehu, mezera mezi stehy) do formy, ve které se již může motiv vyšívat. Kromě jiného lze také vhodně nastavit vlastnosti podkladových stehů, které představují oporu ze spodní strany látky. Poté, co byla provedena všechna nastavení, byla provedena simulace v tomto softwaru, kde se zrychleně zobrazil průběh toho, jak bude celý proces vyšívání proveden. Primárně je programem zvolena trasa, při které se dosáhne co nejmenší spotřeby nitě. Tuto trasu lze v programu manuálně změnit, pokud existují nějaké speciální požadavky.



Obr. 5.7: Detail upínacího prvku textilie (bílý zaoblený rám)

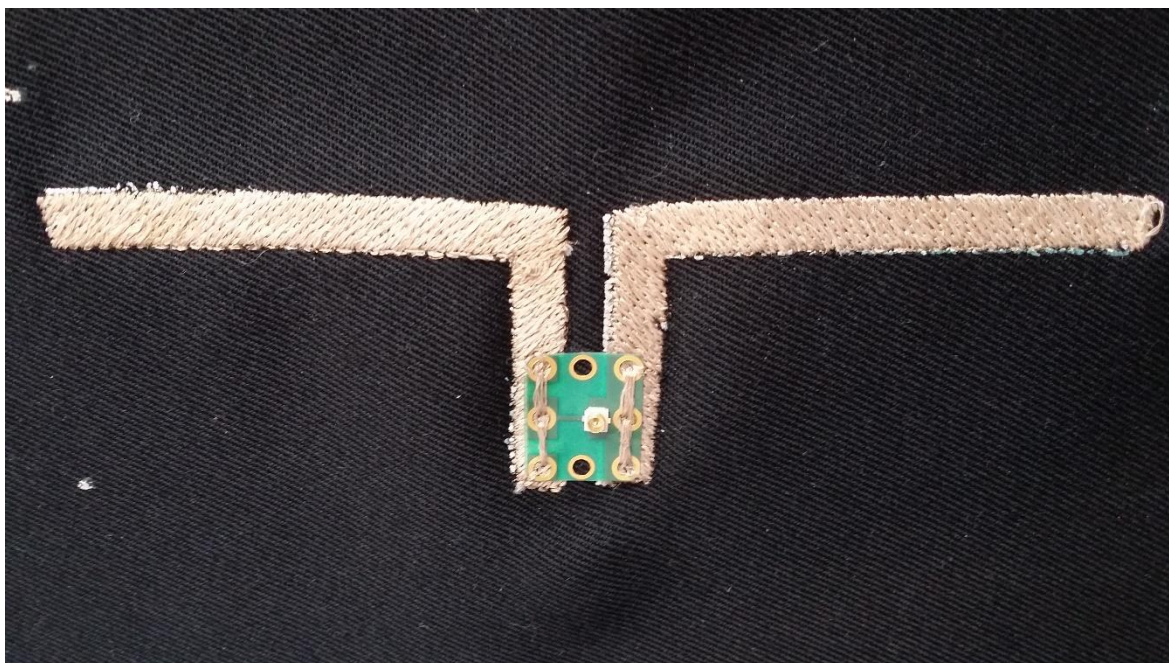
Po této simulaci byl program připraven pro nahrání do šicího stroje. Souběžně bylo potřeba upnout textílii s natištěnou anténou do vyšívacího rámu. K tomu slouží tzv. upínáky, jejichž detail můžeme vidět na Obr. 5.7. Textilie se v něm upne mezi dva rámy tak, že textilní plocha uvnitř je napnutá a připravena k vyšívání. Vzhledem k tomu, že se jedná o doplňkové vybavení od Firmy Bernina, po nasazení vyšívacího rámu do nástavce, stroj sám rozpozná velikost a druh rámu a provede nezbytná nastavení. Na Obr. 5.78 je zobrazen připravený motiv půlvlnného dipólu programem Bernina Designer Plus. Tenká modrá čára vyplňující anténu představuje samotnou niť.



Obr. 5.8: Simulace vyšívání v programu Bernina Designer Plus

Vyšívání bylo provedeno mosaznou hybridní vodivou šicí nití, která byla vyvinuta společností VÚB a.s. ve spolupráci se ZČU. Tato nit' obsahovala 8 mosazných mikrodrátků o průměru 30 μm .

Pro šití vodivých nití byla zvolena jehla s větším očkem. Digitální motiv s nastavenými parametry byl poslán přes port přímo do stroje (popřípadě může být nahrán přes flash disk). Po zkontrolování nastavení na displeji šicího stroje se spustilo automatické vyšívání. Samotné šití probíhalo bez problémů, nicméně je složité dokonale sloučit motiv vytvořený sítotiskem s identickým vyšívaným motivem.



Obr. 5.9: Realizovaný natištěný a přešitý půlvlnný dipól

Celkově byly připraveny 3 vzorky natištěných patchových antén, 2 vzorky natištěných a přešitých dipólů, 2 vzorky čistě natištěných dipólů a jeden vzorek všitého dipólu. Na Obr.

5.9 je zobrazen výsledný demonstrátor natištěného a přešitého dipólu spolu s přišitým tzv. interposterem (na Obr. 5.9 zelená ploška), což je vlastně univerzální miniaturní deska plošného spoje sloužící k rychlému připojení měřicího přístroje přes koaxiální kabel k anténě, aniž by se musel lepit koaxiální kabel pomocí vodivého lepidla k anténě. Při přišívání interposterů vodivou hybridní nití k anténám vznikly problémy pouze u antén vyrobených pouze pomocí sítotisku, kdy při propíchnutí jehlou měla vytvrzená vodivá vrstva tendenci praskat.

5.4 Měření antén

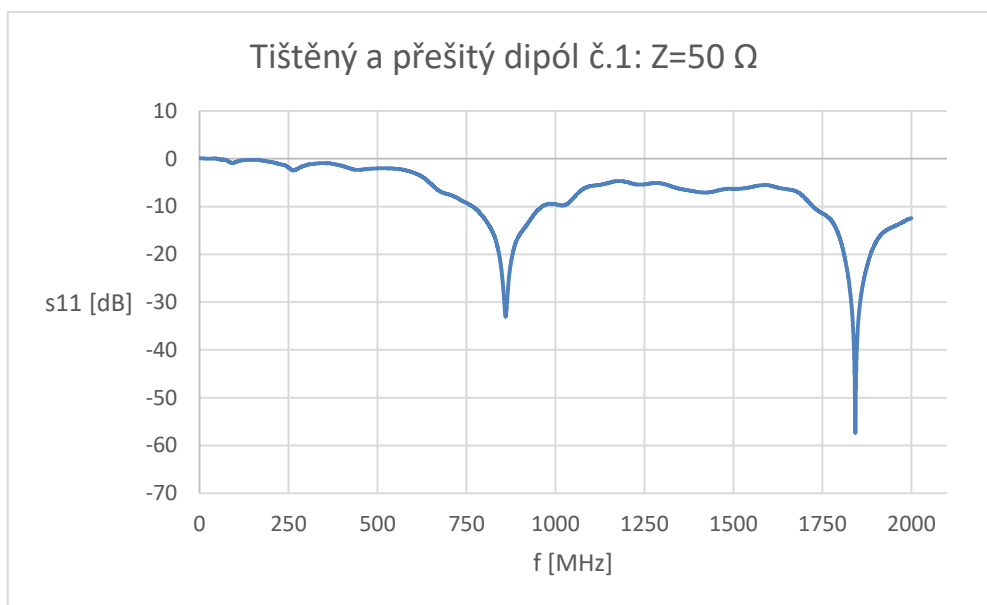
Měření antén se zaměřovalo na parametr S_{11} , což je jinak vyjádřeno činitel odrazu, který nám vyjadřuje útlum odrazu v decibelech. Jeho kmitočtové průběhy pro jednotlivé měřené antény jsou uvedeny níže. Tento údaj uvádí, jak dobře je anténa impedančně přizpůsobená a vypovídá o tom, jaké množství signálu se odrazí zpátky do vedení. Je snaha, aby tento parametr v decibelech vykazoval co nejvyšší zápornou hodnotu. Obvykle pro bezproblémové vysílání a přijímání by se měla hodnota S_{11} parametru pohybovat od -7 dB a méně.



Obr. 5.10: Měřící pracoviště

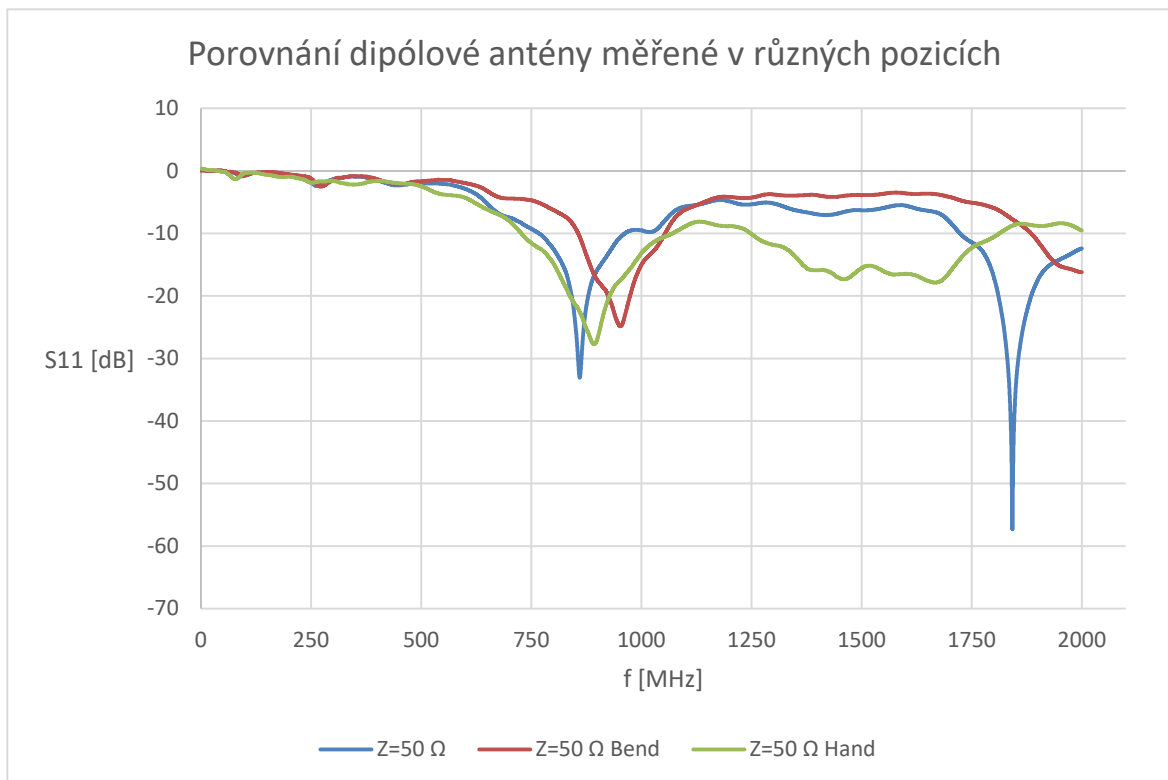
Měření probíhalo pomocí přístroje SPARQ – 3002E. Je to analyzátor síťové integrity a přes počítačové rozhraní slouží ke zjišťování hodnot S-parametrů a k optimalizaci antén. K počítači je připojen přes rozhraní USB. Velkou výhodou analyzátoru je možnost přizpůsobit se na široké spektrum impedancí. To je výhodné z toho pohledu, že postupným

testováním se zjišťuje skutečná hodnota impedance antény a na nastavené impedanci se pak dále generují frekvenční závislosti na S_{11} parametru. Naměřené hodnoty se vyexportovaly do textového souboru a byly převedeny do následujících grafů přes MS Excel. Jelikož bylo cílem navrhnout anténu operující efektivně na frekvenci 868 MHz, právě tato hodnota byla klíčová při vyhodnocování získaných průběhů. Veškeré vzorky byly měřeny v rozsahu frekvencí od nuly do 2000 MHz. Rovněž se simulovala pozice antény na ruce a v ohybu vzhledem k možnému dalšímu použití při jejich integraci do textilií.



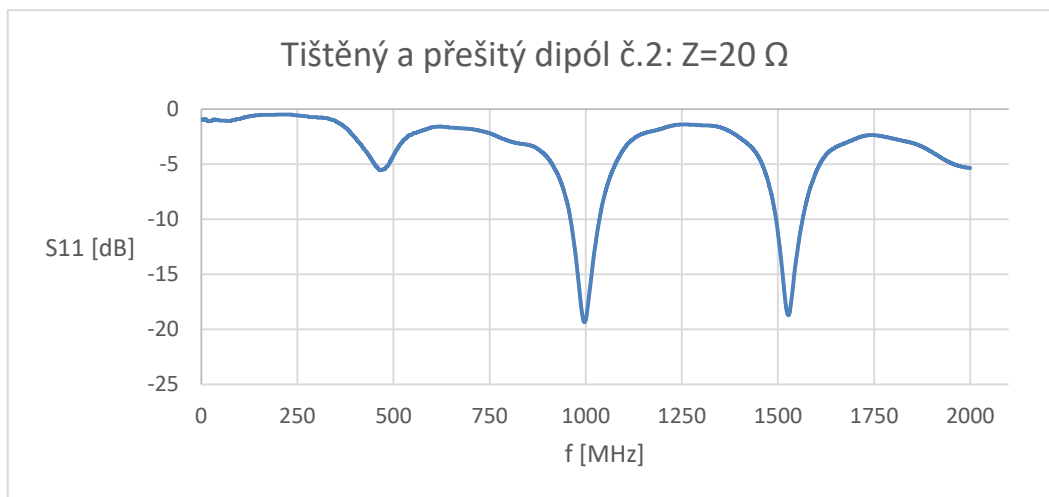
Graf 1: Tištěný a přešitý dipól č.1

Na Grafu 1 je znázorněna frekvenční charakteristika prvního natištěného a přešitého dipólu. Při tomto měření byl dipól položen na pevné podložce a nebyl v kontaktu s dalšími vodivými ani nevodivými předměty. Z charakteristiky lze jasně vyčíst, že realizovaný dipól má dva vrcholy, jeden v okolí požadované frekvence mezi 850 až 900 MHz s maximální hodnotou okolo -33 dB. Z hlediska dalšího uplatnění by se druhá špička okolo 1850 MHz dala odfiltrovat, aby nerušila případná jiná frekvenční pásma pro vysílání.



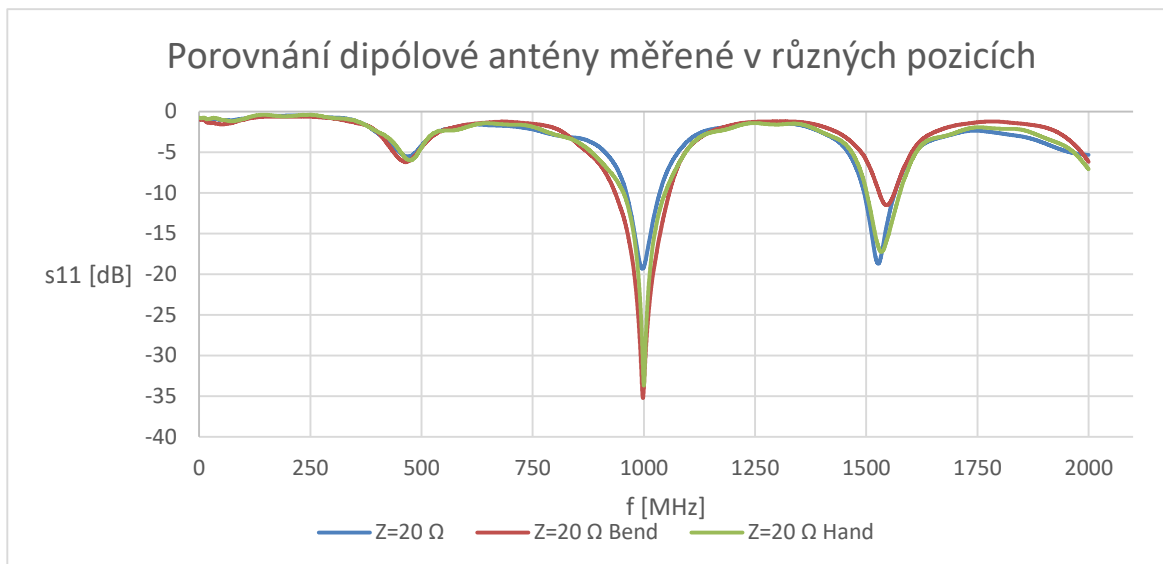
Graf 2: Porovnání tří měřených situací u natištěného a přešitého dipólu č.1

Na grafu 2 je znázorněno porovnání tří situací, za kterých se daný dipól měřil. Modrá linie ukazuje již dříve zmíněný dipól měřený na rovném podkladu. Oproti tomu červená linie představuje celou textilií s anténou lehce srolovanou do sebe (bend) a zelený graf poté symbolizuje měření ve chvíli, kdy byla anténa položena na lidskou ruku (hand). Na první pohled je zřejmé, že planárnost, resp. neplanárnost, hraje důležitou roli s ohledem na výsledné frekvenční charakteristiky. Měření při ohnuté anténě posunulo špičku nad 900 MHz a snížilo maximální dB, taktéž téměř úplně potlačilo druhý vrchol na frekvenci zhruba 1900 MHz. Při měření na ruce není rozdíl od původní frekvence tak znatelný a s tím, že se anténa chová více jako širokopásmová, jelikož v pásmu od 1250 do 1700 MHz je hodnota S_{11} parametru nad -10 dB.



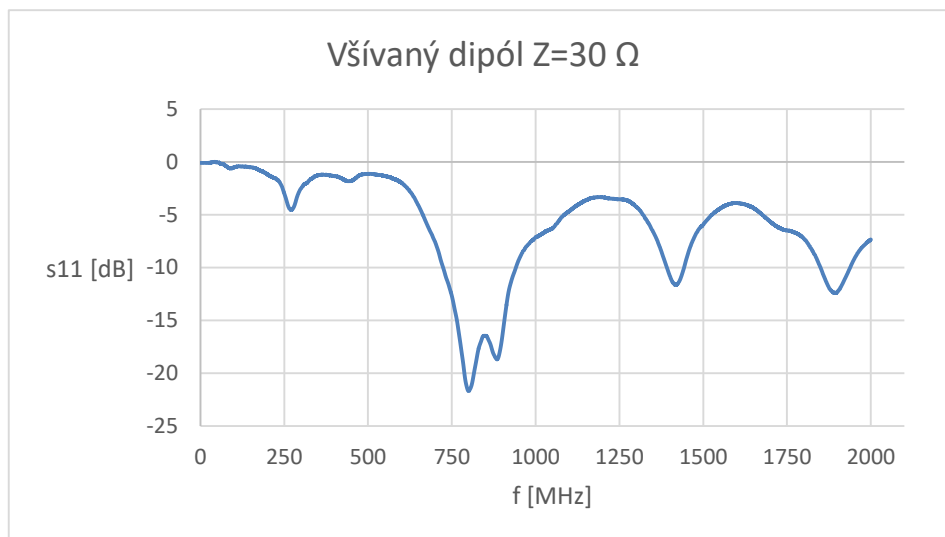
Graf 3: Tištěný a přešitý dipól č.2

Druhý tištěný a přešitý dipól vykazoval nejlepší vlastnosti při impedanci 20Ω (viz. Graf 3). V porovnání s prvním představeným dipólem však tentokrát vykazuje špičku až na frekvenci 1 GHz. V okolí pro nás důležité frekvence dosahuje velmi nízké hodnoty S- parametru. Zároveň to názorně dokazuje, že ačkoliv byly oba dipóly vyrobeny naprosto identickým způsobem, výsledné vzorky se liší jak v impedanci, tak v charakteristice. Důvodem takovýchto rozdílů může být například vícenásobně přetištěný vodivou pastou při výrobě jednoho z prototypů nebo použití jiného druhu textilního substrátu.



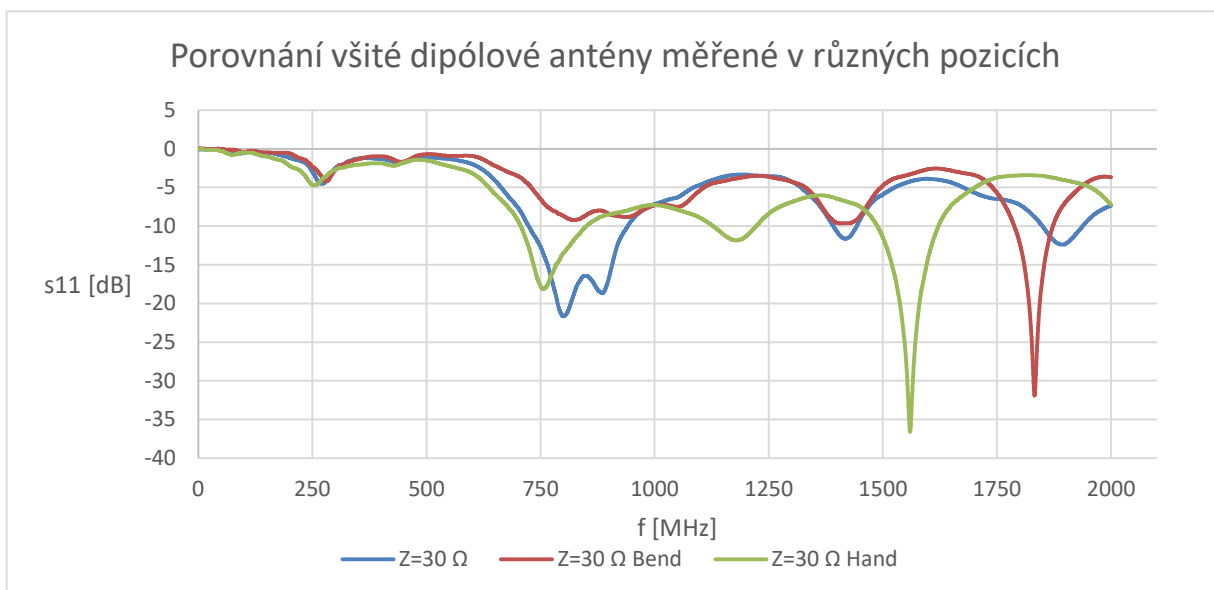
Graf 4: Porovnání tří měřených situací u tištěného a přešitého dipólu č.2

Na rozdíl od předchozího srovnání v grafu 2, u tohoto vzorku č.2 se ohýbání a pokládání antény na ruku projevuje pouze změnou v decibelech, frekvenční změna špičky není patrná. V případě vzorku ležícího na pevné podložce je špička v -20 dB , u ohnutého substrátu dosahuje na -35 dB a při ohnutí na ruce vrchol v -33 dB .



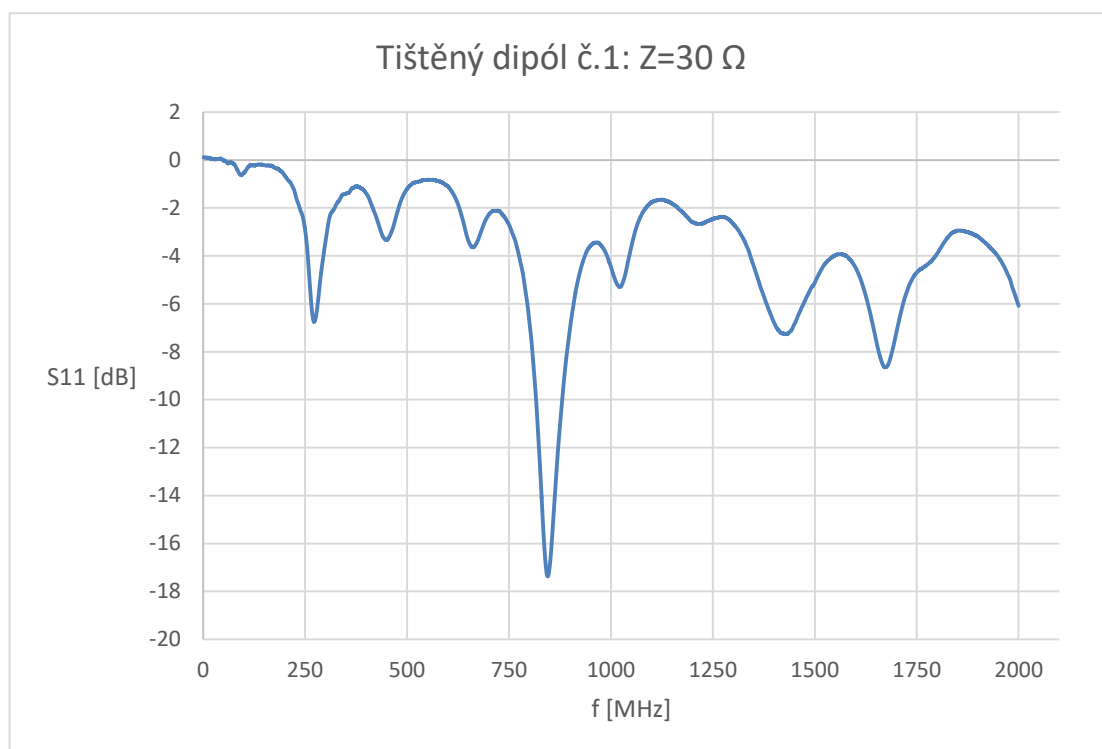
Graf 6: Všívání dipól

Dalším prototypem je čistě všívání půlvlnný dipól. Nejvyšší zápornou hodnotu S - parametru můžeme zaznamenat na frekvenci 800 MHz s druhou menší špičkou v 880 MHz.



Graf 5: Porovnání tří měřených situací u všíváního dipólu

Z Grafu 6 je patrné, že při provedení ohybu nebo při měření na ruce se v jednom případě námi hledaný vrchol v jednom případě posune na frekvenci 750 MHz a v druhém případě naprosto potlačí, což je nežádoucí. Naopak ve vyšších frekvencích nad 1500 MHz vzniknou velice významné špičky, což je také negativní.

**Graf 7: Tištěný dipól č.1**

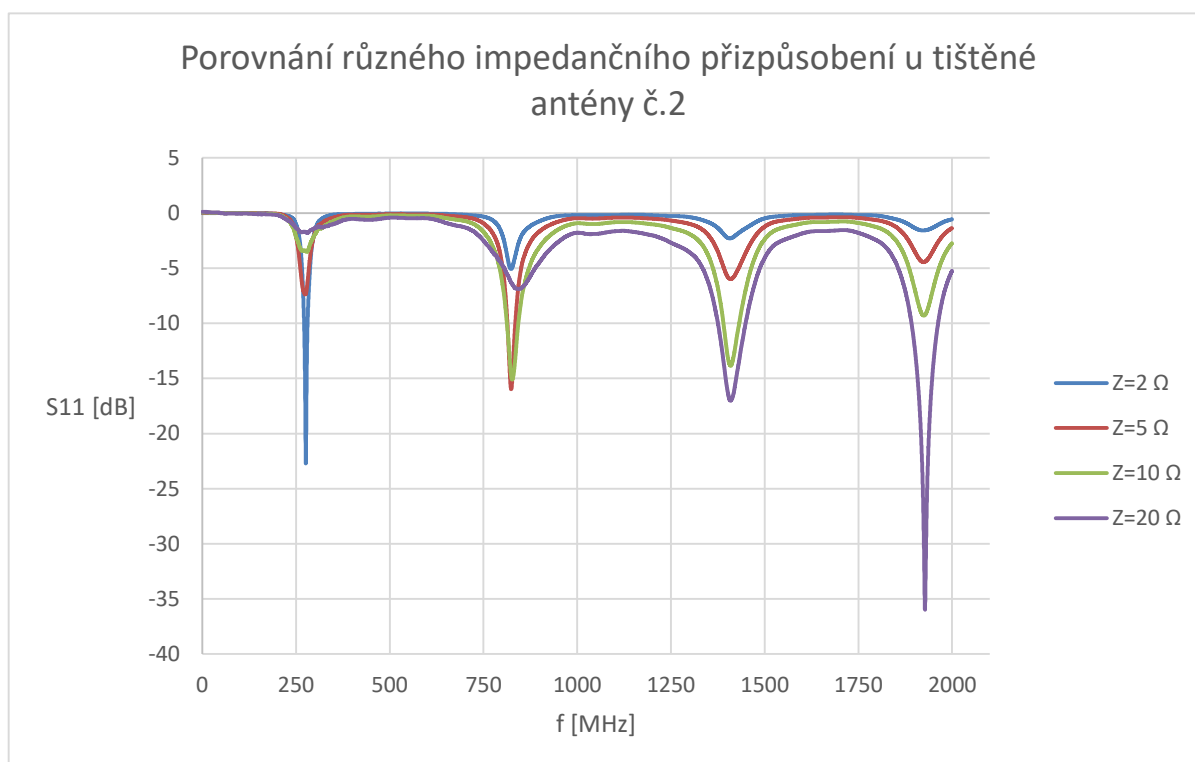
První ze dvou vzorků realizovaných tištěných dipólů, na jehož motiv byla použita stříbrná pasta, se optimalizoval na impedanci 30Ω . Kromě do jisté míry neuspořádané frekvenční charakteristiky se špička pohybuje zhruba na 845 MHz s činitelem odrazu -17 dB. Z tohoto pohledu lze považovat tento dipól za vyhovující, jediným záporným bodem je strmá charakteristika v této frekvenční oblasti, avšak i přes to je na požadované frekvenci 868 MHz přijatelných -12,6 dB.



Graf 8: Porovnání tří měřených situací u tištěného dipólu

Při porovnání tří druhů měření tištěné antény se z hrubého pohledu všechny tři průběhy shodují v pozici špičky okolo sledované frekvence, nicméně při bližším zkoumání zjistíme, že špička při ohnutém substrátu je naprosto přesně na frekvenci 868 MHz. Činitel odrazu v tomto bodě činí -13 dB. Co se týče okolních frekvencí, všechny tři průběhy mají menší či větší špičky po celé šířce měřeného frekvenčního spektra. Což vzhledem k požadavkům na anténu vysílající hlavně a výlučně na kmitočtovém pásmu v okolí frekvence 868 MHz je negativní. Nicméně se u této antény jako u jediné špičkou dostala přesně do požadovaného kmitočtu.

Pro názornost je zde uvedeno ještě jedno porovnání, které se týká tištěného dipólu č. 2. Bylo zde velmi náročné určit i samotnou impedanci antény, u které se postupovalo stále na menší hodnoty. V grafu 9 lze vidět tendence chování antény při volbě různých impedancí. Z hlediska této práce se zdá být optimální impedance o hodnotě 5Ω , jelikož disponuje největší absolutní hodnotou činitele odrazu. Takto malé hodnoty impedance mohou být způsobeny vysokou vodivostí použité flexibilní pasty, protože při výrobě byla deponována na textilní substrát několikrát s účelem plně natisknout celý motiv. S rostoucím počtem tištěných vrstev tak teoreticky roste i vodivost celé antény.



Graf 9: Porovnání různého impedančního přizpůsobení

Z grafu je patrné, že s rostoucí impedancí se tvoří špičky na vyšších frekvencích. U impedance 2Ω je největší špička při frekvenci nad 250 MHz, naopak u impedance 20Ω je jednoznačně největší vrchol na zhruba 1900 MHz.

6 Zhodnocení výsledné realizace a výsledků měření

Z celkového pohledu se samotná realizace představených antén dá považovat za úspěšnou. Bylo dosaženo počátečního cíle vytvořit funkční vzorky vhodné k testování a k potencionálnímu reálnému využití. V Tab. 6.1 lze vidět souhrn kladných a záporných stránek realizovaných antén. Vytvořené vytištěné a přešité antény vykazují dobrou odolnost vůči ohybům a uspokojivé parametry. Právě ve chvílích, kdy by natištěný motiv začínal mít tendenci prskat, funguje přešitá vrstva jako opora a udržuje anténu kompaktní.

Tab. 6.1: Zhodnocení výsledné realizace

+	-
<ul style="list-style-type: none"> • Úspěšná výroba 	<ul style="list-style-type: none"> • Odhadnutí parametrů z návrhu
<ul style="list-style-type: none"> • Fungující anténa 	<ul style="list-style-type: none"> • Enkapsulace
<ul style="list-style-type: none"> • Kombinace sítotisku a všívání 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimalizace
<ul style="list-style-type: none"> • Test ohýbání 	<ul style="list-style-type: none"> • Sesazení motivů
	<ul style="list-style-type: none"> • 2 stejné vzorky – různé parametry

Co se týče návrhu antény a vzhledem k tomu, že se kombinovaly techniky sítotisku a všívání, je nesmírně složité docílit teoreticky navržených parametrů. Na výsledné konfiguraci antény má vliv nejen zpracování tištěné plochy, kde bylo potřeba daný motiv natisknout na textilní substrát vícenásobně, aby se vytvořila celistvá vrstva stříbrné pasty, ale také kvalita vyšití motivu, nebo jejich vzájemné sesazení přes sebe. Lze tedy říct, že realizace těchto antén byl do jisté míry krok do neznáma a i přes určité teoretické předpoklady se však skutečné parametry ukáží až v konečné fázi. Zajisté za to může relativní neprozkoumanost a nekonvenčnost provedeného řešení, kde je použita metoda ve fázi prototypingu.

Zcela jistě se podařila vytvořit flexibilní anténa, kterou lze bez problémů, avšak s jistou dávkou opatrnosti, ohnout a vzhledem ke svému možnému dalšímu využití se dá předpokládat, že by nepředstavovalo větší problém ji našít kupříkladu na rameno funkčního obleku. Vyšitý motiv velmi dobře upíná celý dipól a dělá jej robustní. Nicméně ve stavu v jakém momentálně anténa je, tak by byla pravděpodobně náchylná na prací cykly a celkově na mechanickou zátěž, jelikož není potažena žádnou ochrannou, tzv. enkapsulační, vrstvou, ale pro čistě vývojové potřeby není tento nedostatek překážkou.



Obr. 6.1: Detail špatného sesazení sítotisku a všívání

Za čistě pozitivní věc lze brát již zmíněné úspěšné skloubení dvou různých technologií přípravy flexibilních antén – sítotisku a všívání. Ačkoliv se jedná o nekonvenční řešení, výsledný efekt splnil očekávání a byl vytvořen funkční půlvlnný dipól. Avšak právě proto, že tento druh realizace není moc prozkoumaný, tak problémy způsobovalo sesazení vodivých motivů nanesené pasty a všité vodivé nitě. Na Obr. 6.1 lze vidět detail špatného sesazení těchto vrstev. Stříbrná vrstva lehce vybočuje směrem nahoru od výšivky vodivé hybridní nitě.

Pokud bychom se přesunuli ke zhodnocení naměřených průběhů (viz. Kapitola 5.4), tak lze konstatovat, že ani v případě vytvoření dvou identických antén ze stejných parametrů není bohužel zaručeno, že se stejně budou také chovat. Dva stejné dipóly vykazují rozdílné výsledky měření i rozdílné impedance. Jak již bylo zmíněno, to může být způsobeno několikanásobným přetištěním při sítotisku. Toto si samozřejmě můžeme vyložit tím, že používání sítotisku na přípravu funkčních motivů na textilní substrát není zdaleka konvenční

záležitost, ale jedná se o laboratorní prototypingové využití s účelem získávat zkušenosti pro další realizace.

V pohledu do budoucna by se mohla práce dále zaměřit na optimalizaci předkládaných antén ve smyslu vylepšení impedance antény ze stávajících hodnot na konvenčních 50Ω .

Závěr

V práci byla provedena rešerše na téma smart textilií. Tyto technologie jednoznačně znamenají budoucnost a jejich používání se stává nedílnou součástí našich životů. Už nyní je můžeme najít např. v podobě funkčních trik měřících tepovou frekvenci nebo vyhříváných ponožek a to jsou zajisté jenom první náznaky většího využívání těchto textilií například v oblastech zdravotnictví, vojenství nebo ochranných oděvů.

Teoretická část práce se dále zabývala fenoménem s názvem internet věcí. Tento princip propojuje vestavěné systémy bezdrátovou komunikací a napomáhá urychlovat komunikaci a zvyšovat celkově efektivitu nejen výroby. Je proto zřejmé, že propojení IoT s chytrými textiliemi se bude v budoucnosti velice rozvíjet a pravděpodobně se s těmito produkty budeme brzy běžně setkávat.

Praktická část byla věnována samotnému návrhu a realizaci antén. Celkově byly úspěšně vyrobeny 3 flíčkové antény a 5 dipólových vzorků. Právě na dipólových anténách se následně provádělo měření za účelem zjištění jejich činitele odrazu v cílové frekvenci okolo 868 MHz. Z pohledu funkčnosti se všechny antény dají považovat jako zdařilé. Rovněž použité konektory resp. interpostery se dají ohodnotit jako povedené a funkční, docílilo se jimi dobrého a robustního připojení ke všem elementům antény díky vodivé niti a snadného připojování měřících prvků.

I přes úspěšnou realizaci se u většiny antén nedokázalo docílit podružného úkolu k přiblížení se na frekvenci 868 MHz, pouze čistě tištěná dipólová anténa dokázala operovat přesně na této frekvenci, jak již bylo zmíněno, u ostatních antén to může být způsobeno jistou nekonvenčností a nedostatkem zkušeností v oblasti všívání antén do textilního substrátu. I přes nedostatek lze však reálně uvažovat o nasazení těchto druhů antén do provozu do oblasti internetu věcí pro jejich flexibilitu, funkčnost a nositelnost. A to ve chvíli, kdy se dokáže vyřešit daný problém s tím, aby anténa skutečně operovala na příslušném kmitočtu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SHANMUGASUNDARAM, O L. *Smart & intelligent textiles* [online]. 2008 [vid. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.indiantextilejournal.com/articles/fadetails.asp?id=852>
- [2] SINGH, Mukesh Kumar. *The state-of-art Smart Textiles* [online]. [vid. 2016-11-05]. Dostupné z: [http://www.ptj.com.pk/Web 2004/08-2004/Smart Textiles.html](http://www.ptj.com.pk/Web%202004/08-2004/Smart%20Textiles.html)
- [3] *Budoucnost je v textilu textil je budoucnost ! Strategická výzkumná agenda* [online]. 2009 [vid. 2016-11-05]. Dostupné z: www.ctpt.cz/dwn.php?ID=1164
- [4] NESENBERGS, Krisjanis a Leo SELAVO. Smart textiles for wearable sensor networks : review and early lessons [online]. 2015, č. 10. Dostupné z: [doi:10.1109/MeMeA.2015.7145236](https://doi.org/10.1109/MeMeA.2015.7145236)
- [5] KAZANI, Ilda, Carla HERTLEER, Gilbert DE MEY, Anne SCHWARZ, Genti GUXHO a Lieva VAN LANGENHOVE. Electrical conductive textiles obtained by screen printing. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2012, roč. 90, č. 1, s. 57–63. ISSN 12303666.
- [6] DRAŠAROVÁ, Jana. *Vícefunkční textilie - základní pojmy* [online]. [vid. 2016-11-12]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2014-01-13/10-06-20.pdf
- [7] SODOMKA, L. *Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií* [online]. [vid. 2016-11-06]. Dostupné z: www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc
- [8] SOUKUP, Radek, Aleš HAMÁČEK, Petr KAŠPAR a Jan ŘEBOUN. Smart firefighter personal protective suit. In: *HAZMAT PROTECT 2016*. B.m.: SÚJCHBO, 2016.
- [9] ASHTON, Kevin. *That „Internet of Things“ Thing* [online]. 2009 [vid. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [10] FRAHIM, Jazib, Carlos PIGNATARO, Jeff APCAR a Monique MORROW. *Securing the Internet of Things: A Proposed Framework* [online]. [vid. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/c/en/us/about/security-center/secure-iot-proposed-framework.html>

- [11] VERMESAN, O, F FRIESS, P GUILLEMIN, H SUNDMAEKER, M EISENHAUER, K MOESSNER, F LE GALL a P COUSIN. Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. *Internet of Things Strategic Research and Innovation Agenda*. nedatováno, s. 7–152.
- [12] HEWLETT PACKARD ENTERPRISE. *Internet of things research study* [online]. 2015 [vid. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://h20195.www2.hp.com/V4/getpdf.aspx/4aa5-4759enn>
- [13] ČÍŽEK, Jakub. *IoT je děravý. Na webu jsou tisíce soukromých kamer a síťových krabiček* [online]. 2016 [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/iot-je-deravy-na-webu-jsou-tisice-soukromych-kamer-a-sitovych-krabicek/sc-3-a-181134/default.aspx>
- [14] IVSIC, Branimir a Davor BONEFACIC. Implementation of conductive yarn into wearable textile antennas. *2014 24th International Conference Radioelektronika, RADIOELEKTRONIKA 2014 - Proceedings* [online]. 2014, s. 2–5. Dostupné z: [doi:10.1109/Radioelek.2014.6828450](https://doi.org/10.1109/Radioelek.2014.6828450)
- [15] WHITTOW, William G. 3D printing, inkjet printing and embroidery techniques for wearable antennas. *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2016* [online]. 2016, s. 4–7. Dostupné z: [doi:10.1109/EuCAP.2016.7481266](https://doi.org/10.1109/EuCAP.2016.7481266)
- [16] *Sewing machine* [online]. [vid. 2016-12-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Sewing_machine
- [17] *Bernina* [online]. [vid. 2016-12-19]. Dostupné z: <https://www.bernina.com/en-US/Home-United-States>
- [18] Bernina 750 QE - manual [online]. 2014. Dostupné z: https://www.bernina.com/cs-CZ/SupportData/BERNINA-Nah-und-Stickmaschinen/BERNINA-7er-Serie/BERNINA-750/0342477104_2014-02_Manual_B750_EN
- [19] *Bernina Embroidery Software 7 - DesignerPlus Features* [online]. 2013 [vid. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://sneedswv.com/workbooks/MyBERNINA-Software7-Workbook3-DesignerPlus.pdf>

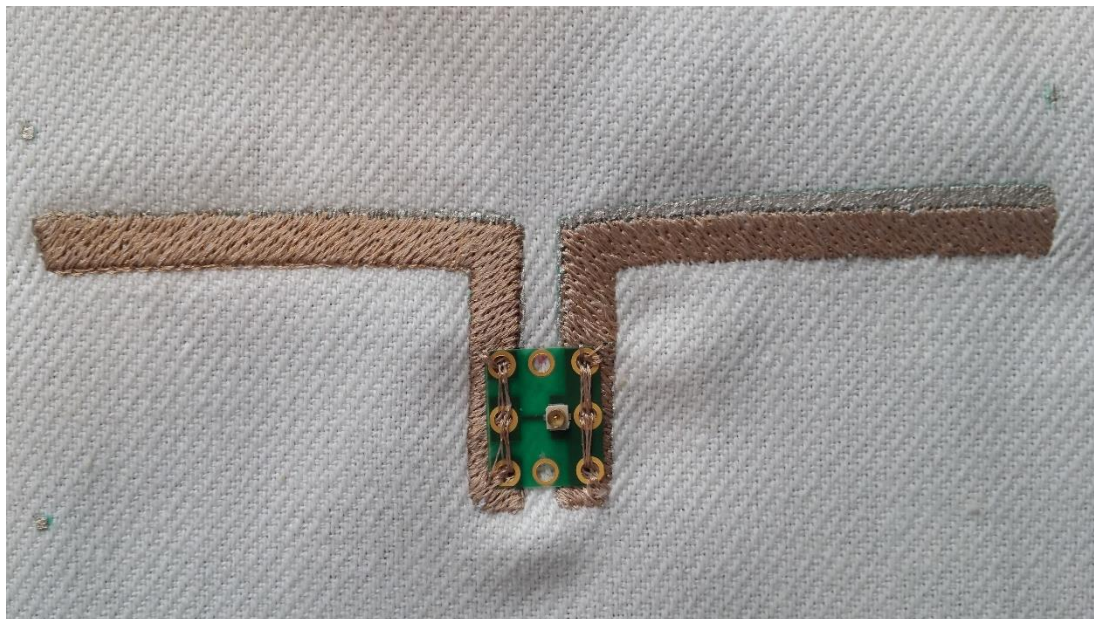
- [20] XIAO, Gaozhi George, Zhiyi ZHANG, Stephen LANG a Ye TAO. Screen printing RF antennas. In: *2016 17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)* [online]. B.m.: IEEE, 2016, s. 1–2. ISBN 978-1-4673-8478-0. Dostupné z: doi:10.1109/ANTEM.2016.7550245
- [21] HOBBY, Alan. *SCREEN PRINTING FOR THE INDUSTRIAL USER* [online]. 1997 [vid. 2016-12-15]. Dostupné z: http://www.gwent.org/gem_screen_printing.html
- [22] KHAN, Saleem, Ravinder DAHIYA a Leandro LORENZELLI. Technologies for Printing Sensors and Electronics over Large Flexible Substrates: A Review. *IEEE Sensors Journal* [online]. 2014, č. c, s. 1–1. ISSN 1530-437X. Dostupné z: doi:10.1109/JSEN.2014.2375203
- [23] OPEKAR, František. Senzory. In: *Senzory plynných látek* [online]. 2007, s. 186–203. ISBN 978-80-86238-20-3. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/senzory.pdf>
- [24] WAGHULEY, S. A., S. M. YENORKAR, S. S. YAWALE a S. P. YAWALE. SnO₂/PPy Screen-Printed Multilayer CO₂ Gas Sensor. *Sensors & Transducers Journal*. 2007, roč. 79, č. 5, s. 1180–1186.
- [25] LI, Meng, Yuan Ting LI, Da Wei LI a Yi Tao LONG. Recent developments and applications of screen-printed electrodes in environmental assays-A review. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2012, roč. 734, s. 31–44. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2012.05.018
- [26] HERBERT, Sylvia. *What is a Fabric Antenna Sensor?* [online]. [vid. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://sylviaherbert.com/fabric-antenna-sensors-1>
- [27] *High Speed Single Jersey Knitting Machine* [online]. 2017 [vid. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.diytrade.com/china/pd/11909884/High_Speed_Single_Jersey_Knitting_Machine.html
- [28] BEROUN, Stanislav. *Textilní stroje* [online]. 2009 [vid. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1891>
- [29] *Okrouhlé pletací stroje* [online]. [vid. 2017-03-08]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Okrouhlé_pletací_stroje#

- [30] OSMAN, M a R, M K a RAHIM, N a SAMSURI, H a M SALIM a M F ALI. Embroidered Fully Textile Wearable Antenna for Medical Monitoring Applications. *Progress in Electromagnetics Research-Pier* [online]. 2011, roč. 117, č. May, s. 321–337. ISSN 1559-8985. Dostupné z: doi:10.2528/pier11041208
- [31] BLECHA, Tomas, Richard LINHART a Jan REBOUN. Screen printed antennas on textile substrate. *Proceedings of the 5th Electronics System-Integration Technology Conference, ESTC 2014* [online]. 2014, s. 14–17. Dostupné z: doi:10.1109/ESTC.2014.6962761
- [32] DANDEKAR, Kapil, Genevieve DION, Adam K. FONTECCHIO, Tim KURZWEG a Owen MONTGOMERY. Wireless energy harvesting and storage in textiles. *Drexel University*. nedatováno, s. 2.
- [33] *SSG series - Computerized Flat Knitting Machines* [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://www.az-mercantile.ch/files/knitting-machines-shima-seiki-ssg-122-sv-codml101-mamag-0155.pdf>
- [34] DA CONCEICAO ANDRADE, Aline, Izabela Paulino FONSECA, Syeda Fizzah JILANI a Akram ALOMAINY. Reconfigurable textile-based ultra-wideband antenna for wearable applications. *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2016* [online]. 2016, s. 4–7. Dostupné z: doi:10.1109/EuCAP.2016.7481854
- [35] MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. *Šíření elektromagnetických vln a antény*. Praha: ČVUT, 2004.
- [36] PROCHÁZKA, Miroslav. *ANTÉNY - encyklopedická příručka*. Praha: BEN - technická literatura, 2001.
- [37] ŠKVOR, Zbyněk. *Impedanční přizpůsobení* [online]. [vid. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.skvor.cz/pdf/impmatch2.pdf>
- [38] RAIDA, Zbyněk, Dušan ČERNOHORSKÝ, Dalimil GALA, Stanislav GOŇA, Zdeněk NOVÁČEK a Viktor OTEVŘEL. Elektromagnetické vlny, mikrovlnná technika. *Multimediální učebnice* [online]. 2010 [vid. 2017-03-07]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/cz/multimedia_textbook_cz.pdf

- [39] *Úvod do antén* [online]. 2002 [vid. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/uvod-do-anten.html>
- [40] MUSHIAKE, Yasuto. A report on Japanese development of antennas: From the Yagi-Uda antenna to self-complementary antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* [online]. 2004, roč. 46, č. 4, s. 47–60. ISSN 10459243. Dostupné z: doi:10.1109/MAP.2004.1373999
- [41] *EKRA E2/E2 XL* [online]. [vid. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.asys.de/agweb/en/item/E2>

7 Příloha

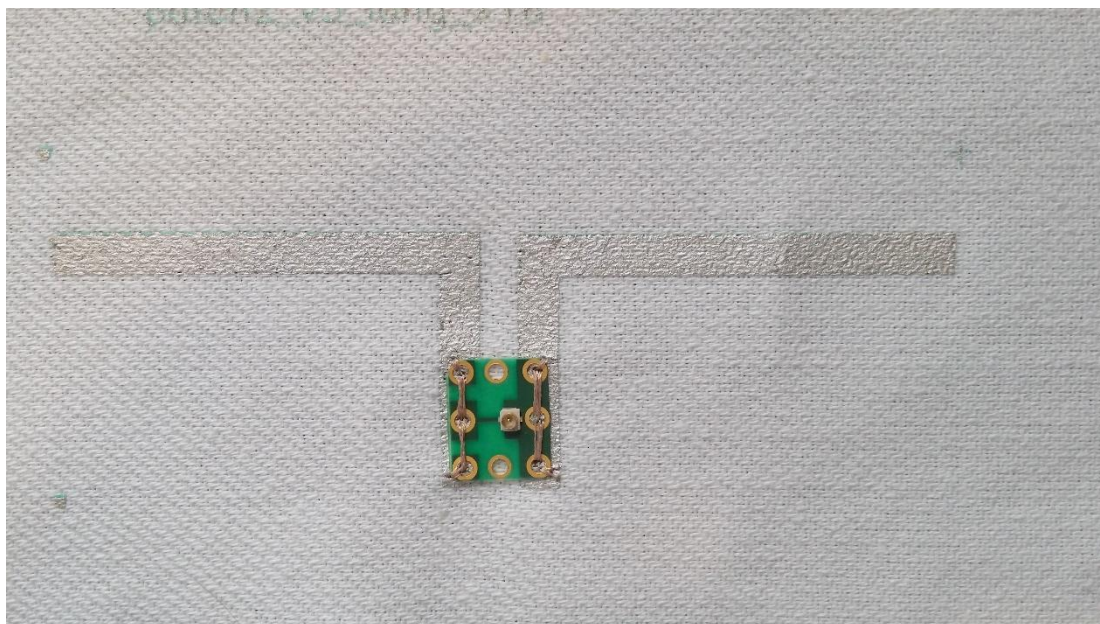
Příloha A: Fotografie realizovaných antén



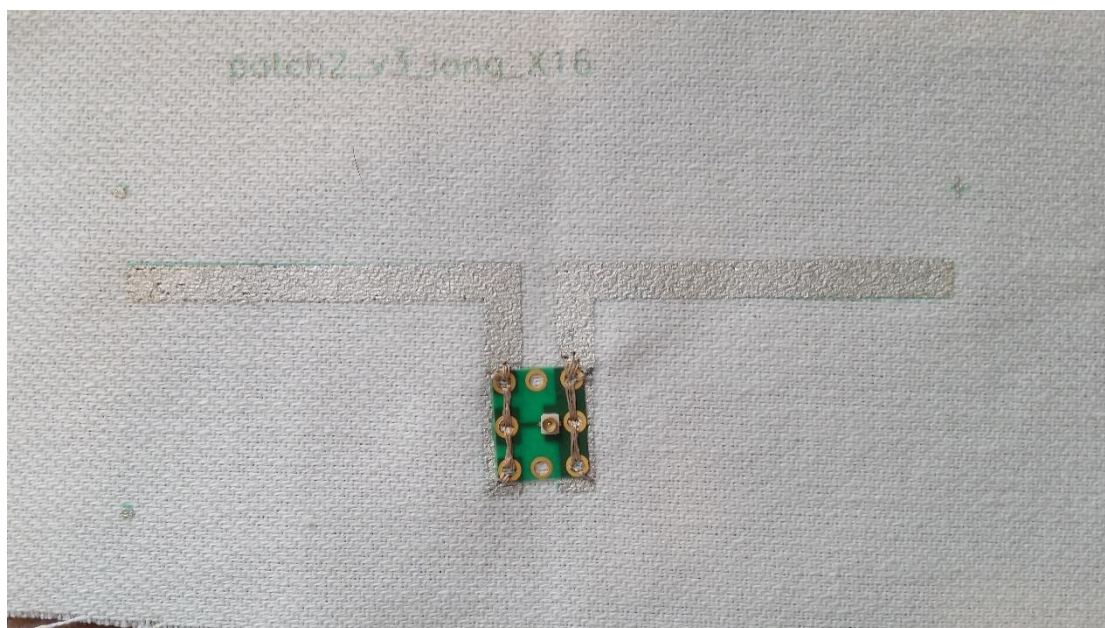
Obr. příloha 1: Tištěný a přešíť dipól č.1



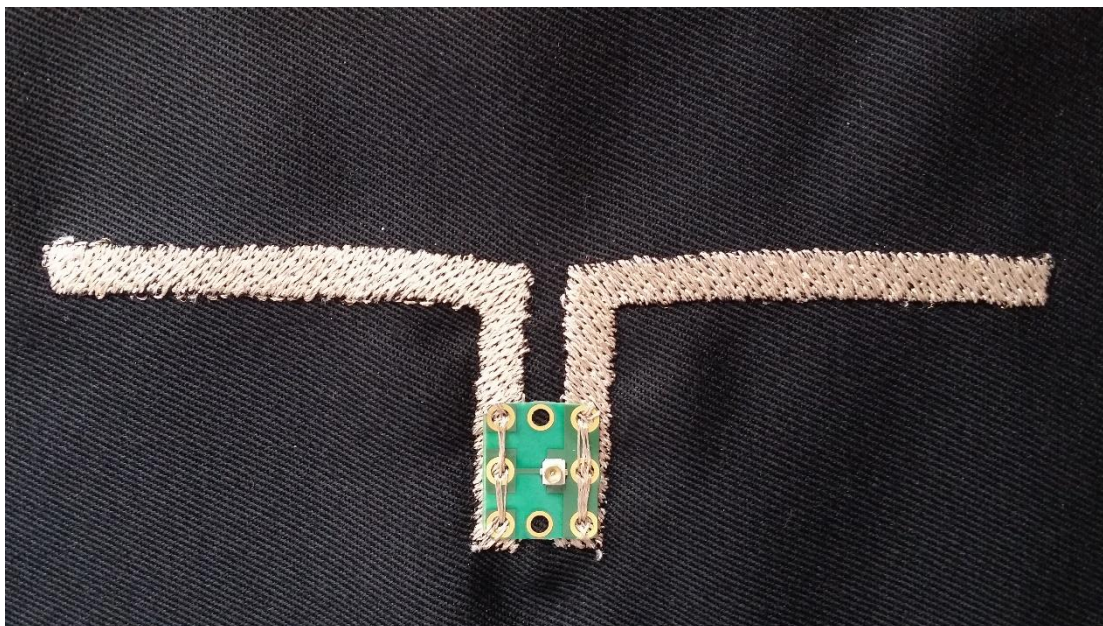
Obr. příloha 2: Tištěný a přešíť dipól č.2



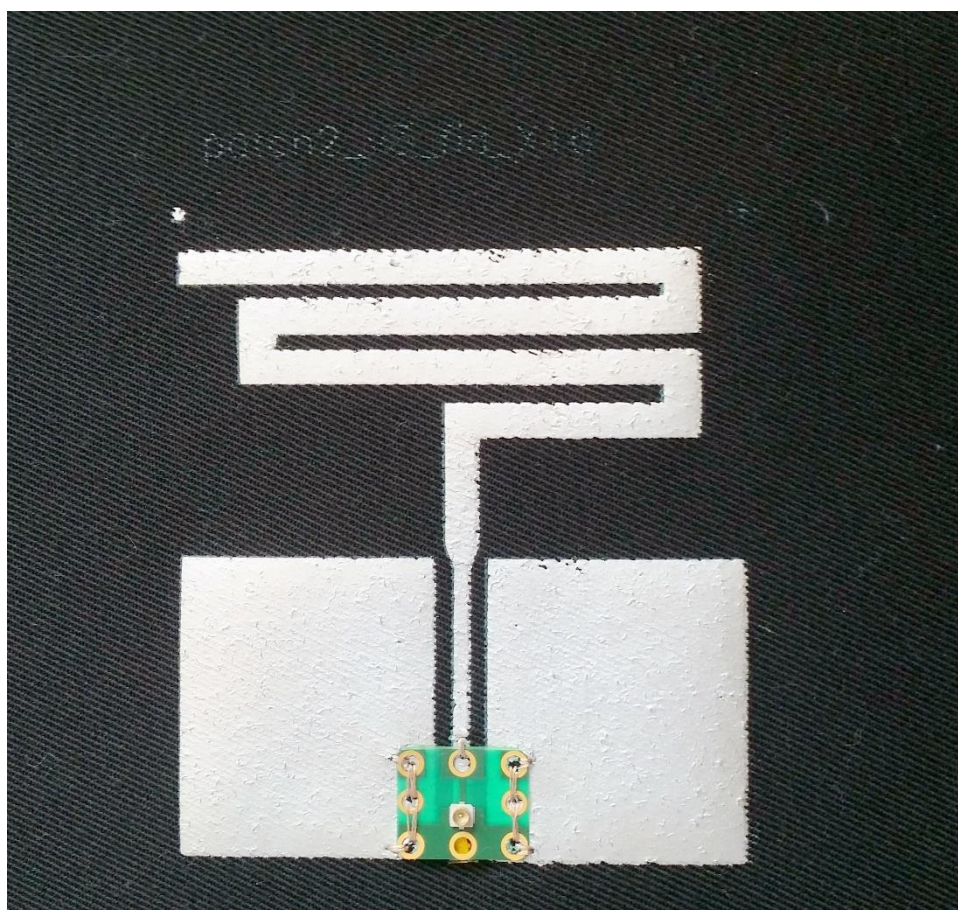
Obr. příloha 3: Tištěný dipól č.1



Obr. příloha 4: Tištěný dipól č.2



Obr. příloha 5: Všíváný dipól



Obr. příloha 6: Flíčková anténa