

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Antény realizované pomocí technologie šití nebo pletení**



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav MIČŮCH**

Osobní číslo: **E14B0024K**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Antény realizované pomocí technologie šití nebo pletení**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

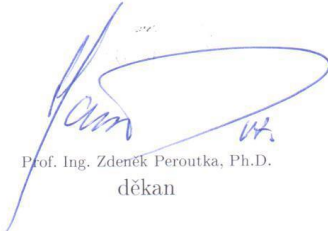
1. Popište technologii šití a pletení využívanou v elektronice.
2. Proveďte rešerši problematiky antén s ohledem na technologii šití nebo pletení.
3. Navrhněte a realizujte motiv anténního prvku s využitím technologie šití.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Jan Eichler, 2010. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Vícepásmová anténa s fraktálním motivem.
2. Dias et al., 2013. Effect of the fabrication parameters on the performance of embroidered antennas. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 7(14), pp.11741181. <http://dx.doi.org/10.1049/iet-map.2012.0719>.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Pavec  
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 9. července 2018  
Termín odevzdání bakalářské práce: 16. srpna 2018

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. července 2018

## **Abstrakt**

Práce se zabývá problematikou vyšíváných a pletených antén. V práci jsou popsány základní postupy šití a pletení od základních stehů až po šití na průmyslových strojích. Dále jsou zde popsány základní parametry antén. V poslední části této práce je porovnání naměřených hodnot vyšívané antény se vzorkem zhotoveným na tištěný spoj a klasickou konvenční anténou.

## **Klíčová slova**

Elektricky vodivá vlákna, vyšívané antény, pletené antény, parametry antén, Bowtie anténa.

## **Abstract**

The thesis deals with the issue of embroidered and knitted antennas. This paper describes basic sewing and knitting techniques from basic stitches to sewing on industrial machines. The basic parameters of the antennas are described here. The last part of this work is a comparison of measured values of an embroidered antenna with a sample made on a printed connection and a conventional conventional antenna.

## **Keywords**

Electrically conductive fibers, embroidered antennas, knitted antennas, antenna parameters, Bowtie antenna.

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 15.8.2018

JaroslavMičůch

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval zadávajícímu bakalářské práce Ing. Martinu Pavcovi. Jeho důsledné vedení a poskytnutí spousty cenných informací mi pomohli vypořádat se s nejděním problémem při psaní této práce.



## OBSAH

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>                         | <b>10</b> |
| <b>ÚVOD.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>1 TECHNIKY ŠITÍ, VYŠÍVÁNÍ, PLETENÍ.....</b>                | <b>12</b> |
| 1.1 ŠITÍ .....  | 12        |
| 1.2 VYŠÍVÁNÍ.....   | 13        |
| 1.3 PLETENÍ .....   | 14        |
| <b>2 ŠITÍ A PLETENÍ V ELEKTROTECHNICE.....</b>                | <b>16</b> |
| 2.1 SMART TEXTILIE .....                                      | 16        |
| 2.2 ELEKTRICKY VODIVÁ VLÁKNA.....                             | 17        |
| 2.3 METODY ŠITÍ A PLETENÍ V ELEKTROTECHNICE .....             | 19        |
| <b>3 DRUHY A PARAMETRY ANTÉN, ANTÉNY ŠITÉ A PLETENÉ .....</b> | <b>22</b> |
| 3.1 PARAMETRY ANTÉN.....                                      | 23        |
| 3.3 PLETENÉ A VYŠÍVANÉ ANTÉNY .....                           | 27        |
| <b>4 NÁVRH A REALIZACE ŠITÉ ANTÉNY .....</b>                  | <b>38</b> |
| 4.1 FRAKTÁLY, OBRAZCE POUŽÍVANÉ PRO NÁVRH ANTÉN .....         | 38        |
| 4.2 FRAKTÁLNÍ BOWTIE ANTÉNA.....                              | 40        |
| 4.3 TESTOVANÁ FRAKTÁLNÍ BOWTIE ANTÉNA.....                    | 42        |
| 4.4 MĚŘENÍ VZORKŮ.....  | 45        |
| <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                                   | <b>50</b> |
| <b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>          | <b>52</b> |

## Seznam symbolů a zkratek

|                 |  |
|-----------------|--|
| dB .....        | Decibel  |
| n .....         | Index lomu   |
| $\lambda$ ..... | Vlnová vzdálenost  |
| $\tau$ .....    | Koeficient přenosu energie                                     |
| CAD.....        | (Computer Aided Design) počítačem podporované kreslení         |
| GHz.....        | Gigahertz  |
| MHz .....       | Megahertz  |
| RFID .....      | (Radio Frequency Identification) radiofrekvenční identifikace  |
| Rc.....         | Rezistence   |
| Xc.....         | Reaktance  |
| Zc .....        | Impedance  |
| UHF .....       | (Ultra High Frequency) ultra krátké vlny                       |
| DPS .....       | Deska plošných spojů   |
| GSM.....        | (Groupe Spécial Mobile) globální systém pro mobilní komunikaci |
| UWB .....       | (Ultrre Vide Band) ultra širokopásmová technologie             |
| Balun.....      | (balance - unbalance) symetrizační obvody                      |
| VKV.....        | velmi krátké vlny, kmity o frekvenci 30 – 300MHz               |
| KV.....         | krátké vlny, kmity o frekvenci 3 – 30MHz                       |
| DUT .....       | (Device Under Test) testované zařízení                         |

## Úvod

Hlavním cílem této práce je navrhnout a realizovat vyšívaný pasivní elektronický prvek na textilií. Jde o dipólovou vícepásmovou anténu, která je zhotovena pomocí hybridních vodivých nití, aplikovaných na textilií prošíváním jednotlivých smyček do sebe. Tímto způsobem vznikne požadovaný obrazec. Takto zhotovené antény mohou být součástí tzv. chytrých oděvů, které jsou v současné době testovány pro využití například v lékařství, kosmonautice, nebo záchrannými složkami. Práce je rozdělena do čtyř částí.

V první části práce jsou jednotlivě popsány používané techniky šití a pletení. Jde o techniky jak ručního, tak strojního šití a pletení. Dále je pak popsána technika vyšívaní. U jednotlivých technik jsou popsány základní postupy, které jsou doplněné ilustrativními obrázky. Je zde popsán použitý materiál, jako jsou různé druhy nití, přízí a textilií, který se při těchto technikách používá. U každé techniky jsou také uvedeny základní druhy použitých nástrojů a technologické vybavení pro výrobu.

Druhá část práce se zabývá jednotlivými technikami šití a pletení v elektrotechnice. Jsou zde popsány smart textilie a jejich typy jako jsou pasivní, aktivní a velmi inteligentní smart textilie využívané při výrobě chytrých obleků. Dále jsou zde popsány elektricky vodivá vlákna a jejich rozdělení na nevodivá, přirozeně vodivá a textilně vodivá vlákna. Nakonec jsou zde popsány techniky šití a pletení, které se používají v elektrotechnice.

Ve třetí části je popsán princip funkčnosti antén. Je zde popsáno základní rozdělení antén a jejich parametry. V poslední části této kapitoly jsou popsány dvě dipólové antény vyrobené pomocí technik šití a pletení.

Čtvrtá část této práce je praktická část. Je zde popsán význam fraktálních obrazců a uvedeny dva odlišné typy těchto obrazců, které lze využít při návrhu antén. Jedná se o Sierpinského trojúhelník a Van Kochovu křivku. Dále je zde popsána Bowtie anténa, podle které byl navržen testovací vzorek. Poslední část je již zaměřená na testovanou anténu. V této části jsou uvedeny tři testovací vzorky antén, které byly měřeny. Hlavní pozornost je kladena na vyšitý vzorek. Tato část také obsahuje naměřené hodnoty všech tří vzorků a jejich popis.

# 1 Techniky šití, vyšívání, pletení

Tyto ruční techniky pro spojování materiálu se používají již řadu let. Lze jimi spojovat různé druhy materiálů, jako jsou například látky, kůže, plasty atd. Tyto spoje jsou velmi pevné a jejich výhodou je, že se materiály dají opět jednoduchým způsobem od sebe oddělit. Dříve byly tyto techniky prováděny výhradně ručně za pomoci různých druhů ručního nářadí, jako jsou jehlice, jehly, cívky, vidlice. Postupem času se pro usnadnění práce začali používat i různé druhy pletacích a šicích strojů, poháněných výhradně manuálním způsobem. V současnosti jsou používány stroje s elektrickým pohonem.

## 1.1 Šití

### Ruční šití

Jako nástroj pro ruční šití je použita jehla, pro spojovací materiál se používají různé druhy nití, provázků a vlasců. Základním prvkem šití je steh, který vzniká protažením nití od jednoho vpichu jehly do výpichu, od kterého se úkon opakuje.

Rozeznáváme několik druhů stehů:

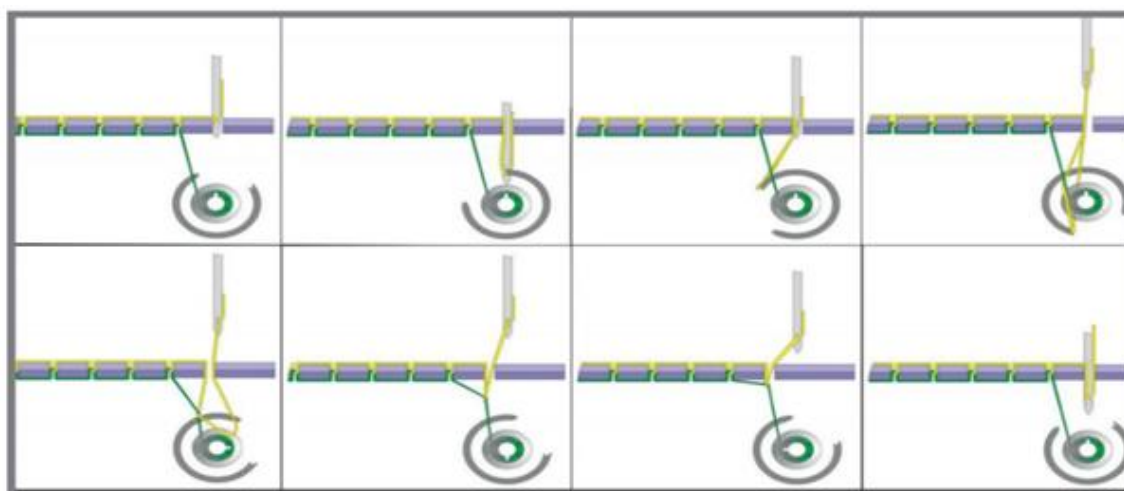
- Stehy pomocné: přední steh, kličkovací steh.
- Stehy spojovací: zadní steh, perličkový steh, zapošivací steh.
- Stehy obšivací: obnitkovací steh, smyčkový steh.
- Stehy ozdobné: stonkový steh, řetízkový steh, křížový steh, krokvičkou steh.[1]



Obr. 1 Přední steh [6]

## Strojní šití

Na Obr. 2 je znázorněn princip šicího stroje, využívajícího vázaný steh s dvojitými nitěmi. Na obrázku je vidět svrchní příze, znázorněná žlutě, dále pak podkladová příze, která je znázorněna zeleně. Pod tkaninou je umístěn rotační chapač a cívka s podkladovou tkaninou. Na jehle, která vykonává pohyb nahoru a dolů, je připevněna svrchní příze. Po té co jehla propíchne tkaninu je svrchní příze zachycena rotačním chapačem a táhnuta ve směru od jehly čímž se vytvoří očko. Dalším otáčením chapače se skrze očko provleče spodní podkladová příze. Nakonec napínací mechanismus, který začne stahovat jehlu zpátky skrze tkaninu zatáhne očko s provlečenou podkladovou přízí, čímž způsobí utažení stehu tak, aby byly nitě překříženy co nejbližší středu tloušťky látky. Tyto pohyby jsou opakovány stále dokola, a tím vzniká řada pevných stehů. Nitě jsou odvíjeny z malých cívek, protahovány okem jehly a proplétány chapačem ve vysoké rychlosti. [2]



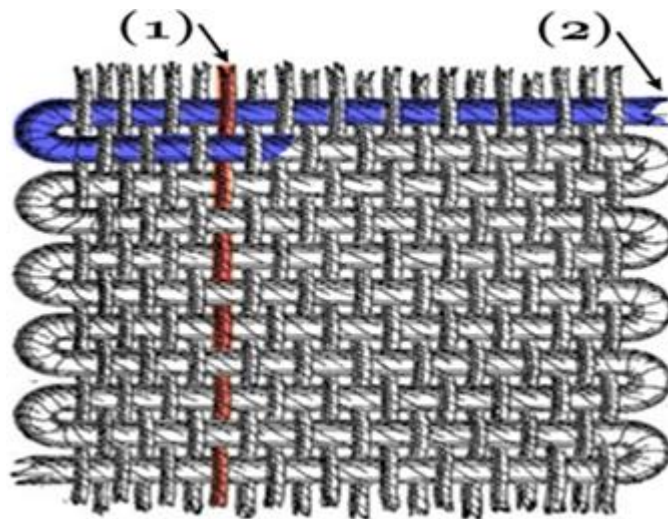
Obr. 2 Princip šicího stroje [2]

## 1.2 Vyšívání

Vyšívání se používá na zdobení oděvů a předmětů k dekoračním účelům. Lze jím vytvářet malé i velké motivy. Vyšívání se provádí pomocí jehly a nitě, která se provléká skrze textilii, čímž vytváříme motiv. Lze jej provádět ručně, nebo strojně, což je popsáno v kapitole *Strojní šití*. I v tomto případě jako u šití existuje řada různých druhů stehů, jako jsou například křížový steh, řetězkový steh, používané pro různé techniky vyšívání.[3]

Jako základní materiál pro vyšívání se používá:

- Příze – druh textilie, který se skládá z jednoho nebo více druhů vláken.
- Jehly – vyrábí se různé druhy v závislosti na technice vyšívání, na rozdíl od jehel na šití mají větší ouško pro protažení příze.
- Tkanina – většinou bavlněný materiál složený ze dvou soustav na sebe kolmých nití. Tím jsou v tkanině vytvořeny mřížky, které musí být stejné velikosti viz. Obr. 3.
- Rám – používá se pro uchycení tkaniny. Podélně je rozdělen na dvě části, mezi které se uchytí tkanina.



Obr. 3 Tkanina pro vyšívání [25]

### 1.3 Pletení

Princip pletení spočívá ve vytváření smyček z jedné nebo více nití. Spojováním smyček v řadě vznikne plošná tkanina. Použitím této techniky lze vytvořit mnoho strukturálních a vizuálních designů. Základním prvkem pletení je očko. Provázáním oček mezi sebou vzniká vazba. Očka položená vedle sebe tvoří řádek a očka položená nad sebou pak sloupek. Pletení lze také jako u předešlých technik rozdělit na ruční a strojní.

**Ruční pletení** – provádí se za použití dvou a více jehlic kdy se vlna provléká okem, které je již upletené na jehlici. Tento proces se neustále opakuje, dokud se nevytvoří konečný výrobek. Pro ruční techniku pletení vždy používáme různé průměry jehlic v závislosti na výrobku. Dále se používají pomocné jehlice různých tvarů, háčky a spony.

**Strojní pletení** – používají se průmyslové pletací stroje, na kterých je možné za pomoci CAD systémů vytvářet i složitější motivy. Tyto stroje lze rozdělit na zátažné a osnovní. Rozdíl mezi stroji spočívá ve způsobu vytvoření řádku. Pokud byl řádek vytvořen jednou nití, jedná se o stroje zátažné, pokud soustavou nití jde o stroje osnovní. Dále lze tyto stroje rozdělit podle jejich tvaru na ploché a okrouhlé. Ploché stroje mají jednotlivé jehly umístěny v řadě za sebou, zatímco u okrouhlého stroje jsou jehly osazeny po obvodu kružnice. Okrouhlé stroje lze dále ještě dělit na stroje malopřůměrové a na stroje s průměrem nad 165mm. V současnosti se nejvíce využívají stroje okrouhlé.[4]



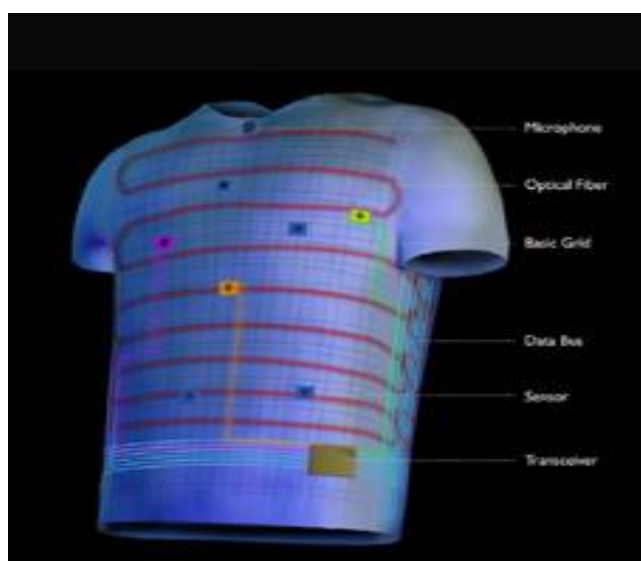
*Obr. 4 Průmyslový pletací stroj [26]*

## 2 Šití a pletení v elektrotechnice

Tyto technologie jsou v dnešní době jedním z rychle se rozvíjejících odvětví. Vodivé spoje se dají aplikovat na různé druhy textilií, různé druhy vláken a přízí. Tyto textilie a vlákna se dále využívají v různých odvětvích pro svá konkrétní využití, jako jsou například oděvy nebo antény. Jejich výhodou na rozdíl od klasických spojů tištěných na cuprexidovou destičku spočívá v jejich ohebnosti a pratelnosti. V následující části jsou popsány některé druhy těchto materiálů.

### 2.1 Smart textilie

Tyto textilie slouží pro výrobu takzvaných chytrých oděvů. Na rozdíl od klasických konvenčních textilních oděvů mají smart oděvy kromě svých běžných funkcí jako jsou ochrana před deštěm, chladem a sluncem také speciální vlastnosti dosažené díky moderním technologiím. Tyto oděvy jsou osazeny různými typy snímačů, díky nimž jsou schopny reagovat s okolním prostředím na různé mechanické, tepelné, chemické, magnetické nebo elektrické zdroje. Oděvy osazené snímači se dají využít ke snímání lidských funkcí, k detekci chemických látek a různých fyzikálních a elektrických podnětů. V dnešní době jsou tyto oděvy ve vývoji pro využití nejen jako obleky pro piloty a různé druhy bezpečnostních složek ale také pro využití v lékařském a chemickém odvětví. Do budoucna nelze vyloučit ani výroba obleků pro jiné druhy povolání.[4]



Obr. 5 Triko vyrobené ze smart textilie [4]



Smart textilie lze podle jejich funkcí a jejich reakcí na podněty rozdělit na tři základní druhy:

- **Pasivní smart textilie** – jedná se o první generaci smart textilií. Tyto látky dokáží pouze detekovat vnější podněty. Proto se také využívají jako senzory pro měření teploty, tlaku, tahu nebo pro změření koncentrace chemických látek, jako jsou například jedovaté plyny.[4,5]
- **Aktivní smart textilie** – tato druhá generace dokáže podněty detekovat a zároveň na ně zareaguje. Kromě senzorů se v textiliích nacházejí také aktuátory, které zajišťují reakci na daný podnět ze senzoru buď okamžitě, nebo pomocí centrální řídicí jednotky. Tyto textilie mohou být voděodolné, dokáží měnit barvu, mít tvarovou paměť. Dále s jejich pomocí můžeme vydávat, nebo ukládat teplo.[4,5]
- **Velmi inteligentní smart textilie** – jde o třetí generaci smart textilií. Tyto textilie dokážou podněty jak detekovat a reagovat na ně, ale také dokážou přizpůsobit svoji funkci v závislosti na okolí. Vše je řízeno centrálním počítačem. Tento druh textilie je zatím ve vývoji za spolupráce různých oborů, jako jsou elektronika, mechanika, informatika, farmacie a mnoho dalších. Tuto generaci lze rozdělit do tří vývojových částí. V první části jsou použity konvenční materiály, kdy je do textilie implementována tzv. nositelná elektronika (wearbale electronics). V druhé části jsou inteligentní funkce začleněny přímo do textilie. Jsou to například textilní display senzory na textilní bázi nebo textroda (textilní elektroda) pro snímání EKG. Ve třetí části bude mikroelektronika integrována přímo na textilní vlákno. Tento druh textilií se využívají k výrobě speciálních obleků pro kosmonauty, piloty, lékaře nebo hasiče.[4,5]

## 2.2 Elektricky vodivá vlákna

Materiály používané pro vytváření vodivých motivů na textiliích jsou přize vyrobené z vodivých polymerů, kovové přize, polymerní vlákna obsahující velké množství vodivých částic (např. uhlík, stříbro, mosaz). Jejich základní vlastností je vodivost, průměr, porozita, povrch a pevnost v tahu. Dále byly pro vytváření vodivých vláken zkoumány různé druhy látek, jako jsou vnitřně vodivé polymery jako polyanilin, polypyrrol, polyacetylen,

polythiofen, poly (p-fenylen), poly (p-fenylen vinilen) a poly(para-fenylen). Vodivost některých z těchto polymerů je tvořena překryvem orbitalů hliníku a přítomností střídavé jednoduché a dvojité vazby v polymerním řetězci. Zvýšení vodivosti je u přirozeně vodivých polymerů dosaženo za pomoci dopování. Elektrická vodivost vnitřně vodivých polymerů se pohybuje od typických izolantů (do  $10^{-10}$  S/cm) k běžným polovodičům jako je křemík (přibližně  $10^{-5}$  S/cm). Dopované polymery dosahují mnohem větší úrovně. Například jódem dopovaný acetylen dosahuje vodivosti kolem  $10^5$  S/cm, což je velikost hodnoty vodivosti blízké se kovům. Pro dopování se používají příměsi typu P (akceptory) nebo N (donory).[2]

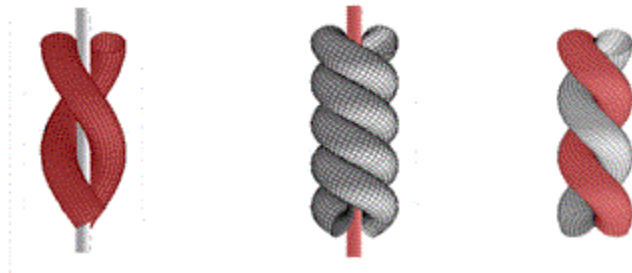
### Rozdělení elektrických vláken

**Nevodivá vlákna** - tato vlákna se používají jako izolace mezi vodivými vlákny, čímž zamezí zkratu mezi nimi. Vlákna vedoucí signál se vlivem průtoku vysokého proudu mohou zahřívat, pro tyto případy se používají taková izolační vlákna, která dokážou být jak elektricky tak i tepelně vysoce odolná, jako je například Nomex. Tyto vlákna mohou být použita při výrobě vodivého substrátu tkaním nomexové příze podél ocelových vláken. Při výběru nevodivých vláken hrají hlavní roli požadavky na jejich tepelnou odolnost, snadné zpracování a požadavky na primární funkci substrátu jako je ochrana nebo komfort.[2]

**Přirozeně vodivá vlákna** - tyto příze jsou vyrobeny jen z přirozeně vodivých materiálů, jako jsou kovy, kovové slitiny, zdroje uhlíku a konjugované polymery. Jejich geometrické uspořádání jednotlivých vláken je stejné jako u textilních nevodivých přízí. Jejich výhodou je vysoká vodivost. Za jejich nevýhodu se považuje jejich větší hmotnost a menší flexibilita a pružnost oproti textilně založeným vodivým vláknům.[2]

**Textilní vodivá vlákna** - tyto vlákna se vyrábí kombinací dvou a více vodivých a nevodivých materiálů. Vlákna se vyznačují svou flexibilitou a životností. Aby se zaručily tyto vlastnosti, je důležité dodržet správný poměr vodivých a nevodivých složek. Příze se mohou tvořit různými strukturami, jako jsou například textilní nevodivá vlákna spředená s vlákny kovovými viz. Obr. 6 dále pak tenké kovové vlákno pokryté textilními nevodivými vlákny nebo příze, která není tvořena strukturou jádro-plášť, ale vodivé vlákno je upředeno přímo do struktury příze. Dále se dají příze vyrábět přidáním vodivých plniv,

jako jsou kovový prášek, saze, uhlíkové nanoturbice nebo konjugované polymery k nevodivým polymerům jako je polypropylen, polystyren nebo polyetylen. Jako výrobní technika se často používá technika zvlákňování z taveniny nebo rozpouštění. Před spřádacím procesem se musí základní materiály dobře smíchat, aby se dosáhlo homogenního rozvrstvení vodivých částic v polymerech.[2]



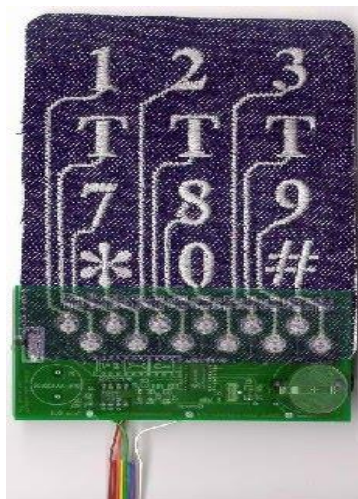
Obr. 6 Druhy struktur elektricky vodivých přízí [2]

## 2.3 Metody šití a pletení v elektrotechnice

### Metoda šití

Základní principy této metody jsou popsány v kapitole *Šití*. Při této metodě se vyšívají elektricky vodivé motivy na izolační substrát. Tento substrát může být tkaný, netkaný nebo pletený. Výhodou této techniky je, že vodivé vlákno může být do textilie všité v libovolném tvaru bez ohledu na cestu příze v textilním substrátu. S porovnáním s metodou pomocí tkaní, kde musí být vodivá vlákna ve směru osnov umístěna na vhodných pozicích, je metoda šití mnohem jednodušší, jelikož se nemusí provádět mnoho úprav šicího stroje před vyšitím vodivého vzoru do textilního substrátu. Při této metodě dochází k velkému mechanickému namáhání textilií. Příze procházejí během šití různými úrovněmi namáhání a tření, to také klade vysoké nároky na její pevnost a pružnost. Nevýhoda této techniky je, že nelze vytvářet vícevrstvé obvody z vodivých vláken vedených napříč různými vrstvami, jako v případě tkaných obvodů.

Za další metodu se dá považovat metoda obšívání. Jde o způsob, kdy je tenký vodič přiložen na textilní substrát a obšit nevodivou nití. Nedochozí tak k velkému namáhání vláken, jako u vyšívání, ale u těchto motivů nelze dosáhnout tak dobrého způsobu integrace.[2]



Obr. 7 Motiv vyšitý pomocí vodivé přize [27]

### Šicí stroj Bernina QE 750

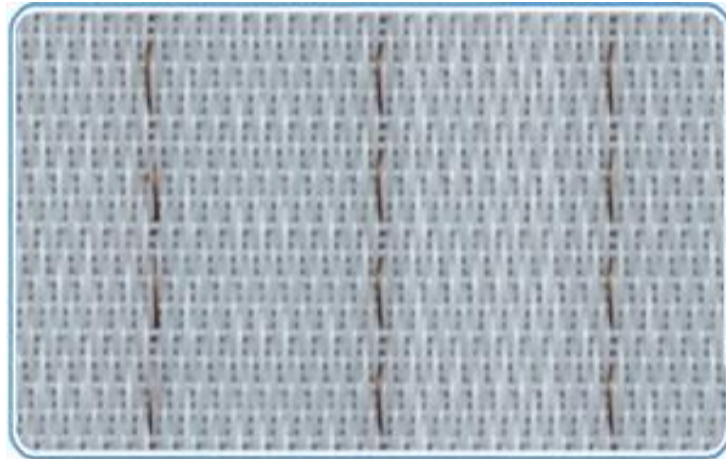
Tento elektronický šicí stroj může vyrobit až 837 druhů stehů, jeho rychlost je až 1000 stehů za minutu. Stroj umožňuje také regulaci délky a šířky stehů. Jeho volné rameno je vhodné pro šití uzavřených tvarů. Je vybaven čapačem Bernina 9, díky kterému má velmi přesný chod a zaručuje bezchybnou šíři stehů. Lze ho ovládat pomocí počítače, nebo integrovaného LCD displeje. Jeho celokovová konstrukce zaručuje silný chod a razantní průpich jakéhokoliv materiálu.[16]

### Metoda tkaní a pletení

Princip této metody spočívá v ručním nebo strojním vetkání, vpletení vodivých vláken přímo na textilní substrát.

Při tkaní na elektrických tkacích strojích je potřeba tyto stroje upravit pro tkaní elektrických obvodů. Tkací stroj umožňuje vysoký stupeň kontroly při umisťování vodivých elementů v těchto obvodech použitím žakarového systému tkaní. Tímto systémem se řeší každá osnova vláknem individuálně a tím se zpřesní kontrola pořadí proplétání vláken. Pomocí automatizovaného systému se dají vytvářet složité vzory. Tato metoda vyžaduje navržení elektrického obvodu, který je poté nahrán do řídicí jednotky žakarového tkacího stroje. Některá vodivá vlákna mohou být tužší, což vyžaduje změnu dodávacího systému samotného vlákna. Různé druhy vodivých vláken mohou být dodávány v útku (nit, která se provléká v příčném směru tkaní viz. Obr.3 nebo v plnicím

směru. Poté jsou vkládány pomocí útkových vazných bodů zajištěných tkacím strojem. Nevýhodou této techniky je, že se vodivá vlákna musí umisťovat na předem určených pevně daných místech během nastavování stroje, což způsobuje oproti metodě šití omezenost geometrie vodivého motivu. Za výhodu této technologie se dá považovat menší namáhání vodivých vláken během výroby, dále pak menší hmotnost a vyšší flexibilita.[2]



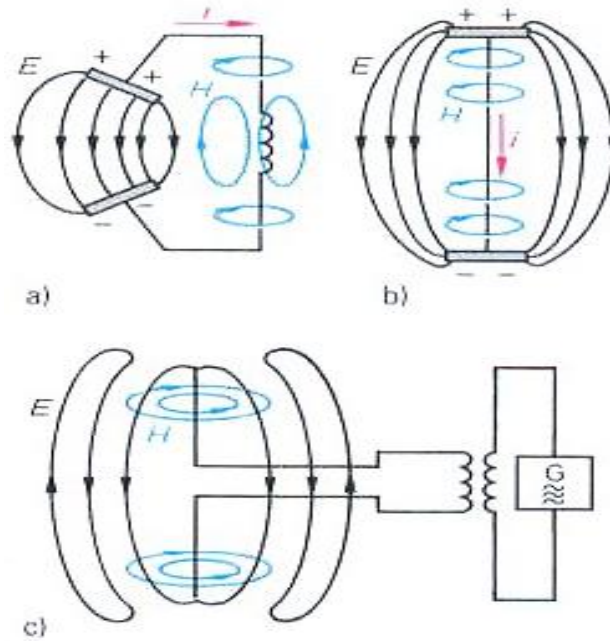
*Obr. 8 Vetkané vodivé vlákno [28]*

Proces pletení se provádí za pomoci plochých nebo okrouhlých pletacích strojů, pomocí kterých mohou být vodivé nitě vpleteny pouze v jednom směru. Výhoda této technologie spočívá ve vyšší flexibilitě a roztažnosti pleteniny.[2]

Mezi další metody lze zařadit nanášení vodivých vrstev na textilní substrát jako je například sítotisk a naprašování, které zmiňuje ve své Diplomové práci *Vyšívání pasivní elektronické součástky* pan Kovářik M. Tyto metody nevyužívají jako v předchozích kapitolách vodivou přízi, ale vodivé motivy vznikají nanášením polymerních i nepolymerních vodivých materiálů na textilní substrát. [2]

### **3 Druhy a parametry antén, antény šité a pletené**

Použití antén spočívá v bezdrátovém přenosu informací. Princip činnosti antény spočívá ve vzniku elektromagnetického vlnění. To vzniká, když v paralelním kmitavém obvodu dochází střídavě téměř k bezztrátové výměně energie mezi kondenzátorem a cívkou. V uzavřeném kmitavém (nebo rezonančním) obvodu je elektrické pole soustředěno převážně mezi deskami kondenzátoru a magnetické pole převážně v cívce a kolem ní. Pokud se desky kondenzátoru vzdalují od sebe přesouvá se elektrické pole do volného prostoru viz. Obr. 9a. Tím se stává z uzavřeného kmitavého obvodu otevřený kmitavý obvod viz. Obr. 9b čímž vzniká jednoduchý elektrický dipól. Pokud je jednoduchý dipól buzen vysokofrekvenčním napětím viz. Obr. 9c pohybují se volné elektrony v rytmu napájecího napětí od jedné strany k druhé. Ve středu dipólu je nejmenší napětí a největší proud (pohyb elektronů). Vektory elektrického a elektromagnetického pole jsou na sebe vzájemně kolmé a mění se s kmitočtem budícího napětí. Při nárůstu kmitočtu elektrického střídavého pole (rychlost změny elektrického napětí mezi konci dipólu) se velkou rychlostí vzdalují siločáry od dipólu. Pokud je takto kmitavý obvod otevřen, nevrátí se veškerá energie zpět na dipól, protože je mnoho siločar tak vzdáleno, že již nemohou vzájemně působit se vznikajícím magnetickým polem. Tato část elektrického pole se oddělí od antény. Adekvátně tomu dojde při vzájemném působení části právě zanikajícího magnetického pole s polem nově vznikajícím při opačné půlvlně budícího proudu. Toto magnetické pole se také oddělí od antény a přisune dříve oddělené elektrické pole před sebou zpět. Energie vyzářená dipólem do prostoru je nahrazována generátorem viz. Obr 9.c, který napájí dipól jeho středem.[7]

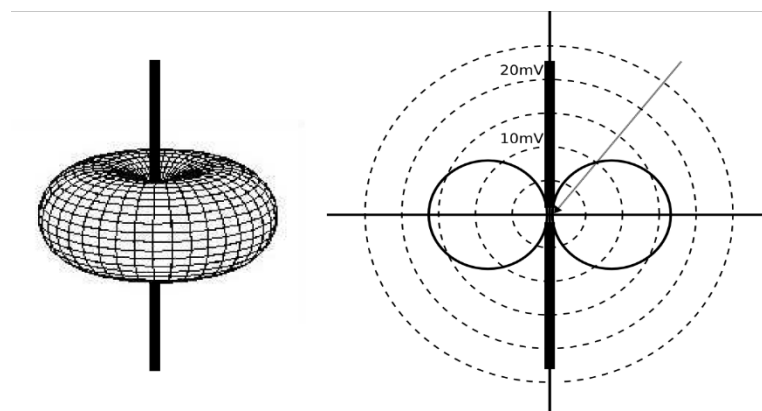


Obr. 9 Otevřený kmitavý obvod [7]

### 3.1 Parametry antén

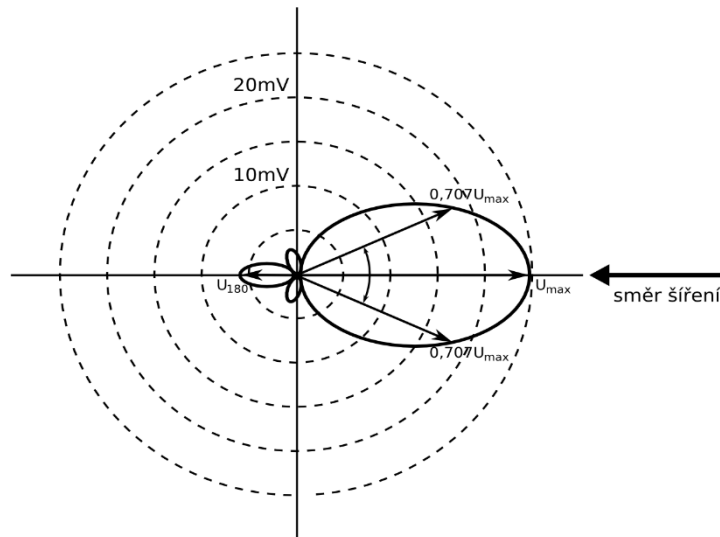
Základem přijímacích antén je zachytit signál z vysílače a přivést jej do přijímače. Anténa je součástí elektrického obvodu uzpůsobená k účinnému vyzařování elektromagnetické energie do prostoru.

**Směrová charakteristika** – Tato charakteristika udává závislost napětí na svorkách antény na směru, ze kterého elektromagnetické vlnění přichází. Obecně se jedná o zakřivenou plochu v prostoru viz. *Obr. 10*



Obr. 10 Směrová charakteristika antény [8]

**Vyzařovací úhel** – jedná se o úhel, ze kterého anténa přijímá nejvíce energie. Lze jej určit hledáním na obě strany od maximálního příjmu směru šíření, kde napětí na svorkách antény klesne o 3dB oproti maximu viz. *Obr. 11*. Čím je vyzařovací úhle menší, tím se zvyšuje směrovost antény a její zisk.



Obr. 11 Vyzařovací úhel antény [8]

**Zisk** – je definován jako poměr intenzity vyzařování dané antény k intenzitě vyzařování referenční antény (izotropní anténa, ideální půlvlnný dipól).

**Impedance** – je to poměr napětí a proudu na svorkách antény. Obecně je impedance komplexní. Pro přenos je nejlepší impedance reálná, čímž nevzniká stojatí vlnění a všechna energie proudí buďto do antény, nebo z ní. Pokud má některá z částí systému impedanci odlišnou, může docházet ke ztrátám a nežádoucím odrazům.

**Šum** – šum je tvořen v zesilovači ze strany přijímače. Je odvíjen od kvality přijímače a od kvality signálu, který mu anténa dodává. Samotná anténa žádný šum nevydává.

**Činitel jakosti** – jedná se o podíl uložené a ztracené energie (vyzářením a ztrátami) za jednotku času.

**S – parametry** – udávají vstupně výstupní vztahy mezi dvěma porty v elektrickém systému.



**Vstupní činitel odrazu S11** – Pokud je parametr  $S_{11} = 0$  dB, potom je celá energie odražena od antény a anténa nevyzařuje

**Předozadní poměr** – udává poměr napětí získaného v přímém směru a napětí získaného ve směru opačném. U většiny antén se požaduje, aby byl předozadní poměr co největší.[5,8]

### 3.2 Rozdělení antén

Podle připojení vodiče k anténě dělíme antény na zemněné a nezemněné:

- **Zemněné antény** – u těchto antén připojujeme střední vodič koaxiálního kabelu na zářič antény a stínění na umělou zem konstrukce antény. Koaxiální kabel lze připojit přímo do antény bez jakýchkoli dalších obvodů což lze označit za výhodu antény.
- **Nezemněné antény** – u těchto antén se oba dráty napáječe připojují na zářič (zářiče). Jelikož jsou tyto antény nezemněné, využívá se pro připojení symetrizační obvod. Tyto obvody slouží pro účinnější napájení symetrických antén nesymetrickými napáječi – koaxiálními kabely. Obvody lze rozdělit na úzkopásmové (různé rezonanční obvody jako jsou čtvrtlenné rukávové, půlvlenné smyčkové), širokopásmové např. pro KV pásma (ty lze dělit na proudové a napěťové). Nevýhodou těchto obvodů je, že zavedou do antény také nežádoucí útlum.[8,10]

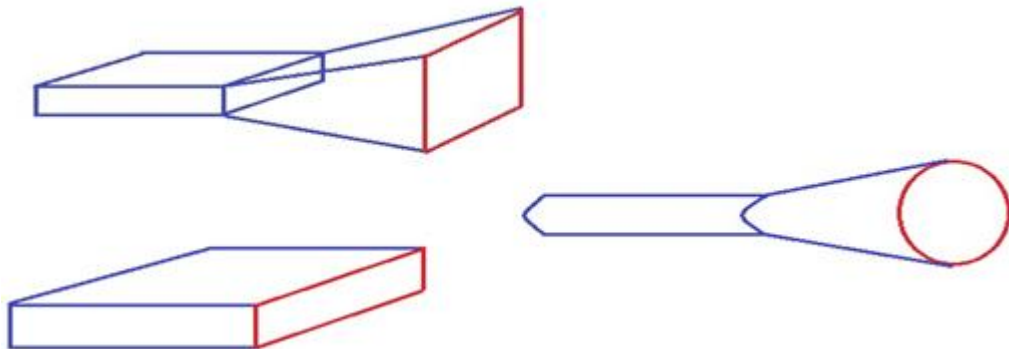
Rozdělení antén podle uspořádání elementárních zdrojů:

- **Lineární antény** – jako elementární zdroje se používají tenké krátké vodiče (elementární dipóly), které jsou rozloženy do různých konfigurací drátů nebo pásků. Antény se využívají jak pro nižší frekvence, tak i pro frekvence v řádu GHz.
- **Plošné antény** – Elementárními zdroji jsou zde Huyghensovy zdroje (elementární plošky). Používají se především pro centimetrové vlny. Mezi tyto antény patří antény trychtýřové, reflektorové a antény čočky.

- **Magnetické antény** – jako elementární zdroje se zde zavádějí elementy protékané fiktivním magnetickým proudem. Do tohoto typu antén patří rámové a feritové antény.

Dále lze antény dělit podle tvaru:

- **Plošné antény** – antény vyzařují skrze výstupní plochu, která může mít tvar vlnovodného ústí, trychtýře, obdélníkového nebo kruhového viz. Obr. 12.



Obr. 12 Příklady tvarů plošných antén

- **Drátové antény** – tyto antény jsou založeny na vyzařování vodičů nebo soustav vodičů. Charakteristickým rysem je převládající délka nad průměrem vodiče. Příklady tvarů antén jsou na Obr. 13[11]

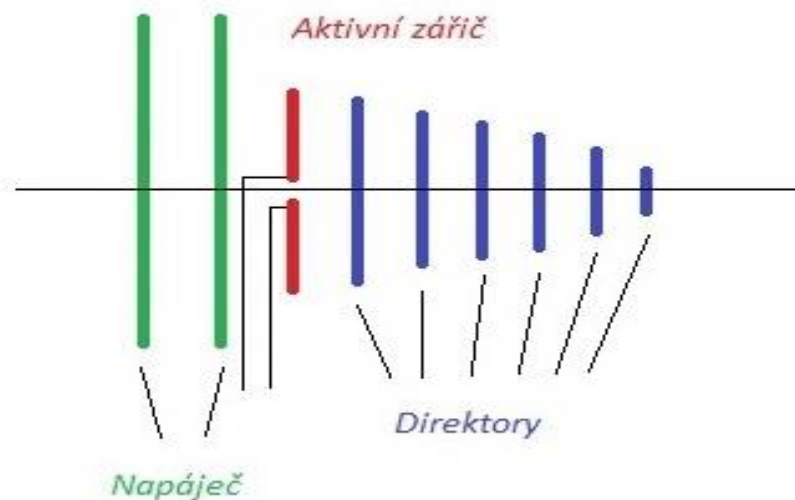


Obr. 13 Příklady tvarů drátových antén

- **Reflektorové antény** – jsou složeny ze zářiče a reflektoru. Reflektor směřuje vlny z primárního zářiče do volného prostoru, dle určitých požadavků, nejčastěji pro vytvoření rovinné vlny v prostoru. K tomuto účelu se nejčastěji

užívá reflektor ve tvaru paraboloidu, kde se umísťuje primární zářič do jeho ohniska.

- **Anténní čočky** – jejich konstrukce je podobná jako u optických čoček. Jejich povrch může být konvexního, rovinného nebo konkávního tvaru. Vlastnosti antén určuje také použitý materiál, který je také důležitý pro index lomu  $n$ . Stejně jako u reflektorových antén i zde zářič umísťuje do ohniska čočky. Na druhé straně je potom tvar rovinné vlny.
- **Anténní řady** – u těchto antén se využívají různé typy antén, které byly popsány v předcházejících bodech. Tyto typy seskupují do spojitých struktur v řadách (horizontálních, vertikálních), plochách, trojrozměrných prostorech nebo v jejich kombinacích. Nejrozšířenějším typem těchto antén jsou Yagiho anténní řady, kde je aktivní zářič vytvořený složeným dipólem viz. Obr. 14[8,11]

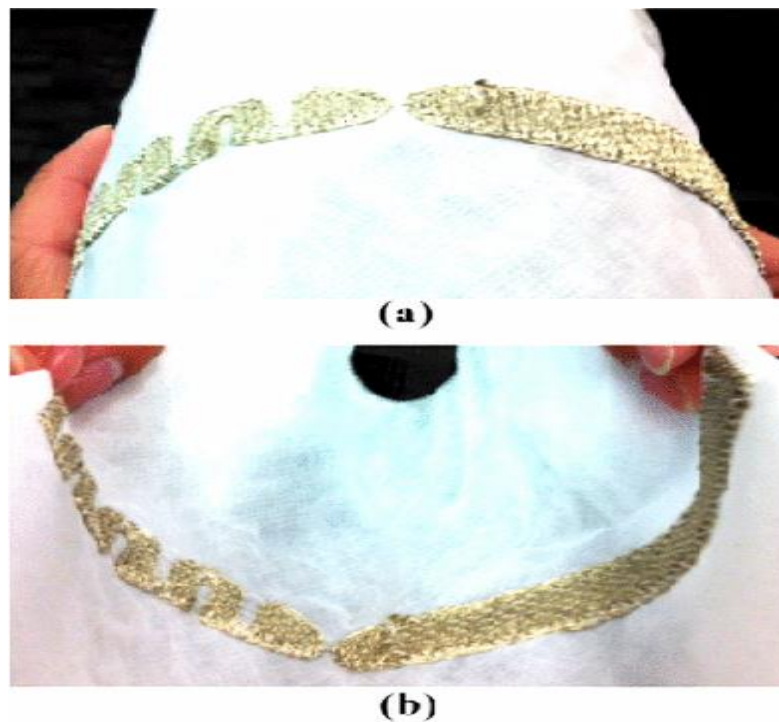


Obr. 14 Yagiho anténa

### 3.3 Pletené a vyšívané antény

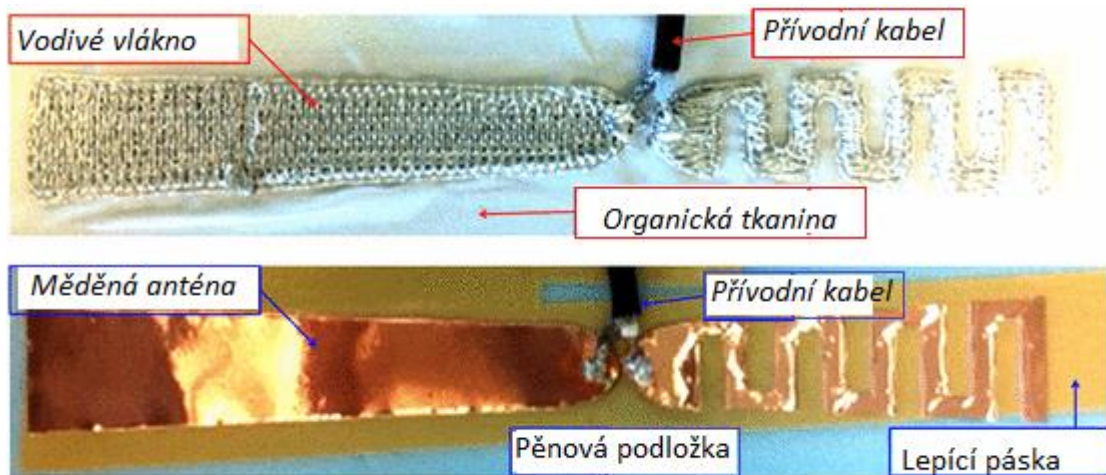
**Vyšívané antény** – jako příklad uvedeme studii, kde byla za pomoci techniky vyšívání vyrobena dipólová anténa pracující v pásmu 500–600 MHz viz. Obr. 15. Jako vodivý materiál byly použity Zylonová vlákna potažená stříbrem. Za účelem prozkoumání vlivu antény na lidský organizmus byl vzorek testován na lidském fantomu (v radiodiagnostice

se jedná o objekt, který se určitými vlastnostmi podobá lidskému tělu). Dále byla vyrobena duplicitní anténa zkonstruovaná z mědi. U těchto antén byl porovnán výsledný výkon. Vlákna použité na výrobu antény mají vynikající mechanickou pevnost, jsou pružná a mají velmi nízký měrný odpor  $0,8 \Omega/\text{m}$ . Pomocí digitálně řízené techniky byl vyšívací proces speciálně přizpůsoben pro vyšívání vodivých vláken s vysokou vodivostí. Vlákna byla vyšívána geometrií dipólu na polyesterovou tkaninu. Pro minimalizaci fyzikální nespojitosti a dosažení vysoké hustoty šití pro zvýšení vodivosti vyšívaného povrchu byla použita dvojitá vyšívání (vyšívání druhé vrstvy na pravé straně druhé vrstvy). Ve výsledku byly diskontinuity povrchu vodivého vlákna mnohem menší, než  $\lambda/20$ , což je vlnová délka volného prostoru při provozní frekvenci.[12]

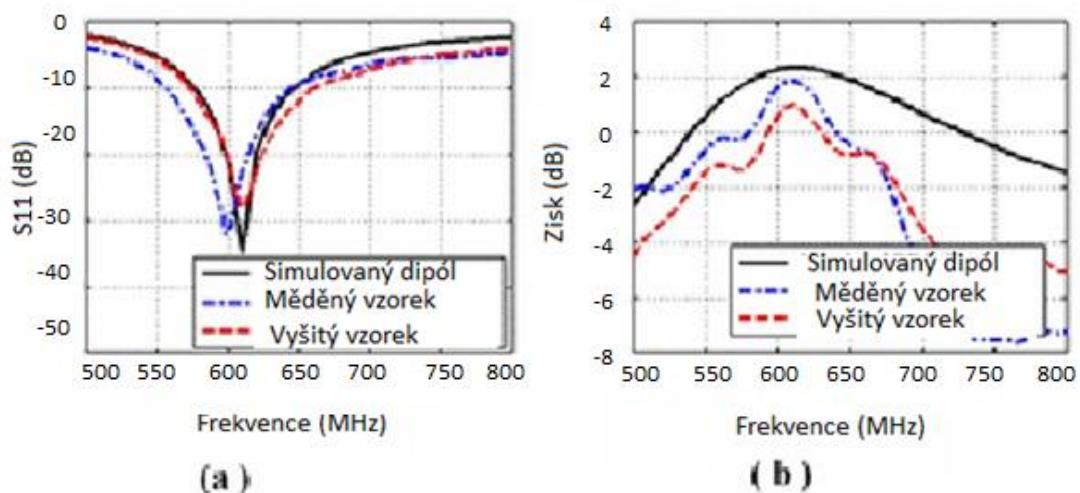


Obr. 15 Anténa vyrobená ze Zylonových vláken [12]

Anténa byla napájena pomocí koaxiálního kabelu viz. Obr. 16. Následně byly u obou antén provedeny testy ve venkovním prostředí. Z grafu 17a je vidět, že vzorek zhotovený pomocí vyšívání má lepší parametr  $S_{11}$ , než vzorek zhotovený z mědi, je zde také patrný posuv frekvence. Z obrázku 17b je zřejmé, že realizovaný zisk antény vyrobené z vodivých vláken je o 2 dB nižší, než u vzorku vyrobeného z mědi. To naznačuje, že vyšívaná vodivá vlákna se u UHF frekvencí chovají stejně podobně jako kontinuální vodivý povrch, ale s vyššími ztrátami, které způsobuje nízká hustota vláken.[12]



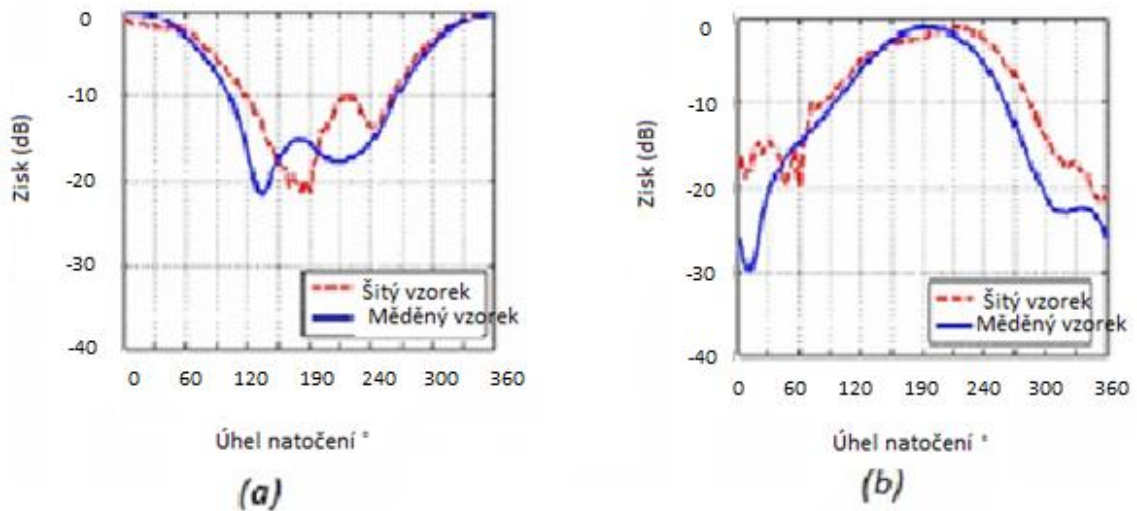
Obr. 16 Horní část obrázku: anténa z vodivých vláken, spodní část obrázku: duplicitní anténa vyrobená z mědi [12]



Obr. 17 Testování antén ve venkovním prostředí (a) parametr  $S_{11}$ , (b) realizovaný zisk antén [12]

Dále byly testovány frekvenční výkony obou antén na fantomovém trupu, který byl naplněn kapalinou, která svým složením emuluje lidskou tkáň. Měření bylo provedeno na různých místech trupu. Antény byly připevněny nejprve na přední a zadní část trupu. Snímání bylo prováděno kolem celého trupu. Na Obr. 18. jsou znázorněny charakteristiky s naměřenými hodnotami vzorků při uchycení na přední a zadní části trupu. Naměřené průběhy hodnot zisků na přední části trupu jsou podobné. Rozdíl nastává pouze při měření mezi  $120^{\circ}$ - $240^{\circ}$ , kdy vykazovaly vzorky rozdílné hodnoty v řádu 10 dB. To samé nastalo i při měření vzorků připevněných na zadní straně trupu. Je patrný větší rozdíl až 15 dB na

úrovni od  $0^\circ$  do  $30^\circ$ . Bylo zjištěno, že nejvyšší zisk textilní antény na trupu byl  $-5$  dB, čímž byla hodnota kovového vzorku srovnávána a je vhodná pro aplikaci na tělo. To naznačuje, že použití více textilních antén umístěných na těle může vést k všesměrovému příjmu azimutového úhlu.[12]



Obr. 18 Výsledné charakteristiky testovaných vzorků při uchycení na přední části trupu (a) a na zadní části trupu (b) [12]

Postupným měřením bylo zjištěno, že navržená textilní anténa nabízí žádoucí mechanické a elektrické výkony pro aplikace používané na lidské tělo při radiových kmitočtech. Dále se zjistilo, že výkony antény jsou srovnatelné s výkony měděné antény. Rezonanční frekvence obou antén byla shodná. Rozdíl nastal pouze u výkonu zesílení o 1dB, při volně zavěšené anténě. Při dalším testování antén na fantomovém trupu byly výsledky také shodné. Vzhledem k velmi shodným mechanickým a frekvenčním vlastnostem je navržení textilní antény velmi slibné pro konformní komunikaci s tělem.[12]

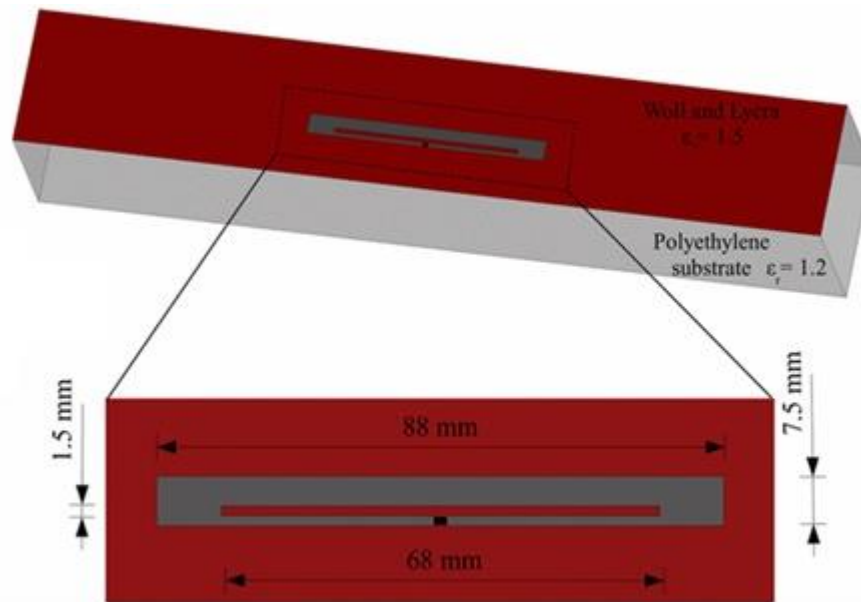
**Pletené antény** jako příklad si uvedeme pletenou dipólovou anténu, která je současně s RFID čipem značky Murata MAGICSTRAP použita v moderním oděvu pro kojence s respiračními problémy. Pomocí tohoto oděvu lze sledovat, zda kojeneček netrpí spánkovou apnoí, která by mohla vést až ke kardiorespirační zástavě. Dnes tuto funkci plní objemné přístroje, na které je kojeneček napojen pomocí dvou elektrod, které má připojené na hrudi a v podpaží. To funguje na principu změny impedance, podle toho, jak se při dýchání kojence elektrody od sebe vzájemně oddalují, nebo přibližují.[13]



konjugátorů a tím i maximální dodávání energie mezi mikročipem a anténou. Z tohoto důvodu byla navržena složená dipólová anténa, která má dvě hlavní charakteristiky odpovídající požadavkům systému. Jako první se jedná o smyčkovou strukturu v procesu pletení, která umožňuje dosáhnout takové reaktance, která je potřeba pro správnou sdruženou konjugaci s RFID čipem. Za druhé jde o jednoduché rovinné uspořádání, které dělá složenou dipólovou architekturu vhodnou pro pletací stroje, přičemž dovoluje vyrovnání vodivého vlákna ve směru maximálního proudu.[14]

Další důležitou částí bylo modelování návrhu antény. Při navrhování veškerých pletených nebo vyšívaných konstrukcí nelze tyto konstrukce brát jako čistě vodivou vrstvu, což je způsobeno mezerami mezi vytvořenými oky. Oproti vodivému měděnému vzorku vykazují tyto pletené, nebo šité struktury vyšší elektrickou délku. Z těchto důvodů by vodivé uspořádání mělo být modelováno impedancí  $Z_s$ , která se skládá z odporové a imaginární části a je vyjádřena v  $\Omega/m^2$ . V tomto případě odpor odpovídá ohmickým ztrátám, imaginární část utváří vstupní reaktanci antény způsobenou pletenými smyčkami. Na obrázku 1.20. je znázorněn 3D model navrhované antény. Systém byl modelován a simulován vysokofrekvenčním simulátorem struktury (HFSS). Jelikož se jedná o konstrukci skládaného dipólu, který má ve svém středu otvor, jehož změnou šířky a délky lze změnit přizpůsobení impedance, v tomto případě na rezonanční frekvenci 870 MHz, je tímto dipól pro celou konstrukci nejvhodnějším řešením. Dále byla provedena série parametrických simulací, které byly porovnány s naměřeným prototypem. Tím bylo zjištěno, že nejvhodnější impedance  $Z_s=0,2 - j2,6 \Omega/m^2$ . Z obrázku 20 je vidět umístění antény na nosném polyethilenovém substrátu. Jsou zde znázorněny i rozměry antény a délka vnitřního slotu. Vnější rozměry jsou  $W_{total}=7,5 \text{ mm}$ ,  $L_{total}=88 \text{ mm}$  a vnitřní délka slotu je  $W_{slot}=1,5 \text{ mm}$  a  $L_{slot}=68 \text{ mm}$ . Vše muselo být přizpůsobeno impedanci RFID čipu ( $Z_c=25-j200 \Omega$ ). [14]





Obr. 20 3D model navrhované antény [14]

Po naladění vhodné impedance antény potřebné pro složité sdružené konjugátory při rezonanční frekvenci 870 MHz, bylo nutno spočítat koeficient přenosu energie  $\tau$  podle vzorce:

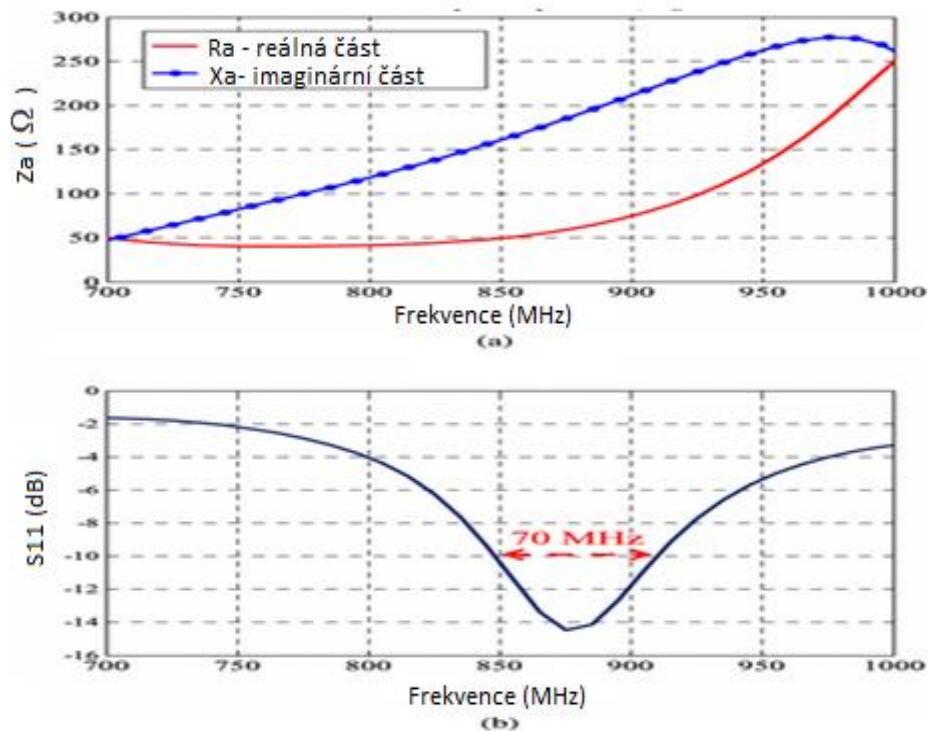
$$\tau = \frac{4R_a R_c}{|Z_a + Z_c|^2} \quad (1)$$

Z tohoto vzorce byla odvozena rovnice pro impedanci  $Z_a$ , kde  $Z_a = R_a + jX_a$  a  $Z_c = R_c + jX_c$  jsou simulovaná vstupní impedance antény a charakteristická impedance mikročipu. Dále byl vypočítán parametr S11 podle vzorce:

$$S_{11} = 20 \log_{10}(1 - \tau) \text{ [dB]} \quad (2)$$

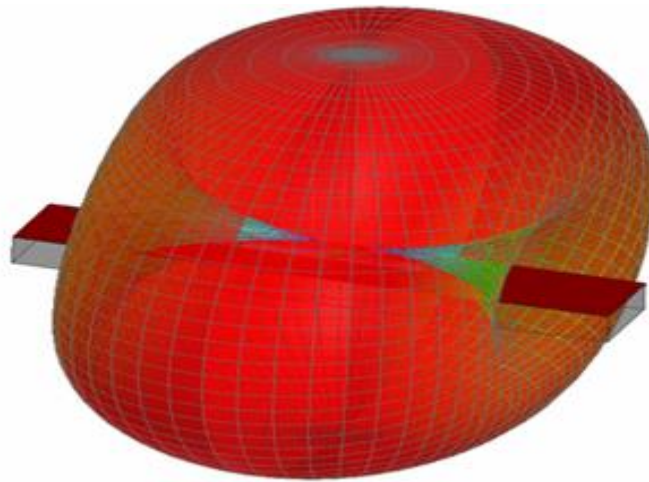
V programu HFSS bylo pomocí editoru rovnic možno nasimulovat hodnoty v reálném čase. Na obrázku 21a je znázorněna vstupní impedance antény  $Z_a$ . Komplexní impedance  $Z_a$  byla při požadované rezonanční frekvenci 870 MHz,  $Z_a = 57,1 + j180,2 \ \Omega$ . Na obrázku 21b je znázorněn činitel odrazu S11 pro stejný kmitočet 870 MHz. Bylo zaznamenáno, že skutečná část vstupní impedance je vyšší, než byla předpokládána. Odchylna je způsobena konečným laděním pro přizpůsobení impedance skutečnému naměřenému prototypu.

Výsledná vstupní impedance je vhodná jak pro komplexní geometrii antény, tak pro komplexní impedanci používanou pro modelování vodivé textilie. Šířka pásma parametru  $S_{11}$  je přibližně 70 MHz, jeho rezonanční frekvence 870 MHz je vhodná pro propojení s RFID čipem, který pracuje ve frekvenčním pásmu od 860 do 915 MHz[14]



Obr. 21 Charakteristiky vytvořené pomocí simulace: (a) vstupní impedance antény (b) parametr  $S_{11}$ , šířka pásma 70MHz [14]

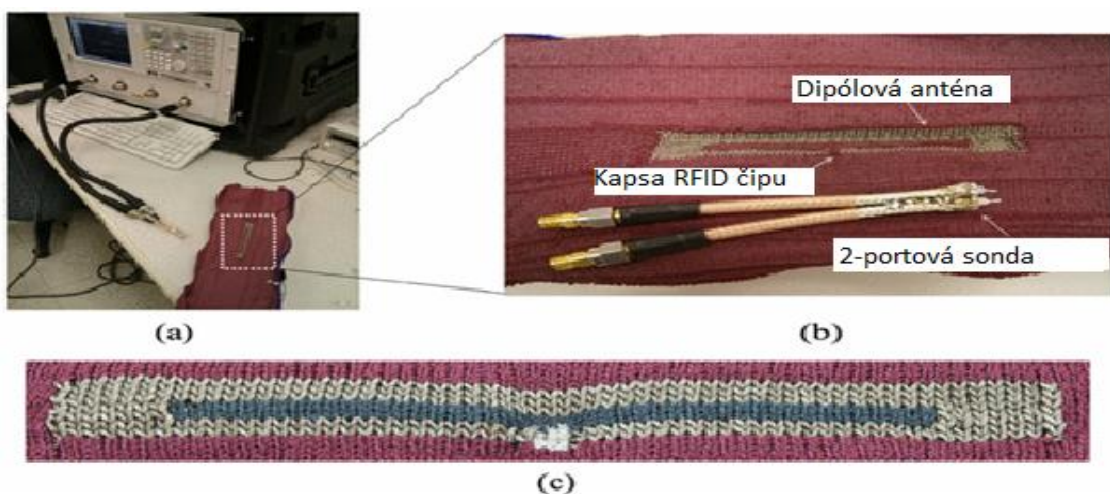
Na obrázku 22. je vyobrazena vyzařovací charakteristika aplikované antény. Je velmi podobná vyzařovací charakteristice běžného dipólu. Z obrázku je vidět, že maximální intenzita proudu nastává podél dvou hlavních okrajů, zatímco malé intenzity dosahuje podél okrajů krátkých. Maximální zisk antény je přibližně 0,8 dB. 14]



Obr. 22 Vyzářovací charakteristika simulované antény[14]

Vstupní impedance reálného vzorku byla měřena pomocí síťového analyzátoru se dvěma porty, jak je znázorněno na obrázku 23a. Anténní prvek byl vyroben dvěma  $\lambda/4$  koaxiálními kabely zakončenými SMA konektorem, které jsou znázorněny na obrázku 23b. Druhé dva konce koaxiálních kabelů byly stíněnými propojeny do sebe a vodivými středy byly zapojeny do antény. Naměřené hodnoty S parametrů byly zadány do MATLABu, aby bylo možno vypočítat impedanci antény  $Z_a$  ze vzorce:

$$Z_a = R_a + jX_a = 2Z_0 \frac{(1-S_{11}^2+S_{21}^2-2S_{12})}{((1-S_{11})^2-S_{21}^2)} [\Omega] \quad (3)$$

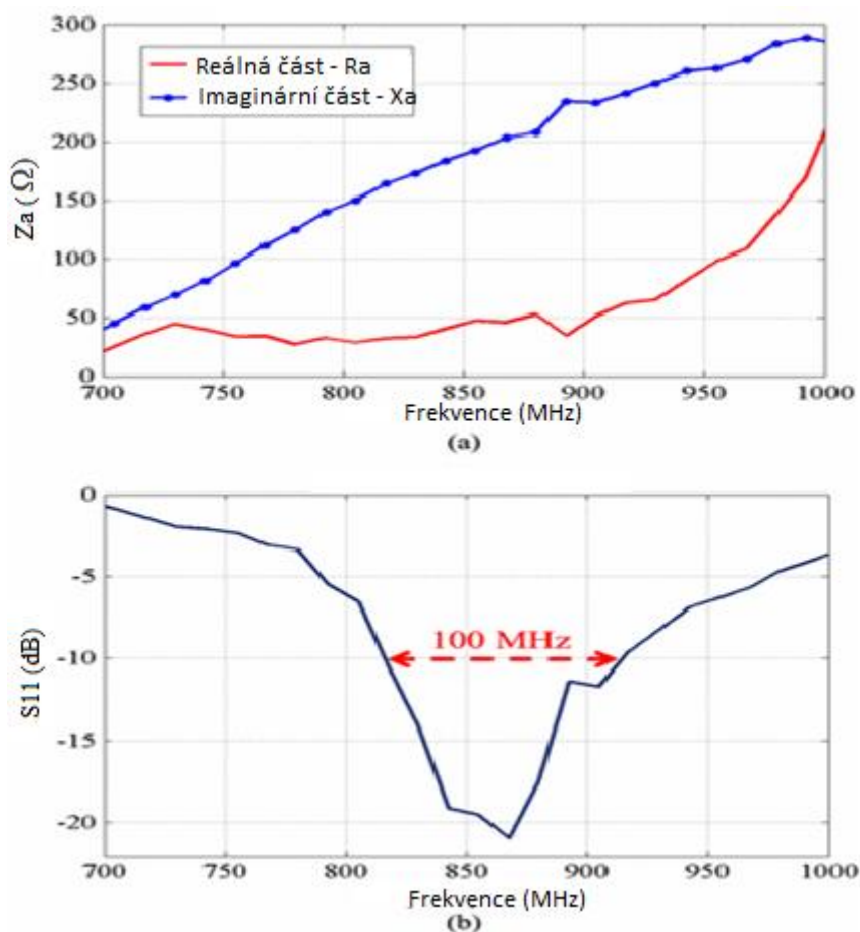


Obr. 23 Měření reálného vzorku na síťovém analyzátoru [14]

Přičemž byla počítána impedance síťového analyzátoru  $Z_0$ , která má hodnotu  $50 \Omega$ . U antény lze předpokládat symetrické vyvážení, tím se dá předpokládat, že parametr  $S_{11}=S_{22}$  a  $S_{12}=S_{21}$ . Po určení impedance  $Z_a$  byl vypočítán parametr  $S_{11}$  ze vzorce:

$$S_{11}=20\log_{10}(1-\tau) \text{ [dB]} \quad (4)$$

Výsledné hodnoty měření ukázali, že při rezonanční frekvenci 870 MHz je impedance  $Z_a=49,5+j205,0 \Omega$ , což je dobrá shoda konjugátoru s impedancí  $Z_c$  RFID čipu. Z obrázku 24 je vidět že naměřená ztráta reálného vzorku oproti simulaci je 30 MHz, to má za následek zvětšení šířky pásma o 10 dB. To měl za následek Q faktor (poměr mezi energií uloženou v reaktivním poli a vyzářenou energií), který je více ztrátový.[14]



Obr. 24(a) Naměřená část vstupní impedance antény (b) parametr  $S_{11}$ , šířka pásma 100MHz [14]

Závěrečná měření tedy ukázala, že dipólová anténa je impedancečně přizpůsobena s indukčně vázaným RFID čipem. Výpočet komplexní impedance ramen antény byl

důležitý pro zjištění ztrát a parazitických účinků vodivé přize. Při měření byl mezi nasimulovaným a zhotoveným vzorkem rozdíl parametru  $S_{11}$  30 dB. Měření vstupní impedance ukázalo dobrou shodu se simulací a vyzářovací charakteristika antény se podobá předpokládané direktivně typické pro dipólovou anténu. Z výsledků bylo prokázáno, že pletené dipólové antény spolu s indukčně vázaným RFID čipem jsou vhodné pro finální projekt pro sledování biomedicínských parametrů.[14]

## 4 Návrh a realizace šité antény

### 4.1 Fraktály, obrazce používané pro návrh antén

Fraktály jsou nepravidelné geometrické objekty, které lze dělit na jednotlivé části, přičemž každá z částí je v ideálním případě zmenšenou kopií původního celku. Jedná se tedy o množiny, jejichž geometrický motiv se opakuje v základním tělese.[17]

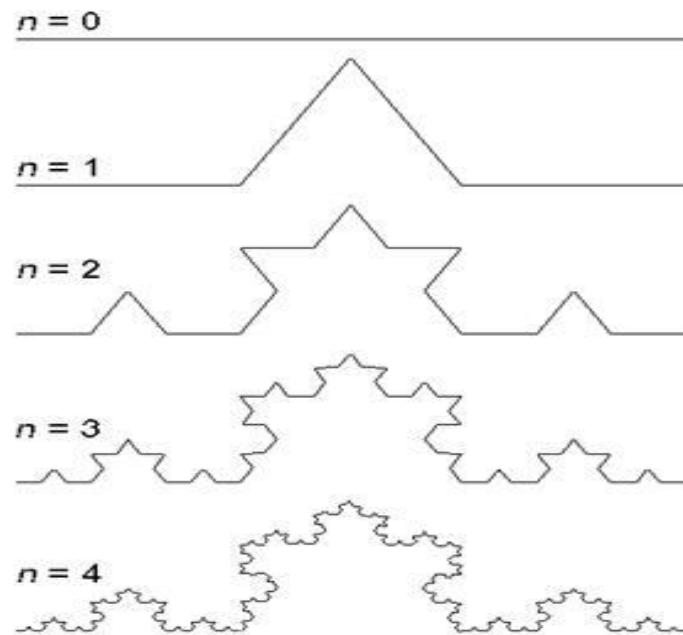
Fraktály lze rozdělit podle algoritmu konstrukce:

- IFS (Iteration Function System) – tento fraktál používá transformací, které se cyklicky opakují.
- TEA (Time Escape Algorithms) – jedná se o algoritmus provádějící iterace pro uživatelsky stanovené hranice a konstrukci využívá komplexní rovinu.

Dále lze fraktály dělit na:

- Deterministické (pravidelné).
- Stochastické (náhodné).
- Soběpodobné – vznikají při použití kontraktivních transformací.
- Soběpříbuzné – vznik při afinních transformacích[18].

Tyto obrazce lze také využít při návrhu antén. Jejich tvary dodávají anténám lepší parametry pro zachycení širokého spektra frekvencí. Jedním z obrazců je například Van Kochova křivka (Van Kochova vločka) viz. Obr 25. Tato křivka vznikne rozdělením úsečky velikosti 1 na 3 stejně dlouhé části, z kterých se zkonstruuje rovnostranný trojúhelník se základnou v prostřední části. Prostřední část se nahradí zbývajícími dvěma stranami tohoto trojúhelníku, čímž vznikne čára tvořená čtyřmi úsečkami o  $1/3$ . Každou z těchto úseček rozdělíme na tři stejně dlouhé úsečky a každou prostřední opět nahradíme dvěma stranami rovnostranného trojúhelníku. Tímto procesem v limitě definujeme geometrický objekt.[19]



Obr. 25 Kochova křivka [29]

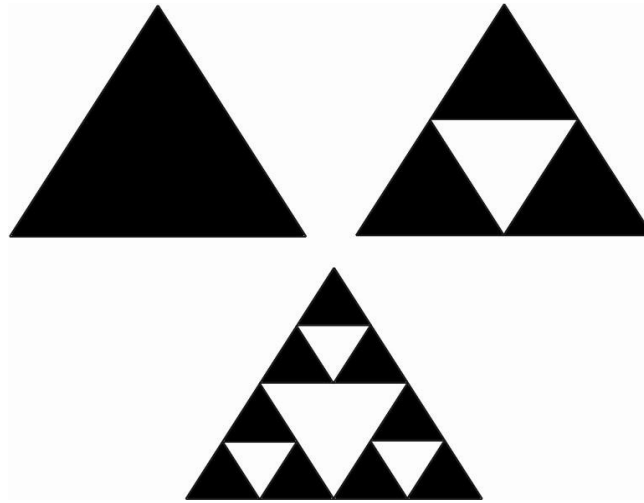
Sierpinského trojúhelník je pojmenován po polském matematikovi Waclawu Sierpinskem, který ho popsal již v roce 1915. Pro tento obrazec platí, že každý bod Sierpinského trojúhelníku je bodem útvaru, i geometrický střed tohoto bodu a vrcholu trojúhelníku. Jedná se o jeden z dalších fraktálních obrazců, který je vhodný pro návrh antény. Jeho motiv dodává anténě její specifické parametry. Pomocí tohoto obrazce lze u antény dosáhnout tří rezonančních frekvencí. Antény vytvořené pomocí tohoto obrazce mohou být ovládány jako vícepásmové.[15]

Na obrázku 28 je znázorněno základní vytvoření Sierpinského trojúhelníku.

#### Postup pro vytvoření obrazce:

- V první části je vytvořen první rovnostranný trojúhelník.
- Ve druhé části se původně vytvořený rovnostranný trojúhelník dělí na 4 malé rovnostranné trojúhelníky, které mají stejné rozměry. Trojúhelník, který vznikne uprostřed obrazce je vyjmut.
- Ve třetí části se je postupováno stejně jako v části druhé: každý ze 3 vytvořených trojúhelníků je rozdělen na další 4 trojúhelníky, přičemž středové trojúhelníky jsou vždy vyjmuty.

Tento postup je možno opakovat. V případě vytvoření antény byl proces proveden pouze třikrát z důvodu špatného vyšívaní miniaturních vzorů na šicím stroji.

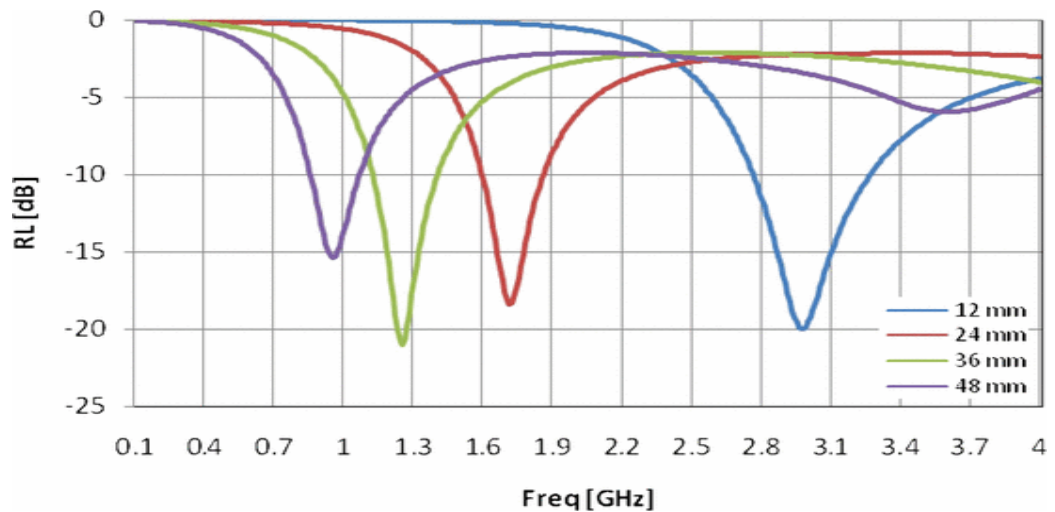


Obr. 26 Sierpinského trojúhelník [21]

## 4.2 Fraktální Bowtie anténa

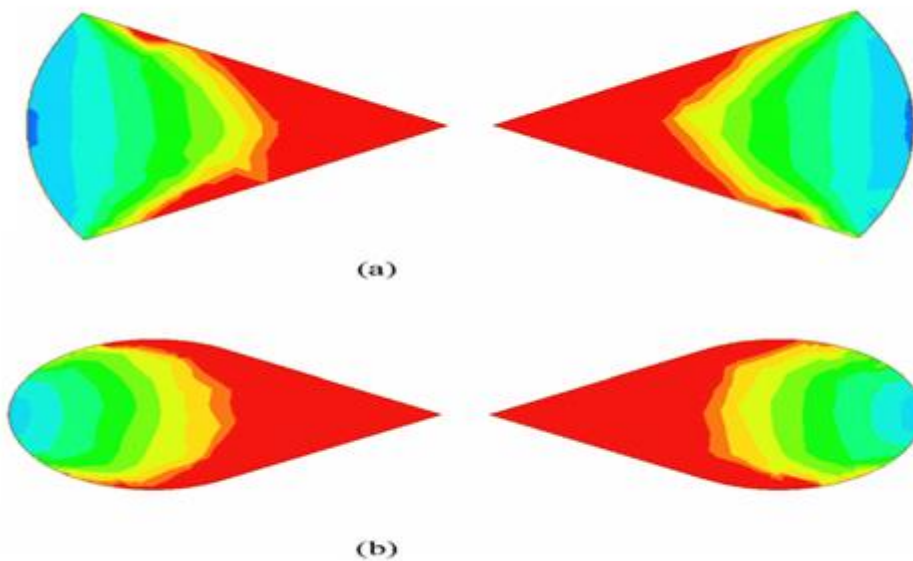
Fraktální antény se odlišují od klasických konvenčních antén tím, že na rozdíl od konvenčních antén, které jsou navrženy tak, že pracují v úzkém pásmu, obvykle 10 – 40% kolem středu hlavní frekvence, jsou fraktální antény navrženy jako vícepásmové antény. Tyto antény jsou určeny k provozu v několika frekvenčních pásmech. Pokud se jedná o Bowtie (odvozeno od tvaru antény, který připomíná pánského motýlka), jedná se o širokopásmovou až ultraširokopásmovou anténu. Anténa se vyznačuje svou dobrou citlivostí, přesností a vzhledem k poměrně jednoduchému motivu ji lze také snadno vyrobit. Díky těmto vlastnostem byla tato anténa v několika studiích různě modifikována pro získání frekvenčních parametrů. Byly jí například měněny poloměry ramena, což způsobovalo změnu rezonanční frekvence viz. Obr.27. Poloměry byly zvoleny ve vzdálenostech 12 mm, 24 mm, 36 mm a 48 mm, přičemž výsledné hodnoty rezonanční frekvence dosahovaly hodnot 2,97 GHz, 1,71 GHz, 1,25 GHz a 0,95 GHz. Rezonanční frekvenci je možné změnit také změnou mezery mezi rameny antény.[20]





Obr. 27 Porovnání změny rezonanční frekvence v závislosti na změně poloměru ramen antény [20]

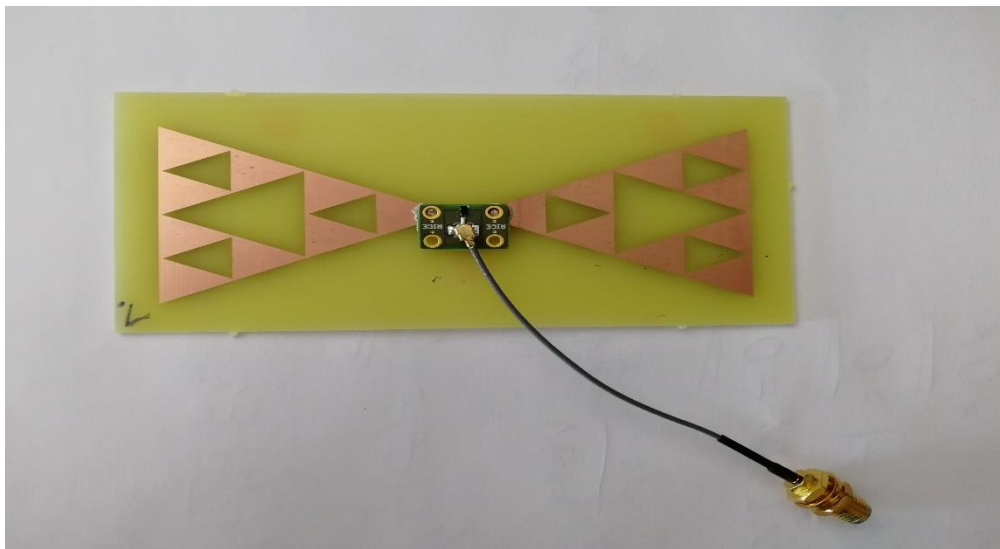
Další studie dokázala, jak je možné změnou tvaru zakřiveného konce antény zlepšit její přijímaný signál viz. Obr 28[20]



Obr. 28 Proudová hustota při frekvenci 1,3 GHz (a) Bowtie anténa, (b) modifikovaná Bowtie anténa [20]

### 4.3 Testovaná fraktální Bowtie anténa

Navržená anténa byla realizována pomocí metody šití, která je popsána v kapitole 2.3. Pro porovnání bylo měření provedeno na měděném vzorku zhotoveného na DPS viz. Obr. 29 a na komerční anténě viz. Obr 30. Tyto vzorky byly testovány na integrovaném analyzátoru signálu Sparq 3002. U vzorků byly změřeny a porovnány jejich frekvenční charakteristiky.



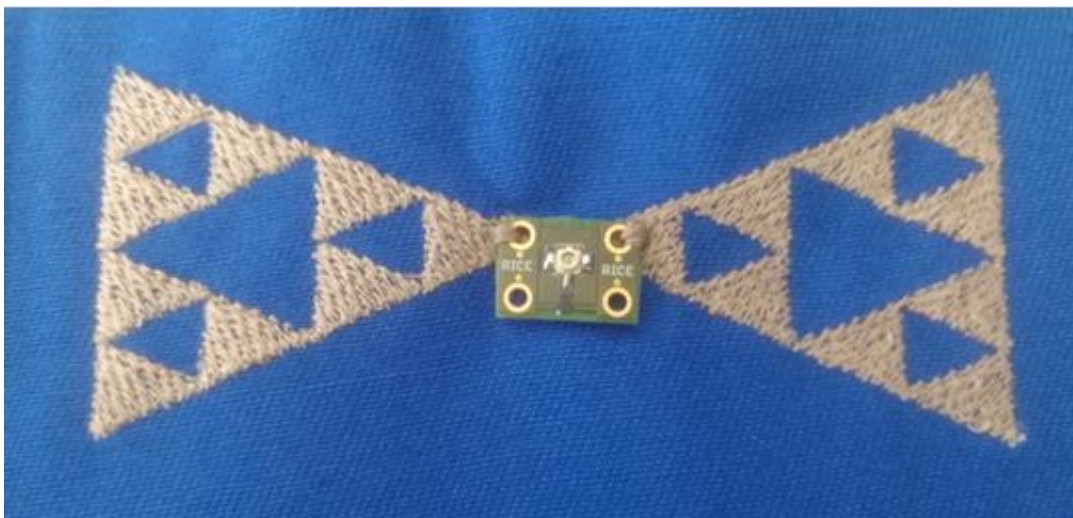
Obr. 29 Vzorek Bowtie antény zhotovený na DPS



Obr. 30 Komerční anténa

Testovaná fraktální anténa je na obrázku 31. Zhotovena je na šicím stroji Bernina QE 750, který je popsán v kapitole 2.3. Za podkladový materiál se použila textilní tkanina, na kterou se poté vodivou přízí vyšil vzor antény. Jako motiv byl vybrán Sierpinského

trojúhelník, tím anténa dosahovala tří rezonančních frekvencí, což způsobují vyšité vzorce trojúhelníku v ramenech antény. Z důvodu připojení vzorku k měřicímu přístroji bylo nutné k anténě připojit tištěný spoj s UFL konektorem, přes který dále pokračuje signál z antény do různých periferních zařízení. V tomto případě se jednalo o měřicí přístroj. Jako varianta upevnění byla zvolena hybridní mosazná vodivá nit, pomocí které se jednoduše tištěný spoj přišije k ramenům antény. Jako další metodu upevnění lze zvolit i metodu lepení, která je popsána níže (tato metoda však byla z důvodu dlouhého časového intervalu vytvrzení lepidla zamítnuta). Dále se na tištěném spoji nachází pasivní převodník Balun.



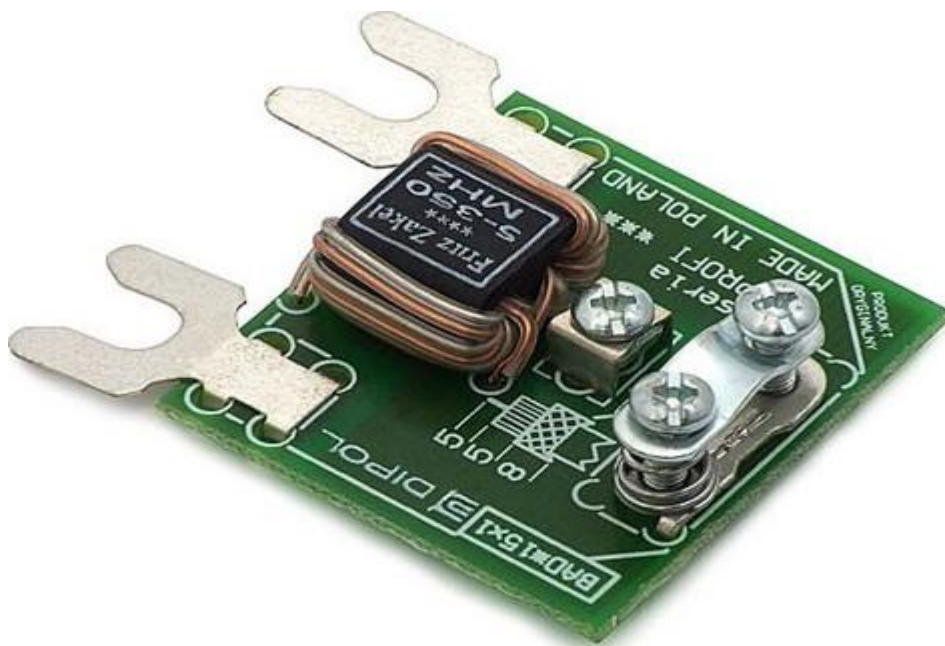
Obr. 31 Zkušební vzorek Bowtie antény realizované metodou šití

**Pasivní převodník Balun** – známý také jako symetrizační obvod viz Obr. 32. Jedná se o oddělovací linkové transformátory. Ty se připojují k dipólovým anténám z důvodu, že jsou tyto antény symetrické prvky. Pro napájení se většinou používají koaxiální kabely, které jsou nesymetrické. Proto je nezbytné připojit k anténě symetrizační prvek - balun, který zabezpečuje symetrické napájení antény a zároveň omezuje vznik nežádoucích povrchových proudů na plášti koaxiálního kabelu. Pokud by se dipólová anténa připojila ke koaxiálnímu kabelu bez použití balunu, dělil by se  $\forall$  proud z vnitřní strany stínění koaxiálního kabelu na proud, který přechází do jednoho ramene antény a na proud přecházející na vnější povrch stínění. Stejně velký  $\forall$  proud však přichází po vnitřním vodiči do druhého ramene. Tím se na obou polovinách symetrické antény rozloží  $\forall$  proudy nesymetricky, přičemž začne zářit i vnější povrch koaxiálního kabelu. Elektromagnetické pole, které je tímto zářením vytvořené se fázově sčítá s nesymetricky napájenou anténou.

Tím může dojít k deformaci diagramu záření, nebo vzniknout kolmo polarizované pole. Z hlediska provozu není nesymetrické rozložení vř proudů na anténě tak závažné. Daleko větší potíže působí záření vnějšího pláště koaxiálního kabelu. Rozložení povrchových proudů na napáječi má charakter stojatých vln, které se mnění s kmitočtem v závislosti na délce napáječe. Tyto proudy ovlivňují impedanci antény, dále mohou ovlivňovat další přístroje jako jsou například nf zesilovače, PC a nebo přístroje v okolí napáječe.[22]

Baluny můžeme rozdělit do více typů:

- Úzkopásmové – různé rezonanční obvody pro VKV pásma.
- Širokopásmové – použitelné pro KV pásma.
- Proudové nekompensované – omezují povrchové proudy na koaxiálním napáječi, nezabezpečují však širokopásmové symetrické napájení antény.
- Proudové kompenzované – omezují povrchové proudy a zároveň zabezpečují symetrické napájení antény.[22]



Obr. 32 Symetrizační obvod [24]

**Připojování anténních prvků pomocí lepení** – tento proces spojování lze provádět za pomoci speciálních lepidel, ve kterých jsou obsaženy vodivé částice, které jsou v takovém množství, že se vzájemně dotýkají, čímž umožňují vedení elektrického proudu. Jako vodivý materiál je použit například stříbro, měď, nikl nebo grafit, které jsou smíchány s pojivou složkou. Jako pojiví složka se dá použít syntetická pryskyřice, nebo silikon.

To také mění v závislosti na typu použití pojivé složky v poměru s vodivou složkou jeho odolnost.

V praktické části se uvažovalo o použití stříbrného epoxidového lepidla. Jedná se o dvousložkové epoxidové lepidlo, které obsahuje částice stříbra. Je vhodné pro spojování různých druhů vodivých materiálů, kde je potřeba vodivého spoje, jsou to například různé druhy měkkých kovů. Lepidlo má dobrou odolnost v tahu, je odolné proti vlhkosti a slané vodě. V lepidle je obsažen poměr pojivé a vodivé složky v poměru 1:1, odpor je  $0,007 \Omega \cdot \text{cm}$ , tepelná vodivost  $1,4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Doba vytvrzení je 24h při pokojové teplotě, nebo 60 minut při teplotě  $80^\circ\text{C}$ . Na obrázku 33 je znázorněn vzorek dipólové antény, kde byl přírodní koaxiální kabel připojen pomocí již zmiňovaného epoxidového lepidla.



Obr. 33 Dipólová anténa s přírodním koaxiálním kabelem upevněným pomocí stříbrného epoxidového lepidla

#### 4.4 Měření vzorků

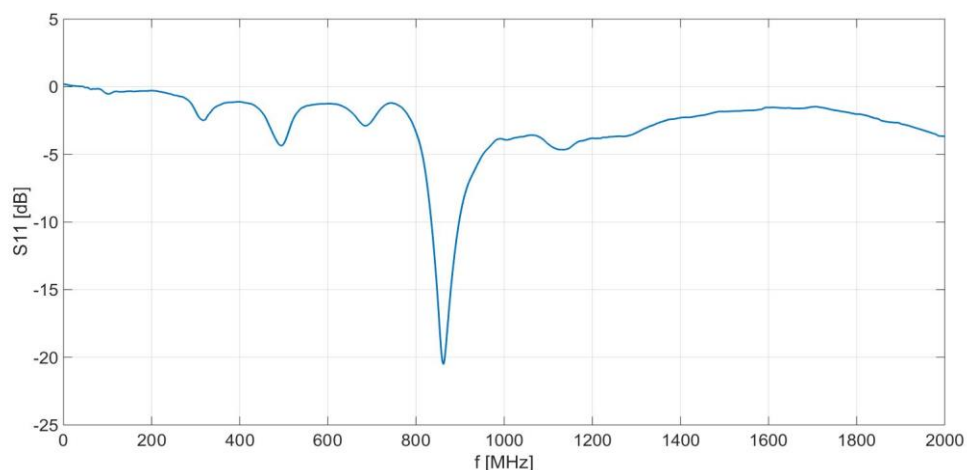
Pro měření parametru  $S_{11}$  u jednotlivých vzorků byl použit síťový analyzátor signálu SPARQ – 302E zobrazený na obrázku 34. Jedná se o 2 – portový analyzátor, který je schopný měřit až DC – 30GHz. Analyzátor poskytuje kalibrované měření s připojením k testovacímu zařízení DUT a nabízí jednoduché možnosti nastavení. [21]



Obr. 34 Síťový analyzátor signálu SPARQ – 302E [21]

### Měření komerční antény

Na obrázku 35 je vyobrazená charakteristika komerční antény. Jedná se o průmyslově vyrobenou anténu, která splňuje vhodné podmínky pro přenos signálu. Ideální rezonanční frekvence antény by měla být 868 MHz, což v případě této naměřené charakteristiky odpovídá. Proto také byla tato anténa zvolena pro porovnání se zbylými dvěma vzorky. Parametr  $S_{11}$  je -21 dB a šířka pásma kolem 70 MHz.

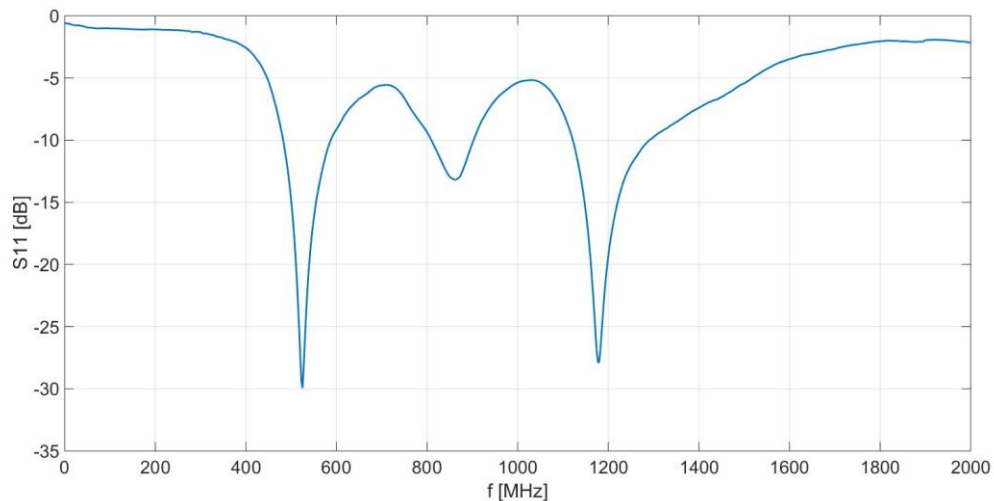


Obr. 35 Závislost parametru  $S_{11}$  komerční dipólové antény na frekvenci

### Měření vzorku zhotoveného na DPS

Vzorek zhotovený na DPS je zhotoven z mědi. Jedná se o fraktální dipólovou anténu s navrženým motivem Sierpinského trojúhelníku. Na obrázku 36 jsou zobrazeny tři špičky, dvě postranní špičky rozdělené na levou a pravou špičku a jedna špička uprostřed.

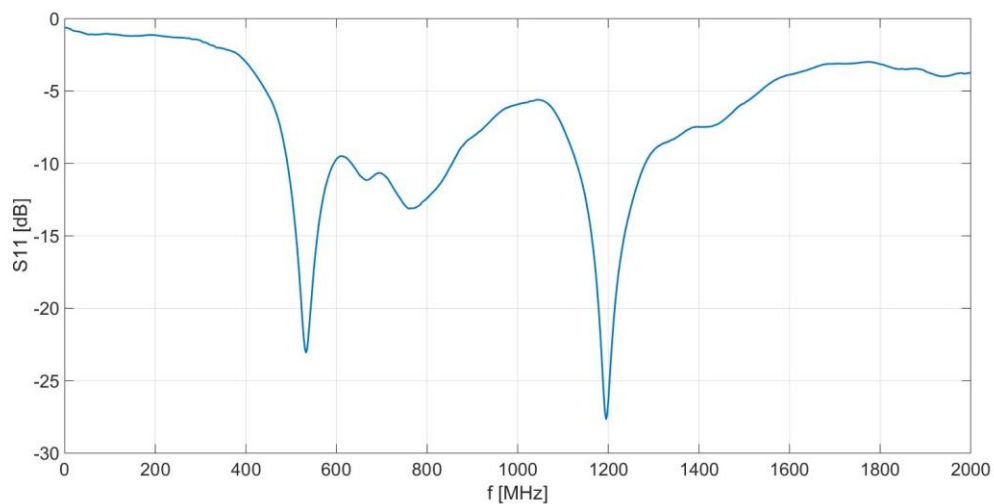
U prostřední špičky je patrné malé zaoblení oproti komerční anténě. Rezonanční frekvence prostřední špičky je 866 MHz, parametr S11 je -13 dB a šířka pásma je 100 MHz. Levá špička má rezonanční frekvenci 520 MHz, parametr S11 -30dB a šířka pásma je 117 MHz. U pravé špičky byla naměřena rezonanční frekvence 1183 MHz, parametr S11 -28 dB a šířka pásma 166 MHz. Rozdíl parametru S11 u prostřední špičky v porovnání s postranními špičkami je 17 dB oproti levé a 15 dB oproti pravé špičce.



Obr. 36 Závislost parametru S11 na frekvenci fraktální-dipólové anténa vyrobené na DPS

### Měření vyšitého vzorku

Na obrázku 37 je zobrazen průběh vyšitého vzorku, který byl měřen jako poslední. U prostřední špičky je patrný její frekvenční posun, což způsobilo změnu vrcholu rezonanční frekvence oproti předchozím vzorkům, která je nyní 767 MHz. Parametr S11 je -14,4 dB s šířkou pásma 216 MHz. Postranní špičky zůstali bez posunu frekvence. U levé špičky byla naměřena rezonanční frekvence 550 MHz, parametr S11 -23,7 dB a šířka pásma 100 MHz. U pravé špičky byla rezonanční frekvence 1200 MHz, parametr S11 -28,3 dB a šířka pásma byla 150 MHz. Při porovnání prostřední špičky s postranními je patrný rozdíl parametru S11. U levé špičky jde o rozdíl 9,3 dB a u pravé špičky o 13,9 dB.



Obr. 37 Závislost parametru  $S_{11}$  fraktální vyšité antény na frekvenci



## Závěr

Textilní antény jsou v dnešní době na začátku své éry. Jejich využití v praxi je zatím velice omezené. Testování probíhá hlavně v odvětvích, jako je letectví, kosmonautika a záchranné složky, kde slouží společně s různými snímači připevněnými na obleku uživatele pro snímání jeho životních funkcí. Jednou z institucí, která se zabývá výzkumem těchto antén, je například také Západočeská univerzita, kde byl zhotoven chytrý oblek pro hasiče, vybavený různými druhy senzorů pro snímání životních funkcí. Tyto data jsou za pomoci antén zasílána do řídicího systému k vyhodnocení.

V praktické části byla nejdříve změřena klasická komerční anténa. Tato anténa je průmyslově kalibrována a tudíž u ní lze předpokládat ideální parametry. Jelikož má tento vzorek ve frekvenční charakteristice jen jednu špičku, posloužila její frekvenční charakteristika jen pro vizuální kontrolu s charakteristikami ostatních vzorků. Dále byla změřena vyšitá anténa a její výsledná charakteristika byla porovnána s charakteristikou třetího měřeného vzorku, jímž byla anténa zhotovená na DPS. Tento vzorek zhotovený na DPS je vhodný k porovnání s vyšitou anténou z důvodu jeho tvaru, a tudíž u něj lze předpokládat shodnou charakteristiku jako u vyšitého vzorku. Při porovnání prostředních špiček obou vzorků je patrný posun frekvence o 101 MHz. U postranních špiček již k tak velkému posunu nedošlo. Rozdíl mezi levými špičkami byl 30 MHz a mezi pravými špičkami 17 MHz. Co se týká parametru S11 nastal znatelný rozdíl jen u levých špiček, kdy byl rozdíl 7,7 dB. U prostředních špiček byl 1,4 dB a 0,3 dB u pravých špiček. U vyšitého vzorku byla naměřena velká šířka pásma 216 MHz, což způsobila deformace průběhu frekvence. Jako příčina se jeví nedokonalé připevnění UFL konektoru k měřenému vzorku.

Z měření vyplývá, že parametry vyšivaných antén lze srovnávat s parametry klasických komerčních antén tohoto typu. Co se týká budoucnosti, je určitě vhodné investovat do jejich vývoje a hlubšího zkoumání. Lze předpokládat, že se jejich rozsah využití začne rozšiřovat i pro klasické komerční účely a antény budou zabudovávány do klasických běžně používaných obleků, kde budou například s pomocí různých snímačů hlídat tělesné funkce člověka a zasílat je na aplikaci v jeho chytrém telefonu. Využití těchto antén povede i k miniaturizaci různých přenosných zařízení, které mohou být alternativou pro klasické velké kovové antény. Těmto anténám se vyplatí do budoucna věnovat velkou pozornost.

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 Přední steh [6].....  | 12 |
| Obr. 2 Princip šicího stroje [2].....  | 13 |
| Obr. 3 Tkanina pro vyšívání .....  | 14 |
| Obr. 4 Průmyslový pletací stroj .....  | 15 |
| Obr. 5 Triko vyrobené ze smart textilie.....   | 16 |
| Obr. 6 Druhy struktur elektricky vodivých přízí [2].....   | 19 |
| Obr. 7 Motiv vyšitý pomocí vodivé příze.....   | 20 |
| Obr. 8 Vetkané vodivé vlákno .....   | 21 |
| Obr. 9 Otevřený kmitavý obvod [7].....   | 23 |
| Obr. 10 Směrová charakteristika antény [8] .....   | 23 |
| Obr. 11 Vyzařovací úhel antény [8].....  | 24 |
| Obr. 12 Příklady tvarů plošných antén .....  | 26 |
| Obr. 13 Příklady tvarů drátových antén.....  | 26 |
| Obr. 14 Yagiho anténa .....  | 27 |
| Obr. 15 Anténa vyrobená ze Zylonových vláken [12].....   | 28 |
| Obr. 16 Horní část obrázku: anténa z vodivých vláken, spodní část obrázku: duplicitní anténa vyrobená z mědi [12]..... | 29 |
| Obr. 17 Testování antén ve venkovním prostředí (a) parametr S11, (b) realizovaný zisk antén [12].....                  | 29 |
| Obr. 18 Testování antén na fantomovém trupu [12].....  | 30 |
| Obr. 19 Druhy používaných RFID čipů [14].....  | 31 |
| Obr. 20 3D model navrhované antény [14] .....  | 33 |
| Obr. 21(a) Simulovaná část vstupní impedance antény (b) parametr S11 s návratovou ztrátou 70MHz [14] .....             | 34 |
| Obr. 22 Vyzařovací charakteristika simulované antény [14] .....  | 35 |
| Obr. 23 Měření reálného vzorku na síťovém analyzátoru .....  | 35 |
| Obr. 24(a) Naměřená část vstupní impedance antény (b) parametr S11 s návratovou ztrátou 100MHz [14].....               | 36 |
| Obr. 25 Kochova křivka.....  | 39 |
| Obr. 26 Sierpienského trojúhelník [21] .....   | 40 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 27 Porovnání změny rezonanční frekvence v závislosti na změně poloměru křídel antény [20] .....        | 41 |
| Obr. 28 Proudová hustota při frekvenci 1,3 GHz (a) Bowtie anténa, (b) modifikovaná Bowtie anténa [20].....  | 41 |
| Obr. 29 Vzorek Bowtie antény zhotovený na DPS .....   | 42 |
| Obr. 30 Komerční čtyřpásmová GSM anténa.....  | 42 |
| Obr. 31 Zkušební vzorek Bowtie antény realizované metodou šití.....   | 43 |
| Obr. 32 Linkový transformátor s připojenou dipólovou anténou [24] .....                                     | 44 |
| Obr. 33 Dipólová anténa s přívodním koaxiálním kabelem upevněným pomocí stříbrného epoxidového lepidla..... | 45 |
| Obr. 34 Síťový analyzátor signálu SPARQ – 302E.....   | 46 |
| Obr. 35 Závislost parametru S11 komerční dipólové antény na frekvenci .....                                 | 46 |
| Obr. 36 Závislost parametru S11 na frekvenci fraktální-dipólové anténa vyrobené na DPS .....                | 47 |
| Obr. 37 Závislost parametru S11 fraktální vyšité antény na frekvenci .....                                  | 48 |

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Ruční šití [online]. 2016. Dostupné z [http://files.kafafe.webnode.cz/200000048-f05c3f154d/2\\_rucni\\_siti.pdf](http://files.kafafe.webnode.cz/200000048-f05c3f154d/2_rucni_siti.pdf)
- [2] Kovářik M, *Vyšívání pasivní elektronické součástky*, FEL ZČU, Diplomová práce, 2017
- [3] Vyšívání [online]. 2015. Dostupné z <http://vysivani-online.cz/>
- [4] Levora J, *Všívání antény pro aplikace v oblasti internetu věcí*, FEL ZČU, Diplomová práce, 2017
- [5] Pavec M, *Návrh a realizace všívaných elektrických prvků ve Smart textiliích*, FEL ZČU, Diplomová práce, 2016
- [6] Přední steh [online]. 2015. Dostupné z <http://vysivani-online.cz/prdni-steh/>
- [7] Antény [online]. 2013. Dostupné z <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=31033&revision=-1&instance=2>
- [8] Nožka M, *Základní vlastnosti a parametry antén* [online]. Dostupné z [http://mamut.spseol.cz/nozka/psk/072-parametry\\_anten.pdf](http://mamut.spseol.cz/nozka/psk/072-parametry_anten.pdf)
- [9] Antény a magie kolem nich [online]. 2015. Dostupné z <http://www.lkzn.cz/teorie/leteckaTechnika/anteny.html>
- [10] Macou J, *Baluny na KV pásma*, A radio, Praktická elektronika č.4, 2009
- [11] Základní druhy antén [online]. Dostupné z [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/sireni\\_vln/teze/otazka\\_18.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/sireni_vln/teze/otazka_18.pdf)
- [12] Wang Z, Zhang L, Psychoudakis D, *Flexible textile antennas for body-worn communication*, Antenna Technology (iWAT), IEEE International Workshop on, 5-7.3.2017
- [13] Patron D, Mongan W, Kurzweg T. P, Fontecchio A, Dion G, Anday E. K, Dandekar K. R, *On the Use of Knitted Antennas and Inductively Coupled RFID Tags for*

- Wearable Applications*, IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, December 2016
- [14] RFID technologie [online]. 2015. Dostupnéz <http://www.dataexpert.cz/cs/rfid-technologie>
- [15] Ashish L, Bhagwan K, Guruprasad B, *Studi of Sierpinski triangle gasket*, International Conference on Electronics Computer Technology, April 2011
- [16] Bernina 750QE [online]. Dostupnéz <http://www.sicistroj.info/katalog/bernina-750-qe>
- [17] Kotyrba M, *Fraktály a jejich principy*, Zvyšování odborných kompetenci akademických pracovníků Ostravské univerzity v Ostravě a Slezské univerzity v Opavě, 2013
- [18] Fraktální geometrie a fraktály [Online]. Dostupné z <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/geometrie.html>
- [19] Křivky [Online]. Dostupnéz <http://www.geneze.info/pojmy/subdir/krivky.htm>
- [20] Hanalde A, Umar K, *Design of new Shape printed bowtie antenna for ultra high frequency partial discharge sensor in gas insulated substation*, Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 2013 International Conference on, October 2013
- [21] Pavec M, Navrátil J, Soukup R, Hamáček A, *A Bowtie Antenna Prepared by Aerosol Jet and Embroidering Technology*, Department of Technologies and Measurement / RICE, Faculty of Electrical Engineering, University of West Bohemia, Pilsen, Czech Republic
- [22] Macoun J, *Baluny na KV pásma*, Praktická elektronika A Radio, Duben 2009
- [23] Stříbrné vodivé epoxidové lepidlo [Online]. Dostupnéz <https://www.mgchemicals.com/products/adhesives/electrically-conductive-adhesives/two-part-epoxy/silver-conductive-epoxy-8331>
- [24] Širokopásmové smyčkové antény [Online]. <http://www.xbooster.cz/image/cache/data/imp/6/3/1/0/6310-600x600.jpg>

- [25] Kerajina Tapestry [Online]. Dostupné z <http://kumpulanmapelsekolah.blogspot.com/2017/06/kerajinan-tapestri.html>
- [26] Okrouhlý pletací stroj [Online]. Dostupné z <https://www.exapro.cz/terrot-scc-548-p80208039/>
- [27] Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric [Online]. Dostupné z <https://www.semanticscholar.org/paper/Embroidering-electrical-interconnects-with-yarn-for-Linz-Kallmayer/4f063cde509f8effa584c3c6d12adec5ca670017>
- [28] Weaving with conductive thread: Clasped weft [Online]. Dostupné z <https://cz.pinterest.com/pin/315533517622969674/>
- [29] Fraktály [Online]. Dostupné z <http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/~pauspetr/html/skola/fraktaly/reserse.htm>