**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

## Návrh a realizace všívaných elektrických prvků ve Smart textiliích

**Martin Pavec** **2015**

*Originál (kopie) zadání DP*

## Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku všívaných elektrických prvků ve Smart textiliích. Cílem práce je navrhnout a realizovat všívanou anténu optimalizovanou na 886 MHz.

## Klíčová slova

Smart textilie, Smart materiály, antény, vyšívání, dipól, patchová anténa

## Abstract

The master theses presents the principles of design and realization of embroidered electrical components for applications in smart textiles. The aim of the theses is desing and implement an embroided antenna optimized for 886 MHz.

## Keywords

Smart textile, Smart materials, antenna, embroidering, dipol, patch 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 16.5.2016 Martin Pavec

# Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Soukupovi, Ph.D.za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

**OBSAH** ..... **7**

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK** ..... **8**

**ÚVOD** ..... **9**

**1 SMART TEXTILIE** ..... **11**

1.1 DEFINICE ..... 14
1.2 ROZDĚLENÍ ..... 15
*1.2.1 Pasivní smart textilie* ..... *15*
*1.2.2 Aktivní smart textilie* ..... *15*
*1.2.3 Velmi vysoce inteligentní smart textilie* ..... *16*
1.3 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY ..... 16
*1.3.1 Materiály pro regulaci teploty* ..... *16*
*1.3.2 Materiály s tvarovou pamětí* ..... *17*
*1.3.3 Materiály se světelnými projevy* ..... *18*
*1.3.4 Materiály luminiscenční* ..... *18*
*1.3.5 Materiály vodivé* ..... *19*
*1.3.6 Membrány* ..... *19*
*1.3.7 Materiály fotovoltaické* ..... *20*

**2 E-TEXTILIE** ..... **21**

2.1 VŠÍVANÉ SENZORY ..... 22
2.2 TERMISTORY ..... 22
2.3 TEXTILNÍ SUPERKAPACITORY ..... 23
2.4 E-TEXTILIE V PODLAHOVÉ KRYTINĚ ..... 24
2.5 OPTICKÁ VLÁKNA ..... 26
2.6 ODĚVNÍ PRŮMYSL ..... 26
2.7 LILYPAD ..... 27

**3 PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE** ..... **29**

3.1 TEORIE ANTÉN ..... 30
3.2 DIPÓLOVÉ ANTÉNY ..... 32
3.3 MONOPÓLOVÉ ANTÉNY ..... 33
3.4 FLÍČKOVÉ ANTÉNY ..... 33
3.5 SPECIÁLNÍ ANTÉNY ..... 36
3.6 NÁVRH ANTÉN ..... 37
3.7 REALIZACE ANTÉN ..... 42
3.8 MĚŘENÍ ANTÉN ..... 49
3.9 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ ..... 52

**ZÁVĚR** ..... **56**

**SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ** ..... **1**

**PŘÍLOHY** ..... **3**

# Seznam symbolů a zkratek

| Zkratka | EN | význam |
|---|---|---|
| WIFI | Wireless fidelity | standart pro bezdrátovou komunikaci |
| GSM | Groupe Spécial Mobile | globální systém pro Mobilní komunikaci |
| λ | λ | lambda, vlnová délka |
| IoT | internet of things | internet věcí |
| FP | Phase transition | fázový přechod |
| Redox | Redox | redoxní reakce, při které dochází k získání elektronů |
| DPS | PCB | deska plošného spoje |
| IrDA | Infrared Data Association | komunikační infračervený port |
| Elevace | Elevation | sklon natočení antény vůči zemskému povrchu |
| EAP | Electroactive Polymer | elektroaktivní polymer |

# Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout a realizovat všívaný elektrický prvek ve Smart textiliích. Celá práce je rozdělena na tři tematické části. První částí jsou Smart textilie, druhou částí jsou E-textilie a poslední třetí částí je praktická část diplomové práce.

První část diplomové práce je zaměřena na Smart textilie jako celek. V této části uvedena definice Smart textilií, rozdělení dle funkčnosti, dále jsou zde uvedeny základní druhy materiálů, které se využívají k výrobě Smart textilií. První část nabízí náhled kde, a jak se v dnešní době využívají Smart materiály. Existují tři základní oblasti, kde mají Smart materiály v dnešní době velké uplatnění. První oblastí jsou záchranné a bezpečnostní složky. Například chytrý oblek pro hasiče, který byl vyvinut na FEL ZČU ve spolupráci s komerčními subjekty. Tento oblek bude poskytovat příslušníkům hasičského záchranného sboru větší bezpečnost a ochranu. Druhou oblastí je zdravotnictví, kde využití Smart materiálů pomáhá urychlit léčbu pacientů nebo poskytnout při léčbě lepší komfort pacienta, příkladem budiž chytré nemocniční obleky umožňující kompletní monitoring pacientů. Prozatím poslední oblastí kde se Smart materiály uplatňují, jsou sportovní pomůcky a oblečení. Smart sportovní oblečení umožňuje sportovcům monitorovat svůj výkon, životní funkce pomocí jen jednoho kusu oblečení a tyto hodnoty zaznamenávat a následně vyhodnocovat. V této části je také uveden krátký náhled do budoucnosti a možného využití Smart textilií například ve vojenské oblasti.

Druhá část diplomové práce probírá již pouze Smart textilie, ve kterých je využito integrování elektroniky tzv. E-textilie. Jsou zde uvedeny základná senzory, termistory nebo textilní superkapacitory, jež do budoucna slibují snížení váhy akumulátorů. Dále je zde aplikace E-textilií jako velkoplošných senzorů, využití optických vláken pro měření v textiliích, například životních funkcí člověka. Následuje využití E-textilií v oděvním průmyslu a jako poslední zde uveden projekt LilyPad, který je založený na stavebnici Arduino a přibližuje tak využití E-textilií i pro domácnosti.

Třetí a poslední část diplomové této práce je praktická část, které je zaměřena na návrh a realizaci všívané antény. Tato část zaměřena na teorii moderních antén, které jsou v současnosti používány. Jsou zde uvedeny základní vlastnosti určující jakost antény. Po

krátké teorii o dipólových, monopólových, flíčkových a speciálních anténách začíná praktická část. Praktická část začíná návrhem antén, kde jsou ukázány všechny vytvořené vzory antén, poté pokračuje realizací navržených antén pomocí vyšívání, dále měření vyrobených antén a jako poslední je provedena diskuze naměřených hodnot na anténách.

# 1 Smart textilie

První kapitola této diplomové práce je věnována Smart textiliím. Po uvedení definice následuje rozdělení Smart textilií do základních kategorií, ačkoliv toto rozdělní vzhledem k vývoji v této oblasti může být za několik let nepřesné a pravděpodobně dojde k upravení specifikací kategorií, pravděpodobně může být přidána i další, jako se tak v minulosti již stalo. Následně jsou popsány základní materiály, které jsou díky svým vlastnostem zařazeny mezi Smart materiály, jelikož se jedná o materiály, které mají vyšší přidanou hodnotu oproti běžným materiálům.

Smart textilie nebo česky chytré látky začínají mít stále větší význam v běžném životě. Největší expanzi Smart materiálů lze spatřit v aplikacích pro bezpečnostní složky například armádní, hasičské nebo policejní, dále se objevují v astronautice, zdravotnictví, sportovním oblečení a také v oblečení pro běžné nošení.

Aplikace pro bezpečnostní složky lze rozdělit na dva základní typy, prvním typem jsou aplikace kde Smart materiály pomáhají zvyšovat bezpečnost osoby pří výkonu povolání. Za zmínku bezpochyby stojí chytrý hasičský oblek a chytrá rukavice, kterou vyvinula FEL ZČU ve spolupráci s TESLA Blatná a Vochoc Plzeň.

**Obrázek 1 - Hasičský oblek vyvinutý FEL ZČU [35]**

Tento oblek, jež v době psaní této diplomové práce se již blížil k možnosti sériové výroby a je ve finále evropské soutěže Smart@Fire kam se přihlásilo několik evropských institucí a vítězný oblek budou testovat hasiči několika evropských zemí, obsahuje mnoho čidel, která lze dle potřeby měnit, jelikož pro každý druh hasičského zásahu budou zapotřebí odlišné typy čidel. Všechny výstupní hodnoty z čidel bude moci velitel zásahu sledovat na tabletu a bude tedy vědět v reálném čase co se děje se zasahujícím hasičem. Jelikož zde budou čidla

například pro sledování tělesné teploty hasiče a může tuto teplotu porovnávat s okolní teplotou a následně upozornit hasiče, že je pro něj úroveň teploty příliš nebezpečná a měl by opustit objekt, kde zasahuje, nebo čidla pro měření přítomnosti nebezpečných plynů, monitoring životních funkcí, vlhkosti nebo alarm který hasiče upozorní na nebezpečné hodnoty.

Druhým typem jsou aplikace, které přímo nezajišťují ochranu osoby. Největší pokrok zaznamenává jako ve většině výzkumů armádní oblast. Zde je nejvíce přínosné vylepšení uniformy. Pro vylepšení maskovacích schopností lze využít materiály, které jsou schopné měnit tvar a barvu. Použitím nových materiálů lze snížit váhu uniformy, kterou příslušník bezpečnostních složek nosí a tím mu usnadnit pohyb. S tím souvisí i materiálů pro ochranu proti zásahu střelnou zbraní, nové prvky by měli být lehčí a účinnější. Již v roce 2012 britská armáda testovala integrování kapacitních vláken do uniformy pro uchovávání energie a tím snížit hmotnost oproti běžným bateriím a akumulátorům. Oblast uchovávání energie je pro armádu oblíbeným tématem, jelikož vývoj se směruje k výrobě materiálů, které by byly schopné přeměnit kinetickou energii na elektrickou energii nebo integrovat fotovoltaické články do oblečení. I zde s úspěchem využít integrované senzory jako u hasičského obleku. Předpovědět jak bude vypadat armádní uniforma za několik let je velice těžké. Pravděpodobně, ale bude využívat materiály pro ulehčení zdolávání překážek, maskování, energetickou soběstačnost, komunikaci s velením, monitoring tělesných funkcí, detekci nebezpečí a pro ochranu proti vnějším zásahům.

Další oblastí, kterou se směruje vývoj, jsou aplikace ve zdravotnictví. Ve vyspělých státech kde je zdravotnictví na vysoké úrovni lze vidět snahu o nasazení Smart materiálů. Jedná se však přímo jen o úkony prováděné v nemocnicích, ale také v domácím prostředí. Příkladem domácího použití jsou například chytré matrace, chytré polštáře nebo chytré pokrývky. Toto použití dává smysl, jelikož v průměru člověk stráví spánkem přibližně třetinu svého života, jsou tedy tendence monitorovat lidský spánek a poté vyhodnocovat se při spánku děje s tělem a případně při nezvyklých aktivitách reagovat na tyto výsledky a pomoci člověku znovu lépe a bez obtíží spát. V současné době je téměř samozřejmostí používat chytré deky nebo podložky pro monitorování životních funkcí novorozeňat, které umí nejen sledovat, ale v případě potíží jako je například přerušení dýchání spustit alarm nebo jiným způsobem informovat odpovědnou osobu (rodiče nebo zdravotnický personál). Možnosti monitoringu ve zdravotnictví jsou velice velké. Samozřejmostí jsou senzory pro sledování

životních funkcí, jako je tepová frekvence, srdeční tlak, senzory pro měření tělesné teploty pacienta, kontrola zda nedochází u pacienta k proleženinám atd. Existují dva základní směry jak realizovat tyta měření.

Prvním je vytvoření chytré košile, případně trička nebo jiných typů oblečení, kam se integrují elektrody pro měření požadovaných funkcí. Pacient tedy obleče oděv a není zapotřebí aplikovat na něj velké množství senzorů, jelikož všechny jsou již v tomto obleku. Příklad jak může vypadat takový oblek je na *Obr. 2*. Druhá možnost je výroba prostěradla, které má v sobě vetkané elektrody. Na první pohled lze jen s obtížemi rozeznat klasické prostěradlo od Smart prostěradla, takže použitím této metody jistě nedojde ke snížení komfortu pacienta. Jedním z problémů ovšem je, když není pokožka dostatečně vlhká, což snižuje funkčnost elektrod, tento problém většinou nastává u dětí a starších lidí, kteří se tolik nepotí jako osoba v produktivním věku. [32]

**Obrázek 2 - Příklad Smart trička pro měření životních funkcí [33]**

Výše zmíněné příklady ve všech případech obsahovali integrovanou elektroniku, ve zdravotnictví se, ale využívají i Smart materiály bez využití elektroniky. Příkladem mohou být nové generace obvazů, které obsahují dezinfekční a léčebné složky, což zlepšuje a urychluje léčení zranění. Smart materiály mohou ulehčit život i lidem, kteří si musejí každý den brát léky, jelikož je možné vyrobit oděv, který bude obsahovat léčivé látky a ty se budou postupně uvolňovat během nošení, pacient se tedy nemusí starat o to, zda si zapomene vzít svůj lék.

Třetí a komerčně velmi úspěšnou oblastí jsou sportovní oděvy a různé sportovní příslušenství s využitím Smart materiálů. Rozsah sportovních Smart oděvů je od profesionálních oděvů po oblečení pro sportovce, kteří sportují rekreačně. Současné sportovní dresy bez využití Smart materiálů představit jen těžko. Zlepšují aerodynamiku, odvod potu

z těla, prodyšnost, jsou lehčí a pružnější, rychleschnoucí, udržují stálou tělesnou teplotu, jsou snadno udržovatelné atd. Zde je tedy vidět využití Smart materiálů bez integrované elektroniky. Profesionální sportovci, ale také využívají Smart textilie s integrovanou elektronikou a to sice během tréninku. Kde na sobě mají mnoho senzorů, které monitorují jejich životních funkce, ale například také senzory snímající trajektorii pohybu nebo senzory, které slouží k prevenci zranění. Všechny tyto data jim následně pomohou při vyhodnocování jejich sportovního výkonu. Na *Obr.3* je sportovní Smart dámská podprsenka, kde jsou vidět integrované elektrody, odepnutý vysílač a příjímací a vyhodnocovací zařízení, v tom případě sportovní hodinky.

**Obrázek 3 - Dámská sportovní Smart podprsenka [34]**

Hlavním cílem využití Smart materiálů pro rekreační sportovce je pravděpodobně monitoring životních funkcí a následné zaznamenávání. Do budoucna by mohly sportovní oděvy obsahovat také GPS, anténu, systémy na výrobu elektrické energie, integrované displeje atd. Takový oblek by již nepotřeboval externí vyhodnocovací jednotku jako podprsenka na *Obr.3*. Další výhodou této kooperace by byla možnost zaslat informaci o sportovci i s GPS koordináty do nemocničního zařízení v případě náhlého zhoršení zdravotního stavu během sportu.

## 1.1 Definice

Podle starší definice jsou smart textilie látky, které dokážou detekovat různé mechanické, tepelné, chemické, zářivé, elektrické nebo magnetické působení. Jelikož jde vývoj v tomto oboru velice rychle dopředu, je třeba stávající definici upravit podle nových možností a potřeb na definici níže.

Smart textilie jsou takové textilie, které odpovídají a reagují na vnější podmínky a podněty mechanického, tepelného, chemického, zářivého, elektrického a magnetického působení [1][2][3].

## 1.2 Rozdělení

Dle funkčního z hlediska a jejich reakcí na podněty můžeme rozdělit smart textilie na tři základní druhy. Pasivní, aktivní a velmi vysoce inteligentní.

### 1.2.1 Pasivní smart textilie

Jde o první generaci smart textilií. Do této generace patří senzory vnějších podmínek a podnětů a reakce na podnět je jednosměrná, zjednodušeně řečeno tyto materiály pouze dokáží detekovat. Jejich prostá činnost je řadí mezi pasivní smart textilie. Využití těchto textilií je například v měření teploty, tlaku, tahu nebo koncentrace některých látek jako jsou jedovaté plyny[1][2][3].

### 1.2.2 Aktivní smart textilie

Druhá generace již dokáže podnět detekovat a zareagovat na něj. Reakci zajišťují aktuátory, které dokážou na senzorem zjištěný podnět zareagovat. Aktuátor (mechanický pohon nebo jiný akční člen) reaguje sám anebo pomocí centrálně řízené jednotky celého systému. Aktivní smart textilie můžou mít například schopnosti měnit barvu (jev chameleona), mohou být odolné vůči vodě, mít tvarovou paměť, propouštět páru, vydávat nebo ukládat teplo, být inteligentně termoregulovatelné nebo získávat údaje o hodnotách záření, postupné uvolňování během nošení například pachů nebo léků. [1][2][3].

### 1.2.3 Velmi vysoce inteligentní smart textilie

Třetí generace smart textilií je schopná nejen podnět zachytit, reagovat na něj, ale také přizpůsobit svojí funkci v závislosti na vnější podněty a podmínky. Celý proces řídí centrální počítač, který zde supluje funkci lidského mozku. To vše je možné jen díky spolupráci mnoha oborů, jako jsou farmacie, elektronika, informatika, mechanika, umělá inteligence a další technické obory. Výsledkem vývoje těchto velmi vysoce inteligentních textilií jsou obleky pro kosmonauty, piloty, chemiky, lékaře, hasiče a další. Třetí generaci lze rozdělit na tři vývojové generace. V první generaci jsou použity konvenční materiály, kdy jsou do textilií integrovány elektronické funkční bloky tzv. nositelná elektronika (wearbale electronics). V případě druhé generace jsou inteligentní funkce začleněny přímo do textilie například textilní display senzory na textilní bázi nebo textroda (textilní elektroda) pro snímání EKG. Třetí generace počítá s integrováním mikroelektroniky přímo na textilní vlákno[1][2][3].

## 1.3 Používané materiály

Aplikací kde se v dnešní době využívají smart textilie je již celá spousta. Materiály, ve kterých se přímo využívá integrace elektronických prvků do materiálu, se začali označovat jako e-textilie. Mimo tuto kategorii je ještě několik kategorií, do kterých jsou zařazeny materiály se specifickými vlastnostmi a použitím.

### 1.3.1 Materiály pro regulaci teploty

Každý materiál pohlcuje během ohřevu teplo a jeho teplota stále roste. Tepelná energie akumulovaná v materiálu se pak během obráceného děje uvolňuje do prostoru a materiál chladne. Během chlazení teplota materiálu pak klesá. Běžný textilní materiál pohlcuje teplo kolem 1kJ/kg při vzrůstu teploty o 1K ($1^0$C). Porovnáním pohlcování tepelné energie materiálu s fázovým přechodem (FP) s materiály bez FP, se v materiálech s FP mnohem více absorbuje teplo proti materiálům bez FP při jeho tání a uvolňuje se při jeho tuhnutí.. Např. při FP parafínu je absorbována energie 200kJ/kg, dochází-li k jeho tavení. K absorpci textilií stejného množství tepla by musela vzrůst teplota o 200K. Velké množství tepla pohlcené při tání parafínu se uvolní do okolí při jeho ochlazování počínaje krystalizační teplotou.

Porovnáme-li měrnou tepelnou kapacitu textilií s parafínem, je zřejmé, že po aplikaci parafínu s fázovým přechodem do textilií se tepelná kapacita soustavy podstatně zvětší [3]. Během celého procesu tavení parafínu, teplota FP parafínu i jeho textilního okolí zůstává konstantní. Nedochází pak k nežádoucímu růstu teploty jak je tomu při ohřevu bez FP. Stejně je tomu při procesu tuhnutí (krystalizaci). Během celého krystalizačního procesu se teplota FP rovněž nemění. Velký přenos tepla během tavení a během krystalizace beze změny teploty vytváří z materiálů s FP materiál pro akumulaci tepla.

Parafíny se využívají v textilních oborech buď v kondenzovaném tj. v kapalném nebo pevném stavu. K zabránění rozředění parafínu v kapalném stavu je uzavřen (enkapsulován) do malých kuliček mikrometrových rozměrů, nazývaných FP mikrokapsule. Mikrokapsulovaný parafín se vpravuje do akrylových vláken, do polyuratenových pěn či do povrchových vrstev textilií. [1]

### 1.3.2 Materiály s tvarovou pamětí

Tento typ materiálu lze rozdělit na dva druhy a to na první, který je materiálové stabilní při několika teplotách a dokáže nabývat různých tvarů při působení rozdílných odlišných teplot. Druhou skupinou jsou materiály, které mění svůj tvar v závislosti na působení elektrického pole, ty se nazývají elektroaktivní polymery (EAP). EAP jsou schopní nabývat různých rozměrů a tvarů, jsou také využívána místo klasických aktuátory, důvodem je i jejich schopnost pracovat jak v režimu aktuátoru silovém i posuvném, tak v režimu čidla. Spouštěcím podnětem může být například UV záření, změna magnetického pole nebo i působením tekutiny. V rámci paměti těchto materiálů můžeme rozlišit dva typy reakcí. První je, že se materiál deformuje působením vnější síly a již v tomto deformovaném stavu zůstává. Druhým typem reakce je nejen prvotní deformace, ale i schopnost se z tohoto tvaru vrátit zpět do výchozího stavu a tyto reakce opakovat. Trend vývoje materiálů s tvarovou pamětí se směřuje k vytvoření umělého svalu pro člověka. Dalším zajímavým využitím se ukazuje nahrazení mechanických motorů u elektricky ovládaných rolet v budovách[1][2][3].

### 1.3.3 Materiály se světelnými projevy

Jiné typy inteligentních materiálů jsou schopné působením vnějších podmínek vratných barevných projevů. Z těchto důvodů se nazývají chameleonské textilie (vlákna).

Materiály s barevným (chameleónským) projevem patří mezi materiály, které barevně září, odstraňují barevné projevy nebo je mění vlivem vnějšího působení. Materiály s barevným projevem dělíme podle podnětů, které je vyvolávají na:

1) **fotochromní** - stimulované světlem

2) **termochromní** - vybuzené teplem

3) **elektrochromní** - vyvolané elektrickým polem

4) **piezochromní**- stimulované tlakem

5) **solvatochromní**- vybuzené kapalinami nebo plyny[3].

### 1.3.4 Materiály luminiscenční

Rozdíl mezi barvivovými a luminiscenčními textiliemi spočívá v jejich buzení. Barvivové materiály mění pouze svou barvu, kdežto luminiscenční materiály sami světlo vydávají vnějším působením. Existuje několik typů luminiscencí a to:

**fotoluminiscence** vybuzená působením světla. Fotoluminiscencční materiály jsou dvojího druhu - fluorescenční materiály s krátkou dobou dosvitu a fosforescenční materiály s dlouhou dobou dosvitu;

1) **optikoluminiscence**, kde jde navíc o vedení světla;

2) **elektroluminiscence** je vnějším buzením elektrické pole;

3) **chemiluminiscence** je buzena chemickými reakcemi;

4) **mechanoluminiscence** vzniká mechanickým působením, třením, tlakem apod.;

5) **sonoluminiscence** vzniká působením zvukového pole [3].

### 1.3.5 Materiály vodivé

Existuje dvojí strategie k vytváření elektricky i tepelně vodivých výrobků a dva typy materiálů, a to kovů a polymerů. Stejné materiály se užívají pro oba typy vodivosti. Oba jsou podobné a jsou způsobeny pohybem elektronů, iontů a molekul.

První strategie využívá povrchové úpravy s tekutými barvivy (inkousty) a vysokým obsahem kovů, které zajišťují komfort požadovaný pro obleky. S přídavkem niklu, mědi, stříbra a uhlíku do povrchových vrstev textilií různých tloušťek, zajišťuje povrchová úprava textilií jejich vhodné fyzikální a elektrické vlastnosti, jaké je třeba pro žádané aplikace.

Druhá strategie využívá vodivých vláken a přízí. Vodivé příze jsou vytvářeny přidáním kovových vláken (stříbro, zlato, měď a dalších) nebo vodivých polymerů jako jsou polythiofeny, polyaniliny, aktivované polyethyleny a jejich deriváty.

Ačkoliv existuje mnoho různých obchodních značek, které komercializují tyto materiály, všechny mají stejné hlavní vlastnosti. Jsou obvykle lehké, trvanlivé, ohebné a cenově dostupné, mohou být zvlněné a dají se snadno i spojovat a dá se s nimi bet potíží zacházet jako s textiliemi. [1].

### 1.3.6 Membrány

Multidisciplinární výzkum vedl k úspěšnému vývoji technologie řezných nástrojů laminátů a různých mikroporézních a hydrofilních membrán. Membrány jsou vytvářeny z polymerů a jsou jedno nebo vícevrstvé, nejvíce šestivrstvové. Membrány jsou nanášeny na povrch textilií, aby vytvářely jejich nové vlastnosti. Membrány jsou vytvářeny z polymerů

různého původu např. z biopolymerů jako je celulóza, i ze syntetických jako polyfliorokabonáty, polyuretany nebo jejich deriváty.

Jedna z hlavních aplikací membrán je oblast sportovních obleků pro výrobce prodyšných a nepromokavých oděvů. Jednoduchou soustavou membrán lze získat výrobek s vysokou výměnou vodních par a odstraněním potu na rozhraní oděvu vytvářením vnějších překážek s extrémním odpuzováním vody.

Největším dodavatelem textilních membrán je firma GORE, která vyrábí jedinečné mikroporézní membrány (Goretex), které mají 5,2 miliard pórů na metr čtvereční. Každý pór je 20 000krát menší než vodní kapka a 700 větší než molekula vodní páry. Tato struktura dodává výrobku vysokou prodyšnost a nepromokavost. Goretex je dvojsložková membrána vytvořená ze dvou částí. Hlavní lícní část je zhotovena z rozpínajícího se polytetrafluorethyelenu (ePTFE). Ta je kombinována s oleofobní vrstvou, která chrání membránu před přírodními oleji z těla, má v sobě repelenty hmyzu, kosmetické přísady apod. Vnější část Goretexu je povrstvena hydrofobním přípravkem DWR (Durale WaterRepellency), který nutí vodu vytvářet kapičky a stékat z povrchu materiálu. Umožňuje tak nošení obleků i v dešti a zajišťuje prodyšnost a předchází smáčení vrchní vrstvy obleku.

Jiným úspěšným použitím membrán v inteligentních textiliích je lotosový jev. Lotosový jev spočívá v ultrahydrofobní úpravě povrchů membrán, které pak odpuzují vodu a rovněž i olejovité produkty. Výsledkem je, že výrobky zcela ztrácejí afinitu s jakýmikoliv částicemi a nelze je ani zaprášit. Jiné označení těchto výrobků je samočisticí výrobky. Existuje několik obchodně dostupných výrobků, využívajících membrán z polytetrafluorethylenových derivátů, které představují analogické vlastnosti s lotosovým jevem [1].

### 1.3.7 Materiály fotovoltaické

Fotovoltaické jevy objevil v roce 1839 Becquerel. Fotovoltaické materiály mají schopnost vytvářet elektrický proud vybuzený světlem. Mechanismus vzniku elektrických jevů vzniká dvěma pochody. První z nich spočívá v oddělování náboje na P-N přechodech. Dochází v něm k oddělení nábojů na P-N přechodu. Použitým materiálem jsou polovodiče

nejčastěji na bázi dopovaného křemíku. Na P-N přechodu dochází k oddělování elektronů a děr a tak vzniká elektrické napětí a proud v celém objemu polovodiče

Druhým způsobem je získávání napětí a proudu inverzním pochodem k elektroluminiscenci. Používané materiály jsou povětšinou organické, citlivé na světlo (molekuly, polymery, dentrimery). Po absorpci světla přecházejí materiály do vybuzeného stavu. Při excitaci jsou elektrony ve stavech LUMO (nejnižší neobsazený molekulový orbital, z anglického „Lowest Unoccupied Molecular Orbital‘‘) a díry ve stavech HOMO (nejvyšší obsazený molekulový orbital, z anglického „Highest Occupied Molecular Orbital)[1][3]. Na připojených elektrodách vzniká napětí.

Na základě těchto jevů přeměny světelné energie v elektrickou vznikly sluneční panely, jejichž účinnost se mění od % pro amorfní do 60% pro materiály krystalické. Solární cely (buňky) jsou vytvářeny také v tenkých vrstvách teluridů kademnatých, selenidů india aktivovaných mědí (CIS), a vrstev materiálů komplexů mědi, india, galia a selenu (CIGS). Účinnost těchto selenidových solárních cel leží mezi 11 až 14 procenty. Ty jsou vzhledem k malé hmotnosti a velké flexibilitě zvláště výhodné pro textilní aplikace. Pro textilní aplikace jsou výhodné i organické solární buňky, mají však ještě malou účinnost do pěti procent. Pro textilní aplikace jsou však velmi žádoucí, takže je jejich výzkumu a vývoji věnována velká pozornost a očekává se, že do deseti let budou využívány i pro textilní účely[1].

# 2 E-textilie

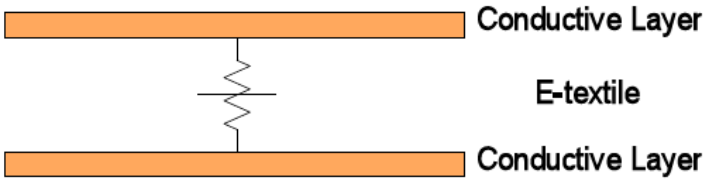
E-textilie jsou známy také jako chytré oblečení, elektronické textilie, systémy pro lékařské aplikace, smart textilie, chytré textilie nebo chytré látky, které využívají digitálních (číslicových) součástek (včetně malých počítačových jednotek) a elektroniku, kterou mají integrovanou přímo do textilu.

Většina smart oblečení, nositelné elektroniky a nositelných počítačů zahrnují použití e-textilie. Rozdíl mezi nositelnými počítači a e-textiliemi, je důrazu, který je kladen na integraci elektronických součástek, jako jsou senzory a aktuátory přímo do textilie, který u nositelných počítačů není tak rozhodující [5]. Ovšem ne každá e-textilie musí být nositelná, příkladem jsou

textilie použité ve stavebnictví, kde se do podlah položí textilie, která dokáže rozeznat přítomnost člověka, případný pád na podlahu a v závislosti na tom reagovat.

## 2.1 Všívané senzory

E-textilní senzor je kompozitní příze vyrobená z vláken potažených vodivým polymerem. Uvnitř příze je vzduchová mezera. Odpor v klidovém stavu je mezi horní a spodní vrstvou je velice nízký. Po vyvinutí tlaku na materiál, dojde ke stlačení vláken uvnitř a dochází ke zmenšení hodnoty odporu. Odpor je nepřímo úměrný vyvíjenému tlaku.




**Obrázek 4 - schéma základního senzoru [7]**

**Obrázek 5 – ukázka realizace všívaného senzoru[7]**

## 2.2 Termistory

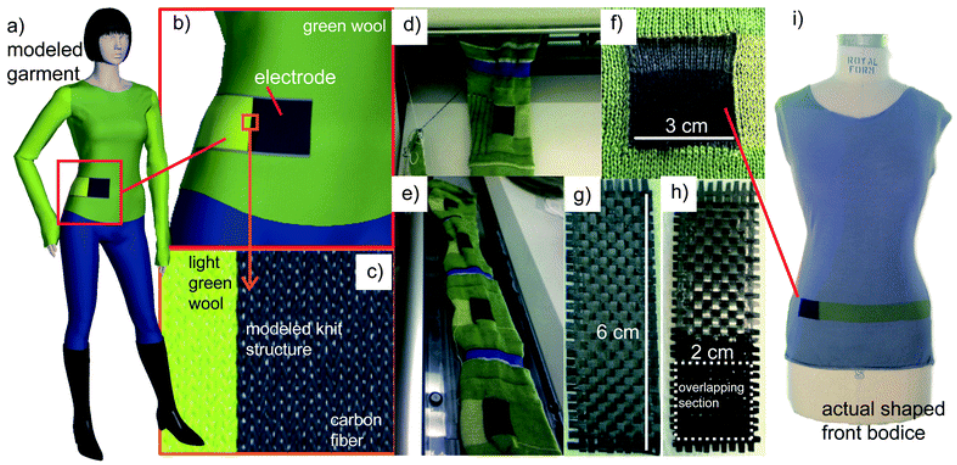
Termistor je zařízení, které je teplotně citlivé. Se změnou teploty se mění jeho elektrický odpor. Existují dva typy termistorů. S pozitivním teplotním koeficientem (PTC) a se záporným teplotním koeficientem (NTC). U PTC termistoru narůstá elektrický odpor se zvyšující teplotou. Naopak u NTC termistoru elektrický odpor klesá se zvyšující teplotou. Na

výrobu termistorů se jako materiál využívá keramika nebo polymery, jež lze využít ve Smart textiliích. A oproti termočlánkům pracují bez omezení rozsahu.

## 2.3 Textilní superkapacitory

Velkým problémem moderní elektroniky je schopnost ukládat energii. Dnešní baterie, potažmo akumulátory, nedosahují požadovaných hodnot, jsou těžké a neforemné. Tuto nevýhodu by v budoucnosti mohli pomoci vyřešit textilní superkapacitory.

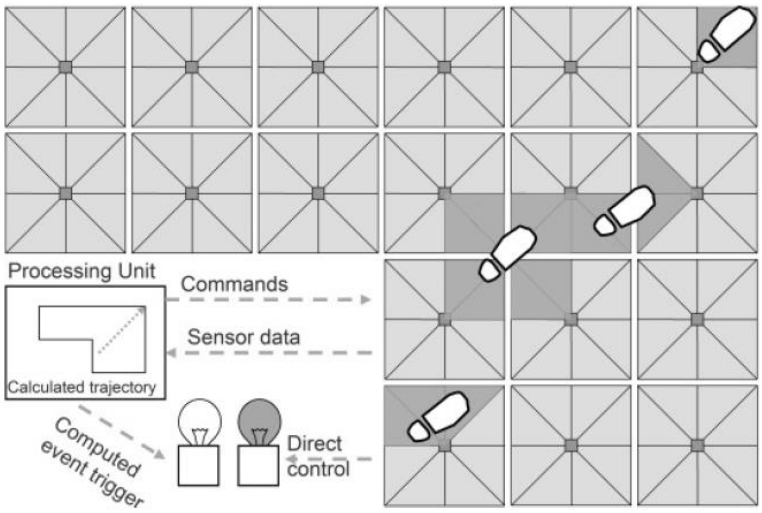
Superkapacitory jsou definovány jako kapacitory, jež svojí kapacitou převyšují běžné dielektrické kapacitory o dva až tři řády. Pro využití kapacitorů v textiliích v dnešní době existují dva základní směry jak vytvořit kapacitor. Prvním je použití dobře známé dvouvrstvé konstrukce kapacitoru s využitím uhlíkových materiálů, přesněji uhlíkových nanotrubic. Uhlíkové nanotrubice byly široce využívány jako materiály pro výrobu elektrod v elektrochemických superkapacitorech a to sice pro svůj velký povrch, nízkou rezistivitu a elektrochemickou stabilitu. Druhým, modernějším směrem je vytvoření tzv. pseudokapacitorů, které využívají redoxní reakci oxidu kovu jako je například MnO2 nebo konduktivních polymerů [30]. *Obr. 6* ilustruje výzkum DREXEL University v USA z roku 2013, kde tkaním integrovali do trička superkapacitory [31].




**Obrázek 6 - Superkapacitory – aplikace [31]**

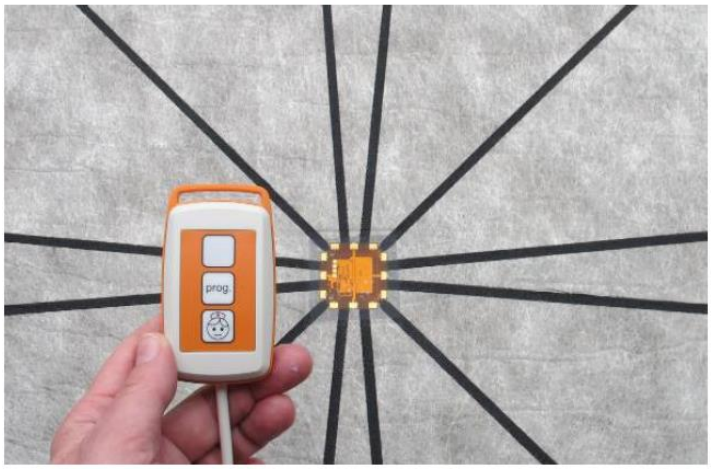
## 2.4 E-textilie v podlahové krytině

Senzory na bázi smart materiálů se umisťují pod podlahovou krytinu. Dokážou zjistit přítomnost člověka pohybující se přes podlahu, vypočítat jeho trajektorii a rozeznat případný pád o prosté chůze. Návazností na tuto funkci může být například automatické rozsvícení světel při vstupu osoby do místnosti, roztažením žaluzií, zavolání záchranné služby v případě detekce pádu, spuštění alarmu při neoprávněném vniku do objektu a další. Komerčním produktem je SensFloor. SensFloor je založen na použití kapacitních senzorů a mikroelektronických jednotek, které jsou ve vrstvách integrovány do podložky. Tyto podložky je možné využít prakticky pro jakoukoliv podlahovou krytinu s výjimkou vodivých materiálů. Schematicky je znázorněn na *Obr.7*.




**Obrázek 7 - schematické znázornění systému SensFloor® [6]**

Princip funkce je, že po průchodu osoby po objektu, detekuje senzor událost pomocí trojúhelníkového senzoru, na který osoba našlápne nohou. Detail trojúhelníkové senzoru je vidět na *Obr. 8* a na *Obr. 9* je znázorněno praktické položení sítě těchto senzorů.



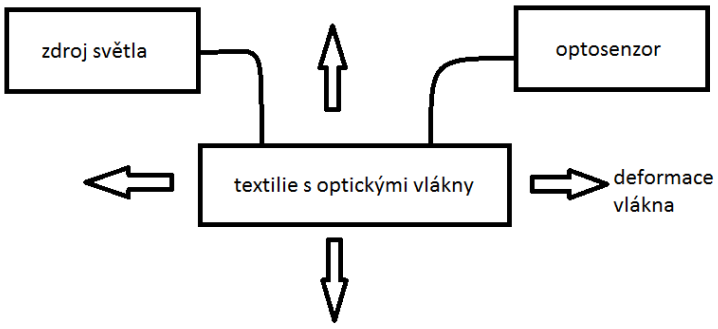

**Obrázek 8– detail trojúhelníkové senzoru [6]**

Každý senzor v podložce je připojen k mikroelektronické jednotce, v praktickém použití je každý senzor připojen ke 4 jednotkám. Nastalou událost senzor přenese bezdrátově do jednotky, která jí vyhodnotí. Z výsledků jednotka rozhodne jaká činnost m á být provedena, jednou z několika možností je například ovládání otevírání dveří, spínání osvětlení a topení atd. [6]

**Obrázek 9– síť postavená pomocí 32 senzorů [6]**

## 2.5 Optická vlákna

Optická vlákna se ve velkém využívají v aplikacích zdravotní péče a obecně v lékařském odvětví. Výhodou pro lékařské použití je, že optická vlákna nejsou vyrobeny z kovových částí a tudíž je lze využívat jako senzory permamentně i během vyšetření jako je například magnetická rezonance, kde by přítomnost kovových části měla špatný vliv na průběh vyšetření. Další výhodou je, že optickým vláknem neprochází elektrický proud, ale pouze světlo, což je v lékařství nepochybně z hlediska bezpečnosti vítanou vlastností. Obecně se pomocí optických vláken dá měřit EKG, krevní tlak, srdeční frekvence, tělesná teplota nebo změna objemu lidského těla, což lze využít například při sledování funkčnosti plic. Obecně se optická vlákna vetkávají přímo do textilie je ovšem možné využít procesu vyšívání.




**Obrázek 10 - Schéma funkce měření v textilii s optickými vlákny**

Obecně použití optických vláken funguje na principu mikroohybů v optickém vláknu. Obecné schéma principu měření za pomoci optických vláken je vidět na *Obr. 10.* Je zapotřebí mít optické vlákno integrované na textilii, zdroj světla a optosenzor. Při pnutí, ohybu nebo jiném pohybu textilie dojde vzhledem ke změně polohy optických vláken k navýšení ztrát v optickém vláknu. Následně již stačí pouze porovnat naměřené hodnoty s referenční hodnotou dle algoritmu vyhodnotit průběh vyšetření.

## 2.6 Oděvní průmysl

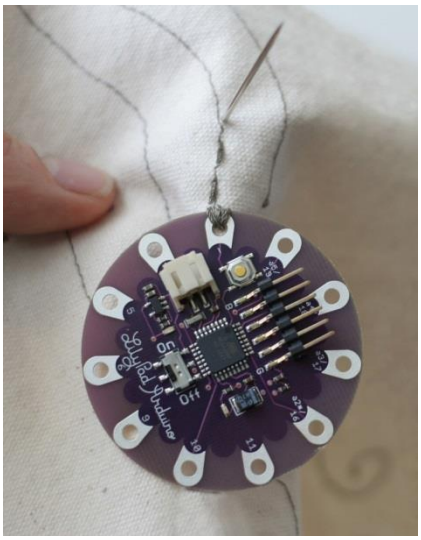
Velmi perspektivním odvětvím, kde lze v budoucnosti uplatnit smart textilie je bezpochyby oděvní průmysl. Oděvním průmyslem není myšleno pouze výroba oděvů pro běžné nošení, ale také průmyslové, pracovní a také sportovní oblečení. Hlavním použitým prvkem pravděpodobně budou světlo emitující součástky, jako jsou LED diody a optická

vlákna. Dalším zajímavým a pro oděvní průmysl jsou oděvy s efektem chameleona, na těchto materiálech pracují například Technická univerzita v Liberci, kde materiál je citlivý na světlo a teplo a v závislosti na úrovni těchto veličin mění barvu. Barvu měnící materiály mohou sloužit v případě konfekčního oblečení jako desingový prvek, kdy pro představu dáma během večera bude moci změnit barvu svých šatů, tak jak je vidět na *Obr. 11*. V případě pracovních a průmyslových oděvů bude kladen důraz na funkčnost například integrováním LED diod do oblečení pro osvětlování pracovních ploch, tak aby pracovníci v prostředích, kde potřebují přídavné světelné zdroje používat další světelné zdroje. Samozřejmě stejný typ obleku lze využít pro zvýšení bezpečnosti práce a nahradit tím nebo alespoň doplnit dnes používané reflexní prvky. Zde vzniká průnik se sportovním oblečením. U toho lze předpokládat využití aplikace zvyšující viditelnost a také u účastníků silničního provozu jako jsou cyklisté a motocyklisté lze využít plochu zad člověka pro umístění prvků určující změnu směru jízdy, brzdové osvětlení atd.

**Obrázek 11 - Dámské šaty s využitím LED prvků [3x]**

## 2.7 LilyPad

Lilypad je projekt založený na stavebnici Arduino, je to modul pomocí kterého lze snadno i v domácích podmínkách vytvořit například oblek s prvky e-textilií. Tento modul se skládá z Arduino základní desky, na které je integrovaný procesor, vstupních a výstupních otvorů, patice pro připojení napájení (nejčastěji baterie) a obvodu pro naprogramování procesoru. Na výstupy lze umístit například LED diody, reproduktory nebo vibrační motorky, které vibračním pohybem uvádějí předměty do pohybu. Výstupní zařízení mohou být s modulem spojeny pomocí vodivých nití jak je ukázáno na *Obr. 12.*



**Obrázek 12 - Modul LilyPad [22]**

Využití LilyPadu je široké, jako příklady lze uvést oblečení pro cyklisty, které by dokázalo ukazovat směr jejich cesty pomocí LED diod na zádech jejich obleků, případně na jiných doplňcích. Další možné použití je, v kreativní tvorbě hraček, přidáním LED diod, kterým lze naprogramovat funkčnost lze velmi snadno vyrobit interaktivní hračku. Na *Obr. 13* je vidět integrování LilyPadu do baletních bot.

**Obrázek 13 - LilyPad v baletních botách[22]**

# 3 Praktická část diplomové práce

Praktická část této diplomové práce je zaměřena na navrhnutí a realizaci všívané antény optimalizovanou na frekvenci 868 MHz. Pro tyto účely bylo navrhnuto několik vzorů. Návrh, následná realizace a měření proběhlo ve dvou fázích. V první fázi byly navrhnuty čtyři typy antén. Prvním typem byla dipólová anténa, která patří mezi nejzákladnější a nejjednodušší typy známých antén. Druhým typem byla flíčková anténa se dvěma zemnícími plochami a jednou vodivou cestou typu C. Třetí byla také flíčková anténa obdobně jak předchozí se dvěma zemnícími plochami a jednou vodivou cestou, ačkoliv odlišně tvarovanou do tzv. meandru. Poslední navrhnutou anténou v první fázi byla speciální anténa typu logo. Ta byla vytvořena dle loga Západočeské univerzity v Plzni. V druhé fázi, kde proběhla optimalizace návrhů pro zlepšení parametrů výsledných vzorků, vznikly následující návrhy. U dipólové, flíčkové antény typu C a flíčkové antény typu meandr došlo pouze k úpravě rozměrů daných antén. V oblasti návrhu, byli přidány dva nové vzory, prvním byla úprava meandrové antény a druhým byl nový vzor, kde vodivá plocha byla ve tvaru „radiátoru“. Všechny tyto návrhy jsou uvedeny v kapitole 3.6 Návrh antén.

Hlavním důvodem, proč v rámci návrhu a realizace všívaných elektrických prvků ve Smart textiliích byla vybrána všívaná anténa, je že antény jsou velmi důležitou součástí moderních aplikací využívajících technologie smart textilií a nyní jejich význam ještě roste s rozvojem tzv. internetu věcí (IoT). Internet věcí je vzájemné propojení jednotlivých zařízení prostřednictvím internetu bez aktivní účasti člověka. Zařízení mohou být třeba automobily, domácí spotřebiče, nositelné doplňky nebo různé senzory a čidla, které si spolu vyměňují informace nebo spolupracují. Internet věcí je umožněn mimo jiné díky miniaturizaci, snižování spotřeby a ceny čipů a bezdrátových technologií, které se tak mohou obejít bez velké baterie a komunikují spolu s velmi malou spotřebou [37]. Příkladem může být propojení chytrého domu s nositelnou elekronikou nebo například automobilem. Chytrý dům dle GPS souřadnic pozná, že se osoba blíží k domovu. V součinnosti s čidly pro teplotu, napojením na elektrický kotel, ohřívač vody atd. dokáže chytrý dům vytopit dům na příjemnou teplotu pro obyvatele nebo například spustit ohřívač vody. Využití těchto technologii povede k vyšším úsporám a zvýšení efektivnosti celého domu.

Jak již bylo výše zmíněno, naprostá většina aplikací je založena na detekci určitých podnětů, jejich následného vyhodnocení a případně na reakci na tyto podněty. K tomu je

zapotřebí nějakým způsobem komunikovat mezi senzorem, vyhodnocovací a zobrazovací jednotkou. Komunikovat lze propojení senzoru a jednotky pomocí sběrnice, která může být vyrobena z vodičů nebo optických vláken. Toto stále připojení, ale je pro většinu aplikací nevhodné. Proto je zapotřebí bezdrátové komunikace a k tomu jsou zapotřebí antény.

V dalších kapitolách (3.1 až 3.5) bude uvedena základní teorie antén, základní informace i dipólových, monopólových, flíčkových a speciálních anténách. Po těchto úvodních teoretických kapitolách se tato diplomová práce přesune do její praktické části.

## 3.1 Teorie antén

Anténa je zařízení, které přenáší energii z vodivého prostředí, kde se šíří jako elektrický proud, do nevodivého prostředí, kterým je vzduch a šíří se zde pomocí elektromagnetických vln, nebo z nevodivého prostředí směrem do vodivého.

Základním rozdělením jsou:

**Dipól** – je anténa, která je tvořena dvěma symetrickými rameny a napájení je přivedeno doprostřed. Délka ramena je ¼ λ.

**Monopól** – označovaný také jako „prutová anténa“ Je tvořen jedním ramenem o délce ¼ λ. Požadovaná délka ½ λ je vytvořena elektricky navinutím cívky pod rameno.

**Smyčka** – může být tvaru kruhového nebo čtvercového o obvodové délce λ. Napájení je vytvořeno rozpojením smyčky.

**Patche** – neboli také planární flíčková anténa, nebo také mikropásková anténa, je tvořena vodivým čtvercem o rozměrech W x L a je nanesena na substrátu, který má výšku h a permitivitu $\varepsilon_r$. Spodní strana antény je tvořena kovem a představuje reflektor [9][10][11].

Parametry antén:

**Šum** – anténa sama o sobě žádný šum nevydává, šum je tvořen v zesilovači na straně přijímače. Ten se odvíjí od kvality přijímače a kvality signálu, který mu dodává anténa.

**Směrovost antény** – je parametr, který udává v jakém směru bude anténa vyzařovat. Jedná se o vertikální, horizontální a všesměrové antény.

**Zisk** – udává, kolikrát silnější signál dokáže anténa vyzářit oproti referenční hodnotě, kterou je půlvlný dipól.

**Impedance** – ideální je případ, kdy mají všechny části systému stejnou impedanci (typicky 50Ω). Pokud má některá část systému odlišnou impedanci, bude docházek ke ztrátám a nežádoucím odrazům.

**Napájení antény** – pro napájení se využívá nejčastěji koaxiální kabel o impedanci 50 Ω nebo 75 Ω. Ve všívaných smart textiliích je toto u antény velký problém. Vytvoření samotné antény je triviální záležitost, nicméně její připojení již tak triviální není. Je zapotřebí totiž konektoru. Tuto bariéru lze částečně překonat využitím planární flíčkové antény, kterou můžeme připojit mikropáskovým vedením což vede ke snížení rozměrů a zvyšuje stabilitu připojení [9][10][11].

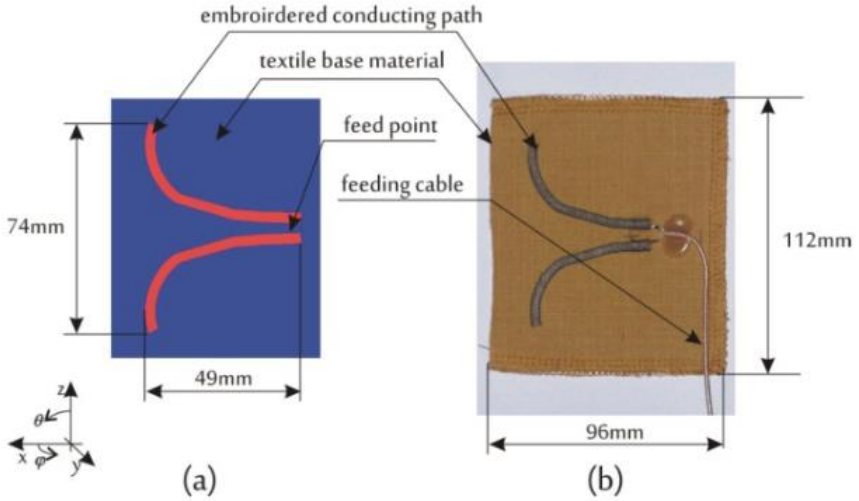
**S – parametry –** popisují vstupně-výstupní vztahy mezi dvěma porty v elektrickém systému.

**Vstupní činitel odrazu S11** – udává jak dobře je anténa přizpůsobena. Ideálním případem by byl nulový činitel odrazu, což by znamenalo, že veškerá energie je vyzářena nebo spotřebována na ztráty. [16]

**Činitel jakosti** – vyjadřuje podíl uložené a ztracené energie (vyzářením a ztrátami) za jednotku času. [21]

## 3.2 Dipólové antény

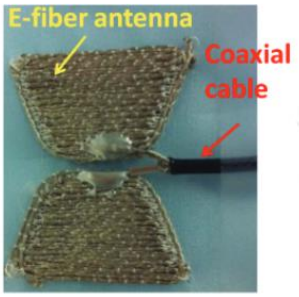
Dipólová anténa je co do konstrukce tou nejjednodušší, postačí vytvořit dvě ramena a ty poté napájet. Lze ji tedy vyrobit i pomocí všívání za pomocí vodivých nití. Použitelný šířka pásma je od 100 MHz do 10 GHZ. Obvykle se, ale používá volné pásmo 2.4 GHz pro komunikaci na vzdálenosti v řádech stovek metrů. Na *Obr. 14* je všitá dipólová anténa, navržená pro zásahovou jednotku hasičského sboru.




**Obrázek 14 - všívaná dipólová anténa [13]**

Nejlepších hodnot činitele odrazu dosahují tyto antény na 2.4 GHz a při použití v nositelném obleku, kdy je umístěna co nejblíže lidskému tělu.

Na *Obr. 15* je vidět prototyp všívané dipólové antény. Tento prototyp byl navržen pro použití v GSM a WIFI aplikacích. U GSM je provozovaný kmitočet 850/900 Hz, při tomto kmitočtu dosahuje činitel odrazu hodnoty -14dB. A kmitočtu 1800/1900 Hz, zde je činitel odrazu -17dB. Je tedy výhodnější z pohledu kvality přenosu využívat pásmo 850/900 Hz. Rozměry GSM antény jsou 117 x 80 mm. Pro WIFI se mohou rozměry antény snížit na 41 x 35 mm a využívané pásmo je 2.4 GHz, při těchto hodnotách dosahuje činitel odrazu -15dB [12].




**Obrázek 15 - GSM a WIFI všívaná anténa [12]**

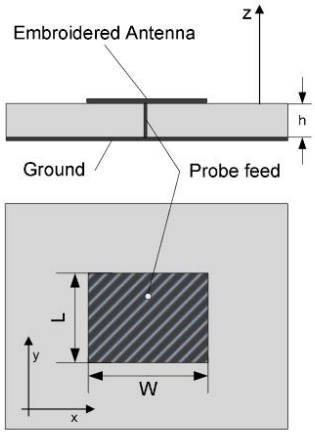
## 3.3 Monopólové antény

Monopolová anténa je velmi podobná konstrukcí jako anténa dipólová. Jedna se o vztyčené jedno rameno a druhé je tvořeno zemnicí plochou. Pro výrobu těchto antén se zpravidla nevyužívají všívané materiály, ale tvar se vytvoří na vodivý materiál a následně se na textilii napaří.

## 3.4 Flíčkové antény

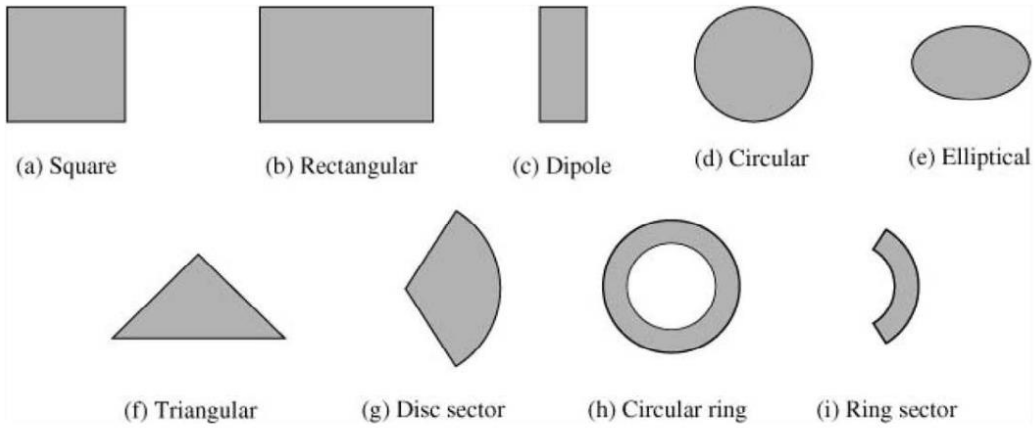
Flíčkové antény souvisejí s mikropáskovou technologií, o této technologii se objevují první zmínky v 50 letech minulého století, kdy byla potřeba vyrobit anténu, která by kopírovala tvar letadel. V současnosti jsou velmi rozšířené a to zejména díky nízkému profilu, slučitelnosti s DPS technologií, možností vytvořit rozličné tvary antén pro různé aplikace, vysoké jakosti antény a příznivé ceny. Díky těmto parametrům je současné využití například u mobilních telefonů nebo v aplikacích kde je využita mikropásková technologie.

Flíčkové antény se skládají z antény, napájecího vedení a zemní plochy. Podobu mohou mít „sendvičovou“, tedy zářič vyrobený z vodivého materiálu, natisknutí nebo našití na dielektrický materiál, a spodní vodivou zemnicí plochu.




**Obrázek 16 - obecné schéma flíčkové antény [17]**

Na *Obr. 17* lze vidět možné základní typy mikropáskových antén.



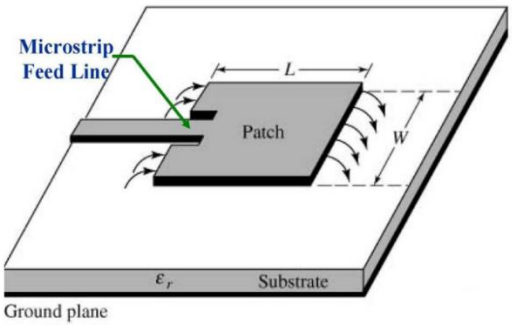

**Obrázek 17 - typy mikropáskových antén [23]**

Mezi nevýhody mikropáskových antén patří nízká efektivita vyzařování, malá výkonová zatížitelnost a malý vyzařovací účinek napájení.

Způsoby napájení mikropáskových antén:

A) mikropáskovým vedením

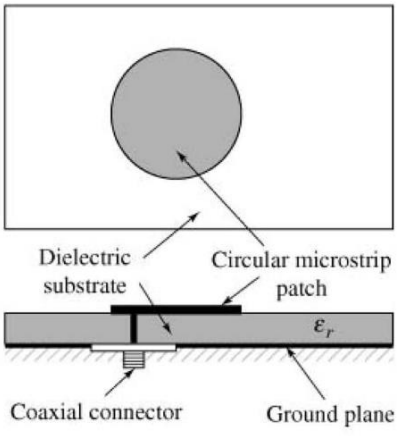
U antény, která je napájena mikropáskovým vedením , je napájecí vedení vytvořeno stejnou technologií jako zářič antény již při výrobě. Vedení a anténa jsou vytvořeny z jednoho kusu materiálu.




**Obrázek 18 - napájení antény mikropáskovým vedením [23]**

B) koaxiálním kabelem

U napájení koaxiálním kabelem je k zemnicí ploše pevně připojen vnější vodič koaxiálního kabelu a vnitřní vodič je připojen k zářiči. Na *Obr. 19* je vidět „sendvičová“ anténa, kde je na horní ploše vytvořen kulový zářič na dielektrické ploše, pod ním je vodivá zemnicí plocha a vnitřní vodič koaxiálního kabelu je připojen skrz dielektrickou vrstvu až na zářič.[23][24]

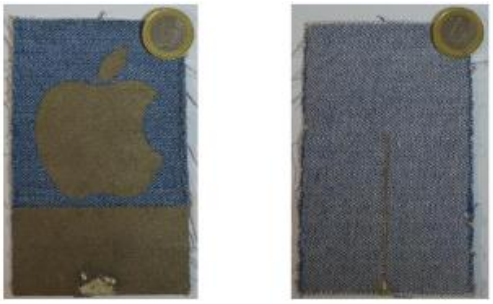



**Obrázek 19 - napájení antény koaxiálním kabelem [23]**

Účinnost všívaných flíčkových antén se při kmitočtu 2.4 GHz pohybuje kolem 30% a činitel odrazu se pohybuje kolem -20 dB.

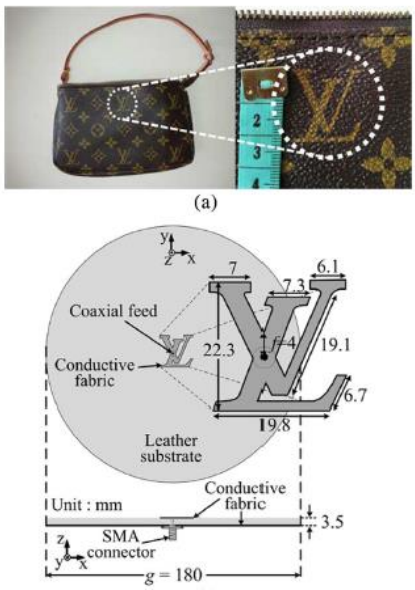
## 3.5 Speciální antény

Ve smart textiliích můžeme kromě klasických dipólových, monopólových a flíčkových antén narazit na antény, jejichž zářič má netypický tvar. Tyto logo-antény řadíme mezi monopólové antény. Na *Obr. 20, Obr. 21 a Obr. 22* jsou vidět ukázky, kdy byla anténa vytvořena do podoby známých světových značek. Činitel odrazu u logo antén se pohybuje okolo -50dB.



**Obrázek 20 - Anténa typu logo - Apple[14]**

**Obrázek 21 - Anténa typu logo - Lacoste[14]**




**Obrázek 22 - Anténa typu logo - Louis Vuitton[20]**

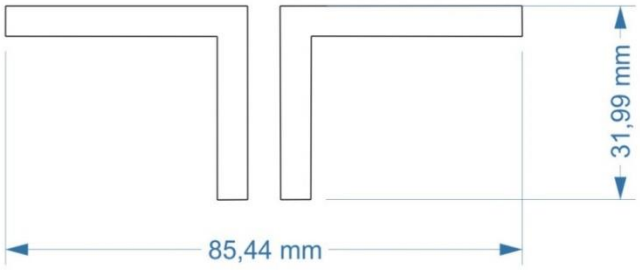
Tato technologie má nevýhodu v malé flexibilitě materiálu a problematice čistění. Prát takovou anténu v běžné pračce nelze, a proto musí být před praním mechanicky vyjmuta z dané textilie. Výhodou ovšem je propagace značky, což by mohlo přimět velké technologické společnosti, aby investovali do vývoje systému pro monitorování zdraví, sportovního Smart oblečení nebo případně do vývoje obleků pro složky záchranných systémů.

## 3.6 Návrh antén

Jelikož všívané antény a využití hybridních šicích nití jsou novými technologiemi, tak neexistují pravidla podle, kterých by bylo možné postupovat při návrhování. Proces návrhu, výroby a testování bylo zcela na experimentální úrovni. Při vytváření designu vzoru se vycházelo z již známých a funkčních antén, ale parametry rozměrů byly zcela v rámci experimentování. Všechny realizované antény byly navrhnuty v programu CorelDraw X6.

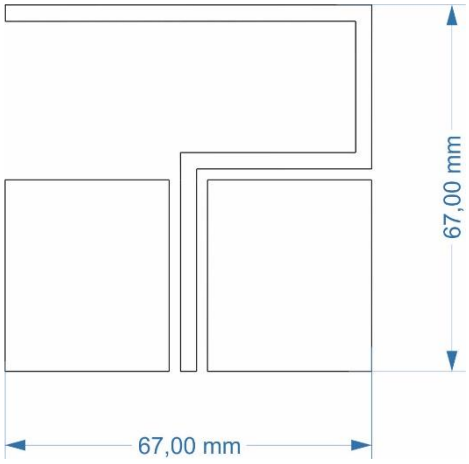
Návrh antén č. 1

Jak již bylo nastíněno v úvodu této kapitoly v první fázi byly navrhnuty 4 vzory antén. První vyrobenou anténou byl dipól. Na *Obr. 23* lze vidět jeho rozměry a tvar. Jedná se o nejlépe realizovatelný typ antény z hlediska výrobního času a materiálových nákladů.



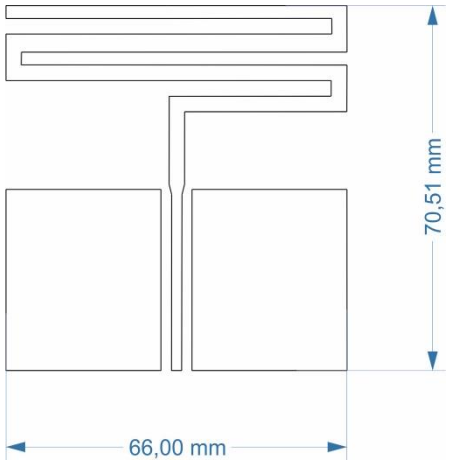

**Obrázek 23 - Návrh dipólové antény – vytvořený v programu CorelDraw**

Druhým nejlépe vyrobitelným typem byla flíčková anténa typu C. Na *Obr. 24* jsou vidět dvě zemnicí plochy ve tvaru obdelníku a uprostřed umístěná vodivá plocha.



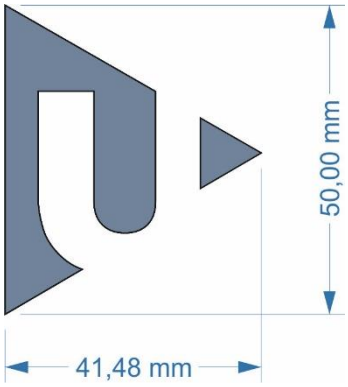

**Obrázek 24- Návrh flíčkové antény č.1 – vytvořený v programu CorelDraw**

Třetí a polední vyrobenou anténou v první fázi byla anténa dle návrhu na *Obr. 25*. Zde se oproti předchozímu podobnému návrhu liší rozměry a hlavní změnou je tvar vodivé plochy. Jak je z *Obr. 25* patrné mezi zemnícími plochami je vodivá plocha zúžená a následně se rozšiřuje do výsledné šířky a je zde vytvořeno více ohybů a celková délka vodivé plochy je delší než délka vodivé plochy z *Obr. 24.*




**Obrázek 25 - Návrh flíčkové antény č.2 – vytvořený v programu CorelDraw**

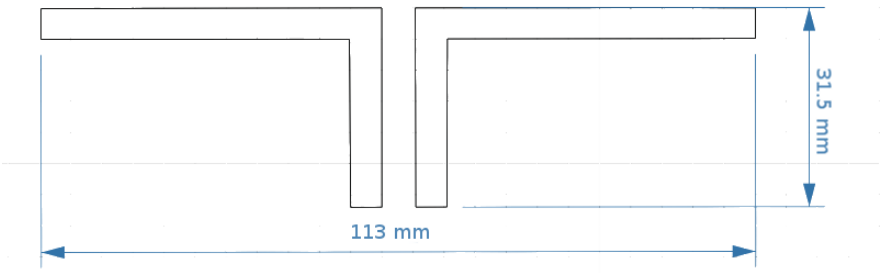
Logo anténa na *Obr. 26* po zkušenostech s testováním prvních třech vyrobených antén, kdy výsledky nebyly zcela dle očekávání, zůstala pouze ve fázi návrhu bez vyrobení, jelikož problematika výroby všívaných antén je velice komlexní a cílem diplomové práce bylo vytvořit funkční anténu a proto byly zdroje směřovány a ostatní vzory antén.




**Obrázek 26 - Návrh logo antény (znak Západočeské univerzity v Plzni) – vytvořený v programu CorelDraw**

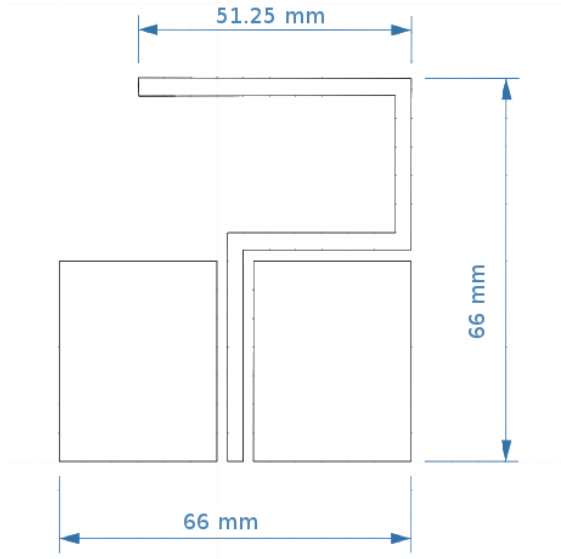
Návrh antén č. 2 - optimalizace

Jelikož první návrhy antén nedopadly zcela dle požadovaných parametrů (více v další kapitole) provedla se úprava stávajících návrhů a byl přidán další vzor.



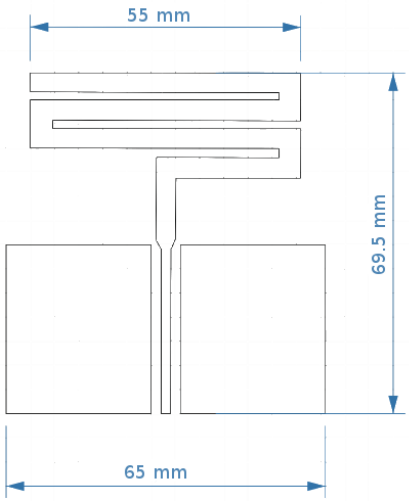

**Obrázek 27 - Návrh dipólové antény v2 – vytvořený v programu CorelDraw**

Jak je z *Obr. 27* vidět, došlo u návrhu dipólové antény ke změně rozměrů a to sice k prodloužení, tak aby lépe vyhovovala vyzařovacímu spektru. Zda byla tato změna provedena úspěšně, bude popsáno v dalších kapitolách.



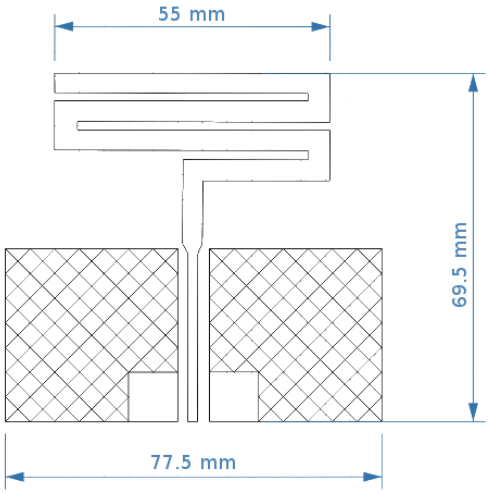

**Obrázek 28 - Návrh flíčkové antény č.1 v2 – vytvořený v programu CorelDraw**

V případě flíčkové antény typu C z *Obr. 28* došlo pouze ke zkrácení antény, rozměry zemnicí plochy zůstaly nezměněné.



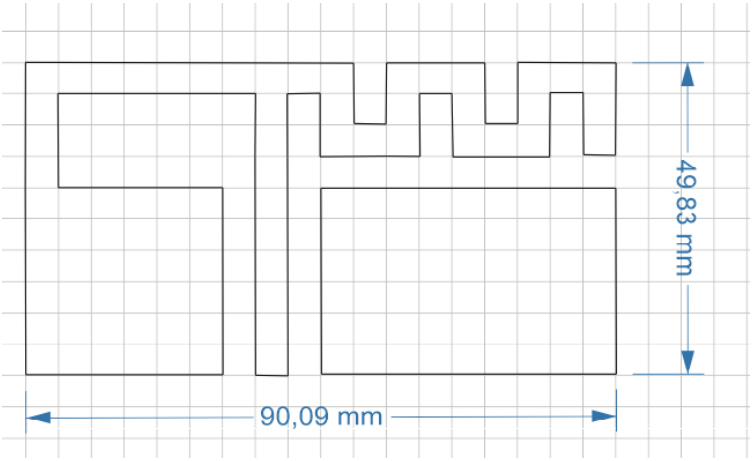

**Obrázek 29 - Návrh flíčkové antény č.2 v2 – vytvořený v programu CorelDraw**

Pro vylepšení vyzařovacích parametrů flíčkové antény tupy meandr na *Obr. 29*, bylo u tohoto návrhu, oproti předchozímu provedeno rozšíření drah antény a zmenšení rozměrů.




**Obrázek 30 - Návrh flíčkové antény č.2 v3 – vytvořený v programu CorelDraw**

V návrhu flíčkové antény č.2 verze v3 z *Obr. 29* byly zachovány rozměry antény z verze v2. Nicméně zde byla provedena úprava v zemnicích plochách. Změnou prošli jak rozměry tak vyplnění. Zde se již nevyšívá celá plocha, ale pouze síťový vzor. Tato změna byla provedena za účelem zmenšení materiálových nákladů na vyšívání antény. Celá změna je vidět na *Obr. 30.*




**Obrázek 31 - Návrh fličkové antény č.4 – vytvořený v programu CorelDraw**

Na *Obr. 31* byl vytvořen nový a odlišný návrh oproti prvním verzím. Zde je plocha antény vytvořena do tvaru „radiátoru“ a spojena s jednou zemnicí plochou.

## 3.7 Realizace antén

K realizaci všívaných antén byl využit šicí stroj Bernina QE750, jež má katedra technologií a měření fakulty elektrotechnické zakoupen.

Tento stroj dokáže vyšít 837 typů stehů a 6 abeced. Pro využití všech těchto možností je zapotřebí mít společně se šicím strojem také vyšívací modul.Šicí stroje Bernina jsou vyráběny ve Švýcarsku, které je synonymem přesnosti a využití nejmodernějších technologií. *Na Obr. 32a. je vidět, že má Bernina dotykovou obrazovku. Pomocí této obrazovky lze regulovat různé aspekty vyšívání, například vybrat tvar šitého stehu, popřípadě ve tvaru písmene abecedy.*

**Obrázek 32–a) šicí stroj Bernina QE750, b) vyšívací modul ke stroji Bernina QE750**

**Obrázek 33 - Kompletní sestava vyšívacího stroje Bernina**

Jelikož návrh antén byl vytvořen v programu CorelDraw X6, což je velmi komplexní software pracující mimo jiné s vektory, a soustrojí samo o sobě by nebylo schopno vytvořené návrhy realizovat, bylo zapotřebí využít další software, který emuluje návrh do formy, kterou dokáže Bernina zrealizovat. Motivy k vyšití tedy byly vytvořeny v programu Bernina Designer Plus_7.0. K vyšívání byli použiti jehly pro šití kovových nití.

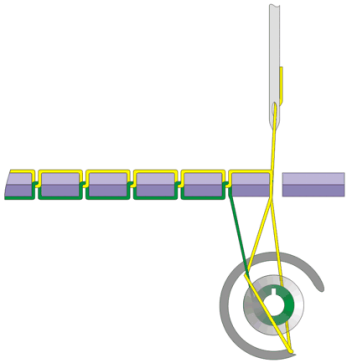
Bernina Designer Plus_7.0

Program nabízí například:

- Autodigitalizace ( převedení obrázku na výšivku)
- Vytváření objektů ( otevřené objekty, uzavřené objekty, přednastavené objekty)
- Abecedy, Monogramy
- Punch výšivky (prošívání zatkáváné vlny....)
- Aplikace: automatická úprava výšivky pro vystřižení po vyšití a další použití
- Zrcadlení horizontální, vertikální, zrcadlení násobené
- Seskupení výšivek nebo jejich částí dohromady / rozdělení výšivek na jednotlivé části
- Knoflíkové dírky
- Možnost změny výšivky na obrysovou či výplňovou
- Křížková výšivka[19]

Z výroby jsou vyšívací nitě připraveny na velkých cívkách, což je vzhledem k funkci a možnostem vyšívacího stroje nevhodné a proto se musí provést převinutí na menší cívky, vhodné pro vyšívací stroj. Zde může vzniknout první problém při vyšívání, jelikož vodivé drátky v niti nejsou tak flexibilní jako běžné nitě, může tedy dojít při převíjení k poškození vodivých drátků. K dalšímu poškození mechanickou silou může dojít při samotném vyšívání, neboť bylo využito strojní vyšívání a ne pouze obšívání, kdy se na textilii vloží vodič a

následně pouze přišije k textilii nevodivou nití. Při strojním vyšívání, dochází k silnému mechanickému namáhání jak je vidět na *Obr. 34*.



**Obrázek 34 - Princip funkce šicího stroje[26]**

Vodivá niť, na *Obr. 34* znázorněna žlutě je provlečena jehlou, která pronikne textilií. Při pohybu zpět se vytvoří okno, kterým se provlékne podkladová niť, znázorněna zeleně, a následně dojde k utáhnutí stehu. Toto namáhání pro běžné nitě nepředstavuje velký problém, jelikož v případě, že dojde k přetržení nitě lze snadno pokračovat s šití. Přetržení nitě, ale při použití vodivých nití představuje velký problém z pohledu vodivosti, není totiž snadné a v tomto případě i nemožné provést napojení nitě, tak aby nebyl obvod narušen. Přerušení samozřejmě snižuje vodivost a nepříznivě zvyšuje rezistivitu.

Použité materiály

Kevlarová tkanina – Kevlar je obchodní značka para-aramidového vlákna uvedeného na trh firmou DuPont v roce 1971. Jsou to tkaniny z polyamidů s dlouhým uhlíkovým řetězcem. Díky svým vlastnostem jsou vhodná pro použití v aplikacích, kde hrozí vysoká teplota. Tento materiál byl použit jako podklad pro vyšití antén.[25]

K vyšití vzorů byli použiti zcela nové tzv. hybridní šicí nitě, které byly vyvinuty na FEL ZČU ve spolupráci s VÚB a.s. Ústí nad Orlicí. Tyto hybridní nitě jsou již chráněny užitný vzorem, což je důkazem kvalitní odborné práce na FEL ZČU a VÚB a.s. v tomto oboru a vytváří tím prostor pro komerční využití. Pojem hybridní nitě znamená, že na nevodivém vláknu jsou opředeny vodivé drátky, v tomto případě mikrodráky z postříbřené mědi nebo

s mosazí. Byly vyvzorovaný různé typy hybridních šicích nití, které se liší poměrem složení materiálů, různým průměrem mikrodrátku (20- 30 μm) odlišnými hodnotami odporů (v řádu jednotek Ω/m).

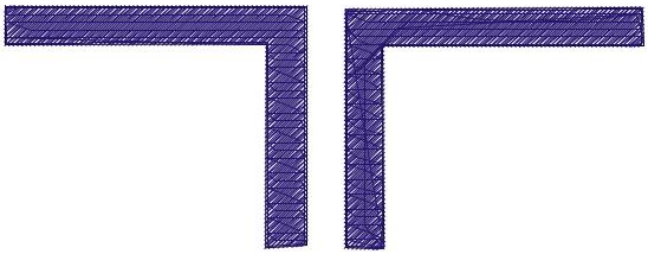
Pro vyšití první verze testovacích vzorků byla použita niť obsahující 8 mikrodrátků Na bázi postříbřených měděných drátků o průměru 30 μm. Průměrná naměřená hodnota rezistivity byla 5 Ω na 1 m délky nitě. Po optimalizaci, čili při druhém vyšívání, byly použity dva typy hybridních šicích nití s odlišnými parametry. Jako první byla použita hybridní šicí niť s 12 drátky o celkové tloušťce nitě 20 μm, přičemž průměrná rezistivita v tomto případě dosáhla hodnoty 5.1 Ω na 1 m délky nitě (později označované jako N13). Dále byla použita hybridní šicí niť s 8 mikrodrátky z mosazi o průměru 30 μm, kde celková průměrná hodnota činila 7,5 Ω na 1 m délky nitě (později označované jako N26A). Oproti předchozí niti je hybridní šicí niť tvořena mikrodrátky z mosazi o průměru 30 μm, tedy o 10μm širším něž v případě mikrodátků z postříbřené mědi. Tento fakt má mírný dopad na šicí vlastnosti dané nitě.

Po porovnání, která niť bude lepší pro použití pro výrobu všívané antény, byl vzorek dipólové antény po optimalizaci vyšit oběma typy nových nití. Tento vzor byl vybrán s ohledem na nejlepší výsledky z prvního měření (bude diskutováno později).

Lepidlo EPOTEC – epoxidové lepidlo na bázi stříbra vhodné pro extrémní aplikace s vysokou přilnavostí. EPOTEC je dvousložkové lepidlo, po smíchání a aplikaci na požadované místo je zapotřebí jej nechat vytvrdit v peci při teplotě 75 – 85° po dobu 10 – 15 minut.

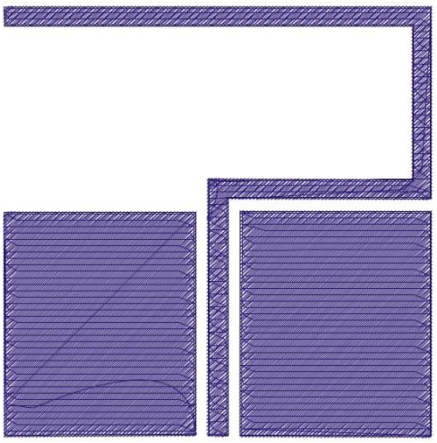
Vodivý stříbrný epoxid – jako druhé lepidlo byl zvolen tento typ lepidla s elektrickou rezistivitou 0,0007 Ω*cm. Opět se jedná o dvousložkové lepidlo a nutností vytvrzení a to sice při 65° po dobu 60 minut.

Návrh antén č. 1



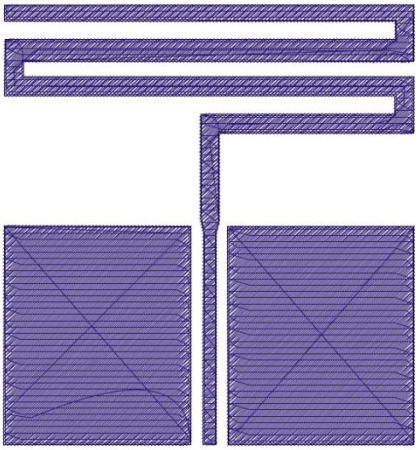
**Obrázek 35 - Motiv dipólové antény -- Designer Plus_7.0**

Na *Obr. 35* je vidět realizace dipólové antény dle návrhu na *Obr. 23.* Pro vyšití této antény bylo spotřebováno 3,81m podkladové nitě a 10,35m vodivé nitě. Na anténu o rozměrech 85,44 x 31,99 mm bylo tedy spotřebováno 14,16m nitě.



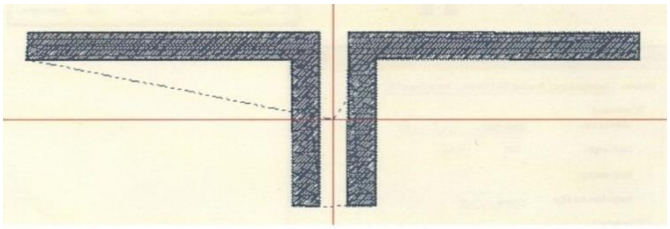
**Obrázek 36 - Motiv flíčkové antényč.1 -- Designer Plus_7.0**

K vytvoření flíčkové antény dle návrhu na *Obr. 24* o rozměrech 67 x 67 mm bylo spotřebováno 13,33m podkladové nitě a 33,9m vodivé nitě. Celkem tedy 47,24 nití.



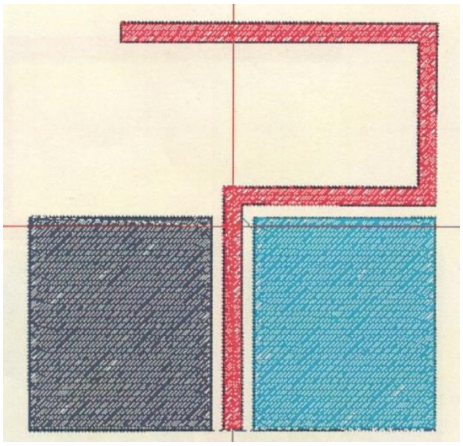
Pro realizaci flíčkové antény č.2 o rozměrech 66 x 70,51 mm se spotřebovalo na podkladovou vrstvu 15,9m nitě a vodivou vrstvu 41,14 m nitě. Celkem se tedy na návrh flíčkové antény č.2 spotřebovalo 57,04 m nití.

Návrh antén č. 2



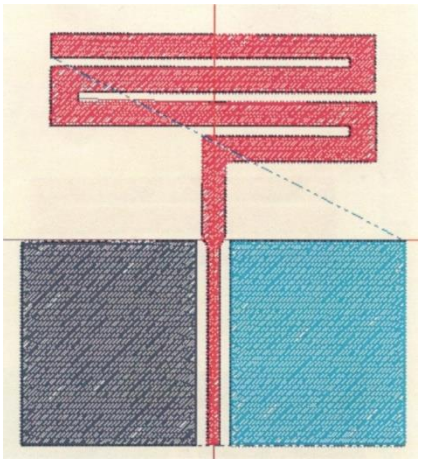
**Obrázek 37 - Motiv dipólové antény v2 -- Designer Plus_7.0**

Po redesignu dipólové antény bylo spotřebováno 4,59m pokladové nitě a 12,42m nitě na vodivou vrstvu. Celkem tedy 17,01 m což je téměř o 3m více než v předchozím návrhu.



**Obrázek 38 - Motiv flíčkové antény č.1 v2 -- Designer Plus_7.0**

Pro vyšití tohoto motivu bylo spotřebováno 13,1 m podkladové nitě, na vodivé části se spotřebovalo 33,19 m vodivé nitě. Celková spotřeba tedy činila 46,29 m nití. V porovnání s prvním návrhem došlo k úspoře téměř jednoho metru nití.



**Obrázek 39 - Motiv flíčkové antény č.2 v2 -- Designer Plus_7.0**

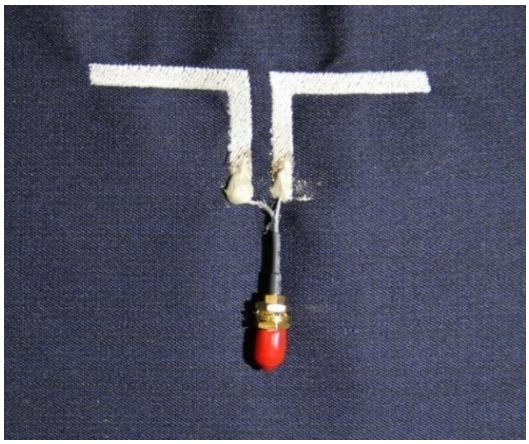
Po rozšíření cest se navýšila celková spotřeba nití oproti prvnímu návrhu o jeden metr na 58,09 m, přičemž na vodivé nitě připadá 41,8 m a na podkladové 16,29 m.

## 3.8 Měření antén

V rámci této diplomové práce bylo pro určení kvality navrhnutých a vyrobených antén provedeno měření rezonančních charakteristik v závislosti na parametru S11. Měření rezonanční charakteristiky bylo nezbytné, jelikož cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat všívanou anténu operující na frekvenci 868 MHz. Vstupní činitel odrazu, tedy S11 parametr, udávající jak je anténa dobře impedančně přizpůsobena byl, jak se ukázalo v těchto měřeních velice důležitý parametr. Vypočítat impedanci všívané antény při návrhu není jednoduchým úkolem. Měření se tedy prováděla pro různé hodnoty impedančního přizpůsobení. Například v první verzi návrhu dipólové antény bylo provedeno měření při přizpůsobení na 50 Ω (na tuto hodnotu je obvykle dipólové antény optimalizují a to z důvodu, že impedance koaxiálního kabelu z pravidla činní 50 Ω nebo 75 Ω). Následně, jelikož naměřené výsledky nebyly zcela uspokojující, bylo provedeno měření při přizpůsobení na 200 a 300 Ω, tyta měření z pohledu tvaru křivky dopadla lépe. Tento princip byl aplikován na všechny typy měřených antén. Rozsah hodnot pro impedanční přizpůsobení se pohyboval mezi 30 až 300 Ω.

Měření bylo provedeno na přístroji LeCroy SPARQ. Mezi klíčové vlastnosti měřícího přístroje LeCroy SPARQ patří například schopnost měřit S-parametry na čtyřech portech, měřící rozsah od 0 Hz do 40 GHz, analyzuje signál jak ve frekvenční tak i v časové oblasti a je v porovnání s ostatními měřícími přístroji výrazně levnější [36].

Na *Obr. 41* až *Obr. 43* jsou vidět první vyrobené testovací vzorky antén. *Obr. 41* ukazuje první vyrobenou dipólovou anténu, *Obr. 42* flíčkovou neboli patch anténu typu C a *Obr.43* flíčkovou anténu typu meandr. Tyto antény byly vyšity hybridní šicí nití obsahující 8 mirkodrátků z postříbřené mědi o průměru 30 μm. Pro účely měření bylo nezbytné připevnit na vyšité antény měřící konektory, pomocí kterého byly vyrobené antény připojeny k měřícímu přístroji LeCroy SPARQ. Na *Obr. 41* je vidět použitý „PigTail“ konektor připevněný pomocí lepidla EPOTEC.

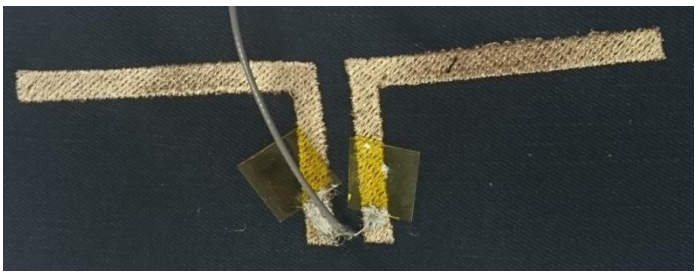


**Obrázek 40 - Testovací vzorek dipól č.1**

**Obrázek 41 - Testovací vzorek flíčková anténa č.1 – typ C**

**Obrázek 42 - Testovací vzorek flíčková anténa č.2 – typ meandr**

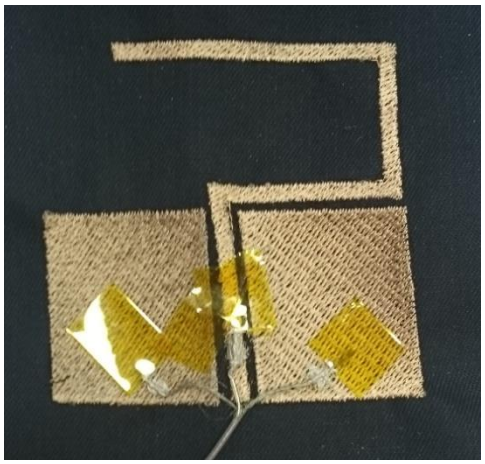
Jak již bylo výše zmíněno, pro výrobu dipólové antény po optimalizaci byly použity dva různé typy nových hybridních šicích nití. Na *Obr. 44* je vidět dipólová anténa vyšitá pomocí hybridní nitě z mosazných drátků. Druhý typ hybridní šicí nitě, tedy nitě obsahující 12 mikrodrátků z postříbřené mědi o průměru 20 µm, je vidět na *Obr. 45*. Pro připevnění měřícího konektoru v těchto případech nebylo použito epoxidové lepidlo EPOTEC, ale vodivý stříbrný epoxid. Žlutá tepelně-odolná lepenka zde byla použita jako fixační prvek při vytvrzování vodivého epoxidu v peci a později jako fixační a ochranný prvek při měření antén.



**Obrázek 43 - Testovací vzorek dipól č.2**

**Obrázek 44 - Testovací vzorek dipól č.3**

Poslední dvě vyšité a změřené antény jsou vidět na *Obr. 46* a *Obr. 47*. Pro vyšití těchto vzorků byla použita hybridní šicí niť obsahující mosazné drátky. Stejně tak jako u předchozích dipólových antén, zde byl k připevnění měřícího konektoru využit vodivý stříbrný epoxid. Na *Obr. 46* je flíčková anténa typu C a na *Obr. 47* flíčková anténa typu meandr.



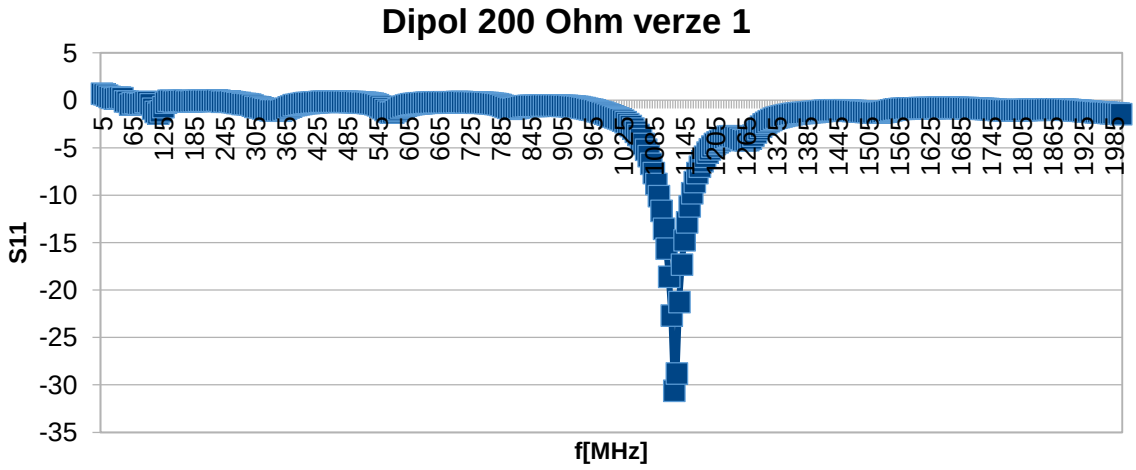
**Obrázek 45 -Testovací vzorek flíčková anténa č.3 – typ C**

**Obrázek 46 - Testovací vzorek flíčková anténa č.4 – typ meandr**

## 3.9 Zhodnocení naměřených výsledků

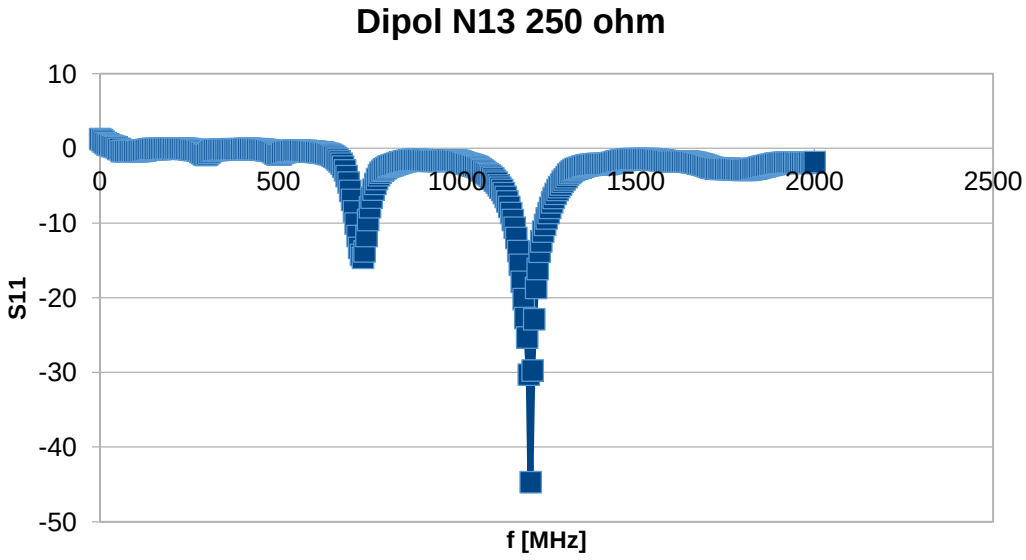
V této kapitole budou diskutovány vzhledem k množství měření jen některé vyrobené antény. Zbylé naměřené hodnoty budou ve formě grafů vloženy do přílohy. Jako první v pořadí vždy bude umístěn graf naměřených hodnot antény vyrobené v první fázi, popsán průběh a zhodnocení zda by byla anténa vhodná pro použití, zda se přiblížila požadovaným hodnotám nebo zda byl celý návrh nepovedený. Porovnávat ovšem vzájemně různé verze vyrobených antén není zcela možné, neboť u každého návrhu byly použity jiné materiály, ať už se jedná o typ použité hybridní šicí nitě nebo a různé lepidlo, kterým byl připevněn měřící konektor. Každý materiál má jiné parametry a tedy i jiné hodnoty elektrického odporu. Rozdílné hodnoty ovlivňují rezonanční křivku, provedené srovnání tedy nebude zcela správné.

Jako první bude diskutován dipól. Budou zde diskutovány verze, které při měření dopadli nejlépe. V *Graf 1* u dipólu 200 Ohm verze 1 je vidět průběh hodnot, který bychom chtěli. Problémem je špička, která není na námi požadovaných 868 MHz, ale na 1125 MHz. Do požadovaného pásma jsme se tedy nedostali. Další naměřené hodnoty této antény lze vidět v *Graf příloha 1* až *Graf příloha 2*.



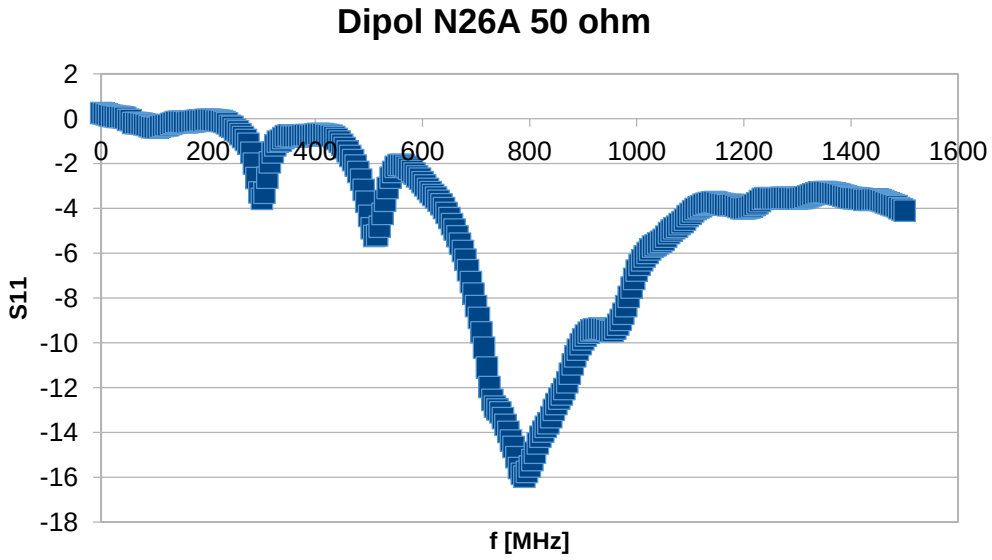

**Graf 1 - Naměřené parametry Dipol 200 Ohm verze 1**

Další verzí je dipól N13, kde byla použita hybridní šicí niť s 12 drátky o celkové tloušťce nitě 20 µm. Na *Graf 2* jsou vidět dvě špičky, první je na 735 MHz a druhá na 1210 MHz. Ani zde tedy nebylo dosaženo požadovaného průběhu ani frekvence. Další průběhy jsou na *Graf příloha 3* až *Graf příloha 5*.



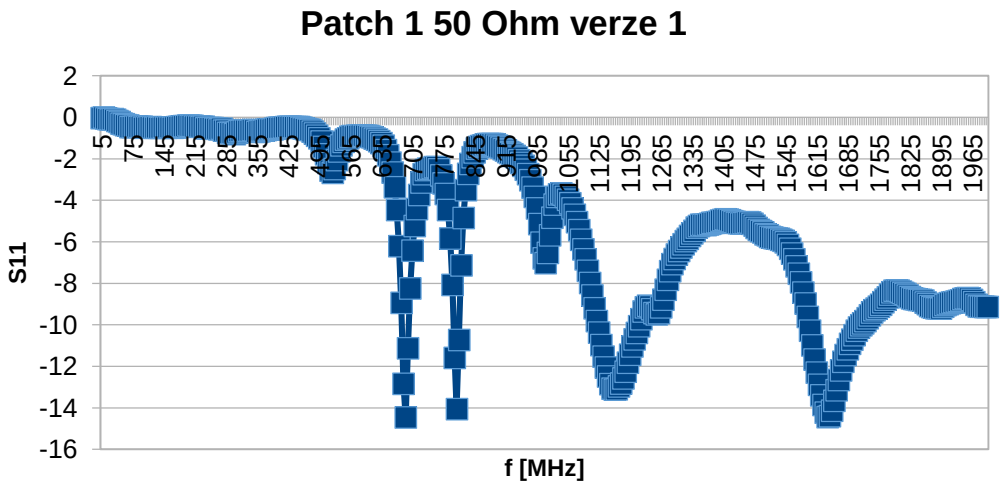

**Graf 2 - Naměřené parametry Dipol N13 250 Ohm**

V *Graf 3* jsou vidět dvě malé špičky a jedna velká na 790 MHz. Tato anténa dopadla mezi navrhnutými a vyrobenými anténami jako jedna z nejlepších. První dvě špičky v porovnání s hlavní můžeme zanedbat a dosažená frekvence by již byla v mezích, ve kterých by byla schopna fungovat. Zbylé měření jsou v *Graf příloha 6* až *Graf příloha 8.*



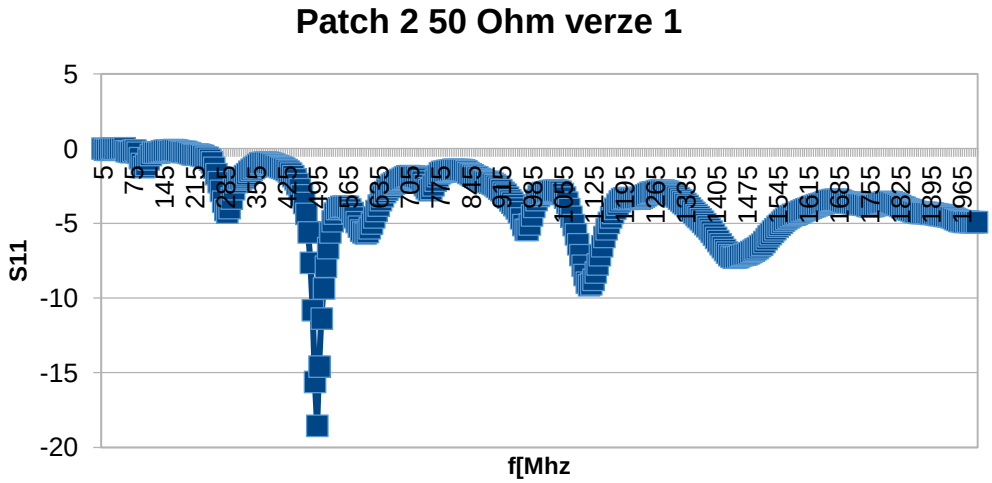

**Graf 3 - Naměřené parametry Dipol N26A 50 Ohm**

Nejhůře z hlediska tvaru průběhu dopadla anténa Patch 1, kde je vidět v *Graf 4* vzniklo několik špiček. V *Graf příloha 9* až *Graf příloha 12* je vidět, že ani jeden průběh není jako požadovaný a ani frekvence není blízko. Toto je tedy nejhorší návrh ze všech před i po optimalizaci.



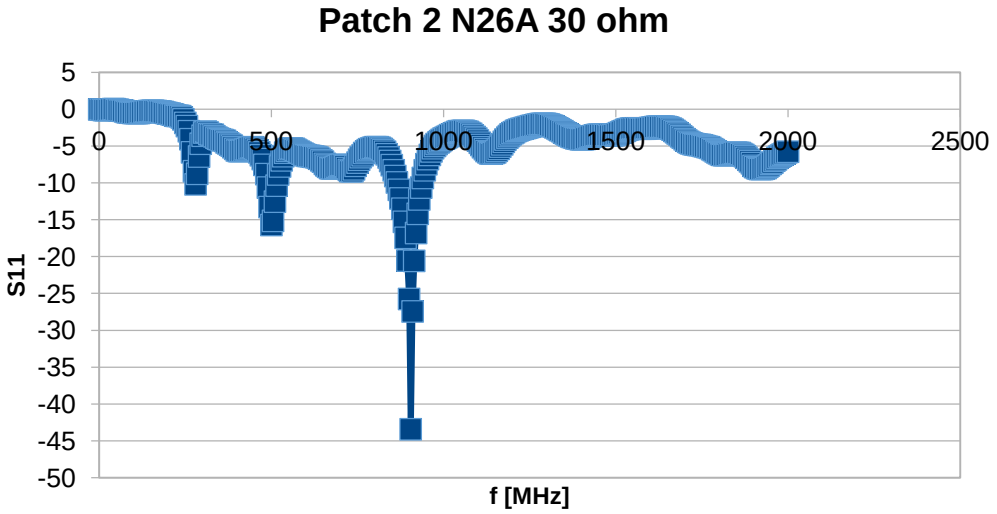

**Graf 4 - Naměřené parametry Patch 1 50 Ohm verze 1**

V *Graf 5* je vidět průběh, který by mohl být přípustný, ale hlavní a největší špička na 495 MHz, což je 373 MHz níže. V případě, že by bylo možné provést další optimalizaci a posunout změnou rozměrů antény hlavní špičku blíže k frekvenci 868 MHz, byla by pak tato anténa použitelná také. Zbylé naměřené hodnoty jsou v *Graf příloha 13* až *Graf příloha 14.*




**Graf 5 - Naměřené parametry Patch 2 50 Ohm verze 1**

Patch 2 N26A 30 Ohm patří společně s Dipólem N26A 50 Ohm mezi nejlepší antény. Naměřený průběh je vidět v *Graf 6.* Tvar křivky je velmi blízko ideálnímu stavu a s hlavní špičkou jsme se dostali na 905 MHz. Další změřené průběhy jsou v *Graf příloha 14* až *Graf příloha 18.*




**Graf 6 - Naměřené parametry Patch 2 N26A 30 Ohm**

# Závěr

Při pohledu do budoucnosti je jasné, že Smart textilie v příštích pár letech zažijí prudký rozmach. Nejrychlejší a také největší pokrok lze očekávat v armádním prostředí. Voják budoucnosti by mohl mít uniformu, která mu pomůže svým vlastnostmi imitující chování chameleona lépe se maskovat. Celá uniforma bude energeticky nezávislá, získávat energii pro integrovaná zařízení bude možné přeměnou kinetické energie na energii elektrickou nebo přeměnou slunečních paprsků. K tomu bude využito integrování fotovoltaických prvků. Integrovaný displej v textilii může sloužit pro zobrazování příkazů velení nebo například zobrazení mapových pokladů. Samozřejmostí budou ochranné prvky jako různé senzory pro detekci škodlivých plynů atd. Dále vzniknou ve zdravotnictví obleky, které budou dávkovat pacientům léky a v případě nějakých komplikací, dokáže oblek zaslat informaci o poloze a aktuálním stavu pacienta, což pomůže urychlit a zlepšit zdravotnickou péči. Samozřejmostí budou velmi inteligentní postele, polštáře nebo peřiny, které dokáží monitorovat životní funkce, detekovat přítomnost, možnost proleženin atd. Po armádním a zdravotnickém využití bude rychlý vývoj ve sportovních aplikacích. Rozmach, ale neslibují pouze zdravotnické, armádní nebo sportovní aplikace, ale především internet věcí. Jedná se o připojení zařízení do internetu, která spolu komunikují bez toho aniž, by člověk vyvinul jakoukoliv aktivitu. Cílem internetu věcí je shromažďovat informace a následně analyzovat. Na příkladu inteligentního domu lze princip internetu věcí velice snadno vysvětlit. Inteligentní dům v závislosti na času, na který bude mít člověk nastavený budík, roztáhne žaluzie, rozsvítí nebo zapne kávovar. Například inteligentní lednička čtením čárových kódů zjistí, že došlo mléko a automaticky jej objedná v nejlevnějším obchodě.

Výsledkem praktické části této práce, která měla za úkol navrhnout a realizovat všívané elektrické prvky ve Smart materiálech se stala anténa vyšitá na kevlarovém vlákně. Vzniklo několik vzorů všívaných antén. Pro výrobu těchto antén byly využity zcela nové hybridní šicí nitě, na jejichž vývoji se podílela Fakulta elektrotechnická Západočeské univerzity v Plzni. Jelikož se jedná o vcelku novou technologii, neexistuje žádná dokumentace jak pracovat s touto technologií. Všechny vypracované návrhy vznikly formou experimentů a proto neobvyklé, že k požadovanému stavu se přiblížily pouze dva vzory. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vyšitého vzorku dipólové antény N26A při optimalizaci na 50 Ω, kde jsme dosáhli téměř požadovaného průběhu rezonanční křivky optimalizovanou na 790 MHz a u flíčkové antény N26A optimalizované na 30 Ω se podařila udělat optimalizace na 905 MHz.

U tohoto vzoru, by mohl vzniknout problém s využitím v praxi, jelikož naprostá většina koaxiálních kabelů, pomocí kterých se antény připojují do systému, mají impedanci 50 nebo 75 Ω. Pro vývoj bezproblémově funkční antény pomocí všívání je zapotřebí více pokusů a nemít omezený rozpočet, neboť při pokusech se spotřebuje velké množství hybridních šicích nití. Nicméně velkou výhodou do budoucnosti všívané prvky mají a to sice vysokou flexibilitu.

# Seznam literatury a informačních zdrojů


[1] SODOMKA. Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií, 2006, Dostupné z:www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc

[2] DRAŠAROVÁ, JANA. CO UMÍ TEXTIL? FAKULTA TEXTILNÍ, Technická univerzita v Liberci. Dostupné z *http://*www.spstliberec.cz/.../Drasarova_Co_umi_textil_pdf.pdf

[3] Krasinský, Jan: Inteligentní a žáruvzdorné textilie a možnosti jejich využití, Plzeň, diplomová práce, 2013

[4] Kretzer, Maunel: ShapeShift využití, Chairfor CAAD, ETH Zürich, 2010. Dostupné z: http://materiability.com/shapeshift/

[5] E-textiles [online]. 2015. Dostupné z http://en.wikipedia.org/wiki/e-textiles

[6] Lauterbach, C.; Steinhage, A.; Techmer, A., "Large-area wireless sensor systembasedon smarttextiles," Systems, Signals and Devices (SSD), 2012 9th International Multi-Conference on , vol., no., pp.1,2, 20-23 March 2012

[7] Rofouei, M.; WenyaoXu; Sarrafzadeh, M., "Computingwithuncertainty in a smarttextile surfaceforobjectrecognition," MultisensorFusion and IntegrationforIntelligent Systems (MFI), 2010 IEEE Conference on , vol., no., pp.174,179, 5-7 Sept. 2010

[8] Brun, J.; Vicard, D.; Mourey, B.; Lepine, B.; Frassati, F., "Packaging and wiredinterconnectionsforinsertionofminiaturizedchips in smartfabrics," in *Microelectronics and PackagingConference, 2009. EMPC 2009. European* , vol., no., pp.1-5, 15-18 June 2009

[9] Antény a magie kolem nich [online]. 2015. Dostupné z http://aeroweb.cz/clanky/1231

[10] Úvod do antén [online]. 2015. Dostupné z http://hw.cz/teorie-praxe

[11] Porč, Jan: Automobilová anténa pro mobilní komunikaci, Brno, diplomová práce, 2009

[12] ZheyuWang; LanlinZhang; Psychoudakis, D.; Volakis, J.L., "GSM and Wi-Fi textile antennaforhigh data ratecommunications," in *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2012 IEEE* , vol., no., pp.1-2, 8-14 July 2012

[13] Januszkiewicz, L., "Theanalysisof influence of textile antennalocation on its performance," in *Antennas and Propagation (EuCAP), 2015 9th EuropeanConference on* , vol., no., pp.1-5, 13-17 April 2015

[14] Monti, G.; Corchia, L.; Tarricone, L., "Textile logo antennas," in *Microwave Symposium (MMS), 2014 14th Mediterranean* , vol., no., pp.1-5, 12-14 Dec. 2014

[15] Liang, J.; Chiau, C.C.; Chen, X.; Parini, C.G., "Printedcirculardisc monopole antennafor ultra-widebandapplications," in *ElectronicsLetters* , vol.40, no.20, pp.1246-1247, 30 Sept. 2004

[16] Večeřa, J: Vícepásmová anténa pro bezdrátovou komunikaci, Brno, bakalářská práce, 2009

[17] ShiyuZhang; Chauraya, A.; Whittow, W.; Seager, R.; Acti, T.; Dias, T.; Vardaxoglou, Y., "Repeatabilityofembroideredpatchantennas," in *Antennas and PropagationConference (LAPC), 2013 Loughborough* , vol., no., pp.140-144, 11-12 Nov. 2013

[18] KyoungJu Noh; YongKi Son; Bae Sun Kim; Il-YeonCho, "Wearable network usingOptical e-Textile Antennafor NLOS," in *ConsumerElectronics (ICCE), 2012 IEEE International Conference on* , vol., no., pp.556-557, 13-16 Jan. 2012

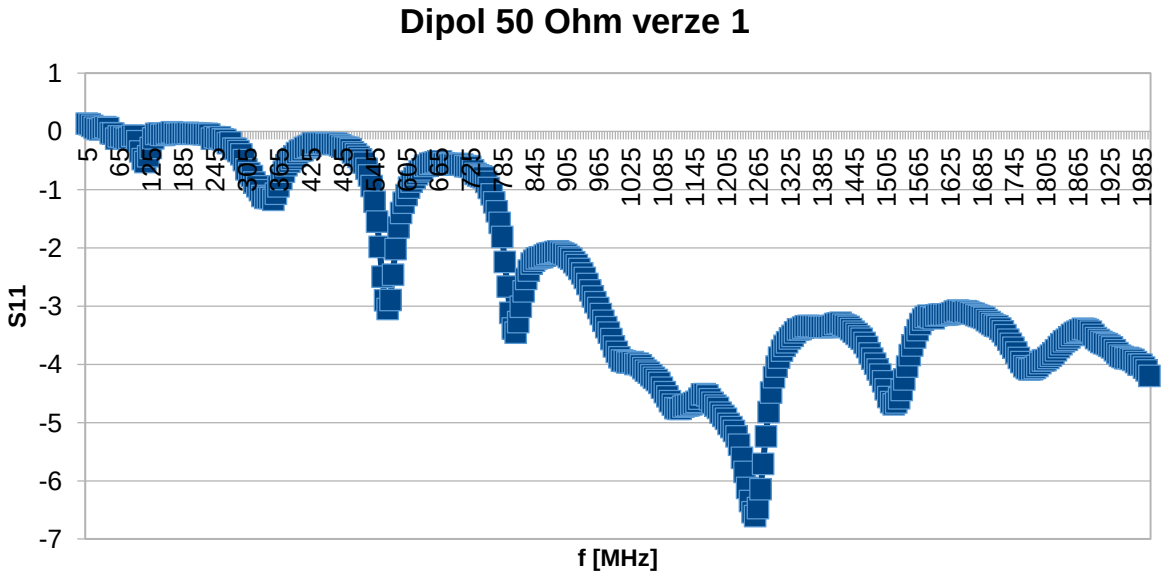
[19] Bernina soft dostupné z www. Něco.cz

[20] Jinpil Tak, "AnAll-Textile Louis Vuitton Logo Antenna" *IEEE*, and JaehoonChoi,

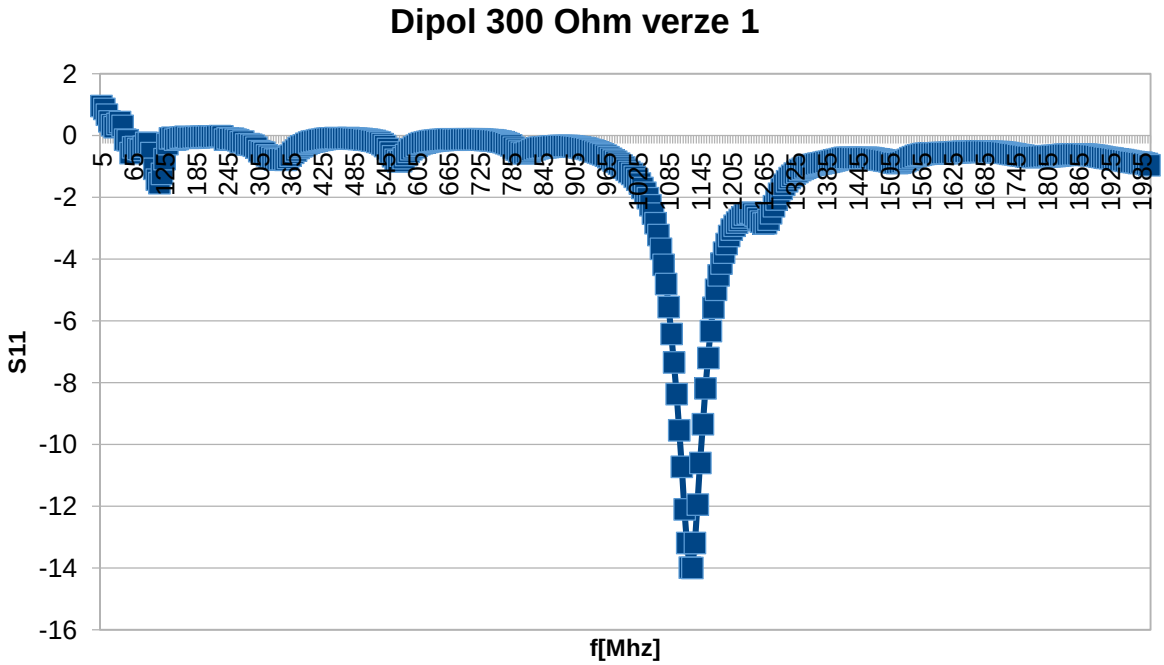
*Senior Member, IEEE*. 2012
[21] Závada, V: Numerická analýza vyzařovací úlohy elektricky zmenšené smyčky, FEL ČVUT Praha, diplomová práce, 2013
[22] Projekt LilyPad [online]. 2015. Dostupné z http://lilypadarduino.org
[23] Lukeš, Z: Moderní anténní systémy, VUT Brno, 2015. Dostupné z http://www.radio.feec.vutbr.cz
[24] Multimediální učebnice: Moderní antény, VUT Brno, 10.11.2015. Dostupné z http://www.urel.feec.vutbr.cz
[25] Aramidová vlákna [online] 3.2.2016. Dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna
[26] Šicí stroje [online] 30.4.2016. Dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ic%C3%AD_stroj
[27] J. De jonckheere *et al*., "OFSETH: Optical Fibre Embedded into technical Textile for Healthcare, an efficient way to monitor patient under magnetic resonance imaging," *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Lyon, 2007, pp. 3950-3953
[28] V. Bélanger-Garnier *et al*., "Novel multi-material fibers for wireless communication textile devices," *Antennas and Propagation Conference (LAPC), 2014 Loughborough*, Loughborough, 2014, pp. 368-371.
doi: 10.1109/LAPC.2014.6996399
[29] J. De jonckheere *et al*., "OFSETH: Smart medical textile for continuous monitoring of respiratory motions under magnetic resonance imaging," *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Minneapolis, MN, 2009, pp. 1473-1476
[30] C. J. Chien, S. S. Deora, P. Chang, D. Li and J. G. Lu, "Flexible Symmetric Supercapacitors Based on TiO 2 and Carbon Nanotubes," in *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 10, no. 4, pp. 706-709, July 2011.
[31] Textilní superkapacitory [online] 3.5.2016. Dostupné z http://nano.materials.drexel.edu/research/electrochemical-energy-storage/textile-supercapacitors/
[32] Top 5 Medical Applications for Smart Fabric Technology [online] 7.5.2016. Dostupné z http://www.mdtmag.com/blog/2015/02/top-5-medical-applications-smart-fabric-technology
[33] HealthWatch seeks FDA clearance for uts 12-lead ECG tshirt. [online] 8.5.2016. Dostupné z http://mobihealthnews.com/32774/healthwatch-seeks-fda-clearance-for-its-12-lead-ecg-tshirt
[34] Smart Fabrics 2009 – Conferenc Review [online] 10.5.2016. Dostupné z http://www.innovationintextiles.com/smart-fabrics-2009-conference-review/
[35] T. Blecha, R. Linhart and J. Reboun, "Screen printed antennas on textile substrate," *Electronics System-Integration Technology Conference (ESTC), 2014*, Helsinki, 2014, pp. 1-4.
[36] SPARQ Series Network Analyzers [online] 10.5.2016. Dostupné z http://teledynelecroy.com/sparq/
[37] Internet věcí [online] 11.5.2015. Dostupné z https://managementmania.com/cs/internet-veci-internet-of-things

# Přílohy

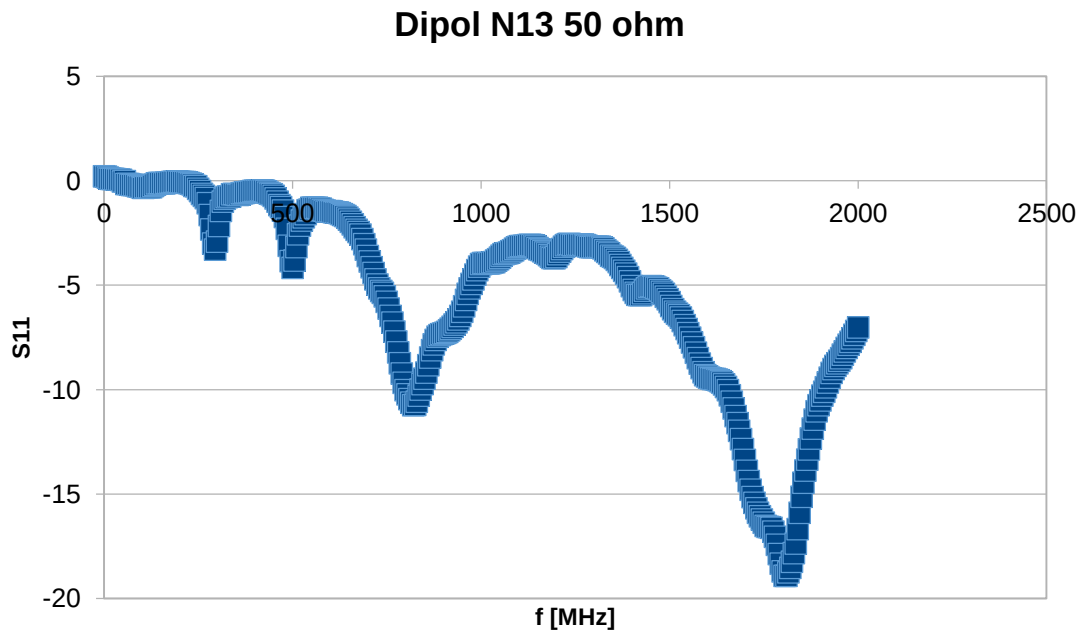
## Příloha A – Grafy naměřených hodnot



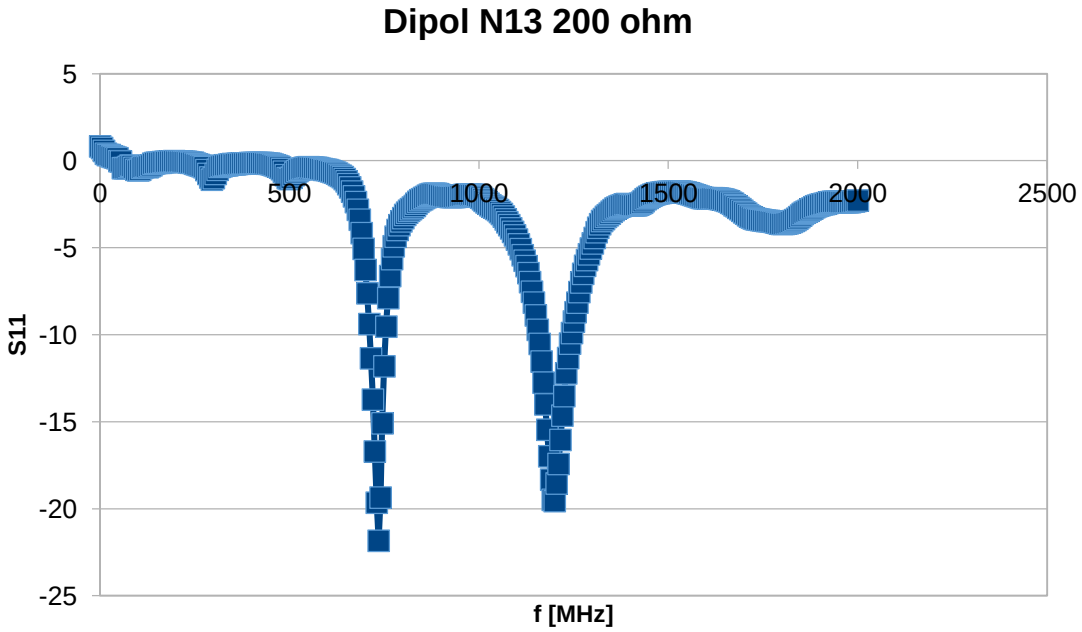

**Graf příloha 1 - Naměřené parametry Dipol 50 Ohm verze 1**



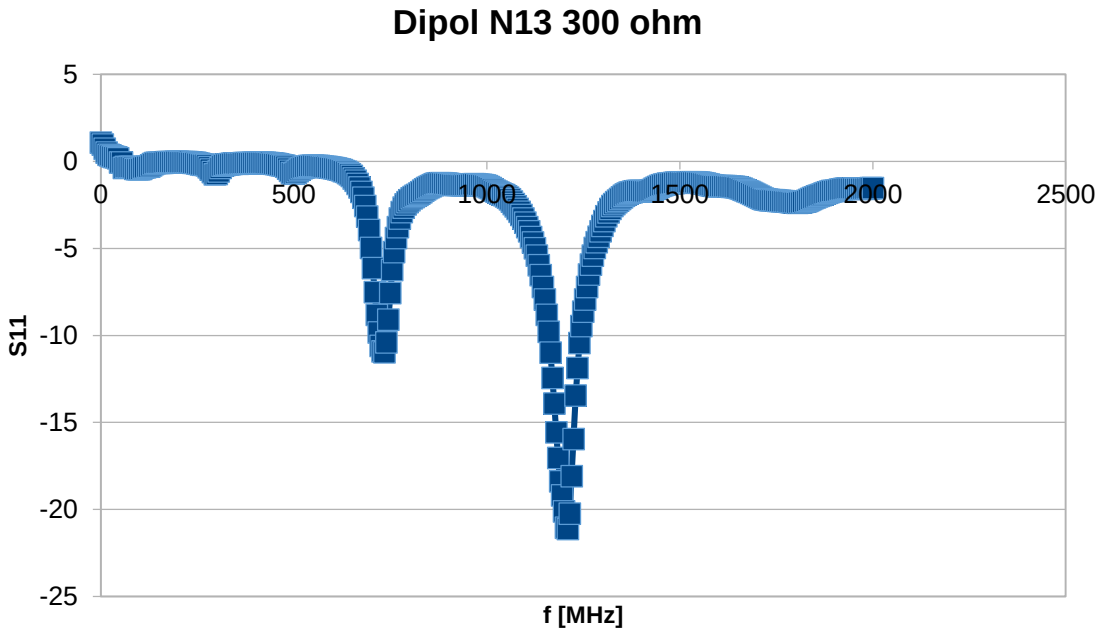

**Graf příloha 2 - Naměřené parametry Dipol 300 Ohm verze 1**



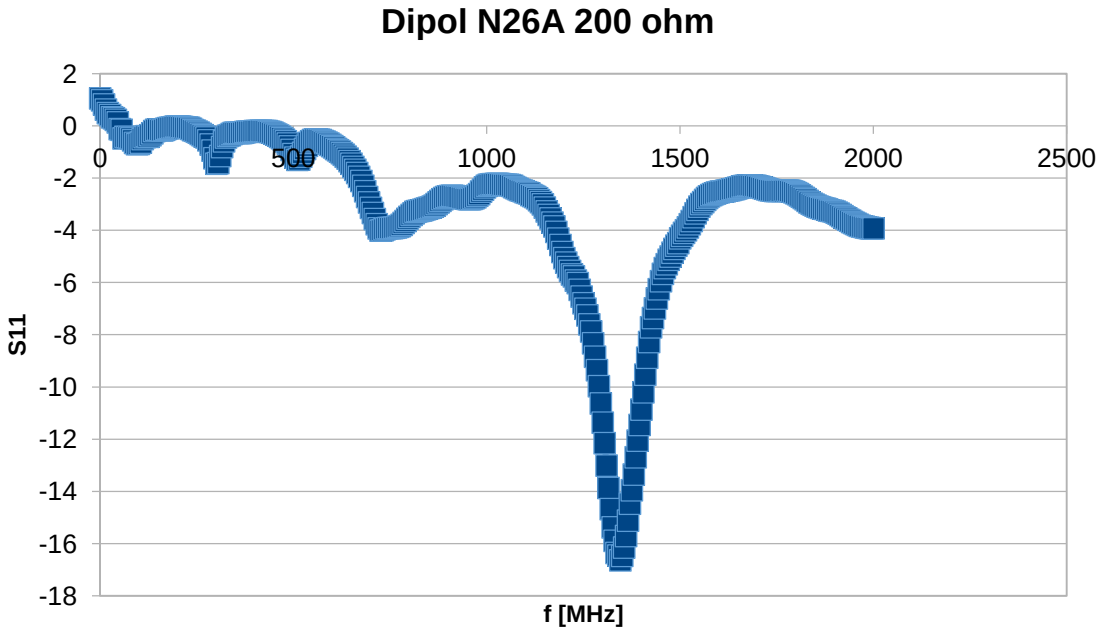

**Graf příloha 3 - Naměřené parametry Dipol N13 50 Ohm**



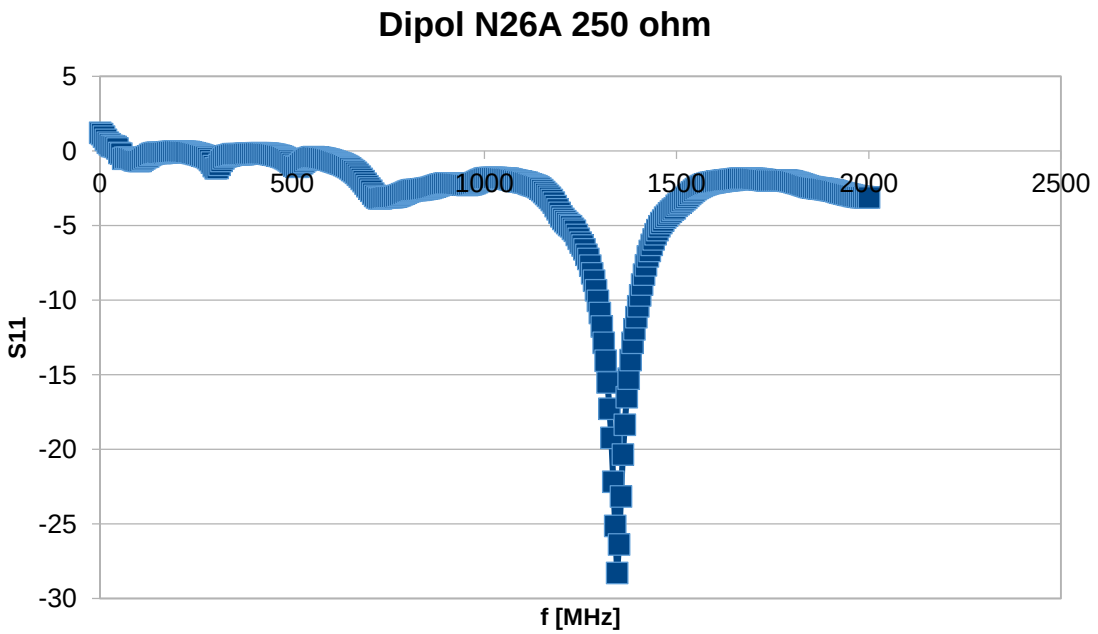

**Graf příloha 4 - Naměřené parametry Dipol N13 200 Ohm**



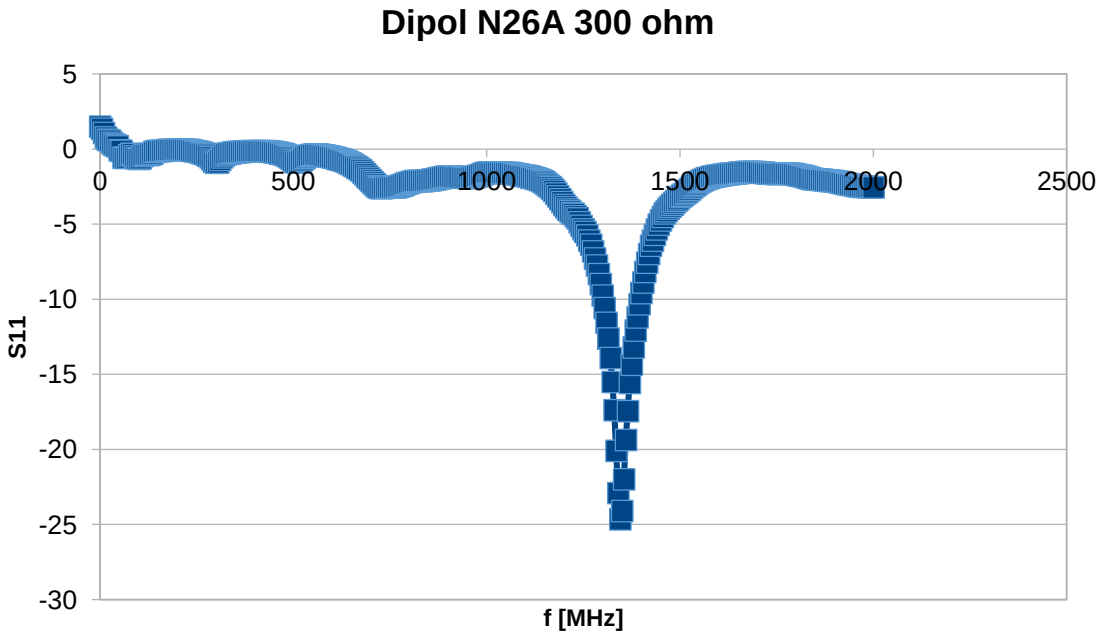

**Graf příloha 5 - Naměřené parametry Dipol N13 300 Ohm**



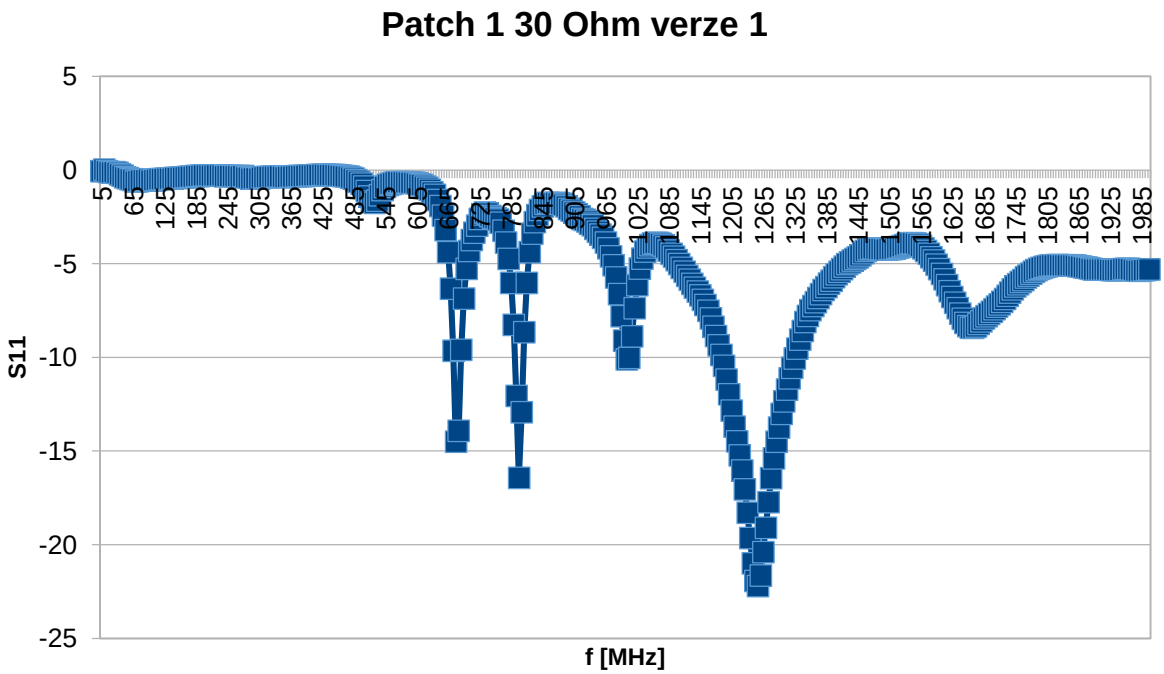

**Graf příloha 6 - Naměřené parametry Dipol N26A 200 Ohm**



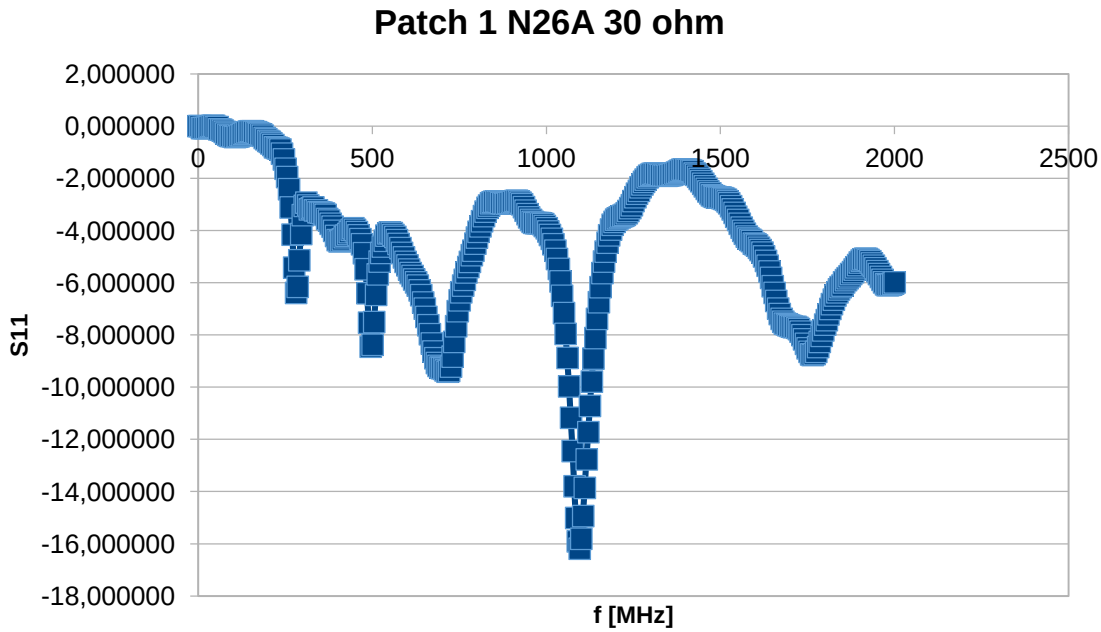

**Graf příloha 7 - Naměřené parametry Dipol N26A 250 Ohm**



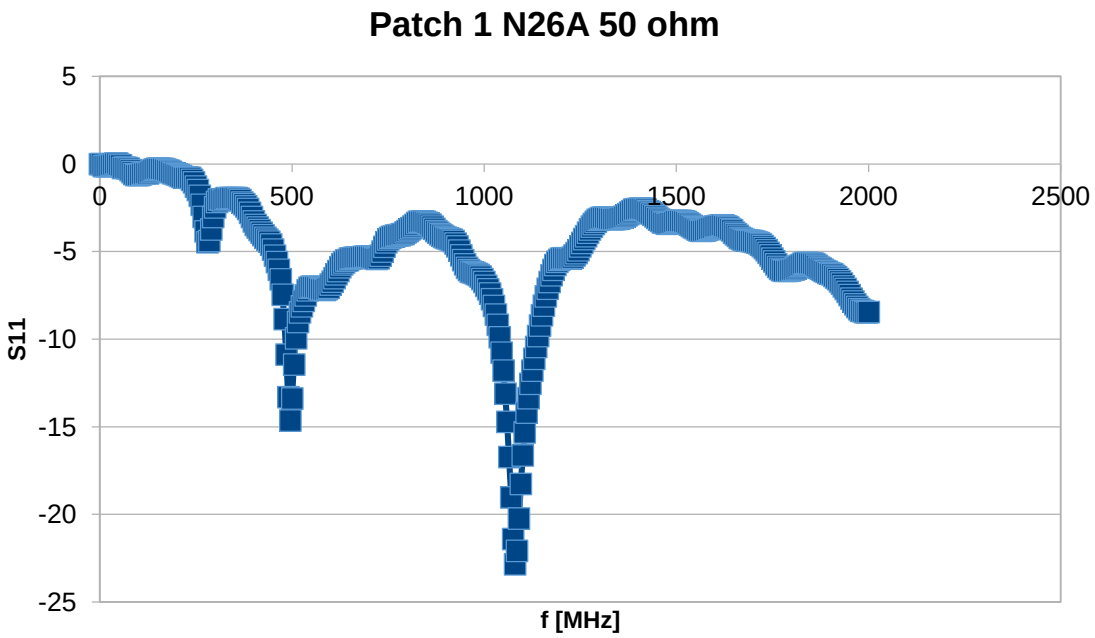

**Graf příloha 8 - Naměřené parametry Dipol N26A 300 Ohm**



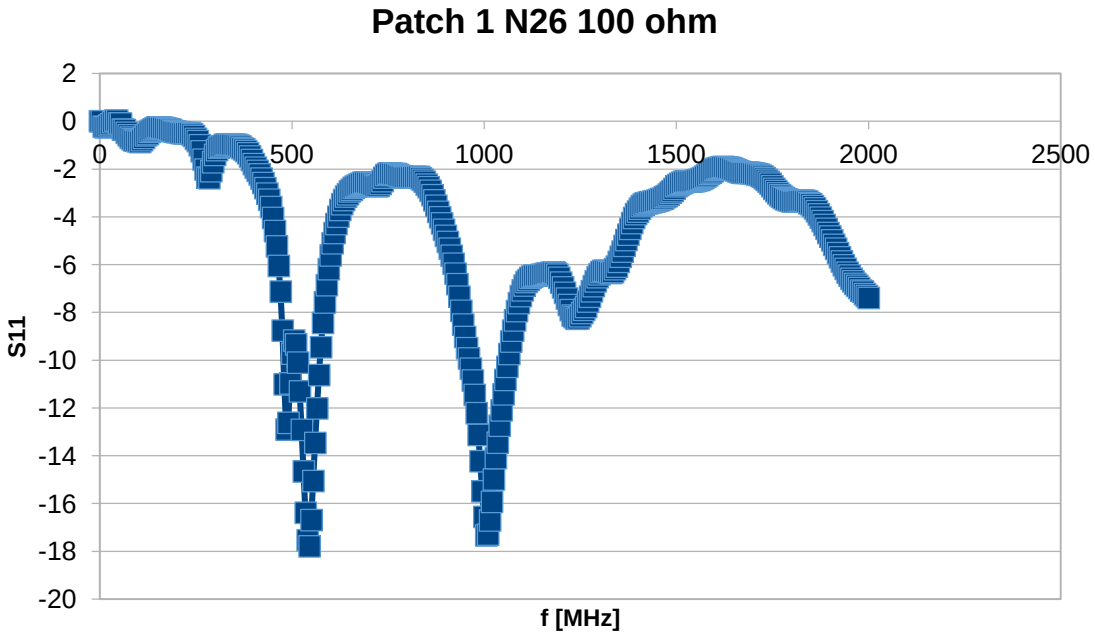

**Graf příloha 9 - Naměřené parametry Patch 1 30 Ohm verze 1**



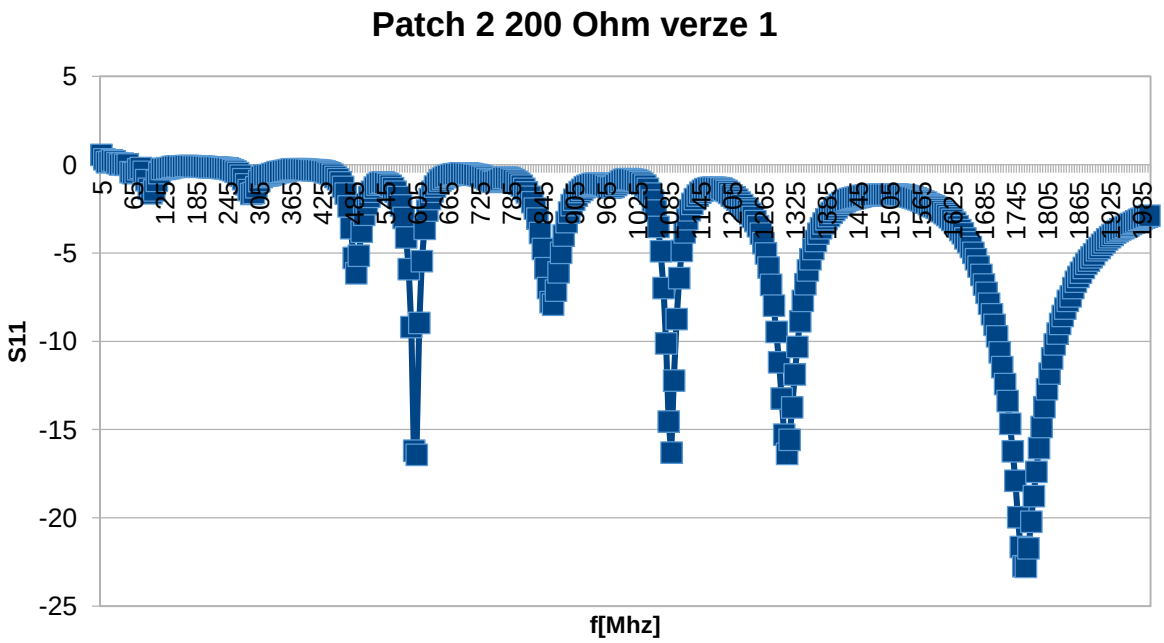

**Graf příloha 10 - Naměřené parametry Patch 1 N26A 30 Ohm**



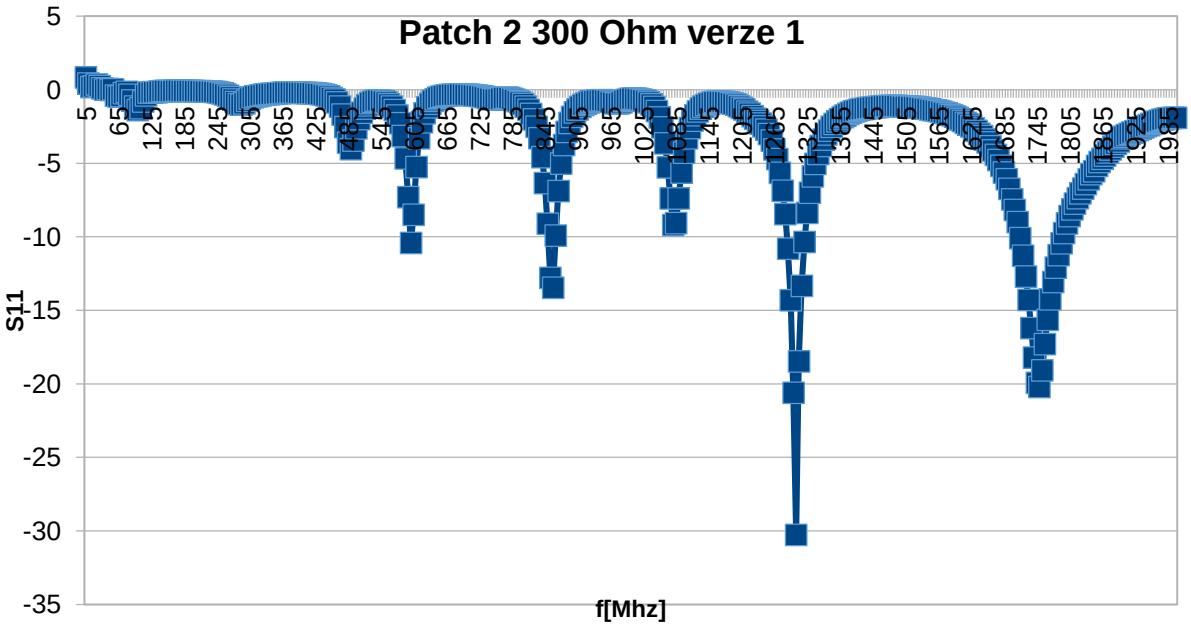

**Graf příloha 11 - Naměřené parametry Patch 1 N26A 50 Ohm**



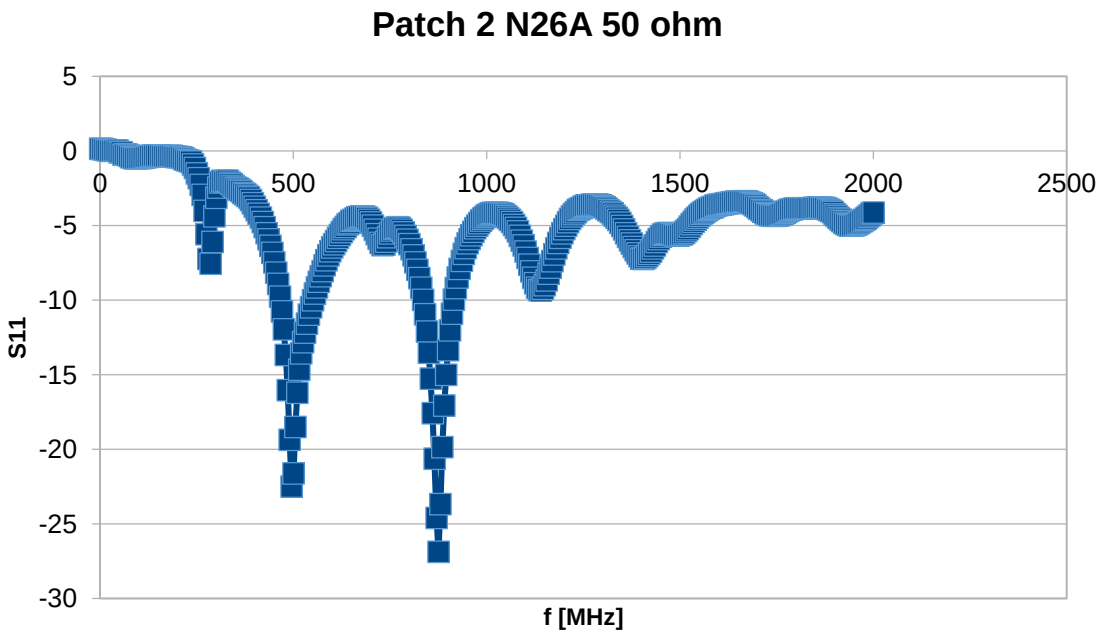

**Graf příloha 12 - Naměřené parametry Patch 1 N26A 100 Ohm**



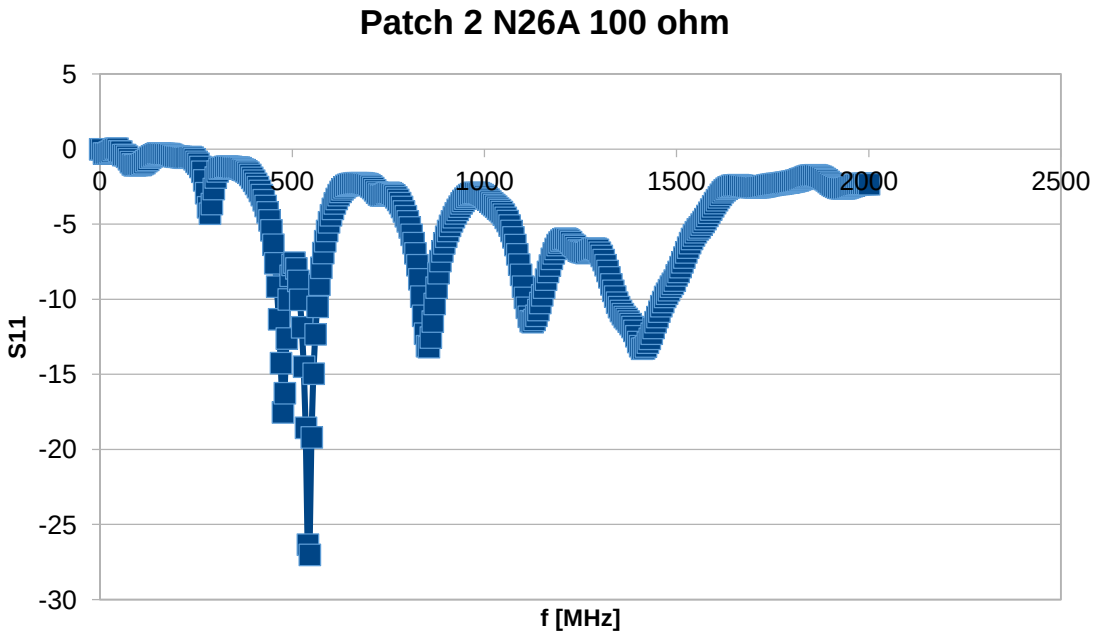

**Graf příloha 13 - Naměřené parametry Patch 2 200 Ohm verze 1**



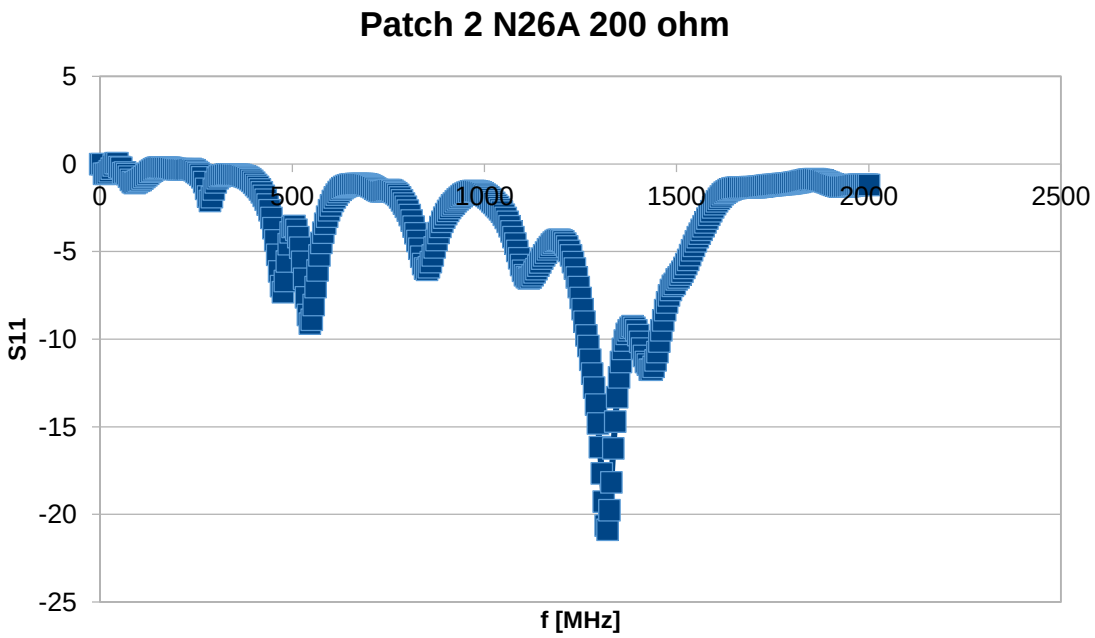

**Graf příloha 14 - Naměřené parametry Patch 2 300 Ohm verze 1**



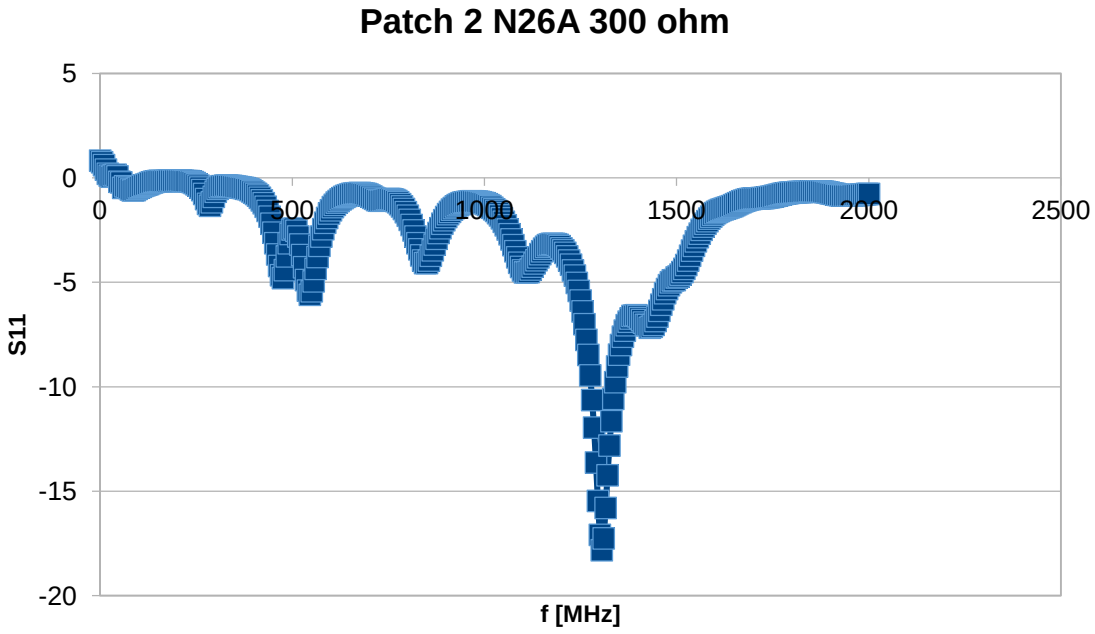

**Graf příloha 15 - Naměřené parametry Patch 2 N26A 50 Ohm**




**Graf příloha 16 - Naměřené parametry Patch 2 N26A 100 Ohm**




**Graf příloha 17 - Naměřené parametry Patch 2 N26A 200 Ohm**




**Graf příloha 18 - Naměřené parametry Patch 2 N26A 300 Ohm**