



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KATALOG ANTÉN PRO TOOLBOX V MATLABU

ANTENNA CATALOGUE FOR MATLAB TOOLBOX

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Maluš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kadlec, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**
Ústav radioelektroniky

Student: Miroslav Maluš

ID: 173694

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Katalog antén pro toolbox v Matlabu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se základními typy antén. Vyberte základní typy drátových a flíčkových antén. Pro všechny typy vytvořte jejich parametrizovaný matematický popis. Vytvořte funkce, které budou na základě hodnot parametrů dané geometrie antén vykreslovat.

V Matlabu v prostředí toolboxu AToM (<http://antennatoolbox.com>) vytvořte soubor skriptů, generujících vybrané antény. Skripty budou umožňovat parametrické zadání antén s různou konfigurací a vytvoří geometrickou reprezentaci simulované antény v prostředí toolboxu AToM.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BALANIS, Constantine A. Antenna theory: analysis and design. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2005. ISBN 047166782X.

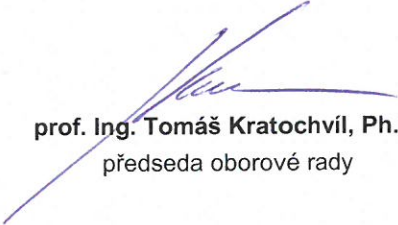
[2] ORFANIDIS, Sophocles J. Electromagnetic Waves and Antennas [online]. Piscataway, NJ 08854-8058: Rutgers University, 2008 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/>

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 24. 5. 2018

Vedoucí práce: Ing. Petr Kadlec, Ph.D.




prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č.121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou katalogu antén pro toolbox v prostředí MATLAB. Pro vybrané základní typy drátových a flíčkových antén je vytvořen jejich parametrizovaný matematický popis. Pro každou z antén je vytvořena funkce umožňující na základě geometrických hodnot takovou anténu vykreslit. Pro zadávání jednotlivých parametrů pro zvolenou anténu je vytvořeno uživatelské grafické prostředí. Součástí práce je srovnáním s konkurencí a nabízí aktuální porovnání možností, které dané prostředí nabízejí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Katalog antén, MATLAB, AToM, drátová anténa, flíčková anténa

ABSTRACT

This Bachelor thesis is about creation of an antenna catalog for a toolbox in the MATLAB. Basic parameterized mathematical description is created for selected basic types of wired and microstrip antennas. A function visualizing antenna parameters is created for each antenna. To enter individual parameters for the selected antenna, there is a graphical user interface. To enter individual parameters for the selected antenna, there is a graphical user interface. This thesis also offers a comparative study with competitors and shows the possibilities of the other tools.

KEYWORDS

Antenna catalogue, MATLAB, AToM, wired antenna, microstrip antenna.

MALUŠ, M. *Katalog antén pro toolbox v Matlabu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 48s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kadlec, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Katalog antén pro toolbox v Matlabu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Kadlecovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

V Brně dne:

.....
(podpis autora)

OBSAH

Seznam symbolů, veličin a zkratek	vi
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Základní typy antén	2
1.1 Drátové antény	2
1.2 Trychtýřové antény	7
1.3 Flíčkové antény	8
1.4 Reflektorové antény	13
2 Srovnání	16
3 návrh katalogu antén	17
3.1 Antenna Toolbox for Matlab (AToM)	17
4 Katalog Antén	19
4.1 1D tvary antén	19
4.2 2D tvary antén	23
5 Závěr	35
Literatura	36

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

λ	vlnová délka
<i>length</i>	délka
<i>width</i>	šířka
<i>radius</i>	poloměr
<i>angle</i>	úhel
<i>widthI</i>	inner width, šířka vnitřní části
<i>widthO</i>	outer width, šířka vnější části
<i>lengthP</i>	length of patch, délka mikropáskové antény
<i>widthP</i>	width of patch, šířka mikropáskové antény
<i>lengthS</i>	length of slot, délka štěrbin
<i>widthS</i>	width of slot, šířka štěrbin
<i>widthStrip</i>	šířka mikropáskového vedení
<i>stages</i>	počet úrovní
<i>space</i>	rozměr mezera
<i>nBend</i>	number of bends, počet ohybů
<i>arc</i>	poloměr oblouku
<i>center</i>	střed
<i>depth</i>	hloubka zanoření
<i>distance</i>	vzdálenost
<i>Cp</i>	center point, střed elipse
<i>majV</i>	major axis vertex point, krajní bod na hlavní ose
<i>minV</i>	minor axis vertex point, krajní bod na vedlejší ose
<i>sA</i>	start angle, počáteční úhel.
<i>a</i>	angle, koncový úhel
<i>P</i>	značka výkon
<i>R</i>	značka odporu

D	značka směrovosti antény
N	počet závitů
D	průměr
S	vzdálenost mezi jednotlivými otočeními
l	délka, délka hrany
h	výška
C	obvod antény
I_0	konstantní proud
f	frekvence
f_{res}	rezonanční kmitočet
ε_r	relativní permitivita
DCT	Discrete Cosine Transform, diskrétní kosinová transformace.
EMC	ElectroMagnetic Compatibility, elektromagnetická kompatibilita.
rovina E	rovina, v níž leží siločáry elektrického pole
rovina H	rovina, v níž leží siločáry magnetického pole
AToM	Antenna Toolbox for Matlab.
GUI	Graphical User Interface, grafické uživatelské rozhraní
LAN	Local Area Network, lokální (místní) síť
UWB	Ultra-Wideband, ultra-širokopásmové

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1.1 Umístění dipólu v osových souřadnicích [2].....	2
Obrázek 1.1.2 Ukázka a) drátového b) mikropáskového dipólu ve tvaru egyptian axe	3
Obrázek 1.1.3 Čtvrtvlnný monopól nad zemnicí deskou a k němu ekvivalentní půlvlnný dipól [2]	3
Obrázek 1.1.4 Ukázka tvaru šroubovicové antény se zemnicí deskou [1]	4
Obrázek 1.1.5 Ukázka a) kruhové smyčkové antény b) čtvercové smyčkové antény	5
Obrázek 1.1.6 Základní tvary polygonálních smyčkových antén: trojúhelník (a, b), obdélník (c), kosodélník (d) [1]	6
Obrázek 1.1.7 Ukázka antény Yagi-Uda s popisem její prvků [2]	7
Obrázek 1.2.1 Trychtýř. anténa rozšířena do roviny E (a), H (b), pyramidová (c) a kuželovitá (d) [1]	8
Obrázek 1.3.1 Příklady a) čtvercového, b) obdelníkového, c) kruhového, d) kružnicového tvaru s popisem rozměrů pro flíčkovou anténu.....	9
Obrázek 1.3.2 Ukázka tvaru a rozměrů obdelníkové flíčkové antény [1].	9
Obrázek 1.3.3 Ukázka tvaru a rozměru kruhové flíčkové antény [1].	10
Obrázek 1.3.4 Flíčková anténa tvaru bowtie	11
Obrázek 1.3.5 Flíčková anténa s lineárním otevřením	11
Obrázek 1.3.6 Ukázka meandrovitá flíčkové antény s rozměry.	12
Obrázek 1.3.7 Ukázka mikropáskové antény typu Vivaldi s rozměry.	12
Obrázek 1.3.8 Ukázka flíčkové antény se šterbinou ve tvaru U a jejími rozměry. ..	13
Obrázek 1.4.1 Základní typy reflektorových antén (a) rovinná, (b) rohová, (c, d) zakřivená [1].	14
Obrázek 3.1.1 Náhled na <i>Design viewer</i> projektu AToM.	17
Obrázek 3.2.1 Náhled na grafické uživatelské rozhraní pro <i>AntennaCatalogue</i>	18
Obrázek 4.1.1 Příklad kódu pro vytvoření 1D dipólové antény.	19
Obrázek 4.1.2 Vykreslení dvou úseček po zavolání funkce twoDipoles.m.	20
Obrázek 4.1.3 Vykreslení kruhu po zavolání funkce loop.m.	21
Obrázek 4.1.4 Vykreslení sférického kruhového dipólu s mezerou po zavolání funkce sphericalCapLoadedDipole.m.....	21
Obrázek 4.1.5 Vykreslení monopólu po zavolání funkce monopole.m.....	22
Obrázek 4.1.6 Vykreslení antény Yagi Uda po zavolání funkce yagiUda.m.	23

Obrázek 4.2.1 Příklad kódu pro vytvoření 2D obdélníku.....	24
Obrázek 4.2.2 Vykreslení obdélníku po zavolání funkce rectangle.m	24
Obrázek 4.2.3 Vykreslení elipsy po zavolání funkce ellipse.m.....	25
Obrázek 4.2.4 Vykreslení čtvercové smyčky po zavolání funkce squareLoop.m	25
Obrázek 4.2.5 Vykreslení kruhové smyčky po zavolání funkce circleLoop.m.	26
Obrázek 4.2.6 Vykreslení antény tvaru bowtie po zavolání funkce bowtie.m.	26
Obrázek 4.2.7 Ukázka kódu popisující vznik tvaru rounded bowtie.....	27
Obrázek 4.2.8 Vykreslení antény tvaru rounded bowtie po zavolání funkce bowtieR.m.....	28
Obrázek 4.2.9 Vykreslení antény tvaru egyptian axe dipole po zavolání funkce egyptianAxeDipole.m	28
Obrázek 4.2.10 Vykreslení kruhového dipolů po zavolání funkce circularlyBendedDipole.m.....	29
Obrázek 4.2.11 Tvar kruhového dipólu s výřezem ve tvaru U po zavolání funkce unnotchedLoop.m	29
Obrázek 4.2.12 Vykreslení kruhového mikropásku po zavolení funkce circularMicrostrip.m.	30
Obrázek 4.2.13 Vykreslení prstencového dutinového rezonátoru po zavolání funkce splitRingResonator2.m	30
Obrázek 4.2.14 Vykreslení meandrovité antény voláním funkce meanderAntenna.m	31
Obrázek 4.2.15 Vytvoření antény s lineárním otevřením voláním funkce linearTaperedSlot.m.....	31
Obrázek 4.2.16 Vykreslení Vivaldiho antény po zavolání funkce vivaldiMicrostrip.m	32
Obrázek 4.2.17 Vykreslení antény Franklinova tvaru po zavolení funkce franklinAntenna.m	33
Obrázek 4.2.18 Vykreslení flíčkové antény se šterbinou ve tvaru U po zavolání funkce patchWithUslot.m	33
Obrázek 4.2.19 Vykreslení skládaného dipólu po zavolání funkce foldedDipole.m	34

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnání tří největších anténních katalogů.....	16
---	----

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se se základními typy antén. Následoval výběr základních typů drátových a fličkových antén, pro které bylo potřeba vytvořit parametrizovaný matematický popis. U každé takto zvolené antény proběhla tvorba funkce, která na základě zadaných parametrů geometrie požadovaný model antény vizuálně vykreslila. Celý tento návrh probíhal v MATLABU v prostředí toolboxu AToM.

V první části se práce zabývá teoretickým popisem základních typů antén s větším důrazem na drátové a fličkové antény. Druhá část obsahuje základní porovnání tří největších anténích katalogů na trhu. Ve třetí části jsou obsaženy základní informace o samotném projektu AToM a popsány moduly využité při tvorbě katalogu. Ve čtvrté části je popsán a ukázány postup a způsob tvorby jednotlivých antén v prostředí toolboxu AToM, dále jsou vykresleny obrázky antén obsažených v anténím katalogu.

1 ZÁKLADNÍ TYPY ANTÉN

V následujícím textu jsou rozebrány základní typy antén, u kterých jsou uvedeny základní informace o rozměrech nebo vlastnostech.

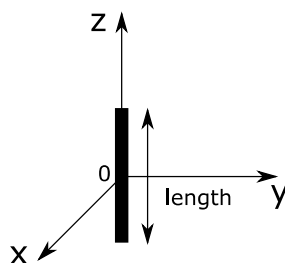
1.1 Drátové antény

Drátové antény, jsou jedny z nejstarších, nejjednodušších a taky nejlevnějších antén a v mnoha případech mají velmi široké možnosti použití. Vyskytují se v mnoha různých tvarech, od jednoduchého drátu (dipólu), přes skládané tvary až po šroubovicové.

Jejich možnosti použití jsou nesčetné: v automobilech, budovách, lodích, letadlech a v dalších [1].

1.1.1 Dipólová anténa

Příkladem té nejjednodušší antény je dipólová anténa. Jedná se o anténu s otevřenými konci a napájením uprostřed o celkové délce $length$.



Obrázek 1.1.1 Umístění dipólu v osových souřadnicích [2]

Jedna z vůbec nejpoužívanějších dipólových antén je půlvlnný dipól, u kterého délka vyzařovací části odpovídá polovině vlnové délky. Obvykle je tvořen ze dvou čtvrtvlnných vodičů s napájením uprostřed [2], pro jeho délku tedy platí:

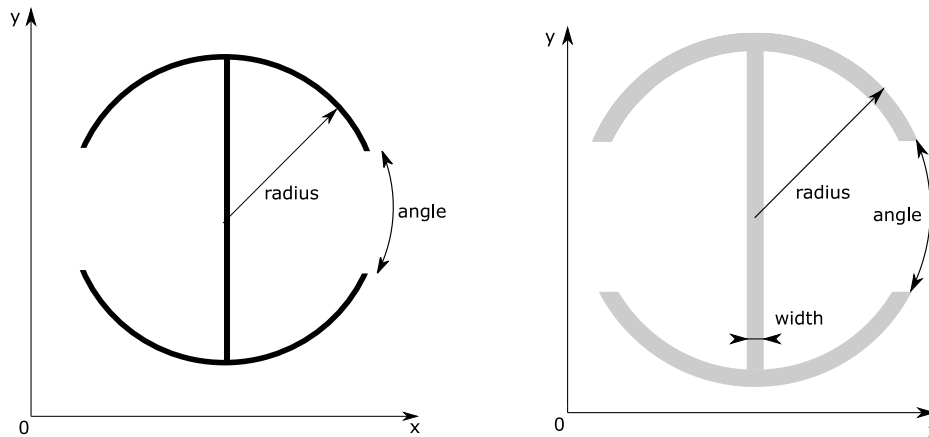
$$length = \frac{\lambda}{2} \quad (1.1.1)$$

Pro půlvlnný dipól je typický zisk 0 dBd neboli 2,15 dBi. Nejčastěji najdeme dva typy půlvlnných dipólů, skládaný dipól s impedancí 300 ohmů a otevřený dipól s impedancí 75 ohmů. Výhodou skládaného dipólu oproti otevřenému je větší frekvenční rozsah [2], [3].

Tvar dipólu si lze představit jako úsečku o délce ($length$) viz Obrázek 1.1.1

1.1.2 Anténa tvaru egyptian axe dipol

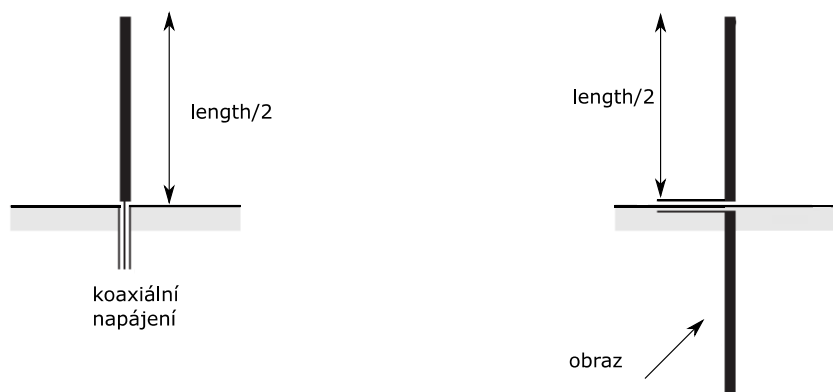
Zajímavým případem dipólové antény je anténa ve tvaru egyptian axe dipol. Tento tvar antény se dosahuje oproti klasickému dipólu větší směrovosti. Konstrukci tohoto tvaru nalezneme nejen v drátovém provedení (a), ale i v mikropáskovém (b) jak naznačuje Obrázek 1.1.2. Společnými parametry jsou poloměr a parametr otevření.



Obrázek 1.1.2 Ukázka a) drátového b) mikropáskového dipólu ve tvaru egyptian axe

1.1.3 Monopól

Monopól je poloviční dipól umístěný na zemní desce. Za předpokladu že je zemní kovová deska nekonečně dlouhá a dokonale vodivá, potom monopól odpovídá dipólu, jehož spodní část je obrazem horní části (viz Obrázek 1.1.3).



Obrázek 1.1.3 Čtvrťvlnný monopól nad zemní deskou a k němu ekvivalentní půlvlnný dipól [2]

Díky tomu bude tvar vyzařování monopólu stejný jako u dipólu, s tím rozdílem, že z důvodu vyzařování pouze horní poloviny bude celkový vyzářený výkon roven polovině dipólu, to stejné platí pro vyzařovací odpor antény [2], platí tedy:

$$P_{\text{monopól}} = \frac{1}{2} P_{\text{dipól}} \quad (1.1.2)$$

$$R_{\text{monopól}} = \frac{1}{2} R_{\text{dipól}} \quad (1.1.3)$$

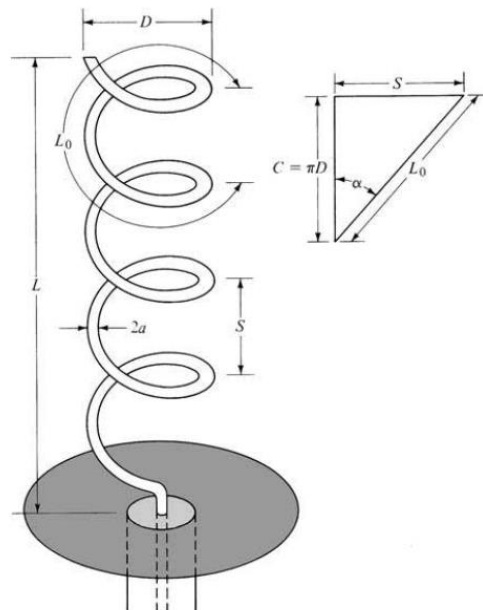
Naopak, směrovost antény se oproti dipólu zdvojnásobí:

$$D_{\text{monopól}} = 2D_{\text{dipól}} \quad (1.1.4)$$

Za jako vůbec nejčastěji používaný monopól se považuje čtvrtvlnný monopól s délkou jedné čtvrtiny vlnové délky. Jeho velikost se značně liší dle pásma, pro které je využíván, od vysílacích antén pro AM kde dosahuje velikostí 75 m až po mobilní použití v rádech jednotek centimetrů [1].

1.1.4 Šroubovicová anténa

Jedním z dalších příkladů drátové antény je šroubovicová anténa. Ve velkém množství případů je vytvořena na zemnicí desce (viz Obrázek 1.1.4):



Obrázek 1.1.4 Ukázka tvaru šroubovicové antény se zemnicí deskou [1]

Tvary zemnicí desky se různí, jednou z variant je plochá, jak je znázorněno na obrázku, její průměr by měly být alespoň $\frac{3}{4}$ vlnové délky. Další možný způsob je válcová či kuželová dutina [1].

Šroubovicová anténa se skládá z N počtu závitů, průměrem d a vzdáleností S mezi každým otočením. Pro délku antény platí vztah [1]:

$$l = N \cdot S \quad (1.1.5)$$

zatímco pro vlastní délku drátu platí:

$$L_N = N \cdot L_0 = N \cdot \sqrt{S^2 + C^2} \quad (1.1.6)$$

kde L_0 značí délku drátu mezi každým otočením a C značí obvod šroubovicové antény. Dalším z velmi důležitých parametrů je úhel stoupání, který je dán tangentem vzdálenosti mezi otočením šroubovice a obvodem:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{S}{\pi \cdot D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{S}{C}\right) \quad (1.1.7)$$

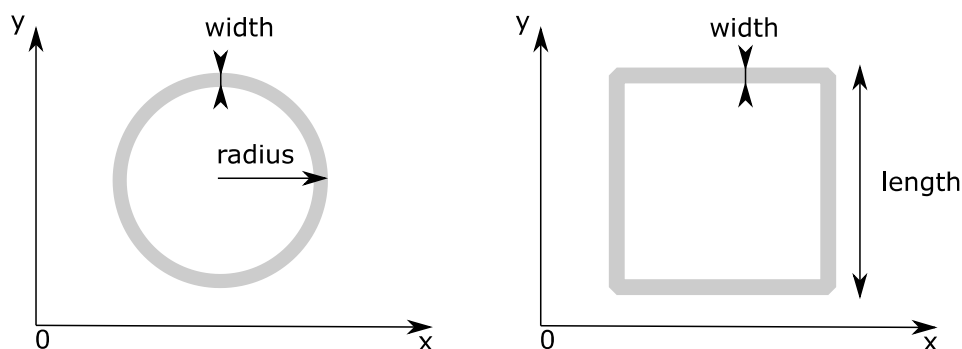
V případě, že je α rovna 0° , tak je růst nulový a vznikne kruhová skládaná anténa. V případě že platí $\alpha = 90^\circ$, potom se ze šroubovice stává lineární drát kolmý na zemní plochu [1].

1.1.5 Smyčková anténa

Jedna z velmi univerzálních antén je tzv. smyčková anténa, v angličtině loop antenna. Používá se v různých tvarech, jako čtverec, obdélník, trojúhelník, elipsa nebo kruh, který je ze všech tvarů nejpoužívanější. Svoji jednoduchostí z hlediska návrhu a výroby se kruhové skládané anténě dostává největší pozornosti [1].

Smyčkové antény se obvykle dělí do dvou základních kategorií – elektricky malé a elektricky velké. Elektricky malé antény jsou takové, u kterých celková délka obvodu nepřesáhne jednu desetinu vlnové délky. Naopak, elektricky velké se velikostí pohybují okolo velikosti vlnové délky [1].

Názorná geometrická ukázka malé smyčkové antény je znázorněna na Obrázek 1.1.5. Předpokládá se, že její tloušťka velmi tenká, co také zajišťuje konstantní rozložení proudu. Tento předpoklad však stále platí pouze pro antény s velmi malou délkou obvodu [2].

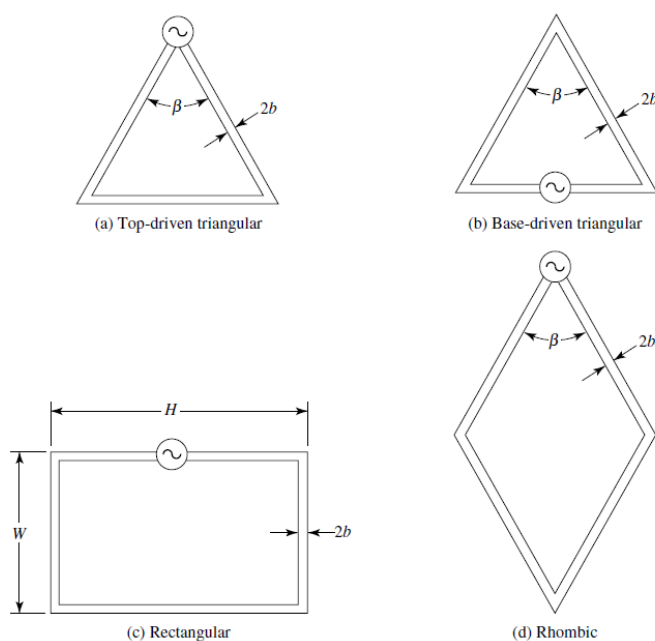


Obrázek 1.1.5 Ukázka a) kruhové smyčkové antény b) čtvercové smyčkové antény

Kromě klasických kruhových smyčkových antén existují také polygonální. Ty nejznámější jsou čtvercové, obdélníkové, trojúhelníkové a kosodélníkové. V praxi se často objevují v letectví a komunikačních systémech.

Smyčková anténa ve tvaru čtverce viz Obrázek 1.1.6 je z polygonálních tvarů ten nejjednodušší. Tvar vyzařovací charakteristiky ve vzdáleném poli lze získat tak, že každou z jejich 4 stran budeme považovat za krátký lineární dipól o konstantním proudu I_0 a délkou hrany l .

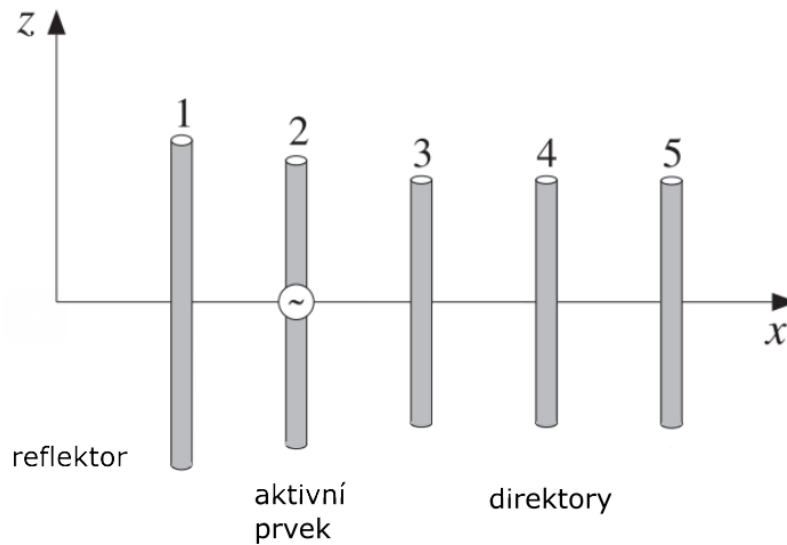
Jedním z dalších příkladů je trojúhelníková smyčková anténa s dvěma příklady napájení – ve špičce trojúhelníku a uprostřed základny (viz Obrázek 1.1.6). Parametr β určuje horní úhel rovnoramenného trojúhelníku respektive kosodélníku. Pro všechny případy je zvolen průměr drátu $2b$ [1].



Obrázek 1.1.6 Základní tvary polygonálních smyčkových antén: trojúhelník (a, b), obdélník (c), kosodélník (d) [1]

1.1.6 Anténa Yagi-Uda

Jedná se o směrovou anténu tvořenou půlvlnnými dipóly. Jak ukazuje Obrázek 1.1.7, první z těchto dipólů je zpravidla nejdelší a plní funkci reflektoru, za ním následuje aktivní prvek (2) jehož délka obvykle bývá o málo kratší. Zbylou část tvoří direktory (3-5), které se podle potřeby použití liší svým počtem, od jednotek až po desítky.



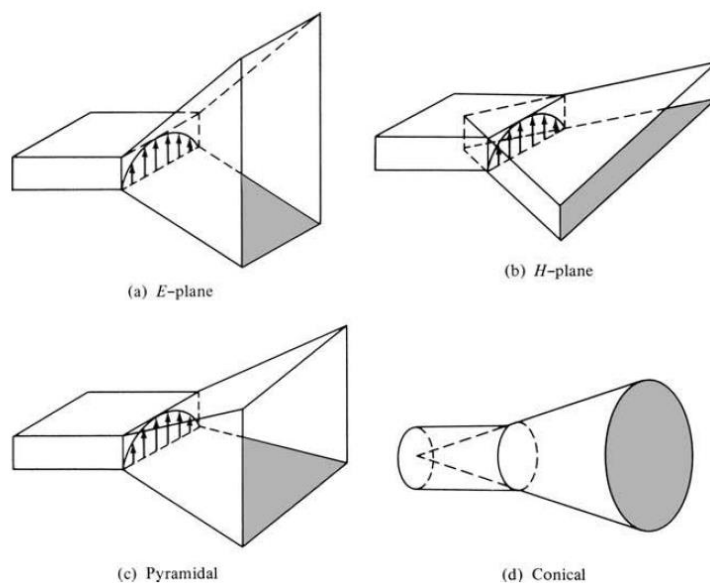
Obrázek 1.1.7 Ukázka antény Yagi-Uda s popisem její prvků [2]

1.2 Trychtýřové antény

Jedny z nejjednodušších a nejčastěji používaných mikrovlnných antén jsou trychtýřové antény. Počátky jejich použití spadají pozdních let 19. století ale jejich významnější vzestup přišel na konci 30. let 20. století kvůli požadavkům na vlnovodový přenos pomocí mikrovln během období druhé světové války.

Trychtýřová anténa je hojně rozšířená jako primární zářič reflektorových antén v radioastronomii, v satelitním sledování nebo komunikačních nástrojích používaných po celém světě. Dalším zajímavým užitím trychtýřových antén je použití jako zdroj pro reflektory a čočky a slouží jako univerzální standart pro kalibraci a získávání měření z jiných vysoko ziskových antén [1].

Trychtýřová anténa je lineárně polarizovaná a její zisk obvykle dosahuje hodnot okolo 8 až 15 dBi, v závislosti na délce trychtýře. Řadí se mezi širokopásmové směrové antény používané na kmitočtech 1 GHz a výše [3].



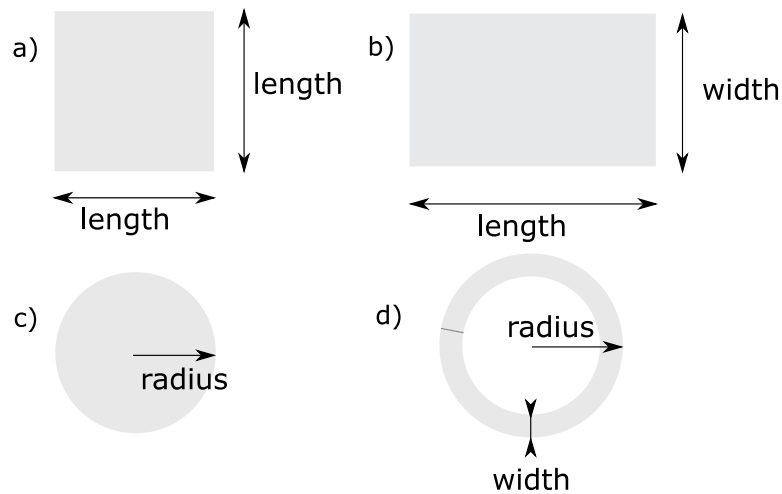
Obrázek 1.2.1 Trychtýř. anténa rozšířena do roviny E (a), H (b), pyramidová (c) a kuželovitá (d) [1]

Tvary čtyř základních rozdělení podle druhu rozevření a to do roviny E, do roviny H, pyramidové a kuželovité jsou naznačeny na Obrázek 1.2.1. Pyramidová trychtýřová anténa má nejširší použití jako zářič pro velké reflektorové mikrovlnné antény [1].

1.3 Flíčkové antény

Rozvoj flíčkových antén anglicky microstrip antennas započal v 70. letech 20. století primárně v kosmickém a leteckém odvětví, ale postupně se přesunul do mnoha jiných odvětví. Kromě zmíněného kosmického a leteckého průmyslu se použití flíčkových antén objevuje tam, kde při návrhu vznikají omezení na velikost, výkon, cenu, hmotnost nebo jednoduchost instalace.

Hlavními nevýhodami mikropásků obvykle bývá menší účinnost, výkon, horší čistota polarizace, rušivé zdroje vyzařování, vysoký činitel jakosti nebo velmi úzká kmitočtová šířka pásma, která obvykle dosahuje desetin procent či malých jednotek procent. Nicméně, existují způsoby jak zvýšit efektivitu až na 90 % a šířku pásma až na 35 % například za pomoci zvýšení výšky substrátu. Ale i to má svá omezení, při zvyšování výšky substrátu dochází k vytváření stojatého vlnění uvnitř substrátu, což má za následek interferenci s povrchovými vlnami a tím snížení celkové účinnosti [1].

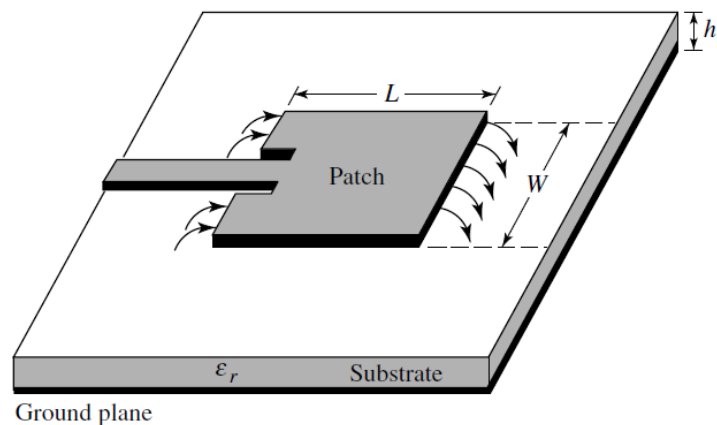


Obrázek 1.3.1 Příklady a) čtvercového, b) obdelníkového, c) kruhového, d) kružnicového tvaru s popisem rozměrů pro flíčkovou anténu

Flíčkové antény jsou tvořeny kovovou plochou umístěnou na dielektrickém substrátu. Kovovou plochu lze nalézt v odlišných tvarech (viz obr. 1.3.1), ale zejména kvůli jednoduché analýze a jednoduchosti pro výrobu jsou oblíbenými tvary obdelník a kruh.

1.3.1 Flíčková anténa s obdelníkovou plochou

Jedná se o jednoznačně nejpoužívanější druh mikropáskové antény, výhoda spočívá v tom, že jsou velmi dobře analyzovatelné pomocí přenosových a dutinových modelů. To však platí pro mikropásky s tenčím substrátem [1].



Obrázek 1.3.2 Ukázka tvaru a rozměrů obdelníkové flíčkové antény [1].

V případě nejjednoduššího případu flíčkové antény, je obvykle výška antény pouze zlomkem vlnové délky, například $h = 0,05 \lambda$. Délka strany L takové antény je rovna polovině vlnové délky. Takový flíček je umístěný na zemní desce, která přesahuje velikost motivu. Celá tato verze mikropáskové antény je lineárně polarizována a vyzařuje do prostoru nad zemní deskou [1].

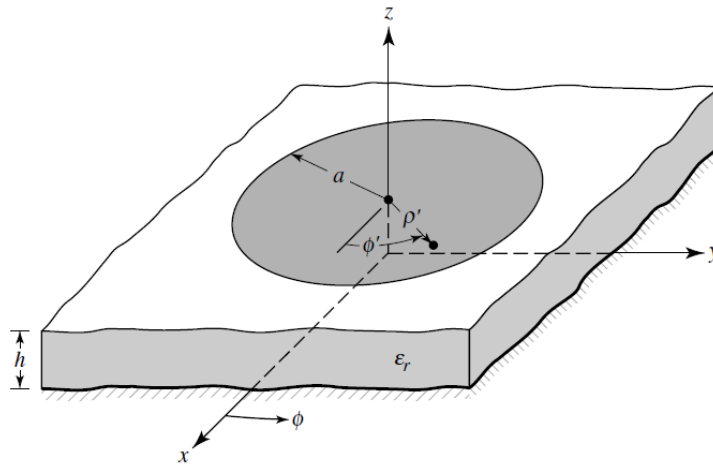
Šířka pásma flíčkové antény je závislá na několika parametrech, jedním z nich je vzdálenost antény od zemní plochy. Čím blíže je anténa umístěna k zemní ploše, tím víc je vyzařovaná energie absorbována v substrátu, což má za následek zvětšující se činitel jakosti a tím spojenou klesající šířku pásma. Přibližnou šířku pásma lze určit ze vztahu [3]:

$$\frac{\delta f}{f_{res}} = 1,2 \left(\frac{h}{W} \right) \quad (1.3.1)$$

kde h je výška substrátu a W je šířka obdélníku, f_{res} je rezonanční kmitočet.

1.3.2 Flíčková anténa s kruhovou plochou

Druhý nejoblíbenější motiv je kruh, který je používán jako samostatný prvek, ale i jako součást složitější soustavy.

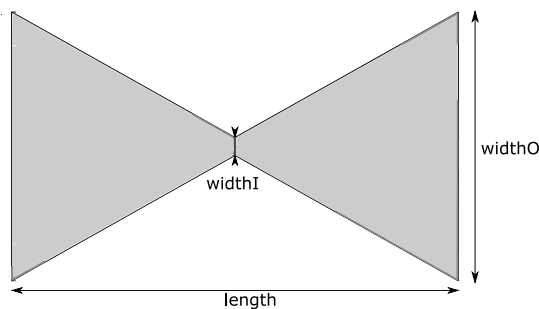


Obrázek 1.3.3 Ukázka tvaru a rozměru kruhové flíčkové antény [1].

Při zachování tenké výšky substrátu ($h \ll \lambda$) zůstávají dva rozměry, které můžeme měnit a tím měnit i vlastnosti antény [1].

1.3.3 Flíčková anténa tvaru bowtie

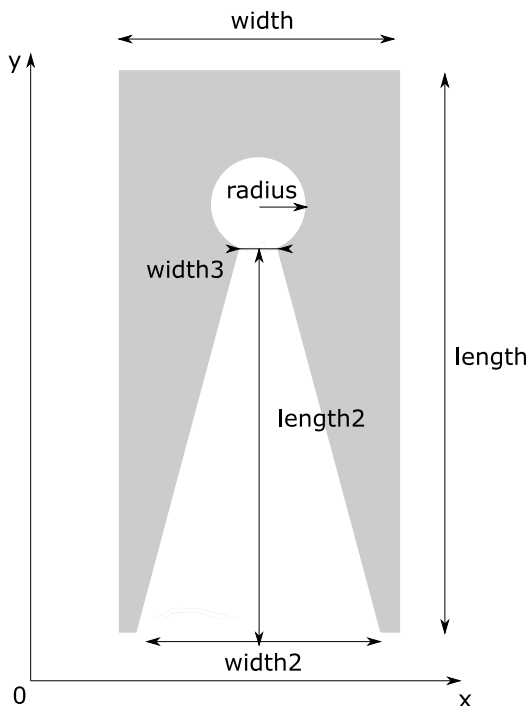
Flíčková anténa tvaru bowtie byla vyrobena pro použití v bezdrátových LAN aplikacích pracujících na kmitočtu okolo 2,4 GHz [7]. Pro její vytvoření jsou zapotřebí tři parametry, celková délka (*length*), šířka v místě zúžení (*widthI*) a šířka na koncích (*widthO*). Anténní katalog obsahuje tuto anténu v provedení se zaoblenými konci.



Obrázek 1.3.4 Flíčková anténa tvaru bowtie

1.3.4 Flíčková anténa s lineárním otevřením

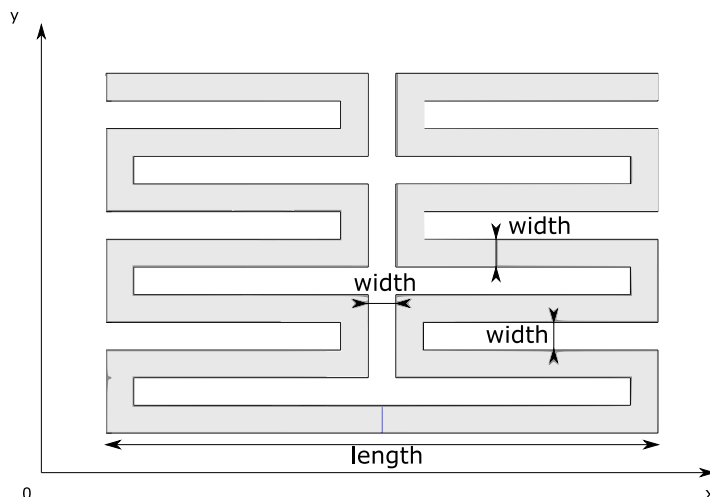
Používá se na milimetrových vlnových délkách, na kterých dosahuje skvělých vlastností, zejména kvůli šířce pásma, vyzařovacím charakteristikám a nízké křížové polarizaci [8]. Pro její vytvoření je zapotřebí pět parametrů jak ukazuje Obrázek 1.3.5, délka (*length*) a šířka (*width*) flíčku, šířka otevření (*width2*), šířka štěrbin (*width3*), hloubku zanoření štěrbin (*length2*) a poloměr štěrbin (*radius*).



Obrázek 1.3.5 Flíčková anténa s lineárním otevřením

1.3.5 Meandrovitá anténa

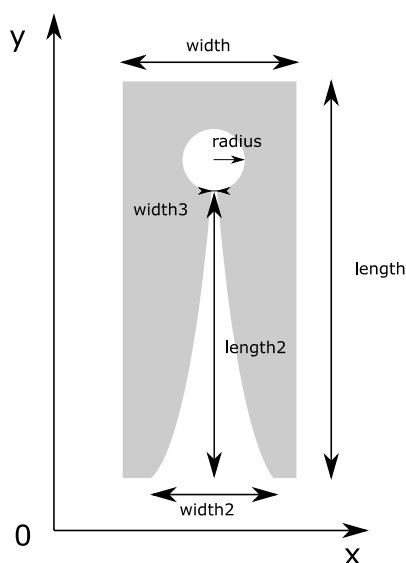
Meandrovitá anténa je druhem strukturové mikropáskové antény, ta je tvořena meandrovými sekcemi za účelem zmenšení rezonanční délky antény. Rezonanční frekvence a další anténní charakteristiky záleží na počtu sekcí, délce (*length*) a šířce pásku (*width*), která je obvykle výrazně menší než délka antény [10].



Obrázek 1.3.6 Ukázka meandrovitá flíčkové antény s rozměry.

1.3.6 Flíčková anténa typu Vivaldi

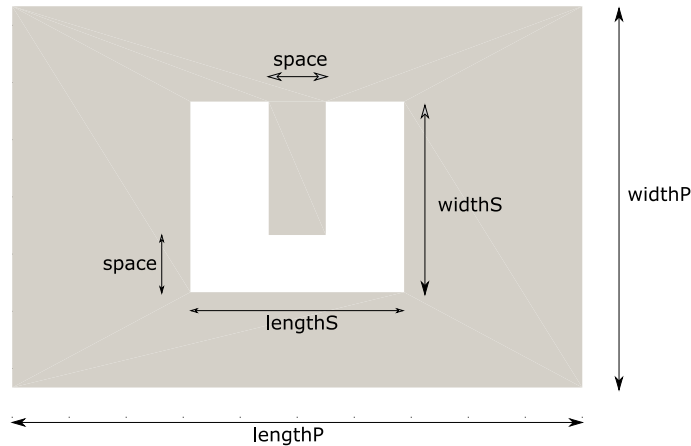
Tato anténa se využívá v aplikacích, kde je zapotřebí velmi velká šířka pásma UWB. Najde tedy využití v oblasti radarové techniky, v dálkovém snímání nebo v lékařských pozorovacích systémech [9]. Pro její vytvoření jsou potřeba stejné parametry, jako u předchozí flíčkové antény s lineárním otevřením.



Obrázek 1.3.7 Ukázka mikropáskové antény typu Vivaldi s rozměry.

1.3.7 Fličková anténa se štěrbinou

Tyto antény jsou buzeny prostřednictvím štěrbin v zemní ploše. Příkladem takové antény může být například fličková anténa se štěrbinou ve tvaru U (viz Obrázek 1.3.8)



Obrázek 1.3.8 Ukázka fličkové antény se štěrbinou ve tvaru U a jejími rozměry.

Její rozměrové parametry jsou délka ($lengthP$) a šířka ($widthP$) fličku, délka ($lengthS$) a šířka ($widthS$) štěrbiny a parametr určující vlastní šířku štěrbiny jak je naznačeno na Obrázek 1.3.8.

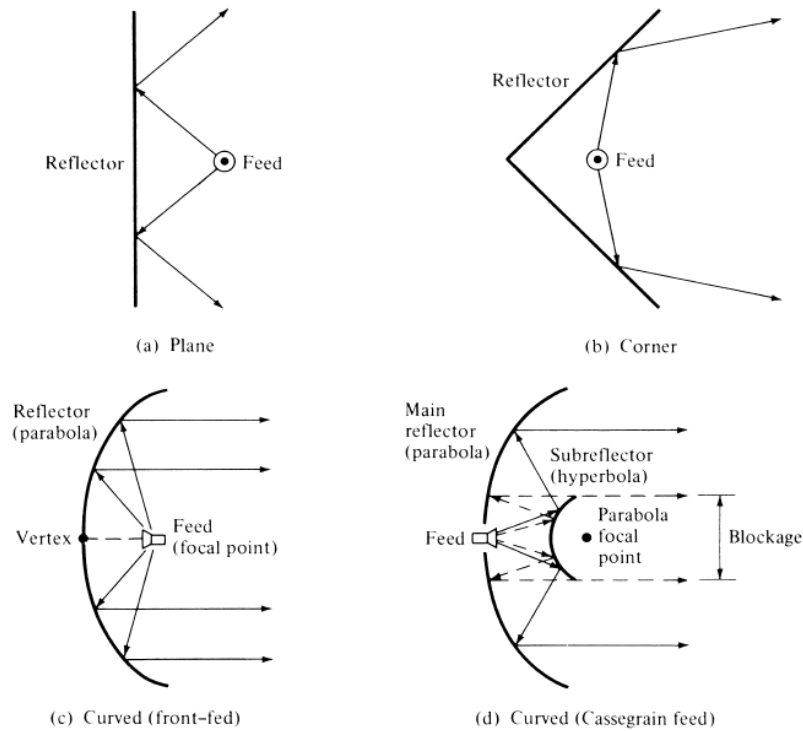
1.4 Reflektorové antény

Reflektorové antény začaly vznikat už při objevu elektromagnetického šíření vln v roce 1888 Heinrichem Hertzem. Nicméně skutečný vývoj v oblasti analýz a konstrukci reflektorových antén započal až druhou světovou válkou, kde došlo k posunu v radarové technice. Velký posun v této oblasti přesto nastává až s radioastronomií, kde kvůli potřebě komunikovat na velké vzdálenosti bylo potřeba vytvořit složitější antény, které by dovozovaly vysílat a přijímat signál na vzdálenosti miliónů kilometrů. Přestože reflektorové antény jsou vyráběny v různých geometrických tvarech, ty nejpůlárnější tvary jsou rovinné, rohové a zakřivené reflektory, zejména paraboly [1].

1.4.1 Rovinná reflektorová anténa

Nejjednodušší typ reflektorové antény, kde rovina odráží přímou energii do

požadovaných směrů, viz Obrázek 1.4.1 (a)



Obrázek 1.4.1 Základní typy reflektorových antén (a) rovinná, (b) rohová, (c, d) zakřivená [1].

1.4.2 Rohová reflektorová anténa

Oproti rovinné přináší rohová reflektorová anténa lepší zacílení energie v přímém směru. Jak je vidět na Obrázek 1.4.1 (b), rohová reflektorová anténa je tvořena dvěma rovinami a díky své konstrukční jednoduchosti má spoustu jedinečných využití. Například při rozevření na 90° anténa může fungovat jako pasivní cíl pro radar, kdy navrátí přijatý signál ve stejném směru, jako ho vyslala [1].

1.4.3 Parabolická anténa

Jedná se o vysoce ziskovou reflektorovou anténu používanou v rádiovém, televizním a satelitním vysílání nebo radiolokaci a v radioreléových datových spojkách v oblastech decimetrových až centimetrových vln. Díky malé vlnové délce parabolická anténa soustředí elektromagnetickou energii do velmi úzkého svazku.

Obvykle je parabolická anténa tvořena parabolickým reflektorem tvořeným kovovou vrstvou nanesenou na paraboloidu a malým ozařovačem. Na Obrázek 1.4.1 (c) je znázorněna typická parabolická anténa s ozařovačem umístěným v

ohnisku paraboly, což je nezbytné pro dosažení optimálního zisku. Dalším příkladem parabolické antény je tzv. Cassegrainová anténa (viz Obrázek 1.4.1 (d)), u které je nejdříve ozařován menší reflektor, který odráží elektromagnetickou vlnu na velký paraboloid. Tato modifikace umožňuje dosažení většího zisku za cenu větší konstrukční složitosti [3].

2 SROVNÁNÍ

Na trhu jsou v současné době tři hlavní konkurenti. Prvním z nich je Antenna Magus, dalším je Antenna Toolbox přímo od výrobce Matlabu a třetím je HFSS antenna design kit od společnosti Ansys.

Nejpatrnější rozdíl, mezi těmito třemi konkurenty, spočívá v tom, pro jakou platformu jsme tvořené. Zatímco Antenna Toolbox je tvořen pro vlastní prostředí Matlab a HFSS antenna design kit je součástí simulačního prostředí HFSS, tak Antenna Magus poskytuje svůj design antén i pro simulační programy třetích stran jako je CST MICROWAVE STUDIO, FEKO nebo AWR DESIGN ENVIRONMENT.

Pokud se podíváme čistě na počty jednotlivých antén, jasně vede Antenna Magus nabízející přes 300 modelů, HFSS antenna design kit nabízí kolem 50 a Antenna Toolbox přes 40 jednotlivých typů antén.

Tabulka 1 Srovnání tří největších anténních katalogů

Název	počet modelů antén	šířka použití	cena*
Antenna Magus	300+	CST MICROWAVE STUDIO, FEKO, AWR DESIGN ENVIRONMENT	200 USD
Antenna Toolbox	40+	prostředí MATLAB	1700 EUR
HFSS antenna design kit	50	prostředí HFSS	-
AntennaCatalogue	26	prostředí MATLAB	-

*pozn. ceny platí pro standartní licence, výrobci navíc nabízí prodej přes lokální distribuci. Pro studentské nebo výukové potřeby bývá cena obvykle znatelně nižší.

**pozn. tabulka platí ke dni 18.5.2018 [11], [12], [13], [14]

3 NÁVRH KATALOGU ANTÉN

Následující pasáž obsahuje informace o samotném projektu Antenna Toolbox for Matlab zkráceně AToM. Dále je popsán postup návrhu a zpracování samotného katalogu antén.

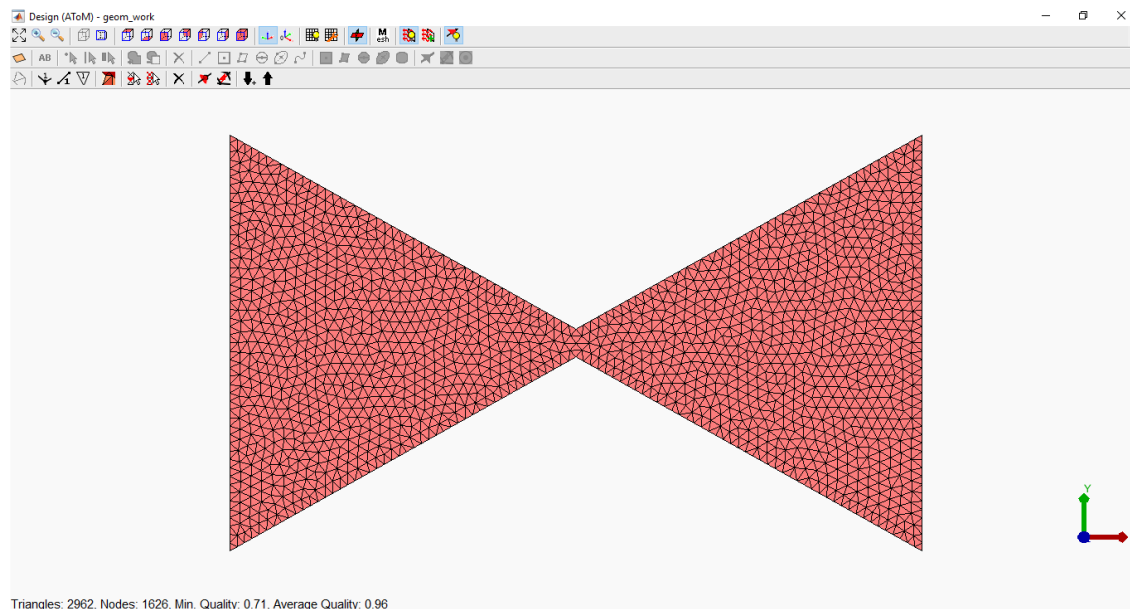
3.1 Antenna Toolbox for Matlab (AToM)

Od roku 2009 začal probíhat vývoj prostředí, které by dokázalo využívat současné teoretické poznatky a vytvořit unikátní software založený na momentové metodě. Tato známá metoda je podpořena modálním rozkladem zdrojů záření, čeho je dosaženo zejména za pomoci teorie charakteristických módů [5].

Hlavní vlastnosti, kterými se *AToM* vyznačuje, představují momentová metoda pro 3D planární a drátové struktury, rozklad na charakteristické módy s robustním sledováním, adaptivní frekvenční rozmítání, schopnost pracovat s cizími kódy z komunity, práce s daty z různých softwarů [6].

Pro bakalářskou práci jsou důležité některé modely obsažené v prostředí AToM. Jedná se zejména o *models.Geom*, ve kterém jsou obsaženy geometrické objekty využívané při tvorbě jednotlivých antén. Dalším modelem je *models.Workspace*, který slouží ke zpracování definic, exportů, výpočtům, úpravám a zisku objektů ze třídy *Variable*.

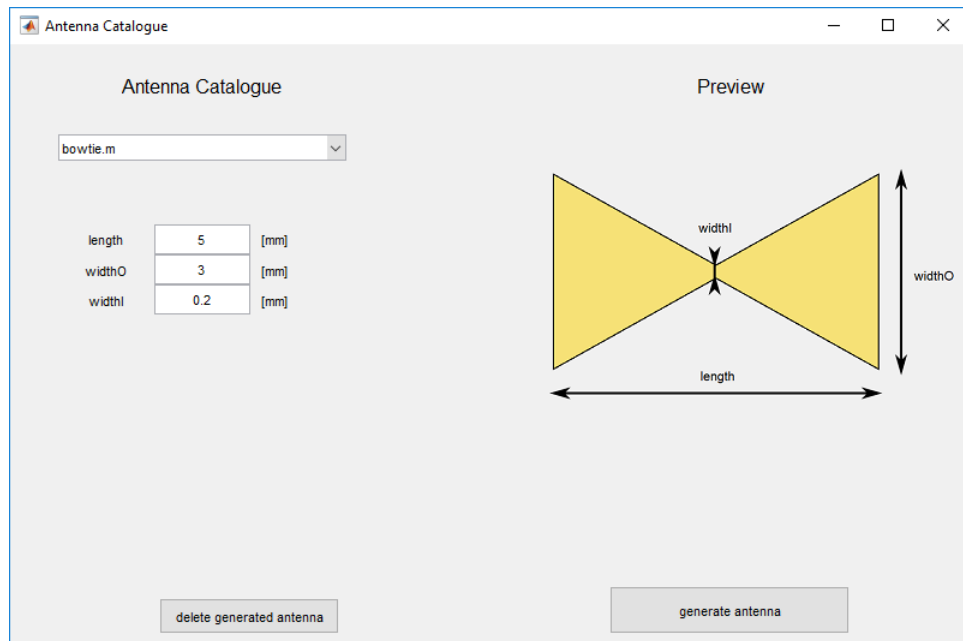
Program AToM má k dispozici své vlastní GUI včetně *Design vieweru*, který kromě samotného prohlížení vytvořených objektů umožňuje s nimi dále pracovat.



Obrázek 3.1.1 Náhled na *Design viewer* projektu AToM.

3.2 Uživatelské grafické rozhrání (GUI)

Jako součást katalogu antén je vytvořeno vlastní grafické rozhraní *AntennaGUI* pojmenované Antenna Catalogue. Toto rozhraní umožňuje uživateli výběr z vybraného seznamu aktuálně dostupných antén. Po zvolení požadované antény dojde k zobrazení dané antény pomocí náhledu, ve kterém jsou znázorněny jednotlivé rozměry. Pro každou z antén je vytvořen seznam proměnných s přednastavenou defaultní hodnotou, která umožňuje okamžité vykreslení zvolené antény nebo úpravu daných hodnot dle potřeb uživatele.



Obrázek 3.2.1 Náhled na grafické uživatelské rozhraní pro *AntennaCatalogue*.

Pro toto grafické rozhraní byla vytvořena složka s třídou *AntennaGUI* umožňující vytvoření vlastního grafického rozhraní a práci v rámci projektu AToM. Třída *AntennaGUI* využívá pro svou funkci referenci na objekt třídy *Project*.

4 KATALOG ANTÉN

Pro katalog antén byl vytvořen jmenný prostor *models.antennaCatalogue*, ve kterém se nachází třída *AntennaCatalogue*, která umožňuje vytvářet požadovanou anténu. Ve složce *antennaCatalogue* je vytvořena třída *AntennaCatalogue* využívající reference na třídu *Project*, který obsahuje referenci na každý model AToM a obsahuje informace o typu projektu. Třída *AntennaCatalogue* navíc ukládá referenci na řešený projekt, případně danou referenci maže. Jako poslední část je obsažena metoda zahrnující seznam volání jednotlivých antén.

Na základě volby uživatele je zvolena požadovaná anténa s parametry, které si zvolí sám uživatel. Hodnoty jednotlivých parametrů lze zadat buď pomocí čísla, nebo řetězce (proměnná typu *string* v MATLABu) obsahující jméno AToM *Variable*. Samotná funkce každé z jednotlivých antén si následně zkontroluje zadané hodnoty a případně si je převede na požadovaný formát, se kterým pracuje. V tomto případě na proměnné typu *string*.

Pro samotné vykreslení tvarů jsou využívány geometrické tvary a funkce ze třídy *models.Geom*, která je součástí AToM.

4.1 1D tvary antén

4.1.1 Dipól

Nejjednodušším příkladem ukázky vytvoření 1D antény je jednoduchý dipól s jediným parametrem délky (*length*).

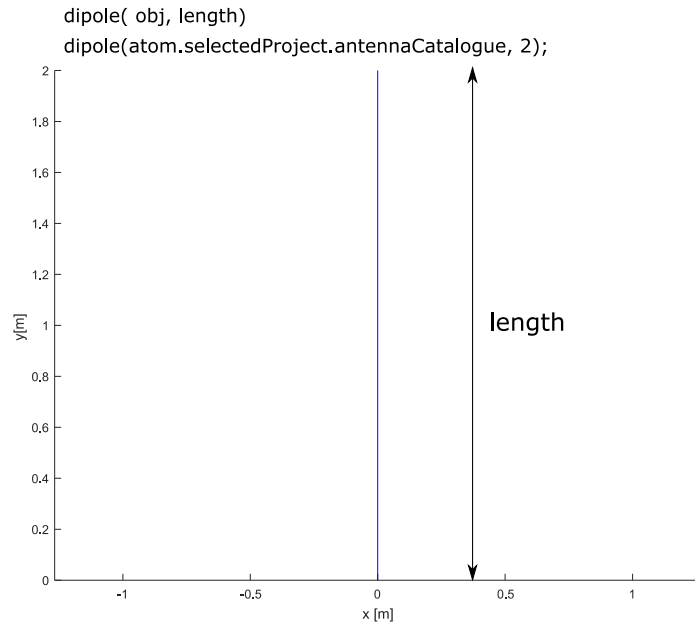
```
function dipole(obj, length)
project = obj.project;

%% validation of variables
if isnumeric(length)
    length = num2str(length);
end

%% create object
project.geom.addLine( ['[0, 0, 0; 0,',length,', 0]']);
end
```

Obrázek 4.1.1 Příklad kódu pro vytvoření 1D dipólové antény.

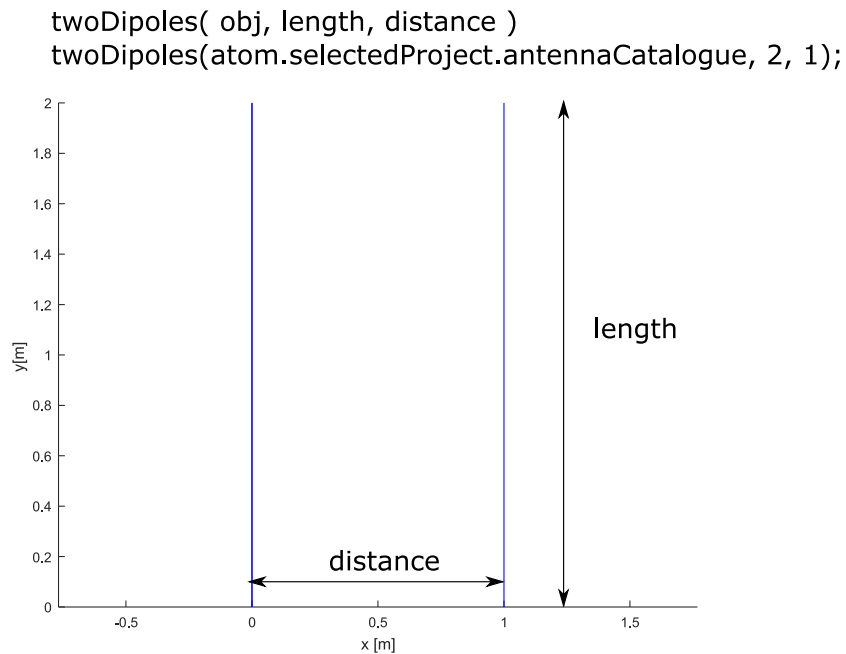
Jak je ukázáno v kódu na Obrázek 4.1.1, po zavolání funkce *dipole* dojde ke kontrole formátu zadané proměnné a případný převod na typ *string* dojde k vytvoření úsečky zavoláním *project.geom.addLine*. V našem případě je vytvořen model dipólové antény s délkou 2 m.



Obrázek 4.1.1 Vykreslení úsečky po zavolání funkce dipole.m.

4.1.2 Dva dipóly

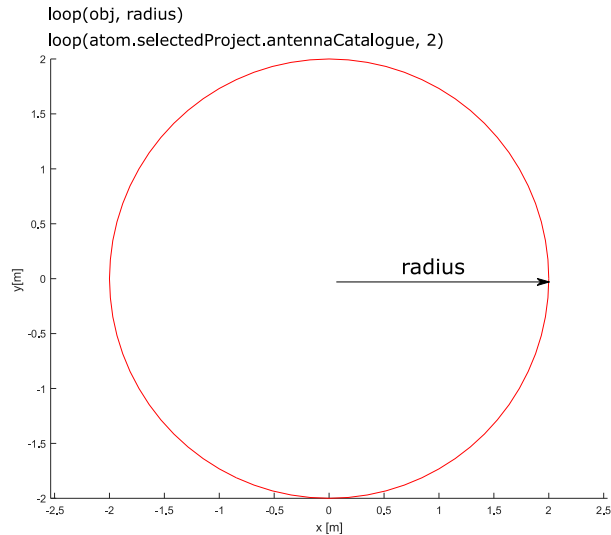
Pro vytvoření dvou dipólů je potřeba zavolat modifikovanou předchozí funkci s přidáním parametrem vzdálenosti (*distance*) mezi dvěma úsečkami.



Obrázek 4.1.2 Vykreslení dvou úseček po zavolání funkce twoDipoles.m.

4.1.3 Kruh

Jednoduchý kruh pro svoje vytvoření vyžaduje poloměr (*radius*) jako jediný atribut. Po zavolání funkce dojde k vykreslení kruhu s poloměrem 2 m (viz Obrázek 4.1.3).

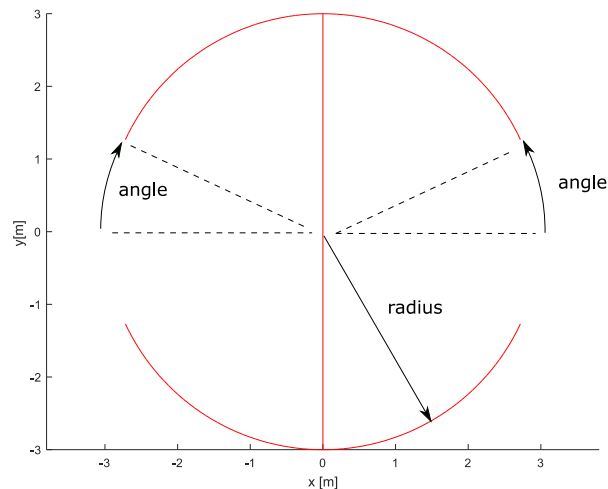


Obrázek 4.1.3 Vykreslení kruhu po zavolání funkce loop.m.

4.1.4 Sférický kruhový dipól s mezerou

Pro vytvoření této antény, jak je vidět na Obrázek 4.1.4, jsou zapotřebí dva parametry, poloměr (*radius*) a úhel otevření (*angle*)

```
sphericalCapLoadedDipole( radius,angle)
sphericalCapLoadedDipole(atom.selectedProject.antennaCatalogue, 3,50/360*2*pi)
```

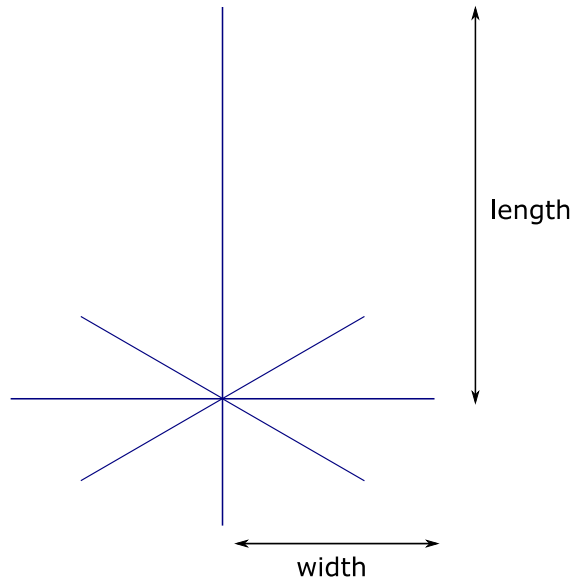


Obrázek 4.1.4 Vykreslení sférického kruhového dipólu s mezerou po zavolání funkce sphericalCapLoadedDipole.m

4.1.5 Monopól

Tento typ antény vyžaduje tři parametry, *length* pro délku monopólu, *width* pro délku zemnicích drátů a *N* pro jejich počet

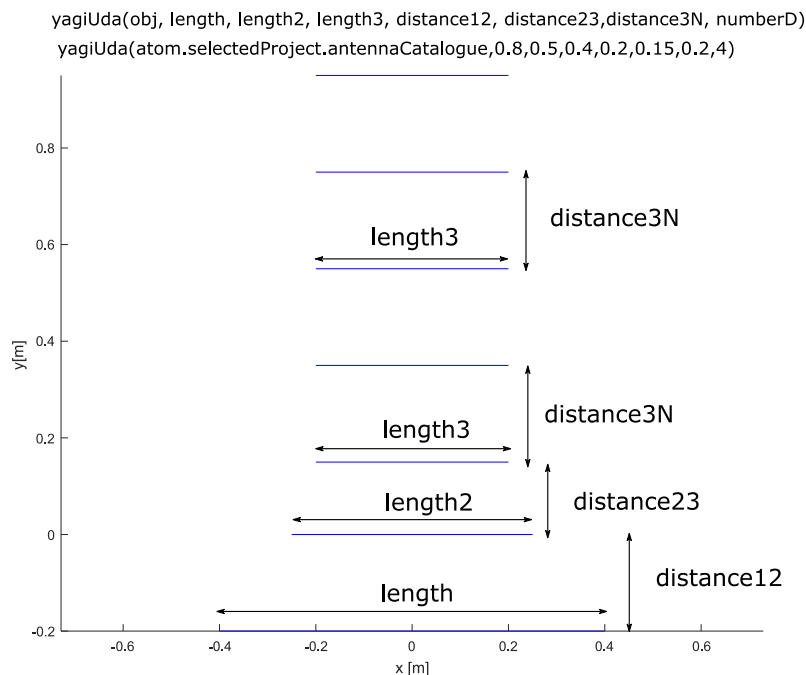
```
monopole(obj,length, width, N )  
monopole(atom.selectedProject.antennaCatalogue,2, 1,8 )
```



Obrázek 4.1.5 Vykreslení monopólu po zavolání funkce monopole.m.

4.1.6 Yagi Uda

Jak je ukázáno na Obrázek 4.1.6, anténa Yagi Uda vyžaduje sedm parametrů pro správné vytvoření. První parametr je délka reflektoru (*length*), dalším parametrem je délka aktivní části (*length2*), dále je potřeba zadat délku direktorů (*length3*), nakonec je potřeba zadat vzdálenosti (*distance12*) mezi reflektorem a aktivní částí, vzdálenost mezi aktivní částí a prvním direktorem (*distance23*), vzdálenost mezi direktory (*distance3N*) a celkový počet direktorů (*numberD*).



Obrázek 4.1.6 Vykreslení antény Yagi Uda po zavolání funkce yagiUda.m.

4.2 2D tvary antén

4.2.1 Obdélník (rectangle)

Nejjednodušší ukázkou ukázky vytvoření flíčkové antény je připravená funkce `rectangle.m`, která vytvoří obdélník. Každá funkce pro tvorbu antény má jako první proměnnou objekt `obj`, který obsahuje referenci na řešený projekt, jako další parametry jsou zadávány rozměry modelované antény, v tomto případě délka (*length*) a šířka (*width*). Na počátku se vytvoří projekt, a následuje kontrola formátu zadaných parametrů, v případě že se jedná čísla, tak jsou převedeny na řetězce. Po provedení převodu následuje samotné vytvoření obdélníku, první parametr určuje umístění středu obdélníku v soustavě x, y, z . V našem případě se jedná o počátek soustavy, další parametry jsou délka, šířka a jako poslední se zadává normála, defaultně kladný směr osy z .

```

function rectangle(obj, length, width)

project = obj.project;

%% validation of variables
if isnumeric(length)
    length = num2str(length);
end

if isnumeric(width)
    width = num2str(width);
end

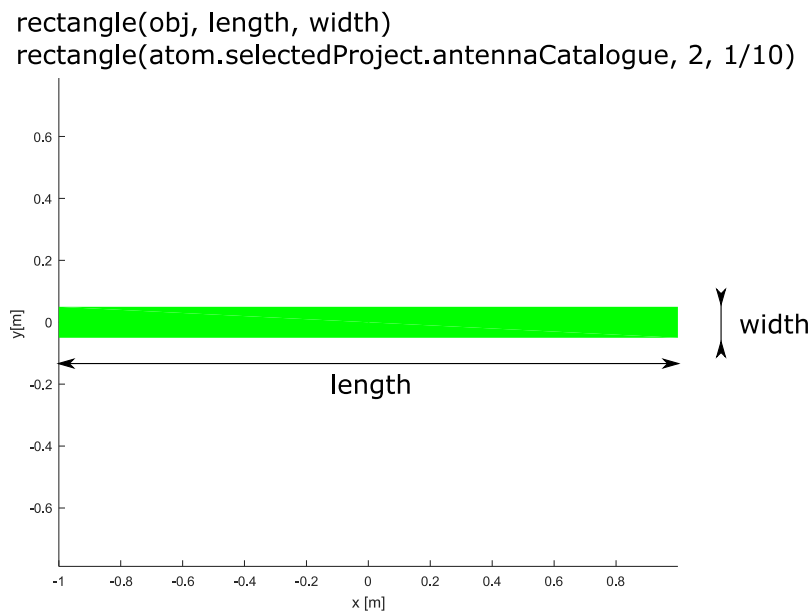
%% create Object
project.geom.addRectangle('[0,0,0]', length, width, 'z');

end

```

Obrázek 4.2.1 Příklad kódu pro vytvoření 2D obdélníku

Po zavolání této funkce je vytvořen obdélník v našem případě s délkou hrany 2 m a šířkou 0,1 m (viz Obrázek 4.2.2)

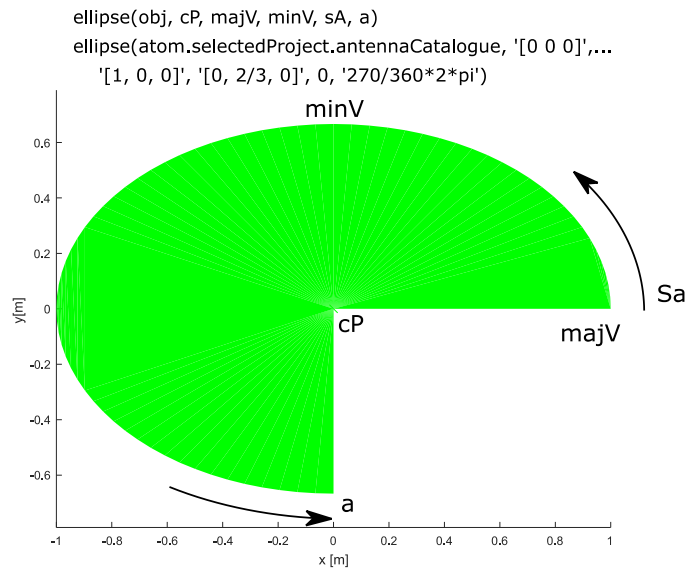


Obrázek 4.2.2 Vykreslení obdélníku po zavolání funkce rectangle.m

4.2.2 Elipsa (ellipse)

Obdobně katalog nabízí vykreslení elipsy, kde je k úspěšnému vykreslení tvaru potřeba zvolit pět parametrů. Souřadnice středu elipsy (cP), souřadnice krajního bodu na hlavní ose (majV), souřadnice krajního bodu na vedlejší ose (minV), počáteční (sA) a koncový (a) úhel v radiánech. Jako ukázka byla generována $\frac{3}{4}$ elipsa s délkou

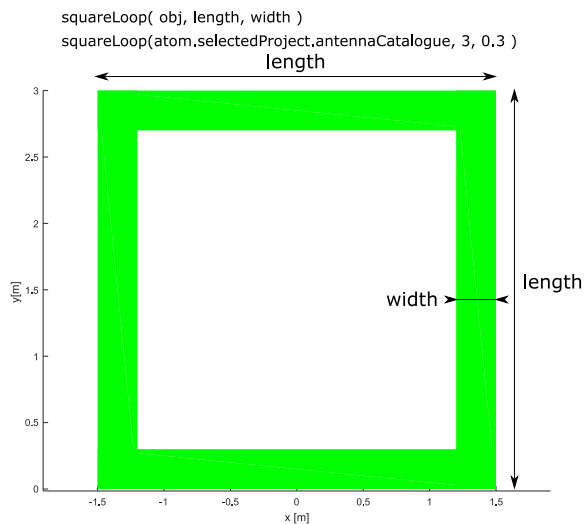
hlavní poloosy 1 m a délkou vedlejší poloosy 2/3 m (viz Obrázek 4.2.3).



Obrázek 4.2.3 Vykreslení elipsy po zavolání funkce ellipse.m.

4.2.3 Čtvercová smyčka

Pro vykreslení čtvercové anténní smyčky jsou zapotřebí zadat dva parametry, délka strany (*length*) a šířka smyčky (*width*). Na Obrázek 4.2.4 je vyobrazena čtvercová smyčka s délkou hrany 3 m a šířkou 0,3 m.

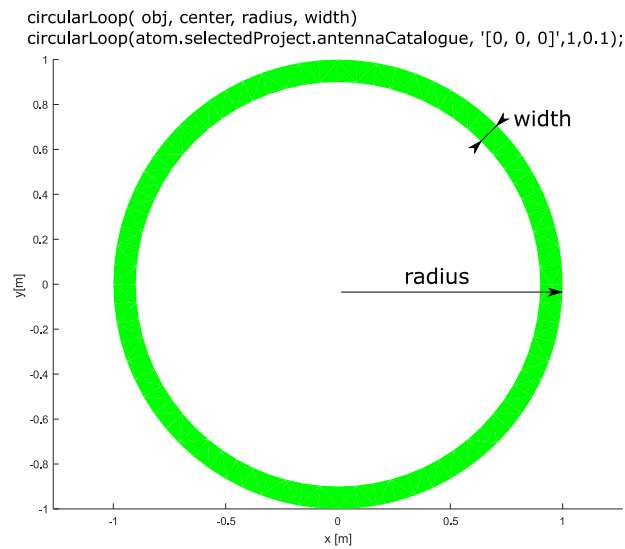


Obrázek 4.2.4 Vykreslení čtvercové smyčky po zavolání funkce squareLoop.m

4.2.4 Kruhová smyčka

Kruhová smyčka ke svému vykreslení potřebuje tři parametry, střed (*center*),

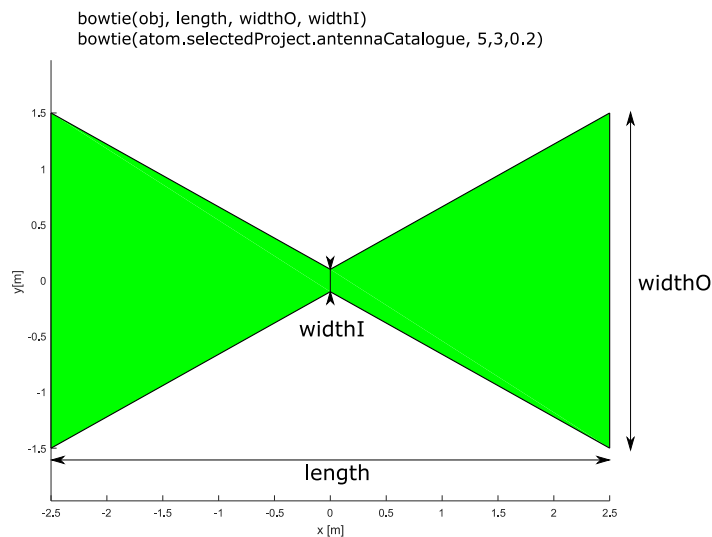
poloměr (*radius*) a šířku (*width*). Na Obrázek 4.2.5 je vyobrazen příklad volání funkce `circleLoop.m`



Obrázek 4.2.5 Vykreslení kruhové smyčky po zavolání funkce `circleLoop.m`.

4.2.5 Anténa typu bowtie

Pro vytvoření antény typu bowtie jsou zapotřebí tři atributy, délka antény (*length*), šířka na vnějšku (*widthO*) a šířka v zúžení (*widthI*). Na Obrázek 4.2.6 je zobrazena anténa s délkou 5 m, vnější šířkou 3 m a vnitřní šířkou 0,2 m.



Obrázek 4.2.6 Vykreslení antény tvaru bowtie po zavolání funkce `bowtie.m`.

4.2.6 Anténa tvaru rounded bowtie

Obdobou antény bowtie je rounded bowtie s přidaným atributem zaoblení na koncích antény. Tato anténa se skládá ze tří částí jak je ukázáno v části kódu na Obrázek 4.2.7, nejdříve je pomocí volání *project.geom.addPolygon* vytvořen základní tvar antény, který odpovídá tvaru antény bowtie. Tento tvar je vytvořen za pomoci souřadnicového zadání šesti krajních bodů.

Dále je vytvořeno zaoblení v podobě elipsy pomocí volání *project.geom.addEllipse*. V tomto případě jsou zadány hodnoty středu, krajního bodu na hlavní a vedlejší ose a na závěr počátek a konec elipsy k zajištění jejího polovičního tvaru. Toto zaoblení je vytvořeno symetricky i na druhé straně.

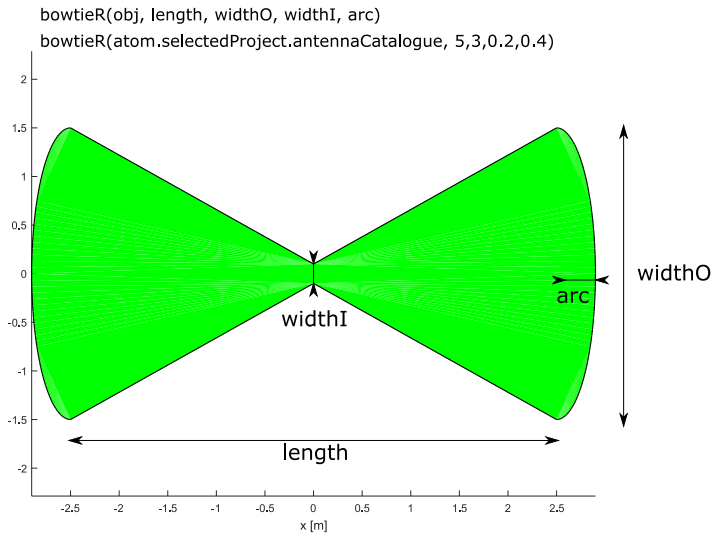
V poslední části tvorby antény dojde booleovskému sjednocení všech tří částí pomocí volání *project.geom.boolean.unite*.

```
%% create Objects
% bowtie
bowtie=project.geom.addPolygon(['[0, -',widthI,'/2, 0;',
    length,'/2, -',widthO,'/2, 0;', length,'/2, ', ...
    widthO,'/2,0; 0, ',widthI,'/2, 0; -',length,'/2, ', ...
    widthO,'/2, 0; -',length,'/2, -', ...
    widthO,'/2, 0; '0, -',widthI,'/2, 0]']);
% first arc
leftMargin = project.geom.addEllipse(['[-',length,'/2,0,0]',...
    ['[-',length,'/2,-',widthO,'/2, 0]',...
    ['[(-',length,'/2 -', arc,')',0, 0]', 0, pi);
% second arc
rightMargin=project.geom.addEllipse(['[',length,'/2,0,0]',...
    ['[',length,'/2,-',widthO,'/2, 0]',...
    ['[(',length,'/2 +', arc,')',0, 0]', 0, pi);

project.geom.boolean.unite(rightMargin,leftMargin);
project.geom.boolean.unite(bowtie,rightMargin);
```

Obrázek 4.2.7 Ukázka kódu popisující vznik tvaru rounded bowtie.

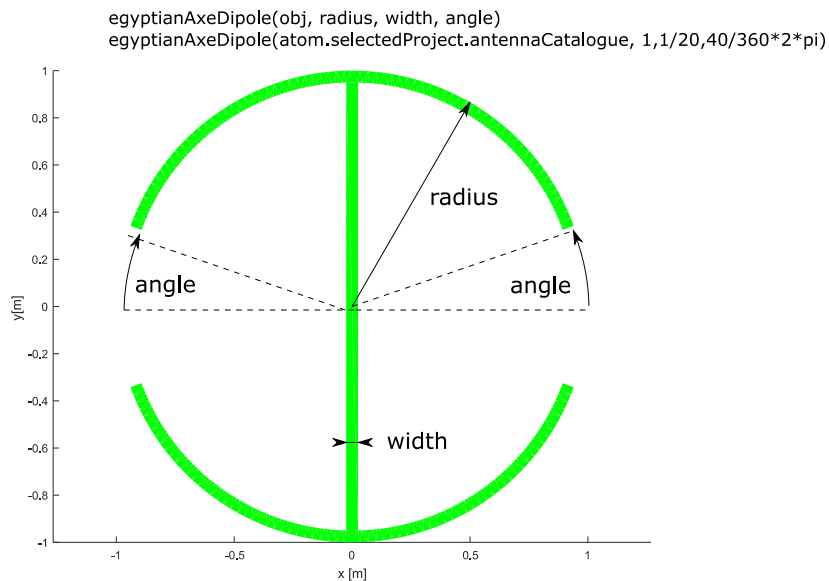
Jak je ukázáno na Obrázek 4.2.8, po zavolání funkce *bowtieR* dojde k vykreslení antény rounded bowtie, v našem případě s délkou antény (*length*) 5 m, vnější šířkou (*widthO*) 3 m, vnitřní šířkou (*widthI*) o velikosti 0,2 m a poloměrem oblouku (*arc*) 0,4 m.



Obrázek 4.2.8 Vykreslení antény tvaru rounded bowtie po zavolání funkce bowtieR.m.

4.2.7 Anténa tvaru egyptian axe dipole

Dalším příkladem z katalogu je anténa ve tvaru egyptian axe dipole. Pro její vytvoření, jak je ukázáno na Obrázek 4.2.9, jsou zapotřebí tři parametry: poloměr (*radius*) antény, šířka (*width*) jejich mikropásků a úhel otevření (*angle*) zadaný v radiánech.

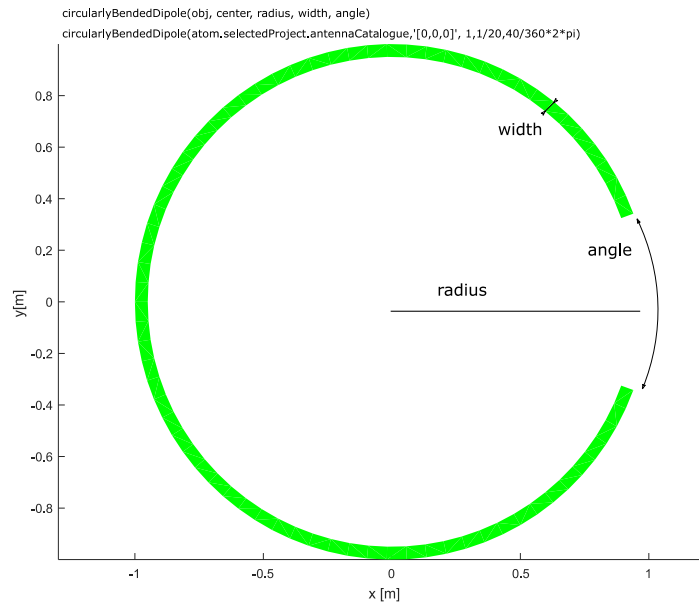


Obrázek 4.2.9 Vykreslení antény tvaru egyptian axe dipole po zavolání funkce egyptianAxeDipole.m

4.2.8 Kruhový dipól

Pro vykreslení jednoduchého kruhového dipólu je potřeba po zavolání funkce circularlyBendedDipole.m zadat čtyři parametry: umístění v prostoru (*center*), poloměr (*radius*), šířku mikropásků (*width*) a úhel otevření (*angle*). Jako ukázka

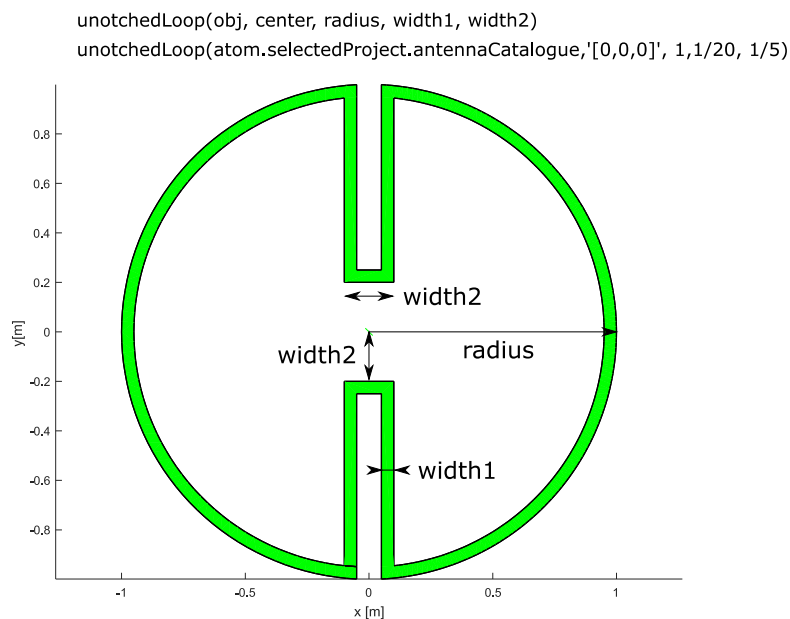
poslouží Obrázek 4.2.10, s poloměrem 1 m, šířkou 0,05 m a úhlem otevření 40°.



Obrázek 4.2.10 Vykreslení kruhového dipolů po zavolání funkce circularlyBendedDipole.m

4.2.9 Kruhový dipól s výřezem ve tvaru U

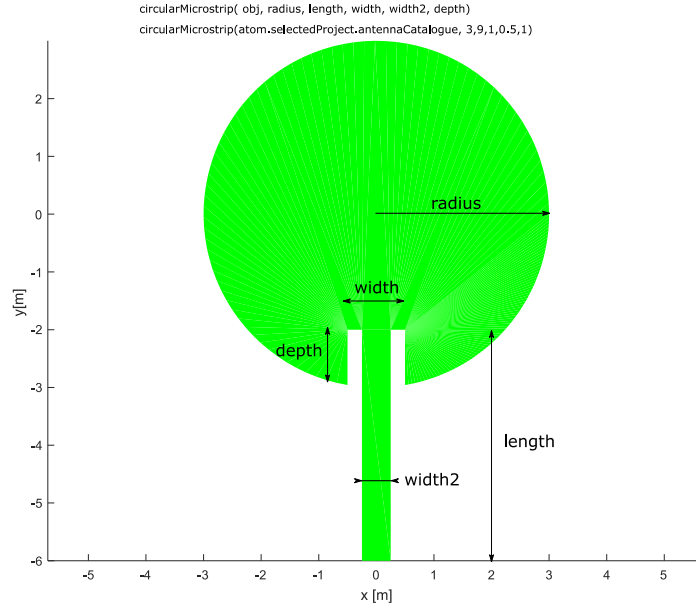
V katalogu antén jsou obsaženy i konstrukčně složitější antény, jednou z takových je například kruhový dipól s výřezem ve tvaru U, na jeho vytvoření jsou zapotřebí čtyři parametry, jak je naznačeno na Obrázek 4.2.11. Prvním atributem je střed kružnice (*center*), dalšími jsou poloměr (*radius*), šířka pásku (*width1*) a šířka výřezu (*width2*).



Obrázek 4.2.11 Tvar kruhového dipólu s výřezem ve tvaru U po zavolání funkce unnotchedLoop.m

4.2.10 Kruhový mikropásek

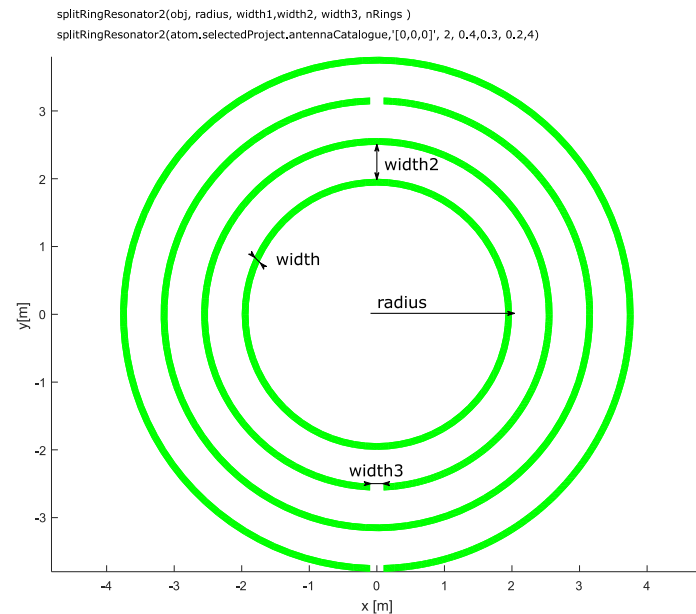
Pro vykreslení kruhového mikropásku je zapotřebí zadat pět parametrů. Jedná se o poloměr (*radius*), jeho délku (*length*), šířku mezery (*width*), šířku napájení (*width2*) a hloubku zanoření (*depth*).



Obrázek 4.2.12 Vykreslení kruhového mikropásku po zavolení funkce `circularMicrostrip.m`.

4.2.11 Prstencový dutinový rezonátor

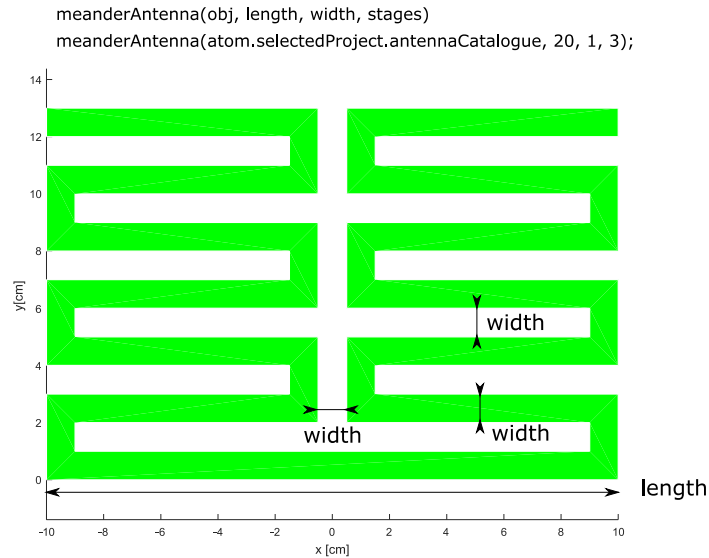
Pro vykreslení kruhového rezonátoru je potřeba zadat šest parametrů. Jedná se o pozici (*center*), poloměr vnitřního kruhu (*radius*) šířku kruhu (*width*) šířku mezi kruhy (*width2*), šířku díry (*width3*) a počet prstců.



Obrázek 4.2.13 Vykreslení prstencového dutinového rezonátoru po zavolání funkce `splitRingResonator2.m`

4.2.12 Meandrovitá anténa

Meandrovitá anténa je jednou z dalších položek katalogu antén. Pro její vykreslení, jak je ukázáno na Obrázek 4.2.14, jsou zapotřebí zadat tři parametry. Délku (*length*), šířku pásku (*width*) a počet úrovní (*stages*).

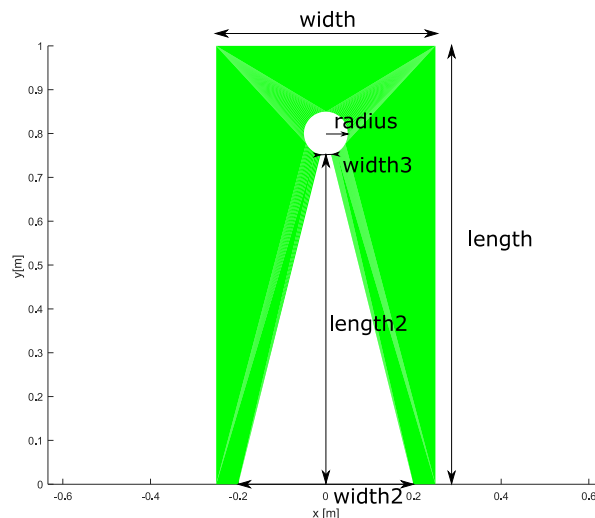


Obrázek 4.2.14 Vykreslení meandrovité antény voláním funkce `meanderAntenna.m`

4.2.13 Anténa s lineárním otevřením

Pro vytvoření této antény je zapotřebí šest parametrů, délku zemnicí desky (*length*), výšku trojúhelníku k dutině (*length2*), šířku zemnicí desky (*width*), šířku trojúhelníku (*width2*), šířku štěrbiny (*width3*) a průměr dutiny (*radius*). Příklad vykreslení antény je na Obrázek 4.2.15.

```
linearTaperedSlot( obj, length,length2, width, width2, width3, radius)
linearTaperedSlot(atom.selectedProject.antennaCatalogue, 1, 0.8, 0.5, 0.4, 0.0001, 0.05);
```



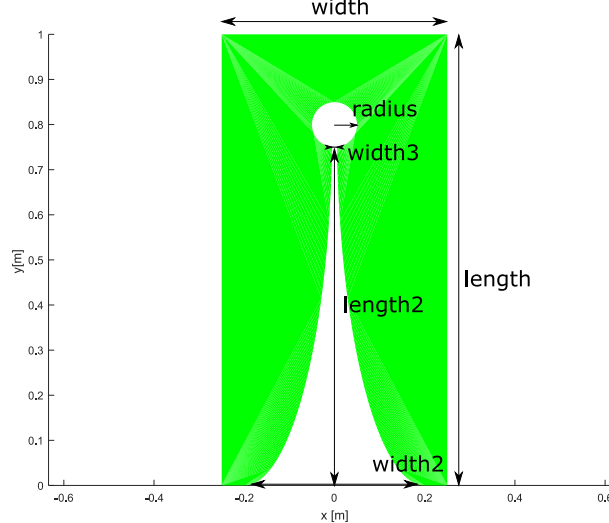
Obrázek 4.2.15 Vytvoření antény s lineárním otevřením voláním funkce `linearTaperedSlot.m`

4.2.14 Vivaldiho anténa

Obdobou antény s lineárním otevřením je Vivaldiho anténa. Pro vytvoření této antény, jak je naznačeno na Obrázek 4.2.16, je stejně jako v předchozím případě zapotřebí šest parametrů, délka zemnicí desky (*length*), délka kužele k dutině (*length2*), šířka zemnicí desky (*width*), šířka kužele (*width2*), šířka štěrbiny (*width3*) a poloměr dutiny (*radius*).

V našem případě byla vykreslena anténa s délkou 1 m, délkou zemnicí desky 0,8 m, šířkou zemnicí desky 0,5 m, šířkou kužele 0,4 m, šířkou štěrbiny 0,01 m a poloměrem dutiny 0,05 m.

```
vivaldiMicrostrip(obj, length, length2, width, width2, width3, radius)
vivaldiMicrostrip(atom.selectedProject.antennaCatalogue,1, 0.8, 0.5, 0.4, 0.01, 0.05);
```

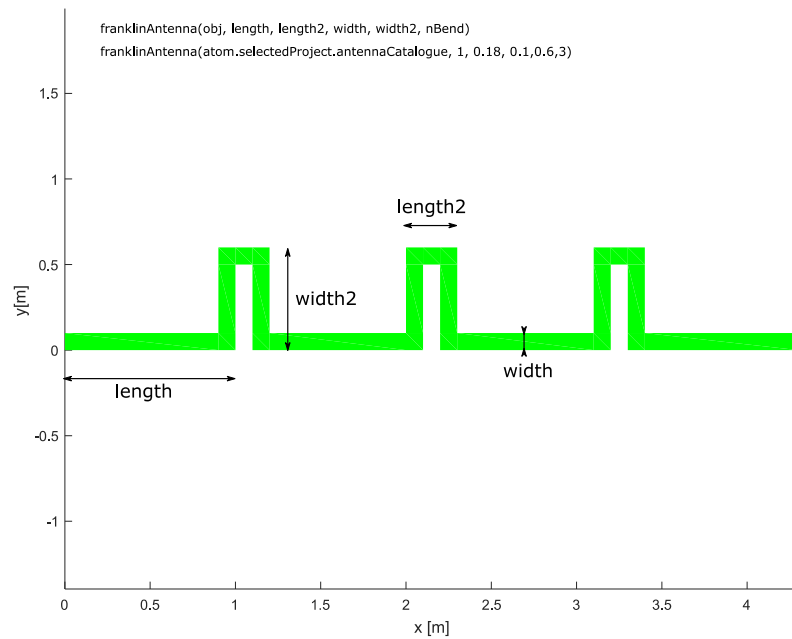


Obrázek 4.2.16 Vykreslení Vivaldiho antény po zavolání funkce vivaldiMicrostrip.m

4.2.15 Anténa Franklinova tvaru

Pro vykreslení antény Franklinova tvaru je zapotřebí zvolit pět parametrů. Délka mikropásku (*length*), délka ohybu (*length2*), šířka mikropásku (*width*), šířka ohybu (*width2*) a počet ohybu (*nBend*).

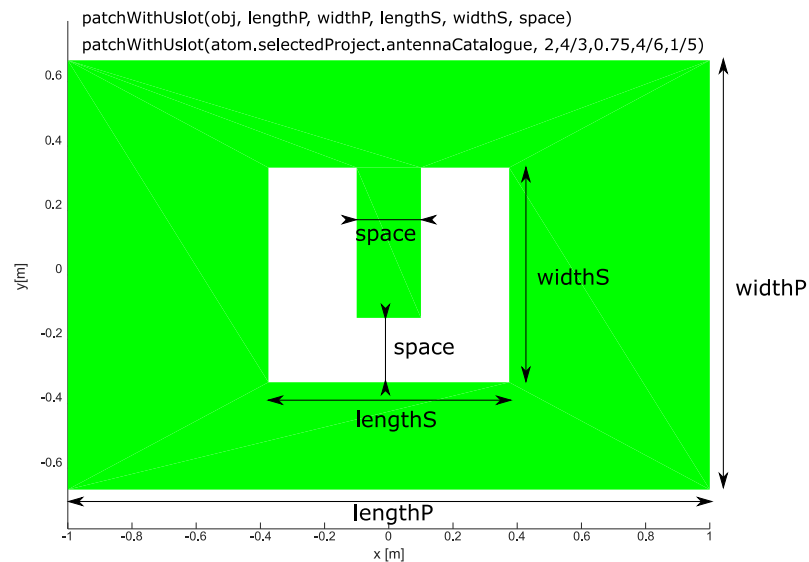
Jako ukázka byla vykreslena anténa Franklinova tvaru s délkou mikropásku 1 m, délkou ohybu 0,18 m, šířkou ohybu sekce antény 0,1 m a třemi ohyby (viz Obrázek 4.2.17).



Obrázek 4.2.17 Vykreslení antény Franklinova tvaru po zavolení funkce franklinAntenna.m

4.2.16 Flíčková anténa se štěrbinou tvaru U

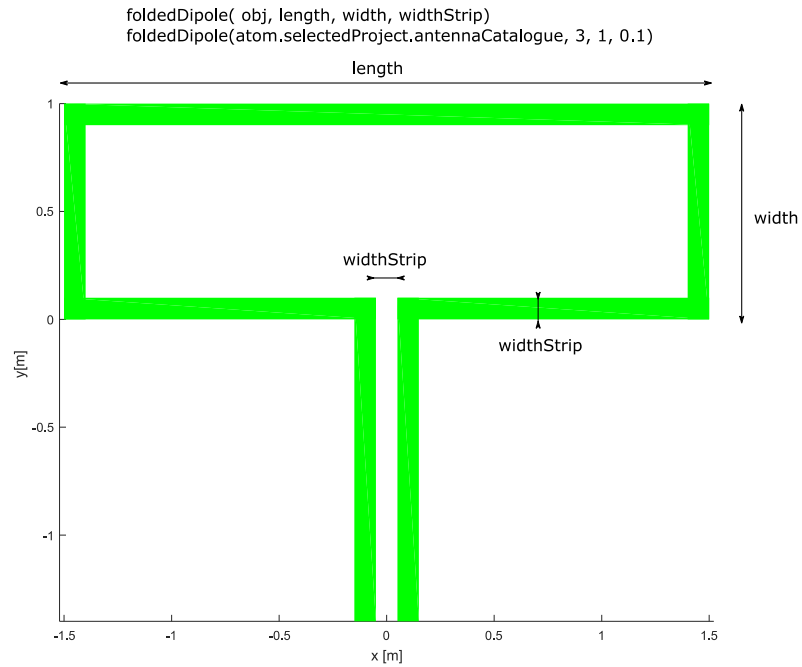
Flíčková anténa se štěrbinou ve tvaru U vyžaduje pro své správné vykreslení pět parametrů, jedná se o délku ($lengthP$) a šířku ($widthP$) flíčku, délku ($lengthS$) a šířku ($widthS$) štěrbině a velikost mezery ($space$) ve štěrbině, jak je naznačeno na Obrázek 4.2.18



Obrázek 4.2.18 Vykreslení flíčkové antény se štěrbinou ve tvaru U po zavolání funkce patchWithUslot.m

4.2.17 Skládáný dipól

Anténa ve tvaru skládaného dipólu vyžaduje pro svoje vykreslení tři parametry, délku (*length*), šířku dipólu (*width*) a šířku drátu (*widthStrip*). Příklad takové antény je ukázán na Obrázek 4.2.19



Obrázek 4.2.19 Vykreslení skládaného dipólu po zavoání funkce `foldedDipole.m`

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat základní druhy antén a vytvořit modul s parametrizovanými modely vybraných antén v programu AToM. Prvotní úkol v prostředí AToM směřoval k vytvoření třídy AntennaCatalogue, která umožňuje a značně zjednodušuje přístup k modelům programu AToM a tím usnadňuje samotnou tvorbu geometrických tvarů tvořících model antény. Vývoj pokračoval výběrem drátových a flíčkových antén a na jejich základě jsou vytvořeny metody, které za pomoci zadaných parametrů tvoří geometrické modely požadovaných antén.

Jako součást této práce bylo vytvořeno uživatelské grafické rozhraní, které usnadňuje výběr požadované antény, nastavení požadovaných rozměrů a umožňuje její vykreslení pomocí prostředí AToM.

LITERATURA

- [1] BALANIS, Constantine.A. *Antenna theory: analysis and design*. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2005, xvii, 1117 s. ISBN 978-0-471-66782-7.
- [2] ORFANIDIS, Sophocles J.. *Electromagnetic Waves and Antennas* [online]. Piscataway, NJ 08854-8058: Rutgers University, 2008 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/>
- [3] SLANINA, Martin. *Moderní bezdrátová komunikace: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav radioelektroniky, 2010. ISBN 978-80-214-4156-9.
- [4] RAIDA, Z., ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z., *Elektromagnetické vlny a Mikrovlnná technika* [online], [cit. 2017-12-01] Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/>
- [5] Stránky: antennatoolbox.com [online] [cit. 2017-12-06] Dostupné z: <http://antennatoolbox.com/atom-about.php>
- [6] <http://antennatoolbox.com/pdf/studijni-opory/atom/ATOM-Technical%20Computing%20Camp.pdf> [online] [cit. 2017-12-06]
- [7] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1635425> [online] [cit. 2017-12-09]
- [8] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6731839/> [online] [cit. 2017-12-10]
- [9] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7509141> [online] [cit. 2017-12-10]
- [10] <http://www.eecs.umich.edu/radlab/html/techreports/RL727.pdf> [online] [cit. 2017-12-10]
- [11] <http://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resource-library/techbrief/ab-ansys-hfss-for-antenna-simulation.pdf> [online] [cit. 2018-05-18]
- [12] <http://www.antennamagus.com/explore.php?page=explore> [online] [cit. 2018-05-18]
- [13] <https://www.mathworks.com/products/antenna.html> [online] [cit. 2018-05-18]
- [14] <https://www.mathworks.com/pricing-licensing.html> [online] [cit. 2018-05-18]