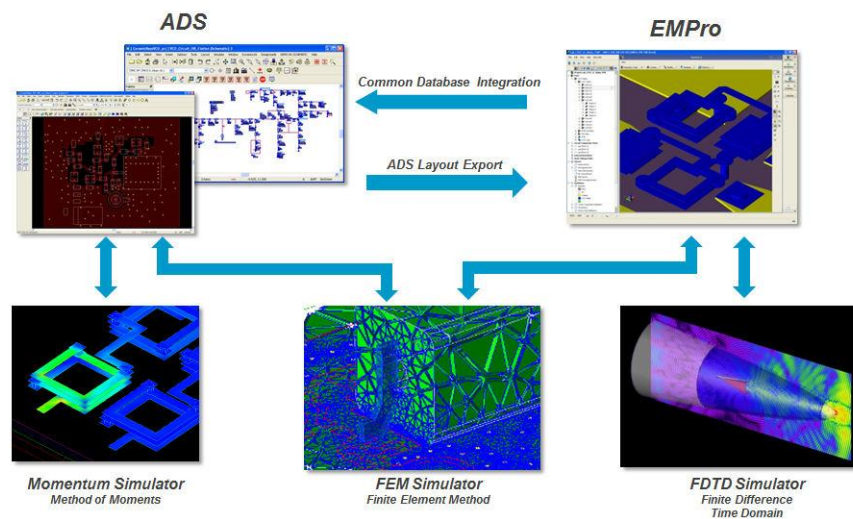


Laborator 1

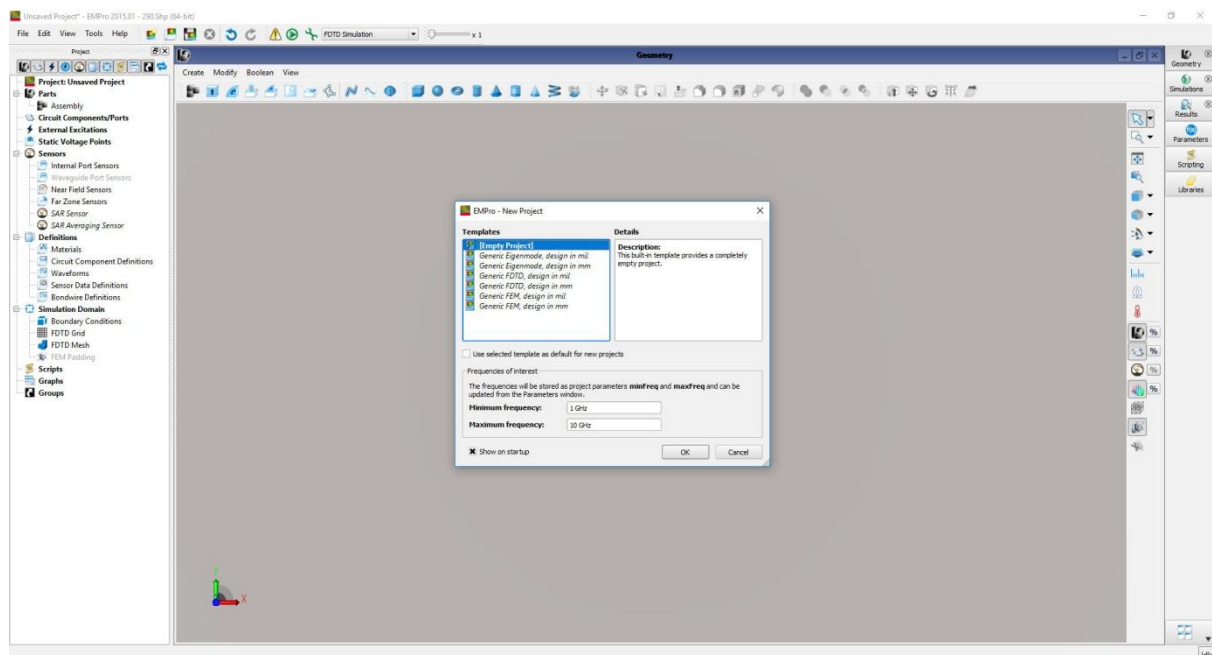
Utilizarea programului de simulare electromagnetică EmPro

1. Prezentarea programului EmPro

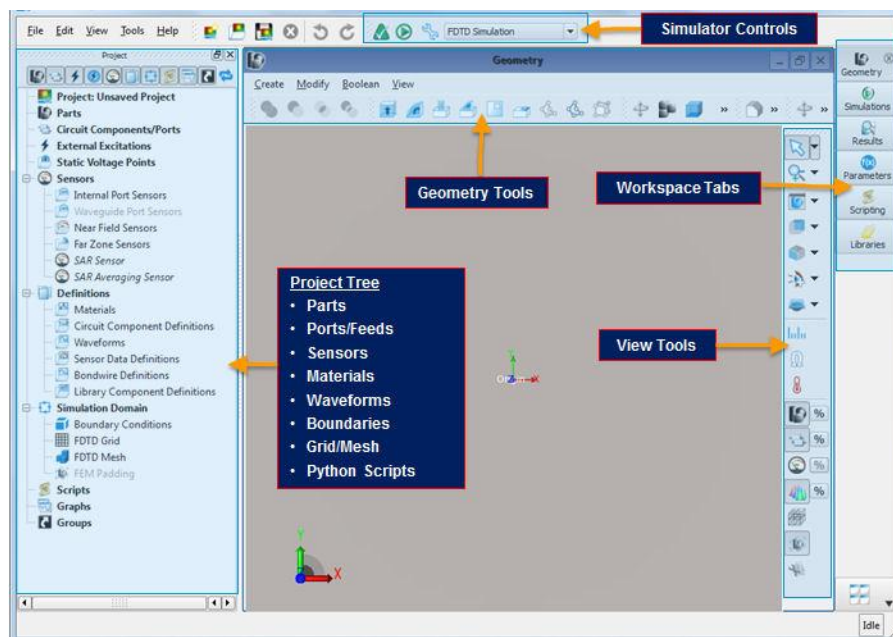
EmPro este un program de simulare electromagnetică 3D creat de firma Keysight. Este conceput pentru a oferi programului Advanced Design System capabilități de simulare electromagnetică (ADS ofera nativ simulare 2.5D prin metoda momentelor).



Programul se pornește din bara de start din Windows. Inițial se pornește în interfața de desenare a structurii și cu fereastra de creare a unui nou proiect.



La crearea proiectului se poate alege simulatorul utilizat (FDTD, FEM sau Eigenmode: aflarea modurilor proprii), unitățile de măsură standard utilizate în proiect (mm sau mil) și de asemenea intervalul de frecvență în care se va face simularea. Intervalul de frecvență poate fi modificat mai târziu, dar deoarece un mare număr de elemente (fizice) depinde de acesta e important să fie cât mai corect estimat inițial pentru a evita corecții masive mai târziu.



În partea stângă a interfeței se regăsește Project Tree, o structură în care pot fi regăsite (aproape) toate elementele de interes din proiectul curent. Fereastra centrală oferă acces la desenarea/vizualizarea structurii analizate (vizualizarea diferitelor elemente putând fi controlată rapid din bara de butoane View Tools). În partea dreaptă (Workspace Tabs) se pot afișa, deasupra ferestrei de geometrie, ferestrele de urmărire control a simulărilor, vizualizare rezultate, vizualizare/modificare parametri, editare script-uri (Python), încărcare bibliotecii. În partea de sus este prezentă zona de alegere/control a simulatorului.

Trebuie menționat că deși și FDTD și FEM sunt simulatoare de tip general, putând simula orice tip de structură (ca o consecință orice structură simulată va putea fi analizată cu oricare din cele două metode sau cu ambele, pentru a compara rezultatele), totuși schimbarea simulatorului activ nu se reduce numai la alegerea lui din interfață, ci are efecte secundare care conduc la operațiuni mai complexe (schimbare surse, schimbare grilă de calcul etc.).

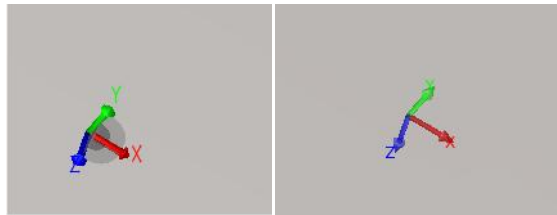
2. Mod de lucru în EmPro

2.1. Materiale

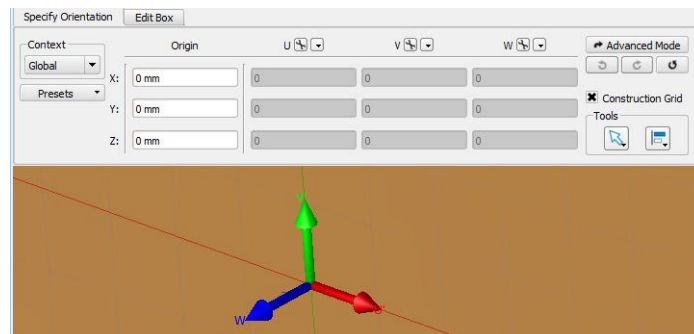
Materialele se adaugă prin click dreapta pe secțiunea **Definitions > Materials** . În mod normal, toate materialele care trebuie utilizate la disciplină se regăsesc în biblioteca standard (Select from Default Material Library) dar se pot adăuga și materiale noi (New Material Definition). Această ultimă variantă ar putea să devină necesară când trebuie afectate caracteristicile unui material pentru a coincide cu tehnologia exactă care se utilizează.

2.2. Sisteme de coordonate

Există definit un sistem de coordonate general, (x,y,z) afișat pe ecran, față de care vor fi raportate toate obiectele desenate. De multe ori desenarea unui obiect se face prin raportare la acest sistem de coordonate (deoarece alegerea axelor se face astfel încât să corespundă direcțiilor importante din structura desenată). Ca urmare, versorii x,y,z vor fi afișați de două ori, sistemul general în colțul din stânga jos al structurii și sistemul local al obiectului în centrul obiectului respectiv



Câteodată un obiect geometric nu poate fi descris ușor în sistemul general (valabil de obicei despre un anume obiect înclinat față de toate celelalte). Apare în acest caz un sistem de coordonate locale pentru acel obiect (u,v,w) a cărei înclinare față de sistemul general poate fi descrisă în ferestre similare cu cea care urmează, unde se specifică descompunerea versorilor locali u,v,w în funcție de versorii generali x,y,z (proiecții vectoriale).



2.3. Elemente

Inserate prin click dreapta **Parts** în Project Tree, **Create New** Unui element trebuie să i se dea un nume sugestiv, util pentru a-l regăsi rapid în structura desenată. De cele mai

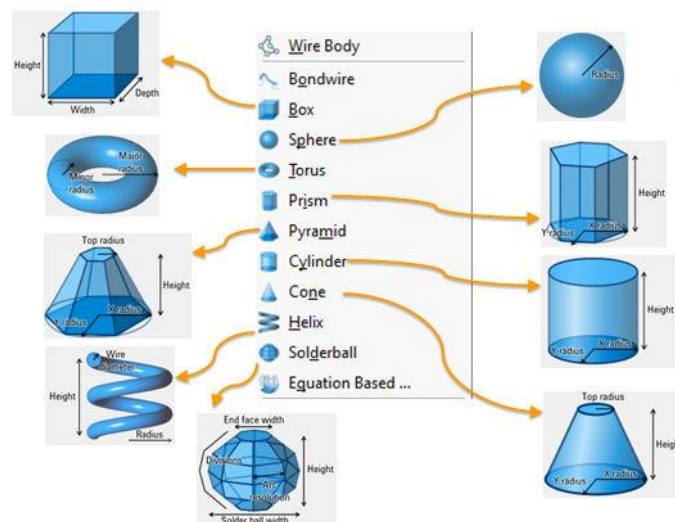
multe ori un element este creat în urma desenării unui obiect (pct. 2.4), dar în cazul unor elemente mai complexe din structură poate apărea în urma unificării, extragerii, etc. a mai multor obiecte geometrice primare. Un element, chiar dacă nu are o formă regulată geometric în urma operațiilor la care a fost supus, va avea un singur material caracteristic. De exemplu un conector BNC este realizat dintr-un singur material (metalic).

Elementele pot fi grupate prin crearea ansamblelor: **Parts > Create New > Assembly**. Un ansamblu trebuie să primească un nume (recomandat să fie sugestiv de asemenea) și permite manipularea unitară a mai multor elemente simultan. Ansamblul poate fi compus din elemente cu materiale diferite dar care sunt manipulate fizic împreună. De exemplu un cablu coaxial poate fi definit ca ansamblu (conductor central, dielectric, conductor/i de masă exteriori).

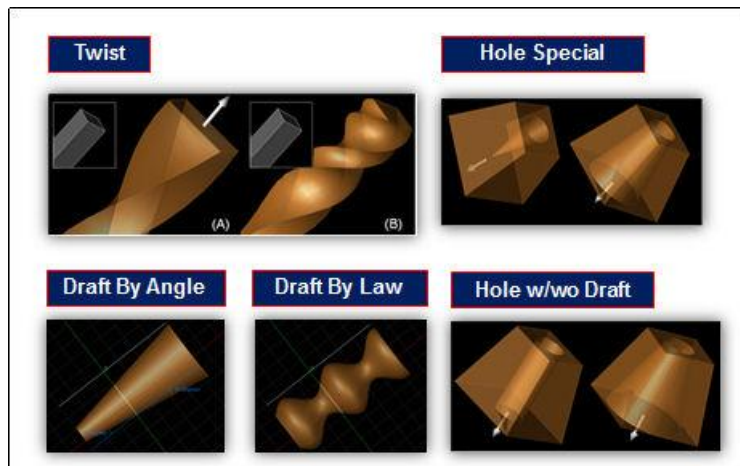
2.4. Desenare structuri

Deoarece nu se poate desena 3D utilizând dispozitive native 2D de control (mouse) și afișare (monitor) introducerea structurilor presupune o descompunere anterioară a obiectului de desenat în elemente constitutive care pot descrie geometric prin ecuații.

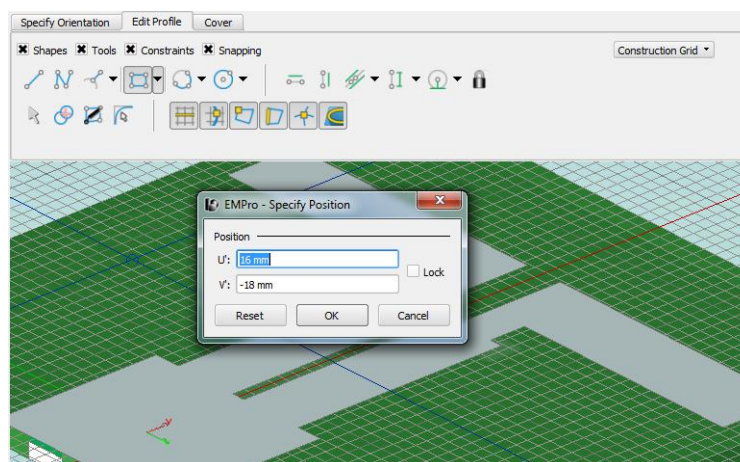
O primă metodă constă în utilizarea și eventual suprapunerea blocurilor 3D predefinite și introducerea caracteristicilor geometrice ale acestora **Parts > Create New > Box/Cylinder/ ...**



O a doua metodă întâlnită presupune desenarea unei structuri 2D (**Parts > Create New > Sheet Body**) și deplasarea acestei figuri bidimensionale pentru a crea un obiect 3D, **Parts > Create New > Extrude/Revolve** (deplasare după/rotație în jurul unei anumite direcții).



Desenarea 2D face apel la introducerea unor elemente geometrice 2D uzuale prezente în interfață: dreptunghi, poligon regulat, cerc, elipsă. Descrierea acestora este de asemenea realizată prin ecuații (geometrie analitică). De fiecare dată când se cere introducerea unui punct se poate indica cu mouse-ul pe ecran sau se pot introduce coordonatele celui punct de la tastatură (dacă se cunosc coordonatele - se apasă **Tab** în locul apăsării mouse-ului).

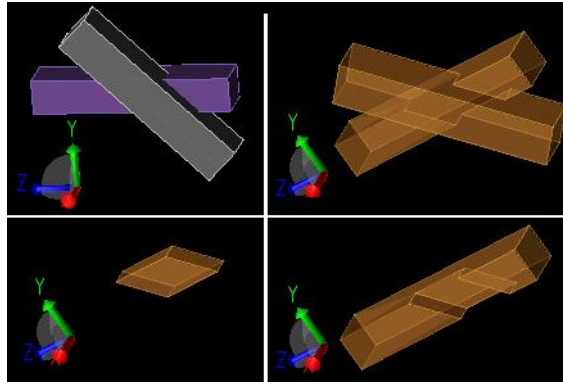


Unele obiecte pot fi introduse la fel de simplu prin ambele metode, pentru unele obiecte în schimb alegerea metodei potrivite ușurează foarte mult desenarea.

2.5. Componere elemente

Operațiunile de componere sunt de tip logic (boolean): Uniune, Intersecție, Scădere, Tăiere. Se selectează elementul/elementele asupra cărora se aplică operațiunea în Project Tree (**Parts** > ...). Unele operațiuni pot fi aplicate unui singur obiect (împreună cu Extrude/Revolve) dar majoritatea necesită două sau mai multe elemente. După selecția elementelor click dreapta pe **Parts** în Project Tree, **Boolean** >

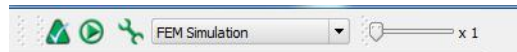
În figura următoare se exemplifică pentru două obiecte operațiunile Union, Intersection, Substraction. Pentru toate operațiunile obiectele inițiale pot rămâne în structură (prin selectare "Keep original") sau dacă nu dispar rămânând doar rezultatul operației.



Este esențial ca în structura desenată să nu existe suprapuneri între obiecte (de exemplu în același punct din spațiu nu poate exista simultan și un obiect dintr-un material dielectric și un obiect metalic). Ca urmare operațiunile logice între obiecte pot fi folosite fie opțional (ca o metodă de desenare a unor obiecte mai complexe care nu pot fi descrise cu blocurile 3D elementare) fie obligatoriu (pentru rezolvarea suprapunerilor între diverse obiecte).

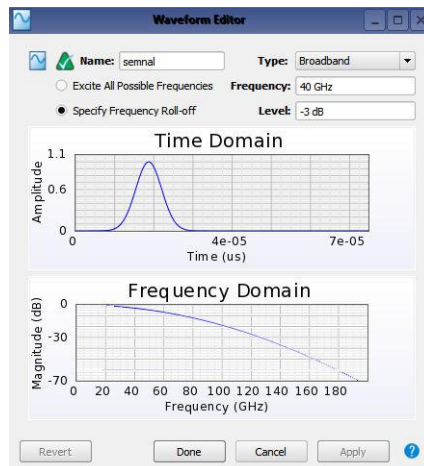
2.6. Alegere metodă de simulare

EmPro pune la dispoziție două metode generale de simulare electromagnetică 3D: FEM (Finite Element Method) și FDTD (Finite Difference Time Domain). Alegerea unei anumite metode de simulare se face din interfață în partea de sus, lângă meniu.



Metoda elementului finit va face analizat structurii la o singură frecvență și ca urmare obținerea unui răspuns în bandă largă necesită repetarea simulării pentru un număr de frecvențe (fixe sau determinate prin algoritmi). Metoda FEM are tendința de a necesita mai mult timp de calcul, în schimb fiecare punct este calculat independent și ca urmare este mai precisă.

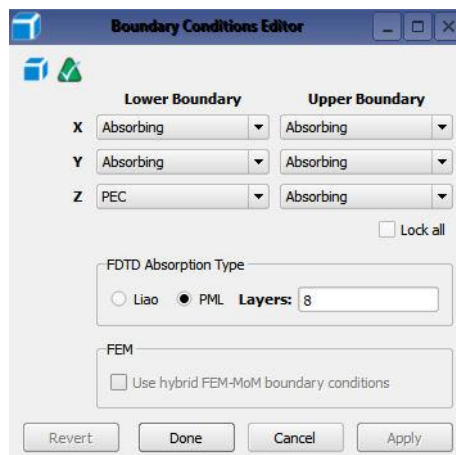
Metoda diferențelor finite în domeniul timp va aplica structurii un semnal variabil în timp și va obține răspunsul la această excitație. Prin calcularea transformărilor Fourier pentru răspuns și pentru excitație se poate determina funcția de transfer a sistemului, obținându-se astfel răspunsul în bandă largă într-o singură trecere. Metoda FDTD are tendința de a fi mai rapidă, dar este dependentă de semnalul de intrare (nu toate frecvențele sunt excitate în aceeași măsură, în general răspunsul este mai precis calculat la frecvențele centrale ale benzii de lucru).



De asemenea există un modul de determinare a frecvențelor de rezonanță (Eigenmode solver), pe care nu îl vom utiliza la A/P.

2.7. Definire condiții la limită

Indiferent de metoda de simulare nu se pot face calcule în spațiu infinit. Se definesc condițiile la limită (**Simulation Domain > Boundary Conditions**), condițiile întâlnite pe paralelipipedul care delimitează zona de calcul.



Valorile mai des întâlnite sunt Absorbing (spațiu liber - totul iese, nimic nu se întoarce), PEC (conductor electric perfect - echivalent cu perete metalic ideal), PMC (conductor magnetic perfect - idealizare matematică, utilizabil pentru simetrii impare ale câmpurilor), Periodic (semnifică repetarea la infinit a structurii - utilizabil pentru structuri periodice, în loc să simulez mii de celule identice pot simula una singură).

2.8. Definire grilă de calcul

Ambele metode uzuale necesită discretizarea structurii fizice prin definirea unui grilaj în care se definesc și se calculează efectiv câmpurile. Metoda de discretizare este dependentă de metoda de simulare (opțiunile se regăsesc în **Simulation Domain > ...** devenind active în funcție de care dintre cele două metode este aleasă pentru simulare).

Astfel metoda FEM împarte volumul în tetraedre și beneficiază de un algoritm automat de discretizare, discretizarea fiind mai fină în jurul obiectelor desenate și cu tetraedre mai mari spre marginea structurii.

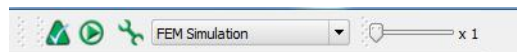
Metoda FDTD se bazează pe un grilaj rectangular care necesită în mare parte controlul utilizatorului pentru a defini dimensiunile grilajului, eventual zonele cu grilaj mai fin (de asemenea în jurul obiectelor).

2.9. Definire surse de energie

Și aceste elemente sunt dependente de metoda de simulare aleasă. Generic sursele de energie sau punctele de acces la structura (intrare/ieșire) se numesc porturi și sunt definite în Project Tree prin click dreapta pe **Circuit Components/Ports**. Opțiunea validă pentru ambele metode este **New Circuit Component with > New Feed Definition**. Pentru metoda FDTD trebuie definită forma semnalului de excitație (vezi figura Waveform Editor anterioară), pentru metoda FEM există și posibilitatea definirii unor surse superficiale (o întreagă suprafață laterală) **Circuit Components/Ports > New Waveguide Port**

2.10. Opțiuni simulator

Opțiunile de simulare sunt dependente de metoda de simulare și sunt accesibile apăsând butonul în formă de cheie de lângă controlul de alegere a metodei de simulare. Nu sunt tratate în această lucrare de laborator deoarece vor face obiectul unei lucrări viitoare.



2.11. Simulare și vizualizare rezultate

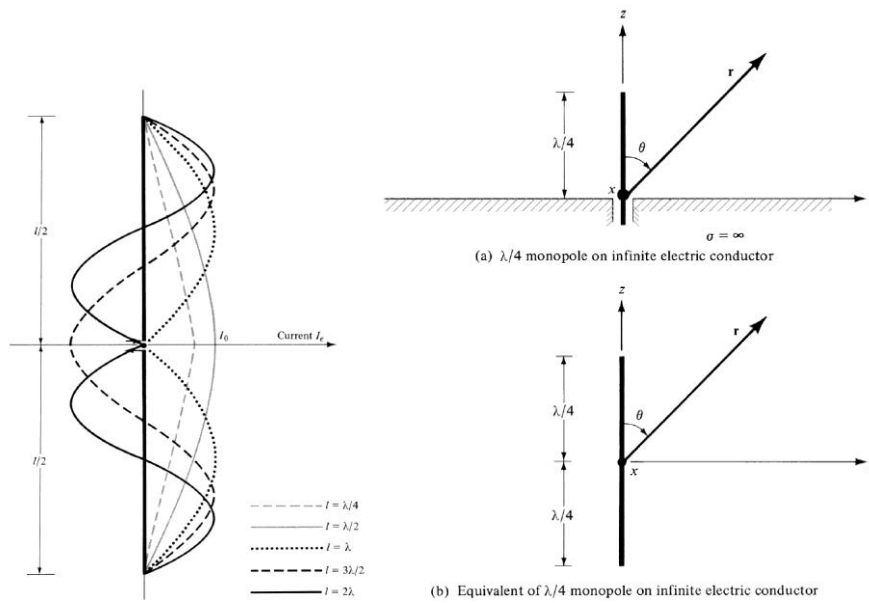
Simularea se pornește din butonul "Play" de lângă butonul în formă de cheie menționat anterior. Modalitatea de vizualizare a rezultatelor este de asemenea dependentă de metoda de simulare și de alte caracteristici ale semnalelor. Ceea ce se calculează și eventual se poate afișa se controlează în sesiunea **Sensors** din Project Tree (cu excepția parametrilor S care sunt întotdeauna calculați). Aceste informații vor face de asemenea obiectul unei lucrări viitoare.

3. Activitate în laborator

Se exersează desenarea unor antene tipice.

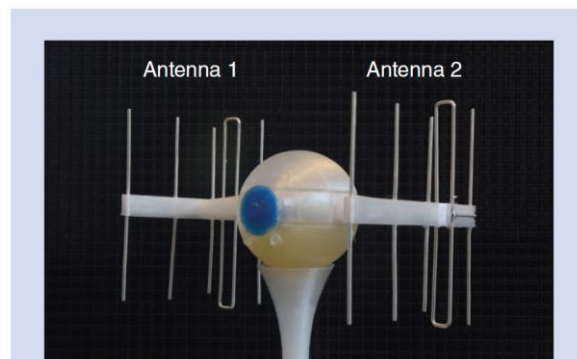
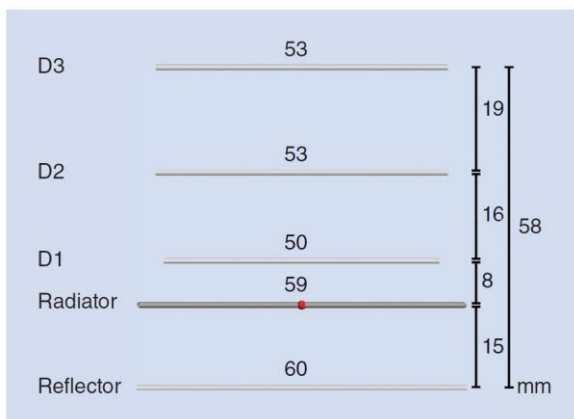
3.1. Dipolul în jumătate de lungime de undă

Se desenează/simulează dipolul în jumătate de lungime de undă și echivalentul creat de un monopol în vecinătatea unui perete metalic. Se calculează lungimea astfel încât frecvența de lucru să fie în jur de 1.9 GHz.



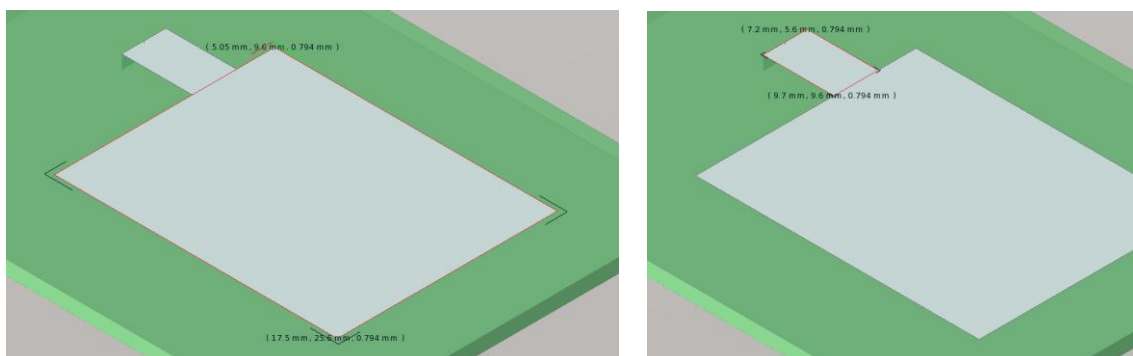
3.2. Antena Yagi

Se desenează/simulează antena Yagi din figura următoare realizată din fir metalic de cupru cu diametrul de 1mm. Frecvența de lucru $\sim 2.45\text{GHz}$.



3.3. Antena Microstrip Patch

Se desenează/simulează antena microstrip cu dimensiunile $12.45 \times 16\text{mm}$, cu semnalul introdus printr-o linie $2.5 \times 4\text{mm}$, ca în figura următoare (frecvență de lucru $\sim 7.45\text{GHz}$).



Această antena este realizată pe un substrat cu $\epsilon_r = 2.2$ și înălțimea de $h = 0.794\text{mm}$. Se desenează/simulează antena în modelul simplu planar cu PEC și în varianta tehnologică cu

metalizare de cupru pe același tip de substrat și pasivizare cu Si_3N_4 (materiale din biblioteca standard de materiale).

