

### Ćwiczenie 6: badanie wpływu ciała człowieka na fale elektromagnetyczne

---

#### 1. Wstęp

Oddziaływania fal elektromagnetycznych na ciało człowieka są bardzo złożone. W zakresie małych częstotliwości powodują one tzw. efekt nietermiczny manifestujący się objawami psychosomatycznymi, które są trudne do badania i mierzenia, a ponadto występują przy dużych natężeniach pól.

W zakresie wielkich częstotliwości (częstotliwości mierzone w GHz) obserwowany jest tzw. efekt termiczny oddziaływania fali na ciało człowieka polegający na zwiększaniu temperatury w wyniku pochłaniania energii fali. Ten efekt jest mierzalny i możliwy do symulacji komputerowej.

Tkanki ciała zawierają wodę, białka, tłuszcze, cukry, minerały itd. W uproszczeniu tkanki oddziałują z falami radiowymi tak jak woda z dodatkiem cukru i soli. Woda wstawiona do kuchenki mikrofalowej ogrzewa się dzięki energii fali elektromagnetycznej (2,4 GHz), analogicznie ciało człowieka tłumi (przejmuje energię) fale elektromagnetyczne. Ilość energii pochłoniętej przez ciało na jednostkę masy określa parametr SAR – (ang. Specific Absorption Rate) tłumaczony jako przyrost energii absorbowanej, którego jednostką jest W/kg. W przypadku ekspozycji na falę, która powoduje w całym organizmie SAR=4 W/kg, przyrost temperatury wewnętrznej jest mniejszy od 1 °C co uznaje się za granice efektu termicznego. Dla pracowników poddanych oddziaływaniu fali elektromagnetycznych dopuszczalny poziom SAR uśredniony w całym ciele wynosi 0.4 W/kg, dla populacji generalnej SAR=0.08 W/kg. Parametr SAR można obliczyć z poniższej zależności:

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2$$

gdzie:

- $E$  – natężenie pola elektrycznego
- $\sigma$  – przewodność elektryczna [S/m]
- $\rho$  – gęstość materiału [kg/m<sup>3</sup>]

W przypadku projektowania systemów radiowych przeznaczonych do pracy w pobliżu ciała człowieka należy przeanalizować problem odwrotny: w jaki sposób ciało wpływa na rozchodzenie się fali elektromagnetycznej. Trzeba zaprojektować specjalne anteny, które mogą pracować przy ciele oraz należy obliczyć ile energii zostanie wytłumione przez ciało, a ile dotrze do odbiornika.

Badanie oddziaływania ciała na fale można przeprowadzić za pomocą symulacji komputerowych wykorzystujących metodę różnic skończonych w dziedzinie czasu (FDTD). W tej metodzie

komputer rozwiązuje różnicowe równania Maxwella przybliżone do równań różnicowych, a każdy obiekt badany podzielony jest na komórki elementarne. Ta metoda zalecana jest do obliczania oddziaływania fal na ciało człowieka.

W ramach ćwiczenia przeprowadzone zostaną symulacje oddziaływania fali na ciało za pomocą programu XFDTD firmy Remcom. Zbadane zostaną rozkłady pól elektromagnetycznych w pobliżu ciała poddanego ekspozycji falą płaską oraz wpływ ciała na charakterystykę promieniowania anteny.


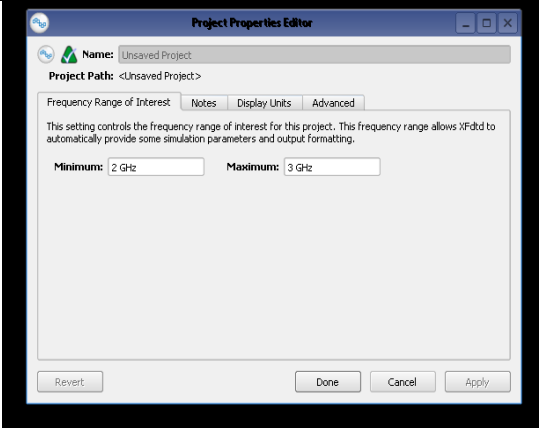
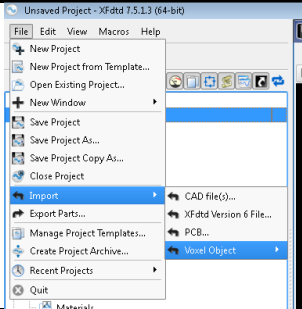
## 2. Badanie rozkładów pól elektromagnetycznych w pobliżu ciała poddanego ekspozycji falą płaską

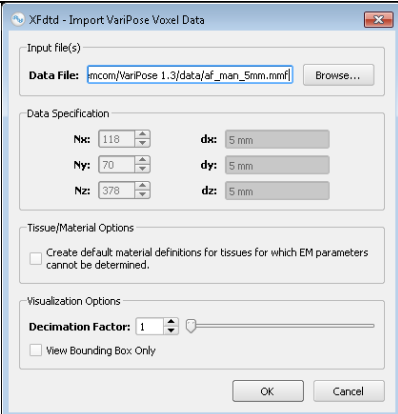
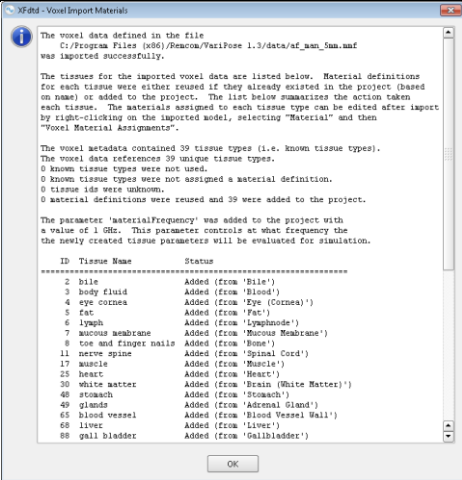
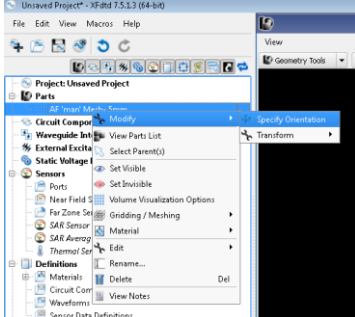
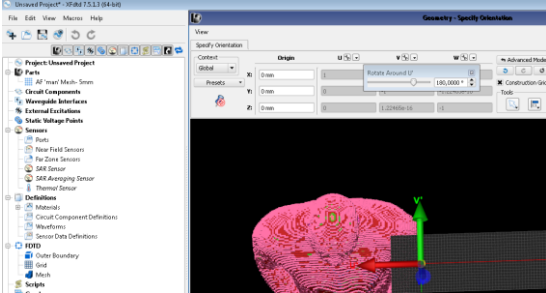
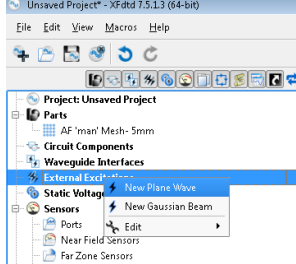
Symulacje przeprowadzone zostaną przy założeniu, że fala elektromagnetyczna będzie falą płaską, o częstotliwości 2,45 GHz. Wykorzystany zostanie heterogeniczny model ciała człowieka NMR – Hershey, o wielkości woksela 5mm.

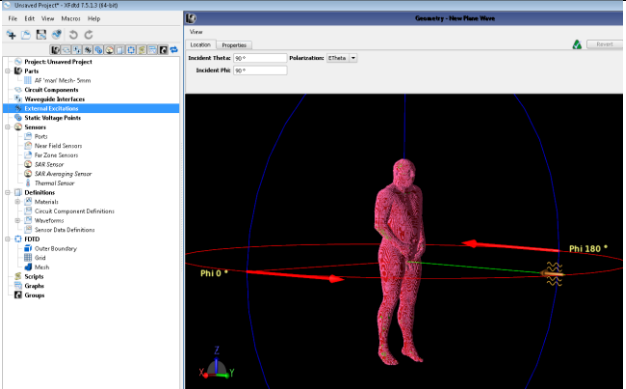
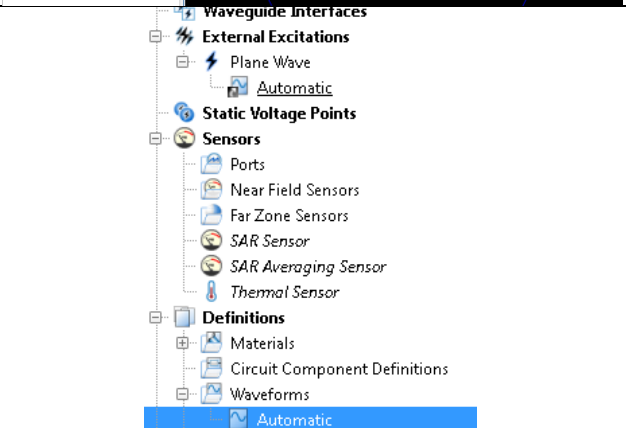
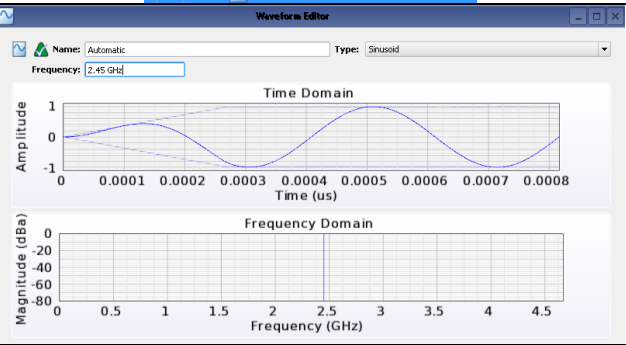
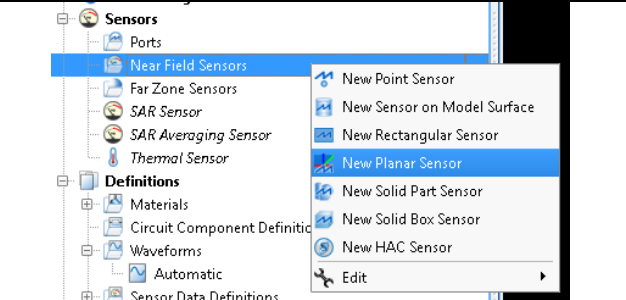
### ZADANIE 1:

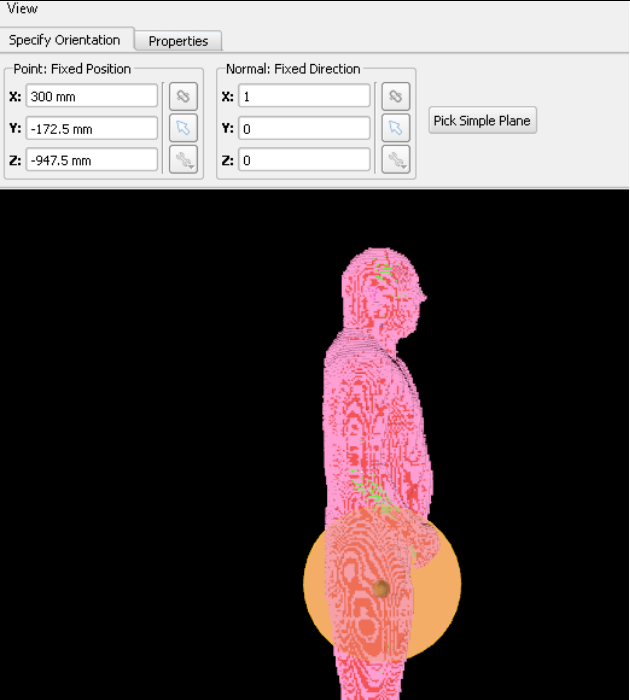
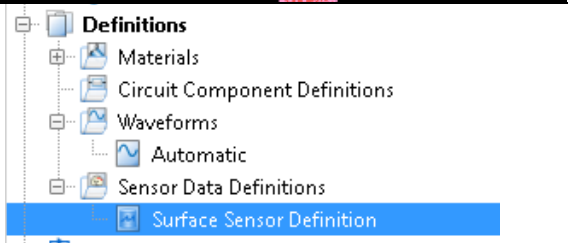
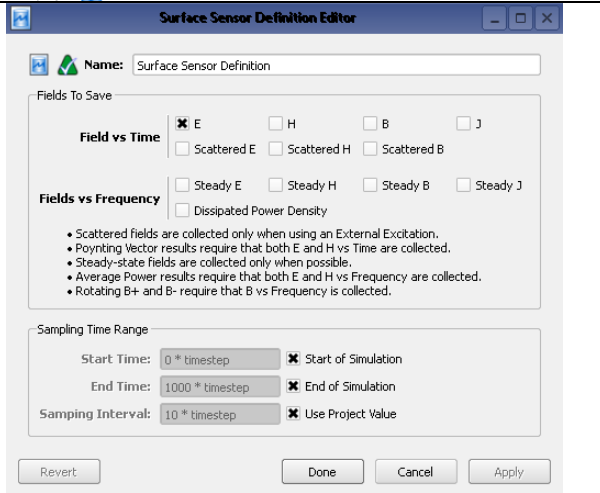
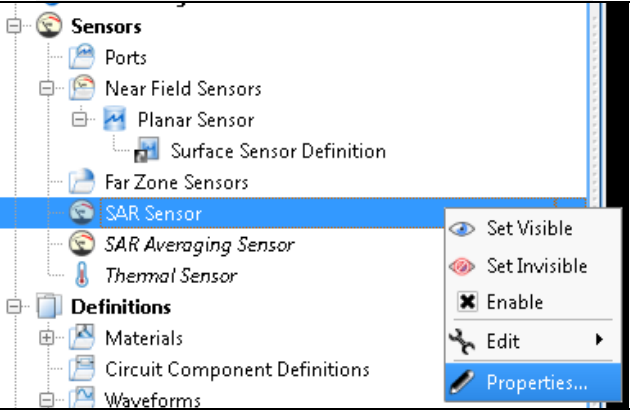
Zbadać rozkład pola elektromagnetycznego w pobliżu oraz wewnątrz ciała poddanego ekspozycji na energię fali płaskiej. Obliczyć parametr SAR

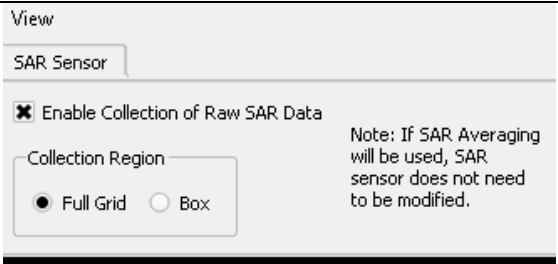
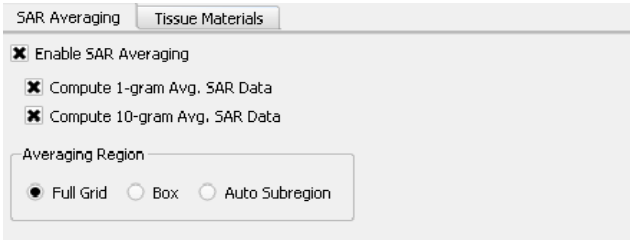
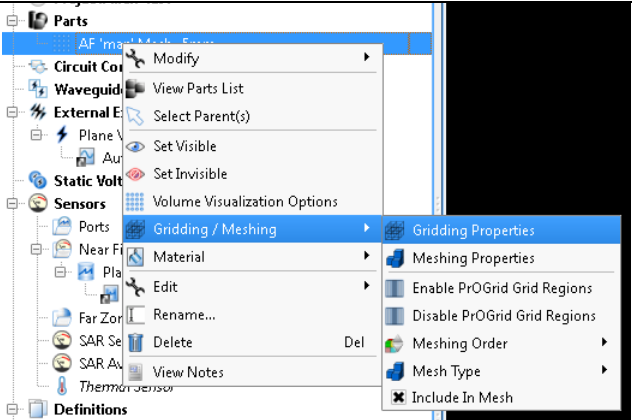
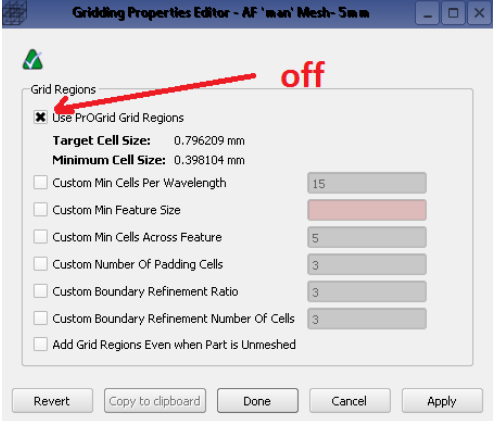
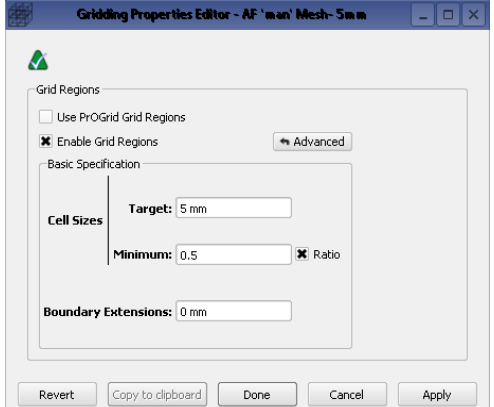
Kolejne etapy realizacji zadania:

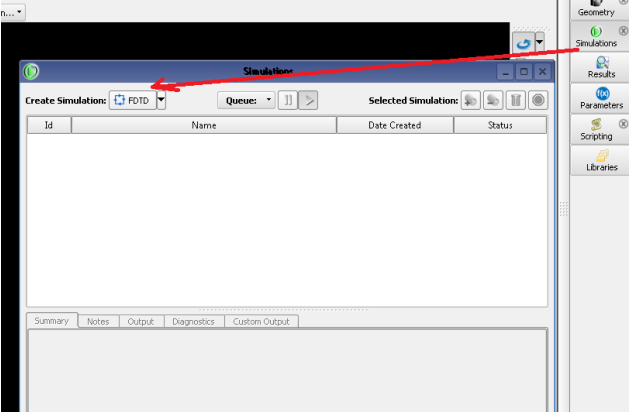
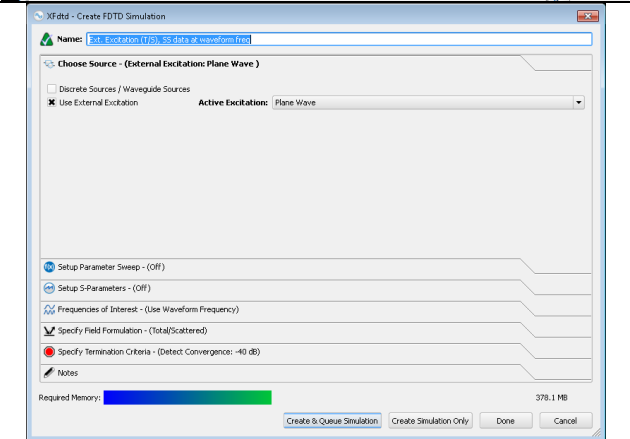
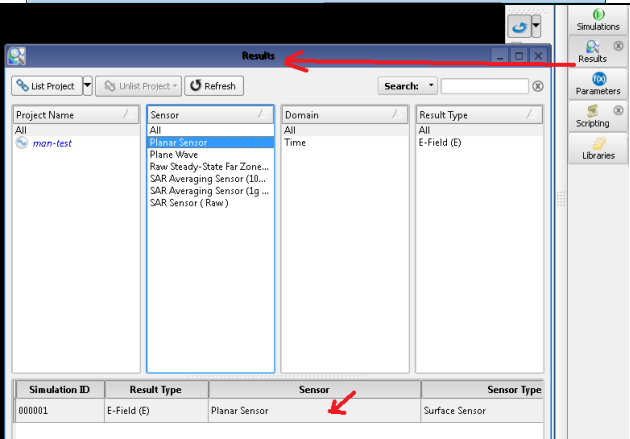
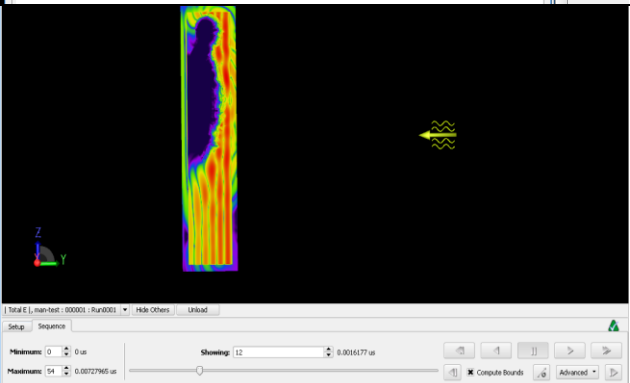
	polecenie	widok ekranu
1	Uruchamiamy program XFDTD	
2	W oknie „Project properties” ustawiamy częstotliwości na zakres od 2 GHz do 3 GHz	
3	Importujemy model ciała człowieka Menu File -> Import -> Voxel object -> MMF format	

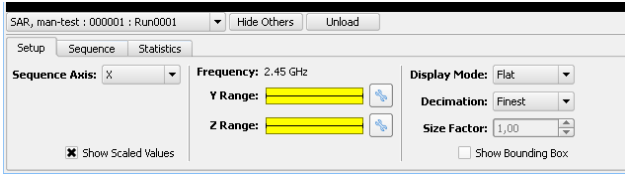
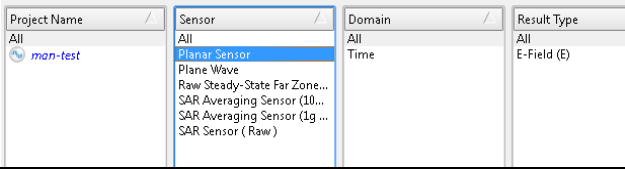
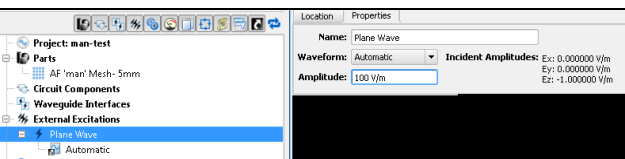
4	Importujemy model af_man_5mm.mmf naciskając przycisk OK	
5	Zatwierdzić listę materiałów (OK.)	
6	obracamy model o 180 stopni wokół osi x: Parts, prawy klawisz, Modify -> specyfy Orientation	
7	Obrót deklarujemy wokół lokalnego układu współrzędnych – oś U. (przycisk przy literze U, rotate around U' = 180)	
8	Definiujemy zasilanie modelu falą płaską: External excitation -> New Plane Wave	

9	<p>Definiujemy parametry fali: kąt padania: <math>\Theta=90</math>, <math>\Phi=90</math>, polaryzacja=<math>\Theta</math></p>	
10	<p>Definiujemy parametry opisujące falę w dziedzinie czasu: Definitions-&gt; Waveforms -&gt; Automatic</p>	
11	<p>Ustawiamy częstotliwość fali: Type=Sinusoid, Frequency=2.45 GHz</p>	
12	<p>Definiujemy sensor pola bliskiego: Sensors-&gt;Near Field Sensors -&gt;New Planar Sensor</p>	

13	<p>Definiujemy orientację płaszczyzny (Planar Sensor) na której przedstawione zostaną wyniki symulacji tak aby przechodziła przez środek ciała i była równoległa do jego osi. Wektor normalnej płaszczyzny jest równoległy do osi x, a współrzędne punktu środkowego jak na obrazku</p>	
14	<p>Określamy parametry sensora: Definitions -&gt; Sensor Data Definition -&gt; Surface Sensor Definition</p>	
15	<p>Definiujemy parametry sensora tak aby rejestrował zmiany w czasie pola elektrycznego</p>	
16	<p>Włączamy sensor parametru SAR: SAR Sensor -&gt; Enable</p>	

17	Konfigurujemy parametry sensora SAR: SAR Sensor->properties->full grid	
18	<p>Uruchamiamy sensor SAR uśredniający obliczenia w 1g lub 10g tkanki Sensors-&gt;SAR Averaging sensor -&gt;Enable</p> <p>W oknie properties deklarujemy uśrednianie w masie 1g i 10g, dla całego modelu (Full Grid)</p>	
19	<p>Dla modelu człowieka ustalamy rozmiar oczka siatki dyskretyzującej przestrzeń na 5mm: Prawym klawiszem na modelu człowieka otwieramy okno: Gridding properties</p>	
20	Wyłączamy algorytm ProGrid	
21	Definiujemy parametry siatki dyskretyzującej dla obiektu	

22	Zapisujemy projekt w pliku o wybranej nazwie	File->Save As....
23	Uruchamiamy symulacje: Prawy panel programu -> Simulations -> Create simulations	
24	Wykonujemy symulacje: Create & Queue Simulation	
25	Po zakończeniu symulacji przechodzimy do analizy wyników: Prawy panel ->Results Wybieramy w kolumnie sensor -> Planar sensor, wybieramy result type -> E -> Filed	
26	W oknie prezentującym wyniki wybieramy zakładkę „sequence” i wybieramy za pomocą suwaka chwile czasową dla której przedstawiony zostanie rozkład pola elektrycznego	
27	Należy zebrać wyniki ilustrujące zjawisko wnikania fali w głąb ciała oraz tłumienie fali spowodowane	


	obecnością ciała	
28	W oknie „results” wybieramy wyniki związane z parametrem SAR, SAR Sensor (Raw) W oknie prezentującym wyniki zmieniamy <i>Sequence Axis</i> na X, oraz ustalamy maksymalny zakres <i>Y range</i> <i>Decimation</i> ustalamy na <i>finest</i>	
29	W zakładce sequence przeglądamy wyniki symulacji	
30	Porównujemy wyniki symulacji Sar Sensor (Raw) z wartościami uśrednionymi dla 1g i 10g (okno Results)	
31	Należy porównać wyniki obliczeń dla SAR uśrednionego w masie i nieuśrednionego, a następnie określić wartości maksymalne	
32	Powtarzamy symulacje zmieniając amplitudę fali z 1 V/m na 100 V/m External Excitations -> Plane Wave -> Properties	
33	Należy porównać wyniki obliczeń SAR uzyskane dla fali o amplitudzie 1 i 100 V/m	

### 3. Badanie wpływu ciała na charakterystykę promieniowania anteny.

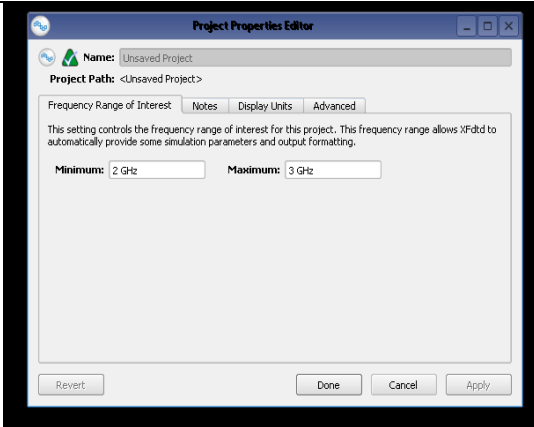
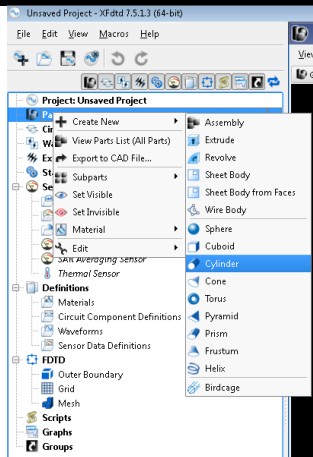
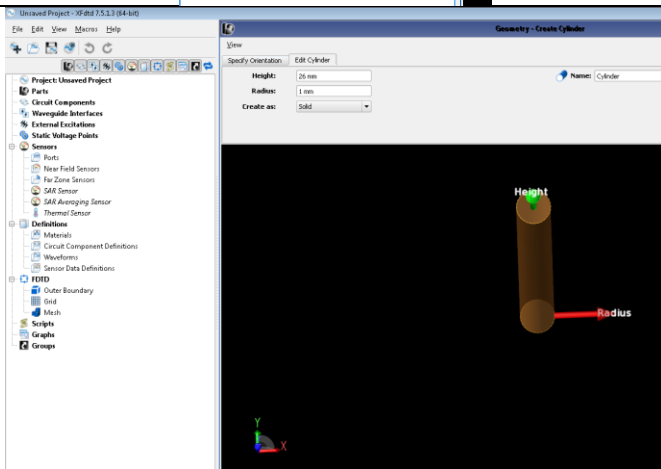
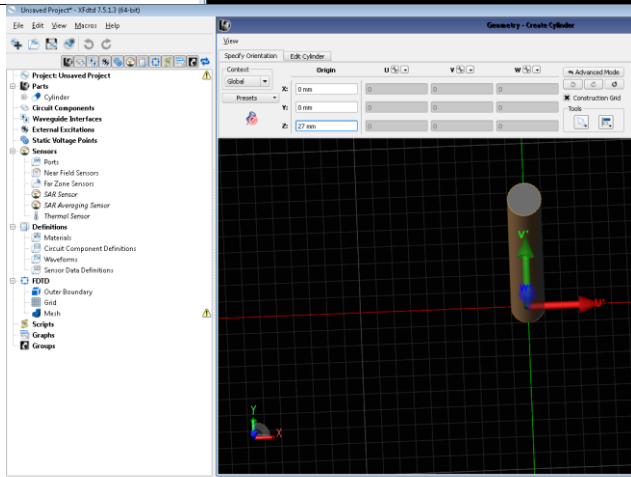
#### ZADANIE2:

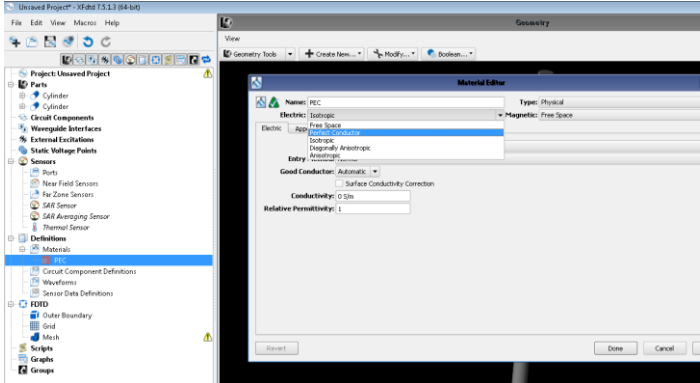
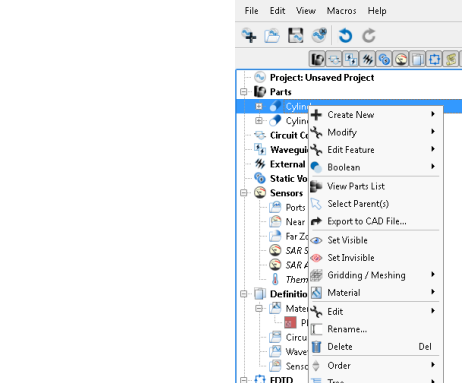
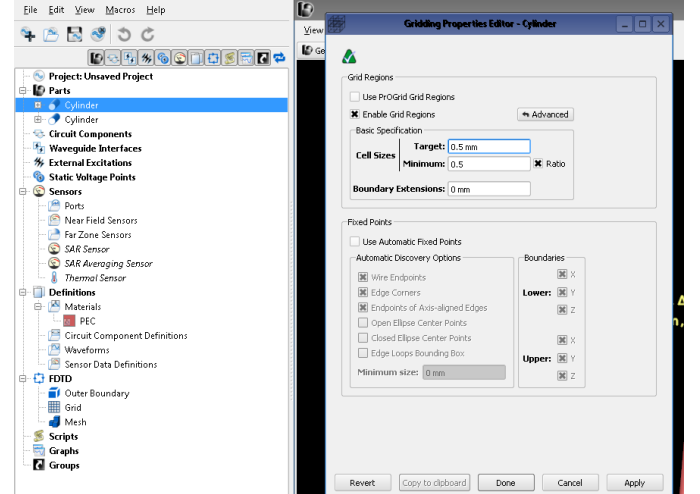
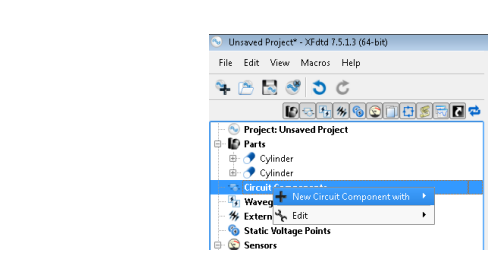
Zbadać charakterystykę promieniowania dipola półfalowego pracującego w paśmie 2,45 GHz w wolnej przestrzeni oraz w pobliżu ciała człowieka.

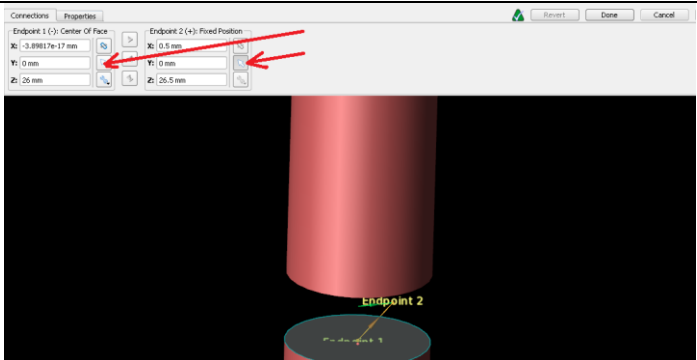
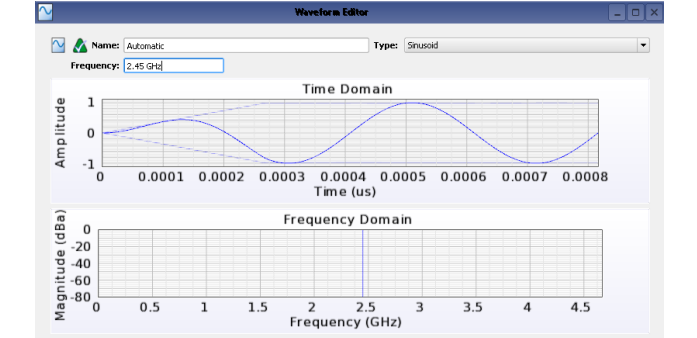
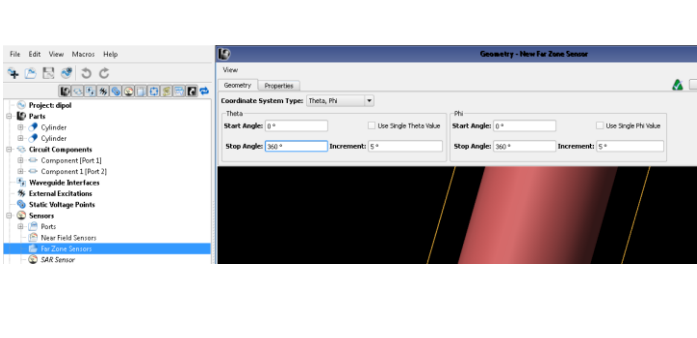
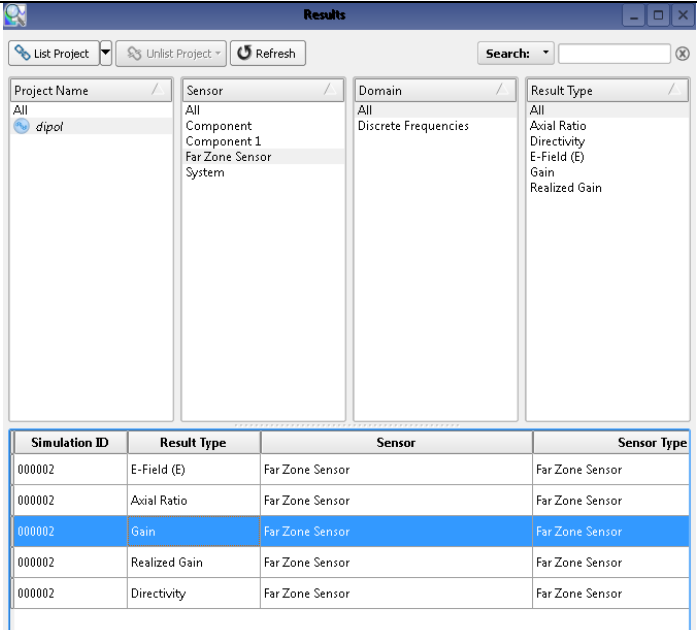
Kolejne etapy realizacji zadania:

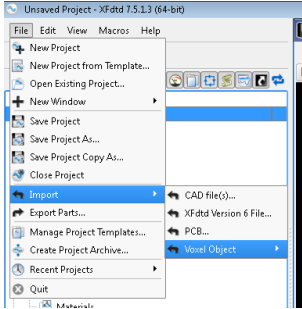
	polecenie	widok ekranu
1	Uruchamiamy program XFDTD	



2	W oknie „Project properties” ustawiamy częstotliwości na zakres od 2 GHz do 3 GHz	
3	W panelu Parts wybieramy Create New Cylinder	
4	Definiujemy parametry cylindra stanowiącego jedno ramię anteny: Height: 26mm Radius: 1mm	
5	Analogicznie definiujemy 2 ramię anteny jako cylinder o identycznych wymiarach. W zakładce Specify Orientation zmieniamy współrzędną Z nowego cylindra na 27mm	

6	<p>Definiujemy nowy materiał: idealny przewodnik elektryczny PEC: Definitions -&gt; Materials -&gt; New Materials</p> <p>W oknie definicji materiału wybieramy właściwości: Electric -&gt; Perfect Conductor</p> <p>Name: PEC</p>	
7	<p>Przypisujemy materiał do obiektów: Prawym klawiszem na obiekcie (cylindrze) wybieramy opcję Material, a następnie materiał (PEC)</p>	
8	<p>Analogicznie jak w poprzednim zadaniu wykonujemy etapy 19 – 21 ustalając parametry siatki dyskretyzującej dla cylindrów, rozmiar oczka 0.5mm</p>	
9	<p>Definiujemy źródło zasilające antenę: Circuit component -&gt; New Circuit Component -&gt; New Feed Definition</p>	

10	<p>Wskazujemy punkty podłączenia zasilania za pomocą strzałek.</p> <p>Wybieramy zbliżone do siebie podstawy cylindrów</p>																									
11	<p>Definiujemy parametry sygnału analogicznie jak w etapie 11 poprzedniego zadania,</p> <p>Częstotliwość 2,45 GHz</p>																									
12	<p>Definiujemy Sensor pola dalekiego.</p> <p>Sensors -&gt; Far Zone Sensors</p> <p>Ustalamy zakres kątów na 360 stopni w każdej płaszczyźnie</p>																									
13	<p>Przeprowadzamy symulację.</p> <p>W wynikach analizujemy charakterystykę promieniowania anteny</p> <p>Wyrażoną za pomocą zysku energetycznego (Gain)</p> <p>Far Zone Sensor -&gt; Gain</p>	 <table><thead><tr><th>Simulation ID</th><th>Result Type</th><th>Sensor</th><th>Sensor Type</th></tr></thead><tbody><tr><td>000002</td><td>E-Field (E)</td><td>Far Zone Sensor</td><td>Far Zone Sensor</td></tr><tr><td>000002</td><td>Axial Ratio</td><td>Far Zone Sensor</td><td>Far Zone Sensor</td></tr><tr style="background-color: #e6f2ff;"><td>000002</td><td>Gain</td><td>Far Zone Sensor</td><td>Far Zone Sensor</td></tr><tr><td>000002</td><td>Realized Gain</td><td>Far Zone Sensor</td><td>Far Zone Sensor</td></tr><tr><td>000002</td><td>Directivity</td><td>Far Zone Sensor</td><td>Far Zone Sensor</td></tr></tbody></table>	Simulation ID	Result Type	Sensor	Sensor Type	000002	E-Field (E)	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor	000002	Axial Ratio	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor	000002	Gain	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor	000002	Realized Gain	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor	000002	Directivity	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor
Simulation ID	Result Type	Sensor	Sensor Type																							
000002	E-Field (E)	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor																							
000002	Axial Ratio	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor																							
000002	Gain	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor																							
000002	Realized Gain	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor																							
000002	Directivity	Far Zone Sensor	Far Zone Sensor																							

14	<p>Powtarzamy symulację umieszczając w pobliżu anteny model ciała człowieka – analogicznie jak w zadaniu 1, etapy 3-5</p>	
15	<p>Należy porównać charakterystykę promieniowania dipola umieszczonego w wolnej przestrzeni oraz w pobliżu ciała człowieka. Analizy wykonać dla różnych orientacji anteny w stosunku do ciała</p>	