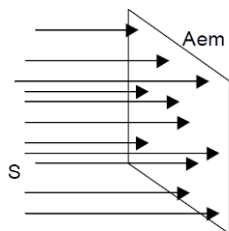


Efektivní apertura (efektivní plocha antény)



Je-li S výkonová hustota dopadající vlny, potom maximální přijatý výkon je dán výrazem:

$$P_{Rx} = S \cdot A_{efm}$$

kde A_{efm} představuje maximální efektivní aperturu antény.

Vztah mezi A_{efm} a směrovostí D je dán výrazem:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{efm}$$

Z tohoto plyne, že zisk G je dán:

$$G = \eta \cdot D = \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{efm} = \frac{4\pi}{\lambda^2} (\eta \cdot A_{efm}) = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef}$$

Vztah mezi efektivní aperturou a fyzickou plochou apertury je dán hodnotou aperturové účinnosti:

$$\eta_a = \frac{A_{ef}}{A_{fyz}}$$

Přenosová rovnice (Friis formula) a efektivní apertura

$$P_{Rx} = S \cdot A_{efRx} = \frac{EIRP}{4\pi R^2} A_{efRx} = \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{4\pi R^2} A_{efRx} = \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{4\pi R^2} \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{Rx} = P_{Tx} G_{Tx} G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Příklad 3:

Anténa má směrovost 16 dB. Určete výraz pro výpočet maximální efektivní apertury v hodnotách vlnové délky pro tuto anténu.

Řešení:

Použijeme výraz

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{efm}$$

Pro

$$D = 16dB \rightarrow D = 10^{\frac{16}{10}} = 39,8$$

Potom

$$A_{efm} = \frac{D \cdot \lambda^2}{4\pi} = 3,17\lambda^2$$

Efektivní výška (délka) antény

Efektivní výška antény (definice pro případ vysílací antény) je taková výška antény s konstantním proudovým obložením, která při stejném napájení jako reálná anténa vytvoří shodné elektromagnetické pole v místě pozorování. Termín efektivní výška antény se používá převážně pro vertikálně umístěné antény, pojem efektivní délka pro ostatní případy.

Pro případ přijímací antény je efektivní výška antény dána poměrem efektivní hodnoty napětí indukovaného na výstupních svorkách antény děleného velikostí intenzity elektrického pole v místě antény.

$$l_{eff} = \frac{U_{LOAD}}{E} \quad [m; V, V \cdot m^{-1}]$$

Odvození efektivní výšky (délky) antény:

Výkon přijatý anténou spočteme:

$$P_{LOAD} = A_{ef} \cdot S_i = G \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{E^2}{Z_0}$$

kde

G je zisk antény,

E je efektivní hodnota intenzity elektrického pole,

Z_0 je impedance okolního prostředí.

Přijatý výkon lze vyjádřit:

$$P_{LOAD} = \frac{U_{LOAD}^2}{Z_A} = G \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{E^2}{Z_0}$$

kde

Z_A je impedance antény.

Z rovnice vyjádříme efektivní výšku antény:

$$l_{eff}^2 = \frac{U_{LOAD}^2}{E^2} = G \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{Z_A}{Z_0}$$

$$l_{eff} = \frac{U_{LOAD}}{E} = \sqrt{G \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{Z_A}{Z_0}}$$

Při použití impedance okolního prostředí $Z_0 = 120\pi$ dostáváme:

$$l_{eff} \frac{U_{LOAD}}{E} = \sqrt{G \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{Z_A}{120\pi}} = \sqrt{G \cdot \frac{\lambda^2 \cdot Z_A}{480\pi^2}}$$

Pro vstupní impedanci antény $Z_A = 50 \Omega$ a vyčíslení všech konstant dostáváme:

$$l_{eff} = \frac{U_{LOAD}}{E} = \frac{\lambda \sqrt{G}}{9,73}$$

Anténní faktor

Anténní faktor je veličina používaná v oblasti elektromagnetické kompatibility (EMC) při měření rušivého vyzařování testovaných zařízení. Anténní faktor umožňuje jednoduchý přepočet měřeného napětí na vstupu měřicího přijímače na intenzitu elektrického pole v místě přijímací antény.

$$AF = \frac{E}{U_{LOAD}} = \frac{1}{l_{eff}} \quad [m^{-1}; V \cdot m^{-1}, V]$$

kde

E je intenzita elektrického pole v místě měřicí antény,

U_{LOAD} je napětí na vstupu měřicího přijímače (pozor, do zisku antény je třeba započítat i útlum kabelu propojujícího anténu s měřicím přijímačem).

Dosažením za impedanci okolního prostředí $Z_0 = 120\pi$ a za vstupní impedanci antény $Z_A = 50 \Omega$ dostáváme:

$$AF = \frac{9,73}{\lambda\sqrt{G}}$$

kde

G je zisk soustavy anténa - napájecí kabel.

Příklad 4:

Jaký je anténní faktor antény o zisku $G_a = 7$ dBi spojené kabelem o útlumu $L = 1$ dB s měřicím přijímačem, vše na impedanci 50Ω ? Jaká je efektivní hodnota intenzity elektrického pole E v místě měření, pokud na přijímači o uvedené impedanci na kmitočtu 100 MHz naměříme napětí $0,2$ V?

Řešení:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^8} = 3m$$

$$AF = \frac{9,73}{\lambda\sqrt{G}} = \frac{9,73}{\lambda\sqrt{G_a - L}} = \frac{9,73}{3\sqrt{10^{\frac{7-1}{10}}}} = \dots = 1,62m^{-1} \rightarrow AF_{dB} = 4,19dBm^{-1}$$

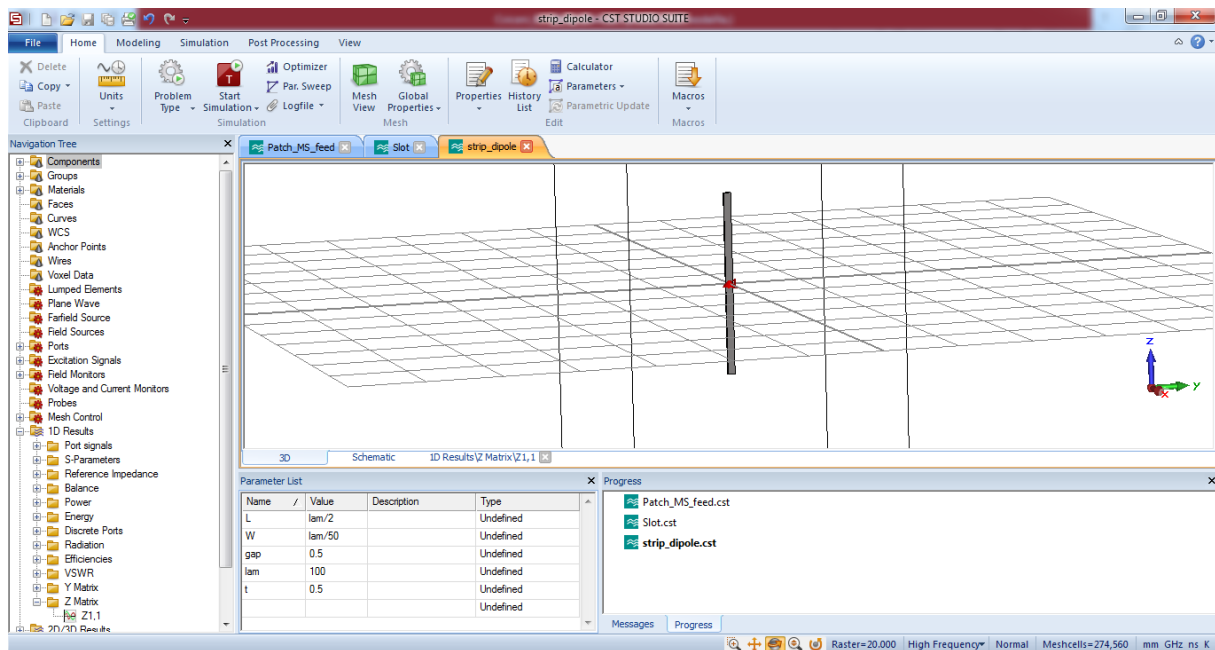
$$AF = \frac{E}{U} \rightarrow AF_{dB} = E_{dB} - U_{dB}$$

$$E = U \cdot AF = 0,2 \cdot 1,62 = 0,325V \cdot m^{-1} \rightarrow E_{dB} = U_{dB} + AF_{dB} = -13,98 + 4,19 = -9,79dBVm^{-1}$$

$$E_{dB} = 110,21dB\mu Vm^{-1}$$

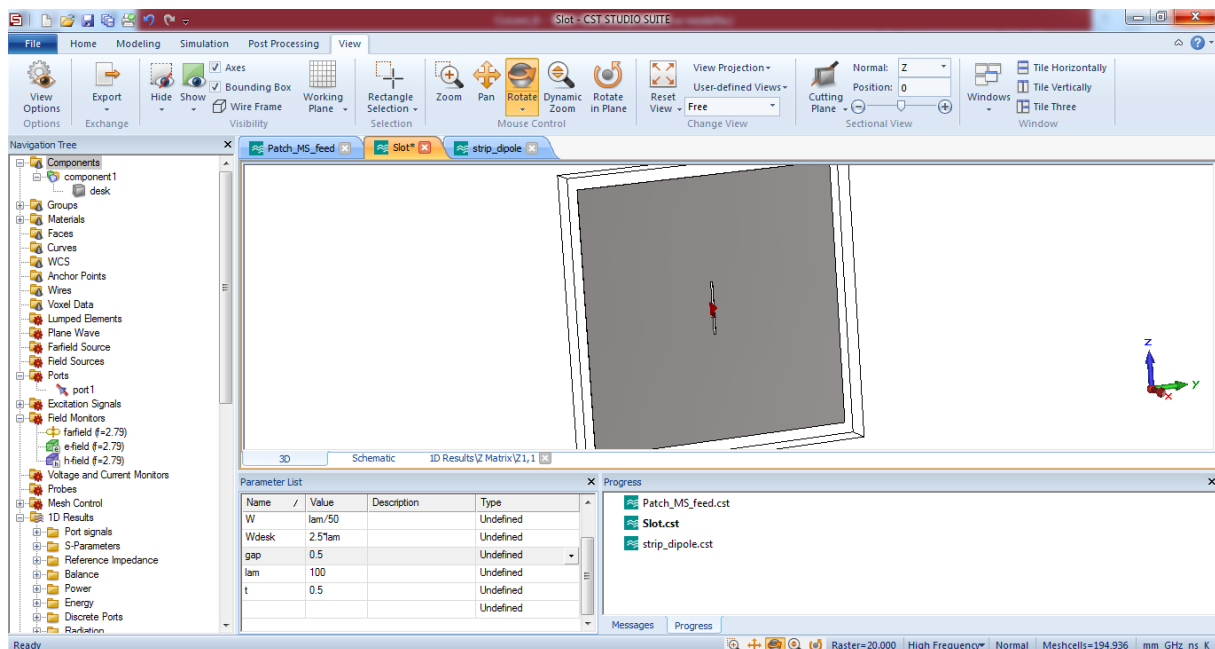
Babinetův princip

Páskový $\lambda_0/2$ dipól (strip_dipole.cst) $\lambda_0 = 100$ mm ($L = 50$ mm), $W = \frac{\lambda_0}{50}$.



- Sledujte vstupní impedanci a vyzařovací diagram (složky θ, ϕ)

Štěrbinová $\lambda_0/2$ anténa (slot.cst) $\lambda_0 = 100$ mm ($L = 50$ mm), $W = \frac{\lambda_0}{50}$. Zemní rovina $2.5\lambda_0 \times 2.5\lambda_0$

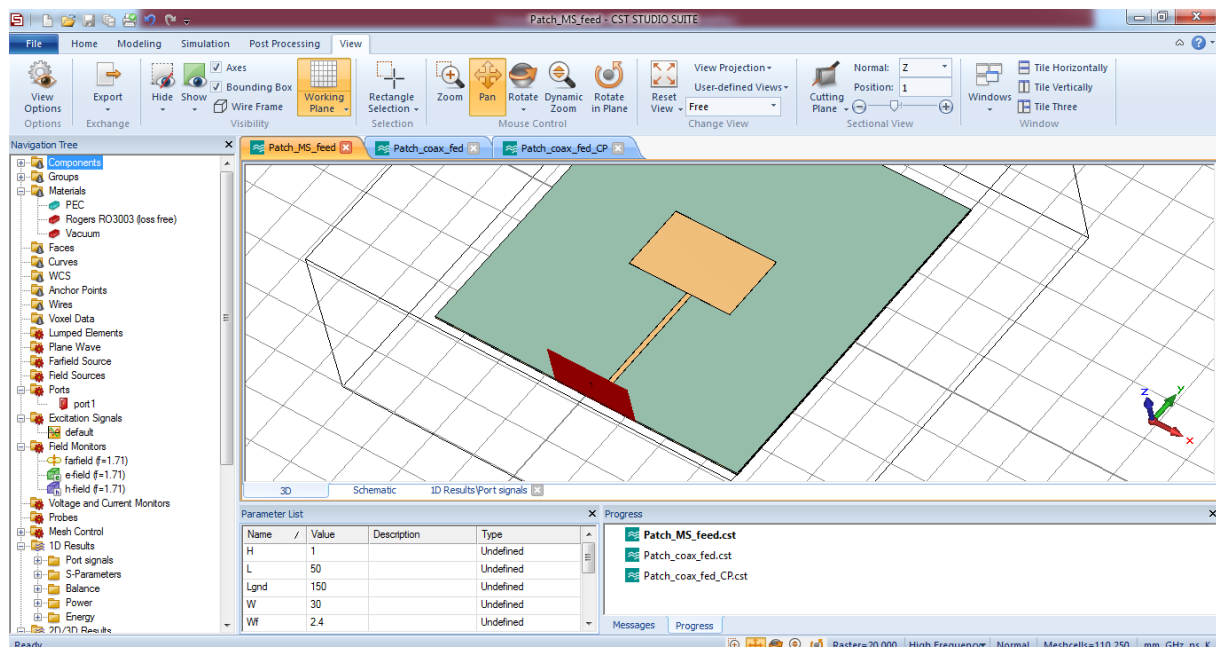


- Sledujte vstupní impedanci komplementární úlohy ($Z_{sterbina} = \frac{Z_0^2}{4Z_d}$), povšimněte si, že je oproti dipólu anténa provozována v antirezonanci ($\frac{\partial X}{\partial \omega} < 0$).

- U vyzařovacího diagramu sledujte oproti dipólu změnu polarizace ($D_\theta \rightarrow D_\phi$), související s orientací elektrického pole ve štěrbině. Rozštěpení diagramu je způsobeno konečnou velikostí zemní roviny.
- Pozorujte rozložení povrchových proudů na desce. Pouze horizontální proudy na horní a spodní straně štěrbiny se ve vzdáleném poli podporují, všechny ostatní se ruší \rightarrow horizontální D_ϕ polarizace
- Vyzařování je možné duálně vysvětlit také pomocí elektrického pole ve štěrbině, které reprezentuje magnetický dipól s magnetickým proudem (bude mít orientaci do osy z)
 $\mathbf{M} = -\mathbf{n} \times \mathbf{E} \rightarrow$ horizontální D_ϕ polarizace

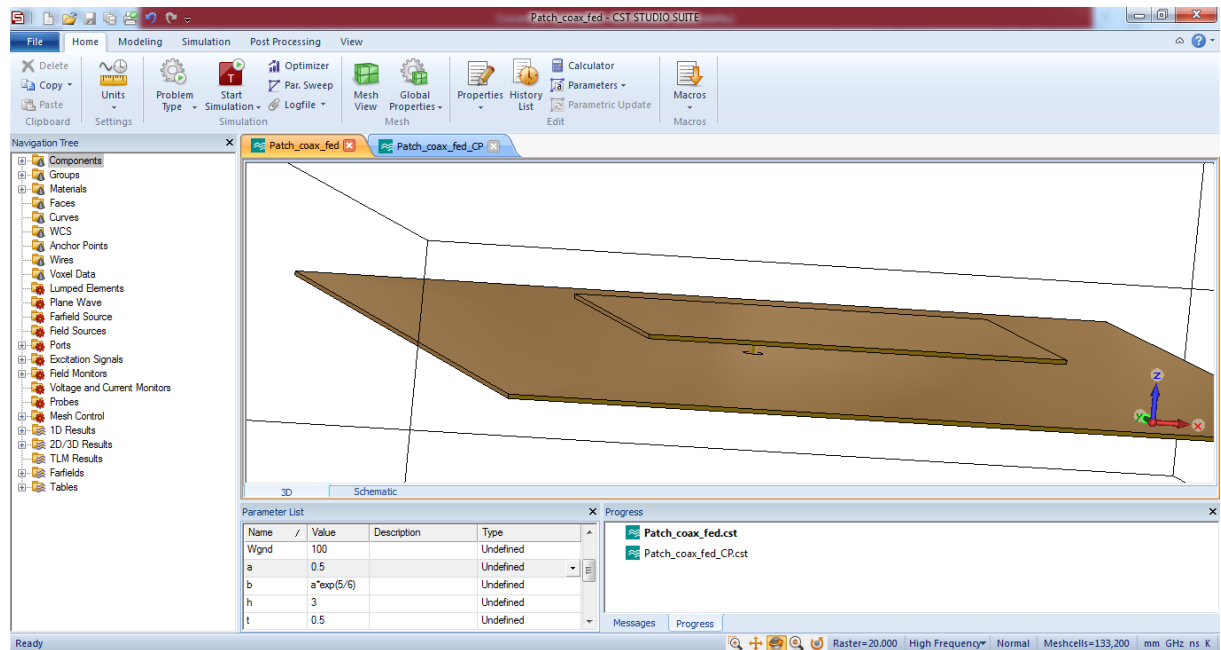
Mikropáskové (patch) antény

Mikropásková anténa napájená mikropáskovým vedením (patch_MS_feed.cst) $L = 50$ mm, $W = 30$ mm. Substrát o tloušťce $H = 1$ mm má permitivitu $\epsilon = 3$



- Podívejte se na rozložení pole na mikropáskovém portu (vid quasi – TEM)
- Z rozměrů patche a relativní permitivity substrátu odhadněte rezonanční frekvenci(e) antény
 $\rightarrow f_{10} \cong \frac{c_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} = 1.73\text{GHz}$
- Pozice napájecího bodu určuje vstupní impedanci (uprostřed rezonanční délky je minimální intenzita el. pole \rightarrow vysoká impedance), proto je napájecí pásek posunut mimo střed.
- Sledujte rozložení elektrického pole pod patchem (dominantní složka E_z), vznik rozptylového pole (fringing field) způsobujícího tvorbu tečné složky (E_x) nad anténou na frekvenci dominantního vidu 1.71 GHz. Popište vyzařující a nevyzařující štěrbin.
- Vyzařovací diagram – proč se v liší v E a H rovině?
- Druhý monitor pole je nastaven na frekvenci 2.785 GHz, podívejte se na rozložení polí a vyzařovací diagram. Anténa nyní rezonuje podél své šířky dané rozměrem W na frekvenci
 $f_{01} \cong \frac{c_0}{2W\sqrt{\epsilon_r}} = 2.89\text{GHz}$

Mikropásková anténa napájená koaxiálním přívodem (patch_coax_feed.cst) $L = 50$ mm, $W = 30$ mm. Výška zářiče nad zemí $h = 3$ mm, permitivita $\epsilon = 1$ (vzduch)



- Z rozměrů patche a relativní permitivity substrátu odhadněte rezonanční frekvenci(e) antény $f_{10} \cong \frac{c_0}{2L} = 3\text{GHz}$. Anténa však ve skutečnosti rezonuje níže (2.65 GHz), protože je efektivně prodloužená rozptylovým polem, které narůstá s výškou patche nad zemí ($H \cong 0.027\lambda_0$)
- Sledujte rozložení elektrického pole pod patchem (dominantní složka E_z) a vznik tohoto rozptylového pole způsobujícího tvorbu tečné složky (E_x) nad anténou na frekvenci dominantního vidu 2.65 GHz
- Sledujte vyzařovací diagram, vysvětlete rozdílný tvar v E a H rovině
- Proč je oproti napájení mikropáskem posunuta křivka reaktance směrem nahoru (má mírně induktivní charakter)? Jak vypadá náhradní obvod takto napájené antény?
- Jaká je efektivní plocha a výška této antény?

$$f = 2.65 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 113.2 \text{ mm}, G = 9.25 \text{ dBi}$$

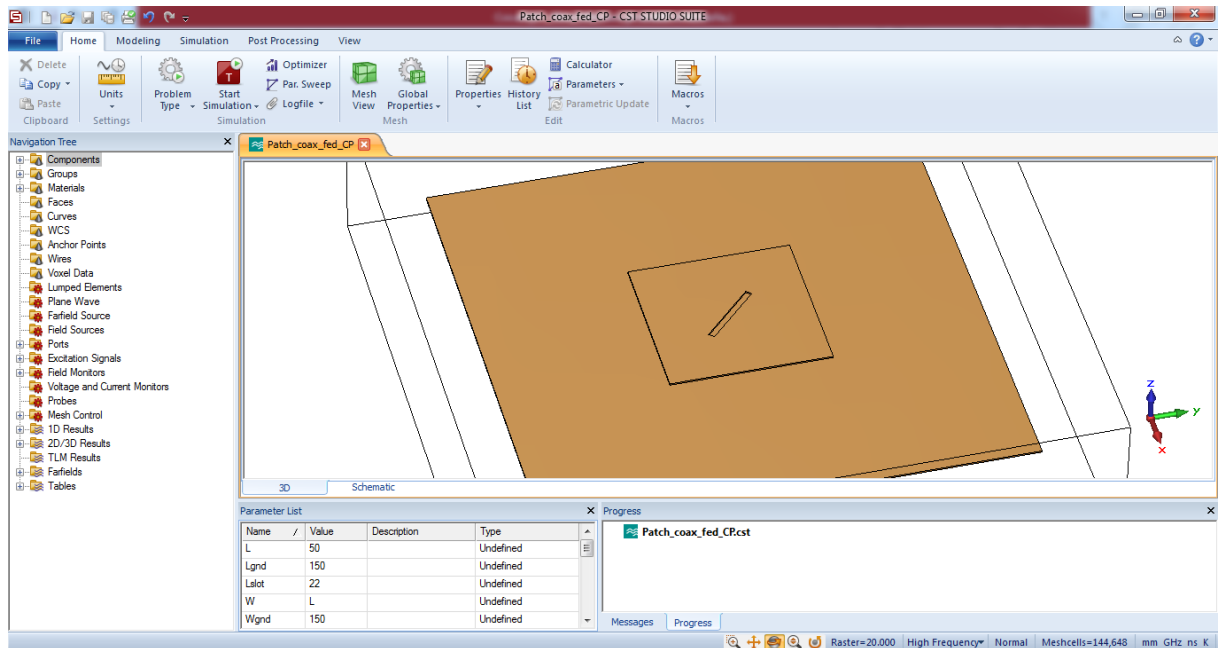
$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G = \frac{0.1132^2}{4\pi} 10^{9.25/10} = 0.0847 \text{ m}^2 = 84700 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fyzická plocha} \approx 30 \times 50 = 1500 \text{ mm}^2$$

$$l_{eff} = \frac{\lambda \sqrt{G}}{9.73} = \frac{113.2 \sqrt{10^{9.25/10}}}{9.73} = 33.7 \text{ mm} (0.3 \lambda)$$

$$\text{Fyzická výška antény je } 3 \text{ mm } (0.0265 \lambda)$$

Mikropásková anténa napájená koaxiálním přívodem (patch_coax_feed_CP.cst) se šterbinou $L = 50$ mm, $W = 50$ mm. Výška zářiče nad zemí $h = 3$ mm, permitivita $\epsilon = 1$ (vzduch)



- Sledujte vstupní impedanci, všimněte si frekvenčně posunutých rezonancí odpovídajících dvěma kolmým modům (jim příslušející proudy tečou uhlopříčně, jednou podél šterbiny, podruhé kolmo na ni, čímž je tato proudová dráha delší). Kruhové polarizace se dosahuje na frekvenci mezi těmito mody (2.55 GHz). Vhodná pozice napájecího bodu zajišťuje 90° fázový posun.
- Sledujte vyzařovací diagram (RHC, LHC, osový poměr) a proud a intenzitu pole v okolí patche (Intenzita elektrického pole v řezu nad anténou při animaci rotuje – kruhová polarizace)
- V rámci postprocessingového makra je dole ve výpočetním stromu v „Tables“ spočítána směrovost LHC,RHC a osový poměr AR jako funkce frekvence