

# Simulace cívek a bezdrátového přenosu energie

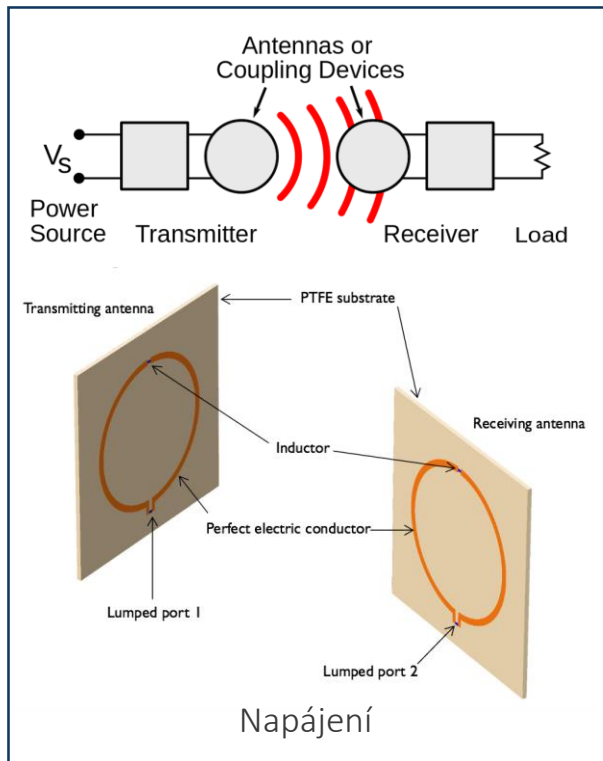
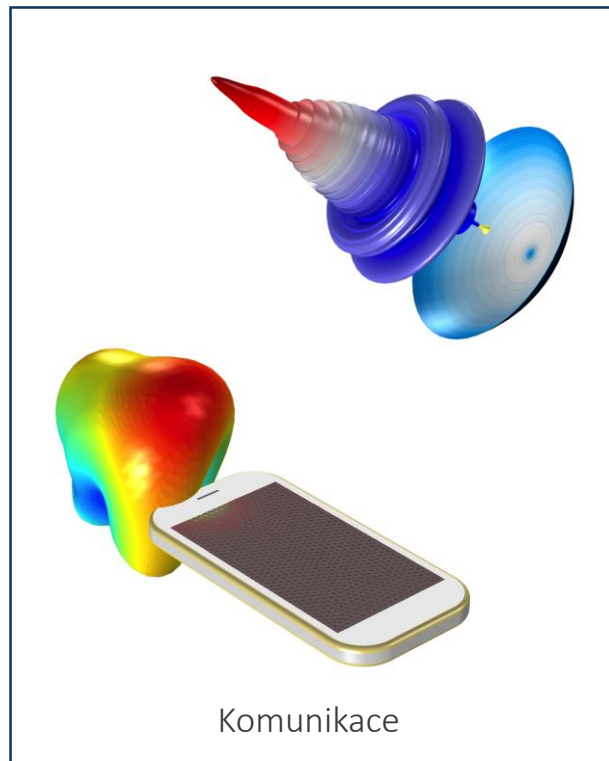
Matouš Lorenc

[lorenc@humusoft.cz](mailto:lorenc@humusoft.cz)

+420 284 011 749

# Obsah

# Využití bezdrátového přenosu energie



# Typy bezdrátových přenosů energie

## Neradiační

- AC/DC
  - ✱ Maxwellovy rovnice
- Indukční vazba
- Kapacitní vazba
- Magnetodynamická vazba

## Radiační

- RF, Wave Optics, Ray Optics
  - ✱ Maxwellovy rovnice, vlnová rovnice, geometrická optika
- Mirkovlny
- Laser

# Neradiační způsoby přenosu

## ■ Indukční vazba

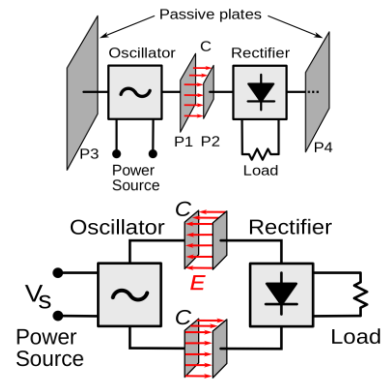
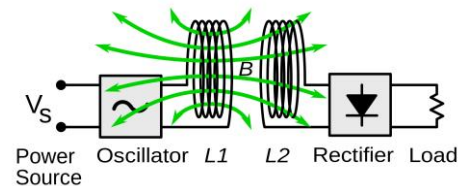
- ✧ Elektromagnetická inkce, IPT
- ✧ Nabíjení vozidel, elektroniky, biomedicínských implantátů
- ✧ Vazební koeficient  $k = M/\sqrt{L_1L_2}$
- ✧ Rezonanční vazba

## ■ Kapacitní vazba

- ✧ příčná x podélná

## ■ Magnetodynamická vazba

- ✧ Přenos energie mezi dvěma rotujícími armaturami
- ✧ 10 – 15 cm s efektivitou 90 %

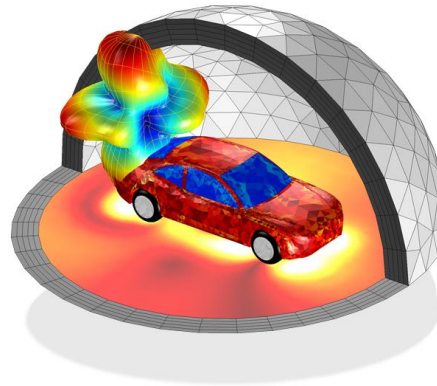
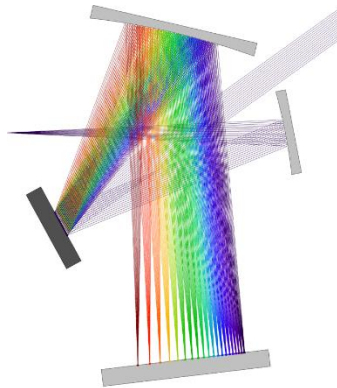
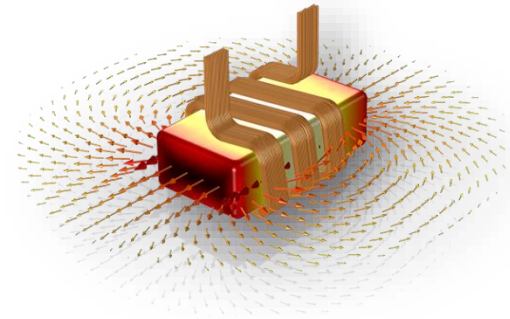


# Proč používáme MKP simulace?

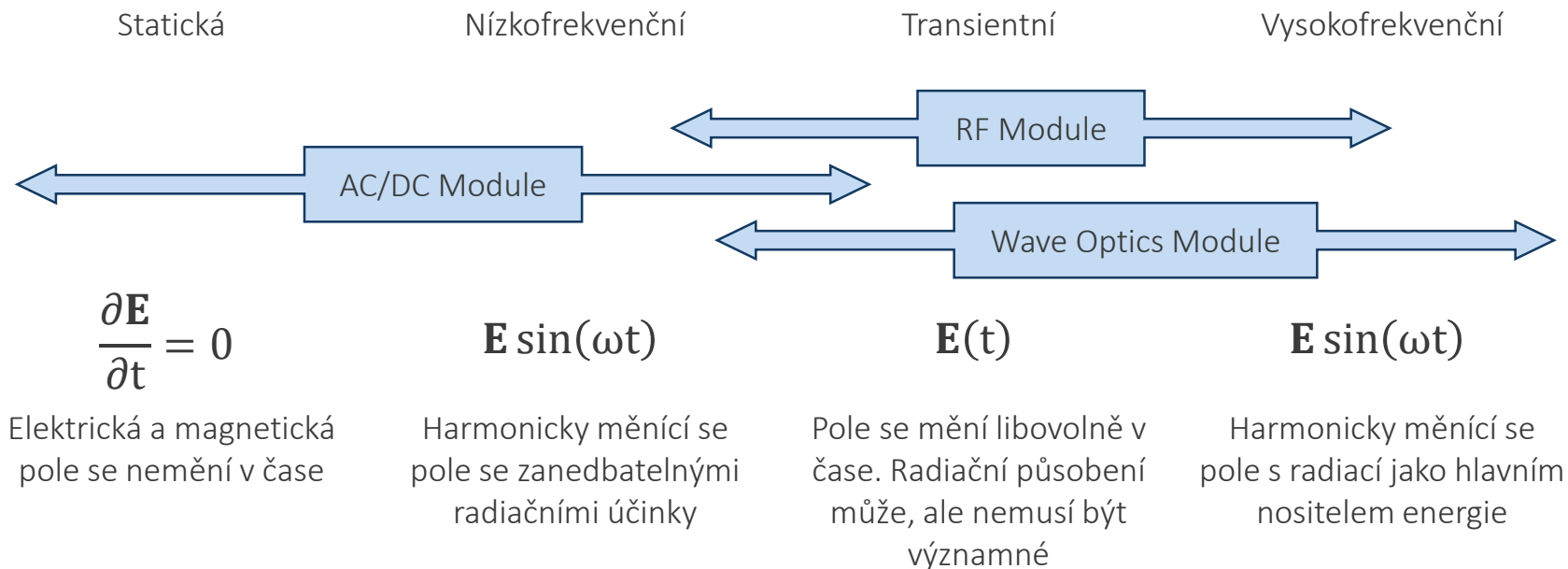
- Zvýšení efektivity přenosu

# Simulování elektromagnetických polí v COMSOL Multiphysics

- AC/DC, RF, Optika...
  - \* Maxwellovy rovnice
  - \* Vlnová rovnice



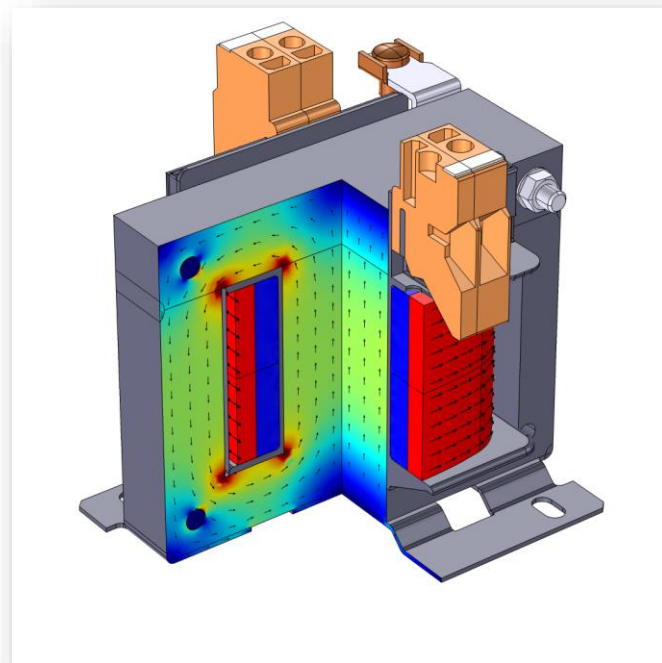
# Simulování elektromagnetických polí v COMSOL Multiphysics





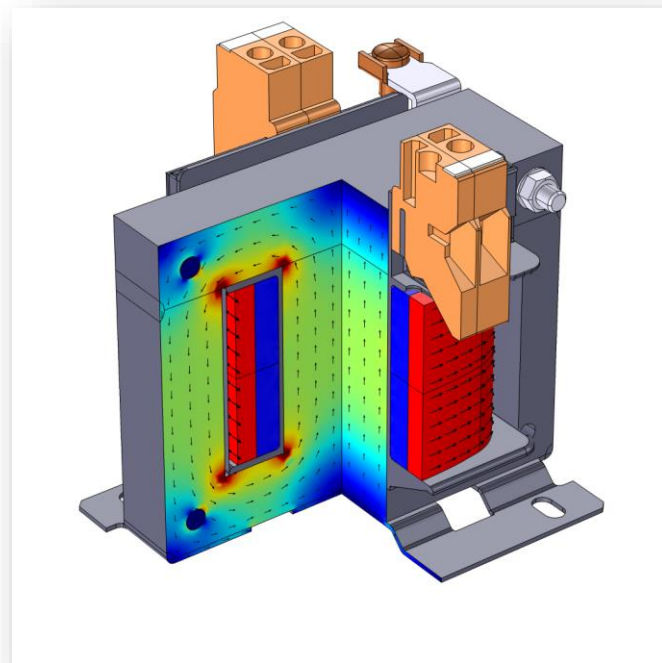
# Simulování cívek

- Definice „*Single Conductor*“
  - ✧ Geometrická definice odpovídá jedinému vodiči
  - ✧ Simulace skin a proximity efektu
- „Homogenized Multiturn“ nastavení
  - ✧ Simulace svazku vodičů
  - ✧ Definice cívky – linear, circular, numeric a user defined



# Simulování cívek

- Excitace
  - ✧ Napětím, proudem, náhradním el. obvodem
- Automatický výpočet
  - ✧ Indukovaného napětí a proudu
  - ✧ Impedance, admittance
  - ✧ Odporu
  - ✧ Reaktance (induktance/kapacitance)



# Simulování cívek

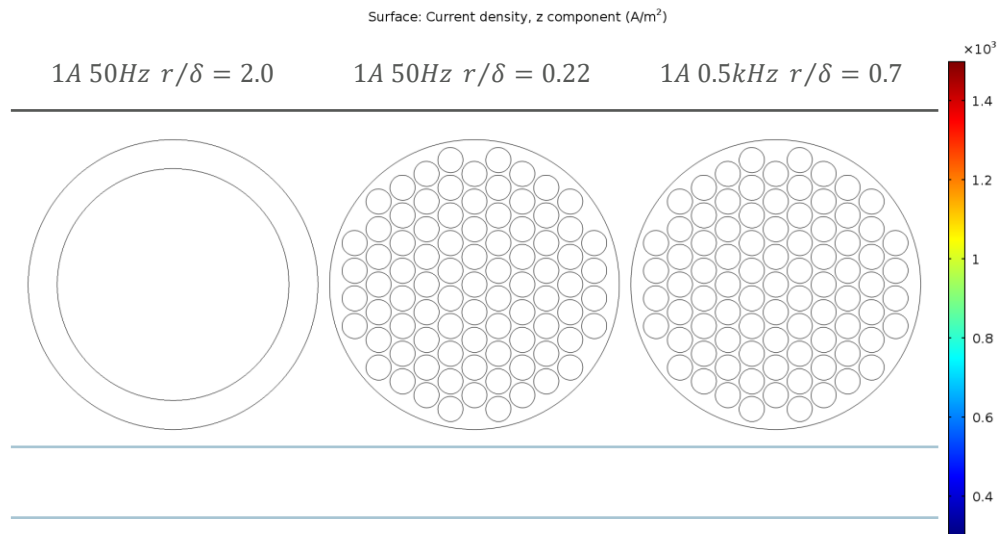
## ■ Tři kabely

- ✧ Stejné množství mědi
- ✧ Stejný odpor
- ✧ Stejný proud
- ✧ Rozdílné ztráty

$$\delta \approx \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$$

$$R_{DC} = 1/(\sigma\pi r^2)$$

$$Q_{DC} = I^2 R_{DC}$$



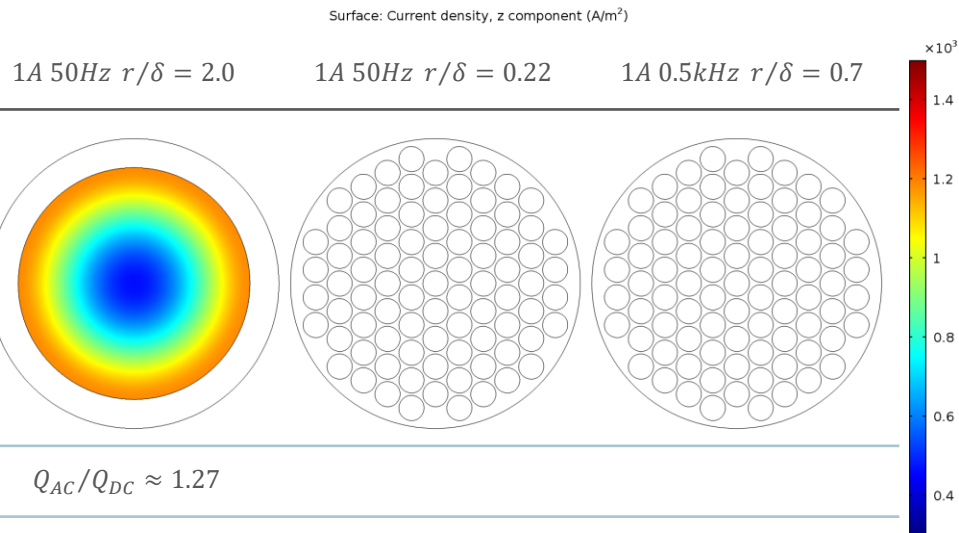
# Simulování cívek

- Tři kabely
  - ✧ Stejné množství mědi
  - ✧ Stejný odpor
  - ✧ Stejný proud
  - ✧ Rozdílné ztráty

$$\delta \approx \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$$

$$R_{DC} = 1/(\sigma\pi r^2)$$

$$Q_{DC} = I^2 R_{DC}$$



Use *Coil* "single conductor" setting and keep the geometry

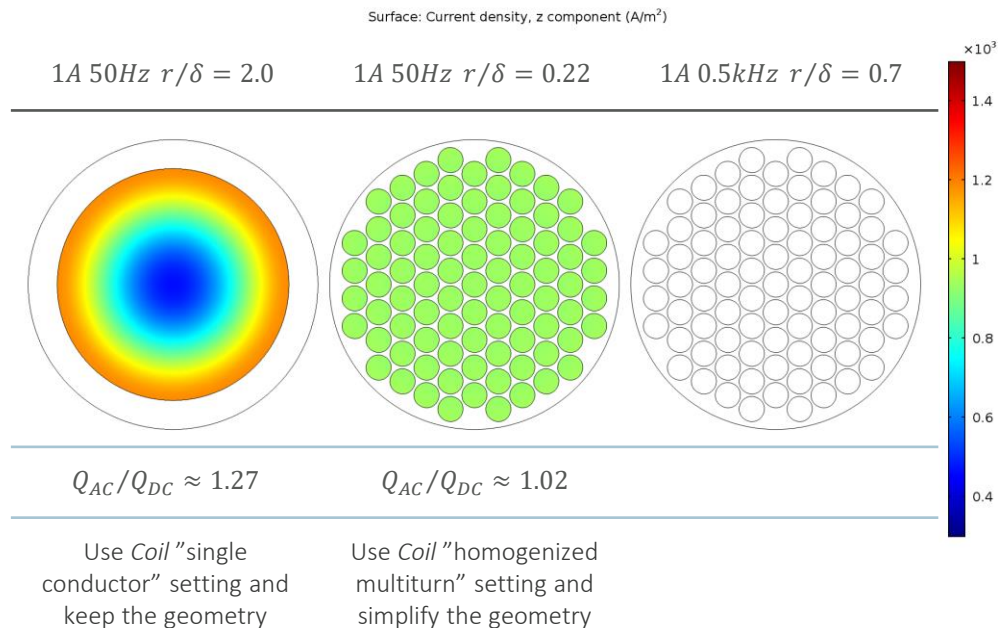
# Simulování cívek

- Tři kabely
  - ✧ Stejné množství mědi
  - ✧ Stejný odpor
  - ✧ Stejný proud
  - ✧ Rozdílné ztráty

$$\delta \approx \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$$

$$R_{DC} = 1/(\sigma\pi r^2)$$

$$Q_{DC} = I^2 R_{DC}$$



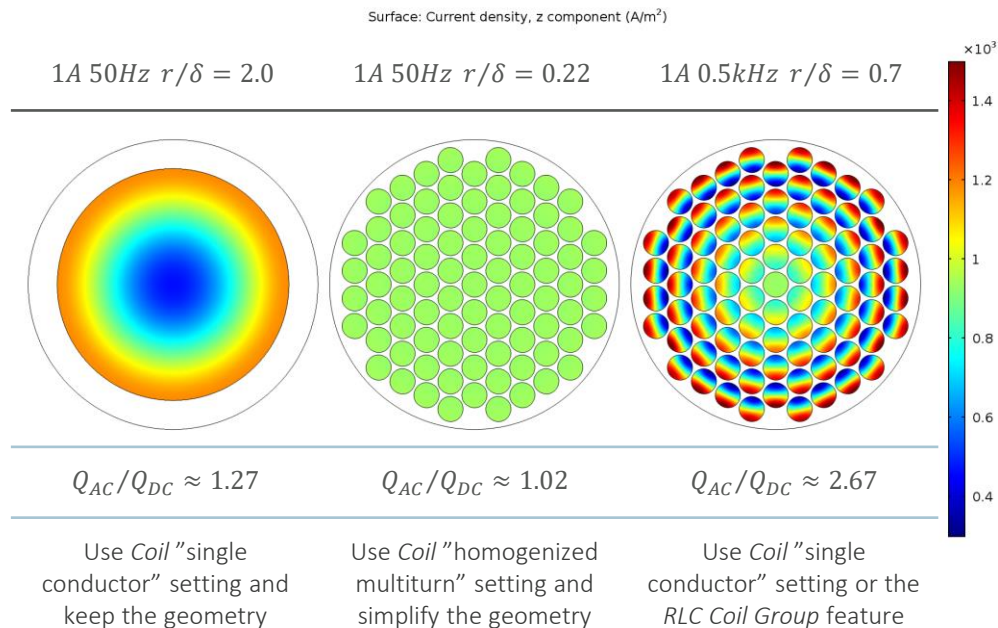
# Simulování cívek

- Tři kabely
  - \* Stejné množství mědi
  - \* Stejný odpor
  - \* Stejný proud
  - \* Rozdílné ztráty

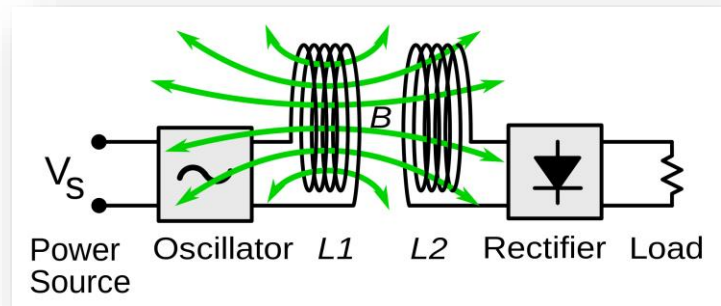
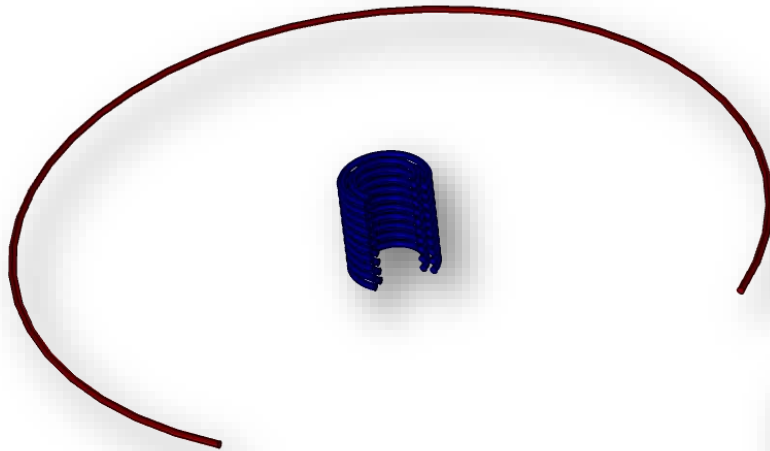
$$\delta \approx \sqrt{2/\omega\mu\sigma}$$

$$R_{DC} = 1/(\sigma\pi r^2)$$

$$Q_{DC} = I^2 R_{DC}$$



# Příklad č. 1: Přenos energie mezi cívkami



# Simulování antén

	Základní	Pokročilý
Buzení	Lumped port	Port (analytic, numeric, numeric TEM)
Absorpce	Scattering BC (SBC 1 <sup>st</sup> )	SBC (2 <sup>nd</sup> ), perfectly matched layer (PML)
Vodivá vrstva	Perfect electric conductor (PEC)	Transition BC, impedance BC

- Více jak 95 % prototypů RF přístrojů lze modelovat za použití těchto základních okrajových podmínek



## Příklad č. 2: Model antén

