

Kozni pojav pri ravnem tokovodniku kroznega preseka

■ Vhodni podatki

Permeabilnost in specifčna prevodnost bakra:

$$\mu_0 = 4 \pi * 10^{-7};$$

$$\gamma_{Cu} = 56 * 10^6;$$

Permeabilnost in specifčna prevodnost vodnika (naj je vodnik npr. bakren):

$$\mu = \mu_0;$$

$$\gamma = \gamma_{Cu};$$

Polmer vodnika:

$$\rho_0 = 10^{-3};$$

Kompleksor in krozna frekvenca harmoničnega toka vodnika:

$$I_0 = 1;$$

$$\omega = 2 \pi 500 * 10^3;$$

Valovno število v vodniku:

$$k = \sqrt{\omega * \mu * \gamma} * e^{-i * \pi / 4};$$

Absolutna vrednost produkta valovnega števila in polmera vodnika:

$$N[\text{Abs}[k * \rho_0]]$$

$$14.8687$$

Vdorna globina (v mm):

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega * \mu * \gamma}};$$

$$N[\delta] * 10^3$$

$$0.0951133$$

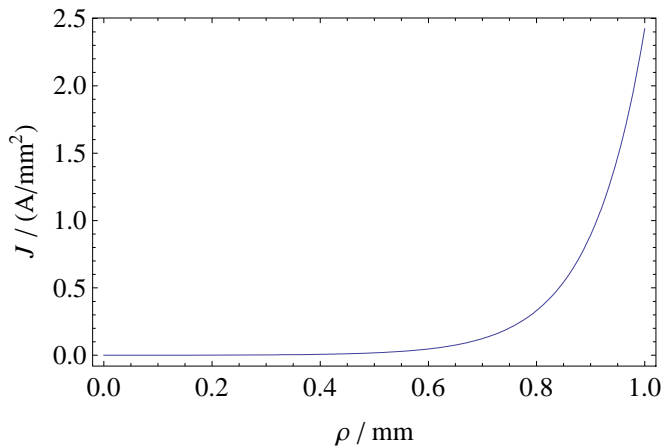
■ Poteka absolutnih vrednosti tokovne gostote in jakosti magnetnega polja

Porazdelitev tokovne gostote:

$$J[\rho_] := \text{If}[\rho \leq \rho_0, \frac{k I_0}{2 \pi \rho_0} \frac{\text{BesselJ}[0, k * \rho]}{\text{BesselJ}[1, k * \rho_0]}, 0]$$

Potek absolutne vrednosti tokovne gostote v vodniku:

```
Plot[Abs[J[ρ / 103] / 106], {ρ, 0, 103 ρ0}, PlotRange → All,
BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
Frame → True, FrameLabel → {"ρ / mm", "J / (A/mm2)", "", ""}]
```



Absolutna vrednost tokovne gostote (v A/mm²) v osi vodnika:

```
N[Abs[J[0]]] / 106
```

0.000632371

Absolutna vrednost tokovne gostote (v A/mm²) na površini vodnika:

```
N[Abs[J[ρ0]]] / 106
```

2.42324

Razmerje absolutne vrednosti tokovne gostote na površini in v osi vodnika:

```
N[Abs[J[ρ0]] / Abs[J[0]]]
```

3831.99

Razmerje absolutne vrednosti tokovne gostote na površini vodnika in za desetino polmera stran od površine:

```
N[Abs[J[ρ0]] / Abs[J[0.9 * ρ0]]]
```

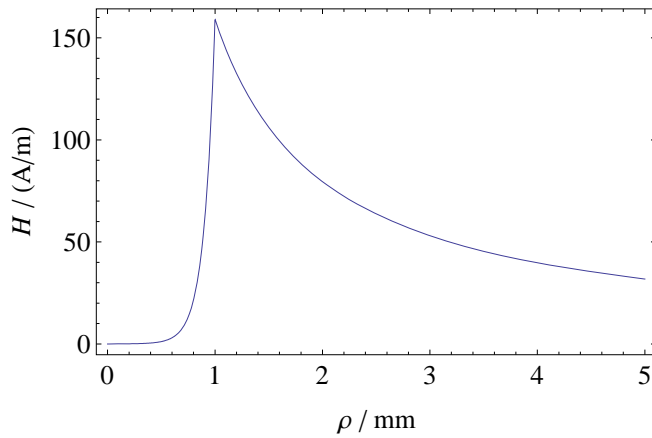
2.71297

Porazdelitev jakosti magnetnega polja:

$$H[\rho_] := \text{If}[\rho \leq \rho_0, \frac{I_0}{2 \pi \rho_0} \frac{\text{BesselJ}[1, k * \rho]}{\text{BesselJ}[1, k * \rho_0]}, \frac{I_0}{2 \pi \rho}]$$

Potek absolutne vrednosti jakosti magnetnega polja:

```
Plot[Abs[H[ρ/103]], {ρ, 0, 103 (5 ρ0)}, PlotRange → All,
  BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
  Frame → True, FrameLabel → {"ρ / mm", "H / (A/m)", "", ""}]
```



Absolutna vrednost jakosti magnetnega polja v osi vodnika:

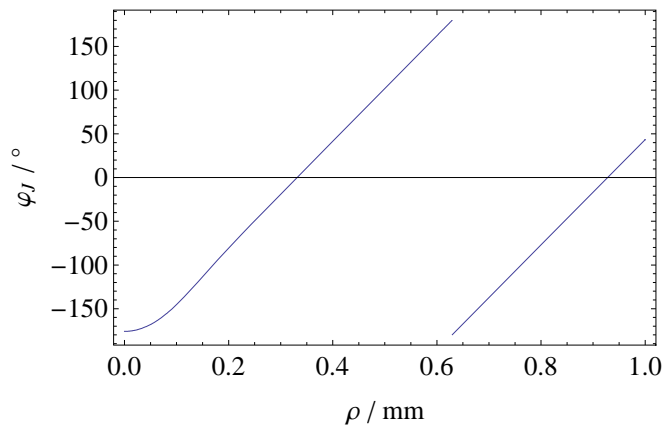
```
Abs[H[0]]
```

0

■ Poteka faz tokovne gostote in jakosti magnetnega polja

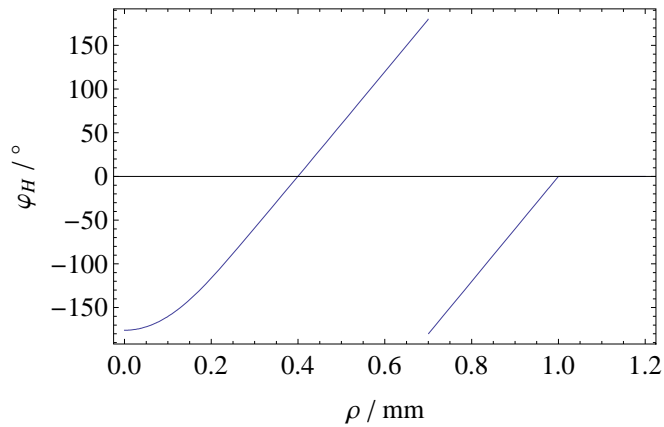
Potek faze (v stopinjah) tokovne gostote:

```
Plot[(180 / π) * Arg[J[ρ / 103]], {ρ, 0, 103 ρ0},
  PlotRange → All, BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
  Frame → True, FrameLabel → {"ρ / mm", "φJ / °", "", ""}]
```



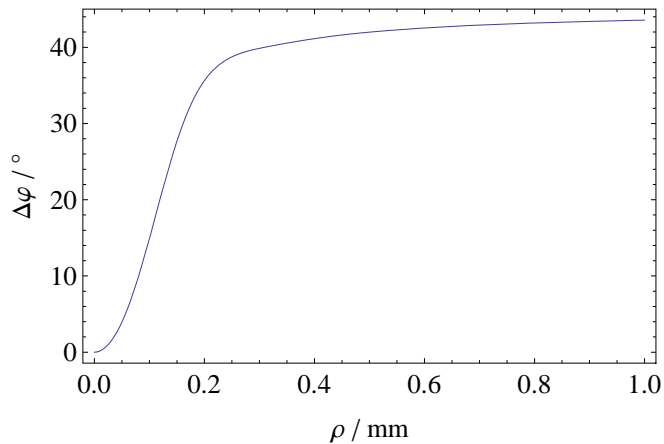
Potek faze (v stopinjah) jakosti magnetnega polja:

```
Plot[(180 / π) * Arg[H[ρ / 103]], {ρ, 0, 103 (1.2 ρ0)},
  PlotRange → All, BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
  Frame → True, FrameLabel → {"ρ / mm", "φH / °", "", ""}]
```



Potek fazne razlike (v stopinjah) med tokovno gostoto in jakostjo magnetnega polja:

```
Plot[If[(180 / π) * (Arg[J[ρ / 103]] - Arg[H[ρ / 103]]) ≥ -180,
  (180 / π) * (Arg[J[ρ / 103]] - Arg[H[ρ / 103]]),
  (180 / π) * (Arg[J[ρ / 103]] - Arg[H[ρ / 103]]) + 360, {ρ, 0, 103 ρ0},
  PlotRange → All, BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
  Frame → True, FrameLabel → {"ρ / mm", "Δφ / °", "", ""}]
```



■ Impedanca tokovodnika - odvisnost impedance od frekvence

Valovno število v vodniku kot funkcija krožne frekvence:

$$kf[\omega] := \sqrt{\omega * \mu * \gamma} * e^{-i * \pi / 4};$$

Dolžina vodnika:

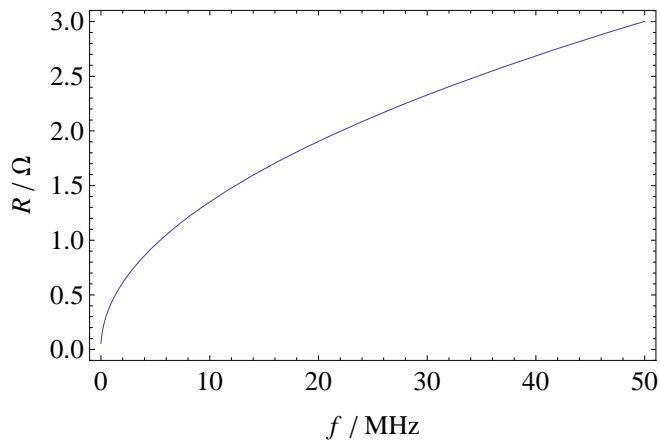
$$l = 10;$$

Impedanca vodnika kot funkcija krožne frekvence:

$$Z[\omega] := \frac{kf[\omega] * l}{2 \pi * \rho_0 * \gamma} * \frac{\text{BesselJ}[0, kf[\omega] * \rho_0]}{\text{BesselJ}[1, kf[\omega] * \rho_0]} + i * \frac{\omega * \mu_0 * l}{2 \pi} * \text{Log}\left[\frac{1}{\rho_0}\right]$$

Potek realnega dela impedance (torej upornosti) vodnika v odvisnosti od frekvence:

```
Plot[Re[Z[2 π f * 106]], {f, 0, 50}, PlotRange → All,
  BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
  Frame → True, FrameLabel → {"f / MHz", "R / Ω", "", ""}]
```



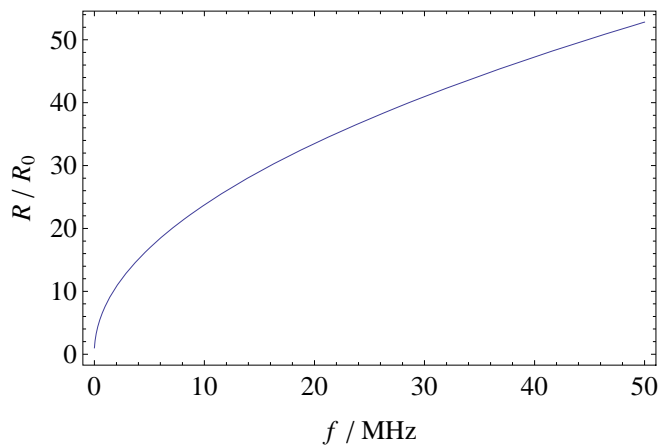
Upornost vodnika ($v \Omega$) pri enosmernih razmerah:

```
R0 = N[Limit[Re[Z[x]], x → 0]]
```

```
0.0568411
```

Potek razmerja upornosti vodnika in njegove enosmerne upornosti v odvisnosti od frekvence:

```
Plot[ $\frac{\text{Re}[Z[2 \pi f * 10^6]]}{R_0}$ , {f, 0, 50}, PlotRange → All,
  BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14},
  Frame → True, FrameLabel → {"f / MHz", "R / R0", "", ""}]
```



Potek razmerja upornosti vodnika in njegove enosmerne upornosti v odvisnosti od frekvence (za nizje frekvence):

```
Plot[ $\frac{\text{Re}[Z[2 \pi f * 10^3]]}{R_0}$ , {f, 0, 15}, PlotRange -> {0, 1.3},  
BaseStyle -> {FontFamily -> "Times", FontSize -> 14},  
Frame -> True, FrameLabel -> {"f / kHz", "R / R0", "", ""}]
```

