

Magnetni vzdolžno simetrični objekt v polju tokovodnika kroznega preseka

Magnetostaticno polje. Koncept enojnega sloja.

Pisava, ki bo uporabljena na slikah.

```
Times14 = BaseStyle → {FontFamily → "Times", FontSize → 14};
```

Vhodni podatki

Fizikalne konstante.

Permeabilnost praznega prostora.

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

Izbira koordinatnega sistema.

Koordinatni sistem izberimo tako, da je os z vzporedna s tokovodnikom in magnetnim objektom ter da gre skozi spodnji levi vogal slednjega. Os x naj kaže v desno, os y pa gor.

Podatki magnetnega objekta.

Permeabilnost magnetnega objekta.

$$\mu = 100 \mu_0;$$

Sirina in visina preseka magnetnega objekta.

$$a = 2 \times 10^{-2};$$

$$b = 4 \times 10^{-2};$$

Podatki tokovodnika.

Jakost toka tokovodnika.

$$I_0 = 100;$$

Polmer preseka tokovodnika.

$$r_0 = 1 \times 10^{-2};$$

Koordinati osi tokovodnika v prerezni x-y ravnini.

$$x_0 = -2 \times 10^{-2};$$

$$y_0 = 2 \times 10^{-2};$$

Prerezna slika strukture.

Obod preseka magnetnega objekta.

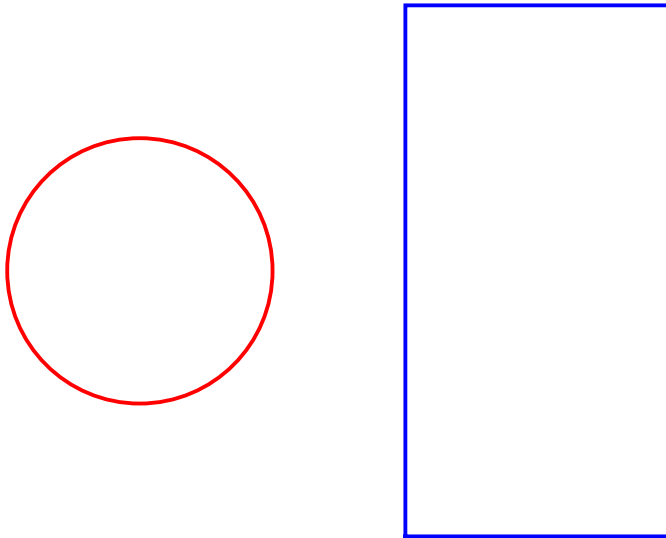
```
ObodMagnObj = Line[{{0, 0}, {a, 0}, {a, b}, {0, b}, {0, 0}}];
```

Obod preseka tokovodnika.

```
ObodTokov = Circle[{x0, y0}, r0];
```

Slika obodov presekov magnetnega objekta ter tokovodnika.

```
Oboda = Graphics[{AbsoluteThickness[2],
  {RGBColor[0, 0, 1], ObodMagnObj}, RGBColor[1, 0, 0], ObodTokov}]]
```



Segmentiranje oboda preseka magnetnega objekta

Na začetku, dokler razvijamo programsko kodo, se splaca namenoma izbrati premajhno število segmentov, da je lažje preverjati vmesne rezultate. Ko pa je koda že izpiljena, preden zazenemo resen izračun polja je treba to število povecati.

Število segmentov na horizontalnih stranicah oboda preseka magnetnega objekta in dolzine teh segmentov.

```
nx = ? ;
δlx = a / nx ;
```

Število segmentov na vertikalnih stranicah oboda preseka magnetnega objekta in dolzine teh segmentov.

```
ny = ? ;
δly = ? ;
```

Celotno število segmentov na obodu preseka magnetnega objekta.

```
N0 = ?
```

Indeksiranje segmentov: segmente začnimo šteti v spodnjem levem vogalu oboda preseka magnetnega objekta in nadaljujmo v matematični pozitivni smeri (nasprotno od smeri vrtenja urinega kazalca).

Mnozica (indeksov) segmentov na spodnji stranici oboda preseka magnetnega objekta.

```
M1 = Table[j, {j, nx}];
```

Mnozica (indeksov) segmentov na desni stranici oboda preseka magnetnega objekta.

```
M2 = Table[j, {j, nx + 1, nx + ny}];
```

Mnozica (indeksov) segmentov na zgornji stranici oboda preseka magnetnega objekta.

```
M3 = ? ;
```

Mnozica (indeksov) segmentov na levi stranici oboda preseka magnetnega objekta.

```
M4 = ? ;
```

Matrika (oz. vektor) dolzin segmentov.

```
δ1 = Table[Which[MemberQ[M1 ∪ M3, j], δ1x, ?, δ1y], {j, N0}];
```

Matriki (oz. vektorja) koordinat središnih točk segmentov.

```
xC = Table[Which[MemberQ[M1, j],  
?, MemberQ[M2, j], ?, MemberQ[M3, j], ?, MemberQ[M4, j], ?], {j, N0}];
```

```
yC = ? ;
```

Matrika (oz. vektor) enotskih vektorjev normale na površino magnetnega objekta v središnih točkah segmentov (eksterna normala: kaže iz območja objekta v zunanost).

```
nC = Table[Which[MemberQ[M1, j], {0, -1},  
MemberQ[M2, j], {1, 0}, MemberQ[M3, j], ?, ?, ?], {j, N0}];
```

Normala je vektor; prva komponenta je x komponenta, druga pa y.

Distancni vektor med središčnima točkama i -tega in j -tega segmenta ter njegova dolžina (absolutna vrednost).

```
PC[i_, j_] := {xC[[j]] - xC[[i]], yC[[j]] - yC[[i]]}
```

```
absPC[i_, j_] :=  $\sqrt{(\text{xC}[[j]] - \text{xC}[[i]])^2 + (\text{yC}[[j]] - \text{yC}[[i]])^2}$ 
```

Distancni vektor med osjo tokovodnika in središčno točko j -tega segmenta ter dolžina (absolutna vrednost) tega vektorja.

```
POC[j_] := ?
```

```
absPOC[j_] := ?
```

Dolocanje porazdelitve gostote ploskovnega toka na površini magnetnega objekta

Sistem enacb

Okrajsava.

$\beta = ?$

Matrika koeficientov sistema enacb.

MatC =

$$\text{Table}\left[\text{N}\left[\text{If}\left[i == j, ?, (\text{nC}[[j]] \cdot \text{PC}[i, j]) * \frac{\beta \delta 1[[i]]}{\pi * (\text{absPC}[i, j])^2}\right]\right], \{j, \text{N0}\}, \{i, \text{N0}\}\right];$$

Matrika (oz. vektor) znanih vrednosti (desnih strani) sistema enacb.

VekD = Table[N[?], {j, ?}];

Resitev sistema - matrika (oz. vektor) vzdolzne komponente gostot tokovne obloge na posameznih segmentih.

Kz = ? ;

Risanje porazdelitve gostote ploskovnega toka na površini magnetnega objekta

Porazdelitev gostote tokovne obloge na spodnji stranici oboda preseka magnetnega objekta.

```
ListPlot[Table[{100 xC[[i]], Kz[[i]]}, {i, 1, nx}], PlotRange -> All, Frame -> True,
  Axes -> None, Times14, FrameLabel -> {"x / cm", "Kz / (A/m)", "", ""}]
```

Porazdelitev gostote tokovne obloge na zgornji stranici oboda preseka magnetnega objekta.

?

Porazdelitev gostote tokovne obloge na desni stranici oboda preseka magnetnega objekta.

```
ListPlot[Table[{100 yC[[i]], Kz[[i]]}, {i, nx + 1, nx + ny}], PlotRange -> All,
  Frame -> True, Axes -> None, Times14, FrameLabel -> {"y / cm", "Kz / (A/m)", "", ""}]
```

Porazdelitev gostote tokovne obloge na levi stranici oboda preseka magnetnega objekta.

?

Izracun magnetnega polja

Distancni vektor med središčno točko i -tega segmenta in splosno točko (x, y) , v kateri bomo računali polje, ter dolžina (absolutna vrednost) tega vektorja.

$P[i_, x_, y_] := \{x - xC[[i]], y - yC[[i]]\}$

$\text{absP}[i_, x_, y_] := \sqrt{(x - xC[[i]])^2 + (y - yC[[i]])^2}$

Distancni vektor med osjo tokovodnika in splosno točko (x, y) , v kateri bomo računali polje, ter dolžina (absolutna vrednost) tega vektorja.

$P0[i_, x_, y_] := ?$

$\text{absP0}[x_, y_] := ?$

Vektorski magnetni potencial in vektor gostote magnetnega pretoka

Primarno polje (polje toka tokovodnika)

Komponenta z vektorskega magnetnega potenciala polja toka tokovodnika.

$$A0z[x_, y_] := \text{If}[\text{absP0}[x, y] \geq r0, \\ -\frac{\mu0 \text{I0}}{2 \pi} \text{Log}[\text{absP0}[x, y]], \frac{\mu0 \text{I0}}{4 \pi} \left(1 - \left(\frac{\text{absP0}[x, y]}{r0}\right)^2\right) - \frac{\mu0 \text{I0}}{2 \pi} \text{Log}[r0]]$$

Potencial je tu izracunan le do konstante (C) natančno (torej kot ce bi bila $C = 0$).

Vektor gostote magnetnega pretoka polja toka tokovodnika.

$$B0[x_, y_] := \text{If}[\text{absP0}[x, y] \geq r0, \\ \frac{\mu0 \text{I0}}{2 \pi (\text{absP0}[x, y])^2} \{-(y - y0), (x - x0)\}, \frac{\mu0 \text{I0}}{2 \pi r0^2} \{-(y - y0), (x - x0)\}]$$

Rezultanco (celotno polje)

Komponenta z vektorskega magnetnega potenciala celotnega polja.

$$Az[x_, y_] := ?$$

Potencial je tu izracunan le do konstante (C) natančno (torej kot ce bi bila $C = 0$).

Vektor gostote magnetnega pretoka celotnega polja.

$$B[x_, y_] := ?$$

Vrednosti polja v nekaj tockah.

Opazovana tocka je 1 cm nad tokovodnikom.

$$\begin{aligned} x &= x0; \\ y &= y0 + r0 + 10^{-2}; \\ N[Az[x, y]] \\ N[B[x, y]] \end{aligned}$$

Pravilna resitev za z komponento vektorskega magnetnega potenciala je priblizno $84,2077 \cdot 10^{-6}$ Wb/m.

Pravilna resitev za x ter y komponento vektorja gostote magnetnega pretoka je $B_x \cong -1,19257 \cdot 10^{-3}$ Wb/m² ter $B_y \cong -92,0663 \cdot 10^{-6}$ Wb/m².

Opazovana tocka je na sredini magnetnega objekta.

$$\begin{aligned} x &= ? ; \\ y &= ? ; \\ ? \\ ? \end{aligned}$$

Pravilna resitev za z komponento vektorskega magnetnega potenciala je priblizno $72,2346 \cdot 10^{-6}$ Wb/m.

Pravilna resitev za x ter y komponento vektorja gostote magnetnega pretoka je $B_x = 0$ Wb/m² ter $B_y \cong 2,1882 \cdot 10^{-3}$ Wb/m².

Risanje gostotnic magnetneta polja

Obmocje risanja definirajmo s parametri x_{\min} , x_{\max} , y_{\min} in y_{\max} :

```
xmin = x0 - a;
xmax = 2 a;
ymin = -a;
ymax = a + b;
```

Število gostotnic.

```
StevGost = ? ;
```

Vrednosti vzdolžne komponente vektorskega magnetnega potenciala na gostotnicah, ki jih bomo narisali. Razlika teh vrednosti naj je pri katerihkoli sosednjih gostotnicah enaka.

```
VrednGost = Table[(iGost)  $\frac{Az[x0, y0]}{StevGost}$ , {iGost, StevGost}]; VrednGost * 106
```

Slika gostotnic.

```
gostotnice = ContourPlot[? ]
```

Na sliki gostotnic označimo osi in dorisimo oboda presekov magnetnega objekta ter tokovodnika.

```
Show[{gostotnice, Oboda}, Frame → True, Times14,
FrameLabel → {"x / m", "y / m", "", ""}, ImageSize → 500]
```

Shranjevanje resitve

Ko izračuni trajajo daljši čas, nam pride zelo prav, da resitev shranimo in jo lahko pozneje preberemo in uporabimo, ne da bi ponovno zaganjali izračune.

Preverimo, v kateri direktorij (mapo) bo shranjena resitev (z ukazom `setDirectory` ga lahko spremenimo).

```
Directory[ ]
```

Shranimo celoten izračun.

```
DumpSave["MagnetniCilinderVPoljuTokovodnika.mx", "Global`"];
```

Shranjeno resitev lahko naknadno preberemo takole:

```
<< MagnetniCilinderVPoljuTokovodnika.mx
```