

# 1.

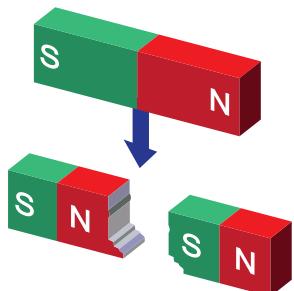
## Elektromagnetizam



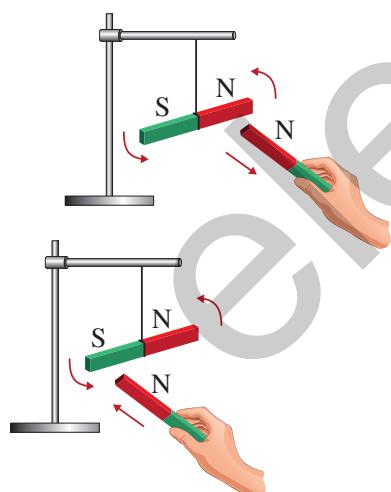
- 1.1.** Osnovne značajke magnetizma
- 1.2.** Prikaz magnetskog polja magneta
- 1.3.** Magnetsko polje ravnog vodiča
- 1.4.** Magnetsko polje zavojnice
- 1.5.** Magnetska indukcija i djelovanje magnetskog polja na vodič kojim teče struja
- 1.6.** Magnetski tok
- 1.7.** Magnetska indukcija zavojnice i jakost magnetskog polja zavojnice
- 1.8.** Magnetska indukcija ravnog vodiča i jakost magnetskog polja ravnog vodiča
- 1.9.** Magnetsko polje u materijalima
- 1.10.** Magnetski krug
- 1.11.** Sila magnetskog polja na naboju u gibanju – Lorentzova sila
- 1.12.** Sile među vodičima
- 1.13.** Sila magnetskog polja na strujnu petlju
- 1.14.** Elektromagnet
- 1.15.** Elektromagnetska indukcija
- 1.16.** Inducirani napon u ravnom vodiču
- 1.17.** Samoindukcija i induktivitet
- 1.18.** Međuindukcija i međuinduktivitet
- 1.19.**  $RL$  krug
- 1.20.** Magnetska energija zavojnice



Slika 1.1.  
Magnetit



Slika 1.2.  
Dijeljenje magneta



Slika 1.3.  
Sila između magnetskih polova:  
a) odbojna sila  
b) privlačna sila

## 1.1. Osnovne značajke magnetizma

Magnetske pojave poznate su iz starog vijeka kada je uočeno da željezna ruda – magnetit (crna ruda metalnog sjaja, slika 1.1) – ima sposobnost privlačenja željeza. Kasnije je ta pojava nazvana **magnetizam**.

Magnetična tijela imaju svojstvo privlačenja željeznih predmeta i nazivaju se **magneti**.

Komadi rude koji privlače željezne predmete nazivaju se **prirodnim magnetima**. Magneti osim željeza privlače i legure željeza, nikal, kobalt i još neke materijale.

Kada komad željeza dovedemo u blizinu prirodnog magneta ili u dodir s njim, on stjeće i zadržava magnetska svojstva. Tako nastali magnet nazivamo **umjetni magnet**.

Umjetni magneti mogu biti **stalni (permanentni)**. Magneti mogu imati različite oblike: igle, štapića ili potkove.

U praksi koristimo i **elektromagnet**.

**Elektromagneti** su zavojnice (sa željeznom jezgrom) koje pokazuju magnetska svojstva samo dok njima protječe električna struja.

Najjači magnetski učinak manifestira se na krajevima magneta – **magnetskim polovima**, a neznatan na njegovom srednjem dijelu, koji čini neutralno područje.

Svaki magnet ima dva pola: **sjeverni (N) i južni (S) pol**.

Presijecanjem magnetske šipke ne mogu se razdvojiti polovi magneta, već svaki dio ponovno sadrži i sjeverni i južni pol (slika 1.2).

Približimo li magnetske polove dvaju magneta, tada će se istoimeni magnetski polovi međusobno odbijati, a raznoimeni polovi privlačiti (slika 1.3). Među magnetima postoji **magnetska sila** koja može biti privlačna ili odbojna sila.

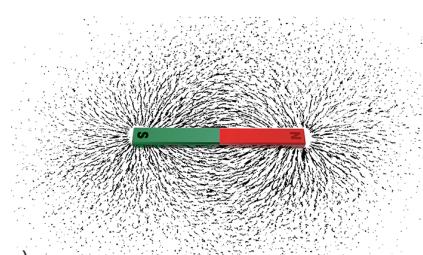
Prostor u kojem djeluju magnetske sile naziva se **magnetsko polje**.

I zemaljska kugla predstavlja golemi magnet koji ima izražene polove. U blizini sjevernog geografskog pola Zemlje je južni magnetski pol Zemlje, a u blizini južnog geografskog pola je sjeverni magnetski pol Zemlje. Za utvrđivanje smjera koristi se kompas ili busola. Kompas se sastoji od male magnetne igle koja je pričvršćena tako da

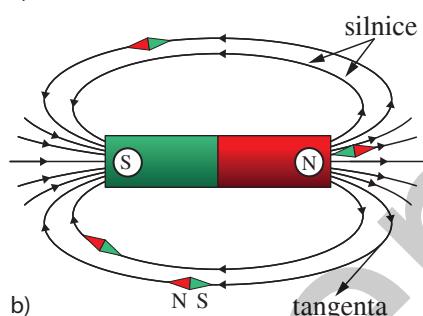


Slika 1.4.

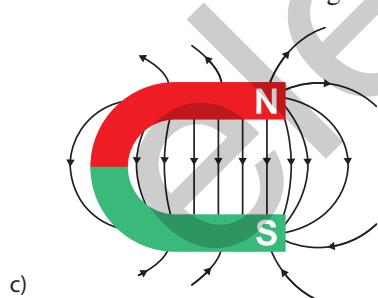
Kompas



a)



b)



c)

Slika 1.5.

Prikaz magnetskog polja:

- ravnog magneta željeznom strugotinom
- ravnog magneta magnetnom igлом
- U-magneta silnicama

se može okretati oko neke osi (slika 1.4). Mala magnetna igla uvek se postavlja u smjeru sjever-jug.

## 1.2. Prikaz magnetskog polja magneta

Prostor oko magneta ili elektromagneta, odnosno oblik magnetskog polja, možemo ispitati pokusom sa sitnom željeznom strugotinom ili magnetnim iglama.

Stavimo staklo na magnet i preko njega pospemo željeznu strugotinu. Djelovanjem magnetskih sila čestice strugotine će se usmjeriti i poredati u oblikovane linije. Magnetne igle otklonit će se sukladno sili koja na njih djeluje tako da će se postaviti u smjeru tangente na zakrivljene linije koje su oblikovali komadići željezne strugotine (slika 1.5).

Zbog djelovanja magnetske sile te linije nazivamo **linijama magnetske sile** ili **magnetskim silnicama (kraće silnice)**. Oko magneta se formiralo magnetsko polje.

Magnetske silnice su zamišljene linije kojima zorno prikazujemo magnetsko polje.

Karakteristike magnetskih silnica su:

- to su linije zatvorene same u sebe, nemaju ni početak ni kraj,
- izlaze iz sjevernog magnetskog pola i kroz okolni prostor ulaze u južni magnetski pol pa unutar magneta prolaze od južnog prema sjevernom polu
- gustoća silnica razmjerna je jakosti polja.

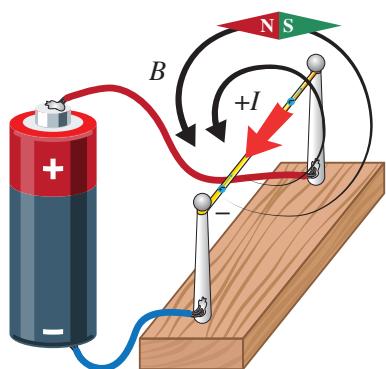
Dogovorom je određeno da je smjer magnetskog polja onaj u kojem se otklanja sjeverni pol male magnetne igle u promatranoj točki polja.

Magnetska silna je vektorska veličina koju određuju njen iznos i smjer. Tangenta na silnicu u nekoj točki magnetskog polja prikazuje smjer magnetske sile.

Magnetsko polje je vektorsko polje. Veličine koje ga opisuju imaju u svakoj točki prostora određenu jakost i smjer.

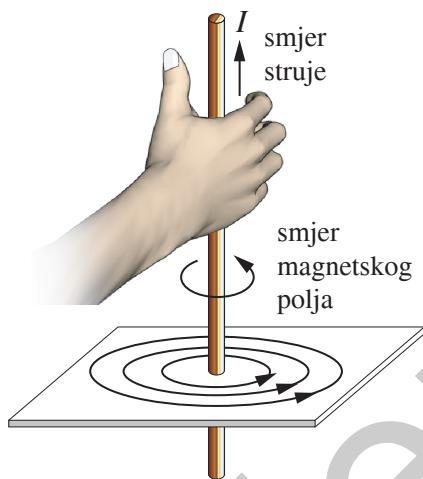
Magnetske silnice zatvaraju se kroz magnet i okolni prostor, čineći na taj način zatvoreni **magnetski krug**.

**Magnetski tok** kroz neku plohu razmjeran je broju silnica koje prolaze kroz tu plohu.



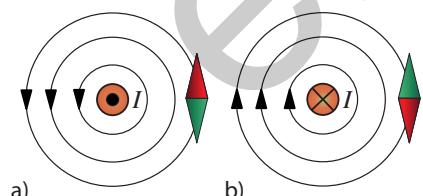
Slika 1.6.

Magnetsko polje ravnog vodiča



Slika 1.7.

Magnetsko polje ravnog vodiča – pravilo desne ruke



Slika 1.8.

Silnice magnetskog polja ravnog vodiča:

- a) struja iz plohe
- b) struja u plohu

### 1.3. Magnetsko polje ravnog vodiča

Ørsted je 1820. godine primijetio da se magnetna igla zakreće okomito na smjer vodiča protjecanog istosmjernom strujom i tako otkrio magnetski učinak električne struje.

A. M. Ampère je otkrio postojanje sila među paralelnim vodičima protjecanima istosmjernom strujom (vidi točku 1.12). Otkrio je i da zavojnica protjecana strujom stalne vrijednosti ima slična magnetska svojstva kao i magnet.

Postojanje magnetskog polja oko ravnog vodiča protjecanog strujom dokazujemo magnetnom iglom (slika 1.6) koja će se zakrenuti okomito na smjer vodiča kojim protječe istosmjerna struja. Treba naglasiti da se magnetsko polje stvara uzduž cijele dužine vodiča protjecanog strujom.

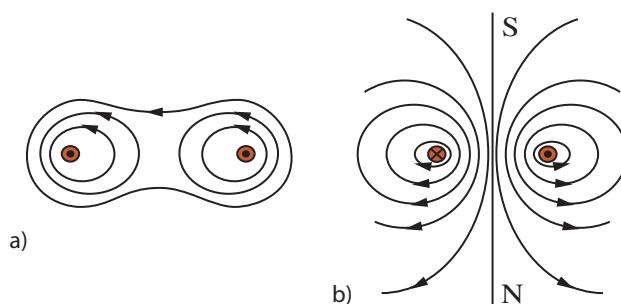
Silnice magnetskog polja ravnog vodiča su koncentrične kružnice koje leže u ravni okomitoj na vodič, a središte im je u osi vodiča (slika 1.7).

Smjer magnetskog polja vodiča određujemo pravilom desne ruke (slika 1.7) koje glasi:

Ako palac desne ruke pokazuje smjer struje, tada savinuti prsti pokazuju smjer magnetskog polja.

Za označavanje smjera struje kroz vodič i smjera polja koriste se oznake prema slici 1.8.

Magnetsko polje između dvaju ravnih vodiča protjecanih strujom nastaje superpozicijom polja pojedinih vodiča. Oblik magnetskog polja ovisi o smjeru struja u vodičima (slika 1.9).

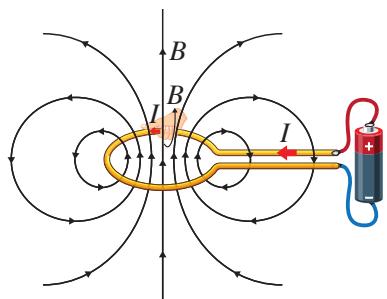


Slika 1.9.

Magnetsko polje dvaju vodiča protjecanih strujom:

- a) struje teku u istom smjeru
- b) struje teku u suprotnim smjerovima

## 1.4. Magnetsko polje zavojnice



Slika 1.10.

Magnetsko polje kružne petlje

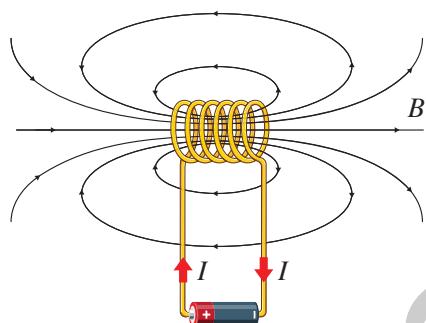
Do sada smo promatrali ravni vodič. Savijemo li ravni vodič u petlju, dobit ćemo kružnu petlju ili zavoj. Protjecanjem struje kroz petlju stvara se magnetsko polje pri čemu je gustoća silnica najveća unutar petlje. Slika 1.10 prikazuje silnice magnetskog polja kružnog zavoja, gdje je sjeverni pol iznad zavoja, a južni ispod. To polje odgovara magnetskom polju dipola.

Namatanjem više zavoja oko ravnog cilindričnog tijela dobivamo zavojnicu koju nazivamo **ravnom zavojnicom** ili **svitkom**. Kada zavojnicu svinemo u krug, dobijemo **torusnu** ili **prstenastu zavojnicu**.

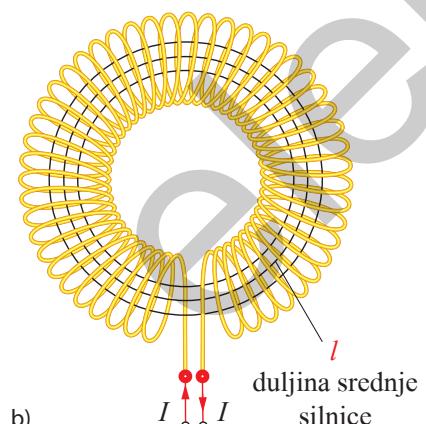
Protjecanjem struje kroz tu zavojnicu stvara se magnetsko polje koje je nastalo zbrajanjem magnetskog polja svih zavoja. Ako su zavoji gusto namotani jedan do drugog, silnice magnetskog polja unutar ravne zavojnice su paralelne. Izvan zavojnice magnetsko je polje vrlo slabo, praktično zanemarivo (slika. 1.11a). Kod torusne zavojnice silnice su koncentrične kružnice unutar zavojnice, a izvan je polje zanemarivo (slike 1.11b).

Ravna zavojnica protjecana strujom ponaša se kao štapičasti magnet, pa i sama privlači željezne predmete. Smjer magnetskog polja zavojnice određujemo pravilom desne ruke (slika 1.12) koje glasi:

Ako svinuti prsti desne ruke pokazuju smjer struje, tad palac pokazuje smjer magnetskog polja.



a)

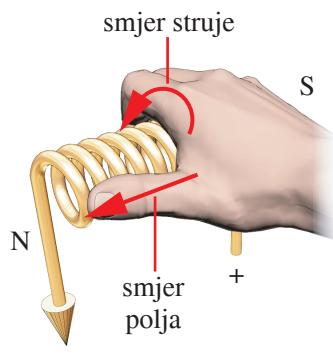


b)

Slika 1.11.

Magnetsko polje zavojnice:

- a) ravne
- b) torusne



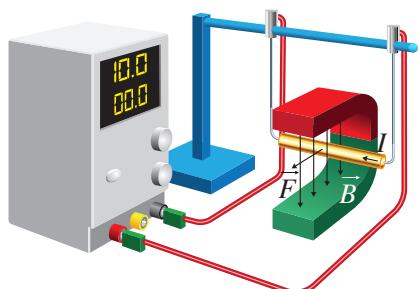
Slika 1.12.

Pravilo desne ruke za određivanje smjera magnetskog polja zavojnice

## 1.5. Magnetska indukcija i djelovanje magnetskog polja na vodič kojim teče struja

Protjecanjem struje kroz vodič stvara se unutar i izvan njega magnetsko polje. Kad se takav vodič nađe u vanjskom magnetskom polju na njega djeluje magnetska sila.

Magnetsko polje ravnog vodiča i magnetsko polje magneta stvaraju rezultanto magnetsko polje zbog čega djeluje sila na vodič. Vodič se otklanja na onu stranu gdje je rezultanto polje slabije.



**Slika 1.13.**  
Sila na vodič

### Napomena

Struja je usmjereno gibanje slobodnih elektrona u vodiču. Magnetska sila djeluje na elektrone u gibanju, a ta se sila prenosi na čitav vodič.

### Napomena

Mjerna jedinica za magnetsku indukciju je tesla, oznaka T, dana u čast Nikoli Tesli.

$$1 \text{ T} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ Am}}$$

### Pokus

Postavimo ravni vodič da slobodno visi između polova magneta okomito na silnice magnetskog polja (slika 1.13).

Kad kroz vodič ne teče struja, on mirno visi između polova. Protjecanjem istosmjerne struje kroz vodič on se otklanja od polja djelovanjem magnetskog polja.

Ako promijenimo smjer struje, vodič se otklanja u drugom smjeru. Mijenjanjem jakosti struje ili duljine vodiča obuhvaćenog magnetskim poljem promijenit će se iznos sile.

Magnetska sila ovisi o svojstvima magnetskog polja.

Magnetsko polje opisuje se vektorom koji se naziva vektor magnetske indukcije ili gustoća magnetskog toka i označuje velikim slovom  $B$ .

Ako vodič protjecan strujom postavimo okomito na silnice magnetskog polja, na njega djeluje sila okomita na smjer magnetskog polja i na smjer struje. Silu računamo prema izrazu:

$$F = B I l$$

gdje je:

$F$  sila, N

$B$  magnetska indukcija, T

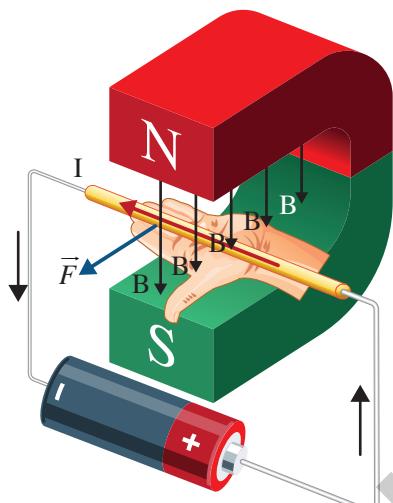
$I$  jakost struje, A

$l$  duljina vodiča u magnetskom polju, m.

Sila na vodič protjecan strujom, koji se nalazi u magnetskom polju, ovisi o magnetskoj indukciji, jakosti struje i duljini vodiča obuhvaćenog magnetskim poljem.

**Napomena****Primjeri magnetske indukcije**

Magnetska indukcija Zemlje je vrlo slaba i iznosi u blizini polova  $0,5 \cdot 10^{-4}$  T, a na ekvatoru  $0,2 \cdot 10^{-4}$  T. Magnetska indukcija stalnih magneta je npr. 1,5 T, elektromagneta do 9 T.



Slika 1.14.

Pravilo lijeve ruke za određivanje sile na vodič

S pomoću sile na vodič u homogenom magnetskom polju definira se magnetska indukcija  $B$ . Mjerna jedinica magnetske indukcije je tesla, oznaka T.

$$B = \frac{F}{Il}$$

Sila je najveća kad je vodič okomit na magnetsko polje. Ako je vodič paralelan sa silnicama magnetskog polja, na vodič ne djeluje sila. Između ovih dvaju položaja, vrijednost sile je između maksimalne vrijednosti i nule.

Smjer sile na vodič određujemo pravilom lijeve ruke (slika 1.14).

Ako je dlan lijeve ruke postavljen tako da silnice ulaze u dlan, a ispruženi prsti pokazuju smjer struje kroz vodič, tada palac pokazuje smjer sile kojom magnetsko polje djeluje na vodič.

Više o magnetskim silama pogledajte u cjelinama od 1.11 do 1.14.

**Primjer 1**

Izračunajte magnetsku indukciju ako na vodič duljine  $l = 15$  cm kojim teče struja  $I = 0,5$  A djeluje sila  $F = 7,5$  mN. Vodič je smješten okomito na magnetsko polje.

**Rješenje**

$$l = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$I = 0,5 \text{ A}$$

$$F = 7,5 \text{ mN} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$B = ?$$

$$B = \frac{F}{Il}$$

$$B = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{0,15 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ A}} = 0,1 \text{ T}$$

**Primjer 2**

Vodič duljine  $l = 20$  cm smješten je okomito u magnetskom polju indukcije  $B = 0,05$  T. Vodičem teče struja  $I = 2$  A. Izračunajte силу na vodič.

**Rješenje**

$$l = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$B = 0,05 \text{ T}$$

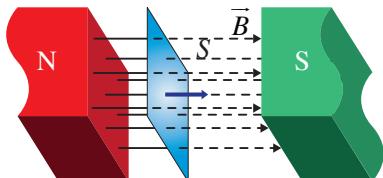
$$I = 2 \text{ A}$$

$$F = ?$$

$$F = BIl$$

$$F = 0,05 \text{ T} \cdot 2 \text{ A} \cdot 0,2 \text{ m} = 0,02 \text{ N}$$

## 1.6. Magnetski tok



**Slika 1.15.**  
Magnetski tok



**Slika 1.16.**  
Wilhelm E. Weber (1804. – 1891.), njemački fizičar. Sljedilica za magnetski tok, veber (Wb), nazvana je u njegovu čast.

**Magnetski tok** kroz neku plohu razmjeran je broju silnica koje prolaze kroz tu plohu.

**Magnetski tok** je fizikalna veličina koja opisuje magnetsku indukciju kroz plohu (slika 1.15).

U jednostavnijem slučaju, kada je magnetsko polje homogeno, i silnice prolaze kroz ravnu plohu okomitu na polje, magnetski tok  $\Phi$  određen je skalarnim produktom magnetske indukcije  $B$  i ploštine plohe  $S$ :

$$\Phi = BS$$

gdje je:

- $\Phi$  magnetski tok, Wb
- $B$  magnetska indukcija, T
- $S$  ploština plohe,  $m^2$

Mjerna jedinica magnetskog toka je voltsekunda (Vs), a nazivamo je veber (Wb), pri čemu vrijedi:

$$Wb = T \cdot m^2 = Vs$$

**Magnetska indukcija** je (površinska) **gustoća magnetskog toka** odnosno broj magnetskih silnica u jedinici površine okomite na silnice.

Magnetsko polje može biti homogeno i nehomogeno.

U svakoj točki **homogenog magnetskog polja** magnetska indukcija jednak je po iznosu i po smjeru.

U **nehomogenom magnetskom polju** magnetska indukcija mijenja se od točke do točke polja.

### Primjer 3

Izračunajte magnetski tok koji prolazi kroz ravnu plohu  $S = 4 \text{ cm}^2$  okomitu na polje ako je magnetska indukcija  $B = 0,5 \text{ T}$ .

#### Rješenje

$$B = 0,5 \text{ T}$$

$$S = 4 \text{ cm}^2$$

$$\Phi = ?$$

$$\Phi = BS$$

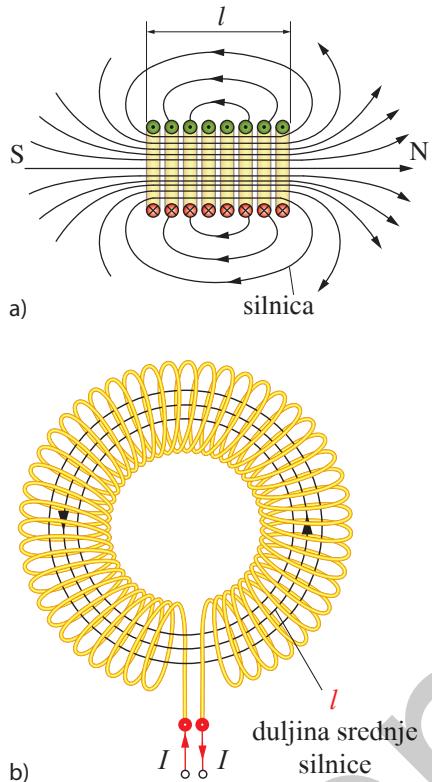
$$\Phi = 0,5 \text{ T} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

**Tablica 1.1.**

Predmetci uz mjernu jedinicu veber

mjerna jedinica	oznaka	značenje
miliveber	mWb	$10^{-3} \text{ Wb}$
mikroveber	$\mu\text{Wb}$	$10^{-6} \text{ Wb}$

## 1.7. Magnetska indukcija zavojnice i jakost magnetskog polja zavojnice



Slika 1.17.

Magnetska indukcija:

a) ravne zavojnice (u presjeku)

b) torusne zavojnice

**Napomena**

Mjerna jedinica za magnetsku permeabilnost

$$1 \frac{\text{volt sekunda}}{\text{amper metar}} = 1 \frac{\text{henri}}{\text{metar}}$$

$$1 \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 1 \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

Mjerenjem je pokazano da magnetska indukcija zavojnice protjecane strujom ovisi o jakosti struje  $I$ , o broju zavoja  $N$  i duljini zavojnice  $l$ . Za ravnu zavojnicu bez jezgre (slika 1.17a), čija je duljina znatno veća od njezina polumjera, vrijednost magnetske indukcije na središnjoj osi zavojnice računa se prema izrazu:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

gdje je:

 $B$  magnetska indukcija, T $N$  broj zavoja $I$  jakost struje, A $l$  duljina zavojnice, m $\mu_0$  permeabilnost vakuma,  $\frac{\text{H}}{\text{m}}$ .

Koeficijent proporcionalnosti  $\mu_0$  naziva se **magnetska permeabilnost** ili **propustljivost vakuma**, čija je mjerna jedinica henri po metru, H/m, a ima konstantnu vrijednost koja iznosi:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}.$$

Pri proračunu magnetske indukcije za zavojnicu koja se nalazi u zraku uzima se permeabilnost vakuma, ( $\mu_0$  približno vrijedi i za zrak).

Na isti se način računa magnetska indukcija torusne zavojnice pri čemu je  $l$  srednji opseg torusa  $l_{sr}$  (slika 1.17b).

Magnetska indukcija zavojnice razmjerna je umnošku broja zavoja i struje, a obrnuto razmjerna duljini zavojnice.

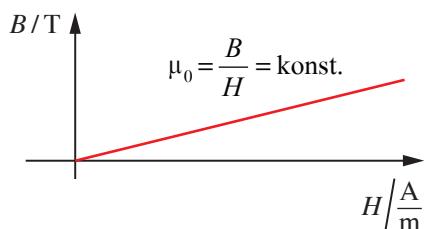
Magnetska indukcija razmjerna je omjeru  $NI/l$  koji ne ovisi o vrsti materijala kroz koji se zatvara magnetsko polje, a naziva se **jakost magnetskog polja  $H$**  zavojnice. Mjerna jedinica je amper po metru, A/m. Jakost magnetskog polja računamo prema izrazu:

$$H = \frac{NI}{l}.$$

Jakost magnetskog polja je fizikalna veličina koja opisuje djelovanje struje pri stvaranju određenog magnetskog polja.

**Napomena**

Mjerna jedinica protjecanja je amper (A), a u praksi se koristi i naziv amperzavoj (Az).

**Slika 1.18.**Odnos  $B$  i  $H$  za zrak

Struja kroz vodič uzbudila je na neki način okolni prostor pa se umnožak  $NI$  naziva **protjecanje** ili **magnetomotorna sila** ili **magnetska uzbuda**. Mjerna jedinica je amper, A. Protjecanje računamo prema izrazu:

$$\Theta = NI.$$

Protjecanje ili magnetomotorna sila ili magnetska uzbuda održava magnetski tok u magnetskom krugu.

Magnetska indukcija razmjerna je jakosti magnetskog polja prema izrazu:

$$B = \mu_0 H.$$

Magnetska indukcija  $B$  i jakost magnetskog polja  $H$  razmijerni su samo u vakuumu, a njihov omjer jednak je permeabilnosti vakuuma (slika 1.18).

S obzirom na to da je magnetska indukcija vektorska veličina, jakost magnetskog polja također je vektorska veličina.

**Primjer 4**

U prstenastoj zavojnici sa  $N = 720$  zavoja i srednjom duljinom silnice  $l = 12$  cm teče struja  $I = 4$  A. Izračunajte: a) magnetsku indukciju, b) protjecanje i c) jakost magnetskog polja.

**Rješenje**

$$N = 720$$

$$l = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$I = 4 \text{ A}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$B = ?$$

$$H = ?$$

a) Magnetska indukcija:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot \frac{720 \cdot 4 \text{ A}}{0,12 \text{ m}} = 0,03 \text{ T.}$$

b) Protjecanje:

$$\Theta = NI = 720 \cdot 4 \text{ A} = 2880 \text{ A.}$$

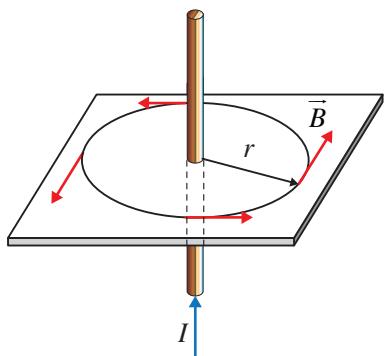
c) Jakost magnetskog polja:

$$H = \frac{NI}{l}$$

$$H = \frac{720 \cdot 4 \text{ A}}{0,12 \text{ m}} = 24\,000 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

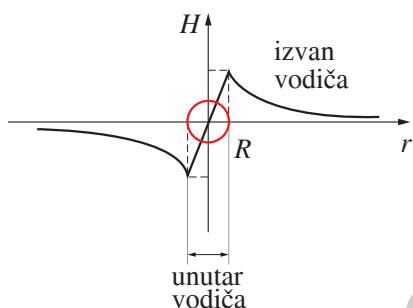
## 1.8.

## Magnetska indukcija ravnog vodiča i jakost magnetskog polja ravnog vodiča



Slika 1.19.

Magnetsko polje ravnog vodiča



Slika 1.20.

Jakost magnetskog polja kružnog vodiča

Mjerenjem je pokazano da magnetska indukcija ravnog vodiča pretecanog strujom ovisi o jakosti struje i udaljenosti od vodiča (slika 1.19). Magnetsku indukciju u točki na udaljenosti  $r$  od vodiča računamo prema izrazu:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$$

gdje je:

 $B$  magnetska indukcija, T $I$  jakost struje, A $r$  udaljenost od središta vodiča, m $\mu_0$  permeabilnost vakuum,  $\frac{H}{m}$ .

Magnetska indukcija ravnog vodiča razmjerna je jakosti struje, a obrnuto razmjerna udaljenosti od vodiča.

Omjer  $I/2\pi r$  ne ovisi o materijalu kroz koji se zatvara magnetsko polje, naziva se **jakost magnetskog polja ravnog vodiča**, a računa se prema izrazu:

$$H = \frac{I}{2\pi r}.$$

Jakost magnetskog polja ravnog vodiča opada s porastom udaljenosti od vodiča, uz konstantnu jakost struje. Magnetsko polje oko ravnog je vodiča **nehomogeno**.

## Primjer 5

Ravnim vodičem teče struja  $I = 2,5$  A. Izračunajte: a) magnetsku indukciju i b) jakost magnetskog polja na udaljenosti  $r = 2,5$  cm od vodiča.

## Rješenje

$$r = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

$$I = 2,5 \text{ A}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$B = ?$$

$$H = ?$$

$$\text{a)} B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$$

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot \frac{2,5 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,025 \text{ m}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

$$\text{b)} H = \frac{I}{2\pi r} = \frac{2,5 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,025 \text{ m}} = 15,9 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Ako je vodič kružni, tada su silnice polja kružnice. To je simetrično polje. Razlikujemo polje unutar vodiča i polje izvan vodiča. Unutar vodiča raste s povećanjem polumjera, a izvan opada (slika 1.20). Polje unutar vodiča nas rijetko kada zanima.