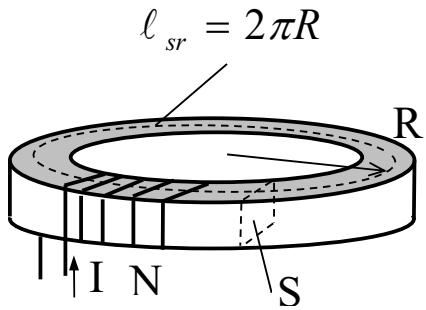


## MAGNETSKA KOLA

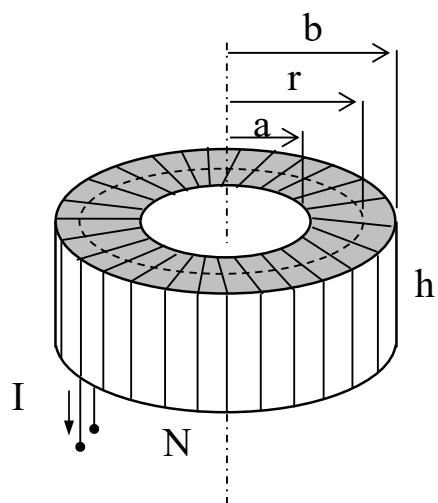
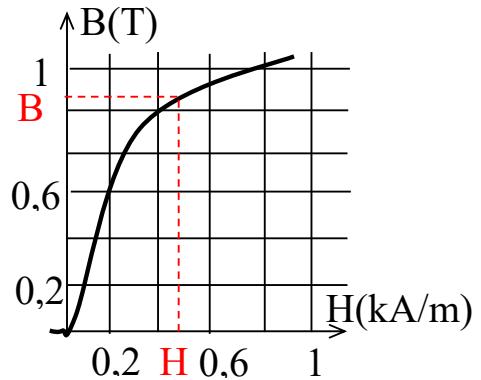
- Pod magnetskim kolom podrazumevamo strukturu načinjenu od feromagnetskog materijala, koja služi za kanalisanje magnetskoga fluksa.
- U praksi se koriste magnetska kola različitog oblika i rešavaju dve grupe problema vezanih za magnetska kola: (a) projektovanje magnetskih kola i (b) proračun već projektovanih magnetskih kola.
- Zbog nelinearnih karakteristika feromagnetskih materijala i projektovanje i proračun magnetskih kola su izuzetno kompleksani zadaci, koji se uvek rešavaju uz uvođenje mnogih aproksimacija i korišćenje empirijskih formula.
- Postoje na desetine debelih priručnika za projektovanje i proračun magnetskih kola koja se koriste u praksi.
- Mi ćemo se zadržati na magnetskom kolima koja imaju jednostavan oblik i koja se mogu smatrati tankim.
- Zašto naziv ''magnetsko kolo''? *Magnetsko kolo = feromagnetsko jezgro + jedan ili više namotaja sa strujom + jedan ili više vazdušnih procepa.*
- ''Prosta'' i ''razgranata'' feromagnetska jezgra.

Da bi pokazali koliko je proračun magnetskih kola složen zadatak, posmatrajmo magnetska kola u obliku tankog i debelog torusa načinena od istog materijala, zadate magnetske karakteristike. Zadate su dimenzije jezgara, broj zavojaka i jačina struje u namotajima oba torusa, a treba odrediti magnetski fluks kroz preseke torusa.



$$H = \frac{NI}{l_{sr}}$$

$$\Phi = BS$$



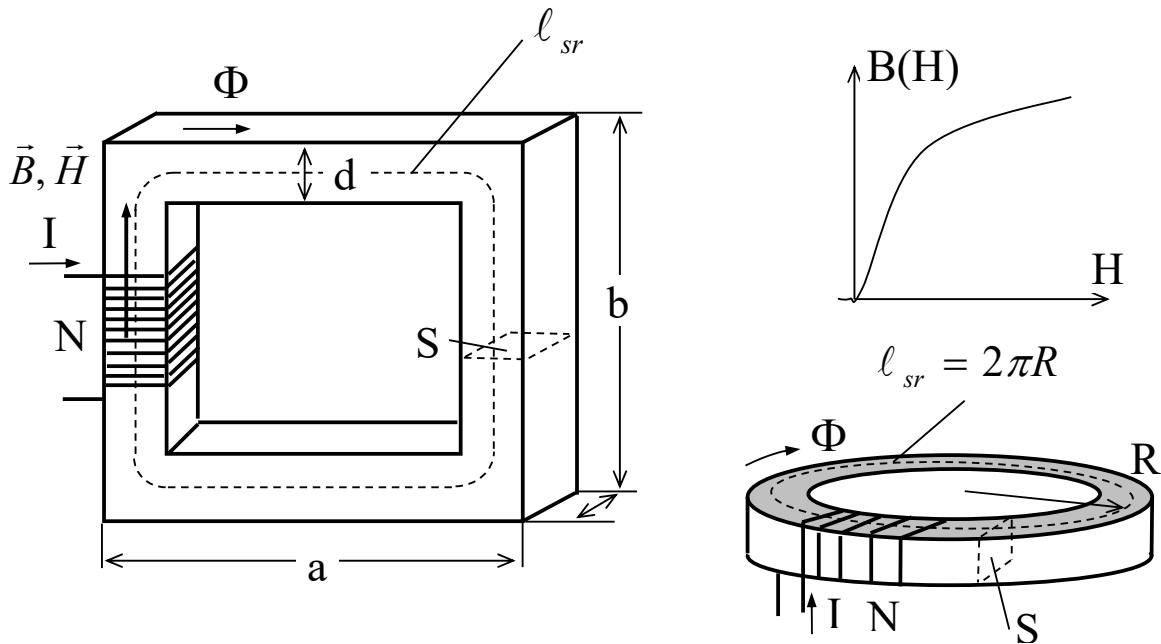
$$H(r) = \frac{NI}{2\pi r}$$

$$B(r) = ?$$

Fluks kroz poprečni presek debelog torusa se može izračunati samo približno, uvođenjem određenih aproksimacija:

- 1) idealizovanjem krive magnetisanja, ili
- 2) deljenjem jezgra na više tankih koaksijalnih torusa, ili
- 3) aproksimiranjem jezgra tankim torusom poluprečnika središnje linije  $R=(a+b)/2$ . Ova aproksimacija daje najmanje tačan rezultat, ali omogućava najjednostavniji proračun. Pokazuje se, međutim, da je za najveći broj praktičnih proračuna ovoa metoda dovoljno tačna. Stoga ćemo je mi koristiti za proračun magnetskih kola.

## PRORAČUN PROSTOG MAGNETSKOG KOLA.



- Zanemarivanje rasipnoga fluksa. Proračun dužine središnje linije.

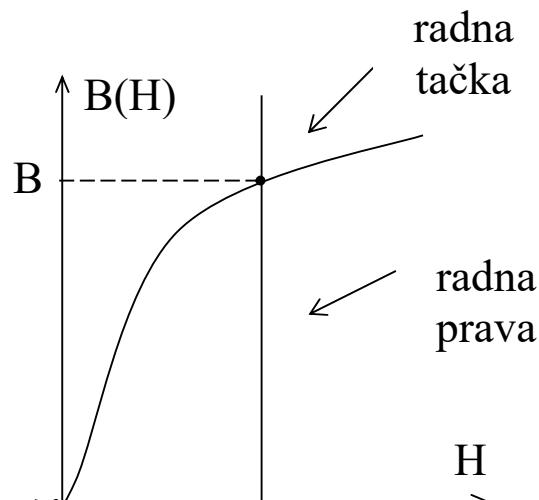
$$\ell_{sr} = 2(a - 2d) + 2(b - 2d) + 4 \frac{d}{2} \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \sum_{kroz C} I \quad \Phi = B \cdot S$$

$$H\ell_{sr} = NI$$

$$H = \frac{NI}{\ell_{sr}}$$

*Jednačina radne prave prostog magnetskog kola.*



$$H = \frac{NI}{\ell_{sr}}$$

- Definisanje reluktanse prostog magnetskog kola. Električno kolo analogno magnetskom kolu.

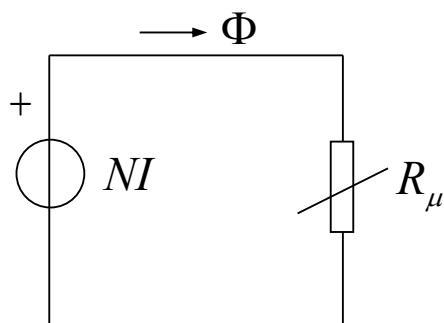
$$\mu = \mu(H)$$

$$H = \frac{B}{\mu(H)} = \frac{\Phi}{\mu(H)S}$$

$$\frac{\ell_{sr}}{\mu(H)S} \Phi = NI$$

$$R_\mu = \frac{1}{\mu(H)} \frac{\ell_{sr}}{S}$$

$R_\mu \rightarrow$  magnetska otpornost ili reluktansa



Nelinearno električno kolo, analogno prostom magnetskom kolu. **NI** se naziva **magnetomotorna** ili **magnetopobudna** sila.

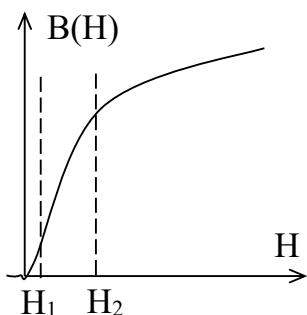
$$R_\mu \Phi = NI$$

Ako **NI** ima vrednost takvu da je ispunjen uslov:

$$NI \rightarrow H_1 < H < H_2$$

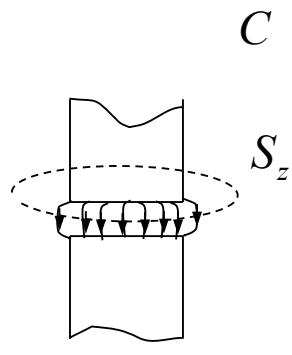
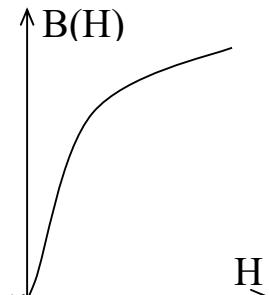
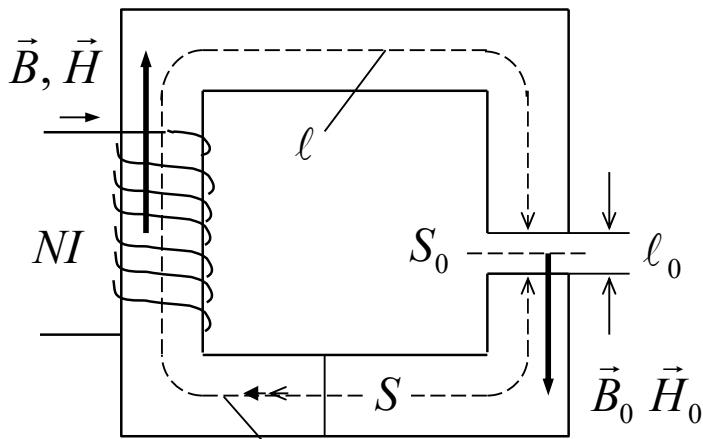
$$\mu(H) = \text{const.} = \mu$$

magnetsko kolo se može rešiti analitički.



## PRORAČUN PROSTOG MAGNETSKOG KOLA SA PROCEPOM

$$\rightarrow \Phi = \text{const.}$$



C

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \sum_{\text{kroz } C} I$$

$$Hl + H_0 l_0 = NI$$

$$\oint_{S_z} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

$$BS = B_0 S_0$$

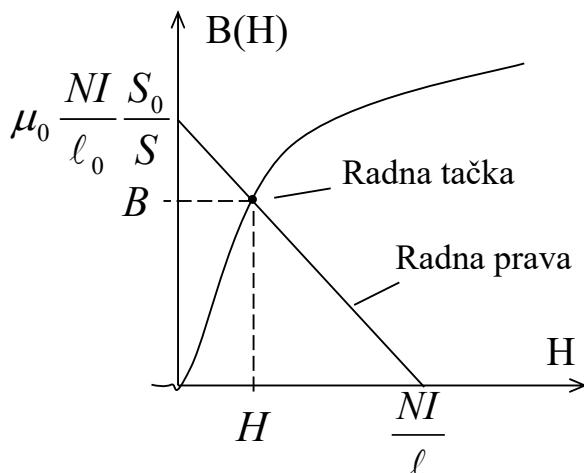
$S_0 \rightarrow$  je efektivni presek vazdušnog procepa kojim se uzima u obzir rasipanje magnetskog fluksa oko procepa.  $S_0 > S$ .  $S_0$  se izračunava se po empirijskim obrascima.

$$B_0 = \frac{S}{S_0} B$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0}$$

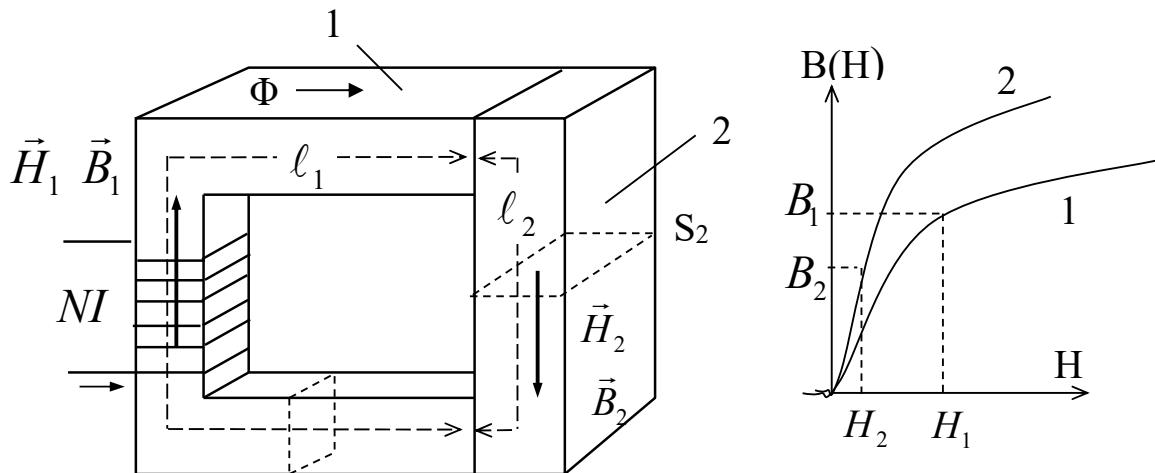
$$Hl + \frac{l_0 S}{\mu_0 S_0} B = NI$$

Jednačina radne prave prostog magnetskog kola sa procepom



Koordinate radne tačke su vrednosti H i B u ferom. mat.

## PROSTO MAGNETSKO KOLO NAČINJENO OD DVA MATERIJALA



- Neka je zadat fluks,  $\Phi$ , i neka se traži NI. Ovaj zadatak je lako rešiti.

$$B_1 S_1 = B_2 S_2 = \Phi$$

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = NI$$

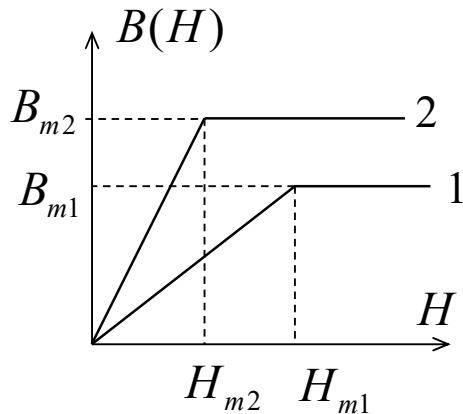
Iz prve jednačine se izračuna  $B_1$  i  $B_2$ . Sa krivih magnetisanja očita se  $H_1$  i  $H_2$ , pa iz druge jednačine izračuna NI.

- Neka je zadato NI, a neka se traži vrednost fluksa kroz kolo. Sada se kolo rešava metodom sukcesivnih aproksimacija (iterativna metoda) – pretpostavi se niz vrednosti  $\Phi_i$  ( $i=1,2,3$ ) i iz jednačina magnetskoga kola izračunaju odgovarajuće vrednosti  $(NI)_i$ . Rezultati se mogu prikazati tabelarno.

$\Phi$	$B_1$	$B_2$	$H_1$	$H_2$	$NI = H_1 l_1 + H_2 l_2$

Na osnovu podataka iz tabele, može se skicirati grafik zavisnosti  $\Phi(NI)$ , pa sa grafika odrediti  $\Phi$  koje odgovara zadatoj pobudi NI.

- Iterativna metoda i metoda idealizovanih krivih magnetisanja.

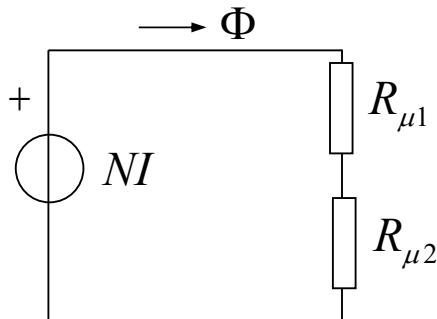


$$B_1(H) = \begin{cases} \mu_1 H & H < H_{m1} \\ B_{m1} & H > H_{m1} \end{cases}$$

$$B_2(H) = \begin{cases} \mu_2 H & H < H_{m2} \\ B_{m2} & H > H_{m2} \end{cases}$$

Grafički i analitički oblik krivih magnetisanja.

Prepostavimo, najpre, da je  $\Phi < B_{m1}S_1$ . Tada se magnetskom kolu može pridružiti analogno električno kolo, odnosno, izračunati reluktanse dva dela kola.



$$R_{\mu 1} = \frac{l_1}{\mu_1 S_1} \quad R_{\mu 2} = \frac{l_2}{\mu_2 S_2}$$

$$\Phi = \frac{NI}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2}}$$

Ako je izračunata vrednost fluksa  $\Phi < B_{m1}S_1$  znači da je prepostavka bila dobra i time smo rešili zadatak. Ukoliko je  $\Phi > B_{m1}S_1$  to znači da je grana jedan u zasićenju i  $B_1 = B_{m1}$ , a ostale vrednosti se izračunaju iz odgovarajućih jednačina.