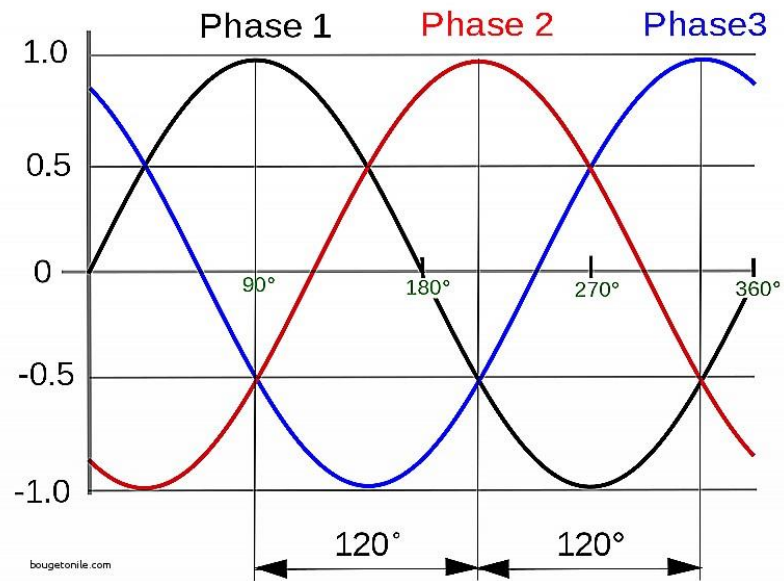
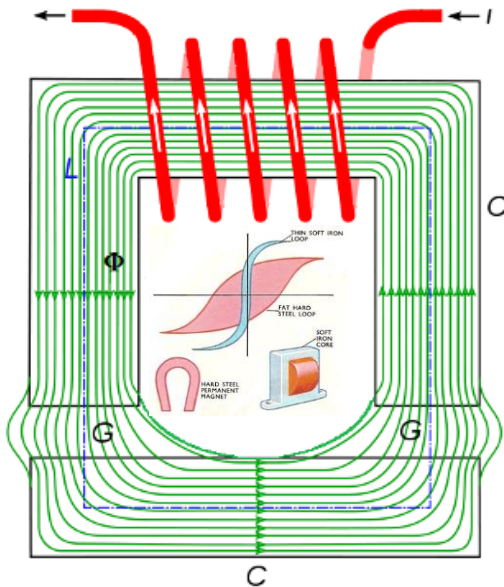


Villamos gépek működése

Mágneses körök alapjai, többfázisú rendszerek



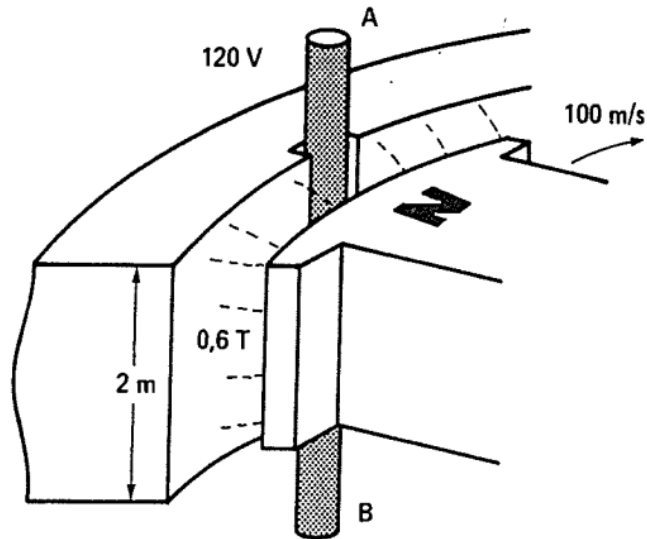
Marcsa Dániel

egyetemi tanársegéd

E-mail: marcsad@sze.hu



Lorentz-erő



$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$(\vec{F} = \vec{I}l \times \vec{B})$$

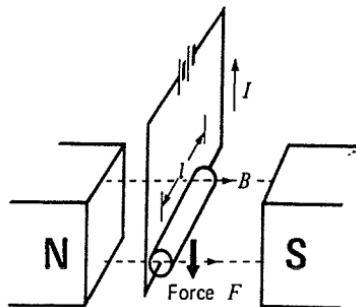
ahol

F - vezetőre ható erő [N]

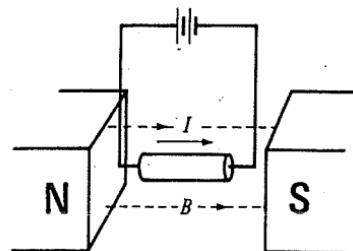
B - mágneses indukció [T]

I - vezetőben folyó áram [A]

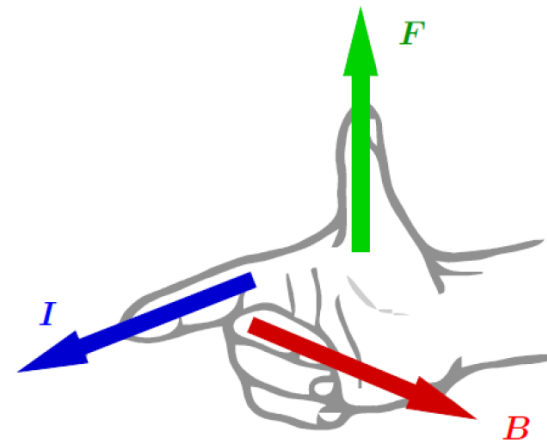
l - vezető aktív hossza [m]



$$F \neq 0 \text{ N}$$

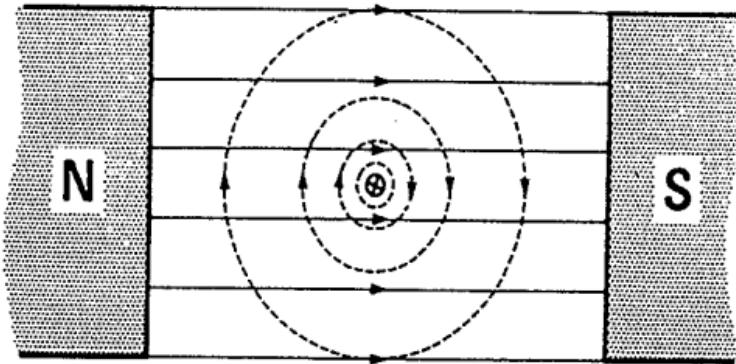


$$F = 0 \text{ N}$$

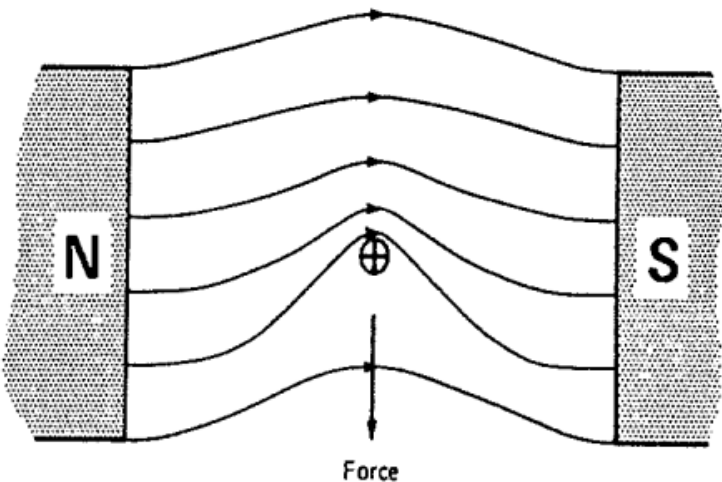


Az erő akkor a legnagyobb, ha a vezető merőleges a mágneses indukcióra, és nulla, ha párhuzamosak.

Az erő iránya

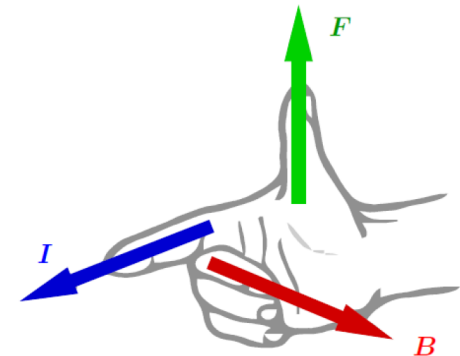


A mágnesek (folytonos) és a vezető (szaggatott) mágneses tere



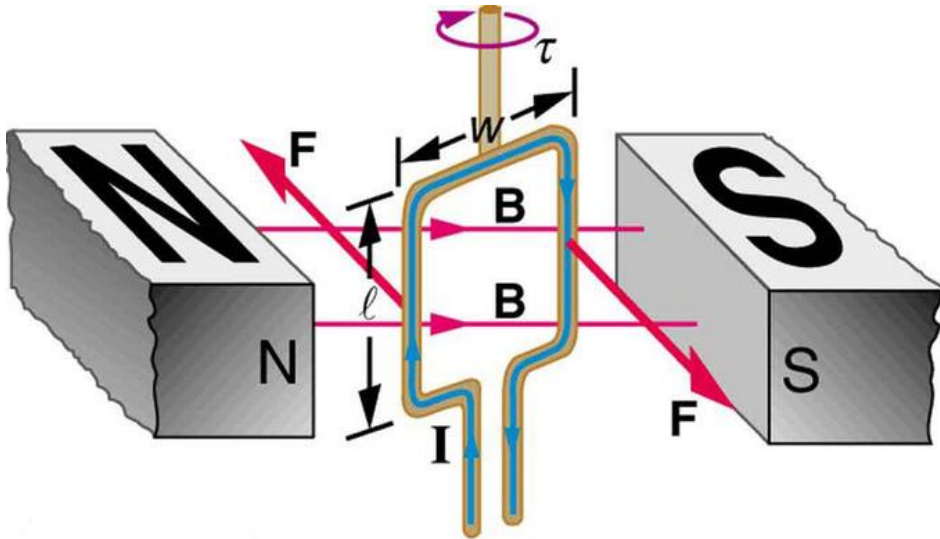
A két mágneses mező eredője

Az erő irányának meghatározására az egyik lehetőség a Lorentz-erőnél látott jobbkéz szabály.



A másik lehetőség, ha az erővonalakat „rugalmas szalagoknak” tekintjük, ami igyekszik visszanyerni nyugalmi hosszát.

Nyomaték



$$M = r \cdot F \cdot \sin\Theta$$

$$(\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F})$$

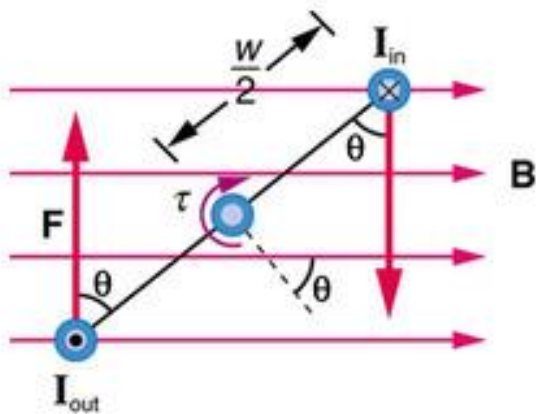
ahol

M - nyomaték [Nm]

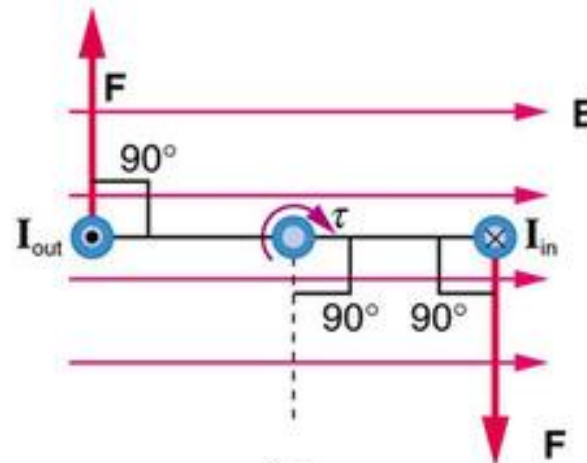
r - erőkar hossza [m]

F - erő [N]

Θ - Erőkar és erő közötti szög



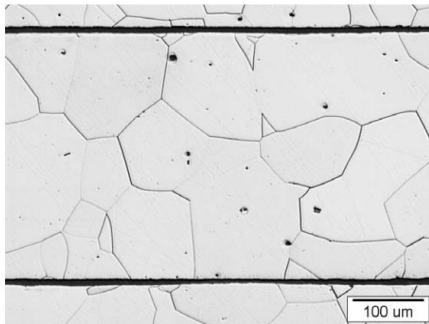
$$\tau = \frac{w}{2} l B \sin \theta$$



$$\tau = \frac{w}{2} l B = \tau_{\max}$$

A ferromágneses anyag

Az mágneses indukció irányításához használt anyagoknak különböző követelményeknek kell megfelelniük mint pl. kellő szilárdság, korrózióállóság, stb. A mágneses tulajdonságok az ötvözőelemekkel befolyásolhatóak. Villamos forgógépekben jellemzően hidegen hengerelt, nem szemcseorientált lapok (nincs kiemelt mágneses irány) használnak. Utólag hőkezelés lehetséges, a lyukasztás/vágás okozta feszültségek csökkentése érdekében.



Cél:

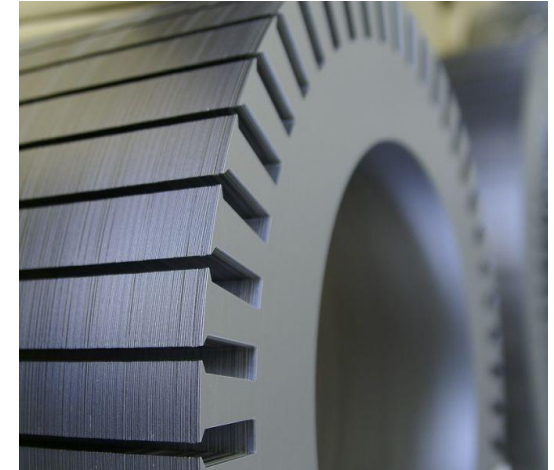
- Nagy mágneses indukció ($B \sim 1,5-2T$) alacsony gerjesztés mellett;
- Kellő szilárdság és kis veszteség (kb. 4% szilícium tartalom az ötvözetben).

A megmunkálási folyamatok (fúrás, csiszolás, vágás, lyukasztás, kikeményítés stb.) jelentősen megváltoztathatják a lágymágneses anyagok tulajdonságait. Nagyobb koercitív térerősség (H_C), szélesebb hiszterézis hurok, veszteség nő.

Dinamólemezt/Elektromos acél

Fő feladatai:

- Irányítja a mágneses fluxust
- Erők átadása



Követelmények:

- Jó mágneses vezetőképesség (nagy permeabilitás)
- Alacsony átmágnesezési veszteségek
- Nagy mechanikai szilárdság
- Jó megmunkálhatóság (lyukasztás, hegesztés)
- Nagy hővezető képesség
- Alacsony költség

A tulajdonságok befolyásolása:

- Ötvözet (FeSi + Al, Co, C, ...)
- Gyártási folyamat (mikrostruktúra)
- Lemezvastagság
- Feldolgozás

Jelölés a DIN EN 10106 szerint

Max. Vasvesztés [W/kg]
 $270/100 = 2,7 \text{ W/kg}$ (1,5T [50Hz])



Mágneses acél \Rightarrow **M270-35A**

Lemezvastagság [mm]
 $35/100 = 0,35 \text{ mm}$

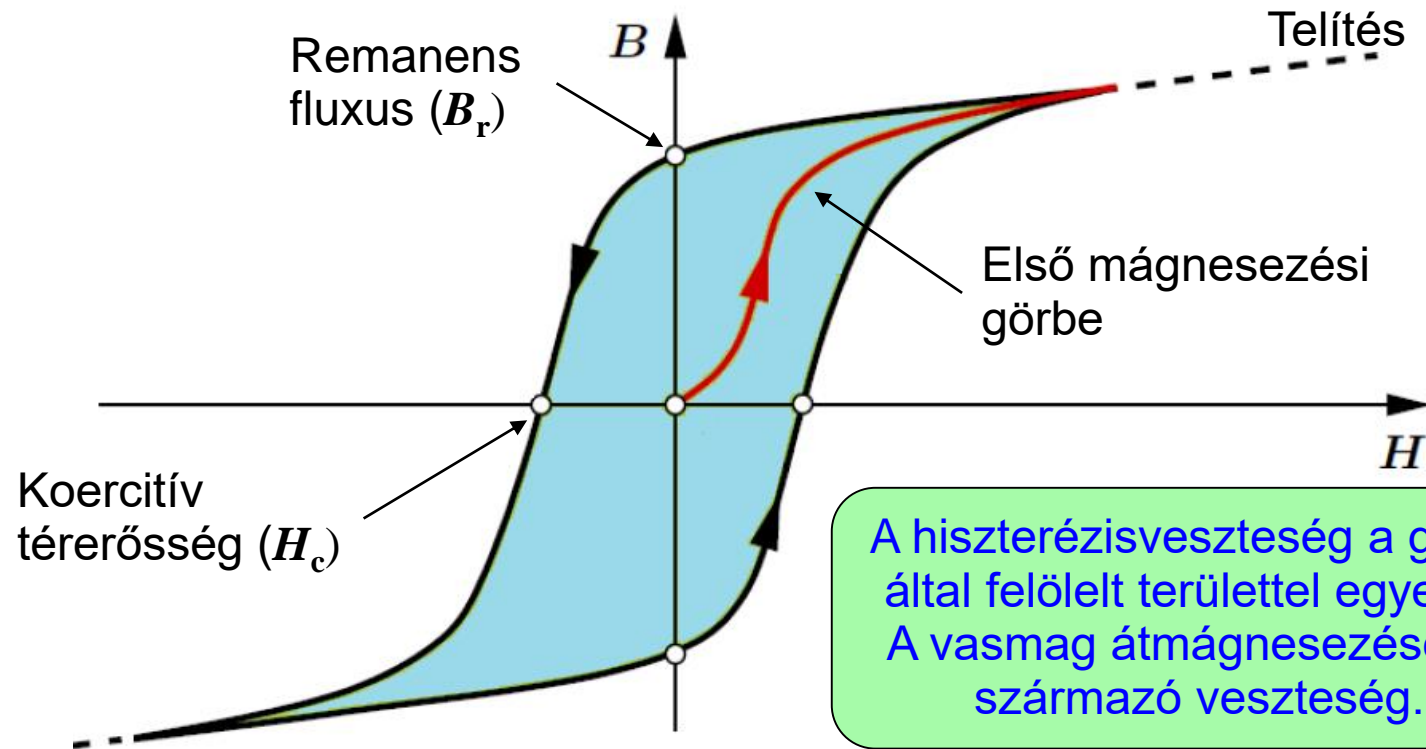
Anyag megjelölés
A: nem szemcseorientált,
véglágyított

Elektromos acél - Példák

Jelölés	Névleges vastagság	Átmágnesezési veszteség		Mágneses indukció		
	[mm]	50Hz / 1,5T [max. W/kg]	50Hz / 1.0T [max. W/kg]	2500A/m [T]	5000A/m [T]	10000A/m [T]
M210-35A	0,35	2,1	0,9	1,49	1,60	1,70
M250-35A	0,35	2,5	1,0	1,49	1,60	1,70
M270-35A	0,35	2,7	1,1	1,49	1,60	1,70
M310-50A	0,50	3,1	1,25	1,49	1,60	1,70
M310-65A	0,65	3,1	1,25	1,49	1,60	1,70
M800-65A	0,65	8,0	3,60	1,49	1,60	1,70

Hiszterézishurok

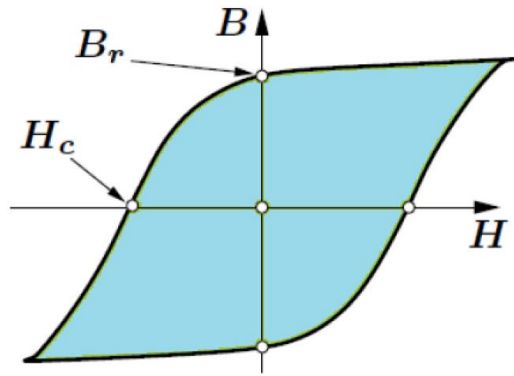
A ferromágneses anyagok erősen **nemlineáris** viselkedést mutatnak.



Steinmetz-egyenlet: $P_h = K_h \cdot B_{\max}^n \cdot f$, ahol $n = 1,5 \dots 2,5$ közötti érték.

Ferromágneses anyagok

Keménymágneses anyagok - $H_c > 10\text{kA/m}$

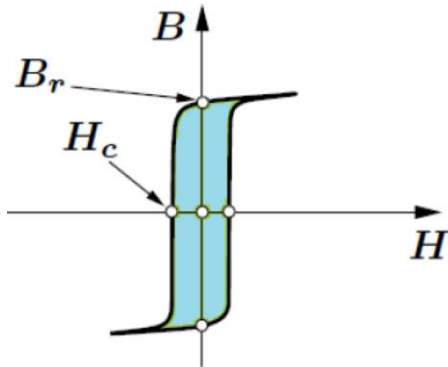


Villamos gépek állandó mágnesese:

- Alumínium-nikkel-kobalt mágnesek (AlNiCo) magas B_r , de alacsony H_c
- Ferritek, mint például bárium (B) vagy stroncium (Sr) ferritnek egyértelműen alacsonyabb B_r , mint az AlNiCo, de megnövekedett H_c ,
- Ritkaföldfém mágnesek, mint például szamárium-kobalt (SmCo) vagy neodímium-vas-bór (NdFeB) nagy B_r és H_c

Minél nagyobb a H_c , annál jobb a mágnes mágnesezettségének megtartása egy villamos gépben.

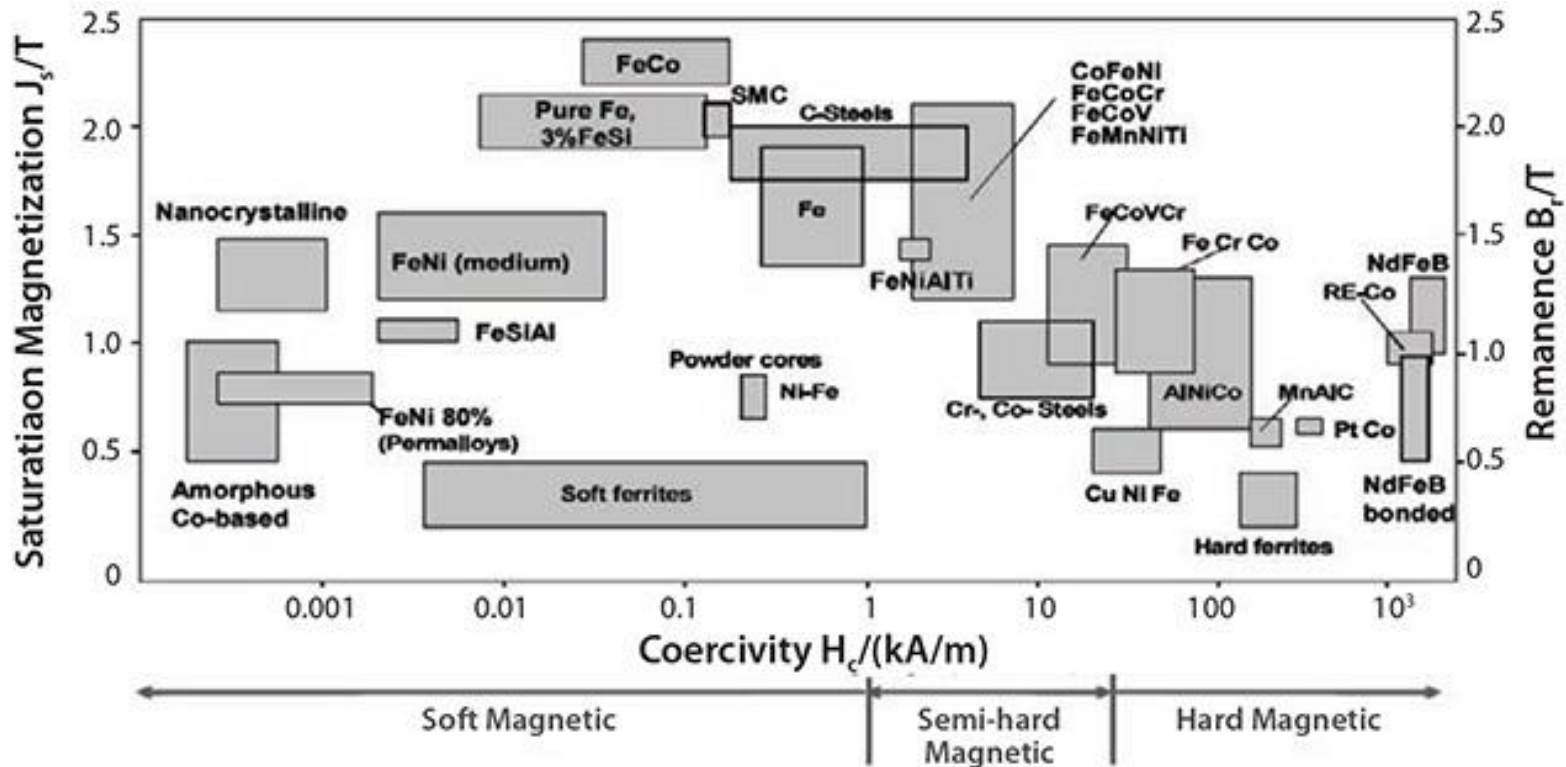
Lágymágneses anyagok - $H_c < 400\text{A/m}$



A mágneses fluxus vezetése:

- Mágneses árnyékolás
- Villamos forgógépek, transzformátorok
 - Lemezelt vasmag

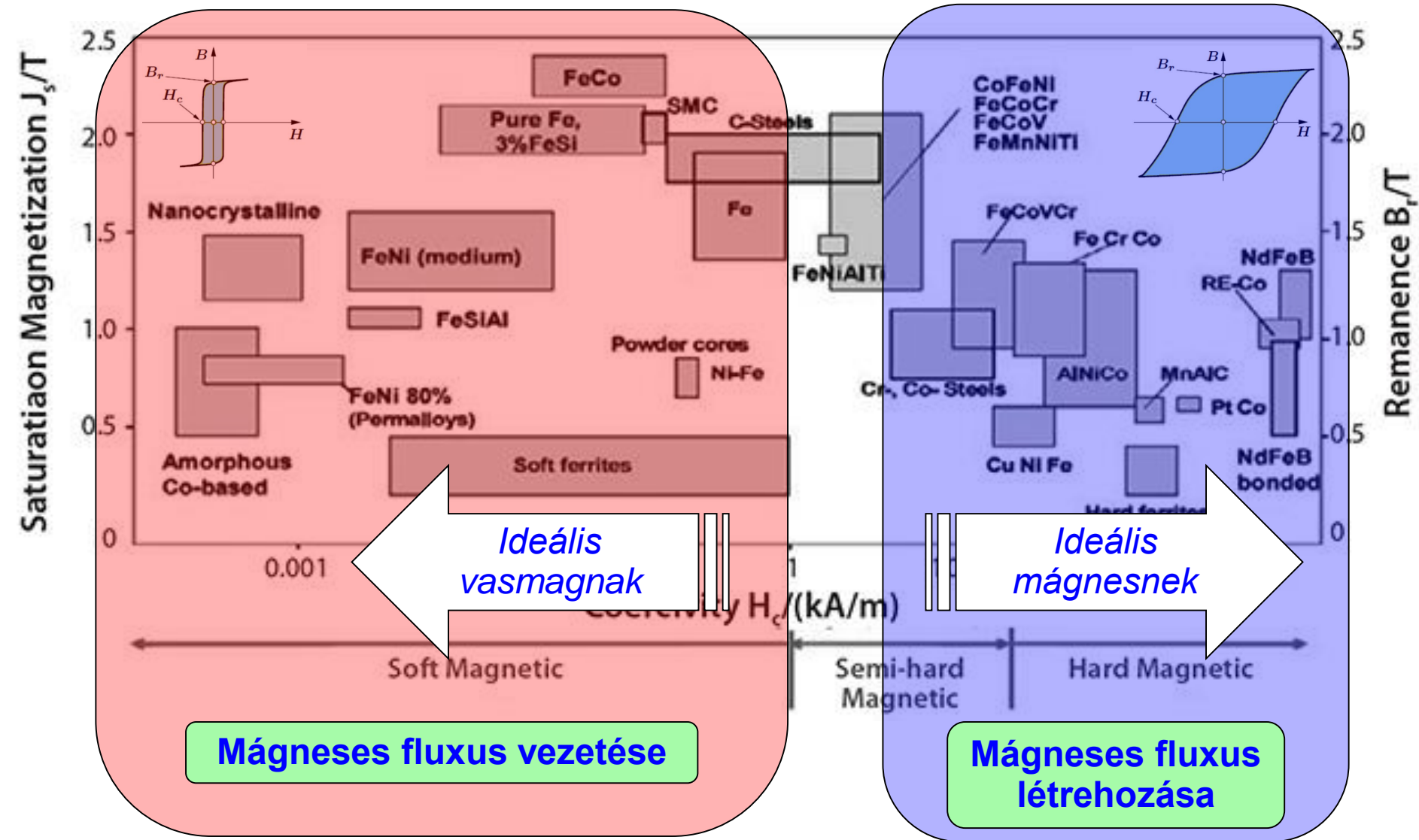
Mágneses körök anyagai



Króm és nikkeltartalom: növeli az anyag szilárdságát és a korrózióállóságot, de növeli a koercitív térerősséget, vagyis a hiszterézisveszteséget.

Szilíciumtartalom: vezetőképesség, fajlagos elektromos ellenállás nő, de a telítési indukció csökken. Emellett megnövekedett anyaghibák és az ebből eredő keménységcsökkenés.

Mágneses körök anyagai



Állandó mágnesek anyaga

Fő feladata:

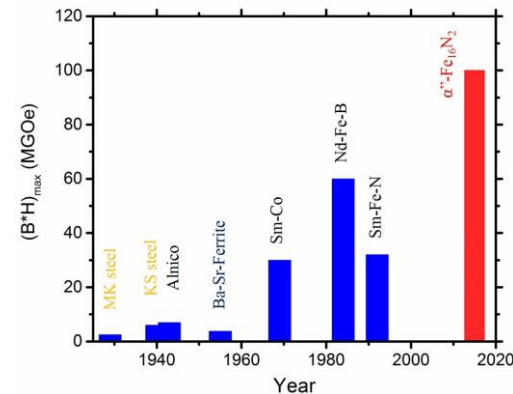
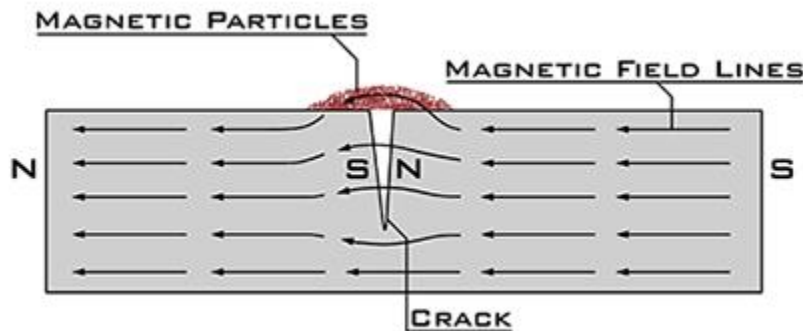
- Mágneses kör gerjesztésének (fluxus) létrehozása

Követelmények:

- Nagy remanens fluxus → nagy forgatónyomaték
- Nagy koercitív térerősség → nincs lemágneseződés (*kiseb az esélye*)
- Alacsony költség

A tulajdonságok befolyásolása:

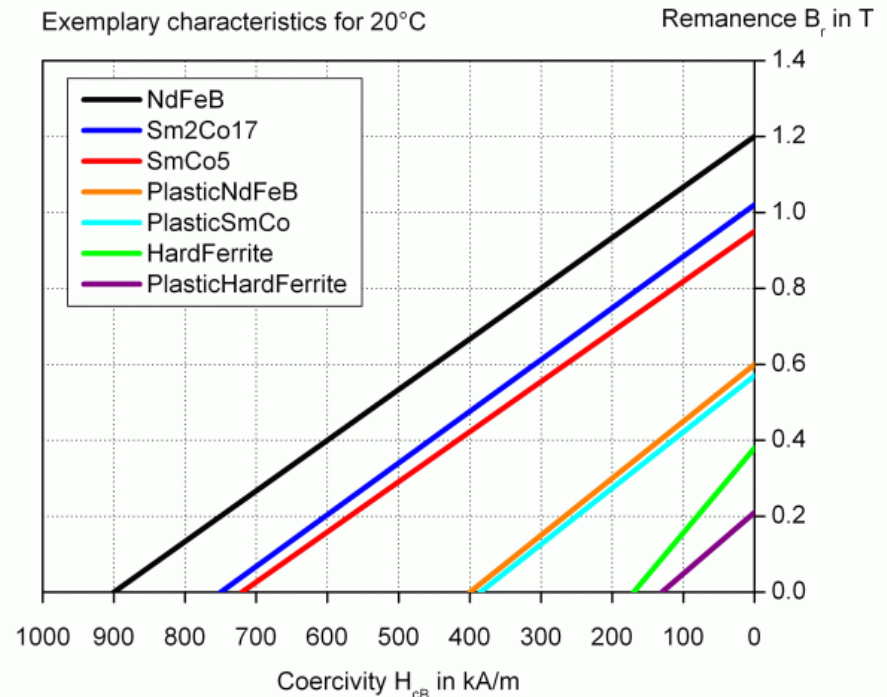
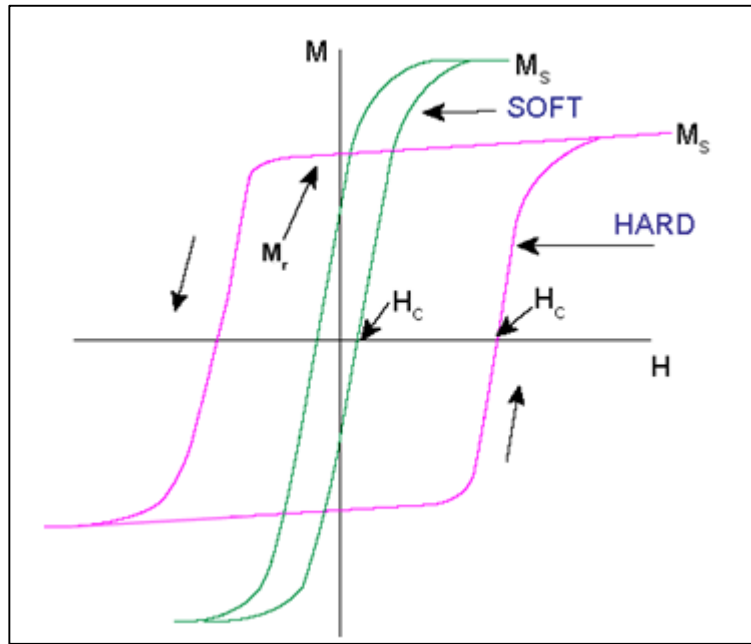
- Ötvözéssel (Nd, Fe, B, Dy, Tb, Sm, Co ...)
- Szegmentálás
 - *Az állandó mágneses tangenciális irányú szegmentálása csökkentette az örvényáramokat az egymástól elszigetelt mágnesszegmensekben és így hatékonyan csökkenthető a forgórész teljesítményvesztése.*



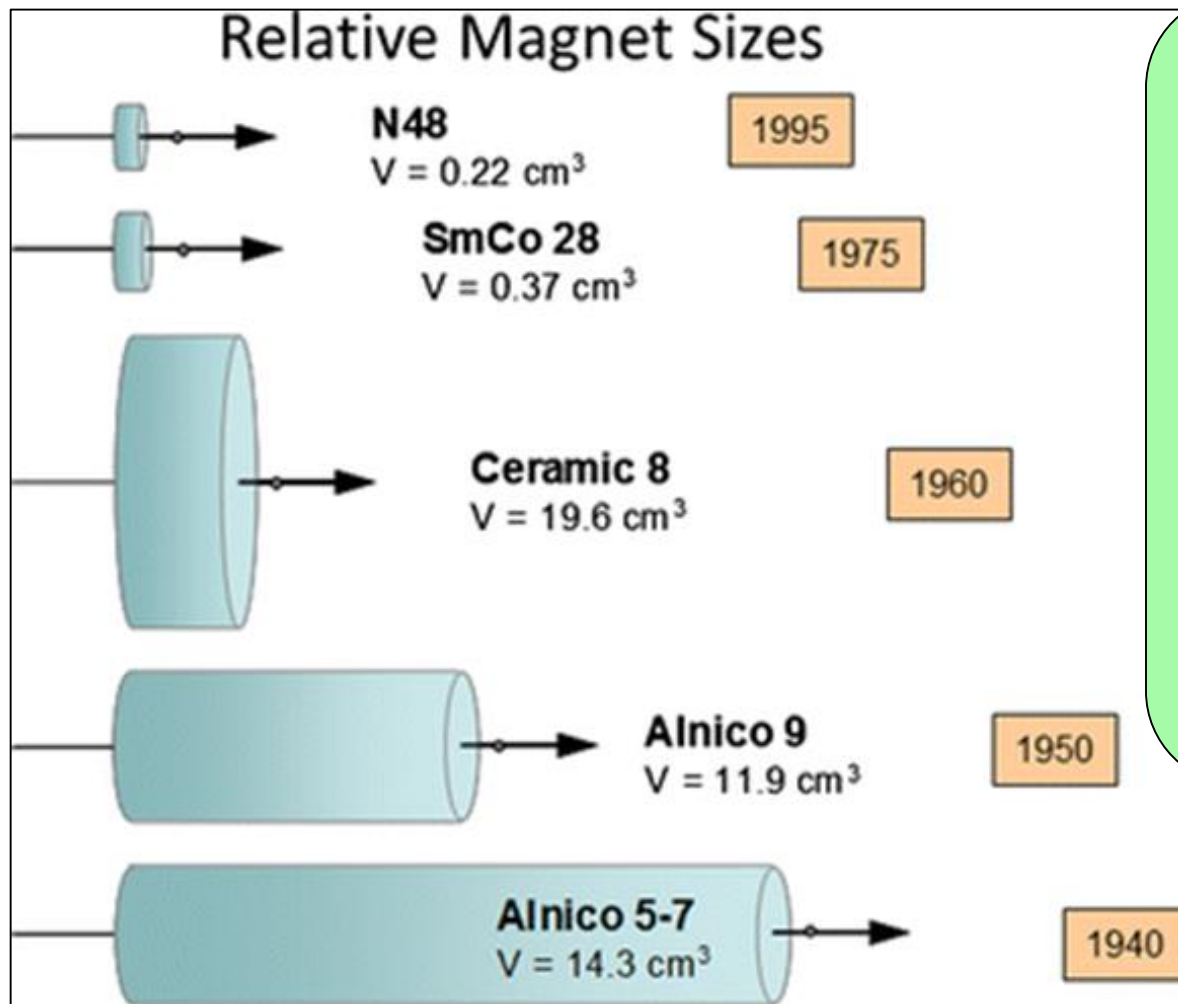
Állandó mágnes

A lehető legnagyobb mágneses fluxus létrehozása a keménymágneses anyagok használatának célja.

Az állandó mágneses anyagokat főleg a lemágnesezési görbével jellemzik. A $B=f(H)$ -karakterisztika második ténnyedbe eső része, amiből maximális energiasűrűség BH_{\max} meghatározható kJ/m^3 egységben.



Állandó mágnes

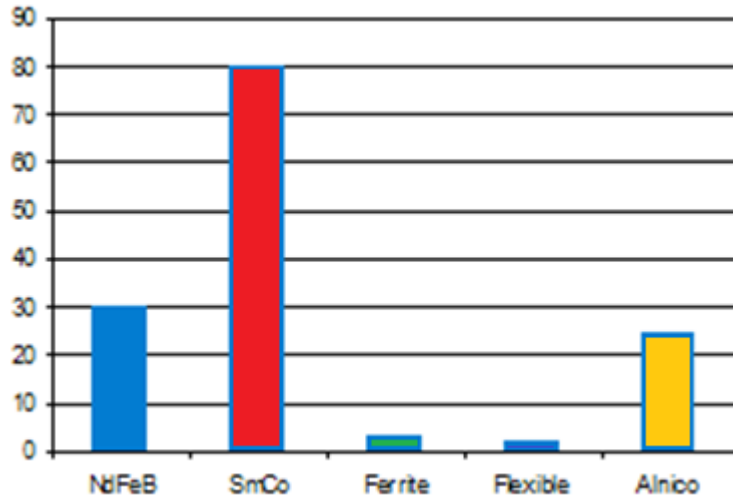


A mágneseknél a cél a minél kisebb térfogattal elérni a gerjesztést. A mágnesek fejlődésénél is ez figyelhető meg. Egységnyi fluxushoz közel hetvened részére csökkent a mágnes mérete.

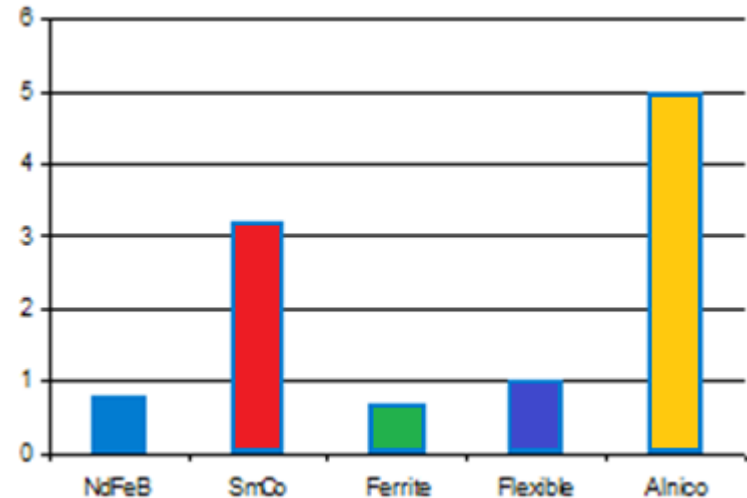
De mágnes B_r és H_c értéke mellett sok egyéb tulajdonságot is figyelembe kell venni a mágnes kiválasztásánál.

Állandó mágnesek

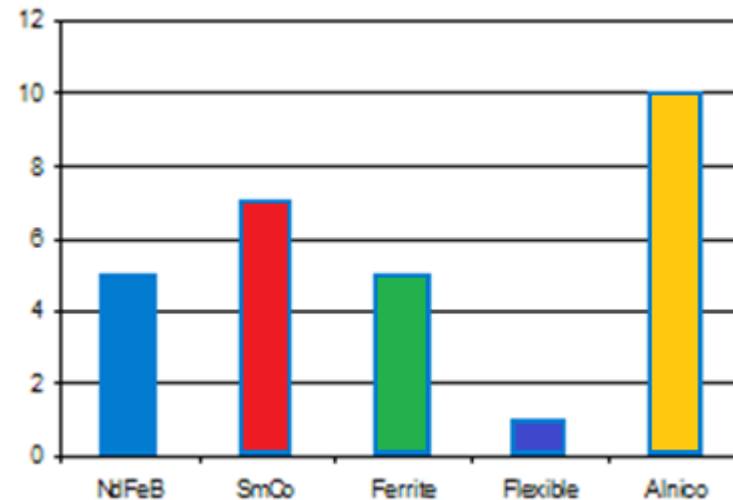
Tömeg ár arány



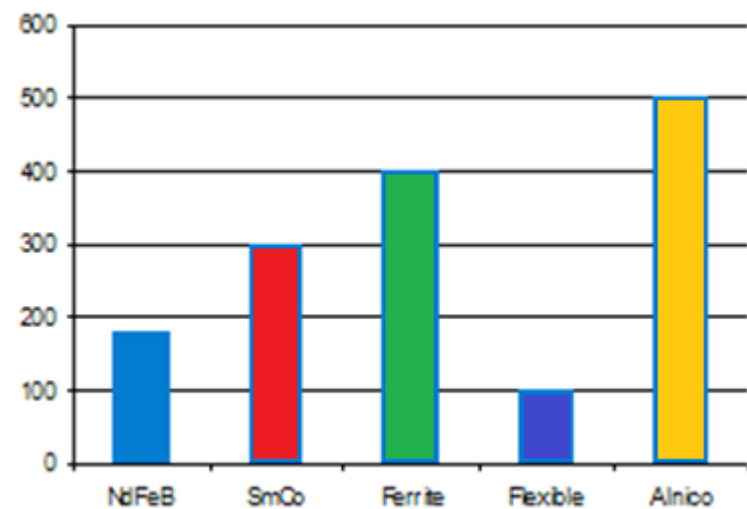
Tömeg BH_{max} arány



Megmunkálhatóság

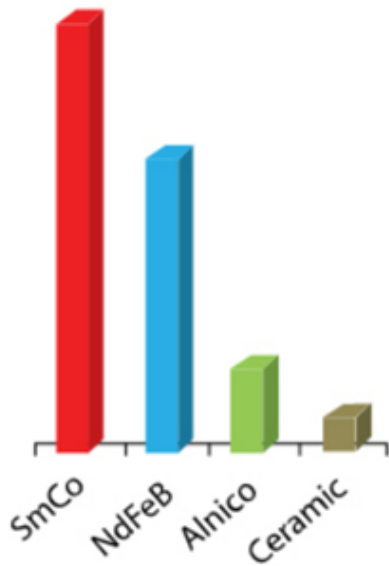


Max. hőmérséklet [$^{\circ}$ C]

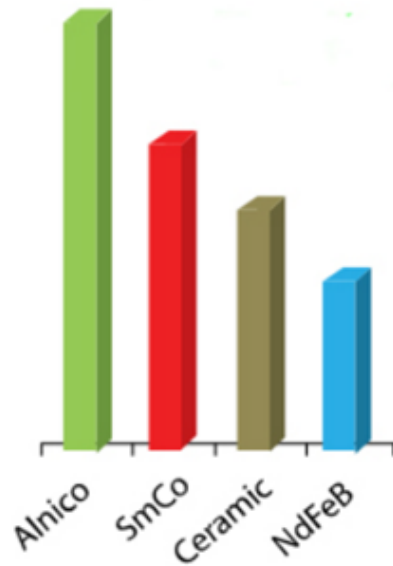


Állandó mágnesek

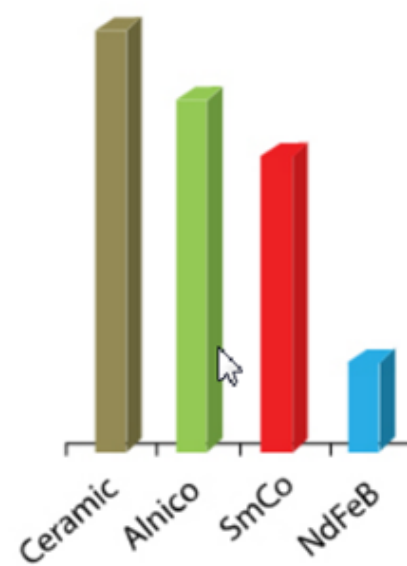
Magnet Cost



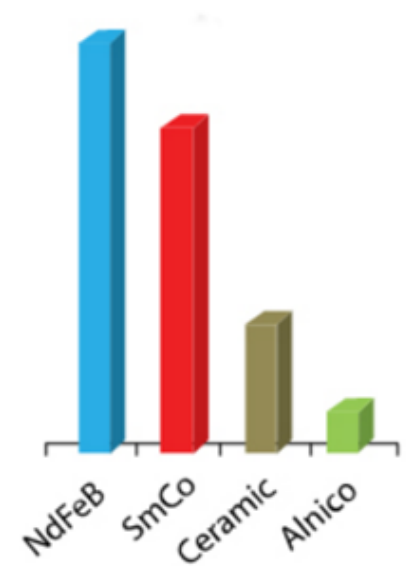
Operating Temperature



Corrosion Resistance



Magnet Strength



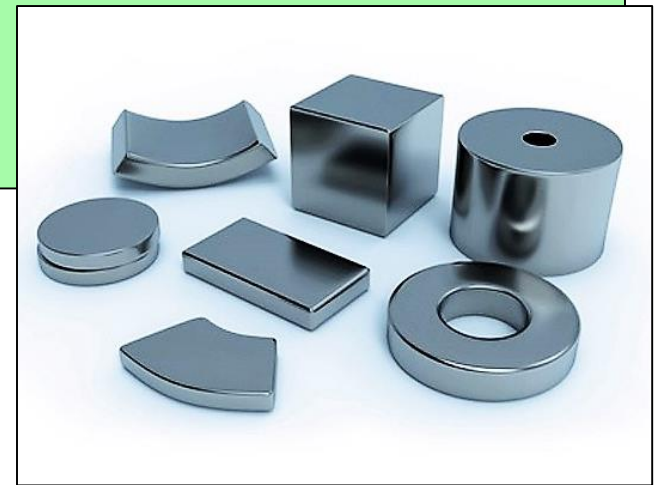
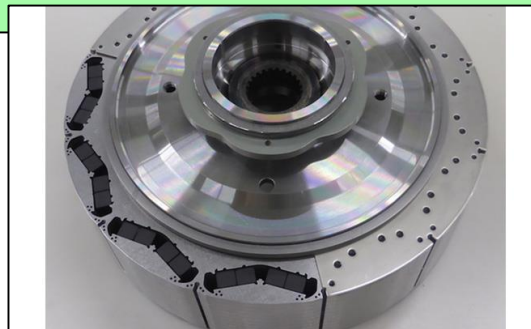
Négy különböző mágnes összehasonlítása az ár, a maximálisan megengedett hőmérséklet, a korrózióállóság és a mágnes erősségén keresztül.

A mágnes megválasztása során „optimalizálni” kell a szempontok, alkalmazás és források alapján.

Neodímium vas bór (NdFeB)

Fő jellemzők:

- A kereskedelmi forgalomban kapható mágneses anyagok közül a legerősebb (legmagasabb energia) kategóriája
- Nagy B_r , viszonylag magas H_c , magas BH_{\max}
- Alacsonyabb költség, mint a szamárium kobalt mágneseknek
- Hőmérséklet érzékeny
- Oxidációra érzékeny
- Gondos tervezéssel néhány kategória akár 200°C-on (392°F) is képes üzemelni
- Az energiája 10MGOe és 53MGOe között van
- Relatív költség Index (súly szerint): 40

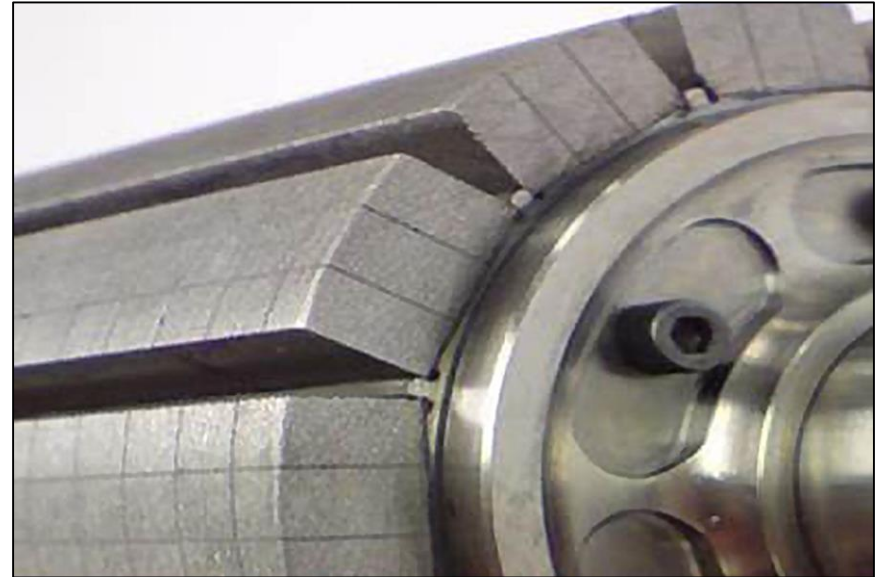
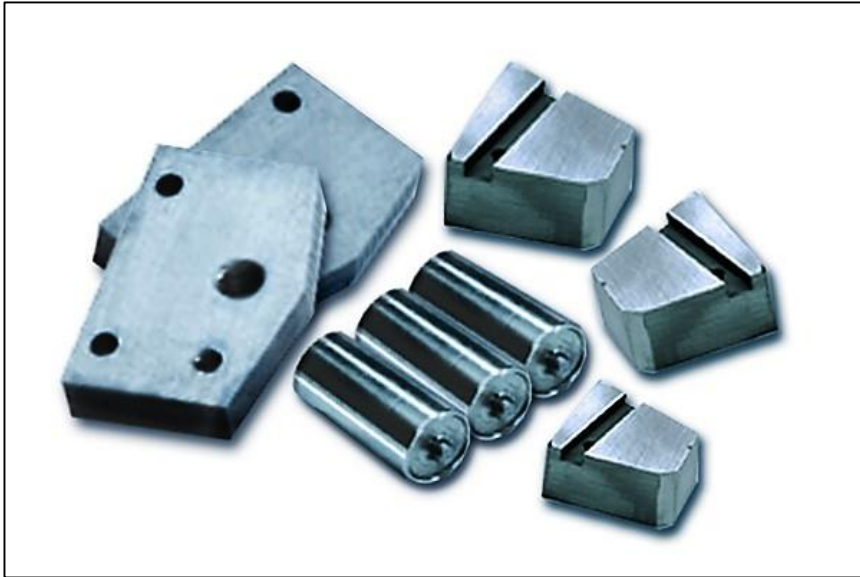


$$1\text{MGOe (MegaGaussOersted)} = \frac{10^5 \text{ TA}}{4\pi \text{ m}} \left(\frac{\text{TeslaAmper}}{\text{méter}} \right) \approx 7957,74 \frac{\text{TA}}{\text{m}}$$

Szamárium kobalt (SmCo)

Fő jellemzők:

- Nagy B_r , nagy H_c , viszonylag magas BH_{\max}
- Magasabb a költsége, mint a NdFeB mágneseknek
- Jól ellenáll az oxidációnak
- Oxidációra érzékeny
- Legtöbb kategória 300°C-ig (572°F) jól működik
- Az energiája 18MGOe és 33MGOe között van
- Relatív költség Index (súly szerint): 60



Alumínium nikkel kobalt (AlNiCo)

Fő jellemzők:

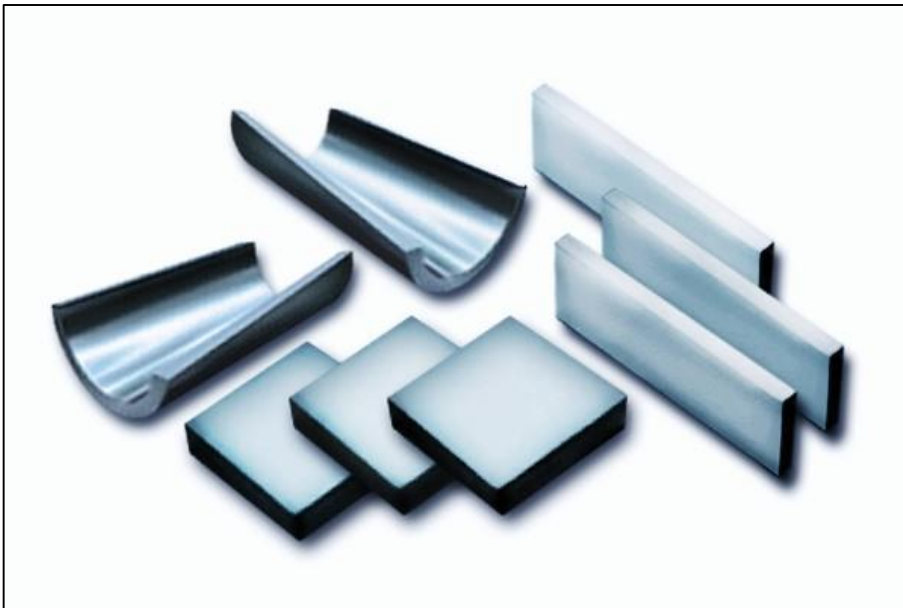
- Nagy B_r , alacsony H_c , a BH_{\max} 5MGOe tartományba
- A hőmérsékletváltozásra legérzékenyebb mágnes
- 500°C-ig (932°F) nincs jelentős változás a működésében
- Viszonylag könnyű lemágnesezni
- Nagyon jól ellenáll az oxidációnak
- Az energiája 1,4MGOe és 7,5MGOe között van
- Relatív költség Index (súly szerint): 25



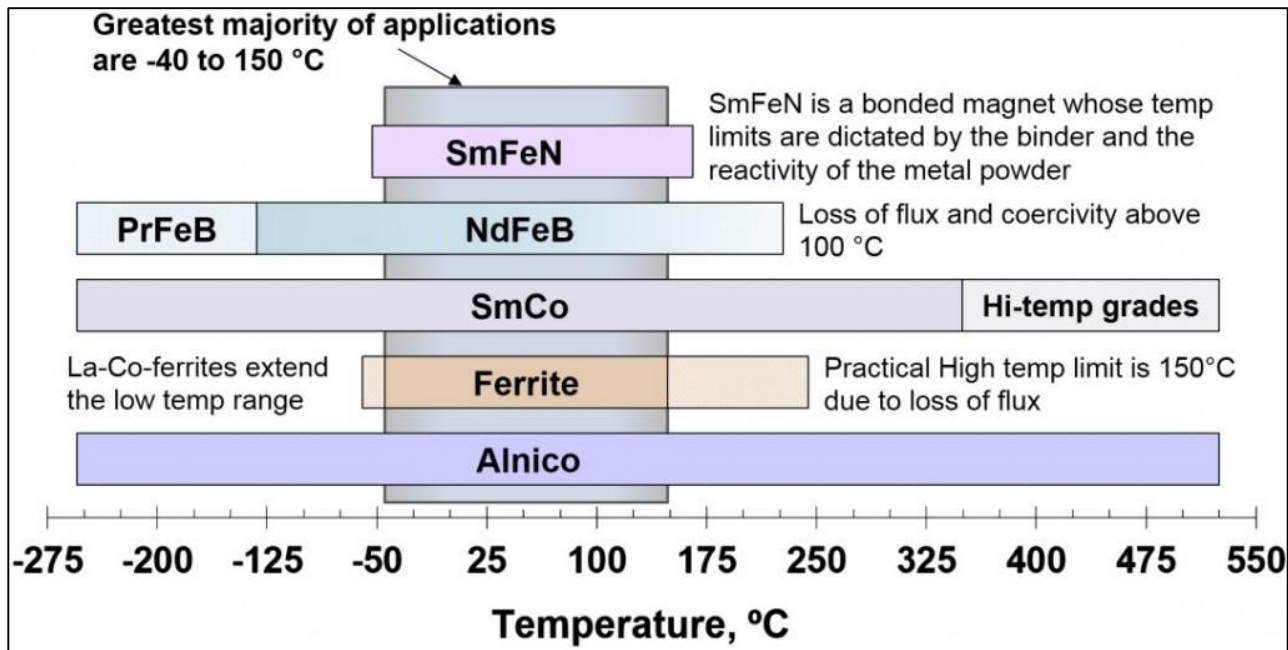
Kerámia mágnesek (Ferritek)

Fő jellemzők:

- Bárium ferrit ($\text{BaO} \times 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) vagy stroncium ferrit ($\text{SrO} \times 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)
- Viszonylag nehezen lemágnesezhető
- Legtöbb kategória 400°C -ig (752°F) jól működik
- Nagy az ellenállása, ezért kis örvényáramveszteség
- Az energiája $1,1\text{MGOe}$ és $4,5\text{MGOe}$ között van
- Relatív költség Index (súly szerint): 1.5



Hőmérsékletfüggés



A legtöbb állandó mágnesnek jelentős a hőmérsékletfüggése.

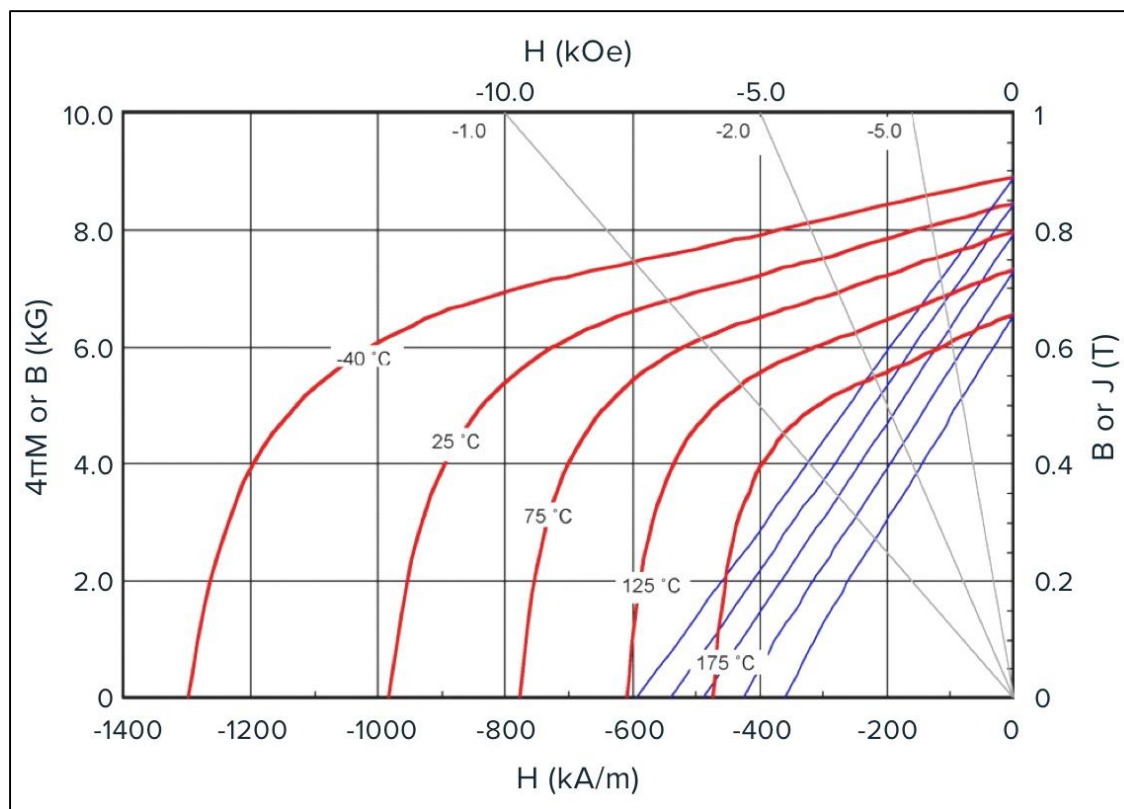
Villamos gépnél problémát jelent a mágnesre:

- A légrés változása;
- A mágnesben kialakuló veszteség (örvényáram);
- Hőmérsékletváltozás;
- Zárlat;

amelyek előidézhetik a mágnesszettség részleges (vagy teljes) elvesztését.

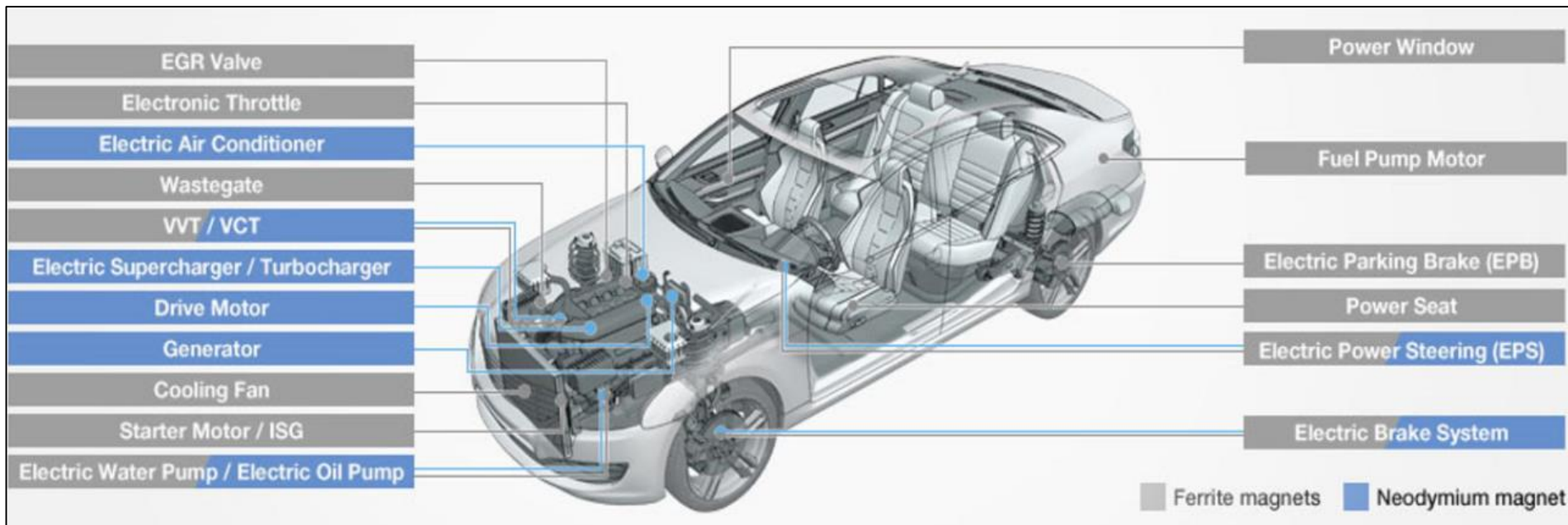
Hőmérsékletfüggés

Az állandó mágnes kiválasztásánál a hőmérsékletfüggés miatt fontos figyelembe venni a névleges /maximális terhelésen üzemelő motor hőmérsékletéhez tartozó jelleggörbét.



Az állandó mágnesnek a működése során nem szabad a „könyökpontot” elérni, az alá mennie, mert visszafordíthatatlan lesz a lemágneseződés. A lemágneseződés a kellően nagy koercitív térerősséggel elkerülhető, azonban a remanens fluxus (B_r) és a koercitív térerősség (H_c) értéke függ a hőmérséklettől.

Járműben használt mágnesek



A járművekben található kis, jellemzően állandó mágneses egyenáramú motorok vagy beavatkozók (aktuátorok) és érzékelők (szenzorok) miatt nagyon sok mágneset alkalmaznak.

Állandó mágnes mágnesezése

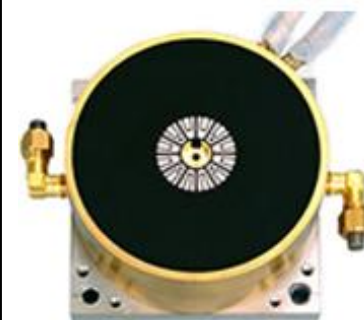
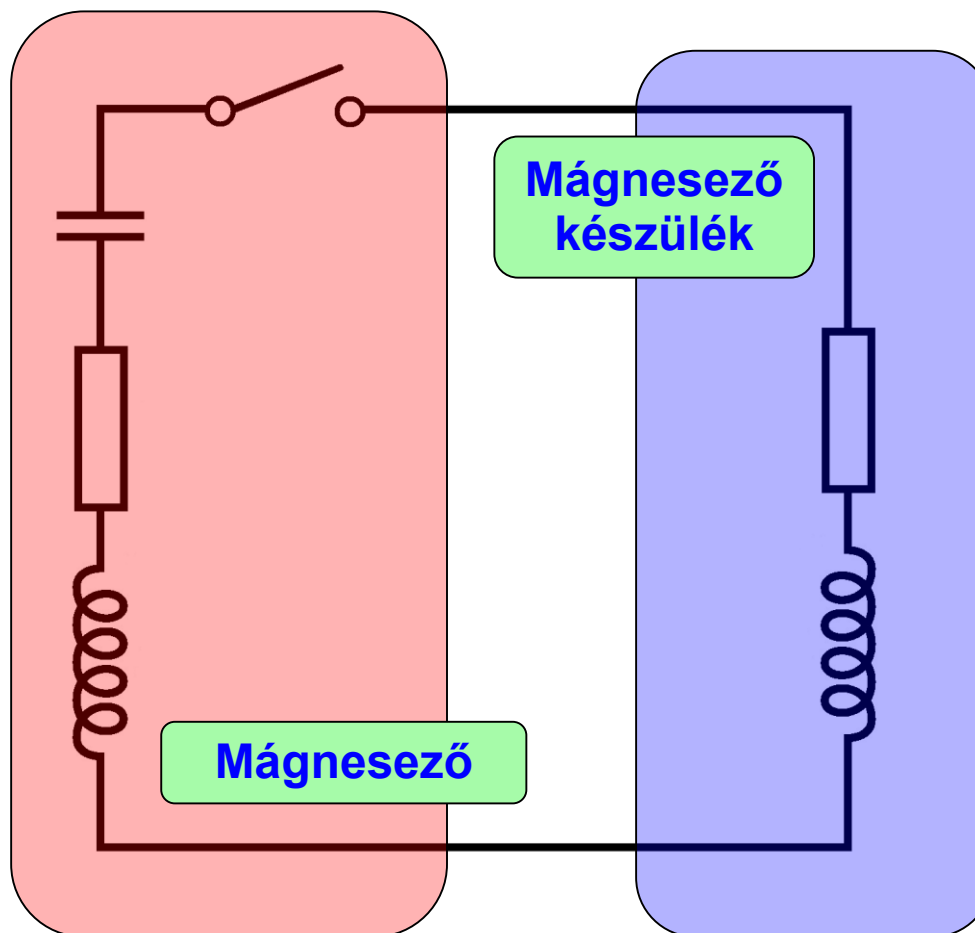
A mágnesező jellemzően két fő részből áll, egy mágnesezőből, és a mágnesező készülékből. A mágnesező áramkör általában univerzálisan alkalmazható, azonban a tekercselés az alkalmazásokra szabottan különböző.

A mágnesezés elvégezhető a gyártási folyamat számos pontján, mint mágnes önmagában, nagyobb mágneses részegység vagy a teljes eszköz mágnesezése.

A mágnesező tekercs lehet egy egyszerű szolenoid is, de sok esetben nagyon bonyolult tekercsrendszert jelent. A legjobb mágnesezés érdekében, a mágnesező tervezésénél figyelembe kell venni a mágnesezendő eszközt.

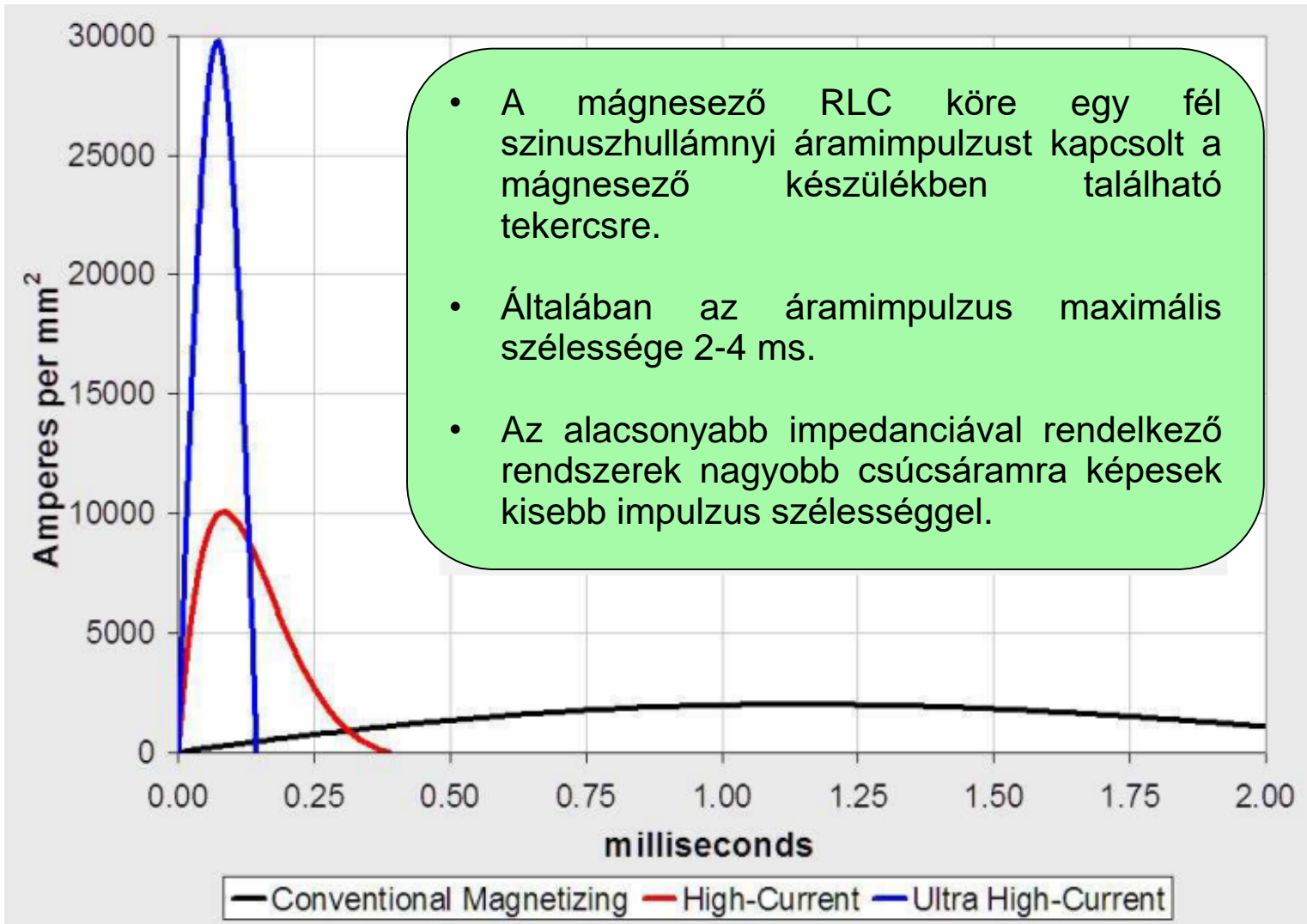


Mágnesező berendezés

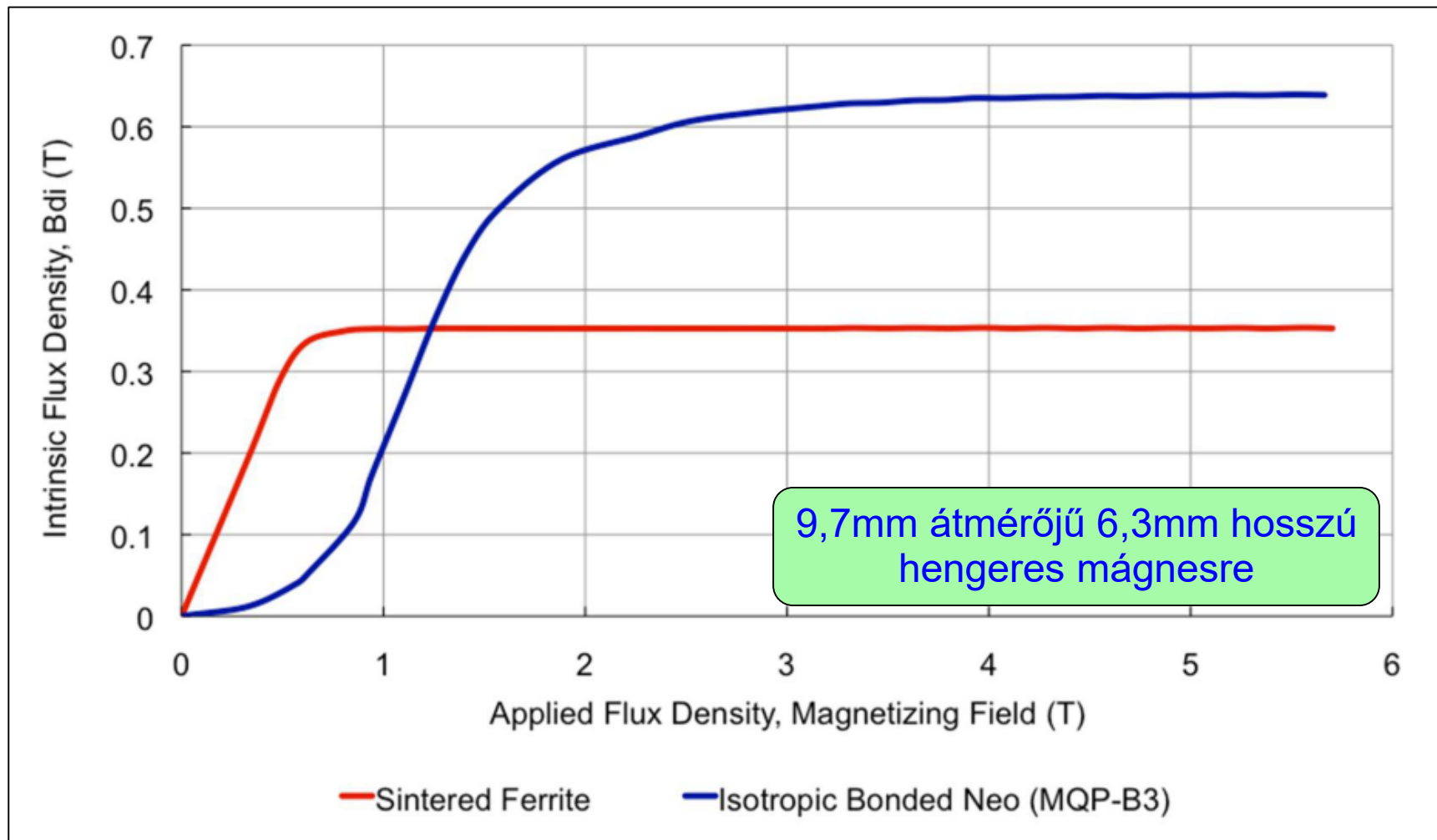


Amikor a mágnesező készüléket összekapcsoljuk a mágnesezővel egy soros RLC kört alkotnak.

Mágnesező árama

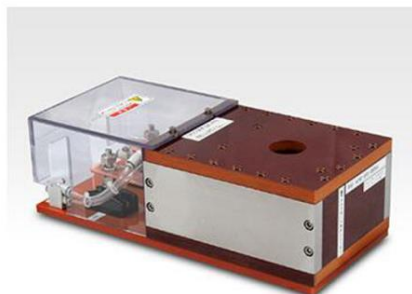
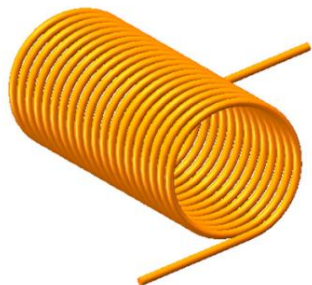


Mágnesezéshez szükséges B



Mágnesező készülékek

SDM MAGNETICS

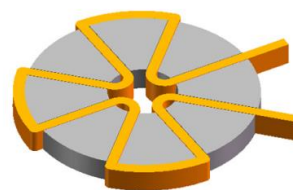
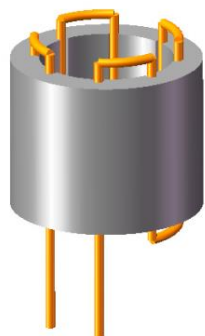


SDM MAGNETICS



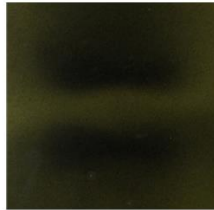
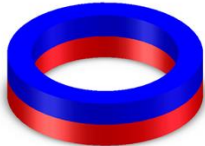
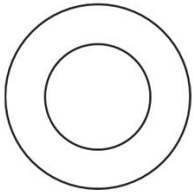
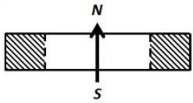
SDM MAGNETICS

SDM MAGNETICS

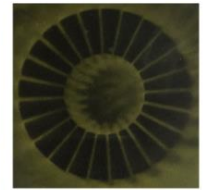
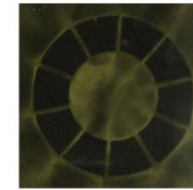
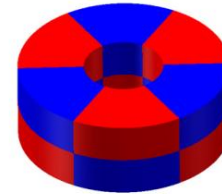
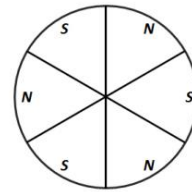
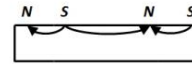


Mágnesezési módok

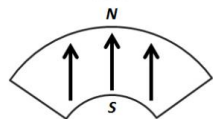
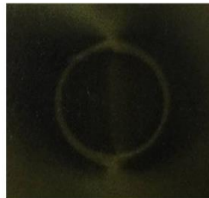
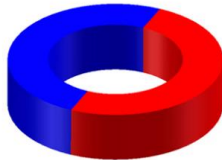
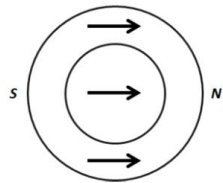
SDM MAGNETICS



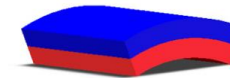
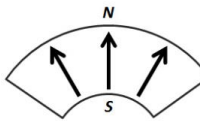
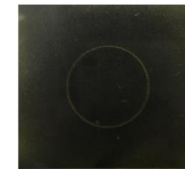
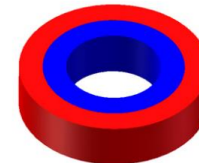
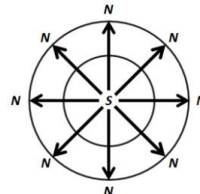
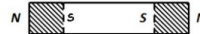
SDM MAGNETICS



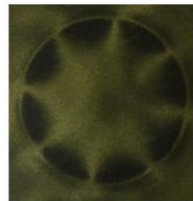
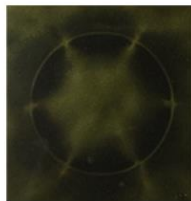
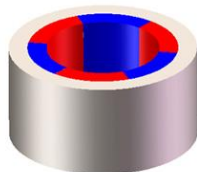
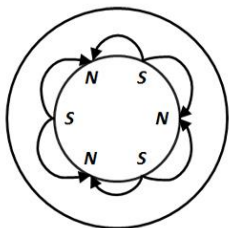
SDM MAGNETICS



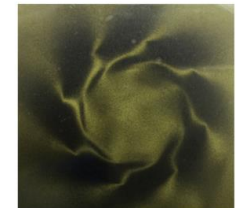
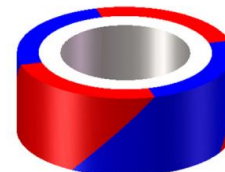
SDM MAGNETICS



SDM MAGNETICS



SDM MAGNETICS



Villamos gépek működése



Kérdések

Köszönöm a figyelmet!

marcsad@sze.hu