



## Mágneses hűtés szobahőmérsékleten

*Már 1881-ben kimutatta E. Warburg német fizikus, hogy bizonyos anyagok felmelegednek, ha mágneses térbe helyezik őket, illetve lehűlnek, ha megszűnik a mágneses hatás. Korábban a gyakorlatban a mélyhűtéses technikában használták a jelenséget, nem túl kiterjedt módon. Az 1980-as években rájöttek a kutatók, hogy egyes gadolínium- és mangánötvözetek szobahőmérsékleten is erőteljes magnetokalorikus hatást mutatnak. Összeállításunk bemutatja az anyagokat, alkalmazásokat és a lehetséges konstrukciókat.*

---

Tárgyszavak: mágnes; hűtés; magnetokalorikus hatás; gadolínium.

---

2005 szeptemberében Montreaux-ben 150 résztvevővel konferenciát tartottak „Mágneses hűtés szobahőmérsékleten” címmel. A 150 szakmai résztvevő és a több mint 50 előadás ékes bizonyítékát adta annak, hogy a mágneses hűtés technológiája laboratóriumi érdekességből a gyakorlatban is sokrétű módon használható módszerré kezd válni. Ezt alátámasztotta a világcégek képviselőiben résztvevő szakemberek viszonylag nagy száma is. De mi is az a mágneses hűtés?

### A magnetokalorikus hatás

Már 1881-ben kimutatta E. Warburg német fizikus, hogy bizonyos anyagok felmelegednek, ha mágneses térbe helyezik őket, illetve lehűlnek, ha megszűnik a mágneses hatás. A jelenség a mágneses momentumok (spin) irányítottságának hőfokfüggésén alapul, ami viszont meghatározza az anyag rendezettségét, vagyis entrópiáját. Egyes fémek és ötvözetek viszonylag erősen mutatják a magnetokalorikus hatást, a legerőteljesebb módon a Curie-

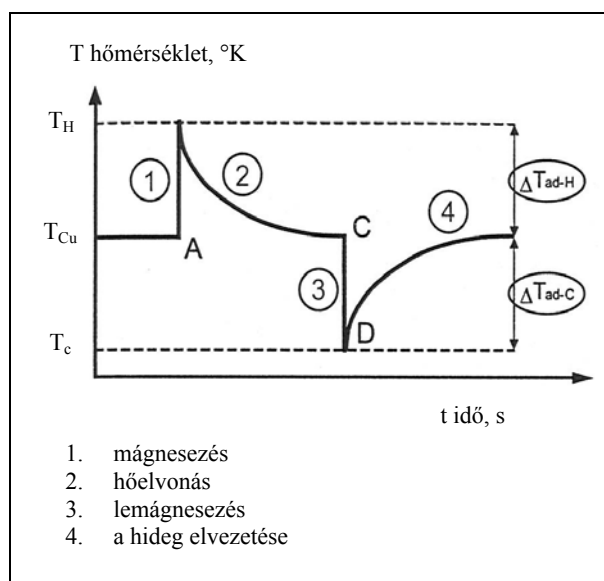
pontjuk közelében (erre a hőfokra melegítve a ferromágneses anyagok elvesztik ferromágneses tulajdonságaikat, és paramágnesessé válnak).

Hűtésre 1930 óta használják a gyakorlatban a jelenséget, az akkor rendelkezésre álló anyagok tulajdonságai miatt főleg a mélyhűtéses technikában. Általában a különböző más módszerekkel az abszolút nulla fok közelébe, vagyis  $-273\text{ °C}$  körüli hőmérsékletre lehűtött mintákat hűtötték tovább ezzel a módszerrel a néhány század vagy néhány ezred K hőmérséklet elérése céljából. A kellő intenzitású hűtéshez igen nagy, 5–10 Tesla erősségű mágneses mezőre volt szükség, ezt csak szupravezetős elektromágnesekkel tudták elérni.

A jelenséget hűtésre egy négy fázisból álló körfolyamat ciklikus ismétlésével lehet felhasználni:

1. a magnetokalorikus anyag mágnesezése és felmelegedése ezáltal;
2. a keletkezett hő elvezetése a szokásos módszerekkel;
3. a mágnesezés megszüntetése és lehűlés ezáltal;
4. a keletkezett hideg felhasználása (nevezik adiabatikus lemágnesezésnek is).

A 1. ábra grafikusán szemlélteti a vázolt körfolyamatot.

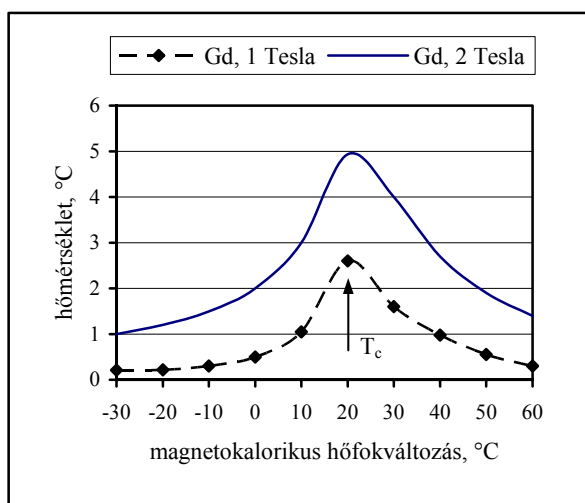


1. ábra A magnetokalorikus ciklus időbeli lefolyása

## Az anyagtechnológia közbeszól

A széles körű felhasználásnak a fentiek szerint két akadálya van: a korábban ismert anyagok csak nagyon alacsony hőmérsékleten mutatták a hatást, illetve igen erős mágneses térre volt szükség. Mint oly sok más esetben, itt is az anyagtechnológia fejlődése kínálja a továbblépés lehetőségét: az 1980-as években rájöttek a kutatók, hogy egyes gadolínium- és mangán-ötvözetek szobahőmérsékleten is erőteljes magnetokalorikus hatást mutatnak. Az ötvözetek ilyen irányú kutatása e felfedezések után felgyorsult. Az USA-ban elsősorban szilíciumot, germániumot és galliumot tartalmazó gadolínium-ötvözetekkel (Gd-Si-Ge-Ga) foglalkoztak, ezek jó hűtési tulajdonságokat mutattak szobahőmérsékletéről indítva a hűtést, 5

Tesla nagyságú mágneses térben. A folyamatot jól illusztrálja a 2. ábra. Európában a mangán-ötvezeteket részesítették előnyben vas, foszfor és arzén ötvözésével (Mn-Fe-P-As). Ezekkel szintén szobahőmérsékletről indítva a hűtést már 2–3 Tesla nagyságú mágneses térrel is jó hűtési eredményeket tudtak elérni. Ez utóbbi nagyon fontos eredmény, mert ekkora mágneseset már korszerű állandó mágnesekkel is el lehet érni. További elemeket is bevontak az ötvözők körébe, így nikkelt (Ni), praeodímiiumot (Pr), stronciumot (Sr) és antimont (Sb). Az egyes ötvözők arányának változtatásával el lehet tolni azt a hőmérsékletet, ahol a legerőteljesebb a magnetokalorikus hatás, így a leghatékonyabb a hűtés vagy éppen fűtés. Így minden gyakorlati alkalmazáshoz ki lehet választani az optimális ötvözetet, sőt kaszkád-jellegű elrendezéseknél minden fokozathoz más optimális anyag rendelhető.



2. ábra A gadolínium melegedése 1 és 3 Tesla erősségű mágneses tér hatására. A maximum a 16 °C értékű Curie-pont közelében lép fel

## Előnyök, konstrukciók

A mágneses hűtés előnyei a hűtőközeg ciklikus tágulásán és összenyomásán, illetve fázisváltásán alapuló hagyományos hűtési módszerekkel szemben számosak:

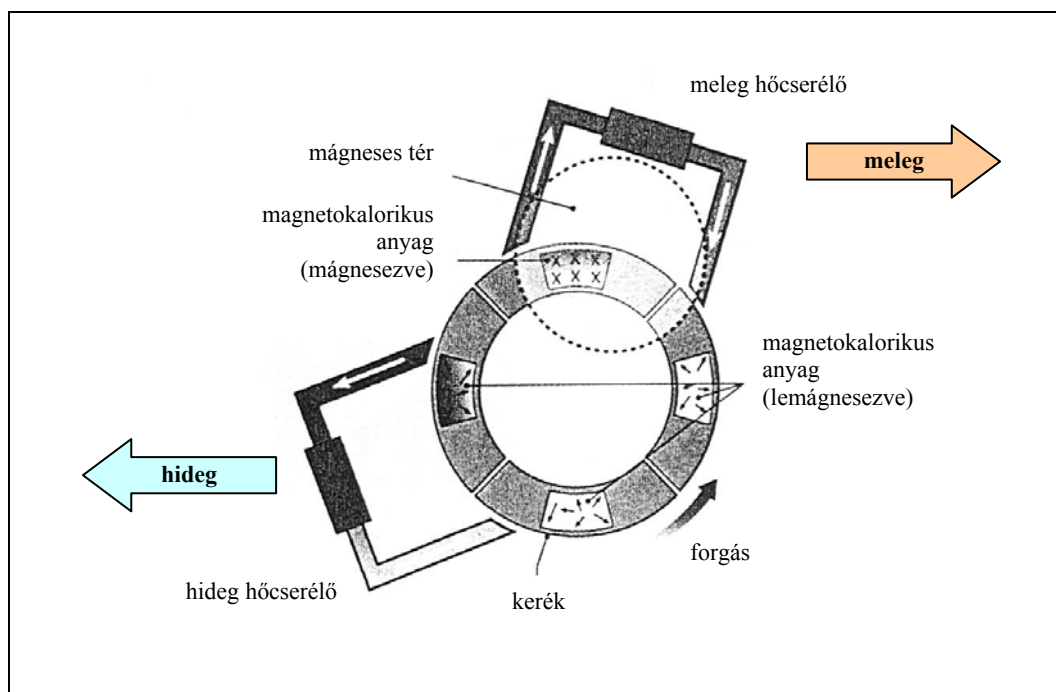
- a technológia környezetbarát: a környezetre káros hűtőközegek helyett levegő és víz használható,
- zaj- és rezgésmentes gépek konstruálhatók,
- nagyon jó hatásfok, jó energetikai hatékonyság (jobb a hagyományos hűtésekénél, a COP érték 6 és 12 között várható),
- egyszerű és kompakt berendezések – olcsó üzemeltetés és karbantartás,
- atmoszférikus nyomás, ezért kis szivárgási veszteségek – ideális a klimatechnikához és az autókhoz,
- tág hőmérsékleti határok között alkalmazható:  $-260\text{ °C}$  és  $+40\text{ °C}$  között.

Az összeállítás elején vázolt körfolyamat számos konstrukciós elv mentén megvalósítható, néhány álljon itt szemléltetésképpen. Egyszerű, mert nem jár a magnetokalorikus anyag mozgatásával az az elrendezés, ahol a lyukacsos szerkezetű anyagból készített két tömbön felváltva áramoltatnak át két hőközvetítő folyadékot a meleg és a hideg elszállítására. Értelemszerűen a két tömbre ható ellentétes irányú mágneses tereket is ugyanabban az ütemben kell ki- és bekapcsolni. A magnetokalo-

rikus anyag periodikus lineáris mozgását használja ki egy másik konstrukció, ahol viszont a mágneses tér áll, illetve állandó nagyságú. Ehhez a géphez ezért állandó mágnes is használható. Sokféle forgógép is elképzelhető, a két alapeset az álló mágnes és forgó magnetokalorikus anyag, illetve fordítva. A forgórészt villanymotor hajtja meg, amelynek le kell győznie a mágneses térben mozgó különböző anyagok okozta ellenállást is. A hő elszállítását levegő vagy víz végezheti el akár axiális, akár radiális irányban keresztülvezetve. Érdekes változat az is, amelynél a magnetokalorikus anyagot apró részecskékre aprítva folyadékban keverik el, speciális híg iszapot képezve. Ezt a zagyot szivattyúval

mozgatva lehet a mágneses térbe és a hőcserélőkhöz juttatni. A 3. ábra a forgórészes változatok egyikét mutatja be, itt a forgórész hordozza magnetokalorikus anyagot.

Általánosságban igaz az, hogy a vázolt szerkezetű gépek bármelyikével egy fokozatban maximum  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérséklet-csökkenést lehet elérni. Tiszta gadolínium alkalmazásával  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  körüli hűtött hőmérséklet lehet elérni. A korábban már említett kaszkádkapcsolással, vagyis több fokozat egymás után kapcsolásával nagyobb mértékű hűtést lehet elérni. Ekkor mindegyik fokozat magnetokalorikus anyagának összetételét a közeg belépő hőmérsékletéhez kell megválasztani.



3. ábra Magnetokalorikus forgógép konstrukciós alapelve

## Technológiai kihívások

A mágneses hűtés számos előnyt ígér, a tömeges piaci elterjedéshez azonban még sok fejlesztési feladatot kell a konstruktőröknek megoldaniuk.

*Mágnesek:* a szupravezető elektromágnesek egyelőre nem képesek szobahőmérsékleten működni. Az egyéb elektromágnesek energiaigénye túl nagy, az állandó mágnesek térerőssége egyelőre nem elég nagy.

*Magnetokalorikus anyagok:* a lemágnesezéssel elérhető hőmérséklet-csökkenés maximum 15 °C lehet, ezt minél erőteljesebben növelni kell.

*Hőcsere:* a hatékony hőcseréhez minél nagyobb felületek és minél hosszabb idő szükséges. Ezt porózus anyagokkal nehéz megvalósítani a körfolyamat lépéseinek viszonylag gyors ismétlődése miatt.

*Teljesítmény:* a ma ismert konstrukciók révén elérhető egységenkénti csúcsteljesítmény kb. 15 kW.

*Mechanika:* a szerkezetek viszonylag egyszerűek, de a megfelelő hatásfokhoz nagy precizitásra és stabilitásra van szükség. Forgógépeknél a mágnes és a magnetokalorikus anyag közötti légrés ideális esetben nem nagyobb 0,1

mm-nél. Ennek elérése nagy konstrukciós kihívás, mivel a felmágnesezés-lemágnesezés során az ötvözetek atomjai elmozdulnak, és ez a térfogat akár 1,5%-os változását hozza magával.

A sokféle fejlesztési feladat több tudományos és műszaki terület szakértőinek alkotó együttműködését igényli, az anyagtechnológusoktól a termodinamika tudósaiig. Nem kis feladatot jelent az erős mágneses tér emberre gyakorolt, esetleg káros hatásainak feltérképezése és kiküszöbölése, valamint a mozgó-forgó mágneses alkatrészek által okozott elektronikus zavarok kezelése is.

## Alkalmazási lehetőségek

A felhasználás lehetőségei korlátlanok és egyelőre szinte beláthatatlanok. A legkézenfekvőbb a magnetokalorikus hatás felhasználása olyan viszonylag kis teljesítményű berendezésekben, mint a hűtőszekrények, jó hőszigetelésű új házak padlófűtésének hőszivattyúi és autók hővisszanyeréses klimatizálása. Az optimista szakértők szerint néhány éven belül várható a tömeges elterjedés a leghétköznapibb eszközök terén is, aminek alapja főként az erősebb állandó mágnesek és a magnetokalorikus ötvözetek tulajdonságainak jelentős továbbfejlesztése lesz. Mihelyt ezek a fejlesztés

tések termőre fordulnak, a néhány kW-os teljesítménytartományban,  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  között a magnetokalorikus hűtőkészülékek árban is versenyképesek lesznek a hagyományos gázkompressziós eszközökkel.

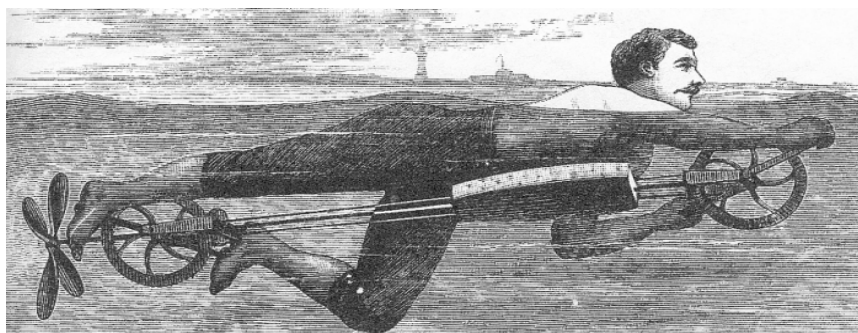
Eddig nem esett ugyan szó róla, de tény az, hogy a magnetokalorikus hatás megfordítható, reverzibilis, tehát a magnetokalorikus anyaggal hőt közölve annak mágnessége megváltozik, külső mágneses térbe helyezve erőhatás lép fel. Amennyiben a magnetokalorikus ötvözetet egy forgógép forgórészén helyezik el, ebben a megfordított esetben forgatónyomaték keletkezik, vagyis motort kapunk. Ezzel a mo-

torral hagyományos generátort meghajtva villamos energiát lehet előállítani. Ez az elrendezés különösen érdekes lehet alacsony hőmérsékletű hőenergia villamos hasznosítására.

**Összeállította: Kis Miklós**

## Irodalom

- [1] Warthmann, P.: Magnetische Kühlung bei Raumtemperatur. = HK-Gebäudetechnik, 4. k. 2. sz. 2006. p. 26–20.
- [2] International Institute of Refrigeration honlapja. = <http://www.iifir.org>



Az értékteremtő emberi gazdálkodás

## HUMÁNERŐFORRÁS-MENEDZSMENT

† bér- és jövedelempolitika	† munkaidő, munkaidő-rendszerek
† foglalkoztatáspolitikai	† személyzetfejlesztés, oktatás
† munkaerőpiac, munkanélküliség	† szociálpolitika és érdekvédelem
† munkaerő-tervezés	† vállalati munkaszervezés

*Havonta a legértékesebb tőkéről!*

**mgksz@info.omikk.bme.hu 06-1/45-75-322**

BME OMIKK

# MUNKAVÉDELEM-ERGONÓMIA



munkavédelem  munkabiztonság  foglalkozás-  
egészségügy  munkabalesetek  megbetegedések  ergonómia

*BIZTOS, AMI BIZTOS...*

[mgksz@info.omikk.bme.hu](mailto:mgksz@info.omikk.bme.hu)

06-1/45-75-322