

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Sturčni studij sigurnosti i zaštite

Ana Marija Trčak

# **OPĆE POIMANJE MAGNETIZMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2017.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Ana Marija Trčak

# **GENERAL UNDERSTANDING OF MAGNETISM**

FINAL PAPER

Karlovac, 2017

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Sturčni studij sigurnosti i zaštite

Ana Marija Trčak

# **OPĆE POIMANJE MAGNETIZMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Slaven Lulić, dipl.ing.

Karlovac, 2017.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J. Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2017.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Ana Marija Trčak

Matični broj: 0415613050

Naslov: Opće poimanje magnetizma

Opis zadatka: U radu je objašnjeno što je magnetizam te kako magnetska svojstva djeluju na materijale. Obuhvaćen je povijesni pregled, magneti, magnetska sila i magnetska svojstva materijala i njihova primjena.

Zadatak zadan:  
Veljača, 2017.

Rok predaje rada:  
Rujan, 2017.

Predviđeni datum obrane:  
Listopad, 2017.

Mentor:  
Slaven Lulić, dipl. ing.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:  
Ivan Štedul, prof.

## PREDGOVOR

Zahvaljujem se svojim roditeljima na potpori i razumijevanju koje su mi pružali tokom proteklih akademskih godina. Posebice majci na smirenosti, strpljenju i poštovanju.

Zahvaljujem se i svojim najbližim kolegama na poticanju k cilju i vječitoj podršci kod raznovrsnih problema te naravno na vrhunskoj organizaciji.

Bez korektnog i vrhunskog pristupa studentima i akademskoj zajednici od strane mojega mentora, Slavena Lulića, dipl.ing., ovog završnog rada ne bi bilo. Zahvaljujem mu na mogućnosti pisanja završnog rada kod njega te na povjerenju ukazanom pri izradi rada.

Od srca hvala jednom Miletiću.

## SAŽETAK

Moja tema završnog rada preddiplomskog studija na Veleučilištu u Karlovcu je opće razumijevanje magnetizma. U radu je objašnjeno što je magnetizam te kako magnetska svojstva djeluju na materijale.

U radu je obuhvaćen povijesni pregled, magneti, magnetska sila i magnetska svojstva materijala te ukratko njihova primjena u svakodnevnom životu.

Ključne riječi: magnetizam, magnet, magnetsko polje

## SUMMARY

The topic for the final paper of the undergraduate study is a general understanding of magnetism. In this thesis I go through what magnetism is and how magnetic properties affect a specific material.

Subjects discussed will be historical review, magnets, magnetic force, magnetic capacity of the materials and magnetic uses in an everyday life.

Key words: magnetism, magnet, magnetic field

# SADRŽAJ

ZAVRŠNI ZADATAK .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SADRŽAJ .....	IV
1 UVOD .....	1
2 MAGNETIZAM.....	2
3 POVIJEST MAGNETIZMA.....	3
4 MAGNETI .....	5
5 MAGNETSKO POLJE .....	7
5.1 Magnetsko polje električne struje .....	8
5.1.1 Elektromagnetska indukcija .....	10
6 MAGNETSKE VELIČINE .....	12
6.1 Magnetski tok .....	12
6.2 Magnetska indukcija.....	12
6.3 Magnetska permeabilnost .....	13
7 MAGNETSKA SVOJSTVA MATERIJALA.....	14
7.1 Dijamagnetizam .....	15
7.2 Paramagnetizam .....	16
7.3 Feromagnetizam .....	16
7.3.1 Permanentni magneti .....	18
7.4 Antiferomagnetizam .....	19
7.5 Ferimagnetizam .....	20
8 MAGNETIZAM U PRIRODI .....	21
9 LJUDSKA PRIMJENA MAGNETIZMA.....	23
9.1 Podijela uporabe po magnetskom djelovanju .....	24

10 UTJECAJ MAGNETIZMA NA ČOVJEKA.....	26
11 ZAKLJUČAK.....	27
LITERATURA.....	28
PRILOZI .....	30
POPIS SLIKA.....	30
POPIS TABLICA.....	30



# 1 UVOD

Bilo da se odnosi na život općenito ili na znanost, čovjek je prema svojoj prirodi znatiželjan i spreman istraživati kako bi došao do željenih otkrića. Znanost nam pomaže da pomnije razumijemo kako svijet funkcionira te da se prilagodimo okolini. Fizika je jedna od temeljnih prirodnih znanosti, a obuhvaća mnoga područja: fiziku atoma i molekula, toplinu, mehaniku, gravitaciju, elektromagnetizam, itd.

Magnetizam je fizikalna pojava u kojoj sila privlačenja ili odbijanja djeluje između predmeta. Magnetizam je zapažen još kod drevnih civilizacija, a tokom godina su mnogi znanstvenici, fizičari, pokušavali odgonetnuti kako on djeluje na svoju okolinu. Magneti su predmeti s kojima se ljudi susreću svakodnevno, a često toga nisu ni svjesni. Uporaba magneta je u razne svrhe; od ukrasnih magneta na hladnjaku do kreditnih kartica i mobilnih uređaja.

## 2 MAGNETIZAM

U prirodi postoje četiri osnovne sile: gravitacijska, slaba i jaka nuklearna te elektromagnetska (u sklopu koje je i magnetizam). Nekada se zastupalo mišljenje da su sile neovisne jedna o drugoj, ali znanstvenici su došli do zaključka da su sve sile međusobno povezane.

Magnetizam je pojava koju primjećujemo kao privlačenje ili odbijanje između magneta i sličnih, magnetskih materijala. Znanstveno gledanje je da je magnetizam sila međudjelovanja između električki nabijenih čestica u gibanju. Elektroni se gibaju oko svoje osi i oko jezgre atoma, dok oba gibanja proizvode magnetsko polje među elektronima, a oni poprimaju svojstva mikroskopskih magneta.

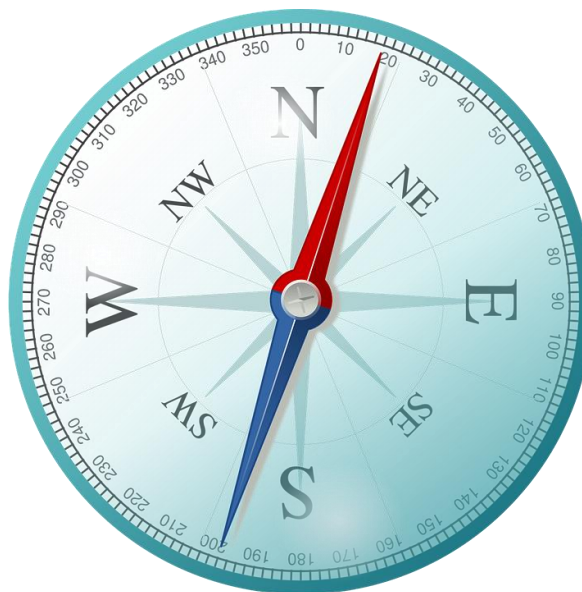
Magnetizam atoma posljedica je magnetizma elektrona i jezgre i njihovih međudjelovanja. Unutar atoma razlikuju se orbitalni magnetski moment, koji nastaje zbog gibanja elektrona oko atomske jezgre, i spinski magnetski moment, koji nastaje zbog vlastitog kvantnomehaničkog svojstva elektrona i jezgre.

Kada se govori o permanentnim magnetima, magnetizam je pojava koju shvaćamo kao privlačnu ili odbojnu silu između magneta i sličnih feromagnetskih materijala. Magnetizam i njegovo djelovanje je puno raširenije od primjera s permanentnim magnetima. Njegova primjena je u mnogim svakodnevnim ljudskim aktivnostima: transportu, zdravstvu, tehnologiji, zabavi itd.

### 3 POVIJEST MAGNETIZMA

Grci su prije nekoliko tisuća godina otkrili da crni mineral, pronađen blizu grada Magnesia privlači komade željeza. Po gradu Magnesia taj kamen je nazvan magnetit te od tuda potječe naziv magnetizam. Sokrat, grčki filozof, uočio je da se svojstvo magnetskog privlačenja može prenijeti i na obično željezo, dok je njegov učenik Platon zabilježio kako magnet omogućuje željeznim predmetima privlačenje drugih željeznih predmeta. Jedan od prvih poznatih pokušaja primjene magnetita je gradnja stropa od magnetskog materijala – Kinokrat, egipatski arhitekt, želio je postići da željezni kip lebdi u zraku tako što se privlači sa magnetskim stropom.

U 2. stoljeću Kinezi su ravni magnet puštali ga da se slobodno okreće i dobili smjer sjever – jug te ga tako koristili u pomorstvu. Oko 13. stoljeća to svojstvo magnetita je bilo poznato i u Europi i tada je napravljen kompas. On se od tada primjenjuje u navigaciji prostora.



Sl. 1 Fotografija kompasa

Izvor: [https://cdn.pixabay.com/photo/2013/07/12/17/38/compass-152121\\_960\\_720.png](https://cdn.pixabay.com/photo/2013/07/12/17/38/compass-152121_960_720.png)

Francuski znanstvenik Petrus Peregrinus Maricurtensis (13.st.) uočio je da se istoimeni polovi odbijaju, a raznoimeni privlače te ih je prozvao sjeverni i južni magnetski pol. William Gilbert (17.st.) je otkrio magnetizam Zemlje, razvio teoriju kompasa i spoznao da se trganjem magnetne igle svakim novim dijelom stvara nova

magnetna igla. Hans Christian Oersted (18./19. st.) iz Danske otkrio je magnetsko djelovanje električne struje. Nekoliko godina kasnije francuski fizičar, matematičar, kemičar i filozof Andre Marie Ampere potaknut Oersted-ovim otkrićem otkrio je pravilo desno ruke, da strujna petlja izaziva slično magnetsko polje kao i ravni magnet te je objasnio magnetizam kao posljedicu unutarnjih struja u građi tvari. Također, Ampere je postavio teoriju elektromagnetizma i predložio prvi model atoma. Njemu u čast je nazvana jedinica jakosti struje amper. Hendrik Antoon Lorentz, koji je 1902. dobio Nobelovu nagradu za fiziku, razvio je teoriju elektrona kojom je opisao djelovanje električnog i magnetskog polja na elektron u gibanju. Daljnji doprinos razvoju magnetizma i otkrivenjima ima Michael Faraday. On je otkrio elektromagnetsku indukciju i uveo je pojam električnog i magnetskog polja.

## 4 MAGNETI

Magnet je svako tijelo koje stvara magnetsko polje (u sebi i oko sebe) te djeluje privlačnom silom na predmete od željeza, nikla, kobalta i njihovih legura.

Mnogi pronađeni minerali su magnetski po prirodi. Mineral magnetne, željezne rude jedan je od najpoznatijih minerala s magnetskim djelovanjem. On je crni mineral koji je bogat magnetitom, a on je pun oksidirajućeg željeza. Njegovi elektroni se kreću u određenom smjeru te tvore magnetsko polje. Što je veći razmjer elektrona u ujednačenom gibanju, to je veće i jače magnetsko polje.

Osim što imamo prirodne magnete (željezne rude), imamo i umjetne magnete koji se dijele na permanentne i elektromagnete. Trajni ili permanentni magneti se izrađuju od posebnih željeznih legura koja trajno zadržavaju magnetska svojstva te svoja svojstva ne mijenjaju dok se vanjskim djelovanjem ne demagnetiziraju. Elektromagnete čine zavojnice kroz koje prolazi električna struja. Privremeni magnet zadržava svoje svojstvo dok je izložen utjecaju magnetskog polja od drugog magneta iz okoline. Magnetsko polje nastaje i u okolini vodiča kojim teče struja jer se tada strujna petlja ponaša kao magnet.



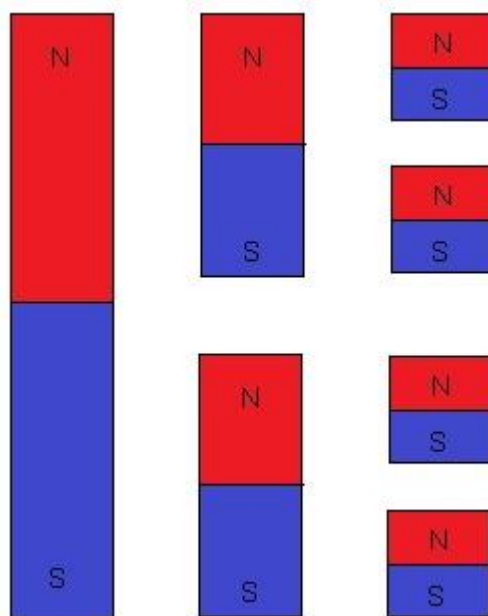
Sl. 2 Prirodni magnet

Izvor: [http://www.indianetzone.com/photos\\_gallery/91/1\\_Natural\\_Magnet.jpg](http://www.indianetzone.com/photos_gallery/91/1_Natural_Magnet.jpg)

Magnetizirana čelična igla privlači željeznu piljevinu, a iglu možemo namagnetizirati prevlačenjem permanentnim magnetom ili da ju stavimo u zavojnicu kroz koju teče istosmjerna električna struja. Magnetska igla, s osloncem u težištu, jedan kraj okreće prema sjeveru, a drugi prema jugu. Sjevernim polom (N) nazivamo

onaj kraj magneta koji je okrenut prema sjeveru, dok je drugi, okrenut prema jugu, južni pol (S). Sjeverni pol je najčešće označen plavom ili zelenom bojom, a južni pol sa crvenom.

Ako sjeverni pol jednog magneta približimo sjevernom polu drugog magneta, oni se međusobno odbijaju. Isto se događa i za južne polove. Zaključak je da se raznoimeni polovi magneta privlače, a istoimeni odbijaju. Također, prerežemo li magnet na spoju polova, dobit ćemo dva magneta sa sjevernim i južnim polom. Te koliko god mi dijelili magnete na manje komadiće, nikad ne bismo uspjeli odvojiti magnetske polove. To je poznati Peregrinusov pokus koji dokazuje da ne postoje izolirani magnetski polovi ni magnetski naboji. To je bitna razlika između magnetizma i elektriciteta.



Sl. 3 Razdvajanje magneta

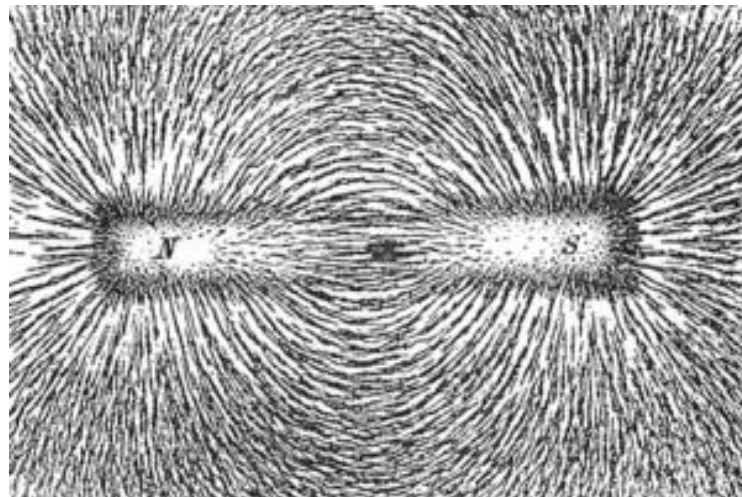
Izvor: <http://www.people.vcu.edu/~jatulasimha/Figure%203.jpg>

U blizini nekog magneta, komad mekog željeza postaje magnetičan te privlači željezne predmete. Ali čim se odmakne magnet tada to meko željezo gubi svoja magnetska svojstva (prestaje privlačiti predmete). Tu pojavu nazivamo magnetskom influencijom. A ako umjesto mekog željeza iskoristimo čelik, on će i nakon uklanjanja magnetiziranja zadržati magnetska svojstva. Tako uočavamo da magnetskom influencijom nastaje magnetski dipol.

## 5 MAGNETSKO POLJE

Kao što električno djelovanje opisujemo električnim poljem, tako ćemo magnetsko djelovanje opisati magnetskim poljem.

Magnetsko polje je prostor oko i unutar magneta u kojem djeluju magnetske sile, a predočujemo ga magnetskim silnicama. Djelovanje magnetskog polja u nekoj točki može se ustanoviti magnetnom iglom, koja se zaokreće u smjer magnetskog polja. Tako označeni smjerovi od točke do točke u prostoru čine magnetsku silnicu. Svaka silnica je zatvorena krivulja koja izlazi iz sjevernog pola, prolazi vanjskim prostorom i ulazi u južni pol. Na taj način čini zatvoreni magnetski krug. Magnetsko polje nekog magneta se obično prikazuje skupom magnetskih silnica; jače magnetsko polje prikazujemo gušćim silnicama. Skup silnica čini magnetski tok. Silnice se najjednostavnije mogu eksperimentalno zapaziti ako se iznad magneta postavi staklena ploča i na nju se pospe željezna piljevina te se ploča lagano potrese. Piljevina će se ponašati poput silnica. Prikaz na slici 4. Magnetno polje najjače je u blizini magnetskih polova.



Sl. 4 Eskperimentalni prikaz magnetskih silnica

Izvor:

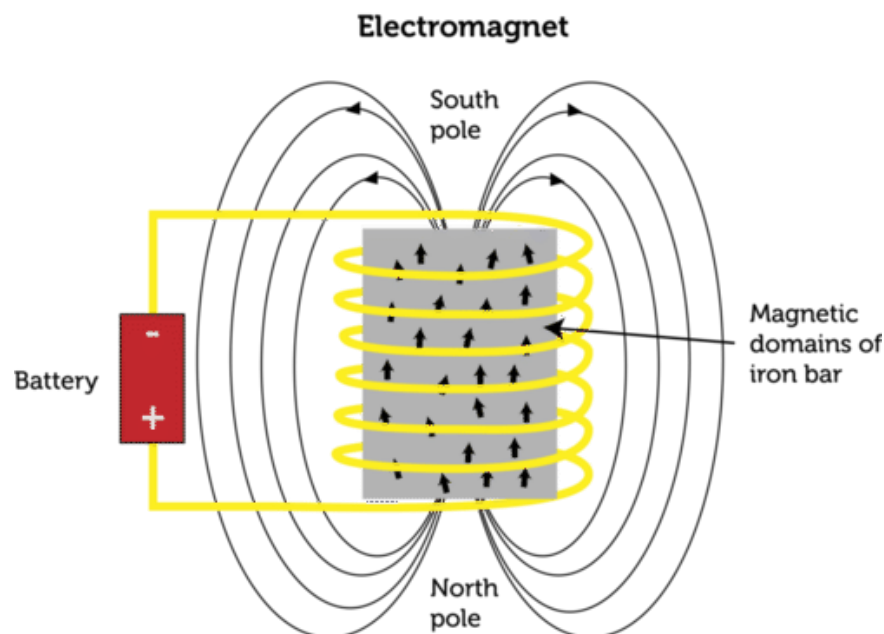
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/57/Magnet0873.png/300px-Magnet0873.png>

## 5.1 Magnetsko polje električne struje

Fizičar H.C. Oersted u 19. stoljeću je otkrio magnetsko djelovanje električne struje te je došao do teorije da se u blizini električnog vodiča kroz koji teče struja stvara magnetsko polje.

Magnetna igla postavljena u blizini vodiča kojim teče električna struja zaokreće se i tako ostaje sve dok vodičem teče struja. Promjenom smjera struje kroz vodič, magnetna igla zaokreće u suprotan smjer. To je magnetsko djelovanje električne struje te je tako dokazana veza magnetizma i elektriciteta.

Ako umjesto ravnog vodiča koristimo zavojnicu dobit ćemo jače magnetsko polje. Kada struja teče zavojnicom ona djeluje kao magnet, a kada nema struje ona ne djeluje kao magnet. Magnetsko polje zavojnice je jače ako je broj namotaja veći te je tada i struja koja prolazi kroz nju isto jača; a može se i pojačati ako se u zavojnicu postavi željezni predmet. Takvu zavojnicu nazivamo elektromagnet – djeluje kao magnet dok njome teče struja.



Sl. 5 Elektromagnet

Izvor: [https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3A1678438322c2d3a8aa85374bb4a5f55005e999aeaecb262c59eb204c%2BIMA-GE\\_TINY%2BIMAGE\\_TINY.1](https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3A1678438322c2d3a8aa85374bb4a5f55005e999aeaecb262c59eb204c%2BIMA-GE_TINY%2BIMAGE_TINY.1)



Tab. 1 Usporedba električne i magnetske struje

ELEKTRIČNA SILA	MAGNETSKA SILA
Djeluje u smjeru električnog polja	Djeluje okomito na smjer magnetskog polja
Uvijek djeluje na naboj (u mirovanju i u gibanju)	Djeluje samo na naboj u gibanju
Vrši rad pri pomicanju naboja	Ne vrši rad jer djeluje okomito na pomak naboja (samo ga zakreće)

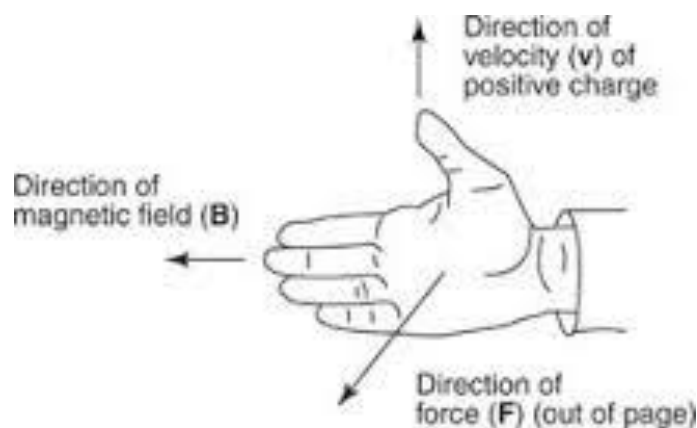
Poznato je da električna sila na naboj u električnom polju prema Coulombovu zakonu razmjerna jakosti polja.

$$\vec{F}_e = Q \cdot \vec{E}$$

Magnetsko polje ne može izazvati silu na mirujući naboj jer se magnetsko polje stvara od naboja koji se gibaju pa i sila može djelovati na naboj samo ako se taj naboj giba. Ta magnetska sila ovisi o magnetskom polju, količini naboja, brzini naboja te o smjeru brzine s obzirom na smjer magnetskog polja. Magnetska sila, brzina i magnetska indukcija su vektorske veličine.

$$\vec{F} = q(\vec{v} \cdot \vec{B})$$

Smjer magnetskog polja Amperove sile iskazujemo pomoću pravila desne ruke: „Ako ispruženi prsti pokazuju smjer magnetskog polja ( $\vec{B}$ ), a ispruženi palac pokazuje smjer struje ( $I/v$ ), magnetska sila ( $\vec{F}$ ) djeluje okomito u smjeru iz dlana.“ Promjerno smjera struje, mijenja se i smjer magnetskog polja.



Sl. 6 Prikaz pravila desne ruke

Izvor: [https://encrypted-](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRWTBaeMxFvieEnazgZ5BszZD5kJKHzFWZ7bX-f8BTzml0tLEa)

[tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRWTBaeMxFvieEnazgZ5BszZD5kJKHzFWZ7bX-f8BTzml0tLEa](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRWTBaeMxFvieEnazgZ5BszZD5kJKHzFWZ7bX-f8BTzml0tLEa)

### 5.1.1 Elektromagnetska indukcija

Pojava da se u zatvorenom zavoju stvara ili inducira napon ako se mijenja magnetski tok (kojeg obuhvaća zavoj) naziva se elektromagnetska indukcija. Veličina tog napona ovisi o brzini kojom se mijenja magnetski tok.

Michael Faraday je prvi uočio elektromagnetsku indukciju u 19. stoljeću. On je primjetio da provlačenjem permanentnog magnetu kroz zavojnicu dolazi do induciranja elektromotorne sile.

Ako magnet uzastopno provlačimo i vadimo iz zavojnice, galvanometar će pokazivati u pozitivnom ili negativnom smjeru, ovisno o smjeru kretanja magnetu. Isto se događa u slučaju da magnet miruje, a zavojnica se kreće prema i od magnetu. Micanjem zavojnice kroz magnetsko polje inducira se napon na zavojnici te je jakost inducirano napona proporcionalna brzini kretanja zavojnice. Time se dokazala povezanost između napona zavojnice i promjenjivog magnetskog polja prema čemu je nastao Faradayev zakon elektromagnetske indukcije koji glasi: *elektromotorna sila odnosno napon U induciran u zavojnici s N zavoja proporcionalan je broju zavoja i brzini promjene magnetskog toka  $\Phi$  kroz zavojnicu.*

$$U = - N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Tri faktora određuju koliko struje je moguće inducirati na zavojnici koristeći magnetsko polje:

- ~ broj zavoja u zavojnici – ako u zavojnici imamo 20 zavoja, dobit ćemo 20 puta jaču elektromotornu silu
- ~ brzina kretanja između magneta i zavojnice – pri povećanoj brzini navoji prolaze brže kroz silnice magnetskog polja te je elektromotorna sila veća
- ~ jakost magnetskog polja – kada je magnetsko polje jače, dobivena sila će također biti veća

Kao posljedica promjene magnetskih polova prema Faradayevom zakonu, Lenzov zakon govori da je *polaritet inducirane elektromotorne sile takav da tvori struju čije je magnetsko polje suprotnog smjera od onog koje je proizvelo tu struju*. Kada bi magnetsko polje novonastale struje bilo istog smjera, magnetska polja bi proizvodila duplo veću struju i tako u krug, došlo bi do beskonačne jačine struje i magnetskog polja, što po zakonu o očuvanju energije nije moguće.

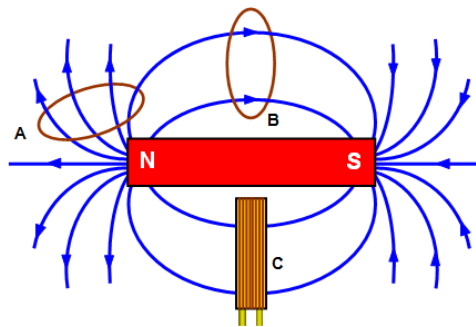
## 6 MAGNETSKE VELIČINE

### 6.1 Magnetski tok

Pojednostavljeno gledano, magnetski tok je skup svih silnica, a označava se simbolom  $\Phi$  (fi). To je fizikalna veličina koja predstavlja protjecanje magnetskog polja kroz neku površinu; određena je skalarnim produktom magnetske indukcije  $B$  i plohe ploštine  $S$  kroz koju taj tok prolazi. Mjerna jedinica toka je Weber – Wb.

$$\Phi = B \cdot S$$

Ukoliko je površina  $S$  paralelna s magnetskom indukcijom  $B$ , silnice ne prolaze kroz površinu, pa je magnetski tok kroz nju jednak nuli (0). Jače magnetsko polje ima veći magnetski tok nego slabije polje. Promjena magnetskog toka u električnom krugu izaziva elektromotornu silu.



Sl. 7 Magnetske silnice čine tok

Izvor: [http://www.schoolphysics.co.uk/age16-](http://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetism/text/Flux_and_flux_density/images/1.png)

[19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetism/text/Flux\\_and\\_flux\\_density/images/1.png](http://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetism/text/Flux_and_flux_density/images/1.png)

### 6.2 Magnetska indukcija

Magnetsko polje u svakoj točki opisano je potpuno uz pomoć magnetske indukcije  $\vec{B}$  u toj točki. Što je magnetsko polje jače, veća mu je magnetska indukcija. Magnetska indukcija je vektorska veličina čiji se smjer podudara sa smjerom magnetskog polja, tj. sa smjerom magnetskih silnica. Umnožak je magnetske permeabilnosti sredstva  $\mu$  i jakosti magnetskog polja  $H$ ; mjerna jedinica je tesla (T).

$$B = \mu \cdot H$$

Tab. 2 Vrijednosti magnetske indukcije za neka magnetska polja

MAGNETNO POLJE	MAGNETSKA INDUKCIJA B
koje stvara mozak	$10^{-12}$ T
na površini Zemlje	$2 \cdot 10^{-5}$ T
na većini zvijezda	do 1 T
stalnog magneta	do 1 T
elektromagneta	do 20 T
na površini neutronske zvijezde	$10^8$ T

### 6.3 Magnetska permeabilnost

Permeabilnost nekog sredstva možemo tumačiti kao mjeru za uspostavu magnetskog polja u tom sredstvu; fizikalna veličina koja opisuje magnetsku propusnost tvari. Ako magnetsko polje djeluje u vakuumu, vrijednost permeabilnosti označava se s  $\mu_0$  i ona iznosi:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$$

Permeabilnost nekog sredstva izražava se u obliku :

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

gdje je  $\mu_0$  permeabilnost vakuuma, a faktor  $\mu_r$  je broj koji se naziva relativna permeabilnost sredstva. Za zrak je relativna permeabilnost vrlo slična kao za vakuum (=1):  $\mu_r = 1,000\ 0004$  i za vodu  $\mu_r = 0,999\ 991$ . No za neke materijale  $\mu_r$  ima vrlo veliku vrijednost. Na primjer, relativna permeabilnost željeza iznosi približno 5 000, a za neke slitine do 200 000. Željezo i slični materijali sa svojstvom da mnogostruko povećavaju vanjsko magnetno polje koje prolazi kroz njih se zovu feromagnetni. Zagrijemo li feromagnete na dovoljno visoku temperaturu, njegova se relativna permeabilnost naglo smanji na vrijednost  $\approx 1$ . To znači da se na visokoj temperaturi razara feromagnetizam. Krična temperatura se naziva Curieva temperatura (željezo  $770^\circ\text{C}$ , kobalt  $1\ 130^\circ\text{C}$ ).

## 7 MAGNETSKA SVOJSTVA MATERIJALA

Različiti materijali se različito ponašaju pod utjecajem magnetskog polja. U vanjskom magnetskom polju tvari se magnetiziraju, a tu pojavu opisujemo vektorskom veličinom magnetizacijom, koju definiramo kao srednju gustoću magnetskih dipola.

Magnetizacija je proporcionalna magnetskom polju, a u najjednostavnijem (izotropnom) slučaju veza između magnetizacije i magnetskog polja je linearna. Najbolji način da se prikaže ovisnost materijala na magnetsko polje je vrijednost magnetske susceptibilnosti  $\chi$ . To je veličina kojom se opisuje svojstvo tvari da mogu biti magnetizirane u magnetskom polju. Ovisno o njihovim magnetskim svojstvima, tvari možemo podijeliti na jake i slabe magnete. U jake magnete spadaju feromagnetni, antiferomagnetni i ferimagnetni, a u slabe dijamagneti i paramagneti. Magnetska susceptibilnost iznosi  $\chi_m = \mu_r - 1$ , gdje je relativna magnetska permeabilnost tvari pozitivna za feromagnetične i paramagnetične tvari, a negativna za dijamagnetične tvari. Kod slabih magneta postoje dvije grupe doprinosa magnetizaciji – atomski doprinos koji dolazi od djelovanja vanjskog polja na elektrone vezane u atomima te doprinos vodljivih elektrona u metalima.

Tvari koje po svojoj prirodi nisu magneti, u prisustvu magnetskog polja će se ponašati kao dijamagneti (utjecat će na smanjenje prisutnog magn. polja) ili kao paramagneti (utjecat će na neznatno povećanje magn. polja). Za razliku od dijamagnetizma i paramagnetizma, ostale vrste magnetizacije opisuju ponašanje „prirodnih magneta“ u prisutstvu magnetskog polja.

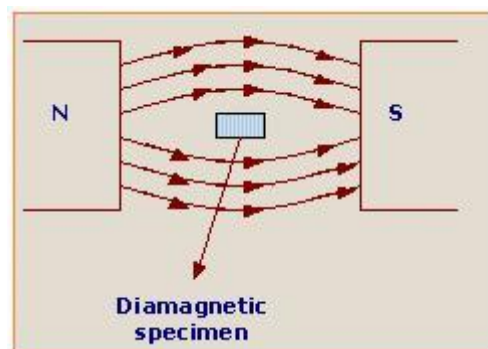
Pojam kojeg smo već spomenuli, ali će nam trebati za daljnje shvaćanje je magnetski dipol. Dipol je sustav dvaju polova jednake jakosti suprotnog polariteta koji se nalaze na maloj udaljenosti. Maleni magneti primjer su magnetskog dipola. Atomi, atomske jezgre i subatomske čestice u svojem osnovnom stanju nemaju električnog dipolnog momenta, ali često posjeduju magnetski dipolni moment. Njegova se vrijednost za elektronski omotač atoma iskazuje Bohrovim magnetonima, a za atomske jezgre nuklearnim magnetonima.

## 7.1 Dijamagnetizam

Dijamagnetizam je jako slab oblik magnetizma koji se može registrirati samo uz prisutstvo vanjskog magnetskog polja. Dijamagnetizam je svojstvo svih materijala, ali zbog male sile može se promatrati samo kod onih materijala koji nemaju ostala magnetska svojstva. Dijamagnetski materijali imaju atome koji nisu magnetični.

Vanjsko magnetsko polje utječe na gibanje elektrona oko jezgre te ono proizvodi dodatnu električnu struju. Inducirana struja stvara magnetsko polje, a ono se prema Lenzovom previlu kreće u suprotnom smjeru od vanjskog magnetskog polja te zbog toga dijamagnetske tvari slabe vanjsko magnetsko polje, a čim djelovanje prestane, materijali se vraćaju u prvobitno nemagnetizirano stanje. Prema tome postoji slabo negativna susceptibilnost, a relativna magnetska permeabilnost je blago manja od 1. Dijamagnetizam ne ovisi o temperaturi, ali ipak postoje dijamagneti poput bizmuta i grafita čija je susceptibilnost temperaturno ovisna na niskim temperaturama.

Dijamagnetizam je svojstvo mnogih kemijskih elemenata (zlata, srebra, cinka, vodika, plemenitih plinova) i organskih spojeva koje obilježava magnetska permeabilnost. Izuzetak od slabe prirode dijamagnetizma se pojavljuje kod supravodljivih materijala. Supervodiči su odlični dijamagneti koji kada se postave u vanjsko magnetno polje izbace silnice iz svoje unutrašnjosti; nemaju nikakv električni otpor. Jedina važna primjena dijamagnetizma je dobivanje slika u magnetnoj rezonanciji pomoću supravodljivih magneta.

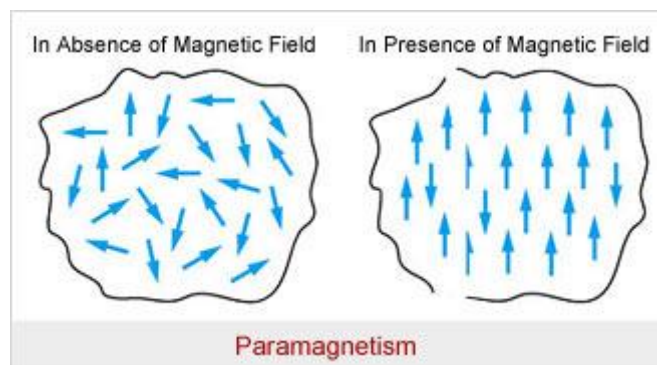


Sl. 8 Dijamagnetično odbijanje vanjskog magnetskog polja

Izvor: <http://images.tutorvista.com/content/magnetism-matter/diamagnetic-specimen.jpeg>

## 7.2 Paramagnetizam

U paramagnetizmu, vanjsko magnetsko polje utječe na svaki atomski dipol nezavisno te ne postoje nikakve interakcije između atomskih dipola. To je težnja atomskih magnetskih dipola u materijalu koji inače nije magnet da se uskladi s vanjskim magnetskim poljem. Materijal ima paramagnetična svojstva onda kada njegovi atomi imaju permanentni magnetski dipolni moment. U vanjskom magnetskom polju na te dipole će djelovati moment sile te će nastati paramagnetska magnetizacija. U slučaju da magnetsko polje prestane djelovati, paramagnetski materijali se vraćaju u prvobitno nemagnetizirano stanje. Oni ovise o temperaturi jer je termičko kretanje molekula intenzivnije pri višim temperaturama te tada magnetska susceptibilnost ima manju vrijednost. Inače paramagneti imaju blago pozitivnu susceptibilnost, a relativnu permeabilnost malo veću od 1. Paramagnetizam je svojstvo kemijskih elementa kao što su aluminij i kisik. To je najčešći oblik magnetizma u prirodi.



Sl. 9 Prikaz paramagnetizma

Izvor: [http://3.bp.blogspot.com/-](http://3.bp.blogspot.com/-JB9zbY2z5w0/T99_IRn5bVI/AAAAAAAAAic/SvjFBeitJaU/s1600/paramagnetism.jpg)

[JB9zbY2z5w0/T99\\_IRn5bVI/AAAAAAAAAic/SvjFBeitJaU/s1600/paramagnetism.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-JB9zbY2z5w0/T99_IRn5bVI/AAAAAAAAAic/SvjFBeitJaU/s1600/paramagnetism.jpg)

## 7.3 Feromagnetizam

Za razliku od dijamagneta i paramagneta, feromagnetski materijali su materijali koji mogu pokazivati magnetizaciju kada vanjsko magnetsko polje nije prisutno. To je svojstvo materijala, poput željeza (lat ferro), da zapamti učinak magnetskog polja kojem je bio izložen.



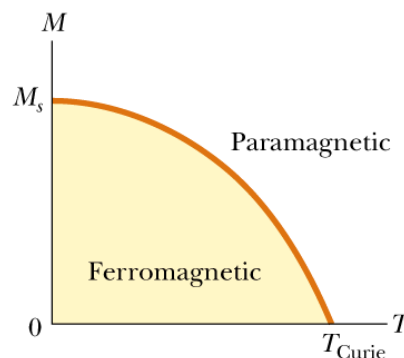


Sl. 10 Učinak magneta na željezo

Izvor:

[http://i.ebayimg.com/00/s/NTY0WDg1MQ==/z/JF8AAOSw7FRWXZ9L/\\$\\_32.JPG?set\\_id=880000500F](http://i.ebayimg.com/00/s/NTY0WDg1MQ==/z/JF8AAOSw7FRWXZ9L/$_32.JPG?set_id=880000500F)

Feromagneti se sastoje od mnogo mikroskopskih područja (domena). U pojedinim domenama magnetski momenti mogu biti usklađeni, ali smjerovi magnetskih sila različitih domena ostaju nasumično raspoređeni. Domene se sinkroniziraju pod utjecajem vanjskog magnetskog polja. Ako maknemo prineseni magnet, domene se vraćaju u prvobitno stanje i svojstvo magneta se gubi. Svi feromagnetski materijali imaju maksimalnu temperaturu do koje imaju prisutna feromagnetska svojstva – Curieova temperatura. Nakon što temperatura materijala prijeđe Curieovu, materijal se počne ponašati kao paramagnet. Feromagneti imaju visoku relativnu magnetsku permeabilnost. Najpoznatiji materijali s izraženim feromagnetskim svojstvom su željezo, nikal i kobalt.



Sl. 11 Ovisnost feromagnetizacije o temperaturi

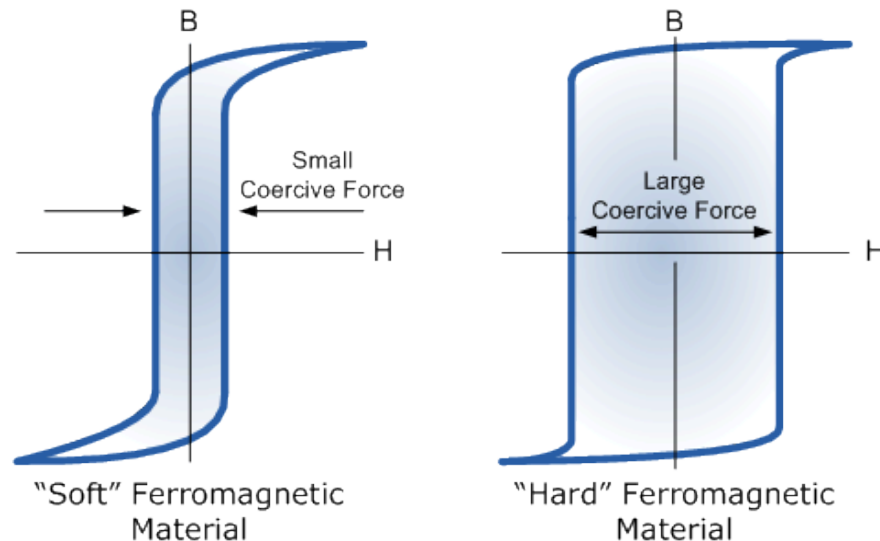
Izvor:

<https://www.physics.byu.edu/faculty/christensen/Physics%20220/FTI/30%20Sources%20of%20the%20Magnetic%20Field/30.33%2024.gif>

Feromagneti će težiti da ostanu namagnetizirani u određenoj mjeri nakon što su izloženi jakom vanjskom magnetskom polju, tako domene ostaju trajno sinkronizirane i nastaje permanentni magnet. Taj efekt se naziva histereza, a svojstvo zadržane magnetizacije nazivamo remanentnost materijala.

Feromagnetske materijale po obliku petlje histereze možemo podijeliti na meke i tvrde. Meki magnetski materijali imaju mali remanentni magnetizam, usku i strmu petlju histereze i veliku gustoću magnetskog toka. Oni se mogu lako i potpuno premagnetizirati. Tvrđi magnetski materijali imaju velike petlje histereze te veliki remanentni magnetizam. Oni se koriste za izradu permanentnih magneta. Meki materijali su željezo i njegove legure te oksidi nekih materijala, dok su tvrđi magnetski materijali slitine željeza, aluminija, nikla...

Remanentni magnetizam je, najjednostavnije, količina magnetizma koja ostaje u feromagnetu pri jakosti magnetskog polja. A koercitivnost je potrebna jakost magnetskog polja da bi se magnet demagnetizirao.



Sl. 12 Magnetske histereze

Izvor: <http://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/mag20.gif>

### 7.3.1 Permanentni magneti

Kao što sam već rekla, permanentni ili trajni magnet je tvrđi feromagnetski materijal koji ima svojstvo zadržavanja magnetskog polja na neodređeno vrijeme.

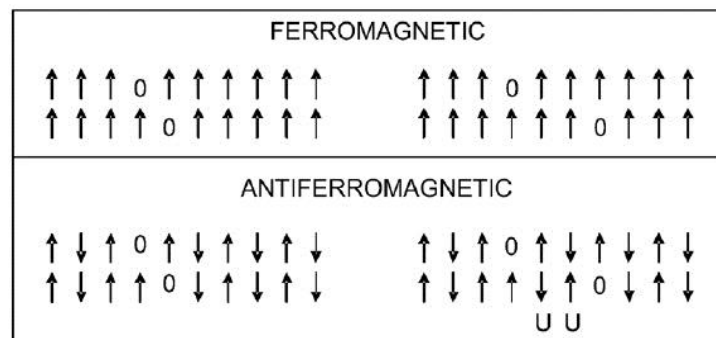
Pravi permanentni magneti moraju proizvesti snažno magnetsko polje sa svojom malom masom te ostati stabilni pored demagnetizirajućih utjecaja. Remanentni magnetizam i koercitivnost magnetskih materijala su poželjna svojstva takvih magneta.

Kada se feromagnetski materijal namagnetizira u jednom smjeru, on neće težiti demagnetizaciji (do nule) kada se makne iz magnetskog polja. Da bi se potpuno demagnetizirao, magnet se treba izložiti magnetskom polju suprotnog smjera.

Legure od kojih su napravljeni permanentni magneti su vrlo zahtjevni za obradu zbog izrazite tvrdoće, no tehnologijom se mogu rastaliti, oblikovati, pretvarati u prah... Najjači i najupotrebljiviji permanentni magnet je neodimijski magneti – slitina od neodimija, željeza i bora.

## 7.4 Antiferomagnetizam

Razlika između antiferomagnetskih materijala i feromagnetskih materijala je u karakterističnoj mikroskopskoj strukturi. Struktura antiferomagnetskih materijala je takva da su magnetski momenti međusobno paralelni i naizmjenično suprotnog smjera, a istog intenziteta. Antiferomagnetizam je oblik magnetizma nekih krutina (kovina, slitina, prijelaznih kovina) ispod neke temperature (Néelova temperatura). Povišena temperatura narušava to uređeno stanje i iznad Néelove temperature antiferomagneti prelaze u paramagnete. Néelova temperatura različita je za pojedine materijale.



Sl. 13 Usporedba feromagneta i antiferomagneta

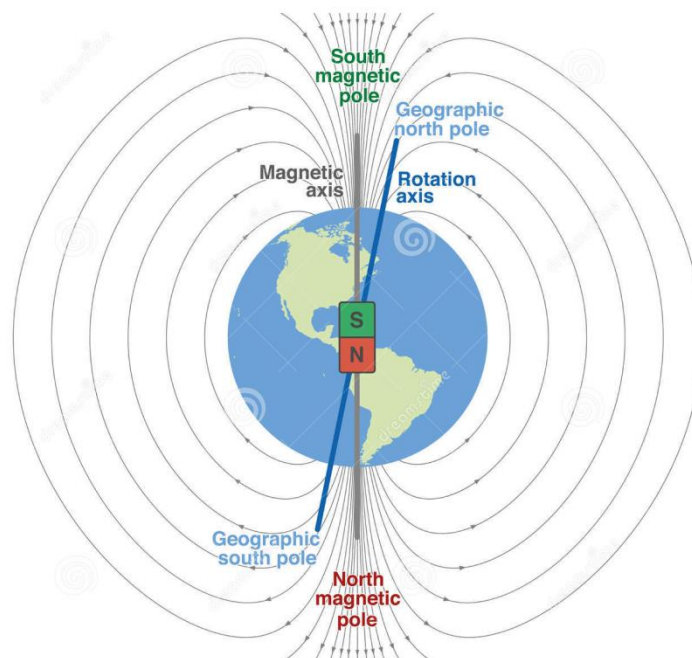
Izvor: <http://cdn.iopscience.com/images/1367-2630/10/6/063013/Full/nj275059fig4.jpg>

## 7.5 Ferimagnetizam

Kod ferimagnetskih materijala mikroskopska struktura je slična s mikroskopskom strukturom antiferomagnetskih i feromagnetskih materijala. Kod ferimagnetskih materijala magnetski momenti susjednih atoma su suprotno orijentirani te različitog intenziteta. Takva mikroskopska struktura se objašnjava kvantno-mehaničkim efektom. Feriti odlikuju većom električnom otpornošću koja je uzrokovana prelascima elektrona na granicama domena, a na višim temperaturama prelaze u paramagnetične tvari, kao i feromagnetni. Ferimagnetski materijali su u pravilu čvrste otopine dva oksida te se razlikuju od feromagnetskih materijala po specifičnoj otpornosti ( $10^6 - 10^{12}$  puta većoj od feromagn.). Oni pripadaju poluvodičima te se dijele na tvrde i meke ferite.

## 8 MAGNETIZAM U PRIRODI

Planet Zemlja se ponaša poput golemog magneta i mi se stalno nalazimo u magnetskom polju tog magneta. Na svakom mjestu na Zemlji, horizontalna magnetska igla će se orijentirati u određenom smjeru, tako da je sjeverni pol igle usmjeren prema sjeveru, a južni prema jugu. Vertikalna ravnina položena kroz taj smjer zove se magnetski meridijan. No magnetski polovi Zemlje se ne poklapaju s njezinim geografskim polovima, već su malo pomaknuti. Odstupanje geografskog pravca sjever – jug i pravca koji pokazuje magnetska igla zovemo magnetskom deklinacijom, a kut koji smjer magnetskog polja zatvara s horizontalnom ravninom nazivamo inklinacijom. Južni magnetski pol nalazi se u sjevernoj Kanadi, dok je sjeverni magnetski pol na jugu (istočni Antartik). Kada promotrimo Zemljinu magnetsko polje, primjetimo da ima oblik magnetskog štapa te je otklonjeno za oko  $11^\circ$  od Zemljine osi rotacije. Pošto magnetsko polje nastaje pri protjecanju električne struje, smatra se da je podrijetlo samog Zemljinog magnetskog polja u kružnim strujama u Zemljinoj tekućoj metalnoj kori. Također i Zemljina rotacija ima ulogu stvaranja struja za koje smatramo da su izvor magnetskog polja.



Sl. 14 Magnetsko polje Zemlje

Izvor: <https://thumbs.dreamstime.com/z/geomagnetic-field-planet-earth-scientific-depiction-geographic-magnetic-north-south-pole-magnetic-axis-52524179.jpg>

Zbog međudjelovanja nabijenih čestica koje nam dolaze sa Sunca i Zemljinog magnetskog pola, blizu polova se stvaraju svjetlosni fenomeni kao što je npr. polarna svjetlost. Nabijene čestice sa Sunca, koje neprestano „bombardiraju“ Zemlju, zovemo solarnim vjetrom. Također Zemlju neprestano „bombardiraju“ i nabijene čestice koje stižu iz svemirkog prostora izvan Sunčeva sustava – njih nazivamo komičke zrake. Pri naletu solarnog vjetra i kozmičkih zraka na Zemlinu atmosferu te čestice razbijaju atome na koje nalijeću i nastaje gomila nabijenih čestica. Na sve te nabijene čestice djeluje magnetsko polje Zemlje, koje nazivamo geomagnetsko polje. Ono je najslabije iznad ekvatora, a najjače iznad magnetskih polova.

Neke ptice, na primjer golubovi, orijentiraju se u letu pomoću magnetskog polja Zemlje. Golubovi u mozgu imaju „centar za magnetsku orijentaciju“, koji djeluje poput kompasa. Ako bi golubu učvrstili malu zavojnicu kojom teče struja, time bi se stvorilo dodatno magnetsko polje. Tada bi se golub orijentirao prema sjeveru ukupnog magnetskog polja (zbroj magnetskog polja Zemlje i zavojnice) te letio u određenom (pogrešnom) smjeru.

Termiti u svojim nastambama grade galerije paralelno s magnetskim poljem Zemlje i okomito na njega; galerije su u smjerovima sjever – jug i istok – zapad. Međutim, ako kao i kod golubova dodamo dodatno magnetno polje, termiti će se također prilagoditi ukupnom magnetnom polju i pregraditi galerije.

## 9 LJUDSKA PRIMJENA MAGNETIZMA

U kontakt s magnetima i općenito magnetizmom dolazimo jako puno puta u svojim svakodnevnim životima. Oni imaju veliku ulogu u raznovrsnim uređajima: obične igračke, računala, kreditne kartice, itd. Magneti variraju veličinom od jedva vidljivih oku do industrijalnih komada koji mogu težiti i tone. U današnje doba većina ih se nalazi u unutrašnjosti uređaja i strojeva koje koristimo te su jedva vidljivi i znani.

Mnoga računala koriste magnete kako bi spremili velike količine podataka na memorijska kućišta. Magneti mijenjaju smjer magnetskih materijala na hard disk u dijelovima koji predstavljaju računalne podatke. Zvučnici, poput onih u računalima, televizorima i radijima, također koriste magnete da bi pretvorili elektronički signal u zvučne vibracije.

Makar neće uvijek biti vidljivo, u kućanstvu se nalaze i mnogi drugi magneti. Hladnjaci, usisavači, mikseri i perilice rublja rade s elektromotorima koji funkcioniraju na principu magnetizma. Magnetna crta na kreditnim karticama sadrži i pohranjuje podatke poput već spomenutih magneta u računalima. Magnete pronalazimo i u telefonima, mobilnim uređajima, zvonu pred vratima, dječjim igračkama i mnogim drugim stvarima koje nas okružuju na svakodnevnoj bazi.

Magnetizam nudi pregršt prednosti u industrijskom svijetu. Magneti u električnim generatorima pretvaraju mehaničku u električnu energiju, a neki i suprotno. Od reciklaže i velikih pomičnih magneta koji imaju snagu podići nekoliko tona teške automobile, do poljoprivrede i prehrambene industrije gdje magneti iz hrane vade metale koji su zalutali te umalo postali naša prehrana.

Zdravstvo je procvjetalo nakon što je magnetizam našao svoju svrhu tamo. Od različitih tehnoloških i drugih inovacija – poput MRI (Magnetic Resonance Imaging) uređaja koji stvara detaljne slike kostiju i organa te u kemoterapiji.

Jedan od najpoznatijih primjera magnetske koristi je kompas. On pomaže u navigaciji prostora od 13. stoljeća. Zanimljivi primjer tehnološkog napretka s magnetizmom je magnetno levitacijski vlak – Maglev. To je moderna vrsta željezničkog vozila. U pokretu vlak ne dodiruje podlogu/vodilicu već lebdi iznad nje pomoću magnetno-odbojne sile. Time se smanjuje trenje, povećava brzina i smanjuju se troškovi održavanja.



Sl. 15 Uređaji koji koriste magnetsko djelovanje

Izvor: <http://www.cndailymag.com/images/about/application.jpg>

## 9.1 Podijela uporabe po magnetskom djelovanju

Permanentni magneti se općenito mogu podijeliti u četiri kategorije:

### KATEGORIJA 1

Primjena koja koristi privlačno – odbojnu snagu magneta. Privlačna snaga magneta i magnetskih materijala, kao što su željezo i čelik, te odbojna sila dva magneta.

- ~ magnetski držači uređaja, magnetski zasuni
- ~ magnetski pogoni zaokretnog momenta

### KATEGORIJA 2

Ova kategorija koristi magnetsko polje magneta kako bi pretvorila mehaničku energiju u električnu.

- ~ generatori i alternatori
- ~ zaustavne kočnice



### KATEGORIJA 3

Za razliku od kategorije 2, kategorija 3 koristi magnetsko polje kako bi električnu pretvorila u mehaničku energiju.

- ~ motori
- ~ brojila
- ~ zvučnici
- ~ pogoni (linearni i okretni)

### KATEGORIJA 4

Primjena magneta na način da magnetsko polje upravlja, oblikuje i kontrolira elektrone i ionske čestice.

- ~ magnetske katodne i valne cijevi
- ~ ionske pumpe
- ~ ciklotron

## 10 UTJECAJ MAGNETIZMA NA ČOVJEKA

Postoje mnoga znanstvena, tehnička i socijalna istraživanja utječe li magnetizam pozitivno ili negativno na čovjeka, no na kraju rasprave dolazi do nesuglasica i kontroverznih mišljenja.

S jedne strane smatra se da ljudsko tijelo ne može osjetiti magnetizam te ukoliko ga postavimo u veliki magnet, 1 000 puta jači od Zemljinog magnetskog polja, da ljudskome tijelu ne bi bilo ništa, tj. da ne bi osjetilo nikakve negativne posljedice. Ovakvo zastupanje mišljenja pretpostavlja se da je magnetizam bezopasan. Dok s druge strane, neki zastupaju mišljenje da magnetizam, „običan“ i geomagnetizam, mogu utjecati na ljudsko tijelo i na njegov organizam s manjim posljedicama kao što utječu na neke životinje.

Na temelju rezultata koje nam daje dozimetrija, koja se bavi proučavanjem utjecaja različitih vrsta ionizirajućeg zračenja, mogu se razmatrati biološki učinci koji se pojavljuju kod elektromagnetskih polja i to samo kada izloženost uzrokuje fiziološke promjene u biološkom sustavu. Ako je biološki učinak zbog izloženosti izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati, nastaje opasnost za ljudsko zdravlje. Dokazano je da izloženost poljima niskih frekvencija može uzrokovati induciranje električnih struja u tkivu, a dominantni efekti izloženosti poljima visokih frekvencija su zagrijavanje tkiva, promjena kemijskih reakcija te također induciranje električnih struja u tkivu i u stanicama.

## 11 ZAKLJUČAK

Shvatila sam da magneti predstavljaju malo čudo. Oni su maleni objekti koji privlače predmete i stvaraju magnetsko polje. Magnetsko polje je nevidljivo i u njemu se osjeća djelovanje magnetske sile koja može biti privlačna ili odbojna. Stalni magneti su napravljeni od materijala koji je magnetiziran, a materijali koji se mogu namagnetizirati su feromagnetni.

Primjena magnetizma u svakodnevnom životu je učestala te raste kako i tehnologija napreduje. Primjena u zvučnicima, računalima, električnim motorima samo su jedne u nizu mnogih. Magnetni nas okružuju i gotovo svakodnevno se nađemo pod utjecajem njihovih magnetskih polja. Makar (ne)štetan utjecaj magnetizma na ljudsko tijelo povlači kontroverzna pitanja znanstvenika, nisam naišla na članak koji govori da je magnet (svakidašnji magnet) štetan. Baš suprotno, u alternativnoj „medicini“ postoji i magnetoterapija koja pomaže ljudskom organizmu.

## LITERATURA

- [1] Paar V., Šips V., Fizika 2, udžbenik za 2. razred gimnazije, Zagreb, Školska knjiga, 2001.
- [2] Magnetizam, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Magnetizam>, pristupljeno 03.06.2017.
- [3] M. Essert, J. Grilec, Elektricitet i Magnetizam, Magnetizam, [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1348657703-0-eim\\_2009.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1348657703-0-eim_2009.pdf), pristupljeno 03.06.2017.
- [4] Magneti i magnetno djelovanje, <https://sites.google.com/site/magnetiimagnetnodjelovanje/>, pristupljeno 03.06.2017.
- [5] Magnetizam, <https://www.artas.hr/magneti/magnetizam.htm>, pristupljeno 03.06.2017.
- [6] Magnetism, <http://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/magnetism.html>, pristupljeno 03.06.2017.
- [7] Magnetizam, <http://proleksis.lzmk.hr/35621/>, pristupljeno 03.06.2017.
- [8] Magnet, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=38033>, pristupljeno 03.06.2017.
- [9] Magnetizam, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=38035>, pristupljeno 03.06.2017.
- [10] Magnetizam I, [http://www.fpz.unizg.hr/elektrotehnika/admin/upload/et\\_predavanje\\_07\\_magnet\\_i\(1\).pdf](http://www.fpz.unizg.hr/elektrotehnika/admin/upload/et_predavanje_07_magnet_i(1).pdf), pristupljeno 15.07.2017.
- [11] Magnetsko polje, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Magnetsko\\_polje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Magnetsko_polje), pristupljeno 15.07.2017.
- [12] Magnetizam – magnetsko polje zavojnice, <http://osnove.tel.fer.hr/VJEZBEOE/zavojnica.htm>, pristupljeno 15.07.2017.
- [13] Magnetno djelovanje električne struje, [http://www.eduvizija.hr/portal/lekcija/8-razred-fizika-magnetno-djelovanje-elektricne-struje#tekst\\_lekcije](http://www.eduvizija.hr/portal/lekcija/8-razred-fizika-magnetno-djelovanje-elektricne-struje#tekst_lekcije), pristupljeno 15.07.2017.

- [14] Magnetske sile, magnetsko polje, magnetska indukcija i magnetski tok, <http://www.pfri.uniri.hr/~bonato/6.predav..Bel.pdf>, pristupljeno 15.07.2017.
- [15] Zemljino magnetsko polje, <http://www.cps.org.rs/Cks2/cks205b.html>, pristupljeno 25.09.2017.
- [16] Fizika magnetizam, <https://www.slideshare.net/doxikus/fizika-magnetizam>, pristupljeno 25.09.2017.
- [17] Magnetska svojstva materijala, [https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/Magnetska\\_svojstva\\_materijala%5B2%5D.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/Magnetska_svojstva_materijala%5B2%5D.pdf), pristupljeno 25.09.2017.
- [18] Applications of magnetism, <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/applications-of-magnetism/>, pristupljeno 25.09.2017.
- [19] Magnetism, <https://www.ucl.ac.uk/qsd/people/teaching/MPM-Part2>, pristupljeno 25.09.2017.
- [20] Magnetizam III, [http://www.fpz.unizg.hr/elektrotehnika/admin/upload/magnetizam\\_iii.pdf](http://www.fpz.unizg.hr/elektrotehnika/admin/upload/magnetizam_iii.pdf), pristupljeno 25.09.2017.
- [21] Magnetski materijali, <http://www.slideserve.com/debbie/magnetski-materijali-i>, pristupljeno 25.09.2017.
- [22] Magnetno levitacijski vlak, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Magnetno\\_levitacijski\\_vlak](https://hr.wikipedia.org/wiki/Magnetno_levitacijski_vlak), pristupljeno 26.09.2017.
- [23] What are natural magnets?, <https://www.reference.com/science/natural-magnets-c1ea6d9b39f65f40#>, pristupljeno 26.09.2017.
- [24] Uses of Magnets in Our Daily Life, <https://sciencing.com/uses-magnets-daily-life-8056272.html>, pristupljeno 26.09.2017.
- [25] Can the human body sense magnetism?, <https://www.quora.com/Can-the-human-body-sense-magnetism-Also-does-magnetism-affect-the-body>, pristupljeno 26.09.2017.

## PRILOZI

### POPIS SLIKA

Sl. 1 Fotografija kompasa.....	3
Sl. 2 Prirodni magnet.....	5
Sl. 3 Razdvajanje magneta.....	6
Sl. 4 Eskperimentalni prikaz magnetskih silnica .....	7
Sl. 5 Elektromagnet .....	8
Sl. 6 Prikaz pravila desne ruke .....	10
Sl. 7 Magnetske silnice čine tok .....	12
Sl. 8 Dijamagnetično odbijanje vanjskog magnetskog polja .....	15
Sl. 9 Prikaz paramagnetizma.....	16
Sl. 10 Učinak magneta na željezo .....	17
Sl. 11 Ovisnost feromagnetizacije o temperaturi .....	17
Sl. 12 Magnetske histereze .....	18
Sl. 13 Usporedba feromagneta i antiferomagneta .....	19
Sl. 14 Magnetsko polje Zemlje .....	21
Sl. 15 Uređaji koji koriste magnetsko djelovanje .....	24

### POPIS TABLICA

Tab. 1 Usporedba električne i magnetske struje .....	9
Tab. 2 Vrijednosti magnetske indukcije za neka magnetska polja.....	13