

# Magnetna polja in kresnice

Rudi Čop<sup>1</sup>

## Povzetek

V članku sta obravnavana dva naravna vira magnetnega polja in pojav rojev kresnic. Naravna vira magnetnega polja sta magnetit kot naravni permanentni magnet in planet Zemlja, ki ustvarja svoje geomagnetno polje. Prvi je kot kamen s posebnimi lastnostmi poznan že zelo dolgo, po pisnih virih od antike dalje. Odkritje geomagnetnega polja pa je vezano na iznajdbo kompasa, ki se v Evropi uporablja kot navigacijski instrument od 13. stoletja dalje. V Slovenski Istri posamezniki vedo kdaj se pojavijo roji kresnic. Ni pa znano, da bi to vedenje obstajalo tudi v bližnji ali daljni okolici, zato je prav Slovenska Istra kraj, kjer so domačini zaznali, da se roji kresnic pojavljajo v poletnih nočeh okoli solsticija in to v času geomagnetnih neviht.

**Ključne besede:** naravna magneta, geomagnetne nevihte, kresnice

**Keywords:** natural magnets, geomagnetic storms, fireflies

## Naravna magneta

Mineralni magnetit (angl. magnetite) se nahaja v različnih geoloških formacijah: od predornin, sedimentnih kamenin pa vse do metamorfnih kamenin. Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) kot rudnina spada med najbogatejše železove rude. Je tudi najpogostejša feromagnetna snov naravnega izvora, pomembna za paleomagnetne raziskave s katerimi se sledi razvoju tektonskih plošč skozi zgodovino Zemlje (Butler, 1992; Lanza & Meloni, 2006). Nanodelci magnetita v obliki čistih kristalov se v številnih živih organizmih, ki jim med drugim omogočajo tudi orientacijo in navigacijo v prostoru (Fuller & Dobson, 2007; Kirschvink et al. 2001). Poznane so bakterije, ki se v prostoru orientirajo s pomočjo lokalnega magnetnega polja. Te bakterije so bile odkrite šele v drugi polovici prejšnjega stoletja (Bellini, 1963; Blakemore, 1982). V njihovih celicah so nanokristali feromagnetnih spojin, najpogosteje iz magnetita (biogenic magnetite), ki so oviti z lipidno dvoslojno membrano (Alphandéry, 2014). Delujejo kot miniaturni kompasi in omogočajo bakterijam, da v vodnem stolpcu plavajo zelo točno usmerjeno.

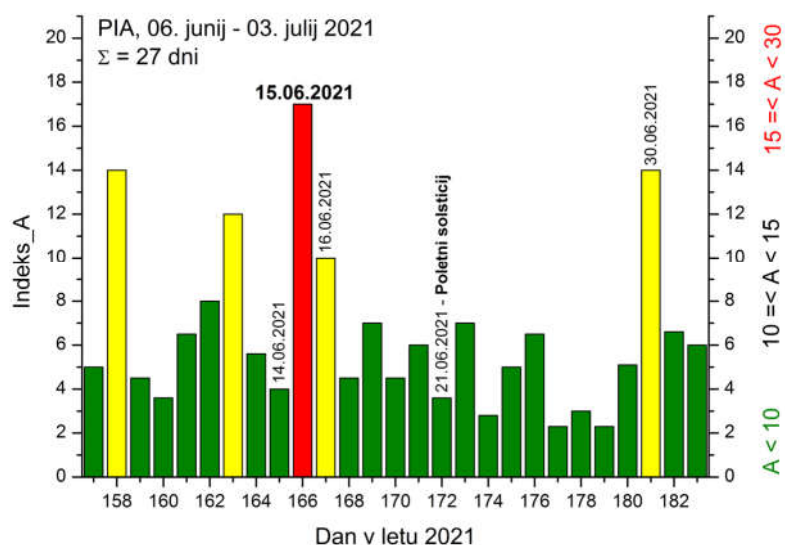
Magnetit je lahko tudi naravni permanentni magnet (angl. lodestone), ki so ga poznali že v Antični Grčiji in v Rimskem imperiju (Emerson, 2014). Magnetno polje, ki ga tak naravni magnet ustvarja je sicer relativno šibko, vendar se težje demagnetizira. Zemljino magnetno polje mineral magnetita ne more trajno namagnetiti. Namagnetijo ga močna magnetna polja, ki se ustvarijo ob udarih strel (Wasilewski & Kletetschka, 1999; Salminen et al, 2013). Eden izmed argumentov za tako razlago je tudi, da so naravni magneti večinoma najdeni na površju ali blizu površja nahajališč te bogate železove rude.

Magnetni kompas spada med največje iznajdbe stare Kitajske. V 2. stoletju pred našim štetjem, v začetku dinastije Han, so ga izdelali iz naravnega magneta (Thirty, 2020). Najstarejši zapisi o uporabi kompasa v navigaciji v islamskem svetu so iz konca 12. stoletja (Schmidl, 1997–98) in v Evropi iz začetka 13. Stoletja (The letter, 1904). Kot instrument za določevanje smeri v prostoru je bil njihov bistveni sestavni del jeklena igla, ki se je prosto gibala v vodoravni ravnini. Usmerja jo magnetno polja Zemlje, remanenčni

---

<sup>1</sup> Zavod Terra Viva, Sv. Peter 115, 6333 Sečovlje; Email: rudi@artal.si

ali preostali magnetizem kompasne igle pa so navigatorji osveževali s pomočjo koščka naravnega magneta. Dosežena merilna občutljivost takega kompasa je bila slabša od  $1 \mu\text{T} = 1000 \text{ nT} = 10^{-6} \text{ T}$ .



Slika 1 – Geomagnetni indeks  $A$  izračunan na osnovi meritev spremembe lokalnega magnetnega polja na geomagnetnem observatoriju PIA od 16. junija do 3. julija 2021 v enem učinkovitem obratu Sonca v začetku 25. solarnega cikla.

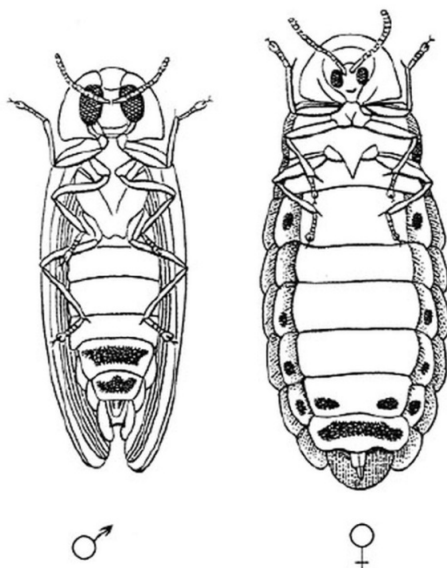
Preko 99% geomagnetnega polja ustvari sam planet Zemlja (Campbell, 2012). Prvi pomembnejši raziskovalec zemeljskega magnetizma iz začetka revolucije znanosti v 17. stoletju je bil William Gilbert (1514-1603). Na osnovi meritev na modelu je zaključil, da je Zemlja sama za sebe en velik magnet in da se zaradi tega spreminja njena magnetna deklinacija in inklinacija (Malin & Barraclough, 2011). Leta 1806 je Alexander von Humboldt (1769–1859) odkril pojav geomagnetnih neviht (Lakhina & Tsurutani, 2016). Da se njihova pogostnost spreminja v skladu s cikli sončnih peg (Maunder, 1904) je 1851 objavil Edvard Sabine (1788-1883) (Sabine, 1852). Proučevanje geomagnetnega polja se je tako razširilo na prostor med središčem Sonca in središčem Zemlje.

### Spremembe lokalnega magnetnega polja

Nekatera živa bitja magnetno polje Zemlje uporabljajo za orientacijo v prostoru. Raziskano je predvsem obnašanje lososov, postrvi, čebel, taščic in domačih golobov ob spremembi lokalnega magnetnega polja (Fuller & Dobson, 2007). Najbolj je raziskano obnašanje ptičev, pri čemer pa so zelo slabo poznani nevrološki in psihološki procesi pri zaznavanju signalov iz ustreznih čutil. Domači golobi in ptice selivke uporabljajo dvoje vrst čutil za zaznavanje spremembe lokalnega magnetnega polja. Ta čutila izkoriščajo magnetne nano delce, ki se nahajajo v zgornji polovici kljuna. V njihovih očeh pa se odvija mehanizem para prostih radikalov, ki v mrežnici, pod vplivom lokalnega magnetnega polja, ustvarja značilen vidni vzorec. Magnetno polje ptice selivke uporabljajo tako za orientacijo v prostoru kot tudi za ugotavljanje pozicije na osnovi zaznavanja kota magnetne inklinacije (Wiltschko & Wiltschko, 2005).

V času geomagnetne nevihte živalski svet obmiruje. To se dobro opazi poleti, ko ni mogoče zaznati običajnega utripa poletnih noči. V nekaterih predelih Slovenije takim

nočem pravijo tihe ali tudi gluhe noči. Ta zaznaven vpliv na biosfero je sicer vezan na pojav geomagnetne nevihte, vendar pa ne na stopnjo njene jakosti. Živa bitja namreč zaznajo spremembo v lokalnem magnetnem polju preko resonančne absorpcije in so zato za njih odločujoči impulzi v geomagnetnem polju. V času trajanja geomagnetne nevihte tudi ne vzletavajo netopirji iz svojih dnevnih skrivališč. Netopirji so plenilci nočnih letečih žuželk, ki svoj plen odkrivajo s pomočjo ultrazvoka. Njihovi možgani vsebujejo nanodelce magnetita, ki bi jim lahko služili kot senzori za orientacijo v prostoru po lokalnem magnetnem polju. Dokazan je njihov odziv na spremembo smeri in inklinacije magnetnega polja ter da povečan šum v njem pomembno vpliva na njihovo obnašanje (Wang et al, 2007; Tian et al, 2010).



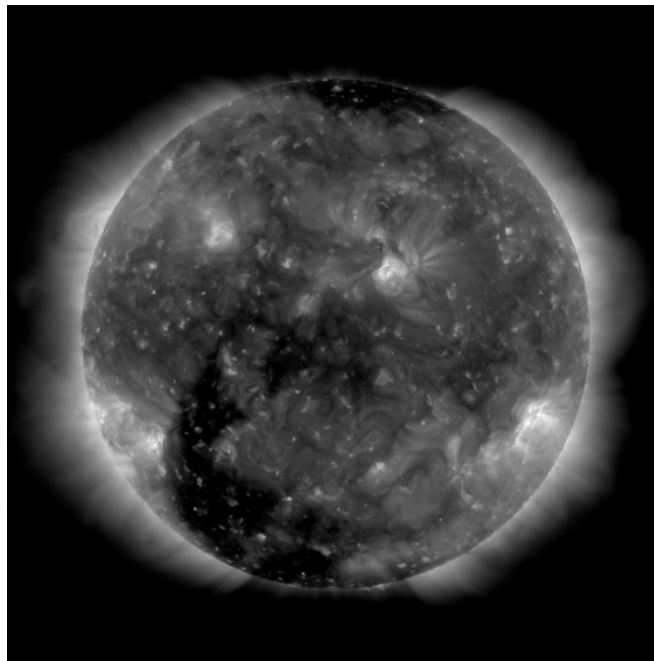
Slika 2 – Svetilni organ male kresnice (*Lamprohiza splendidula*) so v risbi poudarjeni kot temna področja na spodnji strani zadka. Krilati samček je velik 8–10 mm, večja samica brez kril pa 9–11 mm (De Cock, 2009).

Med domačini v Slovenski Istri obstaja ljudsko izročilo, da se kresnice (kresničke, kresničice; kresance, posvečkari, buskalce, božji črveki) pojavijo tisto poletno noč, ko ptiči ne pojejo. Čez dan pa se ptiči ne oglašajo v času geomagnetnih neviht. V dveh zaporednih nočeh 15. in 16. junija 2021 (Slika 1) je geomagnetna nevihta na planetarni ravni dosegla stopnjo G1 (minor). Tudi neodvisni očitvidci so potrdili, da so se prav v teh dveh nočeh pojavili roji kresnic. V nočeh pred kot tudi pozneje pa kresnice niso rojile. V Istri ponoči v rojih letajo in svetijo samčki male kresnice (*Lamprohiza splendidula*) (Slika 2). Belkaste samice so brez kril, imajo tudi svetilne organe in so podobne ličinkam (angl. larva). Hladno svetlobo hrošči iz družine kresnic (*Lampyridae*) (angl. fireflies, lightning bugs, glowworms) proizvajajo na osnovi bioluminiscence, ki ima 90% svetlobni izkoristek. S svojo svetlobo in načinom utripanja privabljajo hrošče iste vrste v času parjenja. Še isti dan poginejo samci, naslednji dan, po odložitvi jajčec v gozdna tla, pa tudi samice (De Cock, 2009). Kjer so vlažna in apnenčasta tla pa v Slovenski Istri živi tudi italijanska kresnica (*Luciola italica*). Tudi samčki te vrste, ki so malo bolj drobni kot pa samčki male kresnice, ob paritvi letajo in svetijo s svojimi svetilnimi organi na spodnji strani zadka. Kot vse kresnice tudi njih iztreblja intenzivni način kmetovanja in ulične svetilke, ki ob paritvi preprečujejo zблиžanje hroščev obeh spolov. Odrasle kresnice, ki živijo v Sloveniji, se hranijo z nektarjem in pelodom, njihove ličinke pa s črvi in polži (Bissanti, 2019).

V prvem desetletju tega stoletja so na Japonskem izpeljali vrsto poizkusov o vplivu močnih magnetnih polj na način svetjenja kresnic (Iwasaka & Ueno, 1998; Barua et al, 2012). Ugotovili so, da se pod vplivom magnetnega polja gostote  $B = 14 \text{ T}$  bioluminiscenčni spekter svetlobe pri živih kresnicah premakne proti rdeči svetlobi za okoli 10 nm in da upade njihova svetlost (angl. luminous intensity). Dodatne meritve na biološkem sevalcu hladne svetlobe (oxyluciferin) in vitro z dodatkom ustreznega encima (luciferase) tudi pri magnetnih impulzih gostote  $\sim 53 \text{ T}$  in času trajanja  $\sim 40 \text{ ms}$  ne spremeni valovne dolžine njegovega sevanja kot tudi ne njegove svetlosti (Zhou et al, 2015). Razlog za spremembo načina sevanja bioluminiscenčne svetlobe pri živih kresnicah je potrebno iskati v reakciji kresnic na spremembo v velikosti prostora in magnetnega polja v njihovi neposredni okolici. To lastnost živih bitij, da eden na drugega vplivajo, se prilagajajo na spremembe in težijo k ravnovesju je potrebno upoštevati pri načrtovanju nadaljnjih raziskav in pri razlagi dobljenih rezultatov.

### Poletni solsticij

Za predstavitev sprememb v lokalnem magnetnem polju okoli poletnega solsticija so bili izbrani že predhodno obravnavani trije zaporedni dnevi od 14. do 16. junija 2021 (Slika 1). Spremembe so bile izmerjene na geomagnetnem observatoriju z mednarodno kodo PIA (Piran, Slovenia). Obdobje se je začelo z geomagnetno mirnim dnem (angl. solar quiet) in se nadaljevalo z dvema geomagnetno nestabilnima dnevoma (angl. unsettled).



Slika 3 – Posnetek Sonca iz satelita SDO (Solar Dynamics Observatory) v ultravijolični svetlobi valovne dolžine 193 Angstromov ( $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$ ) posneto dne 6. junija 2021 ob 02:16 z instrumentom AIA (Atmospheric, 2021).

Za opis spremembe magnetnega polja Zemlje v posameznem dnevu služi linearni geomagnetni indeks  $A$  (angl. daily equivalent), ki lahko doseže največ vrednost  $A_{\max} = 400$ . Geomagnetni indeks  $A$  se izračuna iz osmih geomagnetnih indeksov  $K$  izračunanih iz

merilnih podatkov posameznega dne. Geomagnetni indeks  $K$  je logaritmčne oblike in izhaja iz skalarne matrike, s katero se popisuje velikost odstopanja posameznega dne od srednjih vrednosti geomagnetno mirnih dni (Čop et al, 2015; Matzka et al, 2021). V izbranem obdobju od 14. do 16. junija 2021 (Slika 1) je bila na observatoriju PIA izmerjena največja sprememba absolutne vrednosti vektorja magnetnega polja  $dF = 47974,07 \text{ nT} - 47922,64 \text{ nT} = 51,43 \text{ nT}$  ali vsega 0,11 % od srednje vrednosti  $F = 47955,87 \text{ nT}$ .

Na planetarni ravni je bila 15. junija 2021 geomagnetna nevihta, ki jo je povzročil povečan tok elementarnih delcev iz korone Sonca CIR (co-rotating interaction region) s hitrostjo 579,6 km/s in gostoto 9,5 protonov/cm<sup>3</sup>. Ta je izhajal iz obsežne luknje v koroni Sonca na njegovi južni polobli zaradi česar je bila ta geomagnetna nevihta že v naprej napovedana (Slika 3).

V letu 2021 se je začel 25-ti solarni cikel in so zato geomagnetne nevihte redkejšje in šibkejšje kot pa bodo v njegovem višku, ki ga bo dosegel okoli leta 2025 (Owens et al, 2021; Bhowmik & Nandy, 2018). Manjša aktivnost Sonca se opazi tudi na grafu geomagnetnih indeksov  $A$  za obdobje njegovega enega efektivnega obrata od 6. junija do 3. julija 2021 (Slika 1). Vse večje spremembe lokalnega magnetnega polja so nastale zaradi neposrednega vpliva Sonca in so bile zato že v naprej napovedane. 30. junija 2021 pa je Zemljo dosegel udarni val relativno majhnih amplitud, ki se je širil v medplanetarnem magnetnem polju. Ker njegovega pravega izvora ne poznamo, je bil zato nenapovedan.

## Zaključek

Okoliščine v katerih le posamezne poletne noči razsvetljujejo kresnice, poznajo posamezniki v Slovenski Istri. Po etnoloških zapisih ter ohranjenih spomenikih, simbolih in ledinskih imenih pa vemo, da je poleg katoliške vere na tem področju vzporedno obstajala tudi stara vera in način življenja, ki je bil neposredno povezan v naravo.

Na osnovi analize okoliščin, ki se pojavljajo skupaj z roji kresnic, sem ugotovil, da se ti hrošči, vsaj v zadnjem delu svojega življenjskega cikla, ravnajo po naravnih spremembah lokalnega magnetnega polja Zemlje.

## Literatura

- Alphandéry, E. (2014). Applications of Magnetosomes Synthesized by Magnetotactic Bacteria in Medicine. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2 (5), 1–6.
- Atmospheric Imaging Assembly. JPEG2000 Images (SDO\_AIA\_193). (2021). Stanford (US, CA): Stanford University; Joint Science Operations Center (JSOC).  
<http://jsoc.stanford.edu/data/aia/images/2021/06/11/193/> (11.11. 2021).
- Barua, G. A. Iwasaka, M. Miyashita, Y. Kurita, S. Owada, N. (2012). Firefly flashing under strong static magnetic field. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 11, 345.
- Bellini, S. (1963). *Ulteriori studi sui "Batteri Magnetosensibili"*. Pavia (Italy): Istituto di microbiologia dell'Università di Pavia, 1963.
- Bhowmik, P. Nandy, D. (2018). Prediction of the strength and timing of sunspot cycle 25 reveal decadal-scale space environmental conditions. *Nature Communications*, 9, 5209.
- Bissanti, G. (2019). *Luciola italica. Un Mondo Ecosostenibile/An Ecosustainable World*.  
<https://antropocene.it/en/2019/08/14/luciola-italica/> (9.12.2021)
- Blakemore, P. R. (1982). Magnetotactic bacteria. *Annual Reviews of Microbiology*, 1982, 36, 217-238.
- Butler, F. R. (1992). *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Oxford (UK): Blackwell Scientific.

- Campbell, H. W. (2012). Introduction to geomagnetic field. Second edition. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University.
- Čop, R. Deželjin, D. De Reggi, R. (2015). Določitev lokalnega geomagnetnega indeksa K. Determination of local geomagnetic K-index. In Slovenian. *Geodetski vestnik*, 59 (4), 697–708.
- De Cock, R. (2009). 10. Biology and behaviour of European lampyrids. *Bioluminescence in Focus - A Collection of Illuminating Essays*. Editor: Victor Benno Meyer-Rochow. Kerala (India): Research Signpost, 2009, 161–200. ISBN: 978-81-308-0357-9
- Emerson, D. W. (2014). The Lodestone, from Plato to Kircher. *Preview*, 173, 52-62; DOI: 10.1071/PVv2014n173p52.
- Fuller, M. Dobson, J. (2007). Biomagnetism. *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism. Encyclopedia of Earth sciences series*. Edited by David Gubbins and Emilio Herrerobervera. Dordrecht (The Netherlands): Springer, 48–52. ISBN-13: 978-1-4020-3992-8.
- Iwasaka, M. Ueno, S. (1998). Bioluminescence under static magnetic fields. *Journal of Applied Physics*, 83 (11), 6456.
- Kirschvink, L. J. Walker, M. M. Diebel, E. C. (2001). Magnetite-based magnetoreception. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 462–467.
- Lakhina, S. G. Tsurutani, T. B. (2016). Geomagnetic storms: historical perspective to modern view. *Geoscience Letters*, 3 (5).
- Lanza, R. Meloni, A. (2006). *The Earth's Magnetism. An introduction for geologists*. Berlin (Germany): Springer – Verlag.
- Malin, S. Barraclough, D. (2011). Gilbert's *De Magnete: An Early Study of Magnetism and Electricity*. *Eos, Transactions American Geophysical*, 81 (21).
- Matzka, J. Stolle, C. Yamazaki, Y. Bronkalla, O. Morschhauser, A. (2021). The Geomagnetic Kp Index and Derived Indices of Geomagnetic Activity. *Space Weather*, 19 (5), e2020SW002641.
- Maunder, E. W. (1904). Note on the distribution of sun-spots in heliographic latitude, 1874-1902. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 64, 747–761.
- Owens, J. M. Lockwood, M. Barnard, A. L. Scott, J. C. Haines, C. Macneil, A. (2021). Extreme Space-Weather Events and the Solar Cycle. *Solar Physics*, 296, 82.
- Sabine, E. (1852). On Periodical Laws Discoverable in the Mean Effects of the Larger Magnetic Disturbances. No. II. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 142, 103–124.
- Salminen, J. Pesonen, J. L. Lahti, K. Kannus, K. (2013). Lightning-induced remanent magnetization—the Vredefort impact structure, South Africa. *Geophysical Journal International*, 195, 117–129.
- Schmidl, G. P. (1997–98). Two early Arabic sources on the magnetic compass. *Journal of Arabic and Islamic Studies*, 1, 81–132.
- The letter of Petrus Peregrinus on the magnet, A.D. 1269. (1904). Translated by brother Arnold. New York (US): Mc Graw.
- Thirty Great Inventions of China. From Millet Agriculture to Artemisinin. (2020). Editors Jueming Hua and Lisheng Feng. Springer.
- Tian, L. Lin, W. Zhang, S. Pan, Y. (2010). Bat Head Contains Soft Magnetic Particles: Evidence From Magnetism. *Bioelectromagnetics*, 31, 499–503.
- Wang, Y. Pan, Y. Parsons, S. Walker, M. Zhang, S. (2007). Bats respond to polarity of a magnetic field. *Proceedings of the Royal Society – B*, 274, 2901–2905.
- Wasilewski, P. Kletetschka, G. (1999). Lodestone: Nature's Only Permanent Magnet-What it is and how it gets charged. *Geophysical research letters*, 26 (15), 2275-2278.
- Wiltschko, W. Wiltschko, R. (2005). Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology B*, 191, 675–693.
- Zhou, W. Nakamura, D. Wang, Y. Mochizuki, T. Akiyama, H. Takeyama, S. (2015). Effect of very high magnetic field on the optical properties of firefly light emitter oxyluciferin. *Journal of Luminescence*, 165, 15–18.