



## O magnetických polích, mobilech, včelách, ale také o vědcích

Doc. RNDR. Martin Vácha, PhD

Zkrácená verze článku z Moderního včelaře, 8/2019, str. 30-33

určeno pro www.beedol.cz (se svolením autora), editace Mgr. Veronika Jeřábková.

Článek vznikl za podpory grantu NAZV QK1910286

*Ve svém článku se pokusím představit svůj, nutně zjednodušený, pohled na tyto otázky. Jde o pohled biologa, který se věnuje výzkumu magnetického smyslu zvířat. Článek se nesoustředí výlučně na včely, protože si myslím, že v oblasti účinků magnetických a elektromagnetických (EMG) polí si musíme nejdříve objasnit otázky metodologie vědy a až pak se ptát, co je konkrétně u včel jinak než u jiných druhů hmyzu. Dopady EMG polí na život a zdraví lidí i včel se zatím ukazují jako rozhodně slabší než už jiné známé faktory nemoci nebo chemického znečištění. Chtěl bych však poukázat na to, že první vcelku věrohodný důkaz o citlivosti zvířat k radiovým frekvencím se objevil až nedávno na základě výzkumu magnetického smyslu ptáků. Na to, jestli je to stopa slepá nebo vedoucí k novým objevům ve vztahu živočišné a EMG pole, je však ještě příliš brzy.*

### Magnetická a elektromagnetická pole

Magnetická síla je jednou ze základních sil držících vesmír a svět, který známe, a organismy jsou jejím různým podobám vystaveny od vzniku života. Planetu Zemi obklopuje statické, tzn. v čase skoro konstantní geomagnetické pole, a chrání její atmosféru a život před ionizujícími částicemi slunečního větru. Časově proměnná, oscilující magnetická pole představují pestrou škálu vlnění s velmi různými vlastnostmi, z nichž mnohá jsou pro život dokonce nezbytná. Vždyť třeba na pohon energie slunečního světla život běží po miliardy let, jinými poli se však obklopuje až moderní člověk.

O tom, jakou budou mít EMG vlny energii, jak se budou šířit, odrážet nebo ohýbat a jaké účinky budou mít na biologické molekuly, rozhoduje zásadně frekvence kmitů. Jejich schopnost dálkového přenosu síly a energie má obrovskou uplatnitelnost v technice, a jejich skoro explozivní rozšiřování v poslední době vyvolává otázky po vlivu na živé organismy.

Platí, že čím vyšší je frekvence záření, tím vyšší energii zatěžuje biologickou tkáň. Už světlo s vyšší frekvencí (tzn. krátkou vlnovou délkou), než můžeme vidět (UV světlo 10-390nm), má mutagenní a karcinogenní účinky. Ještě vyšší frekvence mají rentgenové záření a gama paprsky, o kterých se už mluví jako o ionizujícím záření, protože trhají vazby biologických molekul a jejich škodlivý účinek je jasně dokázaný. Nás bude ale zajímat záření neionizující, s menší energií, a to především v oblasti radiové (od stovek kHz po stovky MHz) a mikrovlnné (do desítek GHz), ve které fungují technologie wi-fi a mobilní telefonie.

### Biologické účinky neionizujících polí

Znamé biologické účinky onoho neionizujícího záření se odvozují především od ohřevu tkáně, způsobeného absorpcí energie. Tepelné účinky rostou s intenzitou, ale také se stoupající frekvencí, jsou závislé na typu tkáně a známe je důvěrně například z používání mikrovlnné trouby. Současné oficiální zdravotní limity jsou stanoveny právě na základě jejich tepelných účinků podle doporučení komise ICNIRP z roku 1999 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)<sup>1</sup>. Všechny mobilní telefony a komunikační systémy musí splňovat tyto normy pracující také s veličinou SAR (Specific Absorption Rate), která v



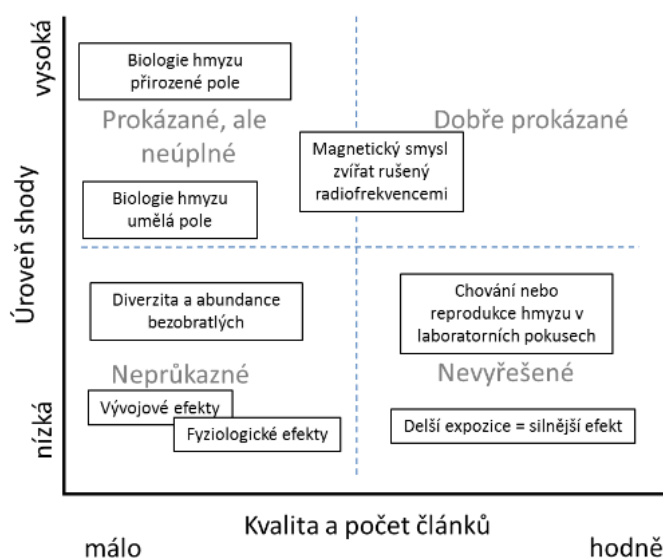
jednotkách W/kg udává, kolik záření vyzařovaného např. mobilem je tkání pohlceno a přeměněno v teplo.

Určitá potíž v plošném hodnocení vlivu energií EMG polí na tkáně spočívá už v tom, že některé biologické efekty jsou vázány jen na určité frekvence. Pomůžeme-li si příkladem ze světelné oblasti, zjistíme, že bílkoviny a nukleové kyseliny absorbují světlo z UV oblasti, ale na viditelné světlo samy reagovat nedokážou, k tomu potřebují spolupracovat s nebílkovinnými kofaktory. Podobně mikrovlny jen určitého omezeného spektra zahřívají konkrétní tkáň. Proto není možné dopady jednoho záření jednoduchým vzorcem extrapolovat na jiné.

### Netermální účinky radiofrekvenčních polí

Kolem netermálních účinků slabých EMG polí na organismy panuje největší nejistota a největší dohady, přestože článků na toto téma není málo. Jen výčet nálezů biologických vlivů EMG polí od 50 Hz v blízkosti vedení vysokého napětí po megahertzové EMG v blízkosti rádiových vysílačů až ke gigahertzům stanic mobilních operátorů nebo wi-fi technologií by zabral mnoho stran. Těch, orientovaných pouze na včely bychom našli desítky, ale zatím se podíváme na tuto oblast obecně.

Za důležité považují to, že bychom se setkali se směsí hlavně pozitivních, ale i negativních nálezů, které je velmi obtížné srovnávat a vůbec se v nich nějak zorientovat. Když tuto práci s vědeckou literaturou přenecháme povolanejšími a nebudeme je bezdůvodně podezřívát ze zaujatosti, dozvíme se, že prakticky neexistuje shoda na jakémkoliv fenoménu v oblasti netermálních účinků EMG polí, která by byla zároveň podložena dostatečným počtem vzájemně se podporujících a kvalitních vědeckých sdělení. Takovou práci si dal například v roce 2018 kolektiv autorů vedený dr. Pascalem Malkemperem<sup>2</sup>, jehož osobně znám jako objektivního a nestranného vědce. Graf převzatý z jejich studie ukazuje, jak jsou daná pozorování relevantní (obr. 1).



**Obr. 1: Grafický pokus o zhodnocení publikovaných nálezů z oblasti „EMF pole a živočichové“. Kvalita a počet publikovaných článků je na ose X a úroveň jejich vzájemné shody na ose Y. Je příznačné, že vpravo nahoře není skoro žádný nález. Upraveno podle zdroje<sup>2</sup>.**



Za prolístování stojí také jiná přehledová práce, orientovaná spíše na zdravotní důsledky<sup>3</sup>. Obsáhlý dokument shrnující výsledky stovek prací na různých modelech od těch buněčných až po chování zvířat dospívá k závěru, jenž by shrnutý do jedné věty zněl: pro jakoukoliv biologickou odpověď je nejpravděpodobnějším mechanismem slabá, lokalizovaná hypertermie. Tedy opět jen to zahřívání, nic zásadně nového či neznámého, co by se vymykalo hygienickým doporučením. Plyne z toho, že mnohé, co můžete jako autoritativně podané a hotové závěry číst o dopadech karcinogenních, mutagenetických, fyziologických nebo behaviorálních, zatím neprošlo přísným, ale nutným sítím kontrolních mechanismů, které přírodní vědy mají.

Co se konečně týká pokusů s gigahertzovými technologiemi konkrétně na včelách, ty dobře provedené a přísnými recenzemi prošlé jsou nápadné jak dobrým popisem metodiky, tak opatrností svých závěrů. Např. práce německých badatelů<sup>4</sup> jasně říká, že toho víme příliš málo, abychom mohli říct, že záření mobilních technologií v terénu je obecnou hrozbou pro včely. Sami našli negativní dopad na vývoj včelích matek, ale za podmínek záření, kdy mobil umístili přímo do úlu (což je ale způsob expozice trochu extrémní).

### Citlivost včel k magnetickému poli Země

Když se na chvíli opět vrátíme do klidných, od pradávna existujících vod stacionárního magnetického pole Země, zjistíme, že desítky (a možná většina) druhů zvířat jsou schopny je vnímat. Geomagnetické pole slouží jak zvířatům, tak lidem vybaveným kompasem jako neocenitelný nástroj pro navigaci<sup>6,7</sup>.

Současnou biofyziku a neuroetologii zajímá hlavně sama podstata toho, jak je možné, že tak slabá síla, jakou geomagnetické pole je (indukce cca 50  $\mu$ T), může být přeložena na buněčnou odpověď, a nakonec na nervový signál. Nepodařilo se totiž zatím bezpečně popsat žádný receptor, a to ani na úrovni orgánové, natož buněčné nebo membránové. Aby se jakýkoliv signál z vnějšího světa stal smyslově vnímatelný, musí zapůsobit na proteinové membránové kanály receptorových buněk a ty v odpověď okamžitě změň svůj náboj. Tomu už rozumí nervový systém a mozek dostává informace o síle a dalších vlastnostech daného signálu. Kardinální otázka tedy zní, jak může magnetické pole Země otevřít buněčný kanál. Jsou na ni už po desetiletí dvě odpovědi, jež budou nejspíše obě pravdivé.

První mechanismus stojí na nálezech feromagnetických částic ve tkáních. Pokud má buňka k dispozici takovou mikroskopickou kompasovou stříčku, pak by mohla její rotaci vnímat podobně, jako vnímá mechanické síly – otevřením kanálu jednoduše mechanickým tahem za některou jeho část.

Druhý model je mnohem složitější. Vychází z dílny fotochemiků a odborníků na redoxní děje spouštěné dopadem světla. Některé molekuly v těle zvířat i rostlin mohou po excitaci světlem vytvořit na krátkou dobu s jinou, blízkou molekulou tzv. radikálový pár. To znamená dvě molekuly s vzájemně korelovanými nepárovými elektrony. Zde o tom, jestli bílkovina změň svou katalytickou aktivitu a pošle buňkou signál dál, rozhoduje, v jaké vzájemné konfiguraci jsou ony nepárové elektrony. A to už může mít pod kontrolou právě magnetické pole. Alespoň taková je teorie podporovaná stále rostoucí řadou experimentů. Tou bílkovinou je pravděpodobně kryptochrom a kofaktorem je FAD (flavin adenin dinukleotid).

Včely dokáží podle přítomnosti magnetické značky rozeznat krmítko, kde předtím dostávaly cukerný roztok<sup>8</sup>. To je jediný, nezávisle ověřený experiment svědčící o magnetorepci včel, přestože dalších důkazů bylo publikováno více<sup>9</sup>. Co se týká mechanismu, jakým včely směr a snad i sílu pole měří, naprostá většina autorů se přiklání k magnetitovému kompasu, tomu, který nepotřebuje světlo, a naopak potřebuje částičky magnetitu ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).



Tím se konečně dostáváme k experimentům, které byly, jako snad jediné v celé oblasti dopadů slabých EMG polí na živé systémy, v několika laboratořích nezávisle ověřeny. A tím nás také výzkum zemského pole a kompasu vrací zpět k člověkem generovaným, umělým polím. Ptáci a švábi totiž ztráceli schopnost magnetorecepce, když byli exponováni EMG radiovému šumu z rozsahu 0,1–10 MHz, který je běžný v prostředí moderního města<sup>10</sup>. Důležité je, že to bylo při extrémně slabých hodnotách magnetické složky kolem 2–10 nT, přičemž doporučení ICNIRP pro člověka je 180 nT, tedy skoro 100x vyšší. Musí se zde tedy uplatňovat zcela jiný než pouze termální efekt.



Je možné, že energie extrémně slabých radiových polí je absorbována částicemi magnetitu, což by rušilo ptačí nebo možná i včelí kompasový smysl. Větší zastání má ale názor, že ta slabá radiová pole interferují s přeskoky elektronů v rámci mechanismu radikálových párů, a vyřazují tak kryptochromový kompas z činnosti. Protože s jistotou nevíme, jestli včely nepoužívají tento typ kompasu jako ptáci a švábi, napadlo nás, že by radiový šum mohl mást i je. Provedli jsme proto v sezónách 2016–2018 na pokusném včelíně Výzkumného ústavu včelařského Kývalka u Brna malý pilotní experiment s úspěšností odchovu matek v oplodňáčcích vystavených radiofrekvenčnímu šumu, z něhož je přiložená fotografie (obr. 2). Celkový rozdíl se ukázal jako nevýznamný (což ale uvádím jen pro zajímavost, ne jako tvrdý fakt).

**Obr. 2:** Autor článku pomáhá instalovat oplodňáčky exponované radiofrekvenčnímu šumu na pokusném včelíně Výzkumného ústavu včelařského Kývalka.

### Vnitřní hodiny hmyzu a magnetická pole

Protože kryptochrom je důležitý článek v řízení buněčných hodin, které hlídají zhruba denní (cirkadiánní) chod mnoha důležitých tělesných dějů hmyzu i savců, byl vliv magnetu vyzkoušen nejen na orientaci octomilek v prostoru, ale také na jejich orientaci v čase. Dnes už tři nezávislé laboratoře ukázaly, že magnetické pole, zhruba síly zemského, mění denní rytmus hmyzu. Naše brněnská laboratoř (zatím bez replikace jinde) zjistila, že k takovému posunu rytmu dojde i při aplikaci slabých radiofrekvenčních polí. To by znamenalo, že kryptochrom, ať už jako kompasový magnetoreceptor nebo jako hodinový protein, je mimořádně citlivý na EMG pole, citlivý zcela nad rámec termálních efektů popsaných výše.

Protože jak včely, tak lidé mají kryptochromy k řízení hodin a možná i dalších funkcí, nabízí se zde hypotéza opřená původně o soubor nezávislých pozorování orientace hmyzu: Nejsou ty slabé a prchavé efekty EMG polí způsobeny právě oním trochu tajemným proteinem kryptochromem? Odpověď bude ale ještě vyžadovat další výzkum a spolupráci více laboratoří.

### Replikační krize v magnetobiologii

Právě v souvislosti se spoluprací laboratoří a s výzkumem magnetických efektů nelze nezmínit bolest současné experimentální biologie, která spadá do širšího fenoménu zvaného replikační krize. Patří totiž mezi zásady vědeckého poznání, že za prokázané lze brát až to, co prošlo zopakováním (replikací) v jiné, nezávisle pracující laboratoři. Právě replikovatelnost je jádro dnešního problému vědy, kdy se úspěšnost může dostat jen na hrozivých 35 %



původních studií<sup>11</sup>. I v mé oblasti jsem v posledních letech zažil zpochybnění řady důležitých, a přitom hojně citovaných, objevů, některých právě na včelách.

Míra nedodržení známých poctivé vědy je velmi široká: a) experimenty nejsou prováděny tzv. zaslepeně, kdy ti, kdo realizují pokus a hodnotí soubory dat, nemají vědět, zda jde jen o kontrolu, nebo o zásah; b) kontrolní skupiny nejsou skutečnými kontrolami lišícími se od zkoumané skupiny jen v tom jediném zkoumaném vlivu; c) po pokusu se provede velké množství srovnání a o těch, které náhodou vyšly významně, se zpětně prohlásí, že na tyto se čekalo a ano, naše hypotéza byla potvrzena; d) u výzkumu EMG polí k tomu ještě přistupuje potíž, že např. mobily generují složitě modulované signály a měřit je přísluší jen dobře vybaveným a zkušeným profesionálům.

Na otázku, čemu tedy věřit, nezbývá říct než to, co říkáme našim studentům: „Věřte jen těm vědeckým sdělením, která před publikováním prošla přísným recenzním řízením dvěma nebo třemi experty“. Věřme raději článku, který vyšel v časopise s IF = 10 a více (Impact Factor), než tomu, který má IF = 0,4. Když listujete seznamy článků o vlivech EMG polí na včely, zjistíte, že takto jich vyloučíte velké množství.

Pokud tedy budoucnost neukáže jinak, zatím jediný, v několika laboratořích nezávisle ověřený účinek neionizujícího, technického záření o subtermálních a tedy povolených intenzitách na živočichy je z oblasti zhruba 0,1–10 MHz, tedy radiových vln. Jde právě o již popsanou ztrátu kompasové orientace u ptáků a hmyzu<sup>10</sup>. U včel zatím nic takového ověřeného nemáme.

## Závěrem

Kolem biologických účinků magnetických polí bylo vždy hodně poplašných zpráv a konspiračních teorií. Vzhledem k zájmu širokých vrstev populace o zdraví i tomu, že to trochu tajemné elektromagnetické záření nevidíme a necítíme, je to pochopitelné. Informace o konkrétních, ale ojedinělých případech dopadu EMG polí na lidi nebo včely můžeme mít často z první ruky a podpořené přesvědčením mluvčího. Díky za ně, pozorování lidí z terénu a s dlouholetými zkušenostmi jsou vlastně motorem vědy, která nesmí být odtržena od reality.

Ale pak musí nastoupit známá mašinerie vědecké metodologie, která na konci mnohdy konstatuje, že daný jev za daných podmínek nevystoupil nad rozbourěnou hladinu přirozené biologické proměnlivosti. Bohužel i oficiální věda často sklouzává k předčasným nebo neověřeným závěrům, protože ty se lépe „prodávají“ a chopí-li se jich mediální bulvarizace a lidová tvořivost na internetu, z pouhých pracovních hypotéz se stanou fakta. Moje vlastní praxe však ukazuje, že ani nejcitovanější experti na biofyziku interakcí mezi živou hmotou a radiovými poli nedokáží najít vysvětlení pro to, co bylo změřeno na ptácích a hmyzu. Pořád to může být omyl nebo experimentální artefakt, možná se ale budou muset změnit dosud uznávané teorie. Opatrný přístup k celé věci je proto stále namístě a jednoznačný závěr není možný. Víme, že některá, i slabá EMG pole jistě biologické účinky mají a jejich dlouhodobé expozice mohou organismy zatěžovat.

Včely si s EMG zátěží, podobně jako s jinými, mnohem zásadnějšími stresujícími faktory dokáží dobře poradit, ale podobně jako bych svým dětem radil, aby si nenechávaly pod polštářem zapnutý mobil, myslím, že podobná opatrnost aplikovaná na včely má smysl a odpovídá tomu, že toho opravdu víme málo.



#### Seznam použité literatury:

- 1) International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP statement on the Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 97, 257-258 (2009).
- 2) MALKEMPER E. P., TSCHULIN T., VANBERGEN A. J., VIAN A., BALIAN E., GOUDESEUNE L. 2018. Current knowledge overview: a background document to the web conference.
- 3) Health Protection Agency. Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields 2012. [http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb\\_C/1317133827077](http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1317133827077).
- 4) ODEMER R., ODEMER F. 2019. Effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMF) on honeybee queen development and mating success. *Science of the Total Environment* 661:553–562.
- 5) HENRY E., ADAMCHUK V., STANHOPE T., BUDDLE CH., RINDLAUB N. 2019. Precision apiculture: Development of a wireless sensor network for honeybee hives. *Computers and Electronics in Agriculture* 156:138–144.
- 6) VÁCHA M., NĚMEC P. 2007. Kompas a mapa. Orientace v geometrickém poli. *Vesmír*, 2007, 1214–4029.
- 7) NĚMEC P., VÁCHA M. 2007. Mechanismy magnetorecepce. Jak živočichové vnímají magnetické pole Země. *Vesmír*, 2007, 1214-4029.
- 8) LAMBINET V., HAYDEN M. E., REIGL K., GOMIS S., GRIES G. 2017. Linking magnetite in an abdomen of honey bees to a magnetoreceptive function. *Proc R Soc B* 284(1851):20162873.
- 9) VALKOVA T., VACHA M. 2012. How do honeybees use their magnetic compass? Can they see the North? *Bulletin of Entomological Research* 102(04):461–467.
- 10) ENGELS S., SCHNEIDER N. L., LEFELDT N., HEIN C. M., ZAPKA M., MICHALIK A., ELBERS D., KITTEL A., HORE P. J., MOURITSEN H. 2014. Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature* 509(7500):353–356.
- 11) BAKER M. 2015. Over half of psychology studies fail reproducibility test. Largest replication study to date casts doubt on many published positive results. *Nature*, vol. 533, p. 452.