

HYPOMAGNETICKÉ POLIA A ICH VPLYV NA BUNKOVÉ KULTÚRY

Marek Bajtoš^{1,2}, Roman Radil¹, Monika Štefaňáková¹, Ladislav Janoušek¹, Ľuboš Skurčák³¹Žilinská Univerzita v Žiline, Žilina²University of Colorado Boulder, Boulder, CO, USA³VUJE, a. s., Trnava

ABSTRAKT

*Hypomagnetické polia, alebo takmer nulové magnetické polia sú polia s hodnotou amplitúdy magnetickej indukcie nižšou ako geomagnetické pole Zeme. Účinky týchto tzv, slabých magnetických polí sa u živých organizmov môžu prejavovať ovplyvnením biologických funkcií, ako napr. cirkadiánnny systém, rovnováha Ca v bunkách, DNA metylácia, koncentrácia reaktívnych foriem kyslíka, alebo zmenami v metabolických a vývojových procesoch.. V tomto článku je priblížené, ako hypomagnetické polia pôsobia na vybrané bunkové štruktúry prostredníctvom špecifických expozičných parametrov, ktorých selektívny vplyv bol overený na proliferačnej aktivite kvasinkového kmeňa *Saccharomyces Cerevisiae*. V 25 experimentoch je potvrdený inhibičný efekt časovo premenného magnetického poľa o úrovni 0.365 μT , čo korešponduje s hodnotou magnetickej indukcie v blízkosti 100 kV napäťových vedení. Nielen v tejto súvislosti svetové organizácie poukazujú na možnú koreláciu medzi elektromagnetickými poliami tvorenými napäťovými vedeniami o frekvencii 50 Hz a rôznymi druhmi ochorení, najmä detskou leukémiou.*

KLÚČOVÉ SLOVÁ

*Hypomagnetické polia, *Saccharomyces Cerevisiae*, expozícia magnetickému poľu*

ÚVOD

Živé bytosti sa rodia a rastú v prítomnosti fyzikálnych polí, ako je gravitačné alebo geomagnetické pole (GMF). V priemere je amplitúda GMF približne 50 μT . Určitú časť celkovej expozície populácie magnetickým poľom tvoria najmä hypomagnetické polia (HMF), čo dokumentuje Tab. 1, kde je možné vidieť skutočné namerané hodnoty v externom prostredí v blízkosti zdrojov magnetického poľa.

Tab. 1 Hodnoty nameraných veličín v okolí elektrických vedení.

Meraný objekt	E [V/m]	B [μT]
Vedenie 22 kV	0,065 – 109,450	0,001 – 0,023
Jednoduché vedenie 110 kV	0,2 – 775,0	0,046 – 0,365
Transformovňa 22/0,4 kV v budove	0,1 – 0,98	0,17 – 4,63
Blízke okolie transformátora 22/0,4 kv	0,12 – 86,25	0,06 – 0,71
Voľne stojaca transfostanica 22/0,4 kV	0,35 – 275,5	0,02 – 3,985
Blízke okolie prechodu 22 kV vednie „zem – vzduch“	15,5 – 52,1	0,166 – 0,314
Byty pri elektrickej stanici 110 kV	1,37 – 3,92	0,128 – 0,54
Kancelárske priestory v okolí transformátorov 110/22 kV	0,779 – 4,652	0,087 – 0,450

VYBRANÉ BIOLOGICKÉ ÚČINKY HYPOMAGNETICKÝCH POLÍ

HMF, ktorých amplitúda je nižšia ako amplitúda GMF (takmer nulové polia) [1] môžu vznikáť jeho tinením a určité štúdie ukazujú, že ovplyvňujú mnohé biologické funkcie ako napr. rast rastlín, reaktívne formy kyslíka, cirkadiálny rytmus, učenie a pamäť a pod [2,3]. Tieto účinky boli pozorované v genetike, vývojových procesoch alebo v neurónoch mozgu.

Belova v práci [4] uvádza, že HMF preukázali schopnosť blokovat' inhibičný účinok fyziologických koncentrácií melatonínu a tamoxifénu na rast ľudských buniek rakoviny prsníka pri hodnote amplitúdy časovo premenného poľa $B_{AC} = 0,5 \mu T$ až $1,7 \mu T$ a $f = 60 \text{ Hz}$. Iný experiment v práci [4] bol zameraný na enzymatickú aktivitu ornitín dekarboxylázy (ODC) v kultivovaných fibroblastových bunkách pri $B_{AC} = 1 \mu T$ až $20 \mu T$, $f = 60 \text{ Hz}$ a výsledkom bola zvýšená aktivita ODC, čo naznačuje vzťah k zvolenej amplitúde, dokonca pri $B_{AC} = 7 \mu T$ bola pozorovaná významná dvojnásobná aktivita ODC (pri pomere $B_{AC}/B_{DC} = 0,14$).

Medzi významné objavy patrí pozorovanie zvýšenej mitochondriálnej aktivity v bunkovej kultúre chrbtice pri $B_{AC} = 1 \mu T$, $f = 35,8 \text{ Hz}$ ($B_{AC}/B_{DC} = 0,02$), ktoré inhibovalo aktivitu Mg^{2+} pri ATPáze aktomyozínu v bezbunkovom systéme [4]. Taktiež bol preukázaný účinok HMF pri 8 Hz , $B_{AC} = 5 \mu T$ ($B_{AC}/B_{DC} = 0,1$) na niekoľko fyziologických a biochemických parametroch u potkanoch so zníženou pohyblivosťou [4]. Ukázalo sa, že za definovaných podmienok HMF koriguje metabolizmus lipidov, fagocytárnu aktivitu neutrofilov a mení časovú organizáciu fyziologických procesov. Tieto výsledky experimentov podporujú záver, že existuje biologická aktivita HMF pri rozsahu $B_{AC} 1 \mu T - 10 \mu T$, pričom amplitúdy magnetických polí vo väčšine obytných priestorov sa pohybujú od $0,01 \mu T$ do $1 \mu T$ až $2 \mu T$, dokonca na niektorých pracoviskách môžu dosahovať $5 \mu T$ až $6 \mu T$ [4].

Belyavskaya [5] uvádza, že pri amplitúde poľa $B_{AC} = 1 \text{ nT}$ sadenice hrachu rástli rýchlejšie o 41 %, ľan o 30 % a šošovica o 33 % oproti kontrolným vzorkám. Podobný účinok na zvýšenú aktivitu rastlín bol zaznamenaný aj v pokuse Radhakrishanana [6] keď boli semená sóje vystavené pulznému magnetickému poľu s hodnotou $B_{AC} = 1500 \text{ nT}$ pri 10 Hz .

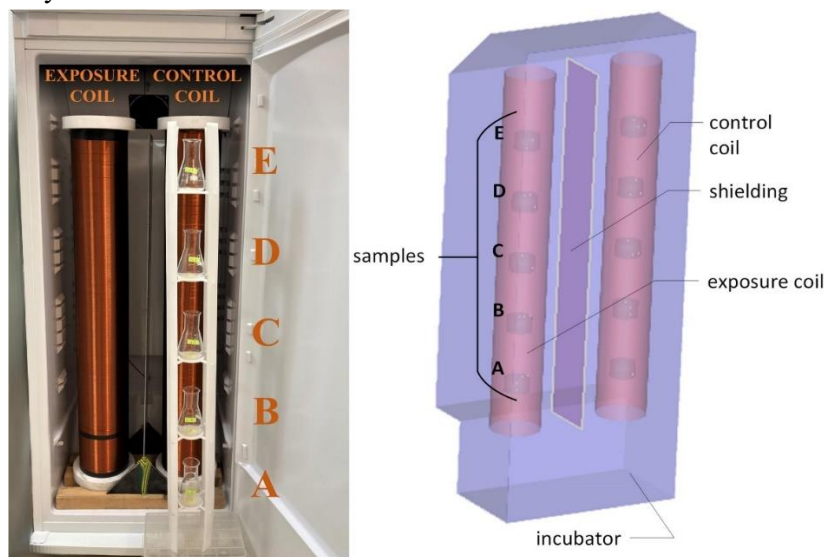
Ďalším dôkazom o účinkoch HMF sú epidemiologické štúdie, ktoré pomerne dôsledne uvádzajú súvislosť medzi detskou leukémiou a 50-60 Hz magnetickými poľami z elektrických vedení, čo podnietilo Medzinárodnú agentúru pre výskum rakoviny (IARC) klasifikovať extrémne nízkofrekvenčné elektromagnetické polia (ELF-EMF) ako potenciálne karcinogénne pre ľudí. Epidemiologické nálezy naznačujú, že riziko leukémie sa zvyšuje pri priemerných hustotách magnetického toku nad približne $0,3 \mu T$ až $0,4 \mu T$ [7].

Viacere práce [8,9,10] pojednávajú o dlhodobej expozícii ELF-EMF v rozsahu amplitúd magnetickej indukcie $0,1 \mu T$ až $0,4 \mu T$ a naznačujú súvis okrem iného s detskou leukémiou, detskými nádormi mozgu, alebo Alzheimerovou chorobou. Súhrnnú analýzu šiestich štúdií v súvislosti s výskytom detskej leukémie a vzdialenosťou bydliska od elektrického vedenia vykonali Kheifets a kol. Autori uvádzajú pravdepodobnosť vyššieho rizika výskytu rakoviny (OR) 1,6 pre vzdialenosť k najbližšiemu vedeniu od 0 do 50 m v porovnaní s ľuďmi, v blízkosti ktorých bydliska sa nenachádza napäťové vedenie. Pre vzdialenosť 50 m až 100 m je OR 1,3 a vzdialenosť od 100 m do 200 m vykazuje OR hodnotu 1,2 [11].

Uvedené experimentálne a empirické dôkazy poskytujú dostatočnú vedeckú bázu a sú silným motivačným faktorom pre ďalšie skúmanie a odhaľovanie biologických účinkov rôznych fyzikálnych parametrov HMF. Aj táto práca si kladie za cieľ prispieť k poznaniu v tejto oblasti a to prostredníctvom sledovania účinku časovo premenného HMF na proliferačnú aktivitu buniek *Saccharomyces Cerevisiae*.

MATERIÁLY A METÓDY

Pre účely tejto práce bola použitá expozičná zostava a biologická časť experimentálneho protokolu, ktorá nasleduje prácu Judákovej [12]. V experimentálnej časti práce je vykonaných 5 experimentov (po 5 vzoriek) pri expozícii HMF, z dôvodu časovej náročnosti a 1 experiment bez expozície HMF, ktorý slúžil ako kontrolný experiment pre overenie výsledkov. Expozičné podmienky boli zvolené tak, aby reflektovali hodnoty HMF, ktoré aj WHO spája na základe [13] so zvýšeným rizikom výskytu detskej leukémie. Počas experimentov boli preto bunky *Saccharomyces cerevisiae* vždy vystavené účinkom HMF s rovnakými fyzikálnymi parametrami vo forme 50 Hz sínusového signálu s amplitúdou zodpovedajúcou hodnote mag. indukcie $B_{AC} = 0,365 \mu T$ (hodnota bola vybraná z Tab. 1). Zároveň sa pre všetky experimenty zabezpečili rovnaké podmienky, ako je teplota v inkubátore 30 °C, izbová teplota 23 °C a dĺžka ožarovania. Experimenty boli vykonávané v časovom intervale štyroch hodín. Biologická odpoveď bunkového systému je stanovená pomocou koeficientu dynamiky rastu, ktorý predstavuje recipročný pomer rastu pre kontrolné a exponované vzorky a udáva informáciu, koľkokrát je väčšia exponovaná vzorka od kontrolnej. Bunky kvasiniek sa počítali na desiatich štvorčekoch Bürkerovej komôrky.

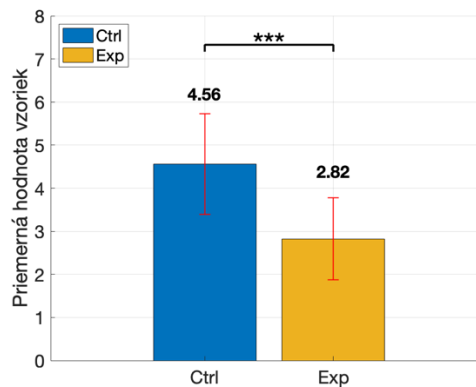


Obr.1 Expozičná zostava použitá pri experimentálnej činnosti

VÝSLEDKY

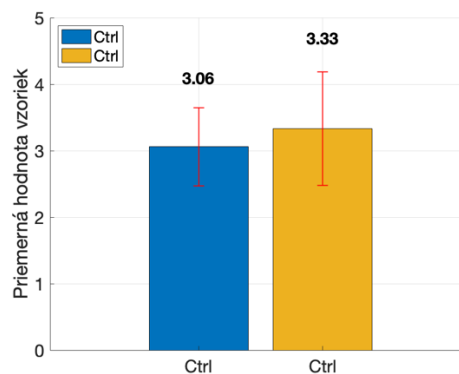
V piatich experimentoch sa v experimentálnej zostave nachádzalo 5 vzoriek, ako v expozičnej, tak aj v kontrolnej cievke. Teda z 25 vzoriek bola určená priemerná hodnota 4.56 so štandardnou odchýlkou 1.17 % pre kontrolné vzorky a priemerná hodnota 2.82 so štandardnou odchýlkou 0.95 pre exponované vzorky (Obr. 2).

Medzi exponovaným a kontrolným experimentom je možné vidieť -38.06 % rozdiel. Pre štatistickú analýzu slúži T-test, kde p hodnota je na úrovni $5.91e-7$ a hypotéza o tom, či rozdiel medzi priemernými hodnotami vzoriek je štatisticky významný je potvrdená na úrovni vyššej ako 0.01.



Obr.2 Priemerné hodnoty vzoriek medzi kontrolnými a exponovanými vzorkami. Počet $n=25$ pre oba výbery.

Následne bol vykonaný experiment, ktorého výsledky sú prezentované na Obr.3, kde sa bunky *Saccharomyces cerevisiae* nachádzali v oboch aplikátoroch magnetického poľa bez zapnutia expozície. Sledoval sa efekt medzi dvoma kontrolnými experimentmi. Hypotéza, či bunky rastú rovnako v oboch cievkach bola splnená po T-teste, ktorého p hodnota je na úrovni 0.57, čo znamená, že medzi priemernými hodnotami vzoriek nie je sledovaný štatisticky významný efekt. V tomto experimente sa štatistická vzorka skladá z 5 bodov, kde vidíme 8.95 % rozdiel medzi kontrolnými vzorkami, no kvôli štandardným odchýlkam (0.59 pre modrý a 0.85 pre žltý stĺpec) je štatistická významnosť zanedbateľná.



Obr.3 Priemerné hodnoty vzoriek medzi kontrolnými vzorkami. Počet $n=5$ pre oba výbery.

ZÁVER

Kvasinkový kmeň *Saccharomyces cerevisiae* bol vystavený európskej sieťovej frekvencii 50 Hz a amplitúde $B_{AC} = 0,365 \mu T$, čo zodpovedá amplitúde magnetickej indukcie v blízkosti jednoduchého 110 kV vedenia. Z dvadsiatich piatich experimentov bol pozorovaný v dvadsiatich štyroch inhibičný efekt. Pre štatistické vyhodnotenie bol použitý T-test, ktorý zamietol nulovú hypotézu a prijala sa alternatívna, a teda dá sa tvrdiť, že aplikované parametre HMF počas 4 hodín mali štatisticky významný biologický účinok. Pre porovnanie výsledkov slúžil kontrolný experiment, pri ktorom boli kvasinky počas rovnakého časového intervalu 4 hodín umiestené v inkubátore v aplikátoroch poľa, avšak bez budiaceho signálu. Pre štatistické výsledky bola použitá rovnaká hypotéza, ktorá nebola zamietnutá a teda medzi kontrolnými vzorkami nenastal žiaden významný biologický efekt.

LITERATÚRA

- [1] ZADEH-HAGHIGHI, Hadi, Rishabh RISHABH a Christoph SIMON. Hypomagnetic field effects as a potential avenue for testing the radical pair mechanism in biology. *Frontiers in Physics*. 2023, 11. ISSN 2296-424X. Dostupné z: doi:10.3389/fphy.2023.1026460
- [2] XUE, Xunwen, Yasser F. ALI, Wanrong LUO, Caorui LIU, Guangming ZHOU a Ning-Ang LIU. Biological Effects of Space Hypomagnetic Environment on Circadian Rhythm. *Frontiers in Physiology*. 2021, 12. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2021.643943
- [3] BINHI, Vladimir N., Frank S. PRATO a Ilia SOLOV'YOV. Biological effects of the hypomagnetic field: An analytical review of experiments and theories. *PLOS ONE*. 2017, 12(6). ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0179340
- [4] BELOVA, Natalia A. a Daniel ACOSTA-AVALOS. The Effect of Extremely Low Frequency Alternating Magnetic Field on the Behavior of Animals in the Presence of the Geomagnetic Field. *Journal of Biophysics*. 2015, 2015, 1-. ISSN 1687-8000. Dostupné z: doi:10.1155/2015/423838
- [5] BELYAVSKAYA, N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research*. 2004, 34(7), 1566-157. ISSN 02731177. Dostupné z: doi:10.1016/j.asr.2004.01.021
- [6] RADHAKRISHNAN, Ramalingam a Bollipo Diana RANJITHA KUMARI. Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2012, 51, 139-144. ISSN 09819428. Dostupné z: doi:10.1016/j.plaphy.2011.10.017
- [7] AHLBOM, A, N DAY, M FEYCHTING, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*. 2000, 83(5), 692-698. ISSN 0007-0920. Dostupné z: doi:10.1054/bjoc.2000.1376
- [8] MALAGOLI, Carlotta, Sara FABBI, Sergio TEGGI, et al. Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: a case-control study in two municipalities of northern Italy. *Environmental Health*. 2010, 9(1). ISSN 1476-069X. Dostupné z: doi:10.1186/1476-069X-9-16
- [9] KHEIFETS, L., A. AHLBOM, C. M. CRESPI, et al. A Pooled Analysis of Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and Childhood Brain Tumors. *American Journal of Epidemiology*. 2010, 172(7), 752-761. ISSN 0002-9262. Dostupné z: doi:10.1093/aje/kwq181
- [10] GARCIA, A. M, A. SISTERNAS a S. P. HOYOS. Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis. *International Journal of Epidemiology*. 2008, 37(2), 329-340. ISSN 0300-5771. Dostupné z: doi:10.1093/ije/dym295
- [11] CRESPI, Catherine M, Ximena P VERGARA, Chris HOOPER, Sona OKSUZYAN, Sheng WU, Myles COCKBURN a Leeka KHEIFETS. Childhood leukaemia and distance from power lines in California: a population-based case-control study. *British Journal of Cancer*. 2016, 115(1), 122-128. ISSN 0007-0920. Dostupné z: doi:10.1038/bjc.2016.142
- [12] JUDAKOVA, Zuzana, Ladislav JANOUSEK, Roman RADIL a Lucia CARNECKA. Low-Frequency Magnetic Field Exposure System for Cells Electromagnetic Biocompatibility Studies. *Applied Sciences*. 2022, 12(14). ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12146846
- [13] Exposure to extremely low frequency fields World Health Organization, 2007. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/elff>.