SciCell

ODBORNÝ MAGAZÍN

WWW.SCICELL.ORG

2026



ISSN 2585-9137
Vydavateľstvo SciCell

SciCell Magazín



EXTRÉMOFILY – PRVÍ OBYVATELIA ZEME?

Publikované 7. februára 2023

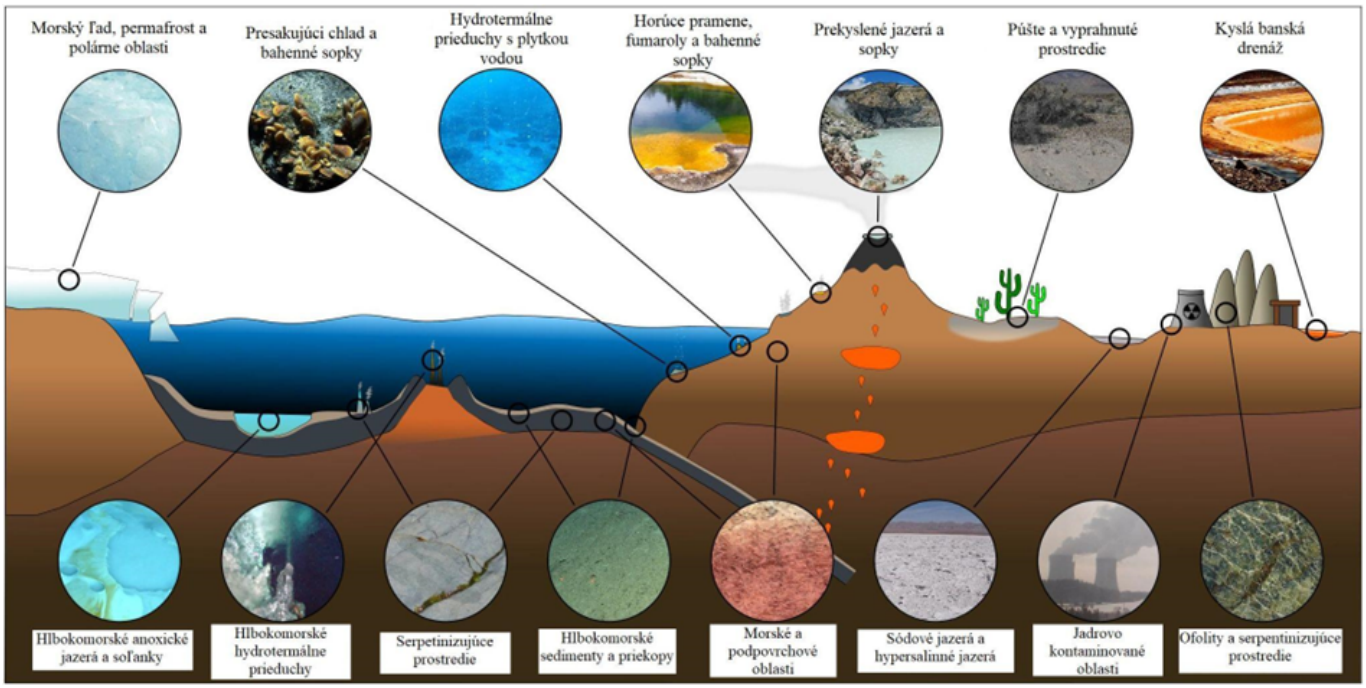
Obrázok od Brigitte Werner z Pixabay

Sára Cverenkárová, Lukáš Hleba

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Tr. Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

Čo sú extrémofily?

Extrémofily (extrémofilné) sú organizmy, ktorých výskyt je spojený s extrémnymi podmienkami prostredia. To znamená, že sa im najlepšie darí v prostredí, ktoré môže byť netolerovateľné, nepriateľské alebo smrteľné pre iné formy života (baktérie, živočíchy, rastliny, ľudia). Slovo extrémofil môžeme tiež preložiť ako „láska“ alebo príťažlivosť k extrémnym podmienkam. Väčšinou ide o mikróby pochádzajúce zo sveta baktérií, *Archaea*, *Protista* a húb. Nájdeme však medzi nimi aj zástupcov eukáryí. Najčastejšie sa spájajú s podmienkami prostredia ako sú: nedostatok kyslíka, vody a svetla, vysoké a nízke teploty, soľ, pH a tlak. Vhodným prostredím im môže byť aj toxický odpad, organické rozpúšťadlá, ťažké kovy ale aj iné biotopy, ktoré boli považované za nehostinné. V laboratórnych podmienkach sú však naďalej len veľmi ťažko kultivovateľné (schopné rastu a rozmnožovania sa). Nájdené boli dokonca v hĺbke 6,7 km vo vnútri kôry zeme; viac ako 10 km pod hladinou oceánu pri tlaku až 110 MPa; pri extrémne zásaditom prostredí, kde hodnota pH dosahovala 12,8 a naopak pri extrémne kyslom prostredí, kedy hodnota pH dosahovala -0,06; pri hydro-termálnych prieduchoch kde sa teplota pohybuje okolo 122 °C a pri teplote -20 °C, kedy dochádza k zamrznutiu morskej vody.



Obrázok č. 1: Rozmanitosť extrémnych prostredí a ich približná poloha na priereze zemskou kôrou (Merino et al., 2019; upravené Cverenkárová 5.12.2022)

Na Zemi poznáme tri skupiny organizmov – baktérie (*Bacteria*), *Archaea* (archeóny) a eukaryoty (*Eukaryota*). Z pohľadu evolúcie patria extrémofily medzi primárne prokaryoty, ktoré tvoria *Archaea* a baktérie. Eukaryoty na rozdiel od *Archaea* a baktérií obsahujú jadro, rozmnožujú sa mitózou (rozdelenie buniek na 2 rovnaké bunky) alebo meiózou (sexuálne rozmnožovanie), neobsahujú mimojadrovú DNA a väčšinou ide o mnohobunkové organizmy. *Archaea* a baktérie neobsahujú jadro, rozmnožujú sa štiepením alebo pučaním (bunka sa rozdelí na 2 rovnaké bunky), obsahujú mimojadrovú DNA a ide o jednoduché organizmy. Za extrémofily môžeme považovať aj sinice (*Cyanobacteria*), ktoré dokážu rásť v presolených a alkalických jazerách, tolerujú nízky prístup vody (xerofilné podmienky) a vytvárajú spoločenstvá v púštnych oblastiach. Ich výskyt v kyslom prostredí okolo pH 5 až 6 je zriedkavý. Spomedzi eukaryotov sú to plesne (mikroskopické huby), ktoré žijú samostatne alebo v symbióze so sinicami, či riasami (*Algae*). Nájdeme ich v kyslých vodách, vodách obohatených o kovy pochádzajúcich z banských oblastí, v alkalických (zásaditých) podmienkach, horúcich a studených púšťach, hlboko v oceánoch a presolených oblastiach, ako je napr. Mŕtve more. Neobľubujú však prostredie s teplotami vyššími ako 60 °C (hypertermofilné prostredie). Polyextrémofil pomalka (tardigrád, Vodný medveď, kmeň *Tardigrada*) je mikroskopický bezstavovec (zviera) žijúci v bahenných sopkách, dažďových pralesoch, v horských oblastiach Antarktídy a v hlbokom mori. Kvôli nepriaznivým podmienkam na prežitie začne hibernovať (pozastaví svoj metabolizmus) a v tomto stave je schopný odolávať teplote -272 °C (hodnota absolútnej nuly je -273,15 °C), vákuu, tlaku 608 MPa, nedostatku kyslíka, vysokej úrovni toxínov a röntgenovému či gama žiareniu. Hibernovať vydrží niekoľko rokov a po zlepšení podmienok na prežitie hibernáciu ukončí.

Ako sa k nám dostali?

Po vzniku Zeme bolo na našej planéte horúce podmorské prostredie s vulkánmi lávy a plynov. Preto je zrejmé, že extrémofily sú pozostatky prvotných organizmov žijúcich na Zemi. Podľa paleontologických nálezov extrémofily na Zemi existovali už pred obdobím vzniku bunky.

Teórie vzniku života rozdeľujeme do 3 skupín:

1. Za vznikom života na Zemi je Boh/Stvoriteľ – Táto teória je založená na viere a náboženstvách.

2. Život na Zem priniesli mimozemšťania – Teória sa pohráva s myšlienkou, že extrémofily "lietajú" v celom vesmíre ako kozmonauti a prileteli na našu Zem.

Už starogrécki filozofovia – atomisti, viedli úvahy o prenose foriem života vesmírom (mimozemský život). Šlo o myšlienku tzv. panspermie, ktorá sa objavovala aj v neskoršom staroveku, stredoveku i novoveku. V našej dobe sa ňou zaoberali švédsky fyzik a chemik Svante Arrhenius (nositeľ Nobelovej ceny za chémiu za rok 1903) v knihe Worlds in the Making: The Evolution of the Universe (Ako vznikli svety: Evolúcia vesmíru, 1908) a anglický fyzik a kozmológ Fred Hoyle spolu so svojim študentom a kolegom Nalin Chandra Wickramasinghe, ktorý o tejte téme napísal knihu Our Place in the Cosmos (Naše miesto v kozme, 1993). V súčasnosti je táto hypotéza intenzívne skúmaná.

3. Život na Zemi vznikol zo špiny (neživej hmoty) procesom samoplodenia (abiogenézy) – Aristotelov predpoklad v 19. storočí vyvrátil Pasteur na základe toho čo videl v mikroskope.

Aké poznáme?

Extrémofily sa delia podľa výskytu v extrémnom prostredí na:

Acidofilné

- ich optimálny rast sa pohybuje medzi pH 1 až 5;
- bakteriálni zástupcovia sa označujú aj ako laktobacily;
- najnižšie pH potrebujú hyperacidofilné *Archaea* druhu *Picrophilus oshimae* (pH -0,06) a *P. torridus* (pH 0,7), ktoré boli izolované zo solfatarického horúceho prameňa v Noboribetsu (Hokkaido, Japonsko).

Alkalofilné

- pre svoj optimálny rast vyžadujú pH nad 9;
- baktéria *Vibrio cholerae* spôsobuje infekčné ochorenie cholera.

Halofilné

- vyžadujú prostredie s výskytom solí;
- baktéria *Halobacterium halobium* žije v jazere Owen v Kalifornii, ktoré je 10x slanšie ako morská voda.

Termofilné

- vyžadujú teploty medzi 60 až 80 °C;
- zástupcom je napr. baktéria *Thermococcus gammatolerans* a piezotolertný termofil *Methanothermococcus okinawensis.*

Hypertermofilné

- pre optimálny rast vyžadujú teploty nad 80°C;
- baktérie rodu *Aquifex* žijú v horúcich prameňoch Yellowstonského národného parku, kde teploty dosahujú až 96 °C;
- *Archeae* druhu *Methanopyrus kandleri* dokáže prežiť pri teplote až 122 °C.

Psychrofilné

- rastú pri teplote 15 °C a menej;
- baktéria *Chryseobacterium greenlandensis* žije v ľadovcoch, hlbokých oceánskych vodách a na polárnom ľade.

Piezofilné alebo barofilné

- obľubujú prostredie s vysokým tlakom (napr. hlbokomorské prostredie);
- rekordér *Thermococcus piezophilus* (teplomilný *Archaea*) je schopný prežiť až 125 MPa.

Oligotrofné

- rastú v nutrične obmedzených prostrediach (chudobných na živiny);
- mikrób *Thermococcus* dokáže prežiť s malým množstvom energie. Vyskytuje sa v blízkosti hlbinných hydrotermálnych prieduchov (veľmi horúca voda presakuje von zo zemskej kôry) nedaľeko Papuy Novej Guiney.

Xerofilné

- rastú v prostredí chudobnom na vodu;
- riasy *Dunaliella* žijú v jaskyni v púšti Atacama (Čile). Ide o prižívujúce sa mikróby, ktoré rastú na vrchole pavučín, pomocou ktorých využívajú rosu.

Rádiofilné

- darí sa im v podmienkach s vysokým množstvom žiarenia (ultrafialové a jadrové žiarenie);
- baktéria *Deinococcus radiodurans* odoláva vysokým dávkam radiácie (jadrové žiarenie), ktoré by človeka zabili. Je tiež schopná prežiť chlad, vákuum, kyselinu a dehydratáciu.

Endolitické

- žijú vo vnútri skál alebo štrbinách lastúr;
- objavené boli 3 km pod povrchom Zeme a je možné, že žijú aj hlbšie.

Polyextrémofily

- znášajú viaceré extrémne podmienky prostredia, jedná sa o väčšinu extrémofilov;

baktéria *Spirochaeta americana* obľubuje prostredie bez kyslíka, vodu s vysokým obsahom minerálov (pH 10,5), tmu a chlad. Obýva jazero Mono na severe Kalifornie.

Tabuľka č. 1: Hraničné podmienky prežitia (poly)extrémofilných organizmov (Merino et al., 2019; upravené Cverenkárová 5.12.2022)

Kmeň	Doména	Extrémofil	Izolačný ekosystém	Teplota (°C)	pH	Tlak (MPa)	Slanosť (%)	Vodná aktivita (aw)
Picrophilus oshimae KAW 2/2	*Archeaea*	Hypercidofil	Horúce pramene, solfatary	47 – 65	**-0,06** – 1,87	nr	0 – 20	nr
Serpentinomonas sp. B1	*Bacteria*	Alkalofil	Serpentinidy (voda)	18 – 37 (30)	9 – **12,5** (11)	nr	0 – 0,5 (0)	nr
Methanopyrus kandleri 116	*Archeaea*	Hypertermofil	Hlbokomorský hydrotermálny prieduch	90 – **122** (105)	(6,3 – 6,6)	0,4 – 40	0,5 – 4,5 (3,0)	nr
Planococcus halocryophilus Or1	*Bacteria*	Halopsychrofil	Jadro morského ľadu	**-15** – 37 (25)	6 – 11 (7 – 8)	nr	0 -19 (2)	nr
Halarsenatibacter silvermanii SLAS-1	*Bacteria*	Haloalkalofil	Sódové jazero	28 – 55 (44)	8,7 – 9,8 (9,4)	nr	20 – 35 (**35**)	nr
Thermococcus piezophilus CDGS	*Archeaea*	Piezotermofil / barotermofil	Hlbokomorský hydrotermálny prieduch	60 – 95 (75)	5,5 – 9 (6)	0,1 – **125** (50)	2 – (3)	nr
Haloarchaeal kmene GN-2 a GN-5	*Archeaea*	Xerofil	Solárne salterny (soľanka)	nr	nr	nr	nr	**0,635**

Hodnoty v zátvorkách udávajú optimálne hodnoty. nr udáva neuvedené hodnoty v publikácii. Hrubo vyznačené uvádzajú hraničné hodnoty.

Extrémofily a Slovensko

Aj keď je Slovensko vnútrozemská krajina a nemáme tu sopky ani hydrotermálne prieduchy, neznamená to, že sa u nás nevyskytujú extrémofily. Veľká časť extrémofilov žije v hlbinnom prostredí, ako sú horúce minerálne pramene, ktorých máme na Slovensku v okolí Piešťan dosť. V prameni sa preukázala prítomnosť baktérií rodu *Sulfurihydrogenibium* pri teplote 67,5 °C. Tieto baktérie sú spájané hlavne s gejzírmi Yellowstonského národného parku. Nakoľko je hlbinné prostredie chudobné na živiny, mikroorganizmy, ktoré žijú v takomto prostredí, získavajú energiu oxidáciou anorganických substrátov. Viditeľné sú ako biele vlákna a povlaky okolo sírnych minerálnych prameňov. Dĺžka vláken môže dosahovať 10 a viac centimetrov.



Obrázok č. 2: Biele vlákna okolo sírnych minerálnych prameňov baktérií rodu *Sulfurihydrogenibium* (Pistaš a Piknová, 2022)

V soľankách v Solivare pri Prešove sa taktiež našli extrémofilné baktérie rodu *Sulfurihydrogenibium*, *Hydrogenovibrio* a *Guyparkeria*, a to v hĺbke 510 až 600 metrov pod povrchom Zeme. Nachádzajú sa v ložiskách soli vytvorených približne pred 17 miliónmi rokov. Extrémofilmy sa zaoberá aj slovenská vedkyňa, astronautka a astrobiologička Michaela Musilová, ktorá sa v spolupráci s NASA (Národný úrad pre letectvo a vesmír) pustila do projektu s názvom „Koruna Zeme“. Podľa jej slov ide o sériu siedmich výstupov na najvyššie vrcholy jednotlivých kontinentov, v období štyroch rokov. Cieľom je skúmať extrémofily na vrcholoch hôr a porovnať ich s extrémofilmi, ktoré sa teoreticky nachádzajú na planéte Mars. Okrem extrémofilov budú tiež skúmať aj výskyt mikroplastov a iných znečistení na vrcholoch sveta. Nejde o jej prvý výskum, nakoľko v spolupráci s NASA už velila viac ako tridsiatim simulovaným misiám na Mars a Mesiac.

Dajú sa využiť?

Extrémofily, resp. ich produkty extrémozýmy (enzýmy) sa používajú v biotechnológiách na výrobu palív, biomateriálov, získavaním kovov biolúhovaním a vo farmaceutickom priemysle. Enzýmy sú biologické katalyzátory a katalyzátory sú látky, ktoré zvyšujú rýchlosť chemických reakcií bez toho, aby sa spotrebovali. Enzýmy halofilných extrémofilov sa používajú v potravinárstve, papierenskom a textilnom priemysle, pretože sú schopné pôsobiť v širokom rozsahu pH, v slanom prostredí a v organických rozpúšťadlách. Termozýmy (termofilné organizmy) a barozýmy (barofilné organizmy) sú predmetom ďalšieho skúmania v oblasti potravinárstva, textilného, kožiarskeho, kozmetického a farmaceutického priemyslu, nakoľko znižujú riziko kontaminácie baktériami. Rýchlo rozvíjajúcim sa odvetvím je teda hľadanie nových biokatalyzátorov a antibiotík, ktoré sú založené na podstate extrémofilov a ich produktov. Pri výskume nejde teda iba o zodpovedanie otázky o pôvode, či už na Zemi alebo vo vesmíre, ale aj o rozšírenie možností ďalšej štúdie pomocou rôznych techník biotechnológií.

Použitá literatúra

ač. (2003). *Extrémny domov elegantnej baktérie.* Tech.Sme.Sk. https://tech.sme.sk/c/1056701/extremny-domov-elegantnej-bakterie.html

Aktuality.sk. (2019). *TOP: Najzvláštnejší život extrémofilov.* Aktuality.Sk. https://www.aktuality.sk/clanok/186646/top-najzvlastnejsi-zivot-extremofilov/

Bailey, R. (2022). *Extremophiles – extrémne organizmy*. https://sk.eferrit.com/extremophiles-extremne-organizmy/

BioLabTests. (2020). *Extremophiles Types – Microorganisms in Extreme Conditions*. BioLabTests. https://biolabtests.com/extremophiles/

Bruno, F. (2016). Microbes in extreme environments. *Encyclopedia of the Environment*. https://www.encyclopedie-environnement.org/en/life/microbes-in-extreme-environments/

GL. (2022). Astrobiologička Musilová ide na najvyššie vrcholy sveta hľadať extrémofily. *VEDA NA DOSAH*. https://vedanadosah.cvtisr.sk/priroda/zem/astrobiologicka-musilova-ide-na-najvyssie-vrcholy-sveta-hladat-extremofily/

Jones, A. (2022). Extremophilic microorganisms. *Science Learning Hub – Pokapū Akoranga Pūtaiao*. https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3100-extremophilic-microorganisms

Merino, N., Aronson, H. S., Bojanova, D. P., Feyhl-Buska, J., Wong, M. L., Zhang, S., & Giovannelli, D. (2019). Living at the extremes: Extremophiles and the limits of life in a planetary context. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 780. https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.00780/BIBTEX

Pančík, P. (2022). *Pôvod života*. Biopedia.Sk. https://biopedia.sk/evolucia/povod-zivota

Pristaš, P., Piknová, M. (2022). *Výskum extrémofilných mikroorganizmov zmenil nazeranie na možnosti existencie života mimo našej Zeme*. Prírodovedecká Fakulta, UPJŠ. https://www.upjs.sk/prirodovedecka-fakulta/27541/

Rampelotto, P. H. (2013). Extremophiles and Extreme Environments. *Life : Open Access Journal*, *3*(3), 482. https://doi.org/10.3390/LIFE3030482

Urban, Z. (2020). Odolní miniastronauti – Časopis Quark. *Časopis Quark*, *11.* ISSN1337–8422. https://www.quark.sk/odolni-miniastronauti/