



Rozkład wielkości magnetosomu w bakterii magnetotaktycznej

Magnetosome size distribution in magnetotactic bacteria

*Petr JANDAČKA*¹⁾, *Hana VOJTKOVÁ*²⁾, *Petr ALEXA*³⁾, *Petra KOLIČOVÁ*⁴⁾,
*Lucie ŠIMKOVÁ*⁵⁾

¹⁾ Mgr., Ph.D.; Institute of Physics, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: petr.jandacka@vsb.cz, tel.: (+420) 597 323 100

²⁾ Mgr. Ph.D.: Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: hana.vojtkova@vsb.cz, tel.: (+420) 597 323 541

³⁾ Doc. Dr.RNDr.; Institute of Physics, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: kristyna.cerna@vsb.cz, tel.: (+420) 597 321 274

⁴⁾ Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic

⁵⁾ Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic

Streszczenie

Praca analizuje rozkład statystyczny magnetosomów w bakterii magnetotaktycznej. Zawiera również teoretyczne uzasadnienie dotyczące procesu biomineralizacji, który prowadzi do produkcji jednodomenowych nanocząstek wewnątrz bakterii.

Słowa kluczowe: magnetosomy, bakteria magnetotaktyczna, wielkości cząsteczek

Wprowadzenie

Bakteria magnetotaktyczna jest organizmem, który produkuje wewnątrz magnetyczne nanocząstki Fe_3O_4 lub Fe_3S_4 poprzez kompleksowy proces biomineralizacyjny. Rozmiar magnetycznych nanocząstek mieści się w zakresie od 30 do 120 nm (średnio na jednej bakterii znajduje się ich 30) i są one magnetyczną domeną pojedynczą. Jest to korzystne dla orientacji bakterii w polu magnetycznym Ziemi. Od 130 nm multidomeny są formowane w kryształach. Bakteria nie produkuje cząstek takich rozmiarów jako, że ich kryształizacja zatrzymuje się przy wartości 130 nm [1, 2].

Zrozumienie procesu wzrostu byłoby bardzo korzystne. Możliwe są dwa teoretyczne podejścia tj. biochemiczne i fizyczne. Pierwszym krokiem podejścia fizycznego jest statystyczna analiza rozkładu wielkości cząsteczek. Celem pracy badawczej jest analiza rozkładu wielkości magnetosomu w bakterii magnetotaktycznej dopełniona przez inne teoretyczne rozważania skupiające się na zrozumieniu wspomnianego procesu biomineralizacji.

Summary

The paper analyzes a statistic distribution of magnetosomes in magnetotactic bacteria. It also contains theoretical reasoning on the nature of a biomineralization process which aims to produce single-domain nanoparticles inside bacteria.

Keywords: magnetosomes, magnetotactic bacteria, particle size

Introduction

Magnetotactic bacteria are organisms which within produce magnetic nanoparticles Fe_3O_4 or Fe_3S_4 , magnetosomes, through a complex biomineralization process. The size of the magnetic nanoparticles ranges from 30 to 120 nm (on average one bacterium contains 30 of them) and they are magnetic single-domain. This is advantageous for bacteria's orientation in the earth's magnetic field. From 130 nm multi-domains are formed in the crystals. The bacteria do not produce particles of such size as they stop crystallization at the value of 130 nm in a so far unidentified manner [1, 2].

It would be very beneficial to understand the growth control process. Two different theoretical approaches are possible, i.e. biochemical and physical. The first step of the physical approach is a statistical analysis of the particle size distribution. The objective of the paper is an analysis of magnetosome size in magnetotactic bacteria complemented by other theoretical considerations concerning understanding of the mentioned biomineralization process.

Metoda

Poniższa analiza statystyczna została przeprowadzona na podstawie przyjętych danych, pomiarów mikroskopowych, głównie z publikacji [3]. Zbadano rozkład wielkości cząsteczek magnetosomów pochodzących ze szczepu MV-1 bakterii *Magnetospirillum magnetotacticum* oraz szczepu MC-2 *Magnetospirillum magnetotacticum* zawierającego nanocząstki Fe_3O_4 . Przygotowane dzięki termicznej krystalizacji z roztworu ciekłego syntetyczne nanocząstki przeanalizowano w celu porównania.

Wyniki

Wiadomo, że w przypadku biogenicznych cząstek produkowanych w procesie biomineralizacji dominanta przesunięta jest w prawo (lewośkośny rozkład), w przypadku syntetycznych nanocząstek jest ona przesunięta w lewo (prawoskośny rozkład) (patrz Tabela 1). Wykres 1 nakreśla częstość względną magnetosomów bakteryjnych w zależności od ich rozmiaru.

Method

The following statistic analysis was carried out on the grounds of adopted data, microscopic measurement results, namely from publication [3]. Particle size distribution types of magnetosomes originating from the bacteria of *Magnetospirillum magnetotacticum* strain MV-1 and *Magnetospirillum magnetotacticum* strain MC-2 containing nanoparticles Fe_3O_4 are investigated. For the purposes of a comparison, synthetic nanoparticles, prepared by means of a thermal crystallization from a liquid solution, are also analyzed.

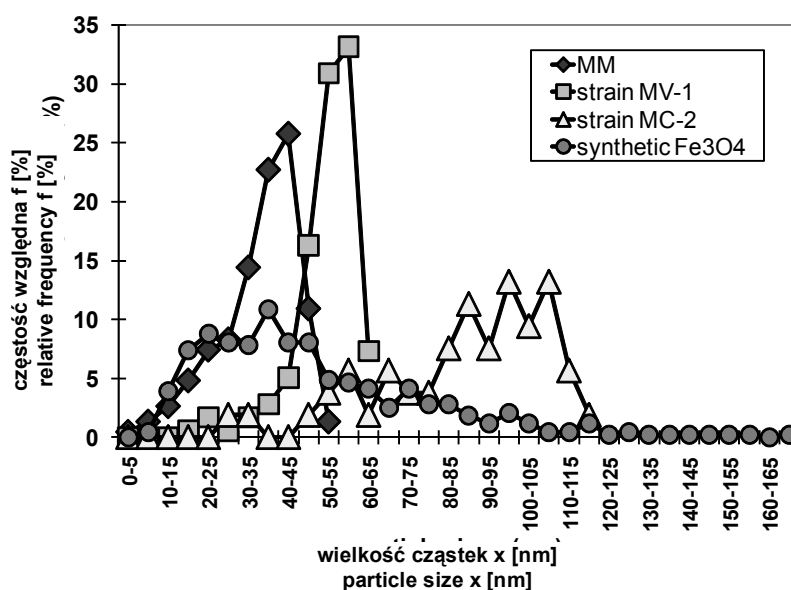
Results

It is clear that in case of biogenic particles produced by biomineralization the mode is shifted to the right (left-skewed distribution); in case of synthetic nanoparticles it is shifted to the left (right-skewed distribution) (see Table 1). Figure 1 plots a relative frequency of bacterial magnetosomes in dependence on their size.

Tabela 1
Statystyczne parametry magnetosomów

Table 1
Statistic parameters of magnetosomes

	Ilość Count	Rozmiar Mode	Zakres Range	Pochyłość Skewness	Kurtoza Kurtosis
	(-)	(nm)	(nm)		
M. magnetotacticum	229	43	0 – 55	- 0,89	0,38
M. magnetotacticum strain MV-1	178	58	10 – 65	- 1,75	4,19
M. magnetotacticum strain MC-2	53	100	20 – 120	- 0,90	0,28
Synthetic Fe_3O_4 (similar range)	433	38	0 – 130	1,36	2,34



Rys 1
Rozkład statystyczny wielkości magnetosomów – zależność częstości względnej od wielkości cząstek

Fig 1
Statistic distribution of magnetosome size – dependence of relative frequency on the particle size

Rozkład logarymiczno-normalny może być funkcją rozkładu dla nanocząstek syntetycznych. Taki rozkład jest również używany dla mechanicznie zdefragmentowanych cząstek materiałów naturalnych [4, 5]. Jednakże, w przypadku nanocząstek bakteryjnych funkcja rozkładu nie jest znana i nie pojawiła się dotąd w znanej literaturze. Za pomocą podstawowego pakietu równań MatLab nie uzyskano satysfakcjonujących wyników. Mając rozwiązana kwestię procesu biomineralizacji możliwe będzie ustalenie właściwej funkcji rozkładu analitycznie i fenomenologicznie. Zrozumienie procesu biomineralizacji może być możliwe obierając czysto fizyczne podejście, podejście biochemiczne lub połączenie tych dwóch sposobów jednocześnie. Opis odpowiednich parametrów statystycznych jest jedynie pierwszym krokiem całego zadania.

Fizyczne rozważanie może być oparte o dwa zaobserwowane zjawiska. Pierwsze to proces biomineralizacji ulegający zatrzymaniu w momencie kiedy cząstki są mniejsze niż 130 nm, co dostrzegalnie ma miejsce w celu uniknięcia formowania multi-domen, które mogą być niedogodne dla orientacji bakterii w przestrzeni dzięki polu magnetycznemu. Drugie to pewna fizyczna wielkość, np. temperatura, „zamazująca” rozkład wielkości cząstek w przybliżonym przedziale 30–120 nm. Zjawisko to może być tłumaczone różnorodnością w przypadku rozmiaru cząstek. Z fizycznego punktu widzenia, ważne jest rozważenie efektów następujących typów energii podczas krystalizacji magnetosomów: energii magnetycznej Bm_b (gdzie B jest indukcją magnetyczną a m_b momentem magnetycznym pojedynczej bakterii) oraz energii powierzchniowej $k\gamma x^2$ (gdzie k jest czynnikiem kształtu, γ naprężeniem powierzchniowym a x rozmiarem cząstki) rosnących magnetosomów, oraz energii termicznej, która jest proporcjonalna do kT (gdzie k jest stałą Boltzmanna a T temperaturą termodynamiczną) i prowadzi do zaburzenia wzrostu kryształów. Energia termiczna – lub dokładniej – temperatura fluktuacji może być odpowiedzialna za „zamazywanie” rozmiarów cząstek.

Wzrost kryształów Fe_3O_4 jest dalej zależny od stężeń Fe i O w otoczeniu kryształu. Te stężenia mogą być kontrolowane przez proces biochemiczny. Jednakże w tym wypadku ważne jest rozważenie faktu czy taka regulacja może występować bez jakiegokolwiek powiązania z czysto fizycznym parametrem jak energia magnetyczna, od kiedy to magnetyzm cząstek Fe_3O_4 jest celem procesu biomineralizacji.

Pytaniem dla dalszych badań i analiz jest to, w jakim stopniu fizyczne zjawiska są realną przyczyną hamowania wzrostu kryształu w momencie formowania niebezpiecznej multi-domeny magnetycznej.

A log-normal distribution may be the distribution function for synthetic nanoparticles. Such distribution is also used for mechanically fragmented particles of natural materials [4, 5]. However, in case of bacterial nanoparticles the distribution function is not known and according to available literature it has not been stated elsewhere. We have not arrived at a satisfactory data interlay using the MatLab basic set of statistic functions. Most likely, having grasped the biomineralization process, it will be possible to set up a correct distribution function analytically and phenomenologically. Understanding the process of biomineralization may be possible taking a purely physical approach, biochemical approach or combining both approaches simultaneously. The description of suitable statistic parameters is only the first step in the task.

Physical reasoning may be grounded in two observed phenomena. First, the biomineralization process stops at the moment when the particles are smaller than 130 nm, which apparently occurs to avoid a formation of multi-domains, which would be inconvenient for bacteria's orientation in space by means of the magnetic field. Second, a certain physical quantity, for example temperature, „blurs” the distribution of particle size in the approximate interval 30–120 nm. This phenomenon may be explained by a variety in the particle size. From the physical point of view, it is necessary to consider the effects of the following types of energy during crystallization of magnetosomes: magnetic energy Bm_b (where B is the magnetic induction and m_b the magnetic moment of a single bacterium) and surface energy $k\gamma x^2$ (where k is the shape factor, γ surface tension and x particle size) of the growing magnetosomes and thermal energy, which is proportional to kT (where k is Boltzmann constant and T thermodynamic temperature) and aims to disturb a growing crystals. The thermal energy – more precisely – temperature fluctuations could be responsible for „blurring” of the particle size.

The growth of the Fe_3O_4 crystal is further dependent on the concentrations of Fe and O atoms in the surroundings of the crystal. These concentrations may be controlled by a biochemical process. However, in this case it is necessary to consider the fact whether such regulation would occur without any relation to purely physical parameters, such as magnetic energy, since the magnetism of the Fe_3O_4 particles is the objective of the biomineralization process.

The question of further study and analyses is which physical phenomena are the real reason for the stoppage of crystal growth at the moment of the risk of magnetic multi-domain formation.

Wnioski

Rozmiar nanocząsteczek bakteryjnych w przypadku *Magnetospirillum magnetotacticum* wynosi 43 nm, 58 nm w przypadku *Magnetospirillum magnetotacticum* szczepu MV-1 oraz w przybliżeniu 100 nm wśród szczepów MC-2 *Magnetospirillum magnetotacticum*. W przypadku podobnych próbek nanocząstek syntetycznych Fe₃O₄ rozpoznano rozmiar równy 38 nm. W przypadku cząstek wyprodukowanych przez bakterię, dominanty przesunięte są w prawą stronę (rozkład lewoskośny), a w przypadku cząstek syntetycznych przesunięte są w lewą stronę (rozkład prawoskośny). Umiejscowienie dominanty oraz różna skośność wskazuje na różną naturę produkcji kryształu w obu przypadkach. Stwierdzone wyniki oraz wartości statystyczne są pierwszym krokiem na drodze do poznania fizycznej natury procesu biomineralizacji wewnątrz bakterii jeśli proces ten może być opisany z czysto fizycznego punktu widzenia w ogóle.

Podziękowanie

Autorzy pragną podziękować Wydziałowi Górnictwa i Geologii VŠB – Uniwersytetu Technicznego w Ostrawie za wsparcie Projektu SP2011/123 (SGS 2011).

Conclusions

The bacterial nanoparticle size modes are 43 nm in *Magnetospirillum magnetotacticum*, 58 nm in *Magnetospirillum magnetotacticum* strain MV-1 58 nm and approximately 100 nm in *Magnetospirillum magnetotacticum* strain MC-2. In case of a similar sample of synthetic nanoparticles Fe₃O₄ a mean size of 38 nm was identified. In case of the bacteria-produced particles the modes are shifted to the right (left-skewed distribution) and in case of the synthetic ones to the left (right-skewed distribution). The mode position and the different skewness indicate dissimilar nature of crystal production in both cases. The stated results and the statistic values are the first step on the way to identify the physical nature of the biomineralization process inside bacteria if this process can be described from a purely physical point of view at all.

Acknowledgement

The authors would like to thank the Faculty of Mining and Geology of the VŠB – Technical University of Ostrava for their support through Project SP2011/123 (SGS 2011).

Literatura – References

- 1 Faivre D., Schüler D.: *Magnetotactic bacteria and magnetosomes. Chemical Reviews, Vol. 108, 2008, p. 4875-4898*
- 2 Jandačka P., Vojtková H., Količová P., Šimková L.: *Observation of magnetotactic bacteria cultures using a magnetometer; theoretical approach. 15th Conference on Environment and Mineral Processing, 8. – 10. 6. 2011, part II. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, s. 81-85*
- 3 Devouard B., Pósfai M., Hua X., Bazylinski D.A., Frankel R.B., Buseck P.R.: *Magnetite from magnetotactic bacteria; size distributions and twinning. American Mineralogist, Vol. 83, 1998, p. 1387-1398*
- 4 Jandačka P., Hlavac L.M., Madr V., Sancer J., Stanek F.: *Measurement of specific fracture energy and surface tension of brittle materials in powder form. International Journal of Fracture, Vol. 159, 2009, p. 103-110*
- 5 Jandačka P., Studentová S., Hlavac L.M., Kvicala M., Madr V., Hredzak S.: *Size and texture of surface of particular material. Chemické listy, Vol. 105, 2011, p. 146-155*