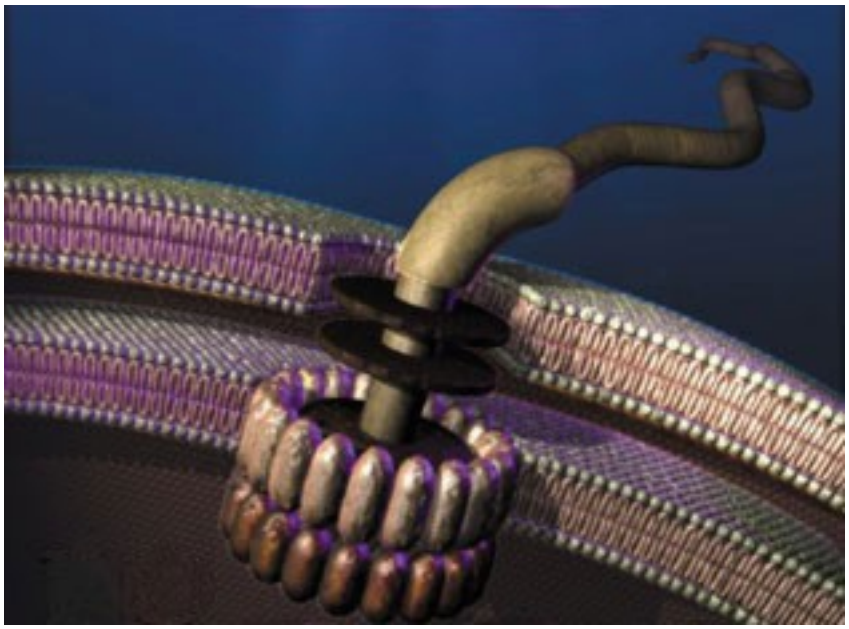
Marzenie nanotechnologów: silnik protonowy bakterii Escherichia coli.
Fragmenty artykułu M. Ostrowskiego.
Źródło: www.creationism.org.pl/artykuly/MOstrowski2/

Silnik protonowy bakterii *Escherichia coli* robi ostatnio oszałamiającą karierę często pojawiając się w literaturze kreacjonistycznej jako przykład systemu nieredukowalnie złożonego. Przykład ten spopularyzował amerykański biolog molekularny, Michael Behe w swojej bestsellerowej książce Darwin's Black Box. Dzieje się tak ze względu na intuicyjne narzucającą się analogię tego systemu z wytworami ludzkiej technologii oraz na niezwykłe wyrafinowanie jego funkcjonowania i budowy, dzięki czemu niektórzy naukowcy nazywają bakteryjny silnik protonowy "najbardziej wydajną maszyną świata". Nic dziwnego, że ta molekularna maszyna stała się wręcz maskotką ruchu teorii inteligentnego projektu.



Rys. 1. Bakteryjny silnik protonowy

symbol ruchu teorii inteligentnego projektu.

Nanotechnologia w praktyce.

Escherichia coli **(pałeczka okrężnicy) jest jednokomórkowym cylindrycznym organizmem żyjącym powszechnie w naszych jelitach. Swoją nazwę zawdzięcza austriackiemu lekarzowi — Theodorowi Escherichowi — który po raz pierwszy zaobserwował ją i opisał. W normalnych warunkach jest to organizm symbiotyczny, ponieważ wnosi pewien wkład w nasze odżywianie się: rozkłada w jelitach niektóre białka (m.in. kolagenowe) do stanu, w którym mogą być one wchłonięte przez ścianki jelit (oczywiście samemu się przy tym posilając).**

Twór ten waży tylko około 1 pikograma, czyli jedną bilionową cześć grama (1 pikogram (pg) = 10^{-15} kilograma) z czego około 70 procent stanowi woda i przypomina krótki walec średnicy jednego mikrometra (jedna tysięczna milimetra, 1 mikrometr (µm) = 10^{-6} m) i długości około dwóch mikrometrów.

Niektóre szczepy posiadają narządy lokomocyjne i potrafią się poruszać, niektóre zaś nie. Kiedy bakterie wyposażone w systemy lokomocyjne rozmnażają się w bogatym w pokarm środowisku (takim jak roztwór soli z dodatkiem mieszanki aminokwasów i cukrów) potrafią one w czasie jednej sekundy przepłynąć odległość równą około 30-40 długościom swojego ciała (nie licząc długości wici). Ruch ten odbywa się zasadniczo w osi długiej ciała bakterii, ale odcinki ruchu prostolinijnego są przerywane nagłymi zwrotami, zwykle o ponad 60-90 stopni. Przerwy w ruchy prostolinijnym zdarzają się u *E. coli*

średnio co 10 sekund.

Ruch umożliwia bakterii skorelowana praca zestawu silników, każdy o średnicy tylko 45 nanometrów (cztery milionowe części milimetra) i wysokości 60 nanometrów (1 nanometr (nm) = 10^{-9} m). Każdy silnik porusza długą, spiralną wić, kilkakrotnie dłuższą od ciała bakterii. Bakteria posiada zespół czujników biochemicznych (chemoreceptorów), rejestrujących różnice stężenia pokarmu w otoczeniu. Kierując się wskazaniami tych sensorów, bakteria może modulować pracę silników kierując się dzięki temu w obszar bogatszy w odżywcze składniki. Oprócz chemoreceptorów, silników i wici, standardowe wyposażenie *E. coli* stanowią "prędkościomierz" i "skrzynia biegów", pozwalająca na różne tryby pracy silnika.

Układ napędowy (*flagellum*) bakterii składa się z 3 elementów:

- **rotacyjnego silnika protonowego o odwracalnym ciągu osadzonego w ścianie komórkowej (jego wewnętrzna część umieszczona jest w cytoplazmie, zewnętrzna w zewnętrznej błonie komórkowej);**

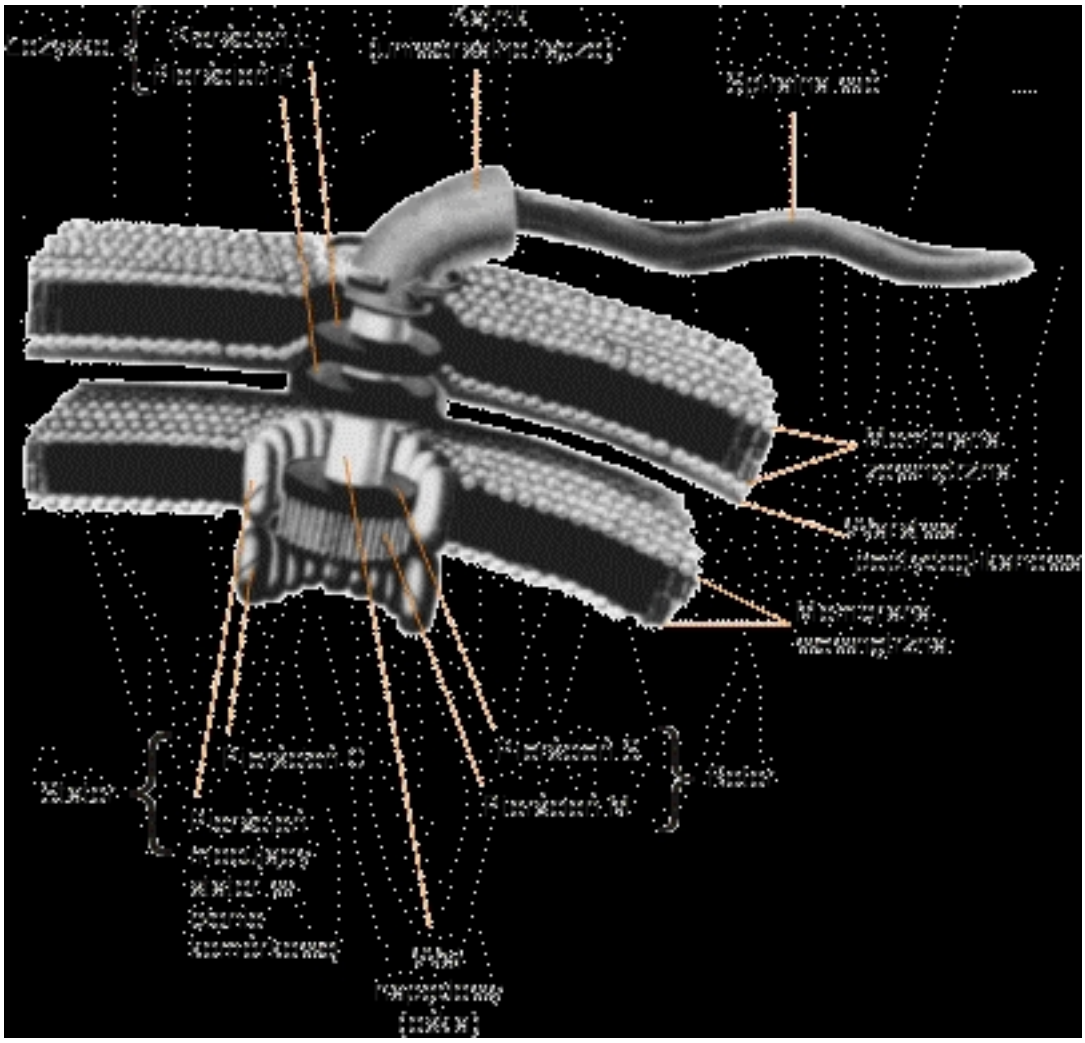
- **krótkiego haczyka (kątnika), który pełni funkcję elastycznego łącza;**

- **długiej spiralnej wici.**

[...]

Napęd do wici dostarczają każdej bakterii molekularne silniki w liczbie od 4 do 6, bo tyle ich zazwyczaj posiada *E. coli*, napędzane strumieniem protonów. Obroty generowane są pomiędzy statorem sztywno osadzonym w ścianie komórkowej (peptydoglikanowej) a rotorem połączonym z wicią. Silnik jest napędzany przez strumień protonów (jonów wodoru) płynących z zewnątrz do wnętrza bakterii (z wyjątkiem bakterii morskich i bakterii żyjących w wysokim pH, które zamiast protonów używają jonów sodu). Źródłem energii jest międzymembranowy potencjał elektryczny — gradient elektro-dodatni, tzw. gradient chemiosmotyczny $\Delta\mu H^+$.

Jak każdy techniczny silnik elektryczny, tak i silnik bakteryjny posiada rotor, stator i łożyska (zob. rys. 2). Ośka (wał napędowy), ustawiona pionowo do powierzchni błony komórkowej, zabudowana jest pomiędzy dwie sąsiadujące membrany w błonie komórkowej. Środkowa membrana spełnia rolę dielektryka (izolatora) kondensatora, który naładowany jest na zewnątrz dodatnio, a wewnątrz — ujemnie. Powstające przy tym napięcie elektryczne wynosi 0,2 wolta. W odróżnieniu od innych molekularnych maszyn napędzanych hydrolizą ATP (adenozynotrójfosforanu), bakteryjny silnik napędzany jest bezpośrednio przez gradient elektrochemiczny. Specjalny system molekularnych pomp, wykorzystując złożone metaboliczne procesy, wypompowuje protony z wnętrza komórki "pod prąd" ciśnienia osmotycznego, wytwarzając w ten sposób wspomniany gradient elektro-dodatni. Powstająca w ten sposób różnica potencjałów z powrotem przyciąga protony do wnętrza komórki, co wykorzystuje bakteria do napędzania nimi silników.



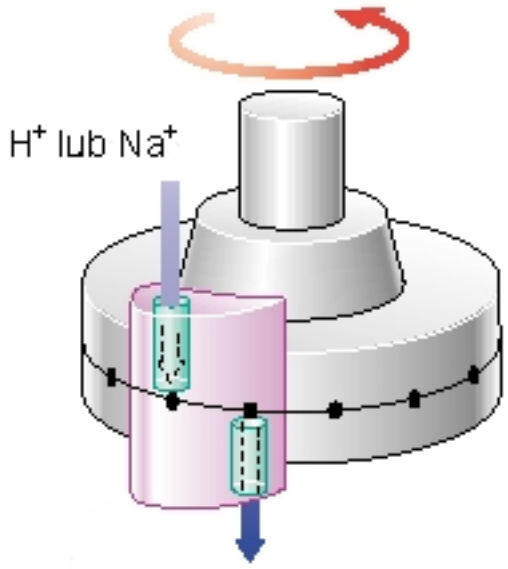
Rys. 2. Schemat bakteryjnego silnika protonowego.

Mechanizm generowania obrotów rotora jest słabo poznany. Wiadomo jednak, że odpowiadają za to złożone interakcje pomiędzy nim a statorem. Istnieją trzy modele tłumaczące ten mechanizm: model turbiny wodnej, model "kołowrotka" i model elektrostatycznej turbiny protonowej.

Według modelu turbiny wodnej, protony lub jony sodu płynące na powierzchni białek statora MotA i MotB wywołują kierunkowy ruch cząsteczek wody, który zmienia

sferyczny kształt tych białek, dzięki czemu wywierają one nacisk na rotor w ten sposób go napędzając.

Model "kołowrotka" zakłada, że protony/jony sodu wpływają do specjalnego tunelu w białkach kompleksu statora MotA i MotB i kierowane są do specyficznych komponentów rotora. Wymusza to ruch rotora, który dalej przekazuje te protony/jony sodu do następnego tunelu w statorze, skąd płyną one już do cytoplazmy (zob. rys. 3).



Rys. 3. Model "kołowrotka". Zakłada on, że strumień protonów lub jonów sodu płynie przez specjalny tunel w białku statora, następnie przepływa przez część rotora napędzając go w ten sposób i sąsiednim tunelem w statorze spływa do wnętrza komórki.

[...]
Silniki bakterii dają ciąg zarówno do przodu jak i wstecz na kilku trybach pracy z prędkością od 6000 do 17 000 obrotów na minutę, ale u niektórych morskich bakterii szacuje się, że prędkość ta wynosi ponad 100 000 obrotów na minutę. Silnik ten potrafi niezwykle szybko, w czasie ćwiartki swojego obrotu, odwrócić kierunek swojej rotacji.

Cały artykuł znajdziesz tutaj
www.creationism.org.pl/artykuly/MOstrowski2/