

Głównym zyskiem jest tutaj fakt, że podmodel symulujący dynamikę większych struktur nie musi bezpośrednio uwzględniać wpływu małych wirów, więc nie wymaga zwiększonej mocy obliczeniowej. Informacje o wpływie małych struktur są przekazywane z drugiego podmodelu, który liczony jest osobno.

Od słów do czynów

W oceanie w submezoskali tworzą się struktury wirowe na skutek np. różnicy gęstości wody. Natomiast w warstwie granicznej występuje cyrkulacja Langmuira, pary przeciwnie wirujących, wydłużonych struktury wirowych o walcowatym kształcie. Rycina 2. przedstawia wyniki obliczeń ukazujących wzajemne oddziaływanie powyższych struktur oraz obrazuje działanie metody wieloskalowej w praktyce.

Dolny obrazek z ryciny 2. demonstruje wynik pełnych obliczeń DNS, gdzie uwzględnione są wszystkie skale wielkości struktur wirowych. Możemy

zauważyć szereg rotujących par LC, które dodatkowo są zatopione w strukturze wirowej o większych rozmiarach³. Obrazek górny i środkowy przedstawia wynik obliczeń uproszczonego modelu wieloskalowego, odpowiednio dla podmodelu skal większych i mniejszych. Ponieważ struktury LC powtarzają się wzdłuż całego obszaru, nie ma potrzeby obliczania ich wszędzie, tak jak ma to miejsce w przypadku pełnych obliczeń DNS. Zamiast tego można je symulować tylko w kilku niezależnych małych podobszarach, do których przekazywana jest niezbędna informacja o stanie przepływu submezoskalowego (środkowy obrazek). Struktury większe oddziałują na struktury mniejsze i odwrotnie.

Powyższe badania pokazały przede wszystkim, że małe wiry mogą znacząco wpływać na większe struktury, więc pomijanie ich (lub niepoprawne uwzględnianie) może prowadzić do błędów w przewidywaniu pogody czy klimatu. Ponadto zaproponowana metoda wieloskalowa daje wyniki zbliżone z obliczeniami DNS, ale jest znacząco od niej szybsza.

³ Rycina przedstawia wynik obliczeń dwuwymiarowych. Widzimy więc na nim przekrój poprzeczny przez wiry LC.

Dr inż Ziemowit Miłosz Malecha jest adiunktem w Katedrze Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej Politechniki Wrocławskiej. E-mail: ziemowit.malecha@pwr.edu.pl

MOST ŁĄCZĄCY NAUKI BIOLOGICZNE Z TECHNIKĄ – BIOCYBERNETYKA

Ryszard Tadeusiewicz (Kraków)

Rozwój nauk biologicznych oraz medycyny jest naprawdę imponujący. Ogromnie szybki jest także rozwój i postęp techniki. Natomiast przepływ idei naukowych pomiędzy dziedziną biologii a dziedziną techniki jest wciąż bardzo utrudniony. I nie wynika to z czyjejkolwiek złej woli. Po prostu właśnie ten postęp biologii i medycyny z jednej strony i rozwój techniki z drugiej strony doprowadziły do tego, że pomiędzy tymi dziedzinami wyrósł swoisty mentalny „mur” (Ryc. 1). Mur odmiennych metodologii, różnych tradycji rozwoju, a także hermetycznej, odmiennej terminologii.

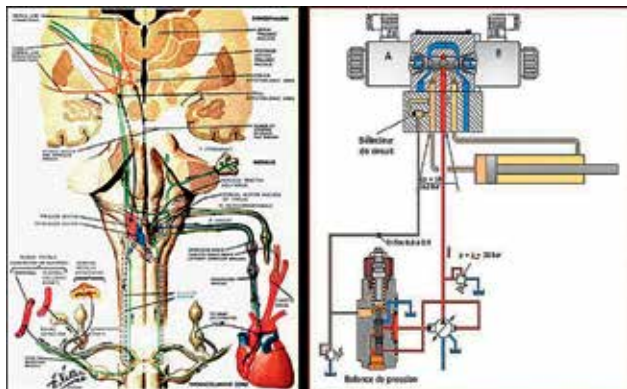


Ryc. 1. Symboliczne wyobrażenie różnic między dziedzinami biologii i techniki jako „muru”.

Jako przykład obecności tego „muru” przytoczyć można odmienny sposób przedstawiania takich samych (lub przynajmniej bardzo zbliżonych) systemów i problemów – odpowiednio w biologii i w technice. Rozważmy jako przykład rycinę 2. Przedstawia ona dwa systemy stabilizacji ciśnienia.

Pierwszy jest system stabilizacji ciśnienia krwi. W każdym bardziej złożonym organizmie żywym funkcjonuje system krążenia, dzięki któremu krew niosąca tlen i substancje odżywcze dociera do wszystkich narządów i tkanek zapewniając odpowiednie warunki dla życia komórek. Krew ta musi mieć stabilizowane ciśnienie (dopasowane do potrzeb). Przyroda wytworzyła więc wiele mechanizmów (nerwowych i hormonalnych), które służą do tego celu. Przykładowy schemat systemu stabilizacji ciśnienia krwi w organizmie człowieka odkryty przez biologów i wykorzystywany przez lekarzy przedstawia rycina 2. po lewej stronie.

Drugi jest system stabilizacji ciśnienia wykorzystywany w technice. W systemach technicznych



Ryc. 2. Sposób, w jaki przedstawiają ten sam problem (stabilizacji ciśnienia) biolodzy i technicy jest diametralnie odmienny. A jednak w obu przypadkach chodzi o ten sam proces. Źródła rysunków przywołanych tu wyłącznie w celach ilustracyjnych: http://robertschwartz.homestead.com/blood_pressure_regulation.jpg i http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Load_sensing_b.JPG.

są bowiem także przesyłane i przetłaczane rozmaite płyny. Wodociąg docierający do domu, hydrauliczne hamulce w samochodzie, reaktory w fabryce chemicznej – to tylko niektóre przykłady systemów, w których muszą przepływać płyny pod ciśnieniem. Ciśnienie to musi być stabilizowane, więc inżynierowie obmyślili wiele urządzeń służących do tego celu. Przykład jednego z nich przedstawiono na rycinie 2. po prawej stronie.

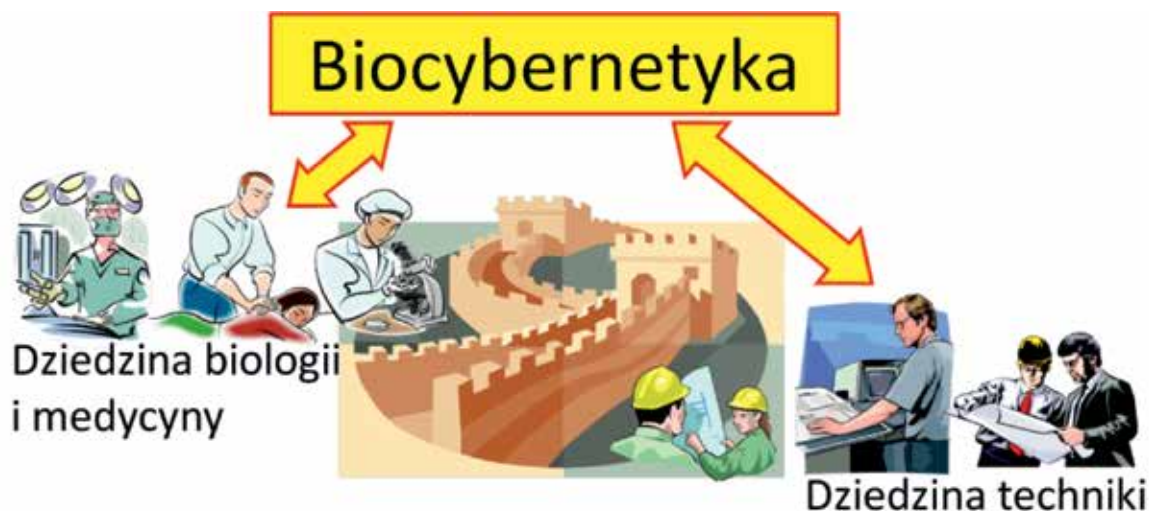
Patrząc na rycinę 2. widzimy po lewej i po prawej stronie właściwie to samo. W obu przypadkach

pożyteczne! Gdyby hematolodzy i kardiolodzy zajmujący się stabilizacją ciśnienia krwi (lewa strona na Ryc. 2.) znali metody, jakie stosują w systemach regulacyjnych inżynierowie (prawa strona rysunku) – to mogliby ulepszyć stosowane metody diagnostyki i terapii. Z kolei gdyby hydraulicy wiedzieli, jak sprytnie metody kontroli ciśnienia „wynalazła” biologia i jak je udoskonaliła w ciągu milionów lat ewolucji – to mogliby skonstruować nowe, sprawniejsze regulatory unikając kosztownych poszukiwań optymalnej struktury metodą prób i błędów. Jednak specjaliści każdej ze wzmiankowanych dziedzin mogą zrozumieć i wykorzystać tylko „swoją” połowę ryc. 2, zaś to, co się znajduje po drugiej stronie – to jest dla nich „czarna magia”.

Jest to właśnie przykład funkcjonowania „muru” przedstawionego na Ryc. 1.

Jak tę trudność pokonać?

Nie jest możliwe (ani nie byłoby praktyczne), żeby inżynierowie uczyli się fizjologii albo żeby lekarze poznawali tajniki rysunku technicznego. Natomiast możliwe jest zaproponowanie takiego opisu rozważanych systemów i procesów, który będzie pasował zarówno do zjawisk biologicznych, jak i do urządzeń technicznych. Co więcej, metodologia zastosowania tego opisu będzie równie łatwa dla lekarzy, jak i dla inżynierów, a po przedstawieniu określonych zagadnień z użyciem takiego opisu – zagadnienia biologiczne staną się zrozumiałe dla techników, a konstrukcje techniczne staną się czytelne dla biologów.



Ryc. 3. Rola biocybernetyki jako elementu pozwalającego pokonać odmienności dzielące dziedzinę biologii i medycyny oraz dziedzinę techniki.

chodzi o system zapewniający stabilizację ciśnienia. A jednak te dwie części rysunku są przedstawione w sposób tak odmienny, że przeniesienie wiedzy z jednej z tych części do drugiej jest praktycznie niemożliwe. Szkoda, bo takie przenikanie wiedzy z jednego obszaru do drugiego mogłoby być bardzo

Takie właśnie sposoby opisu oferuje **biocybernetyka** i dlatego może ona służyć jako swoisty „most” pozwalający przewyciężyć różnice dzielące technikę od biologii i medycynę od technologii. Dzięki temu udaje się przekroczyć „mur” dzielący rozważane dziedziny (Ryc. 3).

Dzięki czemu ten efekt udaje się uzyskać?
Otóż kluczem do sukcesu jest **abstrakcja**. Popatrzmy na ryc. 4.



Ryc. 4. Dzięki wysokiemu poziomowi abstrakcji opis stworzony na gruncie biocybernetyki może pasować zarówno do biologii, jak i do techniki.

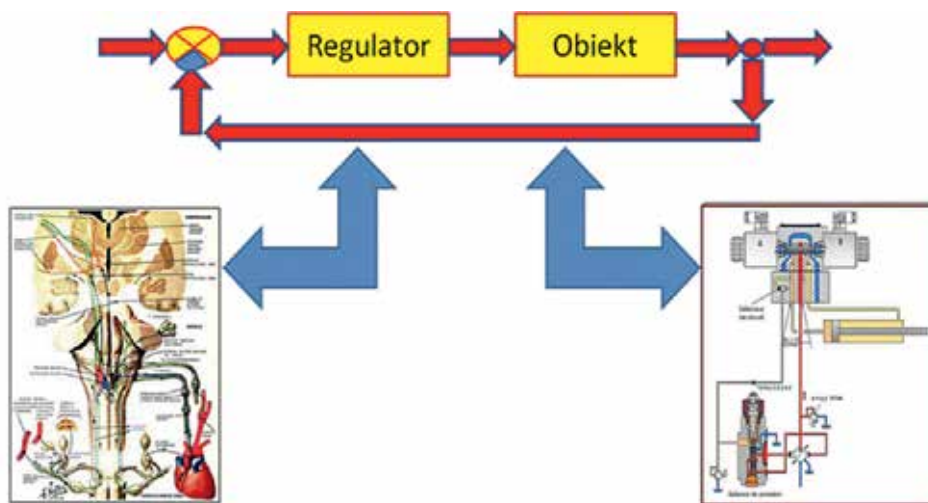
Na rycinie tej pokazano, że biologia (zwłaszcza doświadczalna) oraz medycyna (zwłaszcza kliniczna) są obszarami działań bardzo konkretnych, cechujących się niskim poziomem abstrakcji. Z drugiej strony także technika z pracami konstrukcyjnymi, inżynierskimi i technologicznymi jest sferą aktywności bardzo konkretnych, cechujących się niskim poziomem

pozbawi się szczegółów, które o tej specyfice decydują, jeśli stworzy się opis o wysokim stopniu abstrakcji, taki, jaki oferuje biocybernetyka – to punkty widzenia medyków i techników da się uzgodnić. Wzajemne porozumienie stanie się możliwe, nastąpi inspirujący przepływ idei, zostanie wniesiona nowa wartość wynikająca z synergii biologiczno-technicznej, czego efektem będzie postęp zarówno w dziedzinie biologii, jak i w dziedzinie techniki.

Zaobserwujmy jak to może wyglądać w praktyce, odwołując się do przykładu rozważanego na ryc. 2. (patrz Ryc. 5). System regulacji ciśnienia krwi po lewej stronie zawiera mnóstwo szczegółów morfologicznych (mózg, serce, naczynia krwionośne), których kształt, budowa i sposób działania są ważne dla lekarzy, ale nie stanowią istoty działania tego systemu. Podobna sytuacja jest z opisem technicznego systemu stabilizacji ciśnienia – jest on przeciążony nadmiarem szczegółów konstrukcyjnych, także zaciemniających istotę jego działania.

A jaka jest istota tego działania, jednakowa w obydwu przypadkach?

Otóż gdy odrzuci się wszystkie niepotrzebne szczegóły, czyli zwiększy się poziom abstrakcji opisu, przejdzie się od konkretów do **formalnego modelu** w postaci **schematu blokowego** (patrz ryc. 5).



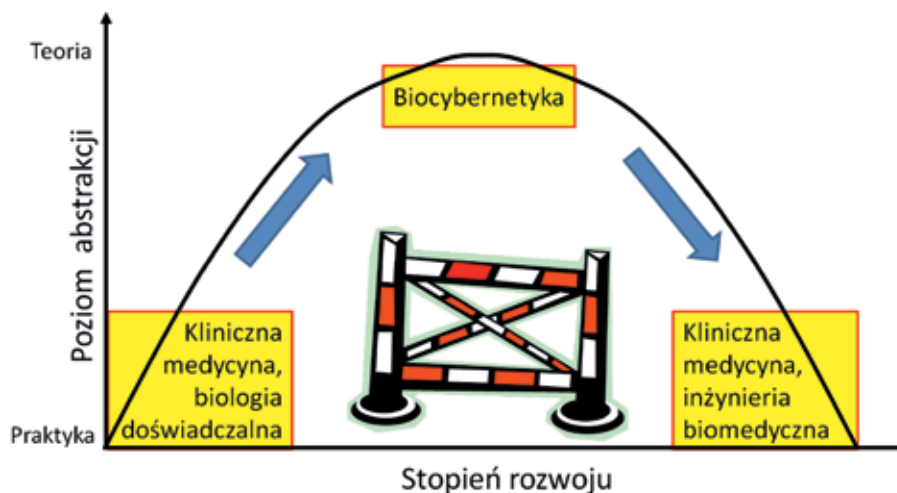
Ryc. 5. System biocybernetyczny (ogólny schemat układu ze sprzężeniem zwrotnym - u góry) stanowi abstrakcyjny model zarówno układu narządów biologicznych (u dołu po lewej), jak i urządzenia technicznego (u dołu po prawej). Źródła rysunków przywołanych tu wyłącznie w celach ilustracyjnych: http://robertschwartz.homestead.com/blood_pressure_regulation.jpg i http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Load_sensing_b.JPG.

abstrakcji. Przy tych konkretnych pracach istotną rolę odgrywa specyfika opisów systemów – odpowiednio biologicznych i technicznych. Specyfika ta powoduje trudności przy próbie przenoszenia odkryć biologicznych na grunt kreatywności technicznej oraz zasadniczo utrudnia tworzenie rozwiązań technicznych dla potrzeb biologii i medycyny. Jeśli jednak odpowiednie opisy – zarówno biologiczne, jak i techniczne –

w jej górnej części), to okazuje się, że w jednym i drugim przypadku można odnaleźć **regulator** stabilizujący ciśnienie – **obiekt**, w którym ciśnienie jest regulowane oraz **pętlę sprzężenia zwrotnego**. Taki sposób reprezentacji może być wspólny zarówno dla obiektów biologicznych, jak i dla urządzeń technicznych, gdyż formalne **bloki** odwołują się wyłącznie do **funkcji** spełnianych przez odpowiednie elementy,

abstrahują natomiast od tego, jaki te elementy mają kształt, wielkość, z jakiego są materiału (żywa tkanka czy metal) itd. Taki właśnie abstrakcyjny opis oferuje **biocybernetyka** i na tym polega jej rola.

doskonalących praktykę. Częstym składnikiem tych nowych rozwiązań może być lepsze uzbrojenie techniczne uzyskane za sprawą inżynierii biomedycznej, ale również same procedury medyczne mogą być



Ryc. 6. Biocybernetyka jako sposób na pokonywanie przeszkód w rozwoju biologii i medycyny.

Wysoki poziom abstrakcji opisów biocybernetycznych, wskazany wyżej jako sposób transferu informacji z obszaru biologii do techniki (i odwrotnie) może także służyć jako czynnik sprzyjający rozwojowi biologii i medycyny jako takiej. Nieraz bywa tak, że rozwój praktycznych działań w obszarze klinicznej medycyny lub doświadczalnej biologii napotyka na różne przeszkody (Ryc. 6.)

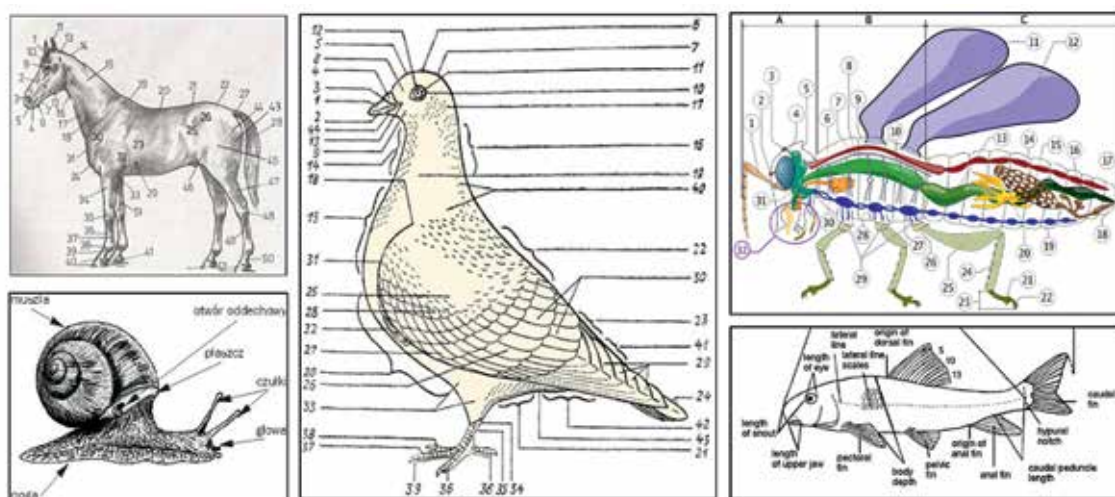
W takich przypadkach także przejście od czystej praktyki do biocybernetycznej teorii może pozwolić na pokonanie przeszkody. Takie spojrzenie z perspek-

tywy biocybernetycznej teorii na istotę napotykaną przeszkody może sprzyjać uzyskaniu nowych rozwiązań

udoskonalone, co daje się zauważyć, gdy się spojrzy na nie „z lotu ptaka”.

Jak owo „spojrzenie z lotu ptaka” zrealizować praktycznie?

Trzeba spróbować oderwać się od nieistotnych szczegółów i wydobyć istotę rzeczy. Rozważmy próbę zbudowania abstrakcyjnego modelu zwierzęcia. Nie konia, ślimaka czy gołębia, tylko „zwierzęcia uogólnionego”. Jak to jednak zrobić, skoro na Ziemi żyje obecnie (jak się ocenia) 8,7 mln gatunków, z czego dokładnie opisano około 1,2 mln? Przecież każde



Ryc. 7. Przykłady różnorodności świata zwierząt. Rysunek zmontowany z obrazków dostępnych w Internecie pod adresami podanymi w przypisie. Dostęp do wszystkich obrazków miał miejsce w kwietniu 2015 r. Źródła: http://www.naszaskapa.pl/vademecum/instruktorskie/budowa_konia.jpg; <http://golebie.wroclaw.pl/images/budowa-golebia-schemat.png>; http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Insect_anatomy_diagram.svg, <http://gfx1.bryk.pl/entry/00000/00000781.png>; <http://staff.tuhsd.k12.az.us/gfoster/standard/fishana1.gif>.

tywy biocybernetycznej teorii na istotę napotykaną przeszkody może sprzyjać uzyskaniu nowych rozwiązań

konkretnie zwierzę ma swoje cechy specyficzne i każde jest inne. Na Ryc. 7 pokazano przykładowo różne

zwierzęta. Widać, jak bardzo są one zróżnicowane. Przy tak wielkiej liczbie szczegółowych informacji o każdym gatunku zwierząt wydaje się, że praktycznie niemożliwe jest wydawanie jakichś ogólnych sądów. A jednak bazując na biocybernetyce można spróbować.

Żeby uzyskać model „uogólnionego zwierzęcia”, który by opisywał **wszystkie** te niezliczone stworzenia, trzeba najpierw **odrzuć** te szczegółowe informacje. Trzeba od nich **abstrahować**. Dzięki takiej abstrakcji poznamy, co jest wspólne dla wszystkich zwierząt – i co jest w związku z tym najbardziej istotne.



Ryc. 8. Początek tworzenia abstrakcyjnego biocybernetycznego modelu zwierzęcia.

Pierwszą przymiarkę do takiej abstrakcji przedstawia Ryc. 8. Na rycinie tej przedstawiono dwa abstrakcyjne (to znaczy pozbawione jakichkolwiek cech szczegółowych) obiekty: rozważane **zwierzę** oraz **środowisko**. Zauważmy, że oba obiekty przedstawione na Ryc. 8. są reprezentowane przez **bloki**, które nie mają nic wspólnego z ich rzeczywistym kształtem. Owalny blok z pewnością nie przypomina ciała żadnego zwierzęcia, a prostokąt nie jest podobny do żadnego realnego środowiska. Związek między tymi blokami a realnymi obiektami ma więc charakter wyłącznie umowny, dlatego schemat blokowy jest przykładem **modelu formalnego**, stale używanego w biocybernetyce.

Wnętrze bloku reprezentującego abstrakcyjne zwierzę zaczniemy teraz wypełniać kolejnymi **systemami**, zapewniającymi realizację funkcji, jakie **każde** zwierzę musi spełniać. Pierwszą z nich jest **aktywność**. Forma aktywności może być różna, ale obecność aktywności pozwala odróżnić każde żywe zwierzę od każdego kawałka materii nieożywionej.

Żeby przejawiać aktywność trzeba dysponować możliwościami ruchu. I znowu różnorodność narządów i systemów zapewniających zwierzęciu ruch jest ogromna. Inaczej poruszają się zwierzęta wodne, inaczej lądowe, a jeszcze inaczej latające. Ale **system ruchowy** w takiej lub innej postaci występuje u nich wszystkich, co ilustruje Ryc. 9.

Aktywność powinna być celowa, to znaczy związana z postrzeganiem stanu środowiska. Dzięki

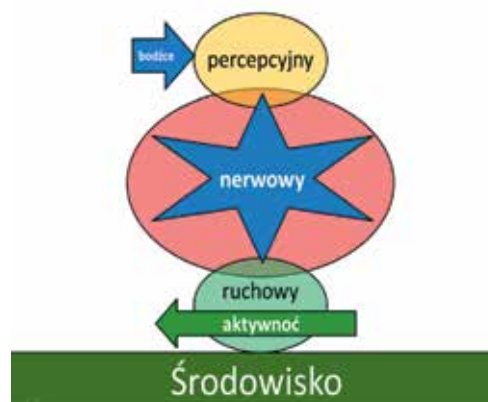
percepcji stanu środowiska można zlokalizować pożywienie i dostrzec zbliżające się zagrożenie (drapieznika, który naszego modelowego zwierzęcia chce



Ryc. 9. Zwierzę wyposażone w system ruchowy, umożliwiający aktywność w środowisku.

potraktować jak pożywienie). Bodźce docierające ze środowisk pozwalają odszukać partnera seksualnego i znaleźć bezpieczną kryjówkę dla przetrwania okresu zmniejszonej aktywności. Zwierzę musi więc mieć **system percepcyjny**, żeby te bodźce odbierać i je prawidłowo interpretować.

Żeby system percepcyjny przynosił pozytywne efekty, musi być powiązany z wcześniej wprowadzonym systemem ruchowym, bo tylko wtedy zwierzę będzie mogło skutecznie zdobywać dostrzeżone pożywienie, efektywnie unikać zaobserwowanych zagrożeń i zreżymie łączyć się z partnerem seksualnym. Do przenoszenia informacji od systemu percepcyjnego do systemu ruchowego konieczny jest więc **system nerwowy**. Tak uzupełniony model zwierzęcia przedstawiłem na Ryc. 10.



Ryc. 10. Model zwierzęcia wyposażonego dodatkowo w systemy: percepcyjny i nerwowy.

Jednak nie samą informacją zwierzę żyje. Do przejawiania aktywności potrzebna jest energia, a do rozbudowy i ewentualnej naprawy ciała – substancje odżywcze. Dlatego każde zwierzę musi pobierać z otoczenia **pożywienie** oraz **tlen** (dla procesów energetycznych, które u większości zwierząt mają charakter aerobowy), zaś wydalac musi niewykorzystane

części pożywienia oraz dwutlenek węgla. Trzeba więc nasz model zwierzęcia wyposażyć dodatkowo w system **trawienny** i **oddechowy**, a także w **system krążenia**, który dostarczać będzie pożywienie i tlen do wszystkich tkanek i narządów ciała, usuwając także powstający w procesach metabolicznych dwutlenek węgla – co pokazano na Ryc. 11.



Ryc. 11. Model zwierzęcia uwzględniający procesy energetyczne.

Przy przemianie materii powstają też (poza CO_2) także inne produkty odpadowe, które musi usuwać **system moczowy**, zaś w systemie krążenia potrzebne są jeszcze elementy ochrony organizmu przed różnymi zagrożeniami mikrobiologicznymi (rolę tę spełnia **system immunologiczny** przedstawiony na rycinie 12 jako symbol **I** oraz elementy regulacyjne o dłuższym czasie działania i o bardziej uogólnionym charakterze, niż sterowanie nerwowe. Tę ostatnią rolę pełnią hormony, których źródłem jest system gruczołów wydzielania wewnętrznego, oznaczony symbolem **G**.



Ryc. 12. Kolejny etap wzbogacenia modelu zwierzęcia.

Na koniec rozważany model zwierzęcia trzeba wyposażyć w system **płciowy**, dzięki któremu zwierzę może

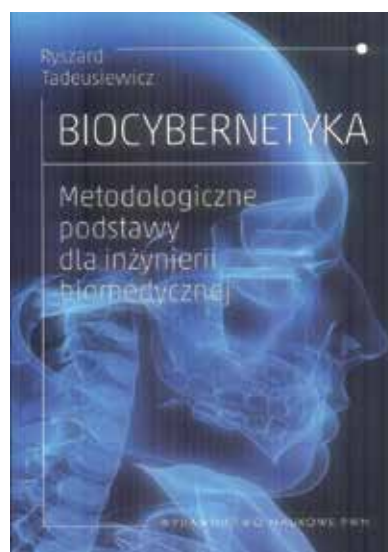
wydać potomstwo i zapewnić trwanie gatunku mimo limitowanego czasu życia każdego osobnika (Ryc. 13).

Przedstawiona wyżej droga budowania modelu zwierzęcia zawiera oczywiście wiele uproszczeń (nie zostały na przykład uwzględnione gruczoły wydzielania zewnętrznego), ale chodziło o to, żeby zasy-



Ryc. 13. Finalna struktura modelu zwierzęcia.

gnalizować kierunek działań podejmowanych przez biocybernetyków, a nie wdawać się w szczegóły. Dlatego kończąc ten artykuł chciałbym zachęcić Osoby, które zdołałem zainteresować, do tego, żeby skorzystały z łatwo dostępnej literatury (na przykład z książki, której okładka przedstawiona jest na rycinie 14.) i żeby poznały biocybernetykę na tyle, by możliwe było jej praktyczne użycie. Naprawdę warto!



Ryc. 14. Książka, z której można skorzystać poszerzając i pogłębiając wiedzę – w tym artykule jedynie zasygnalizowaną.