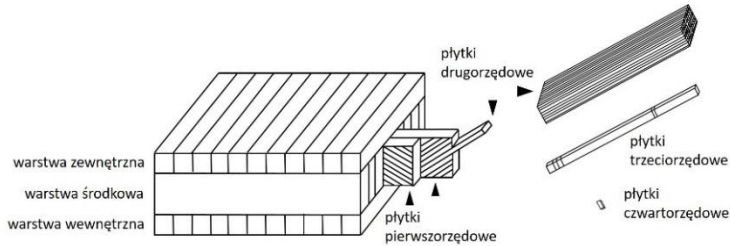


Od zawsze poszukiwano materiałów wytrzymałych i odpornych na pękanie. Do zniszczenia takich materiałów potrzebna jest znaczna energia. Aby rozwiązać ten problem warto przyrzeć się rozwiązaniom, które „znalazł” tu świat przyrody. Pancerze ochronne mięczaków, w szczególności ślimaków morskich, charakteryzują się unikalnymi właściwościami zarówno mechanicznymi jak i funkcjonalnymi. Okazuje się, że zwierzęta te na drodze trwającego miliony lat procesu ewolucji stworzyły materiał o wysokiej wytrzymałości, odporności na pękanie i jednocześnie lekki. Wynik ten jest tym bardziej zdumiewający, że składniki wykorzystywane do budowy muszli, węglan wapnia (w dwóch polimorficznych odmianach: kalcyt i aragonit) i różnego rodzaju białka są materiałami o słabych właściwościach mechanicznych. Badania prowadzone nad pancerzami



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie struktury muszli.

ochronnymi mięczaków ujawniły ich hierarchicznie złożoną budowę, rys. 1. Różnicuje się ona w zależności od środowiska życia, ale najczęściej (u około 90% gatunków) występuje budowa krzyżowo – płytkowa. Jest ona konstruowana na czterech poziomach. Równoległe ułożone pręty o grubości mniejszej od 1 mikrona tworzą listwę. Te z kolei, również równoległe powtarzane, formują większy element – płytę. Okazuje się, że sąsiednia płyta mająca analogiczną budowę, zawiera pręty (i listwy) obrócone o 90°. Jeżeli mięczak „zdecyduje się” kontynuować strukturę krzyżową w następnej warstwie to układ płyt, jaki ją tworzy, znów obraca się o 90°. Opisana konstrukcja wykonana jest ze zmineralizowanego węglanu wapnia zanurzonego w osnowie białkowej. Widzimy zatem, że muszla nie stanowi chaotycznego układu, ale głęboko przemyślaną konstrukcję zrealizowaną zgodnie z „projektem natury”. Powstaje zatem pytanie, jak głęboko matryca organiczna może ingerować w strukturę? Czy jest w stanie wymusić ułożenie atomów tworzących krystalinitę węglanu wapnia? Przeprowadzone przez nas badania wstępne pokazały, że osnowa białkowa determinuje określone wzajemne orientacje krystalograficzne sąsiednich ziaren. W rezultacie generuje strukturę od poziomu nano do makro, czyli do finalnej architektury. Taka strategia budowy muszli umożliwia wieloskalową odpowiedź na obciążenie dynamiczne i statyczne. Unikalne właściwości mechaniczne, w tym zdolność rozpraszania energii, wynikają nie tylko z odmiennych właściwości fazy organicznej i mineralnej, ale głównie z synergicznej współpracy jednostek strukturalnych na poszczególnych poziomach skali. Dlatego po wyschnięciu muszla nadal zachowuje wysoką wytrzymałość i odporność na pękanie. Głównym celem projektu jest wykrycie strategii tworzenia struktury o tak wyjątkowych właściwościach mechanicznych, sięgając od poziomu nano do makro. Badania będą prowadzić wysokiej klasy specjaliści z różnych dziedzin nauki: inżynierii materiałowej, paleontologii, geologii i mechaniki. Na początku wykonana zostanie wstępna analiza najbardziej interesujących muszli morskich ślimaków. Spośród nich wyłoniona będzie grupa pancerzy o najwyższej wytrzymałości na ściskanie. Dodatkowo do badań włączone zostaną te muszle, które zachowując podobną budowę wykazują najniższą wytrzymałość. Kolejnym etapem będzie dogłębna, sięgająca aż do poziomu nano, identyfikacja mikrostruktury wybranych pancerzy ochronnych. W tym celu wykorzystane zostaną zaawansowane techniki mikroskopii elektronowej m. in. dyfrakcja elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD) w SEM oraz dyfrakcja uzyskana przy użyciu wiązki zbieżnej (CBED) w TEM. W rezultacie, zidentyfikowana zostanie architektura muszli różnych gatunków ślimaków, a w każdym z nich określona zostanie lokalna charakterystyka relacji krystalograficznych na granicach ziaren tej samej lub różnych faz. Dalsze badania przy zastosowaniu wysokorozdzielczej transmisyjnej mikroskopii elektronowej (HRTEM) pozwolą odtworzyć układ atomów występujący na granicach kalcyt/kalcyt, kalcyt/aragonit, aragonit/aragonit. W tym celu opracowane zostaną modele dynamiki molekularnej (MD). Dzięki nim poznamy naturę wiązania powstającego pomiędzy krystalitami tych samych i różnych faz. Przeprowadzanie analiz na poziomie atomowym umożliwi komputer o dużej mocy obliczeniowej. Obok badań strukturalnych badana będzie mechaniczna odpowiedź muszli. Badania metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), wspomagane przez zrobotyzowany stolik, ujawnią resztkowe naprężenia występujące w strukturze i ewolucję pól naprężeń generowanych podczas ściskania. Uzyskane wyniki zostaną uzupełnione analizą inicjacji i rozwoju pęknięć, przeprowadzoną za pomocą systemu cyfrowej korelacji obrazu (micro-DIC). Spodziewane rezultaty projektu umożliwią stworzenie wieloskalowego modelu muszli, który ujawni szereg wzajemnie powiązanych mechanizmów zapewniających unikalne właściwości mechaniczne i funkcjonalne. A zatem dostarczą kluczowe informacje na temat jak skutecznie projektować materiały syntetyczne. Trzeba podkreślić, że zaproponowane badania biokompozytów i procesów biomineralizacji mają pionierski charakter.