

## Streszczenie

### **Współczesne możliwości i perspektywy kształtowania podwodnych habitatów mieszkalnych**

Głównym celem pracy jest opis i próba usystematyzowania istniejących rozwiązań teoretycznych i wdrożonych w zakresie realizacji obiektów architektonicznych stwarzających możliwości pobytu i zamieszkania pod wodą oraz zdefiniowanie kryteriów dotyczących projektowania podwodnych habitatów w kontekście potencjalnego zasiedlenia przez ludzkość obszarów mórz i oceanów. Analiza uwarunkowań uwzględnia aspekty architektoniczno-urbanistyczne (funkcjonalne i komfortowe projektowanie przestrzeni w habitatach i ich otoczeniu), techniczne, konstrukcyjne i materiałowe (rozwiązania możliwe do zastosowania w środowisku podwodnym), technologiczne (mieszanki oddechowe i absorpcja zanieczyszczeń, a tym szczególnie dwutlenku węgla), logistyczne (zaopatrzenie w energię, wodę i pożywienie), środowiskowe (wpływ habitatu podwodnego na ekosystem), psychologiczne (powody, skłaniające człowieka do zamieszkania pod wodą, psychologiczne konsekwencje długotrwałego przebywania pod wodą), ekonomiczne (w tym stosowanie zasad gospodarki cyrkularnej) oraz wszystkie kwestie związane z bezpiecznym korzystaniem z podwodnych habitatów (dekompresja, ewakuacja, redundancja systemów podtrzymania życia, zabezpieczenie przed zalaniem, pożarem, zatruciem niewłaściwą mieszanką oddechową, niekontrolowane wynurzenie habitatu i jego uszkodzenia mechaniczne). Ponadto praca ma na celu określenie gotowości technologicznej do realizacji habitatów podwodnych umożliwiających zamieszkanie pod wodą oraz wskazania dalszych ścieżek rozwoju tej grupy obiektów architektonicznych.

Pracę podzielono na 10 rozdziałów: Wstęp, Przyczyny podwodnej eksploracji, Uwarunkowania dodatkowe podwodnej eksploracji, Projekty historyczne, Projekty współczesne, Kształtowanie podwodnego habitatu mieszkalnego, Stan gotowości technologicznej, Wnioski z przeprowadzonych badań, Karty projektów, Bibliografia.

W pierwszej części pracy określono przedmiot badań, którym są podwodne habitaty na ich obecnym etapie rozwoju oraz perspektywy kształtowania podwodnego osadnictwa w przyszłości. Następnie zdefiniowano pojęcie habitatu podwodnego i wyznaczono obszar badań, wskazując ich zakres terytorialny oraz ramy czasowe. Badania rozpoczęto od kwerendy archiwalnej i studiów literaturowych, które stworzyły podstawę do dalszych analiz obejmujących obiekty historyczne, współczesne i futurystyczne. Główną metodą badawczą zastosowaną w pracy doktorskiej była analiza porównawcza na bazie dostępnej dokumentacji obiektów istniejących oraz projektów niezrealizowanych. Dokonano klasyfikacji podwodnych obiektów architektonicznych oraz sprecyzowano, jakim kryteriom powinny one odpowiadać. W kolejnym kroku zdefiniowano bariery, które mogą utrudnić, opóźnić lub nawet uniemożliwić rozwój podwodnych habitatów. Uwzględniono przy tym analizę zagrożeń dla środowiska naturalnego, wynikających z potencjalnego zasiedlenia obszarów podwodnych. Dostępne materiały uzupełniono przeprowadzonymi przez autorkę wywiadami i ankietami badawczymi. Ze względu na specyficzny charakter przedmiotu badań nie było możliwe wykonanie badań *in situ*.

W rozdziale *Przyczyny podwodnej eksploracji* zdefiniowano powody, dla których zasiedlanie mórz i oceanów znajduje swoje uzasadnienie. W rozdziale *Uwarunkowania dodatkowe podwodnej eksploracji* określono aspekty pozaekonomiczne, które mogą mieć wpływ na powstanie ograniczeń dla budowy habitatów podwodnych. W rozdziałach dotyczących projektów historycznych i współczesnych dokonano analizy projektów teoretycznych oraz obiektów zrealizowanych zakwalifikowanych jako habitaty podwodne w zależności od czasu powstania, użytej technologii oraz wkładu w rozwój podwodnej architektury. Szczegółowy opis wszystkich obiektów zebrano w formie kart projektów, które umieszczono w osobnym rozdziale na końcu pracy. W rozdziale *Kształtowanie podwodnego habitatu mieszkalnego* opracowano wytyczne, jakie musi spełniać podwodny habitat, aby stwarzać odpowiednie

warunki mieszkaniowe dla użytkownika długoterminowego. W rozdziale *Stan gotowości technologicznej* opisano możliwości technologiczne budowy podwodnych habitatów w zakresie konstrukcji, materiałów, balastu, fundamentowania, systemu podtrzymywania życia, ewakuacji, zaopatrzenia energetycznego i żywnościowego, gospodarki cyrkularnej oraz bezpieczeństwa. W rozdziale *Wnioski z przeprowadzonych badań* dokonano podsumowania wyników wszystkich analiz.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyciągnięcie wniosków dotyczących możliwości realizacji obiektów służących do zamieszkania pod wodą oraz perspektyw ich dalszego rozwoju. Najważniejsze konkluzje obejmują sposoby funkcjonowania habitatów podwodnych a także zasady ich kształtowania w kontekście architektoniczno-urbanistycznym i ekologicznym. Dzięki dokonanim analizom udało się opracować zbiór wytycznych odnośnie do zalecanych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych, specyficznych dla budowy obiektów w wymagającym środowisku podwodnym (z uwzględnieniem warunków takich jak zasolenie, ciśnienie, inne potencjalne zagrożenia dla konstrukcji). We wnioskach wzięto pod uwagę złożone kwestie środowiskowe, w tym konieczność zminimalizowania ingerencji człowieka w podwodny ekosystem, właściwy dobór materiałów i rozwiązań bezpiecznych dla środowiska w całym cyklu życiowym projektowanych obiektów oraz stosowanie filozofii gospodarki o obiegu zamkniętym. Kolejna grupa wniosków objęła aspekty zdrowotne (przebywanie w warunkach habitatu podwodnego) i psychologiczne (analizę skutków psychologicznych długotrwałego pobytu pod wodą), jak również kwestie bezpieczeństwa (zabezpieczenie habitatu, systemy podtrzymania życia, ewakuacja, dekompresja), dostępności (możliwość korzystania z habitatów przez osoby z różnego rodzaju ograniczeniami i potrzebami) i samowystarczalności (produkcję żywności, wody i energii, bezpieczną utylizację wszelkiego rodzaju odpadów i produktów przemiany materii w tym dwutlenku węgla) istotne dla projektowania i realizacji obiektów podwodnych.

Na podstawie powyższych badań ustalono podstawowe standardy architektoniczne podwodnych jednostek mieszkaniowych przystosowanych do długoterminowego użytkowania oraz poziom gotowości technologicznej dla rozwiązań spełniających przyjęte kryteria. W konsekwencji sformułowano prognozy rozwoju architektury podwodnej, która odpowiadałaby wymogom użytkowemu oraz zrównoważonego rozwoju. Wykazano, iż w kształtowaniu podwodnych osiedli mieszkaniowych należy kierować się wiedzą o habitatach lądowych - dotyczy to zarówno skali architektonicznej jak i urbanistycznej. Wielkość oraz program funkcjonalny habitatu determinowane są przez czas i rodzaju pobytu, przewidywaną liczbę i profil użytkowników oraz budżet projektu. W przypadku pobytu długoterminowego niezbędne jest zapewnienie mieszkańcom pełnego komfortu i niezależności, przypominających warunki życia na powierzchni, przy jednoczesnym korzystaniu z atutów świata podwodnego. Forma habitatu musi uwzględniać warunki hydrostatyczne i ergonomię użytkownika wewnątrz. Obiekt powinien mieć opływowe kształty, ponieważ najefektywniej przenoszą one ciśnienie wody oraz przepływ prądów morskich. Ponieważ ciśnienie wody oddziałuje na całą powierzchnię habitatu zaleca się użycie konstrukcji powłokowej w formie modułowych komponentów prefabrykowanych na lądzie. Stwierdzono, że na obecnym etapie rozwoju wiedzy i technologii najbardziej odpowiednimi materiałami do budowy podwodnego habitatu są tytan, stal nierdzewna, szkło akrylowe oraz beton X2S. Zastosowane technologie wpływają na ostateczny kształt obiektu, ponieważ dla każdego z wybranych rozwiązań wymagana jest określona przestrzeń. Z tego względu w przypadku budowy habitatu mobilnego napęd oraz zasilanie powinny zostać wybrane we wczesnych fazach projektowych. Obecnie dostępne są systemy bazujące na śrubie i wale napędowym, ale atrakcyjną alternatywą staje się silnik MHD. Należy pamiętać o ewakuacji i zabezpieczeniach, które w podwodnych habitatach muszą dodatkowo uwzględniać zagrożenie zalaniem, nadmiarem wilgotności oraz zatrucia dwutlenkiem węgla. Ze względu na bezpieczeństwo użytkowników i stopień przenikania światła za zalecaną granicę zanurzenia obiektów uznano głębokość 50 metrów. Za odpowiedni rodzaj dla użytkownika niewykwalifikowanego uznano habitat normobaryczny, a obecny poziom rozwoju pozwala na stworzenie adekwatnego systemu podtrzymywania życia. Obecny stan gotowości technicznej pozwala na własną produkcję energii oraz żywności za pomocą akwakultury oraz odsalania wody morskiej. Lokalizacja morska pozwala na niezależną produkcję elektryczności przy użyciu energii

wiatru, fal i słońca. Stosowanie gospodarki o obiegu zamkniętym dostępne jest w ograniczonym stopniu, ale możliwości te będą się powiększać wraz z rozwojem materiałów.

Reasumując, należy stwierdzić, że poziom gotowości technologicznej habitatów podwodnych osiągnął obecnie TRL 9: Sprawdzenie technologii w warunkach rzeczywistych odniosło zamierzony efekt. Wskazuje to, że demonstrowana technologia jest już w ostatecznej formie i może zostać zaimplementowana w docelowym systemie w warunkach rzeczywistych.