

Analogowe habitaty kosmiczne – badania i koncepcja własna



dr hab. inż. arch.
KLAUDIUSZ FROSS, PROF. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Architektury
ORCID: 0000-0002-0013-7619



mgr inż. arch.
WIKTORIA DZIADUŁA
Politechnika Śląska
Wydział Architektury
ORCID: 0000-0002-7674-1409

Badania nad analogowymi habitatami umożliwiają osiągnięcie w przyszłości funkcjonującego w pełni samodzielnie środowiska, które pozytywnie wpłynie zarówno na eksplorację kosmosu, jak i na komfort życia na Ziemi, zgodnie z założeniami zrównoważonego i odpowiedzialnego rozwoju. Artykuł prezentuje przeprowadzone badania i opracowaną koncepcję analogowego habitatu kosmicznego, czyli autorską propozycję samowystarczalnego habitatu pod wodą, z wykorzystaniem m.in. rozwiązań ze stacji kosmicznych oraz łodzi podwodnych.

Wprowadzenie

Podstawę niniejszego opracowania stanowi praca magisterska omawiająca koncepcję habitatu kosmicznego (autor: inż. Wiktoria Dziaduła, promotor: prof. PŚ, Klaudiusz Fross, Politechnika Śląska, Wydział Architektury, rok akad. 2020/21). Jak wskazują badania przeprowadzone podczas wspomnianej pracy dyplomowej, architektura kosmiczna rozwija się na całym świecie, a jej celem jest możliwość zaistnienia w przyszłości w kosmosie. Przeżycie w ekstremalnych warunkach panujących na innych planetach czy też w przestrzeni kosmicznej stawia wiele wyzwań nie tylko środowiskowych, ale również psychologicznych. Ciągła izolacja, poczucie zagrożenia, oddalenie od bliskich osób to niektóre istotne aspekty związane z czynnikiem ludzkim, który stanowi kluczowy element misji kosmicznych. Wyzwaniem jest także zastosowanie nowoczesnych technologii oraz coraz bardziej zaawansowanych technologicznie rozwiązań. W celu zbadania tych nowych zagadnień stworzono symulacyjne kosmiczne środowisko. Odpowiadają one na różne potrzeby, wynikające wprost z kierunków rozwoju sektora kosmicznego, a także pozwalają wyeliminować poprawić jakość życia na Ziemi. Takie podejście do tej kwestii umożliwi osiągnięcie w przyszłości funkcjonującego w pełni samodzielnie środowiska, które wpłynie pozytywnie zarówno na eksplorację kosmosu, jak i na komfort życia ziemskiego, zgodnie z założeniami zrównoważonego i odpowiedzialnego rozwoju. Rozwiązania wspierające wymienione działania to: gospodarka o obiegu zamkniętym, wykorzystywanie surowców dostępnych na miejscu, monitorowanie wszystkich zasobów, łączenie architektury, natury oraz technologii w sposób spójny i har-

monijny, a także szukanie balansu między niezbędnymi funkcjami życiowymi a ludzkimi potrzebami, między technokracją a ludzką omylną naturą oraz indywidualnością a wspólnotą.

Zakres badań

W części badawczej praca obejmowała:

- wstęp do tematu i wyjaśnienie pojęć związanych z zagadnieniem;
- badania literackie aktualnej wiedzy w temacie analogowych misji kosmicznych oraz kosmicznych habitatów (na przykładach habitatów BIOS-3, Biosphere 2, Eco-house, MaMBA);
- badanie potrzeb użytkowników (analogowych astronautów) za pomocą ankiety online, której celem było zebranie informacji o oczekiwaniach i możliwościach rozwoju analogowych misji kosmicznych;
- wnioski z pogłębionych wywiadów z użytkownikami oraz właścicielami placówek badawczych, których celem było lepsze poznanie zagadnienia analogowych misji badawczych, ich przebiegu, celu, a także indywidualnego podejścia do zagrożeń oraz szans i możliwości rozwoju w tej dziedzinie;
- relacje z badań przeprowadzonych podczas misji Q1.M01.2021 Pandemic Isolation Mission w habitatcie Lunares [1], podczas której zostały przeprowadzone eksperckie badania jakościowe opracowane na podstawie wytycznych [2] i [3];
- badania obiektów istniejących, zrealizowanych i planowanych (HI-SEAS, LunAres, SHEE, FMARS, Aquarius Reef Base, Halley VI, Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, Okręt podwodny, Voyager 1);

- opis autorskiego projektu koncepcyjnego placówki badawczej i symulacyjnej, tzw. analogowego habitatu kosmicznego (z ang. kosmiczne placówki badawcze to *analog habitats*, co w wolnym tłumaczeniu na język polski oznacza „symulowane siedliska”; ang. słowo analog nie występuje w kontekście słowa „analogowy”, a słowo „analogiczny” jako „odpowiednik”, „symulowany”).

W części projektowej pracy magisterskiej zaprezentowano za pomocą grafik autorskie rozwiązania koncepcyjne w formie plansz zawierających:

- przedstawienie idei koncepcji analogowego habitatu;
- rzuty, przekroje i widoki wybranych elementów;
- schematy oraz ideogramy tłumaczące zasady działania i funkcjonowania;
- wizualizacje obiektu i wybranych przestrzeni;
- jako dopełnienie części badawczej plansze z relacją z analogowej misji Q1.M01.2021 Pandemic Isolation Mission.

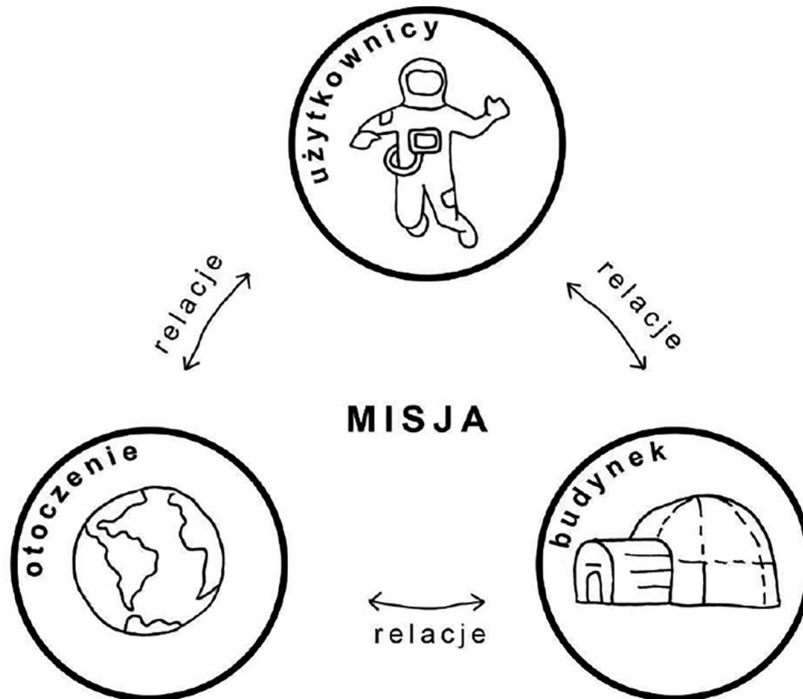
Najważniejsze wnioski

Mimo różnorodności pod względem funkcji analogowych habitatów, głównym założeniem projektowanego obiektu powinien być rozwój nauki, badań i rozwiązań dotyczących przyszłych misji kosmicznych. Placówka ma symulować wybrane aspekty warunków kosmicznych, natomiast ich wybór zależy od możliwych scenariuszy badań. W wielu już istniejących oraz projektowanych placówkach przewiduje się rozwijanie relacji między trzema aspektami, które są ściśle ze sobą powiązane w tego typu całościowych,

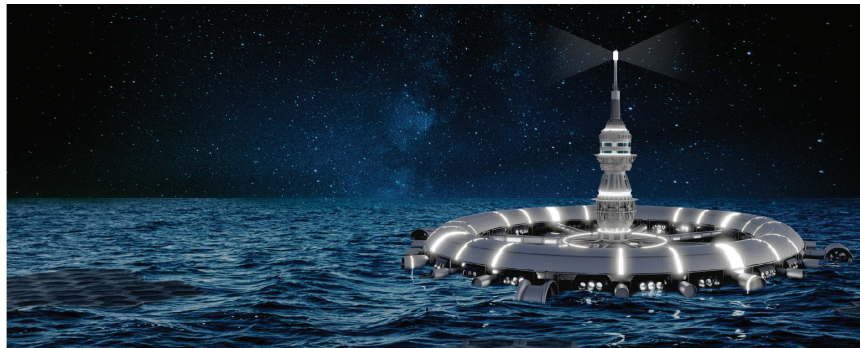
wielowarstwowych badaniach. Są nimi relacje między uczestnikiem, otoczeniem i obiektem. Z literatury wynika, że zadbanie o każdy z tych elementów pozwala osiągnąć odpowiednią immersję, czyli realizm symulacji, co może korzystnie wpływać na jakość przeprowadzanych eksperymentów [4]. Badania powinny być prowadzone całościowo, z uwzględnieniem wszystkich czynników zarówno ludzkich, jak i technologicznych, a także procesów, sposobu i filozofii użytkowania przestrzeni. Dodatkowym, ale bardzo ważnym aspektem w programie funkcjonalnym, powinno być znaczące powiązanie proponowanych rozwiązań z ideami zakładającymi zrównoważony ziemski rozwój oraz gospodarkę obiegu zamkniętego. Dążenie do tworzenia rozwiązań samowystarczalnych i niezawodnych to jedno z wyzwań projektowych architektury kosmicznej. Projektowanie w ekstremalnych warunkach wymaga bowiem doboru właściwych rozwiązań konstrukcyjnych oraz projektowych, proponowanych indywidualnie, w zależności od charakterystyki otaczającego obiektu środowiska. W kontekście zapewnienia komfortu życia oraz pracy jest to np. odpowiednia kolorystyka, konkretne materiały, zapewnienie kontaktu z naturą (jeśli jest taka możliwość), komfortowe wnętrza, proste i solidne konstrukcje, komfort akustyczny, zapewnienie prywatności, ale także dbanie o relacje społeczne. W ekstremalnych warunkach podstawową kwestią stanowi zapewnienie bezpieczeństwa, dlatego też program funkcjonalny obiektu powinien przewidywać rozbudowaną, zaawansowaną infrastrukturę techniczną.

Główne założenia projektowe:

- badania nad rozwojem rozwiązań kosmicznych;
- testowanie rozwiązań dla kosmosu w warunkach łatwiejszych, tańszych i bezpieczniejszych;
- synergia trzech aspektów: użytkownik, otoczenie, obiekt (Rys. 1);
- użytkownik – analogowy astronauta powinien ponosić odpowiedzialność za przeprowadzane badania i eksperymenty oraz być częścią zespołu o zdefiniowanej strukturze;
- otoczenie – wybór lokalizacji spośród terenów ICE (Isolated and Confined Extreme – wyizolowane, ograniczone i ekstremalne);
- budynek musi spełniać wymogi samowystarczalności (być odcięty od „sieci”), a swoją estetyką i przestrzenią odpowiadać w jak najlepszym stopniu na komfort pracy oraz życia w ekstremalnym otoczeniu;
- filozofia użytkowania przestrzeni – zgodność ze zrównoważonym rozwojem, wykorzystanie lokalnych surowców, niska emisyjność, gospodarka obiegu zamkniętego (energia, woda, pożywienie, surowce, odpady);



Rys. 1. Relacje w analogowych habitatach. Istotne jest zachowanie zrównoważonych relacji na płaszczyznach: budynek – otoczenie – użytkownik. Każda z nich powinna symulować kosmiczne warunki (oprac. aut.)



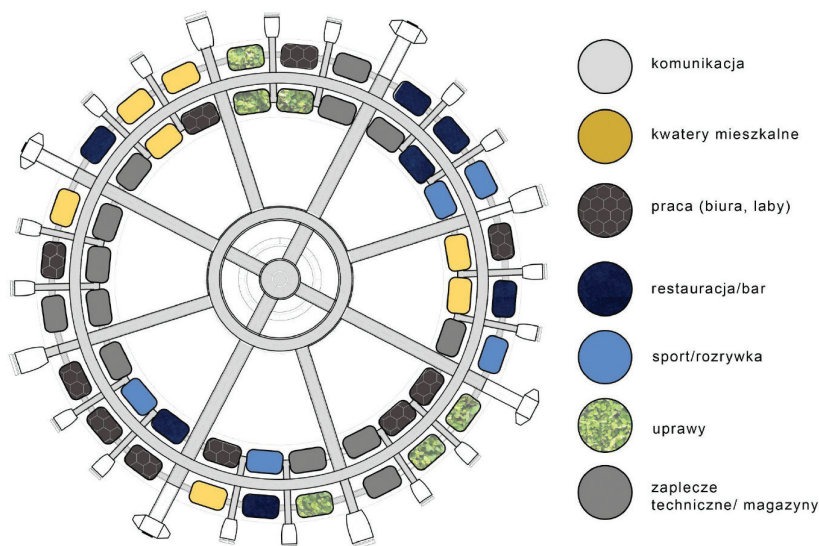
Rys. 2. Projekt S.A.V.E. Wizualizacja (oprac. aut.)

- wysoki poziom TRL (Technology Readiness Level – poziom gotowości technologicznej) [5] i HRL (Habitable Readiness Level – poziom gotowości do zamieszkania) [6];
- badania z obopólnymi korzyściami – ziemskimi i kosmicznymi, czyli implementacji rozwiązań *spin off* (transfer technologii z kosmosu na Ziemię) oraz *spin in* (transfer technologii z Ziemi do kosmosu);
- stacja to międzynarodowa platforma wymiany wiedzy i rozwoju technologii;
- stacja dostępna również dla osób „z zewnątrz” jako możliwość doświadczenia życia w ekstremalnych warunkach, którego celem będzie uświadomienie użytkownikom potrzeby dbania o środowisko (edukacja przez doświadczenie).

Koncepcja własna analogowego habitatu

Koncepcja kosmicznej bazy badawczej została stworzona na podstawie badań oraz ob-

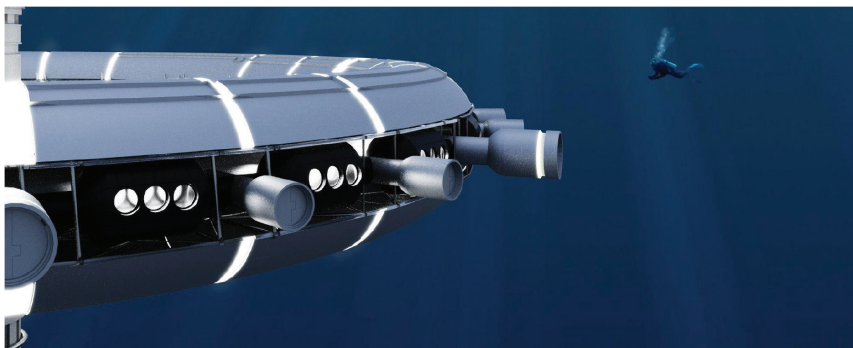
serwacji własnych. Po uwzględnieniu głównych założeń i wytycznych, projekt oparto na symulacji kosmicznych warunków w środowisku podwodnym. Jak wynika z analiz, takie otoczenie zewnętrzne symuluje w znacznym stopniu przyszłe misje kosmiczne pod względem mikrogravitacji oraz odpowiadającej jej wodnej pływalności neutralnej, a także: spacerów kosmicznych, zagrożeń, braku dostępnych zasobów, rozwiązań technicznych i technologicznych (statki wodne a statki kosmiczne), zastosowanych systemów podtrzymywania życia, gospodarki o zamkniętym obiegu oraz stopnia eksploracji. Model przestrzenny stacji, inspirowany jest dwoma projektami kosmicznymi: Stacją Von Brauna z 1952 roku [7] i hotelem orbitalnym Voyager 1 Orbital Assembly Corp. (planowanym na 2027 rok). Okrągła rotacyjna stacja – S.A.V.E. (Space Analog Village on Earth) – ma na celu testowanie rozwiązań, które posłużą rozwojowi załogowych misji kosmicznych. Dodatkowo, w zależności od celu misji, mogą one służyć również w kontekście eksperymentów z perspektywy



Rys. 3. Schemat funkcjonalny stacji (oprac. aut.)



Rys. 4. Centrum kontroli misji. Wizualizacja (oprac. aut.)



Rys. 5. Akwanauta podczas EVA. Wizualizacja (oprac. aut.)

„ziemskiej” – stacja może zacumować w okolicach raf koralowych, terenów polodowcowych czy obszarów zanieczyszczonych (Rys. 2).

Inspirowana rozwiązaniami ze stacji kosmicznej, stacji polarnych, istniejących obiektów oraz łodzi podwodnych [8], projektowana baza jest samowystarczalna. W odpowiedzi na ekstremalne warunki czerpie z lokalnych i odnawialnych źródeł energii, posiada zamknięty obieg gospodarki oraz przystosowaną infrastrukturę. Stacja jest mobilna, ponieważ

misje mają odbywać się w różnych miejscach w środowisku podwodnym, na otwartych oceanach oraz pod wodą. Stacja to międzynarodowa platforma wymiany wiedzy i rozwoju technologii. Składa się z pionowej wieży, dwóch pierścieni, łączników oraz kapsuł, które stanowią główne przestrzenie życiowe. Znajdują się tam niezbędne wydzielone miejsca do funkcjonowania i pracy – mieszkania, biura, laboratoria, uprawy, siłownie, bary, restauracje oraz zaplecza techniczne.

Program funkcjonalny

Poza przestrzeniami społecznymi „do życia”, takimi jak prywatne kwatery mieszkalne, przestrzenie rozrywki (restauracje/puby, kuchnie, sale sportowe) przewidziano również miejsca do pracy i na infrastrukturę techniczną, w tym: przestrzenie biurowe, biolaboratoria z uprawami hydro- i aeroponicznymi, infrastruktura techniczna, gdzie znajdują się zapasy oraz niezbędne aparaty do funkcjonowania stacji, np. akumulatory i generatory, magazyny energii i filtry wody (Rys. 3).

Projektowane rozwiązanie składa się z modułów-kapsuł, z których każdy pełni odmienną funkcję. W zależności od potrzeb, istnieje możliwość dopasowania liczby oraz miejsca kapsuł, o czym decyduje program funkcji oraz badań. Centralnym punktem i elementem podtrzymującym założenie jest jednak pionowy trzon, o podstawowej średnicy 20 m, pełniący nie tylko centralną funkcję konstrukcji, ale będący również centrum dowodzenia stacji. We wnętrzu tej struktury komunikacja odbywa się pionowo, głównie między trzema przestrzeniami – bazą, centrum kontroli podwodnej i centrum kontroli powietrznej (Rys. 4).

Drugim podsystemem bazy jest jej pozioma struktura – zespół dwóch pierścieni przeznaczonych do komunikacji. Składa się on z pierścienia wewnętrznego i zewnętrznego, które zostały połączone czterema prostokątnymi elementami, zwieńczonymi silnikami i elementami zakończonymi głównymi dokami, analogicznie obróconymi w poziomie o 45°. Skonstruowany tą metodą podsystem przypomina podwójne koło z ośmioma szprychami. Powstało w ten sposób osiem wycinków okręgu zewnętrznego pierścienia, podzielonego na strefy, których założeniem jest samowystarczalność. W każdej z ośmiu oddzielnych części znajduje się po sześć kapsuł - po trzy z każdej strony zewnętrznego pierścienia. W sumie kapsuł jest 56 i tworzą one osiem odrębnych, niezależnych środowisk, które w razie niebezpieczeństwa lub awarii można wyłączyć z obiegu stacji. W takiej sytuacji ruch odbywa się przez wewnętrzny pierścień, z pominięciem wyłączzonego odcinka stacji. Dodatkowo, ze względów bezpieczeństwa, między każdą parą kapsuł znajduje się mniejszy dok, pełniący funkcję wyjścia ewakuacyjnego. W małych dokach można dokować statki osobowe, natomiast duże doki pełnią funkcję dostawczą (Rys. 5).

W projekcie zaproponowano możliwości aranżacji poszczególnych stref, czyli zespołu sześciu kapsuł. Ważną zasadą jest to, aby w każdej strefie przewidzieć co najmniej jedną kapsułę infrastruktury technicznej, tzw. zaplecze techniczne. Proponowane rozwiązania wariantowe to m.in.:

- wariant podstawowy – zrównoważony, który zawiera niezbędne do życia przestrzenie: zaplecze techniczne, kwatery

mieszkalną, siłownię, jadalnię, uprawy (biolab) oraz miejsce do pracy;

- wariant biurowy – zaplecze techniczne, a więc trzy kapsuły biurowe, siłownia i restauracja;
- wariant techniczny – obsługi, czyli cztery kapsuły techniczne, kapsuła mieszkalna i miejsce pracy;
- wariant mieszkalny – zaplecze techniczne z trzema kapsułami mieszkalnymi, rozrywką, jadalnią i miejscem pracy.

Kapsuły, każda o promieniu średnicy 14,10 m i długości 22 m, składają się z przestrzeni funkcjonalnej oraz z infrastruktury technicznej (filtrowania powietrza, obiegu wody i ogrzewania) znajdującej się nad i pod przestrzenią funkcjonalną. W każdej z tych kapsuł przewidziano awaryjne zapasy czystej wody i powietrza na kilka dni, które znajdują się w narożnych przestrzeniach. Poza tym w każdej kapsule: mieszkalnej, pracy oraz laboratorium przewidziano miejsce dla siedmiu osób. Standardowa wysokość pomieszczenia to 4,5 m, ale w większych przestrzeniach wspólnych, takich jak restauracja, siłownia, bary i rozrywka, wysokość została powiększona do 6,5m, dzięki czemu można w nich zaplanować antresole i otwarte przestrzenie (Rys. 6 i 7). W każdej z kapsuł, poza techniczną, znajduje się moduł sanitarny, połączony systemem obiegu wody w stacji (Rys. 8).

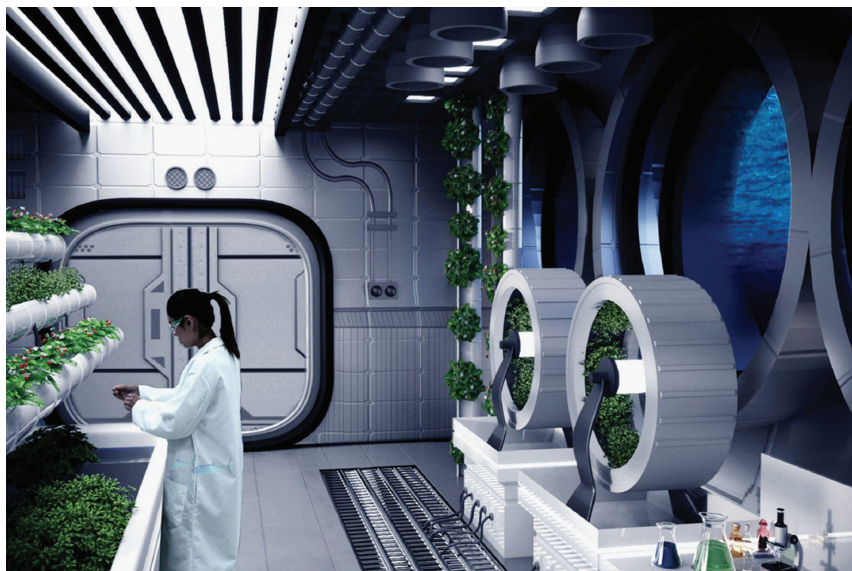
System podtrzymywania życia (ECLSS – Environmental Control and Life Support System) funkcjonuje analogicznie do tego na łodziach podwodnych, czyli przewidziano w nim możliwość filtrowania wody morskiej na pitną, proces uzdatniania powietrza w każdej kapsule, dzięki procesom chemicznym wytwarzającym również ciepło, które jest magazynowane oraz wykorzystywane do ogrzewania wnętrza. Dodatkowym elementem systemów podtrzymywania życia, będącym jednocześnie elementem eksperymentalnym, jest użycie paneli z alg do filtracji powietrza (Rys. 9). Na stacji gospodarka funkcjonuje w obiegu zamkniętym, co znaczy, że wszelkie odpady są filtrowane, oczyszczane i przez wirowanie odseparowywane na odpady stałe oraz wodę, którą można ponownie użyć. Biologiczne odpady stałe są wykorzystywane jako nawóz do upraw. Natomiast jeśli chodzi o posiłki, to dieta opiera się na kombinacji kilku rozwiązań: żywności liofilizowanej, ale przede wszystkim na wyhodowanych warzywach i owocach oraz lokalnych, świeżych produktach, takich jak owoce morza, których hodowla/pozyskiwanie na miejscu jest elementem zrównoważonego funkcjonowania [9].

Wnioski

Badania nad analogowymi habitatami umożliwiają osiągnięcie w przyszłości funkcjonującego w pełni samodzielnie środowiska,



Rys. 6. Wnętrze kapsuły – restauracja. Wizualizacja (oprac. aut.)

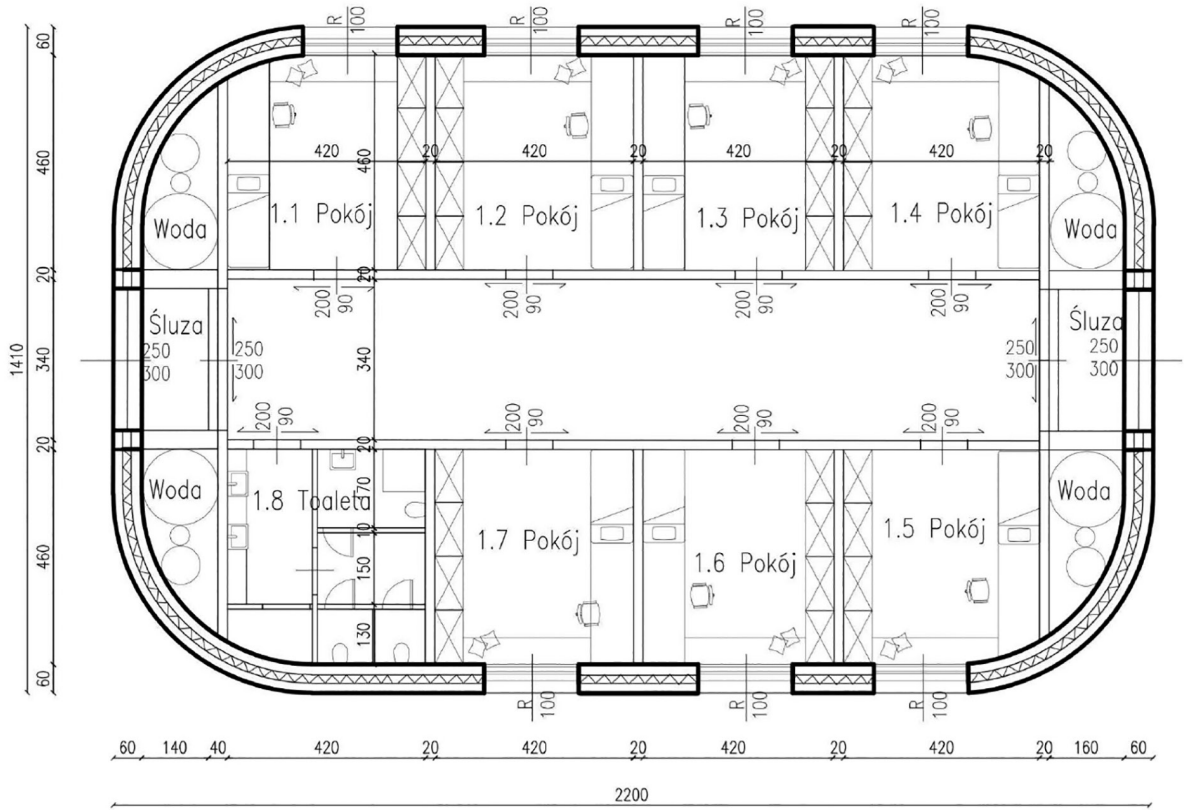


Rys. 7. Wnętrze kapsuły - biolaboratorium – uprawy. Wizualizacja (oprac. aut.)

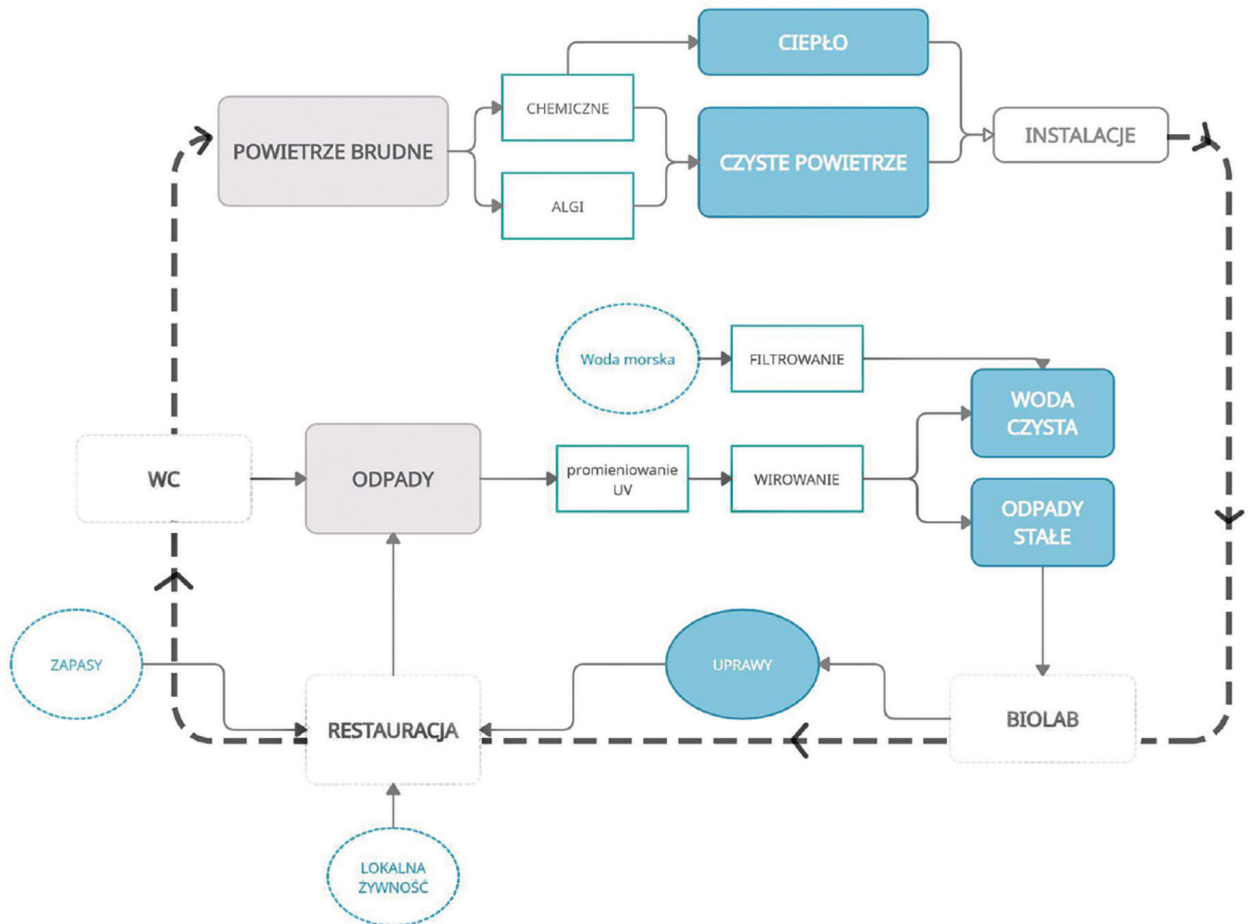
zarówno na eksplorację kosmosu, jak i na poprawę komfortu życia na Ziemi, zgodnie z założeniami zrównoważonego i odpowiedzialnego rozwoju. Można to będzie osiągnąć dzięki rozwiązaniom takim jak gospodarka o obiegu zamkniętym, wykorzystywanie surowców dostępnych na miejscu, potrzeba monitorowania wszystkich zasobów, łączenie architektury, natury oraz technologii w sposób spójny i harmonijny itp. Funkcjonowanie w środowiskach ekstremalnych sprawia, że zwraca się uwagę na każdy minimalny detal projektowy, każde rozwiązanie i użyty materiał, ponieważ wszystko musi mieć jakiś sens

oraz logiczne zastosowanie. To również szukanie balansu między niezbędnymi funkcjami życiowymi a ludzkimi potrzebami, technokracją a ludzką omylną naturą oraz indywidualnością a wspólnotą. Osobami, które w tej sytuacji uczą się pokory, są nie tylko projektanci, ale przede wszystkim użytkownicy przestrzeni. Architektura kosmiczna uczy szacunku do otoczenia oraz zasobów i może z powodzeniem dać szansę na odkrycie niezbadanych dotąd lub ignorowanych aspektów projektowania skoncentrowanego na człowieku. Mimo że powierzchownie może kojarzyć się tylko z rozwiązaniami technicznymi i technologicznymi. Projektowanie kosmiczne

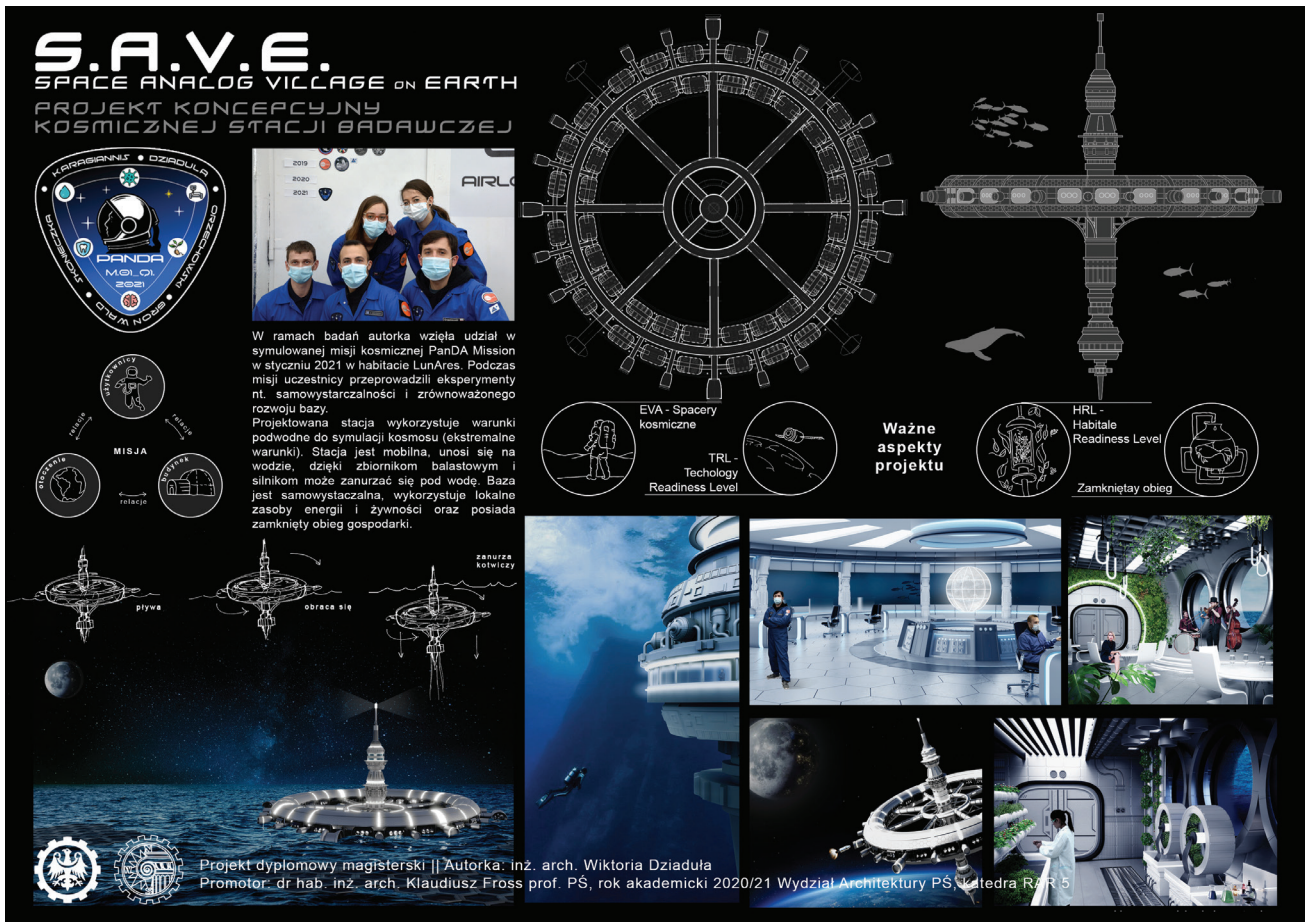




Rys. 8. Przykładowy rzut. Rzut kapsuły mieszkalnej (oprac. aut.)



Rys. 9. Schemat obiegu zasobów (oprac. aut.)



Rys. arch. autorów

jest odpowiedzią na projektowanie w XXI wieku, ponieważ czerpie z nowoczesnych rozwiązań i odnawialnych źródeł energii, a także jest skoncentrowane nie tylko na człowieku i jego potrzebach, ale również na otoczeniu.

Bibliografia:

- [1] Fross K., Dziadula W., Kosmos na Ziemi – analogowe habitaty kosmiczne. Badania jakościowe podczas symulowanej misji kosmicznej, *Builder Science*, 2021 nr 7.
- [2] Fross K., Badania jakościowe w planowaniu, programowaniu, projektowaniu oraz ocenie inwestycji, *Builder, Biznes, Budownictwo, Architektura*, 2015 nr 6, s. 14-17.
- [3] Niezabitowska E., *Research Methods and Techniques in Architecture*, Routledge 2018.
- [4] Schlacht I., Foing B. H., Bannova O., Blok F., Existing and new proposals of Space analog, off-grid and sustainable habitats with Space applications, 2016.
- [5] Cohen M., *Mockups 101: Code and Standard Research for Space Habitat Analogues*, 2012.
- [6] Häuplik-Meusburger S., *Habitability Studies and Full Scale Simulation Research: Preliminary themes following HISEAS mission IV*, 2000.
- [7] Dorais G. A., *Modular Extended-Stay HyperGravity Facility Design Concept: An Artificial-Gravity Space-Settlement Ground Analogue*, NASA/TM—2015–218935.
- [8] Gabler U., *Submarine design*, 1986, s. 100-110.
- [9] Marino B. D. V., Mahato T., Druijt J. W., Leigh L., Lin G., Russell R. M., Tubiello F.N., *The agricultural biome of Biosphere 2. Ecological Engineering*, 1999.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.7363

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA:

Fross K., Dziadula W., 2022, Analogowe habitaty kosmiczne – badania i koncepcja własna, „Builder” 3 (296). DOI: 10.5604/01.3001.0015.7363

Streszczenie: Badania nad analogowymi habitatami umożliwiają osiągnięcie w przyszłości funkcjonującego w pełni samodzielnie

środowiska, które z pewnością pozytywnie wpłynie zarówno na eksplorację kosmosu, jak i na komfort życia na Ziemi, zgodnie z założeniami zrównoważonego oraz odpowiedzialnego rozwoju. Rozwiązania umożliwiające osiągnięcie tego celu to: gospodarka o obiegu zamkniętym, wykorzystywanie surowców dostępnych na miejscu, potrzeba monitorowania wszystkich zasobów, łączenie architektury, natury i technologii w sposób spójny oraz harmonijny itp. Artykuł dotyczy przeprowadzonych badań i opracowanej koncepcji analogowego habitatu kosmicznego, wykonanych w ramach pracy magisterskiej (autor: inż. Wiktoria Dziadula, promotor: prof. PŚ, Klaudiusz Fross, Politechnika Śląska, Wydział Architektury, rok akad. 2020/21). W artykule przedstawiono zakres przeprowadzonych badań dotyczących symulacyjnych placówek kosmicznych, wnioski z badań literackich i *in-situ* (na miejscu) oraz autorską propozycję samowystarczalnego, analogowego habitatu pod wodą, z wykorzystaniem m.in. rozwiązań ze stacji kosmicznych oraz łodzi podwodnych.

Słowa kluczowe: kosmos, architektura kosmiczna, badania jakościowe, habitat kosmiczny

Abstract: ANALOG SPACE HABITATS – RESEARCH AND OWN CONCEPT.

Research on analog habitats enables the achievement of a fully functioning, independent environment in the future,

which will certainly have a positive impact on both space exploration and the improvement of the quality of life on Earth in accordance with the goals of sustainable and responsible development. These are solutions such as a circular economy, the use of raw materials available on-site, the need to monitor all resources, combining architecture, nature, and technology in a coherent and harmonious manner, and many others. The article concerns the research and the developed concept of an analog space habitat made as part of the Master's thesis (author: Wiktoria Dziadula, supervisor: prof. PŚ, Klaudiusz Fross, Silesian University of Technology, Faculty of Architecture, academic year 2020/21). The article presents the scope of the research carried out on simulation space facilities, conclusions from literature and from in-situ research, and an original proposal of a self-sufficient, analog underwater habitat using of e.g. solutions from space stations and submarines.

Keywords: space, space architecture, qualitative research, space habitat