

Prof. dr hab. inż. Hanna Michalak  
Politechnika Warszawska  
Wydział Architektury  
00-659 Warszawa  
Ul. Koszykowa 55

Warszawa, dn. 1.07.2024 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**„Determinanty w kształtowaniu analogowych habitatów kosmicznych”**

**Doktorant: mgr inż. arch. Leszek Orzechowski**

**Promotor: Prof. dr hab. inż. Romuald Tarczewski**

**Promotor pomocniczy: Dr inż. Jerzy Łątka**

**Dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych**  
**Dyscyplina naukowa: architektura i urbanistyka**

**1. Podstawa formalna opracowania recenzji:**

1.1. umowa o dzieło nr 08/05/PRR/2024 zawarta w dniu 13.05.2024 z Politechniką Wrocławską z siedzibą we Wrocławiu przy Wybrzeżu Wyspiańskiego 27 reprezentowaną przez Prof. dr hab. inż. Andrzeja Ożyhara;

1.2. ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 (z późniejszymi zmianami);

1.3. akty prawne stanowiące podstawę wszczęcia przewodu doktorskiego mgr inż. arch. Leszka Orzechowskiego:

- ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882 i 1311);

- rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z 2016 r., poz. 1586);

1.4. wydrukowany egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. arch. Leszka Orzechowskiego pt. „Determinanty w kształtowaniu analogowych habitatów kosmicznych”.

**2. Charakterystyka ogólna i struktura dysertacji**

Rozprawa doktorska mgr inż. arch. Leszka Orzechowskiego zawiera 237 stron

opracowanych w formacie A4, a w szczególności: streszczenie w języku polskim i angielskim, podziękowania, treść pracy ujętą w 7 rozdziałach, zestawienie piśmiennictwa, spis rysunków i tablic.

W rozdziale 1 pt. „Wstęp” została w sposób ogólny nakreślona historia podbojów Kosmosu przez człowieka, w tym lotów bezzałogowych i załogowych, misji i stacji kosmicznych przeznaczonych do długoterminowego pobytu ludzi czy koncepcji zasiedlania Księżyca. Przybliżono współczesne tendencje komercjalizacji lotów załogowych na niskiej orbicie okołoziemskiej oraz programy misji załogowych mających służyć rozszerzaniu eksploracji Układu Słonecznego, w tym m.in. o planetę Marsa. Scharakteryzowano udział architektów w kształtowaniu wizji zabudowań przeznaczonych do pobytu ludzi na Księżycu oraz projektowaniu testowych habitatów na Ziemi mających służyć symulacji warunków funkcjonowania w Kosmosie, a tego rodzaju dzieła i nowe projektowane funkcje użytkowe określono mianem architektury kosmicznej. Jako podstawowy cel architektury kosmicznej wskazano projektowanie wygodnej i bezpiecznej przestrzeni do pracy i życia w habitatach kosmicznych zlokalizowanych w Kosmosie oraz statkach kosmicznych bądź analogowych – sytuowanych na Ziemi. W układzie chronologicznym przedstawiono ewolucję i zwiększającą się rolę architekta w projektowaniu wnętrza statków kosmicznych (w tym np. kapsuły statków Sojuz) oraz współpracy w ramach interdyscyplinarnych zespołów projektowych w kształtowaniu warunków zamieszkiwania i zapewnienia komfortu załogi w analogowych habitatach kosmicznych - wznoszonych na Ziemi - służących symulacji warunków występujących w Kosmosie i uwarunkowań lotów kosmicznych, w konsekwencji przygotowaniu załogi do realizacji tego rodzaju misji.

Scharakteryzowano publikacje naukowe stanowiące kompendium wiedzy z zakresu architektury kosmicznej oraz zdefiniowano trudności jej dalszego rozwoju, przede wszystkim wynikające z ograniczonej możliwości testowania i wykonywania eksperymentalnych badań.

W rozdziale 2 pt. „Cel pracy” podano przyczyny wyboru tematu, dwie tezy i określono zakres dysertacji – w tym dotyczący analizowanych doświadczeń narodowych i międzynarodowych agencji kosmicznych, a także sformułowano „pytania badawcze” stanowiące kanwę kolejnych części pracy.

W rozdziale 3 pt. „Analogowe symulacje misji – stan badań” zdefiniowano podstawowe pojęcia dotyczące przedmiotu pracy, w tym analogowych: habitatów kosmicznych (AHK), symulacji misji, testów, lokalizacji, placówek, a także placówki testowej. W zarysie scharakteryzowano analogowe symulacje misji realizowane przed 1991 r. w różnych środowiskach, takich jak ekspedycja w łodzi podwodnej, loty treningowe samolotami suborbitalnymi, zamknięte biologiczne systemy do zapewnienia warunków długoterminowego przebywania załogi.

W następnym rozdziale 4 pt. „Kryteria oceny analogowych habitatów kosmicznych na podstawie badań literaturowych” określono determinanty mające wpływ na kształtowanie formy habitatów kosmicznych stanowiących część składową statku kosmicznego, a w konsekwencji AHK mających na celu przybliżanie warunków i złożonych aspektów funkcjonowania w kosmosie. Przybliżono ogólnie zbiory/działy wymagań (tzw. architekturę

misji) stanowiące podstawę planowania koncepcji i uzasadnienia racjonalności realizowania danej misji kosmicznej. Scharakteryzowano opracowywane od 1991 roku koncepcje załogowych misji na Marsa.

Szczególnie istotną część tego rozdziału stanowi podpunkt 4.2. „Forma i funkcja – badanie architektury kosmicznej” ujmujący typologię architektury kosmicznej oraz analizy problematyki związanej z niezbędnym wyposażeniem i ukształtowaniem wnętrza statku bądź habitatu kosmicznego i rodzajami ich konstrukcji.

Podano uwarunkowania dotyczące projektowania systemów podtrzymania życia w habitatach kosmicznych ujmując - wraz z logistyką z Ziemi - zapewnienie: powietrza do oddychania, odpowiednich warunków termicznych i wilgotnościowych, pożywienia, utrzymania higieny i gospodarki odpadami. Opisano potencjalne zagrożenia pochodzące ze środowiska zewnętrznego - załogi i statku kosmicznego - możliwe do wystąpienia w czasie misji, w tym takie jak: uderzenia w korpus statku kosmicznego meteorytów bądź śmieci kosmicznych; występowanie - mikro- bądź makrogravitacji, promieniowania słonecznego i galaktycznego, niskiej temperatury itd. Zwrócono również uwagę na czynniki mające niekorzystny wpływ na człowieka, wynikające z ograniczonej przestrzeni przeznaczonej do pracy i funkcjonowania załogi, tj. izolacja, ograniczona prywatność, problemy interpersonalne między członkami załogi, ew. niedyspozycje chorobowe itp. Uwzględniając wymienione czynniki podano zasady strefowania funkcji w statkach kosmicznych historycznych zakończonych misji mające wpływ na zapewnienie warunków efektywnej pracy i komfortu załogi w czasie długoterminowych przedsięwzięć badawczych.

Przedstawiono klasyfikację obiektów architektury kosmicznej z uwzględnieniem kryterium – technologii budowy. Wyróżniono obiekty wyprodukowane na Ziemi określone jako „prefabrykowane”, „rozkładane bądź nadmuchiwane”, stanowiące połączenie wymienionych wcześniej rozwiązań - „hybrydowe”, wzniesione w technologii druku 3D z materiałów dostępnych w pobliżu lądowiska oraz własne propozycje Doktoranta odnoszące się do przyszłości z materiałów pochodzenia organicznego bądź wykorzystania naturalnych struktur (tj. jaskinie) występujących w skałach macierzystych eksplorowanych planet. Z uwagi na sposób projektowania, uzależniony od sposobu użytkowania, zawarto typologię obiektów architektury kosmicznej wyróżniając i charakteryzując habitaty: orbitalne, planetarne, mobilne oraz skafandry kosmiczne i śluzy ciśnieniowe. Na podstawie analizy danych literaturowych określono sposoby weryfikacji możliwości realizacji koncepcji projektowych obiektów architektury kosmicznej uwzględniając współczesne możliwości technologiczne.

Podjęto analizy z zakresu ergonomii, w tym dotyczące niezbędnej kubatury statków kosmicznych przypadającej na każdego członka załogi w zależności od długości trwania misji i jednocześnie zapewniającej komfort funkcjonowania i realizacji zadań.

W rozdziale 5 pt. „Przegląd i analiza wybranych przykładów analogowych habitatów kosmicznych” dokonano - w oparciu o dostępne informacje zamieszczone w literaturze naukowej - syntezy podstawowych parametrów technicznych i danych dotyczących symulacji kosmicznych misji badawczych zrealizowanych w 26 analogowych habitatach wznoszonych w okresie od 1965 do 2023 roku w ZSRR (później Rosji), USA, Kanadzie, Antarktydzie, Chinach,

RFN, Polsce, Holandii, Omanie, Izraelu, Grenlandii, Republice Czeskiej. Opis każdego z przykładów został przeprowadzony w jednolity i usystematyzowany sposób ujmujący zestawienia tabelaryczne i ilustrację graficzną podziału kubatury habitatu na funkcje: komunikacji, życia, pracy i podsystemów.

W rozdziale 6 pt. „Synteza i interpretacja wyników” przeprowadzono analizę wszystkich, prezentowanych wcześniej w rozdziale 5, przypadków habitatów i zestawiono w formie tabelarycznej najistotniejsze ich cechy – biorąc pod uwagę cel i sformułowane w części wstępnej tezy niniejszej rozprawy doktorskiej, w tym dotyczące:

- czasu ich powstania;
- rodzaju środowiska, w którym zostały zlokalizowane i charakteru prowadzonych badań;
- rodzaju architektury kosmicznej według przyjętej przez Doktoranta klasyfikacji i w konsekwencji dedykowanych rodzajów symulacji misji;
- rodzaju ich konstrukcji i technologii budowy;
- wykorzystania w nich technologii kosmicznych (spin-off) czy związanych z innymi sektorami gospodarki (spin-in);
- poziomu gotowości do zamieszkania – zgodnie z adaptowaną do oceny zastosowań w architekturze kosmicznej skalą wykorzystywaną w odniesieniu do habitatów podwodnych;
- poziomu gotowości technologicznej realizacji AHK;
- poziomu „wierności” – zgodności technologii zastosowanych w obiekcie analogowym w stosunku do docelowych kosmicznych;
- cech operacyjnych uwzględniających stan ich wykorzystania, w tym liczbę realizowanych misji i czasu ich trwania, liczbę członków załogi, poziomu wierności operacyjnej pod względem spójności programu badawczego misji w AHK z docelowym, rodzaju prowadzonych badań naukowych i poziomu ich zaawansowania technologicznego, wyposażenia w infrastrukturę i sprzęt zapewniający powtarzalność i kontynuację prowadzenia w przyszłości analogicznych eksperymentów;
- analiz całkowitej powierzchni i powierzchni przypadającej na każdego członka załogi w przypadku habitatów o różnych funkcjach i rodzajach prowadzonych badań;
- analiz form przestrzennych i wymiarów gabarytowych w zależności od rodzaju prowadzonych badań i funkcji habitatu.

Na podstawie przeprowadzonych badań literaturowych i analiz własnych 26 habitatów określono podstawowe determinanty mające wpływ na kształtowanie formy przestrzennej AHK, a także sformułowano tendencje ich zmian i potencjalnych kierunków rozwoju. Opracowano podział AHK z uwzględnieniem uznanych przez Doktoranta jako kluczowe determinantów, tj. typ habitatu, lokalizacja i cel badawczy - na: symulacyjne, prototypowe, biotechnologiczne i adaptowane.

W rozdziale 7 pt. „Wnioski i dalsze prace badawcze” podsumowano przeprowadzone analizy i badania, zdefiniowano cztery typy analogowych habitatów kosmicznych w zależności od rodzaju ich konstrukcji i celów badawczych. Sformułowano odpowiedzi na postawione w części wstępnej dysertacji pytania, a także nakreślono kierunki dalszych działań naukowych

związanych z analogowymi habitatami kosmicznymi i potrzebę kontynuacji określonej problematyki.

Bibliografia zawiera zestawienie 203 (w wydrukowanym egzemplarzu - 205, przy czym dwie pozycje zostały powtórzone) pozycji publikacji naukowych przede wszystkim anglojęzycznych – monografii, artykułów, referatów i źródeł internetowych ujętych w kolejności wykorzystania w tekście dysertacji.

### **3. Cel, tezy, zakres i metody badawcze przyjęte w dysertacji**

Podstawowy cel dysertacji został sformułowany jako *„próba określenia determinant w kształtowaniu formy i funkcji analogowych habitatów kosmicznych”* oraz zebranie, usystematyzowanie i w konsekwencji określenie stanu wiedzy dotyczącej „architektury kosmicznej”. Tematyka dysertacji jest ściśle związana z zainteresowaniami badawczo-naukowymi, doświadczeniami zawodowymi i znaczącą aktywnością Doktoranta z zakresu popularyzacji nauki.

W pracy zostały podane dwie tezy badawcze:

*„Obecny stan wiedzy i dostępna literatura pozwalają na określenie determinant w kształtowaniu formy analogowych habitatów kosmicznych”.*

*„Analiza formy i funkcji analogowych habitatów kosmicznych w oparciu o determinanty umożliwi stworzenie typologii analogowych habitatów kosmicznych”.*

Przeprowadzono badania literatury z zakresu przedmiotu dysertacji i wdrożono metodę studium przypadku 26 analogowych habitatów kosmicznych zrealizowanych w świecie przede wszystkim w okresie od 2000 do 2022 roku.

Układ pracy jest trafny, logiczny, czytelny – podzielony na rozdziały wstępne zawierające definicje przedmiotu badań, charakterystykę stanu wiedzy; część prezentującą studium analizowanych 26 przypadków; część główną dysertacji stanowiącą zestawienie wyników badań własnych i zwieńczenie - w postaci wniosków końcowych i podsumowania badań.

### **4. Uwagi krytyczne i zagadnienia o charakterze polemicznym**

- **Szczegółowe uwagi dotyczące przygotowania tekstu i opracowania strony graficznej pracy:**

Praca jest bardzo ciekawa i napisana dobrym językiem, choć można wyróżnić w niej drobne usterki redakcyjne, z zakresu interpunkcji, dotyczące korekty tekstu (tzw. literówki).

Lekturę fragmentu rozdziału 1 (str. 20-29), podrozdziału 3.2 (str. 44-46) i rozdziału 5 (str.79-178) utrudnia brak powołań w tekście na zamieszczane rysunki, wykresy i tablice.

Brakuje tłumaczeń na język polski – ujętych w języku angielskim - opisów zamieszczonych na części rysunków i wykresów jednolicie, np. rys. 1.25, 4.6-4.10, 5.4, 5.10, 5.22, 5.62 itd.

Czytelność części rysunków bądź opisów jest niewystarczająca do swobodnego odczytania zawartej na nich treści, np. rys. 4.5, 4.6, 5.10, 5.12, 5.13, 5.26, 5.28, 5.63 itd.

Doktorant w przypadku wielu charakteryzowanych habitatów zastosował podpisy w identycznym brzmieniu pod różnymi rysunkami (zdjęciami, schematami) konkretnych obiektów, np. rys. 5.3-5.5; 5.12 i 5.13; 5.15-5.17; 5.21-5.24; 5.26-5.27; 5.30 i 5.31; 5.33 i 5.34; 5.39 i 5.40; 5.42-5.44 itd. Wskazane jest zmodyfikowanie i rozbudowanie treści podpisów pod rysunkami, aby odzwierciedlały ich rzeczywistą zawartość.

W treści pracy zdarzają się drobne powtórzenia, np.

- str. 209 – tekst „prototypowanie kosmicznej architektury pod kątem inżyneryjnym”,
- pozycje bibliografii 2 i 3; 110 i 112;
- numeracji stron 178 i 179.

Zestawienie pozycji bibliografii zawiera braki w zakresie podstawowych wymaganych informacji i danych umożliwiających jednoznaczną identyfikację wykorzystanego źródła naukowego wraz odczytania miejsca jego dostępności, w tym np.:

- tytułu publikacji - dotyczy m.in. poz. 68, 166,
- nazwy wydawnictwa – dotyczy m.in. poz. 1, 20, 31, 32, 41,
- tytułu czasopisma – dotyczy m.in. poz. 11, 18, 55, 90, 172, 179, 181,
- miejsca wydania - dotyczy m.in. poz. 1, 2, 20, 21, 25, 31, 32, 41,
- numer zeszytu czasopisma – dotyczy m.in. poz. 6, 8,
- roku wydania - dotyczy m.in. poz. 41, 45, 48.

Podobne informacje powinny również dotyczyć źródeł internetowych, w tym tj. tytuł publikacji, autor/autorzy, adres internetowy, data dostępu. Doktorant zazwyczaj ograniczał opis pozycji źródeł internetowych do podania ich adresu i daty dostępu.

Wskazane jest wyodrębnienie z piśmiennictwa: monografii, artykułów i referatów; źródeł internetowych, ew. (w przypadku wykorzystania takich źródeł) aktów prawnych i norm.

- **Szczegółowe uwagi merytoryczne:**

Brakuje precyzyjnego wyjaśnienia przytoczonej w tekście wizji kosmicznej kolonii mieszkalnej – tzw. cylindrów O’Neill’a (str. 25-27) i przeciwnie – wprowadzono możliwe do pominięcia wyjaśnienia symbolu  $\ln$  - logarytmu naturalnego (str. 47).

Doktorant syntetyzując podglądy i wyniki badań obcych nie zawsze powołuje się bezpośrednio po ich przedstawieniu na określoną pozycję piśmiennictwa, np.:

- str. 76 – „Z uwagi na brak danych o misjach laboratoriów podwodnych dłuższych niż 59 dni habitatu Tektite-II, autorzy przestrzegają przed ekstrapolacją danych poza ten okres”. Wskazane jest podanie źródła (np. autorzy w pracy [?].…), w którym są zawarte wymienione uwagi;

- str. 170 – „Trwają dyskusje czy LUNA ma być strukturą namiotową, nadmuchiwaną, czy też mieścić się w hali.” Wskazane jest bezpośrednio w podanym zdaniu określić pozycję literatury z zawartymi uwagami.

W treści rozdziału 5 brakuje powołań na źródła stanowiące podstawę zbioru danych ujętych, np. str. 81 w tablicy 5.1.-5.4 itd. (wskazane jest stosowanie zapisu, np. „na podstawie opracowania [?]”). Autor określił źródła tych informacji tylko w początkowej części danego podrozdziału.

W zestawieniach tabelarycznych zawartych w rozdziale 5, np. w części tablicy 5.3. z podanymi „cechami operacyjnymi” określono liczebność załogi habitatu Aquarius jako wynoszącą – 0, a liczbę misji – 60 (str. 87). W kontynuacji tej tablicy zamieszczonej na str. 88 podano „ilość misji” (powinno być - liczba misji) jako wynoszącą – 40, a „załoga” (powinno być – „liczba członków załogi”) – 6. Podobne opisy ze zróżnicowanymi danymi dotyczą przypadków kolejnych charakteryzowanych habitatów, tj. MDRS (str. 94-95) – liczba członków załogi w opisie cech operacyjnych wynosi - 0, następnie - 6 oraz liczba misji odpowiednio 260 i 250; stacji Concordia (str. 98-99) – liczba członków załogi w opisie cech operacyjnych wynosi - 12, następnie- 13 oraz liczba misji odpowiednio 12 i 27; IBMP - (str. 102-103) – liczba członków załogi w opisie cech operacyjnych wynosi - 0, następnie- 6 oraz liczba misji odpowiednio 15 i 6 itd. Recenzent będzie oczekiwał od Doktoranta wyjaśnienia tej formuły zapisu i wyszczególnionych informacji w czasie obrony pracy doktorskiej.

Wskazane jest eliminowanie w treści rozprawy naukowej sformułowań potocznych, np. (str. 104) „*Celem konkursu było pokazanie potencjału połączenia struktur o konstrukcji sztywnej z konstrukcjami nadmuchiwanymi oraz rozkładanymi, podyktowany chęcią zmniejszenia wagi oraz objętości ładunku...*” – powinno być ...zmniejszenia ciężaru własnego.

W podrozdziale 6.1 przedstawiono wyniki analiz porównawczych 26 habitatów z uwzględnieniem różnych kryteriów i parametrów, przy czym przybliżając te zagadnienia przyjęto, w większości przypadków, jako zasadę rozpoczęcie podrozdziału od zamieszczenia tablicy z wynikami analiz, a następnie - opisu badań i interpretacji uzyskanych efektów. W odczuciu recenzenta jest korzystniejsze wprowadzenie odwrotnej kolejności, tj. zamieszczenia tekstu, a następnie graficznej prezentacji wyników w postaci wykresów.

W podrozdziale 6.1.11 na rys. 6.14 (str. 191) przedstawiono wyniki własnych badań dotyczące „liczby publikacji naukowych” odnoszących się do analizowanych 26 analogowych habitatów kosmicznych wprowadzając zakresy: „wysoka”, „umiarkowana” i „niska”. Warto doprecyzować deklarowane liczby publikacji odnoszące się do podanych zakresów bądź w przypadku ich braku – zmodyfikować opis.

## **5. Ocena merytoryczna pracy**

Recenzowaną pracę oceniam wysoko jako dzieło obszerne - wnoszące cenny wkład w zakresie badań dotyczących architektury kosmicznej - spełniające pod względem formy, struktury, merytorycznym i warsztatu naukowego wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie naukowej architektura i urbanistyka.

Przyjęta w dysertacji metodologia jest poprawna i adekwatna do badanej problematyki naukowej.

Sformułowane tezy są prawidłowe i rzetelnie potwierdzone w klarownie i logicznie przedstawionym wywodzie naukowym.

Ambitne cele założone w początkowej części pracy dotyczące zdefiniowania determinant kształtowania formy analogowych habitatów kosmicznych, opracowania ich typologii oraz zebrania i usystematyzowania stanu wiedzy z zakresu rozwijającej się architektury kosmicznej zostały osiągnięte.

Dużą wartością dysertacji jest interdyscyplinarne ujęcie zagadnień z zakresu architektury kosmicznej, a także holistyczne podejście do kształtowania formy i funkcji jej obiektów - analogowych habitatów kosmicznych - dedykowanych symulacji skomplikowanych, długoterminowych przedsięwzięć badawczych na Ziemi jako przygotowania realizacji rzeczywistych misji w Kosmosie.

Wymienione uwagi krytyczne nie umniejszają wysoce pozytywnej oceny przedmiotowej rozprawy doktorskiej, w głównej mierze zawierają szczegółowe informacje wskazane do uwzględnienia w przyszłej pracy badawczej Doktoranta i wykorzystania w opracowywaniu na podstawie wyników badań i analiz ujętych w dysertacji - publikacji naukowych bądź mają charakter polemiczny.

## **6. Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska mgr inż. arch. Leszka Orzechowskiego opracowana na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej pod opieką promotora Prof. dr hab. inż. Romualda Tarczewskiego i promotora pomocniczego Dr inż. Jerzego Łątki pt. „Determinanty w kształtowaniu analogowych habitatów kosmicznych” spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882 i 1311).

**W związku z powyższym stawiam wniosek do Rady Naukowej Dyscypliny Architektura i Urbanistyka Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. arch. Leszka Orzechowskiego, przeprowadzenie dalszych etapów przewodu doktorskiego i dopuszczenie do publicznej obrony.**

Kouma M. Schuchardt