

**3D printed sanitary hardware for
speculative needs, functional fictions
of minimized waste of water in a
sustainable Martian bathroom**

FOTEINI KOLAITI



Elementy wyposażenia sanitarnego drukowane
w 3D na potrzeby spekulatywne, funkcjonalne
fikcje minimalnego zużycia wody w
zrównoważonej łazience marsjańskiej

The Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

Doctoral School

Title: 3D printed sanitary hardware for speculative needs, functional fictions of minimized waste of water in a sustainable Martian bathroom

Doctoral thesis in the field of Arts in the discipline of Fine Arts and Art Conservation

Author: Foteini Kolaiti

Supervisor: Dr. Hab. Dominika Sobolewska professor at the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław

Wrocław, 2025

Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

Szkoła Doktorska

Tytuł: Elementy wyposażenia sanitarnego drukowane w 3D na potrzeby spekulatywne, funkcjonalne fikcje minimalnego zużycia wody w zrównoważonej łazience marsjańskiej. Rozprawa doktorska w dziedzinie Sztuki w dyscyplinie Sztuk Pięknych i Konserwacji dzieł Sztuki

Autor: Foteini Kolaiti

Promotorka: Dr hab. Dominika Sobolewska, profesor Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu.

Wrocław, 2025 r.

3D printed sanitary hardware for speculative needs, functional fictions of minimized waste of water in a sustainable Martian bathroom

Foteini Kolaiti

Elementy wyposażenia sanitarnego drukowane w 3D na potrzeby spekulatywne, funkcjonalne fikcje minimalnego zużycia wody w zrównoważonej łańcuchu marsjańskiej

Foteini Kolaiti

Contents

Abstract	6
Keywords	7
Introduction	8
1. The inspiration, the idea and the background for the research	14
2. Methodology on Scientific Research	22
2.1 The scientific experiment	24
2.2 Setup, Calibration and Firing Cycle Execution	25
2.3 Results and Analysis, Temperature Regulation and Firing Efficiency	28
3. Innovative Aspect in Merging Tradition and Advanced Technologies	32
3.1 3D printing as an aesthetic of Speculative Design	36
3.2 In-situ resource utilization and material compatibility	40
3.3 The 3D printing production as independence act towards domestic autonomy	45
3.4 Sustainability and Zero-Waste Practices	47
3.5 Material selection for the prototypes of the Sustainable Martian Bathroom	49
4. The prototypes of the Sustainable Martian Bathroom	54
4.1.1 The Mouthwash Cup	56
4.1.2 The Spittoons	58
4.1.3 NML, 3D printed edible toothpaste pills	62
4.1.4 Speculating the Oral Care in Space Habitats while performing Water Conservation	66
4.2 Crematorial Toilet, a 3D printed ceramic incineration toilet for the Sustainable Martian Bathroom.	68
4.2.1 The Crematorial Toilet: A Speculative Zero-Water Waste Sanitaryware	69
4.2.2 Water Conservation in Martian and Earthly Domestic Amenities	70
4.2.3 Merging Artisan Craftsmanship with Advanced Tools.	72
4.2.4 Performance Comparison with the existing products	73
4.2.5 Questioning Transplanetary Sustainability	76
4.2.5 Refleksja nad transplanetarną zrównoważonością	76
4.3 Residual Sink: Smart Ceramic Sink with Arduino Implementation	78
4.3 Residual Sink: Inteligentny ceramiczny zlew z implementacją Arduino	78
4.3.1 Functionality of the Residual Sink	80
4.3.2 Materiality: Parian Porcelain as Martian Bathware	81
4.3.3 Technological System: Arduino-Enabled Feedback	83
4.3.4 Speculative Role: Martian User as Conscious Actor	90
5. Application "SMB", a Virtual Reality Navigation in the Sustainable Martian Bathroom	94
5.1 Technical Development of the Application "SMB"	98
Elilogue	100
Bibliography and Links	110
Web Links	112

Treść

Abstrakt	6
Słowa kluczowe	7
Wprowadzenie	8
1. Inspiracja, idea i tło badań	14
2. Metodologia badań naukowych	22
2.1 Eksperyment naukowy	24
2.2 Konfiguracja, kalibracja i wykonanie cyklu wypalania	25
2.3 Wyniki i analiza, regulacja temperatury i efektywność wypału	28
3. Innowacyjny aspekt w łączeniu tradycji i zaawansowanych technologii	32
3.1 Druk 3D jako estetyka projektowania spekulatywnego	36
3.2 Wykorzystanie zasobów in-situ i kompatybilność materiałowa	41
3.3 Druk 3D jako akt niezależności i domowej autonomii	47
3.4 Zrównoważony rozwój i praktyki zero-waste	49
3.5 Dobór materiałów do prototypów Sustainable Martian Bathroom	50
4.1 Crateri Dentales – A Sustainable Oral Care Kit for Martian Living	55
4. Prototypy Sustainable Martian Bathroom	55
4.1 Crateri Dentales – Zrównoważony zestaw do higieny jamy ustnej dla życia na Mar- sie	56
4.1.1 Kubek do płukania ust – Mouthwash Cup	57
4.1.2 Spittoons – Zrównoważone naczynia do płukania jamy ustnej	59
4.1.3 NML – 3D drukowane jadalne pastylki do zębów	63
4.1.4 Spekulacja higieny jamy ustnej w habitatycznych warunkach kosmicznych z oszczędnością wody	66
4.2.2 Oszczędzanie wody w marsjańskich i ziemskich urządzeniach domowych	70
	70
4.2.4 Porównanie wydajności z istniejącymi produktami	72
4.3.1 Funkcjonalność Residual Sink	80
4.3.2 Materialność: porcelana parian jako marsjańska ceramika sanitarna	81
4.3.3 System technologiczny: sprzężenie zwrotne z Arduino	83
4.3.4 Rola spekulatywna: Marsjański użytkownik jako świadomy aktor	90
5. Aplikacja „SMB”: Nawigacja w rzeczywistości wirtualnej w Zrównoważonej Marsjańskiej Łazience	94
5.1 Rozwój techniczny aplikacji „SMB”	98
Epilog	100
Bibliografia i Odnośniki	110
Odnośniki, Źródła internetowe	112

Abstract

This research explores the hypothesis of colonising Mars through the development of a fictional bathroom design from the scope of speculative design. The design project addresses the challenges of daily living and proposes fictional water conservation solutions through 3D printed ceramics. Taking into account the environmental issues faced on Earth, water scarcity demands a fundamental shift. The Sustainable Martian Bathroom analyses the concept of reimagined hygiene practices through narrative prototypes. Aiming to highlight sustainability, resource management, and survival in harsh environments, the project merges craftsmanship and technology, with a focus on water conservation. Survival and adaptation to the extreme Martian environment require a conscious approach to sustainable water treatment. The research employs practical engineering systems in the development of 3D printed sanitary ceramics, motivating adaptive habits of water conservation. The Sustainable Martian Bathroom includes an incinerating toilet, a smart sink, dental care devices and toiletries, designed to significantly reduce water consumption in a shelter, on the Red Planet. The project is presented as a series of physical prototypes and as a virtual reality Martian bathroom, navigable through an application. While the idea of colonizing Mars inspires curiosity and drives innovation in sustainable design, the outcomes gained from this project extend beyond the arrangement of an

Abstrakt

Niniejsze badanie eksploruje hipotezę kolonizacji Marsa poprzez opracowanie fikcyjnego projektu łazienki w perspektywie projektowania spekulatywnego. Projekt ten podejmuje wyzwania codziennego życia i proponuje fikcyjne rozwiązania w zakresie oszczędzania wody, wykorzystując ceramikę drukowaną w 3D. Uwzględniając problemy środowiskowe, z jakimi zmagają się Ziemia, niedobór wody wymaga fundamentalnej zmiany podejścia. Zrównoważona łazienka Marsjańska analizuje koncepcję przemyślanych na nowo praktyk higienicznych poprzez narracyjne prototypy. Celem projektu jest podkreślenie znaczenia zrównoważonego rozwoju, zarządzania zasobami i przetrwania w ekstremalnych warunkach. Projekt łączy rzemiosło i technologię, koncentrując się na oszczędzaniu wody. Przetrwanie i adaptacja do surowego środowiska Marsa wymagają świadomego podejścia do zrównoważonego oczyszczania wody. Badania obejmują praktyczne systemy inżynieryjne w rozwoju drukowanej w 3D ceramiki sanitarnej, motywując do adaptacyjnych nawyków związanych z oszczędzaniem wody. Zrównoważona łazienka Marsjańska obejmuje toaletę spalającą, inteligentną umywalkę, urządzenia do higieny jamy ustnej oraz środki toaletowe, zaprojektowane tak, aby znacząco ograniczyć zużycie wody w marsjańskim schronieniu. Projekt został zaprezentowany w formie serii fizycznych prototypów oraz jako wirtualna łazienka marsjańska w rzeczywistości

extraterrestrial settlement. The project is placed under the umbrella of speculative design, driven by the hypothesis of “what if” humans inhabited Mars for resource mining and started a life with reconsidered values of sustainability. Designing for critical environments encourages the development of responsible consumption habits and ecological solutions that can motivate to envision a more sustainable future on Earth.

Keywords

3D printed ceramics, VR, application, sanitary-ware, water-conservation, sustainability, speculative design

wirtualnej, dostępna za pośrednictwem aplikacji. Choć idea kolonizacji Marsa inspiruje ciekawość i napędza innowacje w projektowaniu zrównoważonym, wyniki niniejszego projektu wykraczają poza aranżację pozaziemskiego osiedla. Projekt został umieszczony w nurcie projektowania spekulatywnego, kierowanego hipotezą „co by było, gdyby” ludzie zamieszkali Marsa w celu eksploatacji surowców i rozpoczęli życie w oparciu o przemysłane na nowo wartości zrównoważonego rozwoju. Projektowanie dla środowisk krytycznych sprzyja rozwojowi odpowiedzialnych nawyków konsumpcyjnych i rozwiązań ekologicznych, które mogą inspirować do wyobrażenia sobie bardziej zrównoważonej przyszłości na Ziemi.

Słowa kluczowe

druk 3D ceramiki, VR, aplikacja, ceramika sanitarna, oszczędzanie wody, zrównoważony rozwój, projektowanie spekulatywne

Introduction

The project engages in speculative design research, envisioning Mars colonization through design prototypes that promote mindfulness about water conservation and self sufficiency, fostering sustainable habits within a Martian shelter. The project incorporates an iterative design process with the conduction of scientifically driven experiments that prove functionality in speculation. The aimed outcome is explained through a series of prototypes that gather utility features and purposes from existing scenarios of Design and functions that apply to a criticism on consumption. The hypothesis of colonizing Mars for research and resources management generates fictional solutions for a manifested process of development that could be seen as transplanetary sustainability.¹

Mars is not planet B and living conditions are not meant for humans. Yet, colonizing Mars motivates curiosity and inspires engineers and designers to develop innovative solutions in order to survive the harsh environment on the Red Planet. Toxic atmosphere, solar radiation, extreme temperatures, long-lasting sandstorms are some of the issues that force the creation of a shelter capsule rather than a utopia. However, there is water in iced form. And where water exists there is potential for life.²

Wprowadzenie

Projekt wpisuje się w nurt projektowania spekulatywnego, wyobrażając sobie kolonizację Marsa poprzez prototypy projektowe, które promują świadomość w zakresie oszczędzania wody i samowystarczalności, wspierając rozwój zrównoważonych nawyków w marsjańskim schronieniu. Projekt opiera się na iteracyjnym procesie projektowym, uzupełnionym o naukowo ukierunkowane eksperymenty, które dowodzą funkcjonalności w sferze spekulacji. Zakładany rezultat został przedstawiony w serii prototypów, które łączą cechy użytkowe i funkcje zaczerpnięte z istniejących scenariuszy projektowych, odnosząc się krytycznie do konsumpcjonizmu. Hipoteza kolonizacji Marsa w celu prowadzenia badań i zarządzania zasobami generuje fikcyjne rozwiązania w ramach procesu rozwoju, który można interpretować jako trans planetarną zrównoważoność.

Mars nie jest „planetą B” i warunki życia nie są tam przystosowane do człowieka. Jednak wizja kolonizacji Marsa pobudza ciekawość i inspiruje inżynierów oraz projektantów do opracowywania innowacyjnych rozwiązań umożliwiających przetrwanie w surowym środowisku Czerwonej Planety. Toksyczna atmosfera, promieniowanie słoneczne, ekstremalne temperatury, długotrwałe burze piaskowe – to tylko niektóre z problemów, które wymuszają projektowanie kapsuły mieszkalnej, a nie utopii. Niemniej jednak na Marsie ist-

¹ (Cabrol and Grin, 2018, p. 59)

² (Wernier, 2020)

The research hypothesis of occupying Mars creates more questions to be answered when designing for the interior of the Martian amenities. Through questioning around the subject of resource saving, the project aims to resolve the daily challenges of using water in a Martian residency. The designing objectives of a Martian bathroom are based on minimized water consumption, filtered and reused water, mandatory reduction of waste as well as renewable energy from organic waste. This research explores the implications of Mars colonization by examining the design of bathroom and household amenities with speculative functions, utilizing 3D printing as a primary fabrication method. By conceptualizing and prototyping sustainable sanitary solutions, the study proposes ideal models for private living spaces in extraterrestrial environments. The project seeks to foster a more conscious approach to resource management, particularly in terms of water conservation as a fundamental necessity for interplanetary habitation. Furthermore, the research aspires to stimulate technological advancements³ in sustainable design principles that are equally applicable to Earth, promoting ecological responsibility and innovative approaches to resource efficiency.⁴

Life on Mars is the state beyond space traveling. Inhabiting the Red Planet requires solutions designed especially for the living conditions framed by the Martian environment. The research

³ (Fisher, 2009, p. 28)

⁴ (Mason, 2015, p.5-42)

nieje woda w postaci lodu. A tam, gdzie jest woda, istnieje potencjał życia.

Hipoteza badawcza dotycząca zasiedlenia Marsa rodzi kolejne pytania, szczególnie przy projektowaniu wnętrza marsjańskich pomieszczeń użytkowych. Poprzez refleksję nad oszczędzaniem zasobów, projekt ma na celu rozwiązanie codziennych wyzwań związanych z użytkowaniem wody w marsjańskim miejscu zamieszkania. Cele projektowe łazienki marsjańskiej opierają się na: minimalizacji zużycia wody, jej filtracji i ponownym wykorzystaniu, obowiązkowym ograniczeniu odpadów, a także pozyskiwaniu energii odnawialnej z odpadów organicznych.

Badania analizują konsekwencje kolonizacji Marsa poprzez projektowanie łazienki i urządzeń gospodarstwa domowego o funkcjach spekulatywnych, przy wykorzystaniu druku 3D jako podstawowej metody wytwarzania. Poprzez konceptualizację i prototypowanie zrównoważonych rozwiązań sanitarnych, praca proponuje wzorcowe modele dla prywatnych przestrzeni mieszkalnych w środowiskach pozaziemskich. Projekt dąży do kształtowania bardziej świadomego podejścia do zarządzania zasobami – w szczególności w zakresie oszczędzania wody, jako podstawowego warunku egzystencji międzyplanetarnej. Ponadto badania aspirują do stymulowania rozwoju technologicznego w ramach zasad projektowania zrównoważonego, które mogą być równie dobrze sto-

on hydraulics and sanitary devices is based on already known systems with amplified sustainable credentials to achieve a more conscious use of water. Water on Martian terrain was detected by remote sensing technology⁵. It is in iced form and is enough to cover the whole planet to a depth of 35 meters. Treated with chemical processes the Martian water could be filtered for safe consumption.

Considering that launching of rockets for transporting materials to Mars is expensive, digital fabrication has a potential to be a construction method of the in-situ production of the Martian residency equipment. Targeting Martians to experience the equivalent design comfort, the procedure of extrusion 3D printing could rapidly deliver sanitary hardware by using clay and kaolin resources and materials mined from the regolith of Mars and organic matter. 3D printing could generate the production of an infinite number of goods by using one tool only, to build up prototypes developed under scientific research which won't be transported from Earth but they can be printable everywhere—even in an extraterrestrial environment.⁶

Overall, this research operates within the sphere of speculative design⁷, exploring sustainable solutions for Martian colonization with the aim of influencing ecological practices both in production

sowane na Ziemi, promując odpowiedzialność ekologiczną i innowacyjne podejścia do efektywności zasobów integrację oraz cyrkularne wykorzystanie zasobów. Idea projektowania w takich ramach zakłada przyszłość, w której zasady zrównoważonego rozwoju kształtują nie tylko życie w środowiskach pozaziemskich, lecz także odpowiedzialne korzystanie z zasobów na Ziemi. Funkcjonalność projektu polega na jego wymiarze edukacyjnym – budowaniu świadomości ekologicznej i ponownym przemysleniu zasad zrównoważonego gospodarowania zasobami. Choć prototypy, tworzące narrację Zrównoważonej Łazienki Marsjańskiej, mogą różnić się od wszystkiego, co dotychczas uważaliśmy za oczywistość w zakresie higieny, służą koncepcji łączącej potencjały i wizje użyteczności, reprezentujące świadomość wobec problemu marsjańskiej wody. Rezultaty projektu badawczego stawiają pytania dotyczące naszego obecnego stanu jako ludzkości w obliczu kryzysu zasobów, wywołanego działalnością człowieka na Ziemi. Proponowana epoka geologiczna Antropocen stanowi czynnik wskazujący na motywy, które napędzały ten projekt badawczy.

Poprzez współpracę i komunikację z akademikami oraz instytucjami związanymi z drukiem 3D, naukami o środowisku i badaniami kosmicznymi, niniejsze studium ma na celu spowodowanie krytycznej refleksji nad zrównoważonym rozwojem, adaptacją oraz kulturową zmianą konieczną dla ekologicznej odporności w ekstremalnych

⁵ (NASA, 2008)

⁶ (Petránek, 2015, p. 40)

⁷ (Dunne and Raby, 2013, p. 1-6)

and everyday living on Earth and beyond. With focus on the development of a resource-efficient and psychologically supportive Martian bathroom, the study employs 3D printing technology to create prototypes that minimize water consumption, promote closed-loop recycling, and eliminate waste⁸. The merging of speculative design with practical prototyping, directs to the establishment of an interdisciplinary framework that integrates space science, environmental psychology, and material engineering. The project investigates advanced sanitary solutions, derived from the hypothesis of the scenario of Martian habitation. Important factors in the solution finding take into account the renewable energy integration, and circular resource utilization. The idea of designing under such terms, envisions a future where sustainable design principles shape not only extraterrestrial habitation but also responsible resource use on Earth. The functionality of the project lies in the educational purpose for an environmental consciousness and re-evaluation of the principles of resource sustainability. While the prototypes following the narration of the sustainable Martian bathroom might differ from all we know so far about the obviousness of hygiene, they serve a concept combining potentialities and visions of utility representing consciousness towards the Martian water. The result of the research project questions our current state as humanity facing an era of resource crisis due to the impact of the human factor on Earth. The proposed geological era of Anthropocene is an indicating factor

⁸ (Neukart, 2021)

warunkach. Pozaziemska atmosfera, warunki geologiczne oraz ograniczenia zasobów, które mają umożliwić życie podobne do ziemskiego, tworzą poważne wyzwania w zakresie dyskomfortu i ryzyka. Badania nad istniejącymi implementacjami technologicznymi oraz myśleniem projektowym łączą motywy inżynierii, projektowania i edukacji, by zmienić mentalność i procesy – zarówno indywidualne, jak i globalne – wobec problemu niedoboru wody.



1. Pre-assembled toilet

of the motives that drove this research project.

Through collaboration and communication with academics and institutions related to 3D printing, environmental science, and space research, this study seeks to provoke critical reflection on sustainability, adaptation, and the cultural shift necessary for ecological resilience in extreme environments. The extraterrestrial ambience, the geological conditions and the limitations of resources for a life similar to the one on Earth create a big issue of discomfort and riskiness. The research on the existing technological implementations and design thinking connects the motives of engineering, design and education to alter the mentalities and processes both individually and globally towards water scarcity.

2. Installation at Dropcity, Milan Design Week 2025.JPG





3. Installation at Dropcity, Milan Design Week 2025.JPG



4. Installation at Dropcity, Milan Design Week 2025.JPG

1. The inspiration, the idea and the background for the research

During the first phase of the COVID-19 pandemic, I had the opportunity to travel to France for Paris Design Week, Maison & Objet, 2020. I was participating in a group exhibition organized by 1000 Vases, related to ceramics for Interior Design, and it took place at Galerie Joseph in Le Marais, a central district in Paris, famous for its artistic and design galleries. At the time, one of my engineering advisors and close friends, Dr. Erato Psarra, Structural, Materials, and Aeronautical Engineer, was working as a research engineer at the company Interstellar Lab in Paris. Through this connection, I was invited to learn more about their vision and ongoing projects related to space agriculture. Back then, it was a unique opportunity for me to visit the Interstellar Lab office in Paris and I had a closer look on the prototyping and project development focused on space design. Barbara Belvisi, the director, alongside a team of architects and engineers, was engaged in the development of space farming, greenhouses and agricultural modules designed for early Martian settlements. Their ambitious attitude and enterprise reflecting on Interstellar Lab inspired my curiosity and the big thinking prior to my research. The Interstellar Lab in Paris was investigating the viability of prototyping and novelty engineered materials ideal for the Martian surface and its extreme environmental conditions. Their directions moved my inter-

1. Inspiracja, idea i tło badań

Podczas pierwszej fazy pandemii COVID-19 miałam okazję podróżować do Francji na Paris Design Week, Maison & Objet 2020. Uczestniczyłam w wystawie zbiorowej organizowanej przez 1000 Vases, związanej z ceramiką w projektowaniu wnętrz, która odbywała się w Galerie Joseph w dzielnicy Le Marais w Paryżu, słynącej z galerii artystycznych i projektowych. W tamtym czasie jedna z moich doradczyń inżynierskich i bliska przyjaciółka, dr Erato Psarra, inżynier strukturalny, materiałowy i lotniczy, pracowała jako inżynier badawczy w firmie Interstellar Lab w Paryżu. Dzięki temu połączeniu zostałam zaproszona do poznania ich wizji i projektów związanych z rolnictwem kosmicznym. Była to dla mnie wyjątkowa okazja, aby odwiedzić biuro Interstellar Lab w Paryżu i bliżej przyjrzeć się prototypowaniu oraz rozwojowi projektów zorientowanych na projektowanie przestrzeni kosmicznych. Barbara Belvisi, dyrektorka, wraz z zespołem architektów i inżynierów, zajmowała się opracowywaniem rozwiązań w zakresie rolnictwa kosmicznego, szklarni i modułów rolniczych przeznaczonych dla wczesnych marsjańskich osiedli. Ich ambitna postawa i działalność Interstellar Lab zainspirowały moją ciekawość oraz szerokie myślenie, które poprzedziły moje badania. Interstellar Lab w Paryżu badało możliwości prototypowania i opracowywania nowatorskich materiałów

est in researching, innovative thinking and design adaptation. I already had experience with the technology of Ceramics that link to detailed research on the behavior of materials, starting from engineering in chemistry and understanding the nature and properties of clay and argile mediums. Besides, I have been broadly interested in exploring topics such as advanced material technologies, sustainable interior design, communication systems, coding and cross-disciplinary approaches to project management and architectural speculations. Starting questioning about the issue of Mars marked my intentions to delve deeper into the topic of extraterrestrial design issues and speculative architecture while I am equally interested in the role of the user not only as a consumer but also as an actor and a civilian.

The following period was then dedicated to my Master of Fine Arts studies at the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław, where these ideas were further developed and formalized into academic research. At the studio of Innovative Practices in Ceramics at the Department of Ceramics and Glass in the Cathedral of Ceramics, supervised by Dr. Renata Bonter-Jędrzejewska, Assistant Professor ASP I had the opportunity to explore the possibilities of designing and delivering 3D printed ceramics. The fourth way of creating ceramics (alongside the wheel-thrown, the molded and the free formed), generated curiosity on how far the 3D extrusion can take the design

inżynierskich, idealnych dla powierzchni Marsa i jego ekstremalnych warunków środowiskowych. Te kierunki pobudziły moje zainteresowanie badaniami, innowacyjnym myśleniem i adaptacją projektową.

Miałam już doświadczenie w pracy z technologią ceramiki, powiązaną ze szczegółowymi badaniami nad zachowaniem materiałów, poczynsz od inżynierii chemicznej i poznania natury oraz właściwości gliny i materiałów ilastych. Oprócz tego szeroko interesowałam się tematami takimi jak zaawansowane technologie materiałowe, zrównoważone projektowanie wnętrz, systemy komunikacji, kodowanie oraz interdyscyplinarne podejścia do zarządzania projektami i spekulacji architektonicznych. Postawienie pytań dotyczących Marsa wyznaczyło moje intencje głębszego wejścia w tematykę pozaziemskiego projektowania i architektury spekulatywnej, a równocześnie zainteresowania rolą użytkownika – nie tylko jako konsumenta, lecz także jako aktora i obywatela.

Kolejny etap był związany z moimi studiami magisterskimi na kierunku MFA (Master of Fine Arts) na Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu, gdzie te idee zostały rozwinięte i sformalizowane w ramach badań akademickich. W Pracowni Innowacyjnych Praktyk w Ceramice na Wydziale Ceramiki i Szkła, w Katedrze Ceramiki, pod kierunkiem dr Renaty Bonter-Jędrzejewskiej, adiunkt.

development when it comes to complex shapes and fast manufacturing. Alongside the Studio of Innovative Practices in Ceramics I was researching the topic of Mars colonization at the Studio of Furniture Design at the Department of Interior Architecture, Design and Scenography, Department of Interior Architecture where my project initiatives evolved into a structural design investigation, including conceptual research, speculative design projects, functional prototyping while minding also the perception shifting.

Researching the art and design of Ceramics, learning from various methods of manufacturing ceramic pieces with various functions and possibilities, I noticed the long lasting bond of the Ceramics with the element of water. Ceramics can contribute to the conservation of water during their production phase and through their functional applications. Ceramics are made from materials like clay, kaolin and feldspar with abundant and renewable properties. As a material, ceramic can be recycled by the end of the life cycle, back into new ceramic products or as hardcore for construction. This fact raises the credibility of the material as a sustainable component in architecture. Additionally, Ceramics can work as filters in various stages of water treatments including conservation, chemical treatment and biological processes as well, while they remove contaminants and can enable water reuse. As applicable functional objects and when vitrified after precise firing conditions, the ce-

miałam okazję badać możliwości projektowania i tworzenia ceramiki drukowanej w 3D. Czwarty sposób tworzenia ceramiki (obok toczenia na kole garncarskim, odlewania w formach i formowania ręcznego) wzbudził ciekawość, jak daleko druk ekstruzyjny 3D może rozwinąć proces projektowy w kontekście złożonych kształtów i szybkiej produkcji. Równolegle z Pracownią Innowacyjnych Praktyk w Ceramice prowadziłam badania nad kolonizacją Marsa w Pracowni Projektowania Mebla na Wydziale Architektury Wnętrz, Wzornictwa i Scenografii, gdzie moje inicjatywy projektowe ewoluowały w stronę badań strukturalnych obejmujących badania koncepcyjne, projekty spekulatywne, prototypowanie funkcjonalne oraz refleksję nad zmianą percepcji.

Badając sztukę i projektowanie ceramiki, poznając różne metody wytwarzania elementów ceramicznych o rozmaitych funkcjach i możliwościach, zauważyłam trwały związek ceramiki z elementem wody. Ceramika może przyczyniać się do oszczędzania wody zarówno na etapie produkcji, jak i poprzez zastosowania funkcjonalne. Wytwarzanie z materiałów takich jak glina, kaolin i skaleń, o obfitych i odnawialnych właściwościach, ceramika może być poddawana recyklingowi po zakończeniu cyklu życia – przetwarzana na nowe wyroby ceramiczne lub wykorzystywana jako kruszywo budowlane. To podnosi wiarygodność tego materiału jako zrównoważonego komponentu architektury. Dodatkowo ce-

ramic containers can replace plastic for multiple uses.

By exploring the properties of Ceramics, being driven by the hypothesis of inhabiting the Red Planet and taking into account the era of Anthropocene associated with the crisis on water resources, I began questioning life with limited access to water, a vital element to sustain existence on Earth and beyond. Taking into account published speculative projects and planning on the transportation, the settlement fabrication and the potentially living conditions related to Mars, I started doubting the vision of a utopia on the Red Planet and began questioning the resource management and environmental issues that persist on Earth. My preliminary questions regarding the issues that humanity should reconsider, referring to the environmental crisis, turned into inspiration for the development of a project that questions the essence of comfort, sustainability and the mentality towards waste treatment, following a speculative scenario about colonizing Mars, a dry and rocky planet, where water has been spotted under the regolith, in the form of ice. The project idea underlines the treatment of water as a major element, it questions the status quo of the resource-efficient utilities and provokes solutions that could apply on Earth followed by behaviours that prioritize the balance of the ecosystem prior to the transplanetary expanse.

Ceramics represent the merge of

ramika może pełnić funkcję filtrów w różnych etapach oczyszczania wody – obejmujących procesy konserwacyjne, chemiczne i biologiczne – usuwając zanieczyszczenia i umożliwiając ponowne wykorzystanie wody. Jako obiekty użytkowe, po szklwieniu i odpowiednim wypale, naczynia ceramiczne mogą zastępować plastik w wielu zastosowaniach.

Badając właściwości ceramiki, kierując się hipotezą zamieszkania Czerwonej Planety i biorąc pod uwagę epokę Antropocenu, związaną z kryzysem zasobów wodnych, zaczęłam zadawać pytania dotyczące życia z ograniczonym dostępem do wody – kluczowego elementu podtrzymywania egzystencji na Ziemi i poza nią. Uwzględniając publikowane projekty spekulatywne oraz plany dotyczące transportu, budowy osiedli i potencjalnych warunków życia na Marsie, zaczęłam podważać wizję utopii na Czerwonej Planecie i zastanawiać się nad zarządzaniem zasobami oraz problemami środowiskowymi, które nadal dotyczą Ziemi. Moje wstępne pytania o kwestie, które ludzkość powinna na nowo rozważyć w obliczu kryzysu ekologicznego, stały się inspiracją do rozwoju projektu kwestionującego istotę komfortu, zrównoważonego rozwoju i podejścia do gospodarki odpadami – w ramach scenariusza spekulatywnego o kolonizacji Marsa, suchej i skalistej planety, gdzie pod warstwą regolitu wykryto wodę w postaci lodu. Idea projektu podkreśla znaczenie traktowania wody jako głównego elementu, kwestionuje status quo urządzeń zasobo-

geological materials with engineering methods that have represented humanity in different phases of evolution of technology, describing the knowledge and the cultural identity. Ceramics have been found in the most unexpected places and date back to the late paleolithic period. Studying the human past, ceramics have been common archaeological findings globally. As a material that reflects the technology of its times, ceramics are placed in a scene of narrative attributes that frame a speculative living for the first humans on Mars. The speculation in this scenario lies in the hypothesis of "what if" humans colonized the Red Planet for curiosity and resource mining. Evidence of materials, geological conditions and harsh climate link to the creation of a starting point for discussion in terms of resource treatment and in-situ production. A new connection between Earth, space traveling and extraterrestrial implementations could set a rich ground for developing new mentalities, driven by environmental respect. The role of survival in a terrain beyond Earth is absolute and it reflects the urgency and the mindfulness towards a call for a greener living and sustainable industry.

Multiple projects from architectural offices and designers from around the world, have presented a visionary new living on the Red Planet, focusing on superiority with the breathtaking views of the rocky landscape, attractive interiors and indoor stimuli, presenting potential shelters and residencies promising a living with no return to Earth. My con-

szędnym i prowokuje do poszukiwania rozwiązań, które mogłyby znaleźć zastosowanie również na Ziemi, prowadząc do zachowań stawiających równowagę ekosystemu ponad trans planetarną ekspansję.

Ceramika reprezentuje połączenie materiałów geologicznych z metodami inżynieryjnymi, które towarzyszyły ludzkości w różnych etapach ewolucji technologii, odzwierciedlając wiedzę i tożsamość kulturową. Wyroby ceramiczne odnajdywano w najbardziej nieoczekiwanych miejscach, a ich początki sięgają późnego paleolitu. W badaniach nad przeszłością człowieka ceramika stanowi powszechne znalezisko archeologiczne na całym świecie. Jako materiał odzwierciedlający technologię swoich czasów, ceramika wpisuje się w narracyjne atrybuty, które mogą budować spekulatywną wizję życia pierwszych ludzi na Marsie. Spekulacja w tym scenariuszu polega na hipotezie: „co by było, gdyby” ludzie skolonizowali Czerwoną Planetę z ciekawości i w celu eksploatacji zasobów. Dane dotyczące materiałów, warunków geologicznych i surowego klimatu tworzą punkt wyjścia do dyskusji o traktowaniu zasobów i produkcji in situ. Nowe połączenie między Ziemią, podróżami kosmicznymi a pozaziemskimi implementacjami mogłoby stać się bogatym gruntem dla kształtowania nowych mentalności, opartych na szacunku wobec środowiska. Rola przetrwania w środowisku poza Ziemią jest absolutna i podkreśla pilność oraz potrzebę uważności wo-

cerns on the long-lasting vitality, survival and self-sufficiency are explained through a scenario where water conservation is highly minded, re-imagining comfort and prioritizing the "3Rs" the pillars of sustainability, re-use, reduce, and recycle. These principles are fundamental to minimizing waste, conserving resources and protecting the environment.

Digital fabrication was selected as a scientific methodology, in realms of itinerary design and rapid prototyping, framing the speculative design project of the Sustainable Martian Bathroom. Specifically, the method of clay 3D printing is a good example of digital extrusion for the delivery of computationally designed projects reflecting the potential of endless possibilities. While Martian geology generates the interest and curiosity of exploring the chemical and mineralogical features of the rocky regolith, extrusion 3D printing could be applied as a fast construction method utilizing the local resources, exploring the futural habitability on the Red Planet. Incorporating digital manufacturing methods, offers flexibility in applying construction methods in places where human factor is less efficient in practice, and where the production requires minimal impact and tool requirements. It is worth mentioning that large scale 3D printing relates to the advancement of primitive architecture methods like mud and clay building reflecting the technology of nowadays. Starting building without infrastructure on Mars creates a debate about the charac-

bec wezwania do ekologicznego życia i zrównoważonego przemysłu.

Wiele projektów biur architektonicznych i projektantów z całego świata prezentowało wizjonerskie propozycje nowego życia na Czerwonej Planecie, koncentrując się na widowiskowych widokach skalistego krajobrazu, atrakcyjnych wnętrzach i stymulujących przestrzeniach, proponując potencjalne schronienia i rezydencje, które zakładają brak powrotu na Ziemię. Moje obawy dotyczące trwałości, przetrwania i samowystarczalności wyjaśniam poprzez scenariusz, w którym kluczowe znaczenie ma oszczędzanie wody, ponowne przemyślenie pojęcia komfortu i priorytetowe traktowanie „3R” – filarów zrównoważonego rozwoju: reuse (ponowne użycie), reduce (ograniczenie) i recycle (recykling). Zasady te są fundamentalne dla minimalizacji odpadów, oszczędzania zasobów i ochrony środowiska.

Cyfrowa fabrykacja została wybrana jako metodologia naukowa w ramach projektowania iteracyjnego i szybkiego prototypowania, stanowiąc podstawę spekulatywnego projektu Zrównoważonej Łazienki Marsjańskiej. Szczególnie metoda druku 3D w glinie stanowi przykład cyfrowej ekstruzji do realizacji projektów obliczeniowych, odzwierciedlających potencjał nieskończonych możliwości. Podczas gdy geologia Marsa wzbudza zainteresowanie badaniem cech chemicznych i mineralogicznych regolitu skalistego,

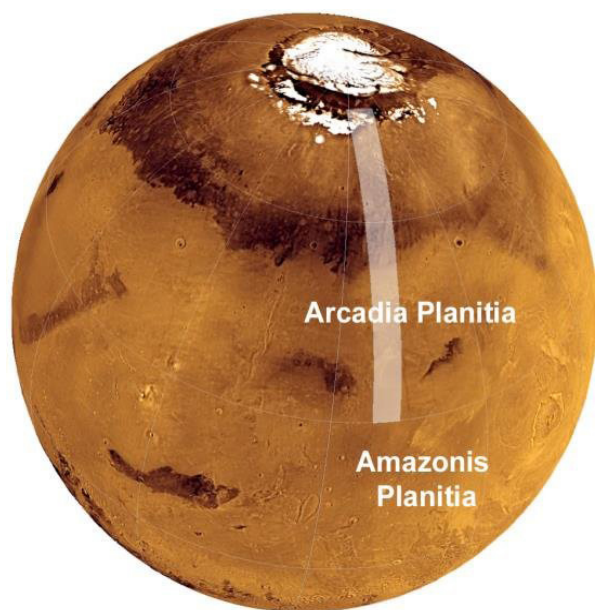
teristics of a colony built from scratch, using a combination of advanced and primitive architecture as a first step for expanding housing on an interplanetary level, following the values of sustainability.

Yet, the status of the first Martians is uncertain. How will society be formed on Mars and how people would start living after landing with no return to Earth? While conceptualizing the background of the research, the hypothesis on the responsibilities to be taken on the Red Planet will be held by scientists or engineers, operating with ecological constructions as hybrid artisans. The sustainable colony on the Red Planet, according to the scenario, will consist of scientist-makers self sustaining the planet. The act of 3D printing domestic amenities and products reflect a technical and cultural autarky. The independence of self-sustaining roots drives further research and knowledge of spotting the essential materials. The model of the first Martian citizen concentrates speculative anthropological features referring to a fictional living and space exploration. A Martian who employs 3D printing and uses local materials for creating a shelter mirrors a potential behaviour that could be accounted for on Earth as the technological solutions are available and doable. A digital maker combining both traditional and advanced methods thrives where technology meets design for survival.

druk 3D metodą ekstruzji mógłby zostać zastosowany jako szybka metoda konstrukcyjna, wykorzystująca lokalne zasoby i eksplorująca możliwości przyszłego zamieszkania na Czerwonej Planecie. Włączenie cyfrowych metod produkcji oferuje elastyczność w stosowaniu metod budowlanych tam, gdzie czynnik ludzki jest mniej wydajny, a produkcja wymaga minimalnego nakładu narzędzi i ograniczonego wpływu na środowisko. Warto dodać, że wielkoskalowy druk 3D wiąże się z rozwojem prymitywnych metod architektury, takich jak budownictwo z gliny i błota, stanowiąc ich współczesne technologiczne odzwierciedlenie. Rozpoczęcie budowy bez infrastruktury na Marsie otwiera debatę o charakterze kolonii tworzonej od podstaw – z wykorzystaniem połączenia architektury zaawansowanej i prymitywnej jako pierwszego kroku w rozwoju mieszkalnictwa na poziomie międzyplanetarnym, w zgodzie z wartościami zrównoważonego rozwoju.

Status pierwszych Marsjan jest jednak niepewny. Jak formuje się społeczeństwo na Marsie i jak ludzie zaczną żyć po wylądowaniu, bez możliwości powrotu na Ziemię? W koncepcyjnym tle badań hipoteza zakłada, że odpowiedzialność na Czerwonej Planecie spocznie na naukowcach i inżynierach, którzy będą działać jako hybrydowi rzemieślnicy, operując w ramach ekologicznych konstrukcji. Zrównoważona kolonia na Czerwonej Planecie, według scenariusza, składałaby się z naukowców-twórców, samowystarczalnie utrzymujących planetę. Akt druku

Hygiene, comfort and care in the scenario of the Sustainable Martian Bathroom are practices that function as means of how we might imagine inhabiting Mars while the issue on water resources on Earth still persists. The design project could create a novel philosophical narrative on the perception of the balanced relation of the interconnected philosophical spheres– the geosphere and the noosphere for a sustainable future.

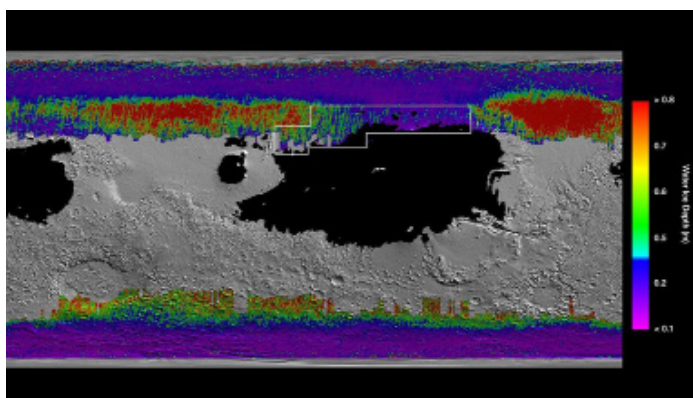


5. Arcadia Planitia Study Aarea.png

Source: https://www.researchgate.net/figure/Arcadia-Planitia-Study-area-The-swath-is-300-km-wide-and-extends-from-30-to-80-N_fig1_278028374

3D domowych urządzeń i produktów odzwierciedla techniczną i kulturową autarkię. Niezależność wynikająca z samowystarczalnych korzeni napędza dalsze badania i wiedzę w zakresie identyfikacji niezbędnych materiałów. Model pierwszego obywatela Marsa koncentruje spekulatywne cechy antropologiczne, odnosząc się do fikcyjnego życia i eksploracji kosmicznej. Marsjanin, który korzysta z druku 3D i używa lokalnych materiałów do budowy schronienia, odzwierciedla potencjalne zachowanie, które można odnieść również do Ziemi, gdzie rozwiązania technologiczne są dostępne i możliwe do wdrożenia. Cyfrowy twórca, łączący metody tradycyjne i zaawansowane, rozwija się tam, gdzie technologia spotyka się z projektowaniem dla przetrwania.

Higiena, komfort i troska w scenariuszu Zrównoważonej Łazienki Marsjańskiej to praktyki, które stanowią wyobrażenie o tym, jak moglibyśmy zamieszkać Marsa, podczas gdy problem zasobów wodnych na Ziemi nadal pozostaje aktualny. Projekt ten może stworzyć nową narrację filozoficzną dotyczącą postrzegania zrównoważonej relacji między powiązаныmi sferami filozoficznymi – geosferą i noosferą – w dążeniu do zrównoważonej przyszłości.



6. This rainbow-colored map shows underground water ice on Mars. Cool colors are closer to the surface than warm colors; black zones indicate areas where a spacecraft would sink into fine dust; the outline.

Source: <https://www.nasa.gov/solar-system/nasas-treasure-map-for-water-ice-on-mars/>

2. Methodology on Scientific Research

The research was conducted with the incorporation of advanced technological equipment that met the criteria of compatibility with the ceramic prototypes. The selection of ceramic, as a material to develop in the build-out process, played a pivotal role in the methodology that was followed to examine Ceramics from a scientific scope. The project obtains educational attributes and the development was interdisciplinary throughout the design research, the methodological activities and the product testing. In order to develop 3D printed ceramic parts for the delivery of the speculative prototypes in the Sustainable Martian Bathroom, the research unfolded into a collaborative procedure between experts and academics. The methodology involved scientific experiments as an iterative process of testing the efficient functionality of the prototype in the speculative fiction of inhabiting Mars. All the digitally fabricated ceramics were created as a practice of exploring the possibilities and potentialities of delivering prototypes with the incorporation of a ceramic 3D printer and local clay materials.

2. Metodologia badań naukowych

Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem zaawansowanego sprzętu technologicznego, który spełniał kryteria kompatybilności z prototypami ceramicznymi. Wybór ceramiki jako materiału do rozwinięcia w procesie budowy odegrał kluczową rolę w metodologii, którą przyjęto w celu zbadania ceramiki z perspektywy naukowej. Projekt ma charakter edukacyjny, a jego rozwój miał wymiar interdyscyplinarny – obejmował badania projektowe, działania metodologiczne oraz testowanie produktu.

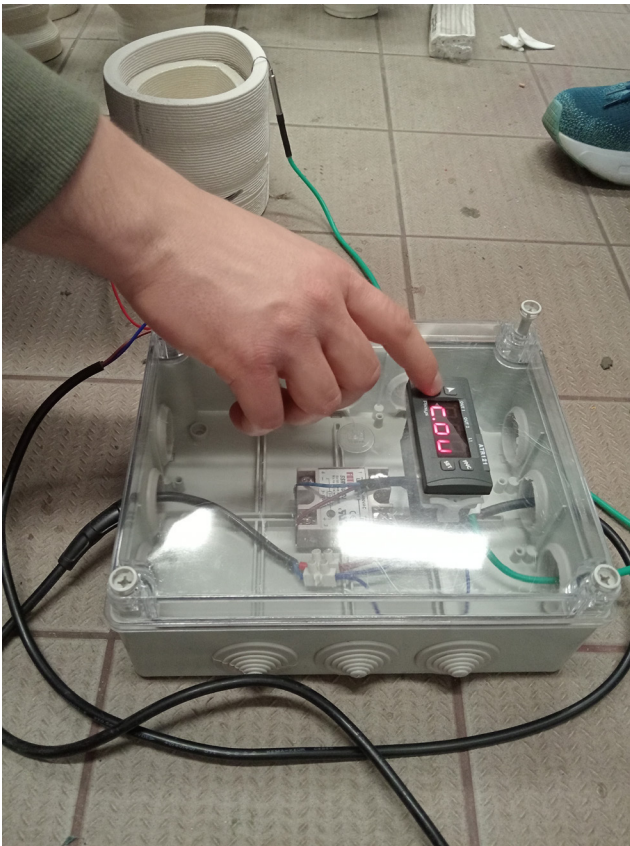
Aby opracować elementy ceramiczne drukowane w 3D do realizacji spekulatywnych prototypów w ramach projektu Zrównoważonej Łazienki Marsjańskiej, badania przyjęły formę procedury współpracy pomiędzy ekspertami i środowiskiem akademickim. Metodologia obejmowała eksperymenty naukowe jako proces iteracyjny testowania funkcjonalności prototypu w fikcyjnym scenariuszu zamieszkania Marsa. Wszystkie cyfrowo wytworzone elementy ceramiczne powstawały jako praktyka eksplorowania możliwości i potencjału tworzenia prototypów z wykorzystaniem ceramicznej drukarki 3D oraz lokalnych



7. Iteration process



8. Conducting the scientific experiment



9. Setting up the DIP controller



10. Preparation of the furnace and ash bowl

2.1 The scientific experiment

In order to evaluate the performance of the Crematorial Toilet, a speculative prototype of a sanitary system intended for extreme environments, a series of experiments were conducted at the technical engineering laboratory, Hackerspace in Wrocław. Hackerspace is a community space for tech-enthusiasts, machining, science and digital arts, employed with hardware equipment, eligible for the necessities of the tasks that were followed to complete the primary objective, the analysis of the combustion efficiency, energy consumption, odor control, and material durability of the prototype. The study and the performance of the experiment, along with analytical support and technical operations, was undertaken with the assistance of biotechnology engineer, Bartosz Pytko and coding artist Mateusz Rukowicz.

The investigation utilized apparatus and materials which ensured the safety and advancement of the performance throughout the stages of the experiment. For the needs of the experiment, additional copies of the Crematorial Toilet were 3D printed in 1:1 scale and 1:2. The experiment was concentrated on the performance of the testing models of the prototype and focusing on the controlled firing performance inside the substructural furnace chamber of the toilet, in order to make closer observations, analysing data and prove the potentiality of the function in the specula-

materialów glinianych.

2.1 Eksperyment naukowy

W celu oceny działania Toalety Kremacyjnej, spekulatywnego prototypu systemu sanitarnego przeznaczonego do ekstremalnych środowisk, przeprowadzono serię eksperymentów w laboratorium inżynieryjno-technicznym Hackerspace we Wrocławiu. Hackerspace to przestrzeń społecznościowa dla entuzjastów technologii, obróbki mechanicznej, nauki i sztuki cyfrowej, wyposażona w sprzęt odpowiadający wymaganiom zadań niezbędnych do realizacji głównego celu: analizy efektywności spalania, zużycia energii, kontroli zapachu oraz trwałości materiałowej prototypu.

Badanie i przebieg eksperymentu, wraz z analizą oraz wsparciem technicznym, zostały przeprowadzone przy współpracy z inżynierem biotechnologii Bartoszem Pytko oraz artystą kodowania Mateuszem Rukowiczem.

Do badań wykorzystano aparaturę i materiały, które zapewniały bezpieczeństwo oraz wysoki poziom zaawansowania eksperymentu na wszystkich jego etapach. Na potrzeby doświadczenia wykonano dodatkowe kopie Toalety Kremacyjnej w skali 1:1 oraz 1:2. Ekspery-

tion and beyond.

2.2 Setup, Calibration and Firing Cycle Execution

For the needs of the experiment a series of 3D printed copies of the furnace and the ash bowl were produced- by the use of the same ceramic material in order to evaluate the temperature rate over real time. The controlled firing was built up following a similar approach with instant ceramic firings. Incorporating the required equipment the prototype efficiently

The experimental investigation utilized the following apparatus and materials described in the list below:

1. Testing 3D printed toilet furnaces and ash bowls. High performance porcelain, with a part of porcelite and chamotte clay for higher resistance in thermal shocks.
2. High-temperature electric resistance heating element, type: Kanthal D. Wire Thickness: 1mm, twisted in a coiled shape.
3. PID(Proportional Integral Derivative) controller. Resistance: 1.71 Ohm/m, maximum continuous operating temperature: approx.

ment koncentrował się na testowaniu modeli prototypu i analizie kontrolowanego procesu spalania wewnątrz pod strukturalnej komory pieca toalety, co umożliwiło dokładniejsze obserwacje, analizę danych oraz ocenę potencjalnych możliwości działania – zarówno w sferze spekulacji, jak i praktycznych zastosowań.

2.2 Konfiguracja, kalibracja i wykonanie cyklu wypalania

Na potrzeby eksperymentu wyprodukowano serię drukowanych w 3D kopii pieca i misy popiołowej – z wykorzystaniem tego samego materiału ceramicznego – w celu oceny tempa wzrostu temperatury w czasie rzeczywistym. Proces kontrolowanego wypału został oparty na podejściu zbliżonym do szybkich wypałów ceramiki. Dzięki odpowiedniemu wyposażeniu prototyp działał wydajnie.

Do badań wykorzystano następującą aparaturę i materiały:

1. Testowe drukowane w 3D piece i misy popiołowe. Wysokiej jakości porcelana, częściowo z domieszką porcelitu i szamotu, dla zwiększonej odporności na szoki termiczne.
2. Wysokotemperaturowy elektryczny element grzejny oporowy, typ: Kanthal D, grubość drutu: 1 mm,

1300°C.

skręcony w kształt spirali.

4. Power supply assembly, including a security relay, as an emergency power-off system.
5. Thermocouple sensor (K-type), calibrated against a reference standard. Adjusted to the input of the furnace.
6. Infra red thermal inspector giving real time data about the heating distribution.
7. Inline power meter, to calculate the energy consumption.
8. Safety infrastructure, including fire extinguisher, protective clothing, and laboratory ventilation. The process of the experiment was developed on the lab's floor for safety towards fire risks.
9. Ceramic fiber paper for thermal insulation
10. Organic waste to be burned.
3. Sterownik PID (Proportional-Integral-Derivative). Opór: 1,71 Ω /m, maksymalna temperatura pracy ciągłej: ok. 1300°C.
4. Zasilacz z przekaźnikiem bezpieczeństwa jako system awaryjnego wyłączenia zasilania.
5. Czujnik termopary (typ K), skalibrowany względem standardu odniesienia, podłączony do pieca.
6. Inspektor termiczny na podczerwień, dostarczający danych o rozkładzie ciepła w czasie rzeczywistym.
7. Miernik mocy w linii, do obliczania zużycia energii.
8. Infrastruktura bezpieczeństwa: gaśnica, odzież ochronna, wentylacja laboratoryjna. Proces przeprowadzono na podłodze laboratorium, aby zminimalizować ryzyko pożarowe.
9. Ceramiczny papier włóknisty do izolacji termicznej.

As for the experimental set up and calibration, the prototype was assembled and all the electrical connections were verified. The heating element was linked to the PID(Proportional-Integral-Derivative) controller, and the thermocouple sensor was calibrated to the furnace 3D printed copy. The integrity of safety features, including also the emergency power-off relay were verified to ensure the avoidance of risk. The ventilation apparatus was tested to validate air-flow capacity prior to fume emissions. A fixed mass of organic waste was deposited into the 3D printed ceramic ash bowl within the firing chamber. The chamber was sealed with the ceramic fiber paper to prevent odor leakage and enforce controlled exhaust flow. The heating system was engaged, targeting a temperature plateau of 500°C, regulated through the closed-loop, PID controller system. Thermal data, power consumption, and combustion progress were systematically recorded at ten-minute intervals until the completion of the firing cycle, reaching the temperature of 500°C in 30 minutes. By this point, the temperature drops naturally with the end of the firing program on the PID controller.

At the conclusion of the firing phase, the heating element was deactivated. The chamber was allowed to cool under ambient laboratory conditions while the ventilation system remained active. Once safe handling temperatures were achieved, the ash remains were extracted and the ash bowl was easily cleaned. The ceramic chamber

10. Odpady organiczne przeznaczone do spalania.

Konfiguracja i kalibracja: prototyp został zmontowany, a wszystkie połączenia elektryczne sprawdzone. Element grzewczy został podłączony do sterownika PID, a czujnik termopary skalibrowano do ceramicznej kopii pieca. Zweryfikowano poprawność systemów bezpieczeństwa, w tym przełącznika awaryjnego wyłączania zasilania, aby uniknąć zagrożeń. Przetestowano urządzenia wentylacyjne w celu potwierdzenia odpowiedniej wydajności przepływu powietrza przed emisją spalin.

Do komory spalania umieszczono określoną masę odpadów organicznych w ceramicznej misie popiołowej drukowanej w 3D. Komora została uszczelniona ceramicznym papierem włóknistym, aby zapobiec ulatnianiu się zapachów i wymusić kontrolowany przepływ spalin. System grzewczy uruchomiono, dążąc do osiągnięcia plateau temperaturowego 500°C, regulowanego w systemie zamkniętej pętli sterownika PID. Dane termiczne, zużycie energii i przebieg spalania rejestrowano co 10 minut aż do zakończenia cyklu, osiągając temperaturę 500°C w ciągu 30 minut. Następnie temperatura spadała naturalnie po zakończeniu programu grzewczego.

and the cylindrical and metallic combustion bowl were then subjected to visual inspection to identify structural degradation. There was no surface cracking noticed. A slight discoloration was observed on the inner body of the furnace.

2.3 Results and Analysis, Temperature Regulation and Firing Efficiency

The heating system reached the target operating temperature of 500°C within 30 minutes, indicating effective energy transfer and thermal retention. Waste material exhibited complete reduction and burned entirely, with measured mass loss averaging 93%, leaving only very fine ash. Thermal stability was consistently maintained, with deviations not exceeding $\pm 5^{\circ}\text{C}$, confirming the effectiveness of the PID control system. The total electrical energy consumed per firing cycle was measured at 1.7 kWh, demonstrating significantly improved efficiency relative to conventional incineration toilets, which typically require 3–4 kWh per cycle. This reduction can be attributed to the optimized ceramic insulation and the compact thermal chamber design, which minimized heat losses. The sealed ceramic chamber and exhaust system effectively prevented uncontrolled odor dispersion. Exhaust fumes were successfully directed through the ventilation apparatus, with only a slight trace odor detection during combustion. Compared with the existing incineration toilets that

Po zakończeniu fazy wypalania element grzejny został wyłączony. Komora chłodziła się w warunkach laboratoryjnych przy działającej wentylacji. Po osiągnięciu bezpiecznej temperatury resztki popiołu zostały wyjęte, a misa łatwo oczyszczona. Komora ceramiczna oraz cylindryczna, metalowa misa spalania zostały poddane inspekcji wizualnej w celu oceny ewentualnych uszkodzeń strukturalnych. Nie stwierdzono pęknięć powierzchniowych, zauważono jedynie lekkie przebarwienia wewnętrznej części pieca.

2.3 Wyniki i analiza, regulacja temperatury i efektywność wypału

System grzewczy osiągnął docelową temperaturę roboczą 500°C w ciągu 30 minut, co wskazuje na skuteczny transfer energii i zatrzymanie ciepła. Materiał odpadowy uległ całkowitemu spalaniu, ze średnią redukcją masy wynoszącą 93%, pozostawiając jedynie bardzo drobny popiół. Stabilność termiczna została utrzymana, a odchylenia nie przekroczyły $\pm 5^{\circ}\text{C}$, co potwierdziło skuteczność działania sterownika PID. Całkowite zużycie energii elektrycznej na cykl wypału wyniosło 1,7 kWh, co oznacza znaczną poprawę efektywności względem konwencjonalnych toalet spalających, które zazwyczaj wymagają 3–4 kWh na cykl. Redukcja ta wynikała z zoptymalizowanej izolacji ceramicznej i kompaktowej konstrukcji komory termicznej, które zminimalizować straty ciepła.

rely on catalytic converters, the prototype's ventilation demonstrated comparable containment efficacy in a simplified configuration. Post-experiment inspection revealed no visible fractures or cracking in the ceramic body, confirming the resilience of the 3D-printed ceramic project under repeated thermal cycling. The ash bowl did not exhibit surface discoloration due to oxidation but remained structurally intact thanks to the high temperature glazed surface. The outcomes support the suitability of the selected materials for sustained high-temperature operation in the hypothesis of the fictional function of the Crematorial Toilet on environmentally extreme terrains.

The experimental analysis was important in terms of data collection and gathering of evidence that the Crematorial Toilet is a scientifically viable concept for sustainable waste management in resource-limited environments, hypothetically and beyond, offering space for exploration and further research. The prototype demonstrated high firing efficiency (93–95% mass reduction), reduced energy demand (1.7 kWh per cycle), effective odor and smoke control, and durable structural performance under operational stress. In direct comparison with conventional terrestrial incineration systems and NASA's waste management devices and the Cinderella Incineration Toilets the Crematorial Toilet achieved energy efficiency while maintaining functionality. This study confirms the accuracy of the performance comparison

Uszczelniona komora ceramiczna i system wyciągowy skutecznie zapobiegły niekontrolowanej dyspersji zapachów. Spaliny zostały prawidłowo odprowadzone przez system wentylacyjny, a jedynie podczas procesu spalania wykryto delikatny ślad zapachu. W porównaniu z istniejącymi toaletami spalającymi, które wykorzystują katalizatory, system wentylacyjny prototypu wykazał podobną skuteczność w prostszej konfiguracji.

Inspekcja eksperymentalna nie wykazała pęknięć ani uszkodzeń powierzchniowych w korpusie ceramicznym, co potwierdziło odporność ceramiki drukowanej w 3D na powtarzające się cykle cieplne. Misa popiołowa nie wykazała przebarwień oksydacyjnych i zachowuje integralność strukturalną dzięki szkliwionej powierzchni odpornej na wysoką temperaturę. Wyniki potwierdzają przydatność wybranych materiałów do długotrwałej pracy w wysokiej temperaturze w hipotetycznej funkcji Toalety Kremacyjnej w ekstremalnych środowiskach.

Analiza eksperymentalna miała znaczenie dla zebrania danych i dowodów, że Toaleta Kremacyjna jest koncepcją naukowo wiarygodną w zakresie zrównoważonego zarządzania odpadami w środowiskach o ograniczonych zasobach – hipotetycznie i nie tylko – dając pole do dalszych badań i eksploracji. Prototyp wykazał wysoką efektywność spalania (93–95% redukcji masy), niskie zapotrzebowanie na

framework and applies the feasibility of the speculative design. Future research directions could include long-term endurance testing, exploration of alternative heating technologies, and integration of advanced filtration systems to enhance environmental sustainability in extraterrestrial applications and perhaps, renewable energy features.

The experiment of the controlled firing process was conducted to prove the functionality of the prototype in a speculative scenario where first Martian habitats will require more than features of comfort and unconsidered waste, while the users will have to prioritize the water saving performances inside a highly Sustainable Bathroom. Curiosity and research about the environmental features could shift from the solution finding to problem spotting, such as speculative design suggests. The design research and iterations in the process demonstrate how technology and craft could merge hypothesizing the limits of sustainable living and environmental consciousness.

energię (1,7 kWh na cykl), skuteczną kontrolę zapachu i dymu oraz trwałość strukturalną pod obciążeniem eksploatacyjnym.

W bezpośrednim porównaniu z konwencjonalnymi systemami spalania odpadów na Ziemi oraz urządzeniami NASA i toaletami spalającymi Cinderella, Toaleta Kremacyjna osiągnęła lepszą efektywność energetyczną przy zachowaniu funkcjonalności. Badanie potwierdziło poprawność ram porównania wydajności i zastosowanie spekulatywnego projektu jako wykonalnej koncepcji.

Przyszłe kierunki badań mogą obejmować długoterminowe testy wytrzymałościowe, eksplorację alternatywnych technologii grzewczych oraz integrację zaawansowanych systemów filtracji w celu zwiększenia zrównoważonego charakteru w zastosowaniach pozaziemskich, a także być może wdrożenie cech związanych z energią odnawialną.

Eksperyment kontrolowanego procesu spalania miał na celu udowodnienie funkcjonalności prototypu w spekulatywnym scenariuszu, w którym pierwsze marsjańskie siedliska będą wymagały więcej niż komfortu i nieprzemysłowego gospodarowania odpadami, a użytkownicy będą musieli priorytetowo traktować oszczędność wody w wysoce zrównoważonej łazience. Ciekawość i badania nad cechami środowiska

mogą przesunąć uwagę z poszukiwania rozwiązań na identyfikowanie problemów, zgodnie z ideą projektowania spekulatywnego. Badania projektowe i iteracje procesu pokazują, jak technologia i rzemiosło mogą się łączyć, testując granice zrównoważonego życia i świadomości ekologicznej.

3. Innovative Aspect in Merging Tradition and Advanced Technologies

The Sustainable Martian Bathroom embodies a speculative design approach that redefines the bathroom as a site for innovation in resource management, material experimentation, and ecological awareness. Unlike traditional proposals for Martian habitats, which often emphasize architectural scale or technological feasibility in isolation, this project embeds sustainability into the intimate artifacts of everyday life for an advanced community that values sustainability incorporating digital fabrication, data driven prototypes, and self-sufficiency for a long-lasting existence applying a balanced environmental treatment. The Sustainable Martian Bathroom appears as a critical domain of private living, while the 3D printed ceramic prototypes investigate how speculative design can generate both survival strategies for extraterrestrial living, as in terms of harsh environmental conditions and resource scarcity, and as a result, suggest valuable lessons for ecological consciousness on Earth.

One of the project's most innovative aspects lies in the application of 3D printing as a tool for sustainability. Additive manufacturing allows for the creation of bathroom hardware and sanitary devices that are adapted to the unique constraints of Martian living, where waste management of resource-

3. Innowacyjny aspekt w łączeniu tradycji i zaawansowanych technologii

Zrównoważona łazienka Marsjańska ucieleśnia podejście projektowania spekulatywnego, które redefiniuje łazienkę jako przestrzeń innowacji w zarządzaniu zasobami, eksperymentach materiałowych i świadomości ekologicznej. W przeciwieństwie do tradycyjnych propozycji habitatu marsjańskiego, które często koncentrują się na skali architektonicznej lub izolowanej wykonalności technologicznej, ten projekt wprowadza zrównoważoność w intymne artefakty codziennego życia, tworząc wizję zaawansowanej społeczności, która ceni samowystarczalność i cyfrową fabrykację, a jednocześnie zapewnia długotrwałe istnienie w równowadze środowiskowej.

Jednym z najbardziej innowacyjnych aspektów projektu jest zastosowanie druku 3D jako narzędzia zrównoważonego rozwoju. Wytwarzanie addytywne umożliwia tworzenie sprzętów łazienkowych i urządzeń sanitarnych dostosowanych do unikalnych ograniczeń życia na Marsie, gdzie zarządzanie odpadami i produkcja in-situ są koniecznością – w dystopijnym, fikcyjnym scenariuszu życia na Czerwonej Planecie. W przeciwieństwie do metod produkcji masowej, które wiążą się z dużymi ilościami narzędzi i odpadów materiałowych, druk 3D umożliwia lokalną, bezodpadową fabrykację przy użyciu materiałów pozyskiwanych lub

es and in-situ production are non-negotiable- as in a speculative dystopic stage of fictional conditions, the inhabited Martian terrain. Unlike mass production methods that rely on extensive amounts of tools and material waste, 3D printing enables localized, zero-waste fabrication using materials that can be sourced or simulated from the Martian environment, such as clay and argillic masses, derived from mapped areas of the regolith or bio-based composites, as long as we could hypothesize, for example, the space agricultural actions. The layered manufacturing process ensures efficiency while embodies a new design language that reflects adaptation, resilience, and survival under extreme conditions where the human factor cannot assist during the production and operational process.

Focusing on sustainable resources, such as locally mined clay, kaolin, feldspar, iron oxide including also smectites, kaolinite, and chlorite, which are well-known for their use in ceramic production on Earth. Clay materials were chosen for the development of the project for their compatibility with 3D printing and their ecological potential. On Mars, where reliance on imported resources would be almost impossible due to the costs of carrying cargo from Earth to space, such materials could be mined and processed locally or recycled through closed-loop systems. On Earth, the utility of local materials points to a broader future in which reduced environmental impact is central to design practices. By experimenting

symulowanych z marsjańskiego środowiska, takich jak glina i masy ilaste z regolitu czy kompozyty bio organiczne (np. w połączeniu z hipotezą rolnictwa kosmicznego).

Proces warstwowego wytwarzania nie tylko zwiększa efektywność, lecz także tworzy nowy język projektowy, odzwierciedlający adaptację, odporność i przetrwanie w ekstremalnych warunkach, gdzie czynnik ludzki ma ograniczoną rolę w procesie produkcji i eksploatacji.

W projekcie skupiono się na zasobach zrównoważonych, takich jak lokalnie wydobywana glina, kaolin, skalenie, tlenek żelaza, a także smektyty, kaolinit i chloryt – dobrze znane z produkcji ceramiki na Ziemi. Glina została wybrana ze względu na kompatybilność z drukiem 3D oraz potencjał ekologiczny. Na Marsie, gdzie transport zasobów z Ziemi jest niemal niemożliwy ze względu na koszty, takie materiały mogłyby być wydobywane lokalnie lub poddawane recyklingowi w systemach zamkniętych. Na Ziemi z kolei wykorzystanie materiałów lokalnych wskazuje na przyszłość, w której zmniejszenie wpływu na środowisko staje się centralnym elementem praktyk projektowych.

Eksperymentując z tymi materiałami w spekulatywnych prototypach, takich jak Toaleta Kremacyjna, Zlew Rezydualny i Crateri Dentales, projekt ukazuje wyimaginowany zestaw arte-

with these materials in speculative prototypes like the Crematorial Toilet, the Residual Sink and Crateri Dentales, the project demonstrates an imaginary set of artifacts that integrate ecological stewardship directly into their materiality and function. At its core, the Sustainable Martian Bathroom advances a vision of holistic resource management through the scope of an hypothetical ground. This statement is also an innovative idea at its core, that shifts the paradigm of the perception of current issues that Earth is facing regarding access to resources, privatization of water, grey water treatment, and domination of the industry on local resources, affecting the communities and the environment.

Through devices that recycle water, reuse waste, and moderate consumption, the project challenges conventional notions of domestic comfort by reframing hygiene as an ecological negotiation. For instance, the Arduino-implemented Residual Sink monitors water use in real time, transforming consumption into a visualized and data-driven ritual. Besides, the Crematorial Toilet is a commentary sanitary device that proposes a radical rethinking of waste by converting byproducts into usable resources such as ash for soap cooking. The toilet of the Sustainable Martian Bathroom does not obtain a flush and revolutionizes the sanitation, incorporating an incineration system that fires the waste. These speculative devices articulate a broader mindset starting from the production process,

faktów, które łączą troskę ekologiczną bezpośrednio z ich materialnością i funkcją. Sednem Zrównoważonej Łazienki Marsjańskiej jest wizja holistycznego zarządzania zasobami w hipotetycznym scenariuszu. Jest to również innowacyjny pomysł, który zmienia paradygmat postrzegania aktualnych problemów Ziemi dotyczących dostępu do zasobów, prywatyzacji wody, obiegu ścieków szarych czy dominacji przemysłu nad lokalnymi surowcami, co wpływa na społeczności i środowisko.

Dzięki urządzeniom recyklingu łączącym wodę, ponownie wykorzystującym odpady i modelującym konsumpcję, projekt kwestionuje konwencjonalne pojęcie komfortu domowego, ukazując higienę jako negocjację ekologiczną. Na przykład Zlew Rezydualny z Arduino monitoruje zużycie wody w czasie rzeczywistym, przekształcając konsumpcję w wizualizowany rytuał oparty na danych. Z kolei Toaleta Kremacyjna proponuje radykalne przemysłenie odpadów, przekształcając produkty uboczne w zasoby, takie jak popiół wykorzystywany do produkcji mydła. Toaleta w Zrównoważonej Łazience Marsjańskiej nie korzysta ze spłuczki, lecz rewolucjonizuje sanitarność dzięki systemowi spalania odpadów.

Urządzenia spekulatywne artykułują szerszy sposób myślenia, obejmujący proces produkcji, wydajność produktu i rolę użytkownika w utrzymaniu długoterminowej równowagi systemów środowiskowych poprzez ponowne wyo-

the product performance and the user's role ensuring a long-term balance of environmental systems, by re-imagining the hygiene habits.

The innovative dimension of this project lies in its technological yet-artistic propositions by committing to a cultural critique and pedagogical value. Through the ecological practices within speculative Martian fictions of survival, the project highlights the urgency of rethinking resource use on Earth. The Martian bathroom thus, is both a futuristic prototype inspired by the culture and aesthetics of science fiction and stands as an allegorical mirror for terrestrial life, demonstrating sustainable practices such as water conservation, energy reuse, or material choice. The project is part of a strategic, environmentally conscious plan based on the essential conditions for survival.

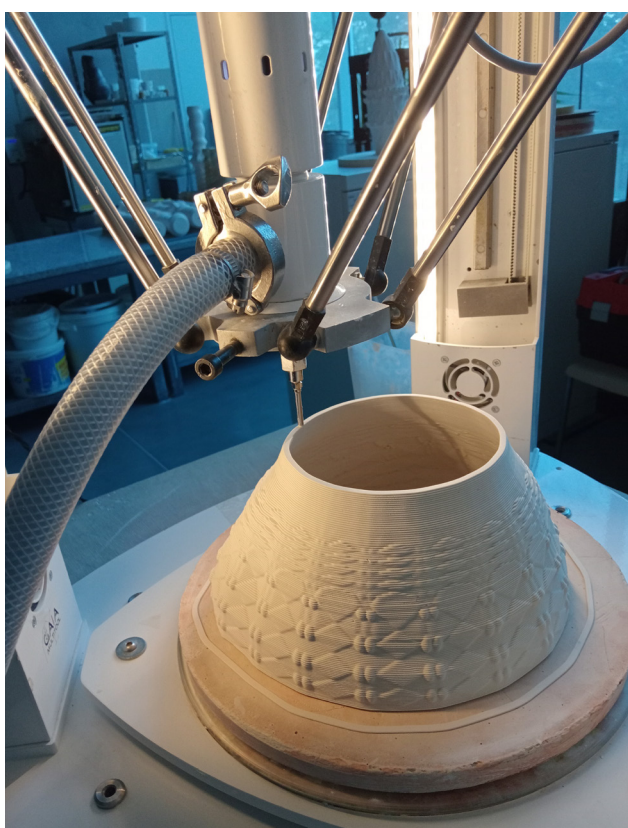
Ultimately, the Sustainable Martian Bathroom exemplifies how speculative design can operate as a platform for innovation that bridges imagination and pragmatism. Sustainability is analyzed into the most intimate aspects of daily life contrasted by the harsh environment of the Red Planet and framed by survival necessities. The project shifts the discourse on resource mindfulness from abstract policies to lived experience. The speculative bathroom challenges the audience to envision a future where design re-evaluates comfort and self-sufficiency during a survival struggle, in unhostile terrains but also about

brażenie nawyków higienicznych.

Innowacyjny wymiar projektu polega na jego technologiczno-artystycznym charakterze, zaangażowanym w krytykę kulturową i wartość pedagogiczną. Poprzez praktyki ekologiczne w spekulatywnych narracjach marsjańskiego przetrwania projekt podkreśla pilną potrzebę ponownego przemyślenia zużycia zasobów na Ziemi. Łazienka marsjańska jest więc zarówno futurystycznym prototypem inspirowanym estetyką science fiction, jak i alegorycznym lustrem życia ziemskiego, ukazującym praktyki zrównoważone, takie jak oszczędzanie wody, ponowne wykorzystanie energii czy świadomy dobór materiałów. Projekt wpisuje się w strategiczny, ekologiczny plan oparty na fundamentalnych warunkach przetrwania.

Ostatecznie Zrównoważona Łazienka Marsjańska pokazuje, jak projektowanie spekulatywne może być platformą innowacji łączącą wyobraźnię i pragmatyzm. Zrównoważoność analizowana jest w najbardziej intymnych aspektach życia codziennego, skonstrastowanych z surowym środowiskiem Marsa i ujętych w ramy konieczności przetrwania. Projekt przesuw dyskurs o świadomości zasobowej z poziomu abstrakcyjnej polityki na poziom doświadczenia codziennego. Spekulatywna łazienka zachęca do wyobrażania sobie przyszłości, w której projektowanie redefiniuje komfort i samowystarczalność w warunkach walki o przetrwanie – nie tylko na nieprzyjaznych terenach

cultivating mindfulness, resilience, and responsibility in the environments we already inhabit. Its innovative approach demonstrates that the lessons taught through the topic of Mars colonization are not only confined to extraterrestrial colonies but also shed light on the ways we design for Earth today.



11. Ceramic 3D printing for the residual Sink

3.1 3D printing as an aesthetic of Speculative Design

From a scientific scope, the research and development of the potential initiative towards the colonization of Mars, even if the scenario draws several complex survival challenges, suggests solutions for designing infrastructure and innovation with a strong focus on long-term sustainability under extreme environmental constraints. 3D printing, or

kosmicznych, lecz także w kontekście odpowiedzialności i odporności w środowiskach, które zamieszkujemy już teraz.

Jej innowacyjne podejście pokazuje, że lekcje płynące z tematu kolonizacji Marsa nie ograniczają się wyłącznie do kolonii pozaziemskich, ale rzucają światło na sposoby projektowania dla Ziemi dziś.

3.1 Druk 3D jako estetyka projektowania spekulatywnego

Z naukowego punktu widzenia badania i rozwój potencjalnych inicjatyw związanych z kolonizacją Marsa, mimo że scenariusz ten wiąże się z wieloma złożonymi wyzwaniami przetrwania, sugerują rozwiązania w zakresie projektowania infrastruktury i innowacji ze szczególnym naciskiem na długoterminową zrównowagę w ekstremalnych warunkach środowiskowych. Druk 3D, czyli wytwarzanie przyrostowe, wyłonił się jako technologia transformacyjna zdolna rozwiązywać problemy projektowe. Zmienił architekturę i przemysł wytwórczy, jednocześnie znacznie obniżając koszty i czas produkcji.

Scenariusz fikcyjnej łazienki i urządzeń sanitarnych, opracowany przy użyciu zaawansowanych narzędzi prototypowania, został zrealizowany jako projekt projektowania spekulatywnego

additive manufacturing, has emerged as a transformative technology to resolve design issues. It has simplified and altered architecture, and industrial manufacturing while the production cost and time are reduced significantly.

The design scenario of the fictional bathroom sanitaryware incorporating advanced prototyping tools was performed as a Speculative Design project in accordance with an innovative design idea. The content of the scenario is an invented concept that is a starting point for a dialogue between the design methods and the didactic processes. The project refers to the design itself and it is not a product for the market. It features characteristics of reality and uses examples of already existing solutions to speak through a tale of ultra sustainability in an imaginary bathroom on Mars.

On the Red Planet, where materials must be mined locally from the regolith, as for example the area of Arcadia Planitia, with a closest to the planet's surface iced water, 3D printing offers a way to rethink how we construct, inhabit, and interact with our environments prioritizing the in-situ fabrication. The idea of mining local materials links to the sustainable factors of production as it lowers the transportation cost and endures the independence of resources for the local region. An area such as Jezero Crater that maintained a massive flood, rich in basalt, minerals, clays and oxides could be a provider of the

go, zgodnie z innowacyjną ideą projektową. Jego treść stanowi koncepcję wymyśloną, będącą punktem wyjścia do dialogu pomiędzy metodami projektowania a procesami dydaktycznymi. Projekt odnosi się przede wszystkim do samego projektowania, a nie do produktu rynkowego. Czerpie on z cech rzeczywistości i istniejących rozwiązań, aby opowiedzieć historię ultra-zrównoważonej łazienki w wyobrażonym habitacie marsjańskim.

Na Czerwonej Planecie, gdzie materiały muszą być pozyskiwane lokalnie z regolitu – np. w obszarze Arcadia Planitia, gdzie w pobliżu powierzchni występuje lód wodny – druk 3D daje możliwość przemyslenia na nowo sposobu konstruowania, zamieszkiwania i interakcji ze środowiskiem, kładąc nacisk na produkcję in-situ. Idea wydobywania materiałów lokalnych łączy się z czynnikami zrównoważonej produkcji, ponieważ obniża koszty transportu i zapewnia niezależność surowcową regionu. Obszar taki jak krater Jezero, który w przeszłości doświadczył masowych powodzi i jest bogaty w bazalt, minerały, gliny i tlenki, mógłby być dostawcą surowców dla zrównoważonej kolonii, odzwierciedlając tożsamość materiałową miejsca.

Połączenie tradycyjnych metod z nowymi technologiami druku 3D i robotycznego druku 3D może znaleźć zastosowanie zarówno w przypadku elementów architektonicznych różnej skali, projektów modułowych siedlisk, jak i ekstruzji surowców. Ta hipoteza

local resources for a sustainable colony reflecting the identity of materials mapped on the spot. The merge of already applicable and traditional methods could connect with the new technologies of 3D printing and robotic 3D printing either for several-scaled architectural components, modular dwelling projects and raw material extrusion 3D printing. This hypothesis on the mining possibilities referring to Mars, examined through speculative design attributes, could simulate the way we could perceive resource sustainability on Earth.

The big challenge of incorporating tools, technologies, human labor and complex construction activities is solved by the robotic 3D printing methods. The project indicates the use of clay materials in extrusion ceramic 3D printing as a speculation on a smaller scale method. The possibilities are similar and require further research when it comes to larger scale ceramic 3D printing. Clay materials are also compatible with robotic 3D printing, a six axes robotic printing arm, promising a scalar production that supports in situ construction, self-sufficiency, and adaptive design while it requires minimum assistance. The potentiality of the clay materials as a local supply, also spotted on Mars and with long lasting trustful properties is significant. The project supports the incorporation of the material in the digital fabrication methods as a contemporary activity of combining the traditional craftsmanship with emerging technologies. Ceramic 3D printing offers multiple advantag-

dotycząca możliwości wydobywczych na Marsie, badana przez pryzmat projektowania spekulatywnego, symuluje sposób, w jaki możemy postrzegać zrównowagę zasobów na Ziemi.

Dużym wyzwaniem przy projektach budowlanych jest użycie narzędzi, technologii, pracy ludzkiej i złożonych procesów konstrukcyjnych – a rozwiązaniem stają się metody robotycznego druku 3D. Projekt wskazuje na zastosowanie gliny w ekstruzji ceramicznej w mniejszej skali jako przykład spekulacji. Możliwości w większej skali są podobne i wymagają dalszych badań. Gliny są również kompatybilne z robotycznym drukiem 3D przy użyciu sześciosiowych ramion drukujących, co umożliwia produkcję na większą skalę, wspierając budowę in-situ, samowystarczalność i projektowanie adaptacyjne przy minimalnej potrzebie wsparcia. Potencjał gliny jako lokalnego surowca, obecnego także na Marsie, o trwałych i wiarygodnych właściwościach, jest znaczący. Projekt popiera włączenie tego materiału w cyfrowe metody fabrykacji jako współczesną praktykę łączenia tradycyjnego rzemiosła z nowymi technologiami.

Ceramiczny druk 3D oferuje wiele zalet, które redefiniują proces projektowania – od małoskalowych ekspresji artystycznych po rozwój infrastruktury wielkoskalowej. Metody cyfrowej fabrykacji demokratyzują dostęp do produkcji, umożliwiając wytwarzanie in-situ, zaawansowaną zrównowagę i

es that redefine the process of design in both small-scale artistic expression and large-scale infrastructure development. The digital fabrication methods democratize the access to manufacturing, enabling in-situ production, advanced sustainability and self-sufficiency. The project visualizes how the first Martian residents could incorporate the scientific knowledge and the technology, suitable for the terrain of the planet to build something for the first time by human factors on Mars while following a strict protocol in terms of sustainability. The easy accessibility to the 3D printing technologies for advanced utilities, research, education and creativity offers opportunities in designing for several perspectives. As an open source learning system with available problem resolving guidance, 3D printing could work as an educative medium for a new model of a citizen. An independent creator who minimizes the environmental impact and identifies the territory as a responsible and mindful resource manager. The hypothetical model of the Martian Citizen's profile, is functioning according to the fiction of the transplanetary colony. The conceptualization of the Martian archetypes aims to work as a critique on the urgency of shifting the culture towards waste management and responsible use of resources with the incorporation of available technological solutions.

The first colony is framed by new mentalities, an original new culture that reflects mindfulness towards survival in harsh environments. The Mar-

samowystarczalność. Projekt wizualizuje, w jaki sposób pierwsi mieszkańcy Marsa mogliby łączyć wiedzę naukową i technologię, dostosowane do warunków planety, aby zbudować coś po raz pierwszy siłami człowieka, przestrzegając surowych protokołów w zakresie zrównoważonego rozwoju.

Łatwy dostęp do technologii druku 3D dla celów użytkowych, badawczych, edukacyjnych i twórczych otwiera perspektywę projektowania z wielu punktów widzenia. Jako otwarty system edukacyjny z dostępem do narzędzi rozwiązywania problemów druk 3D może pełnić funkcję medium dydaktycznego dla nowego modelu obywatela – niezależnego twórcy, który minimalizuje wpływ na środowisko i traktuje swoje otoczenie jako zasób wymagający odpowiedzialnego zarządzania. Hipotetyczny profil obywatela marsjańskiego funkcjonuje zgodnie z fikcyjną narracją kolonii transplanetarnej. Konceptualizacja marsjańskich archetypów stanowi krytykę pilnej potrzeby zmiany kultury w kierunku gospodarowania odpadami i odpowiedzialnego wykorzystania zasobów z pomocą dostępnych technologii.

Pierwsza kolonia zbudowana jest na nowych mentalnościach – kulturze oryginalnej, odzwierciedlającej uważność wobec przetrwania w trudnych warunkach. Kultura marsjańska reprezentuje wartości ekologiczne, wykraczające poza zysk i luki innowacyjne. Ponieważ utrzymanie kolonii na Czerwonej Pla-

tian culture represents green values beyond profit and innovative gaps. As sustaining the colony on the Red Planet is highly prioritized, the Martians pursue a survival with limited resources. The fictional Sustainable Bathroom showcases the possibilities of the tools and the materials as innovative methods and potential factors in sustainable living. The ceramic extrusion 3D printing could relay also to mud or clay printing avoiding extra costs and energy consumption in firing, as the last stage of delivering final products. Seamlessly related to innovation, 3D printing solves the issue of creating complex geometries with a fully accessible analysis and modification of a project as a code. The code together with one tool and one material simplify the production process and lower the requirements of traditional production, the labor needed, the transportation costs and excessive elements in construction. 3D printing links with the principles of sustainability as for re-use, reduce and recycle. The accessibility of the procedure in 3D printing revolutionizes how humans build and live, especially in the context of self-sufficiency and environmental consciousness.

Prioritising the needs of a survival driven habitat, the project analyses the simplification of prototyping process with the involvement of digital crafting. The issue of reproduction of complex geometries and morphologies for the sanitation of a bathroom is achieved with a strong presence of 3D printing. While choosing on-site materials, fo-

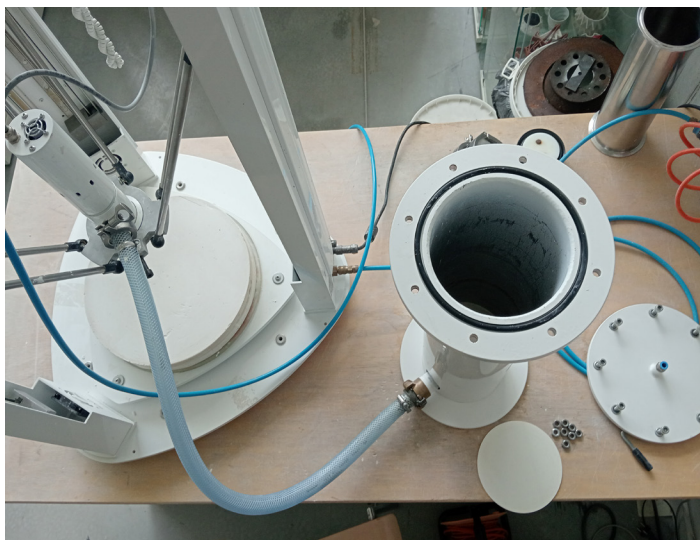
necie jest absolutnym priorytetem, Marsjanie dążą do przetrwania w oparciu o ograniczone zasoby. Fikcyjna Zrównoważona Łazienka ukazuje potencjał narzędzi i materiałów jako innowacyjnych metod i czynników w zrównoważonym życiu.

Ekstruzja ceramiczna w druku 3D mogłaby być oparta również na glinie czy błocie, co pozwoliłoby uniknąć dodatkowych kosztów i zużycia energii związanych z procesem wypalania jako końcowym etapem produkcji. Druk 3D, ściśle związany z innowacyjnością, rozwiązuje problem tworzenia złożonych geometrii, umożliwiając pełną analizę i modyfikację projektu w postaci kodu. Kod, jedno narzędzie i jeden materiał upraszczają proces produkcji, obniżają wymagania tradycyjnych metod, zmniejszają zapotrzebowanie na pracę, koszty transportu oraz eliminują nadmiarowe elementy konstrukcyjne. Druk 3D wpisuje się w zasady reduce, reuse, recycle – redukcji, ponownego wykorzystania i recyklingu.

Dostępność procedur druku 3D rewolucjonizuje sposób, w jaki ludzie budują i żyją – szczególnie w kontekście samowystarczalności i świadomości ekologicznej.

Priorytetem w habitacie napędzanym potrzebą przetrwania jest uproszczenie procesu prototypowania z wykorzystaniem cyfrowego rzemiosła. Problem reprodukcji złożonych geometrii i mor-

cusing on ceramics, the Sustainable Martian Bathroom represents an unreal story of sustainability concepts that invite a closer look to the treatment of consumption. Zero-Waste features are explained through the Crematorial Toilet and the Edible Toothpaste as prototypes that take a step aside from the market and the trend industries.



12. Preparing the ceramic 3D printer GAIA Multitool

3.2 In-situ resource utilization and material compatibility

The diverse landscape of Mars, shaped by aeolian processes, obtains similarities to Earth-like features. Volcanic terrains, dry lake beds, craters, rocky surface covered in dust is rich in building materials. Through the explorations that were conducted with the involvement of rovers, findings prove that the planet's surface is rich in iron oxide, clays, basalt and silicates, elements that can be adapted for use in ceramics. The already existing, yet continuously developing 3D printing technologies optimized for regolith paste

fologii dla urządzeń sanitarnych łazienki rozwiązano poprzez silną obecność technologii druku 3D. Wybór materiałów lokalnych, ze szczególnym uwzględnieniem ceramiki, sprawia, że Zrównoważona Łazienka Marsjańska reprezentuje nierealną opowieść o koncepcjach zrównoważoności, które zachęcają do głębszego namysłu nad sposobami konsumpcji.

Cechy Zero-Waste wyrażone są poprzez prototypy, takie jak Toaleta Kremacyjna czy Jadalna Pasta do Zębów, które odchodzą od logiki rynku i przemysłowych trendów.

3.2 Wykorzystanie zasobów in-situ i kompatybilność materiałowa

Zróznicowany krajobraz Marsa, ukształtowany przez procesy eoliczne, posiada liczne podobieństwa do cech charakterystycznych dla Ziemi. Tereny wulkaniczne, wyschnięte jeziora, kratery i skalista powierzchnia pokryta pyłem są bogate w surowce budowlane. Dzięki eksploracjom prowadzonym przy udziale łazików udowodniono, że powierzchnia planety obfituje w tlenek żelaza, gliny, bazalt i krzemiany – pierwiastki i minerały, które mogą zostać zaadaptowane do wykorzystania w ceramice. Istniejące już, a jednocześnie wciąż rozwijane technologie druku 3D, zoptymalizowane pod kątem ekstruzji pasty z regolitu czy marsjańskich mieszanek glinianych, pozwalają na wytwarzanie

extrusion or Martian clay mixtures allow the fabrication of settlements and prototypes as essential infrastructures deriving from Martian soil, significantly reducing the need for Earth-bound supply chains.

In the in-situ resource utilization (ISRU) the principles of treatment, using locally mined materials are essential and at the same time efficient in terms of self sufficiency and sustainability, avoiding the costly transportation of resources from Earth. In the case of transportation of prefabricated habitats, construction elements or building supplies from Earth, the project would result in a prohibiting and environmentally taxing movement that would exhaust the resources of Earth in high levels taking into account the failing factor of Mars colonization. Instead, 3D printing speculates the use of Martian clays or other paste filaments, such as hypothetically a Martian fabricated concrete, as printing material, mixed with suitable material binders or recycled industrial byproducts. Early research and prototyping by space agencies and private companies already manifest the feasibility of this approach for building landing surfaces, protective walls, habitats, shelters, and functional objects, with minimized or remote 3D printing assistance. The ceramic materials chosen for the speculative prototyping of the project consisting of chamotte clay, high performance porcelain and stoneware clay rich in iron oxide, are functional simulation fantasies that connect to realistic analogs of material resources already

osiedli i prototypów jako podstawowych elementów infrastruktury pochodzących bezpośrednio z gleby Marsa, znacząco redukując potrzebę korzystania z ziemskich łańcuchów dostaw.

W koncepcji wykorzystania zasobów in-situ (ISRU) kluczowe znaczenie mają zasady przetwarzania i użytkowania lokalnie wydobywanych materiałów, które zapewniają samowystarczalność i zrównoważony rozwój, eliminując kosztowny transport zasobów z Ziemi. W przypadku transportu prefabrykowanych habitatów, elementów konstrukcyjnych lub materiałów budowlanych z Ziemi przedsięwzięcie takie stałoby się nie tylko zakazane z przyczyn ekonomicznych, lecz także niezwykle obciążające dla środowiska – dodatkowo zwiększając ryzyko niepowodzenia kolonizacji. Zamiast tego, druk 3D otwiera możliwość wykorzystania marsjańskich glin lub innych filamentów pastowych, np. hipotetycznego marsjańskiego betonu, jako materiału do druku – mieszanych z odpowiednimi spoiwami lub recyklingowanymi produktami ubocznymi przemysłu.

Wczesne badania i prototypowanie prowadzone przez agencje kosmiczne i prywatne firmy już potwierdzają wykonalność takiego podejścia w kontekście budowy lądowisk, ścian ochronnych, habitatów, schronów i obiektów użytkowych – przy minimalnym lub zdalnym wsparciu drukiem 3D. Materiały ceramiczne wybrane do spekulatywnego prototypowania w ramach projektu – m.in.

present on Mars, especially in regions like Jezero Crater, known for its post flood, clay-rich anatomy. The utility of these materials as extruded masses in 3D printing for the in-situ fabrication of the prototypes eliminates the logistical burden of transporting sanitary equipment from Earth. This hypothetical local production model aligns with the principle of self-autarky, wherein the first Martian citizens will be able or forced to produce their own domestic tools, facilities and solutions using only Martian supplies, minimizing construction mortars, and prioritizing the renewable energy of the prototype performance. The motives for energy regeneration are important in terms of sustainable long lasting survival in accordance with the capacity of resources that the Red Planet can provide. The hypothesis and the questions of what if humans had to adapt to a strictly energy efficient habitat or community on a dry, dune planet inspires the paradigm shift on the technological and industrial core that exhausts the Earth perpetually.

Ceramic material in terms of 3D printing, can be developed and shaped in printed layers, and with the use of a Delta 3D printer, a DIY ceramic 3D printer or a robotic arm 3D printer. There are endless possibilities in order to deliver complex forms with the use of fewer tools and fabrication processes such as mold making, screwed parts, without analogue fabrication and incorporation of heavy industrial tools, chemical binders. Of course, shortening the production time and lowering the material

glina szamotowa, wysokogatunkowa porcelana i kamionka bogata w tlenek żelaza – stanowią symulacyjne fantazje funkcjonalne, powiązane z realistycznymi analogami surowców obecnych na Marsie, szczególnie w rejonie krateru Jezero, znanego z gliniastej budowy po dawnych powodziowych osadach. Wykorzystanie tych materiałów w procesie ekstruzji 3D drukowanych prototypów eliminuje logistyczny ciężar transportu wyposażenia sanitarnego z Ziemi.

Ten hipotetyczny model produkcji lokalnej wpisuje się w zasadę samowystarczalności (autarkii), w której pierwsi Marsjanie będą zmuszeni do wytwarzania własnych narzędzi, urządzeń i rozwiązań wyłącznie z marsjańskich zasobów, minimalizując zapotrzebowanie na zaprawy budowlane i priorytetyzując odnawialne źródła energii dla działania prototypów. Motyw regeneracji energii staje się kluczowy dla zrównoważonego, długotrwałego przetrwania w ramach możliwości, jakie oferuje Czerwona Planeta. Hipotezy i pytania w rodzaju „co, jeśli” ludzie musieliby dostosować się do środowiska wymagającego skrajnej efektywności energetycznej, inspirując do refleksji nad koniecznością zmiany rdzenia technologicznego i przemysłowego, który na Ziemi nieustannie prowadzi do nadmiernej eksploatacji.

Materiały ceramiczne w kontekście druku 3D mogą być rozwijane i kształtowane warstwowo przy uży-

amount needed add on the credibility of digital fabrication. Speaking about revolutionizing manufacturing strategies, 3D printed ceramics could be promising and emerging architectural components in the building process on the Red Planet and for household amenities, with variable applications in the sanitation ceramics, bricks and tiles, vessels and clay housing.

As kaolin has been spotted on Mars, the hypothesis of developing ceramic materials for construction seems to have many practical possibilities. Kaolin is a key factor for the development of porcelain together with feldspar, alumina oxide, iron oxide and silicates. One of the most trustful materials for the residential amenities and long-lasting durable products is compatible with 3D printing meaning that it could be taken under serious consideration for the Martian in-situ manufacturing. The primal directions of surviving Mars require safety shelters designed for the harsh environment with extreme conditions and climate seasons that the first Martians will have to deal with. The geology of Jezero Crater and other Martian sites such as the canyon Valles Marineris reveals abundant clay minerals, allowing early settlers to mine and combine resources and later on 3D print on the Red Planet, without reliance on Earth's supply network. This confirms that 3D printed ceramic components are not just feasible, but financially and politically vital. They symbolize systems of autarky, planetary resource independence and self-sufficiency. 3D printed

ciu drukarek typu Delta, drukarek DIY do ceramiki czy ramion robotycznych. Możliwości dostarczania złożonych form z mniejszą liczbą narzędzi i procesów produkcyjnych – takich jak odlewnictwo, skręcane części czy ciężkie technologie przemysłowe – są praktycznie nieograniczone. Skrócenie czasu produkcji oraz zmniejszenie zużycia materiałów dodatkowo zwiększają wiarygodność cyfrowej fabrykacji. W kontekście rewolucji w strategiach produkcyjnych, drukowane 3D ceramiki mogą stać się obiecującymi i przełomowymi komponentami architektonicznymi w procesie budowy na Marsie, jak i wytwarzania sprzętów domowych, w tym urządzeń sanitarnych, cegieł, płytek, naczyń czy glinianych konstrukcji mieszkalnych.

Ponieważ na Marsie zidentyfikowano obecność kaolinu, hipoteza rozwijania materiałów ceramicznych na potrzeby budownictwa wydaje się mieć wiele praktycznych możliwości. Kaolin stanowi kluczowy składnik porcelany, w połączeniu z polowym szpakiem, tlenkiem glinu, tlenkiem żelaza i krzemianami. Jeden z najbardziej wiarygodnych materiałów dla elementów wyposażenia mieszkań i trwałych produktów użytkowych jest kompatybilny z drukiem 3D, co czyni go poważnym kandydatem dla marsjańskiej produkcji in-situ. Podstawowym wymogiem przetrwania na Marsie jest tworzenie bezpiecznych schronień zaprojektowanych z myślą o ekstremalnym klimacie i warunkach środowiskowych, z którymi będą musieli zmierzyć się pierwsi osadnicy.

ceramics could speculatively be one of the primal advanced design outcomes for the first, primitive steps to begin at the beginning on a planet that resembles to Earth but at the same time is unsuitable for a living as we know it. Paste 3D printing for architecture relates to a life without external or transplanetary inputs. However, 3D printing beyond Earth represents mindfulness without colonial dependency and production less emissions.¹

In this vision, ceramic is both nostalgic and futuristic. The bridge between craft and robotics, ancient knowledge and planetary-scale innovation identifies a self-sufficient community in places where resource management plays a pivotal role. The prototypes embody this idea by merging Speculative Design with environmental pragmatism. For example, the calibrated Mouthwash Cup (100 mL) addresses the urgent question of water scarcity while performing the oral care in places where fresh water is in crucial levels. Such a concern is grounded in research conducted by EPA on Earth-bound data, which estimates that brushing teeth with a running tap, or with a non-controlled water flow, wastes up to 15 liters per session. Having profound implications to resolve for resource utility on Mars, where water is mined and cycled with extreme effort, the mentalities and the habits of water wasting should be reconsidered. The prototypes of the oral care kit, Crateri Dentales re-imagine the performance of oral care as a hy-

Geologia krateru Jezero i innych miejsc na Marsie, takich jak kanion Valles Marineris, ujawnia obfitość minerałów ilastych, co umożliwia pierwszym osadnikom ich wydobycie, łączenie zasobów, a następnie drukowanie 3D bez konieczności korzystania z ziemskiej sieci zaopatrzeniowej. To potwierdza, że ceramiczne komponenty drukowane 3D są nie tylko wykonalne, ale także finansowo i politycznie istotne – symbolizują systemy autarkii, niezależności surowcowej i samowystarczalności planety. Mogą one spekulatywnie stanowić jedno z pierwszych zaawansowanych rezultatów projektowych w prymitywnych krokach budowy życia na planecie, która przypomina Ziemię, a jednocześnie pozostaje nieprzyjazna dla znanych form życia.

Drukowanie pastowe 3D w architekturze oznacza życie bez zewnętrznych czy transplanetarnych dostaw, a jego znaczenie poza Ziemią wiąże się z postawą świadomego projektowania – bez kolonialnej zależności i przy minimalnej emisji produkcyjnej.

W tej wizji ceramika jawi się jako zarówno nostalgiczna, jak i futurystyczna – pomost pomiędzy rzemiosłem a robotyką, starożytną wiedzą a innowacjami w skali planetarnej. Prototypy ucieleśniają tę ideę, łącząc projektowanie spekulatywne z pragmatyzmem środowiskowym. Na przykład skalibrowany kubek do płukania jamy ustnej (100 ml) odpowiada na pilne pytanie o deficyt wody, umożliwiając codzienną higienę

⁹ (Cabrol, 2018)

giene ritual for dry terrains such as on the Red Planet. The mindset behind the oral care kit is holistic, starting from the edible toothpaste pills that prevent the water waste while flushing the mouth cavities, promising a detoxifying intake, while the possibility of discarding sewage is replaced by storing and reuse in safe household practices such as plant watering. Martians using 3D printing for their product manufacturing can be considered independent makers and responsible caretakers of their own territory. The scenario could inspire the attitude of independence and survival on Earth where living requires a new, deeply mindful approach.

3.3 The 3D printing production as independence act towards domestic autonomy

3D printing on Earth is already being explored as a democratic manufacturing tool, allowing individuals to produce functional objects, household amenities, furniture pieces, and utensils by the use of raw materials, recycled polymers, bio-materials, experimental new materials and chemical compounds as filaments. On Mars, 3D printing technology will be commonly established rather than an option or a hobby. First Martians will be skilled in 3D printing methods, in the assistance of the printing process remotely or physically using locally produced materials and resources. The ability to produce private sanitary items, such as vessels for water storing, containers with new

w miejscach, gdzie świeża woda jest niezwykle ograniczona. Takie podejście znajduje potwierdzenie w badaniach EPA na Ziemi, które szacują, że szczotkowanie zębów przy odkręconym kranie lub bez kontroli przepływu wody powoduje stratę nawet do 15 litrów wody na jedno mycie.

Na Marsie, gdzie woda jest pozyskiwana i poddawana recyklingowi ogromnym wysiłkiem, mentalność i nawyki związane z jej marnotrawstwem muszą ulec zmianie. Prototypy zestawu do higieny jamy ustnej Crateri Dentales redefiniują praktykę higieny jako rytuał dostosowany do suchych terenów, takich jak Czerwona Planeta. Koncepcja zestawu jest holistyczna – od jadalnych tabletek z pastą do zębów, które zapobiegają marnotrawstwu wody podczas płukania, oferując jednocześnie efekt detoksykujący, po możliwość bezpiecznego magazynowania i ponownego wykorzystania ścieków np. do podlewania roślin.

Marsjanie, wykorzystując druk 3D w produkcji swoich wyrobów, mogliby być postrzegani jako niezależni twórcy i odpowiedzialni gospodarze własnego terytorium. Scenariusz ten może inspirować do postawy niezależności i przetrwania także na Ziemi, gdzie życie wymaga nowego, głęboko świadomego podejścia.

3.3 Druk 3D jako akt niezależności i domowej autonomii

features, or toiletry products, becomes part of a new ecological literacy: domestic production as care for survival and environmental respect. The speculative scenario of the 3D printing artisan Martians is the fiction that functions as an educative motive towards a greener future on Earth².

The speculation of the sustainable Martian bathroom is a manifestation for Martian domestic sovereignty. The first settlers, who are promised no return on Earth, must become designers, fabricators, and users in one continuous cycle to survive and colonize the Red Planet. This hypothesis collapses the industrial chain and introduces an interplanetary circular aesthetic that values proximity, reduction, regeneration, and zero-waste philosophy. The narrative of the 3D printed sanitary devices demonstrates how design and survival ethics converge into a digitally crafted storyline with educative attributes.

Surviving on Mars requires resource independence and ability to produce essential goods and structures, locally. 3D printing provides the freedom and simplifies the process of construction by allowing astronauts or settlers to manufacture everything from habitats to hygiene devices, storage vessels, and food-safe containers, using locally mined materials or regolith originated masses. The modular, automated nature of additive manufacturing directs towards an off-grid living where

Druk 3D na Ziemi jest już badany jako demokratyczne narzędzie produkcyjne, umożliwiające jednostkom wytwarzanie funkcjonalnych przedmiotów, sprzętów domowych, mebli czy naczyń z surowców naturalnych, polimerów z recyklingu, biomateriałów, eksperymentalnych materiałów lub związków chemicznych wykorzystywanych jako filamenty. Na Marsie technologia druku 3D będzie standardem, a nie opcją lub hobby. Pierwsi Marsjanie będą biegli w metodach druku 3D, zarówno w asyście zdalnej, jak i bezpośrednio, wykorzystując lokalnie dostępne materiały i surowce. Możliwość wytwarzania prywatnych artykułów sanitarnych, takich jak pojemniki do przechowywania wody, naczynia z nowymi funkcjami czy produkty higieniczne, staje się częścią nowej ekologicznej alfabetyzacji: produkcja domowa jako troska o przetrwanie i szacunek dla środowiska. Spekulatywny scenariusz „artysta-drukarz” na Marsie funkcjonuje jako edukacyjny motyw promujący zieloną przyszłość na Ziemi.

Spekulatywny model Sustainable Martian Bathroom manifestuje marsjańską suwerenność domową. Pierwsi osadnicy, którym nie obiecano powrotu na Ziemię, muszą stać się jednocześnie projektantami, producentami i użytkownikami, tworząc ciągły cykl niezbędny do przetrwania i kolonizacji Czerwonej Planety. Hipoteza ta redefiniuje łańcuchy przemysłowe, wprowadzając międzyplanetarną estetykę cyrkularną opartą na zasadach bliskości, redukcji, regeneracji i filozofii zero-waste. Narracja dotycząca drukowanych

¹⁰ (Horn, 2024)

efficiency, adaptability, and low-waste production are key. The production is labeled as Martian and is designed according to the climate conditions of the planet, the necessary requirements and it opposes the production and industry mistakes that provoked the environmental issues on Earth.

Moreover, automated robotic systems can conduct both attended and unattended printing, enabling continuous production even during periods (long lasting sandstorms, extreme low temperatures or dry periods) when human labor is unavailable. Combined with renewable energy sources, like for example solar power, these systems allow settlers to maintain a self-sufficient cycle of creation, repair, and adaptation in real-time, essential factors for a long-term habitation and resilience on Mars.

3.4 Sustainability and Zero-Waste Practices

Water is a critical resource on Mars, requiring complex extraction from ice deposits or atmospheric processing. The employment of ceramic 3D printing or extruded geo-polymer binders greatly reduces water usage compared to the conventional casting or traditional masonry. Furthermore, closed-loop systems can be designed to recycle wastewater, re-hydrate clay, and even reuse discarded or broken printed objects.

urządzeń sanitarnych pokazuje, jak etyka projektowania i przetrwania łączy się w cyfrowo wytworzonym scenariuszu edukacyjnym.

Przetrwanie na Marsie wymaga niezależności od zasobów i zdolności do lokalnej produkcji niezbędnych dóbr i struktur. Druk 3D zapewnia wolność i upraszcza proces budowy, pozwalając astronautom lub osadnikom wytwarzać wszystko, od habitatów po urządzenia higieniczne, pojemniki i naczynia spożywcze, wykorzystując lokalnie wydobyte surowce lub regolit. Modułowy, zautomatyzowany charakter produkcji przyrostowej sprzyja życiu poza siecią, w którym kluczowe są wydajność, adaptacyjność i produkcja o minimalnych stratach. Produkcja jest „marsjańska” – dostosowana do warunków klimatycznych planety i wymagań środowiskowych, sprzeciwiając się błędom przemysłowym, które doprowadziły do problemów ekologicznych na Ziemi.

Dodatkowo, zautomatyzowane systemy robotyczne mogą prowadzić druk zarówno nadzorowany, jak i bezobsługowy, umożliwiając ciągłą produkcję w okresach, gdy ludzka praca jest niemożliwa (długotrwałe burze piaskowe, ekstremalnie niskie temperatury lub okresy suszy). W połączeniu z odnawialnymi źródłami energii, np. solarną, systemy te pozwalają osadnikom utrzymać samowystarczalny cykl tworzenia, naprawy i adaptacji w czasie rzeczywistym – kluczowe dla długoterminowej egzystencji i odporności na Marsie.

Sustainability on Mars is not merely a preference but a survival imperative which is highly prioritized. The possibility to create sanitary ware, ceramic products, such as water-conserving sanitary devices, toilets and sinks or containers for hydroponic farming, contributes to a zero-waste living model. In-situ production that supports local materials approaches the culture of self-sufficiency and independence from distribution channels, often with harmful emissions, burdened waste, and resource exhaustion.

The Crematorial Toilet is an example of a zero-waste situation that forms the whole design identity of the prototype in addition to the sustainability credits of the Martian bathroom. The prototype shifts the cultural and ecological state of waste and resource management. The 3D printed sanitary device reduces environmental impact, and fosters creativity in form and function and can be easily printed and assembled by Martians in a sustainable shelter on the Red Planet. The replacement of the flush is a comment yet approaching existing models such as the conventional incineration toilets used in cases where fresh water cannot be wasted or used for hygiene purposes. Alternatively, the electrical controlled firing in a durable ceramic shell adds on the zero-waste ethics and performance of the whole dwelling providing other advantages such as ash production and thermal properties during the extremely cold temperatures (-60°C in the mainland and -120°C in the poles).

3.4 Zrównoważony rozwój i praktyki zero-waste

Woda jest krytycznym zasobem na Marsie, wymagającym skomplikowanej ekstrakcji z lodowych pokładów lub przetwarzania atmosferycznego. Wykorzystanie druku 3D ceramiki lub wytłaczanych spoiw geopolimerowych znacznie redukuje zużycie wody w porównaniu z tradycyjnym odlewaniem czy konwencjonalnym budownictwem. Ponadto, systemy zamkniętej pętli mogą zostać zaprojektowane do recyklingu ścieków, ponownego nawilżania gliny, a nawet ponownego wykorzystania odrzuconych lub uszkodzonych wydruków.

Zrównoważony rozwój na Marsie nie jest jedynie preferencją – jest imperatywem przetrwania i priorytetem. Możliwość tworzenia ceramiki użytkowej, takich jak urządzenia sanitarne oszczędzające wodę, toalety i umywalki czy pojemniki do upraw hydroponicznych, wpisuje się w model życia zero-waste. Produkcja in-situ z wykorzystaniem lokalnych materiałów wspiera kulturę samowystarczalności i niezależności od kanałów dystrybucji, które generują szkodliwe emisje, nadmiar odpadów i wyczerpują zasoby.

Crematorial Toilet jest przykładem rozwiązania zero-waste, które definiuje całą tożsamość projektową prototypu, wpisując się w koncepcję zrównoważonej łazienki marsjańskiej.

3.5 Material selection for the prototypes of the Sustainable Martian Bathroom

The selection of the materials that were analysed in order to perform scientific research on the sustainable sanitary solutions- following the speculation of the Martian colony, was applied as for delving deeper into the possibilities of the 3D printed ceramics. The ceramic material is presented in a context of re-evaluation of the production industry, for sustainability and accessibility.

Ceramic production is noticed to be performed for as long as humanity leaves their trace on Earth. Ceramics represent tradition in terms of knowledge, technology and innovation. The possibilities of the material in manufacturing processes are endless. When modeled, clay can offer various shapes, volume and thickness, transparency,



13. Bentonite clay, used in NML

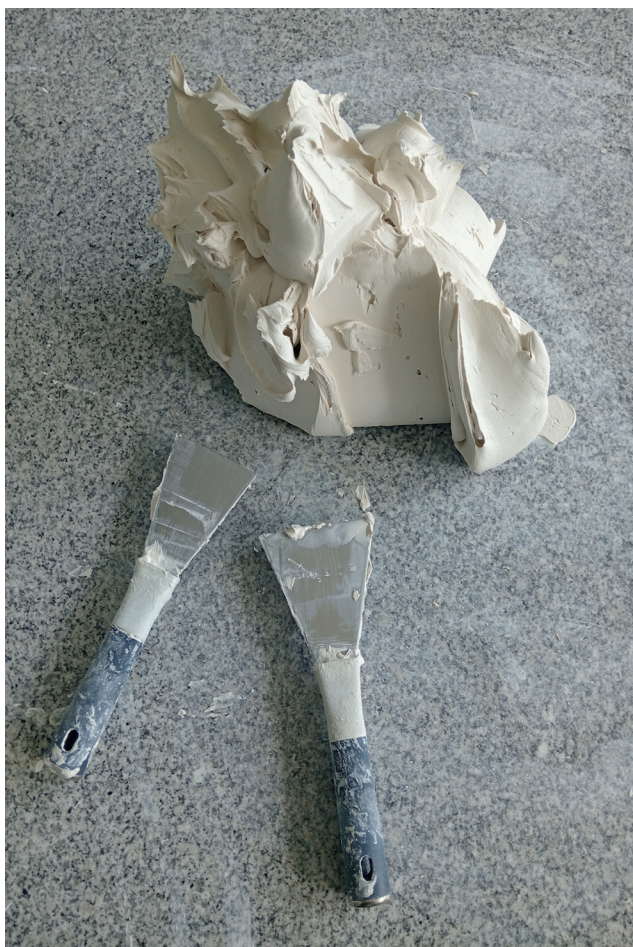
Urządzenie zmienia kulturowe i ekologiczne postrzeganie zarządzania odpadami i zasobami. Drukowane 3D wyposażenie sanitarne redukuje wpływ na środowisko, rozwija kreatywność w formie i funkcji, a osadnicy mogą je łatwo wytwarzać i montować w marsjańskim schronieniu.

Zastąpienie spłuczki komentarzem wobec konwencjonalnych modeli to analogia do istniejących toalety incineracyjnych stosowanych tam, gdzie woda pitna nie może być marnowana. Alternatywnie, elektrycznie sterowane wypalanie w trwałej obudowie ceramicznej wpisuje się w etykę zero-waste i poprawia wydajność całego mieszkania, przynosząc dodatkowe korzyści, takie jak produkcja popiołu czy właściwości termiczne w ekstremalnie niskich temperaturach (-60°C na nizinach, -120°C przy biegunach).

3.5 Dobór materiałów do prototypów Sustainable Martian Bathroom

Dobór materiałów do badań nad zrównoważonymi rozwiązaniami sanitarnymi w kontekście hipotetycznej kolonii marsjańskiej koncentrował się na możliwościach druku 3D ceramiki. Materiał ceramiczny został rozpatrzony w kontekście rewaluacji przemysłu produkcyjnego, pod kątem zrównoważonego rozwoju i dostępności.

compatibility with other materials, it can be molded, built with tools, wheel-thrown and 3D printed. It obtains excellent thermal insulation properties and it offers a long lasting product life with low efforts on maintenance through the years. When fired in the correct temperature, ceramics conserve water safely and they are considered ideal food safe material.



14. Preparing the feldspar porcelain for 3D printing

It is worth mentioning that ceramics are related to tested chemistry when it comes to recipes that focus on the properties of ceramics. The ceramic material covers a wide spectrum of functionality such as everyday life, architecture, decoration and high temperature practices. A durable ceramic

Ceramika towarzyszy ludzkości od najdawniejszych czasów, łącząc tradycję, wiedzę, technologię i innowację. Możliwości formowania materiału w procesach wytwarzania są praktycznie nieograniczone: glinę można modelować, nadawać jej różne kształty, objętość, grubość, przezroczystość, łączyć z innymi materiałami, odlewać, formować na kole garncarskim i drukować 3D. Ceramika posiada doskonałe właściwości izolacyjne, długą trwałość przy minimalnej konserwacji i, po odpowiednim wypaleniu, jest materiałem bezpiecznym dla kontaktu z żywnością.

W badaniach wybrano głównie porcelanę, składającą się z kaolinu, kwarcu i skały skaleniowej, wypalaną w wysokich temperaturach. Receptury porcelany były dopasowane do wymagań każdego prototypu: kontrolowanego wypalania w czasie rzeczywistym, cech bezpieczeństwa kontaktu z żywnością oraz przezroczystości ciała ceramicznego. Ceramika kamionkowa była mieszana z porcelaną, aby uzyskać bardziej wytrzymałe struktury odporne na nagłe zmiany temperatur i zmniejszyć ryzyko pęknięć. Dodatek szamotu umożliwia szybszy druk 3D przy większych dyszach i wyższych warstwach, co skracało czas produkcji.

Porcelanowe elementy były glazurowane w zależności od funkcji: miska toalety glazurowana, piec pod strukturalny pozostawiony bez szkliwa dla zmniejszenia naprężeń, miska popiołowa

can be used as an object of utility, as a design and building component, or even a high performance element.

The Ceramic materials that were chosen for the development of the research were mostly porcelain consisting essentially of kaolin, quartz, and a feldspathic rock and was fired at a high temperature. The porcelain recipes were created according to the needs of each prototype project and their performance, such as real time controlled firing, food safe characteristics, and transparency of the ceramic body. Stoneware clay was mixed with porcelain to create an even stronger ceramic body that resists the stress from sudden temperature shifts and lowers the risks of cracks. Besides, the use of chamotte in stoneware clay leads to a faster 3D printing process as it is recommended for thicker printing nozzles, and increased layer heights during the 3D printing process, that accelerate the production process in terms of time saving. The porcelain body was glazed when necessary with white mat glaze covering naturally the natural beige tones of the mixture of chamotte clay and porcelain. For the Crematorial Toilet the assembled parts were glazed according to the use. The toilet bowl was glazed while the substructural furnace was left unglazed in order to create less stress in the firing chamber. The ash bowl was glazed as well for easy post firing treatment. All the oral care vessels were glazed for the reason of separation of the ceramic material with the contained liquids, minimizing the risk of water absorbing

glazurowana dla łatwiejszej obróbki po wypaleniu. Naczynia do higieny jamy ustnej również były glazurowane w celu oddzielenia materiału ceramicznego od przechowywanych cieczy, minimalizując absorpcję wody i pozostałości. Smart Sink i powiązane akcesoria wykonano z porcelany parian – samowitryfikującej, bogatej w skalenie, wypal

Smart Sink i powiązane akcesoria wykonano z porcelany parian – samowitryfikującej, bogatej w skalenie, wypalanej w niższych temperaturach w porównaniu z porcelaną techniczną. Wykorzystanie ceramiki drukowanej 3D w badaniach miało na celu sprawdzenie możliwości materiału oraz wytworzenie finalnych produktów przy użyciu jednego narzędzia i jednego materiału, w duchu produkcji zrównoważonej. Badania te eksplorują granice materiału w druku 3D jako innowacyjnej techniki projektowania zrównoważonego – od fazy produkcji aż po użytkowanie produktu.

and cavity remains.

The Smart Sink and the related accessories were made with a special type of porcelain, the so-called parian porcelain. A self vitrified porcelain rich in feldspar, fired in lower temperatures compared to the technical porcelain.

The employment of 3D printed ceramics in this scientific research, aims to examine the possibilities of the material and the delivery of final products with the use of one tool and one material as a practice of sustainable production. Using the available resources to deliver the prototypes, the research is triggering the limits of the material in 3D printing as an innovative technique of sustainable design from the production phase until the product performance.



15. The ceramic 3D printer Gaia Multitool



4. The prototypes of the Sustainable Martian Bathroom

The fictional idea of the sustainable Martian Bathroom is described through a series of design pieces that function in the hypothesis of colonising Mars, while water resources are facing crucial limitations. The narration behind this design project is the functional factor, working as a starting point for discussion about sustainability on Earth and beyond. The prototypes work as objects of commentary, taking the role of re-imagined sanitary objects that don't refer to the market values. However, the incorporated methods mirror the advancement of technology that could offer solutions that are currently emerging in the design market. 3D printed ceramics revolutionize the production status and offer the advantages of minimized waste, and production needs such as the extended use of tools and materials, human assistance, manufacturing issues due to environmental conditions while following sustainability values. The project speaks about environmental consciousness, valuing water conservation through the prism of a fictional narrative, colonizing the Red Planet.

4. Prototypy Sustainable Martian Bathroom

Fikcyjny koncept Sustainable Martian Bathroom jest przedstawiony poprzez serię projektowych obiektów funkcjonujących w hipotezie kolonizacji Marsa, w warunkach krytycznego ograniczenia zasobów wodnych. Narracja stojąca za projektem ma wymiar funkcjonalny i stanowi punkt wyjścia do dyskusji o zrównoważonym rozwoju zarówno na Ziemi, jak i poza nią. Prototypy pełnią rolę komentarza projektowego, interpretując obiekty sanitarne w oderwaniu od wartości rynkowych. Jednocześnie zastosowane metody odzwierciedlają aktualny rozwój technologii, który może oferować rozwiązania pojawiające się na rynku projektowym.

Drukowane w 3D ceramiki rewolucjonizują proces produkcji, minimalizując odpady i wymagania produkcyjne, takie jak nadmierne użycie narzędzi, materiałów, ingerencję człowieka czy trudności wynikające z warunków środowiskowych, jednocześnie zachowując wartości zrównoważonego rozwoju. Projekt podkreśla świadomość ekologiczną, zwracając szczególną uwagę na oszczędność wody przez pryzmat fikcyjnej narracji o kolonizacji Czerwonej Planety.

4.1 Crateri Dentales – A Sustainable Oral Care Kit for Martian Living

The present study explores the development of 3D-printed sanitary devices designed to serve a sustainable Martian bathroom. This chapter introduces Crateri Dentales, a speculative oral care set designed to accommodate the constraints of water scarcity in extraterrestrial habitats. The Crateri Dentales set not only proposes an alternative method for daily hygiene but also stimulates critical reflection on resource consumption, sustainability, and the psychological adaptation required for life on Mars¹¹.

The hypothesis of living with limited access to water generates the need to re-evaluate the daily water waste in a domestic environment. The EPA (Environmental Protection Agency) reports that by leaving the tap water running while brushing our teeth, we can waste up to 30 liters of water daily and almost 9 tons yearly. What if we minimized the waste of water to zero? An oral care set of design items used with an environmental consciousness on water saving would decrease the disposal of water almost entirely.

During this research, the interest is centralized at a series of conceptual design objects– the sanitary devices associated with a moderated use of

4.1 Crateri Dentales – Zrównoważony zestaw do higieny jamy ustnej dla życia na Marsie

Badanie koncentruje się na rozwoju drukowanych w 3D urządzeń sanitarnych w ramach Sustainable Martian Bathroom. Crateri Dentales to spekulatywny zestaw do higieny jamy ustnej zaprojektowany z uwzględnieniem ograniczeń w dostępie do wody w habitacyjnych warunkach pozaziemskich. Zestaw nie tylko proponuje alternatywne podejście do codziennej higieny, ale także pobudza refleksję nad zużyciem zasobów, zrównoważonym rozwojem i adaptacją psychologiczną niezbędną do życia na Marsie.

Hipoteza życia przy ograniczonym dostępie do wody wymusza ponowną ocenę codziennych strat wody w środowisku domowym. Dane EPA (Environmental Protection Agency) wskazują, że pozostawiając wodę lejącą się podczas szczotkowania zębów, można zmarnować do 30 litrów wody dziennie, co daje prawie 9 ton rocznie. Co jeśli zmniejszymy marnotrawstwo wody niemal do zera? Zestaw higieny jamy ustnej, zaprojektowany z myślą o oszczędności wody, znacząco ogranicza jej niekontrolowane zużycie.

Podczas badań szczególna uwaga została poświęcona konceptualnym obiektom sanitarnym, które umożliwiają ograniczoną konsumpcję wody w pierwszych marsjańskich łazienkach. Projekt

¹¹ (Robinson, 2022 , p. 65–85)

water in a bathroom facility on the first Martian residency. The motive is to design a sustainable Martian bathroom with profound focus on saving water during the daily habits of the first Martian users. Rating the enormous effort to map and mine ice from the regolith of the planet, we should question how we chose to use water in everyday life and how much we care about an imperishable future.

The first issue that the project is addressing is how to establish sustainable oral care in terms of water usage. Given that the EPA reports that by leaving the tap running while performing the oral hygiene, the wasted amounts of water reach up to 15 litres of water each time. When multiplied by two for brushing teeth twice a day, over the span of one month, we could waste up to 757 litres of water and almost 9 tons in one year. Crateri Dentales is both a functional solution and a Speculative Design exercise, emphasizing the need for sustainability in even the most routine aspects of daily life.

ma na celu stworzenie zrównoważonego środowiska higieny osobistej, w którym codzienne nawyki pierwszych użytkowników Marsa będą respektować ograniczone zasoby wodne. Biorąc pod uwagę ogromny wysiłek potrzebny do pozyskiwania i eksploatacji lodu z regolitu planety, warto zadać sobie pytanie, jak wykorzystujemy wodę na co dzień i jak dbamy o nieprzemijającą przyszłość.

Problem, który projekt podejmuje, dotyczy utrzymania zrównoważonej higieny jamy ustnej w kontekście zużycia wody. Z danych EPA wynika, że podczas szczotkowania zębów tracimy do 15 litrów wody na sesję. Przy myciu zębów dwa razy dziennie w ciągu miesiąca oznacza to 757 litrów, a w ciągu roku – niemal 9 ton wody. Crateri Dentales pełni funkcję zarówno rozwiązania funkcjonalnego, jak i ćwiczenia w Speculative Design, podkreślając potrzebę zrównoważonego podejścia do codziennych czynności.



17. The prototype Mouthwash cup in 3D printed copies.

4.1.1 The Mouthwash Cup

Prototype 1

Mouthwash Cup – 100 ml, 8 x 6 x 6 cm, ceramic, 3D printed, 2023.

The prototype is a 3D printed ceramic mouthwash cup that stabilizes the amount of used water during teeth brushing. It provides comfort to the oral care habit and motivates water saving in the Martian Sustainable Bathroom. The filament consists of porcelain and red clay rich in iron oxide, materials¹² which are found also on the Martian regolith. Designed to regulate water consumption during brushing, the Mouthwash Cup functions as a reservoir, providing a measured amount of water for oral care. This mechanism encourages users to be mindful of their water usage and prevents excessive waste. In order to offer a solution to the problem of uncontrollable water use for mouth rinsing, the project suggests the use of the Mouthwash Cup, which is the first prototype of the sustainable Martian bathroom. I have designed a 3D model in 3DS MAX by Autodesk using generated topology modifying features to create an algorithmic texture on the wall of a cup with a capacity of 100ml. The cup is 3D printed with porcelain and stoneware red clay rich in iron oxide. It is used to moderate water waste and creates a pattern of regulated water use while rinsing the mouth cavity. The

¹² (Zubrin, 2011)

4.1.1 Kubek do płukania ust – Mouthwash Cup

Prototyp 1

Mouthwash Cup – 100 ml, 8 × 6 × 6 cm, ceramika, druk 3D, 2023

Prototyp to ceramiczny kubek do płukania ust drukowany w 3D, który stabilizuje ilość wody używanej podczas szczotkowania. Zapewnia komfort użytkowania i motywuje do oszczędności wody w Sustainable Martian Bathroom. Filament składa się z porcelany i czerwonej gliny bogatej w tlenek żelaza – materiałów występujących również w regolitu marsjańskim.

Kubek działa jako zbiornik kontrolujący ilość wody, zachęcając użytkowników do świadomego korzystania z zasobów i zapobiegając nadmiernemu marnotrawstwu. W celu rozwiązania problemu niekontrolowanego zużycia wody, projekt sugeruje zastosowanie Mouthwash Cup jako pierwszego prototypu zrównoważonej łazienki marsjańskiej.

Model 3D został zaprojektowany w programie 3DS MAX firmy Autodesk, wykorzystując algorytmiczne modyfikacje topologii ścian kubka o pojemności 100 ml. Kubek drukowano z porcelany i czerwonej gliny kamionkowej bogatej w tlenek żelaza. Projekt umożliwia mode-

hypothesis of living with limited access to water generates the need to reevaluate daily water waste in a domestic environment. What if we minimize water waste to zero? An oral care set of design items used with environmental consciousness on water saving would decrease water disposal almost entire-

rowanie marnotrawstwa wody, tworząc wzorzec świadomego korzystania podczas płukania jamy ustnej.

Hipoteza życia przy ograniczonym dostępie do wody wymaga ponownej oceny codziennych strat wody. Minimalizacja marnotrawstwa staje się kluczowym elementem projektowania funkcjonalnego zestawu higieny osobistej z myślą o odpowiedzialnym korzystaniu z zasobów.



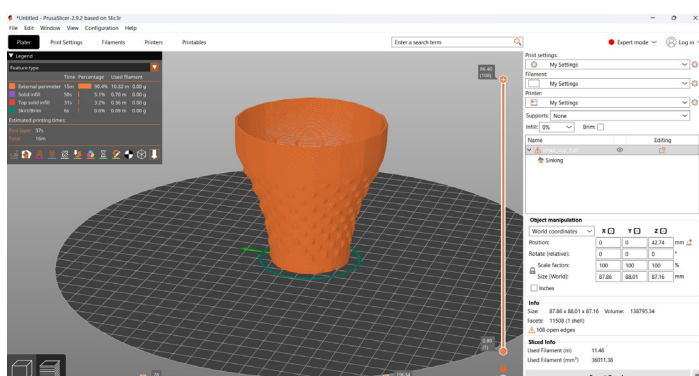
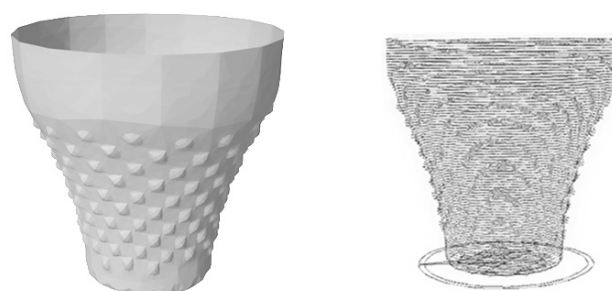
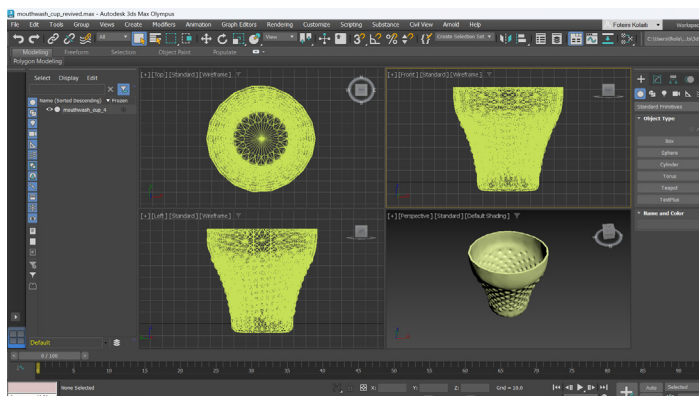
18. The mouthwash Cup

19. Designing the Mouthwash Cup in 3DS MAX

20. Slicing process in Prussa Slicer

21. .stl file and GCODE 3D view

22. Unfired 3D printed cups



4.1.2 The Spittoons

Prototype 2

Dental Spittoon (A) – 400mL, 12 x 10 x 9 cm, ceramic 3D printed, 2023.

Dental Spittoon (B) – 400mL, 12 x 12 x 9 cm, ceramic 3D printed, 2023.

The design history of the spittoon spans from ancient Chinese vessels to late 19th-century American public health receptacles, evolving in response to tobacco use and disease prevention. A spittoon is a portable object to store discarded liquids usually when they are spitted. It saves water and cavities during the oral care patterned process while the stored water can be fully recycled and reused for domestic use. The prototype serves a sustainable system of storing water in order to reuse it safely in a Martian residency. It is 3D printed and the filament consists of porcelain and red clay rich in iron oxide, materials which are found also on the Martian regolith.

The following prototypes that compose the oral care kit are two versions of 3D printed ceramic spittoons, titled Spittoon A and Spittoon B, both with a capacity of 400mL. These two emerging objects serve the fictional function of spitting and collecting discarded water

4.1.2 Spittoons – Zrównoważone naczynia do płukania jamy ustnej

Prototyp 2

Dental Spittoon (A) – 400 mL, 12 × 10 × 9 cm, ceramika, druk 3D, 2023.

Dental Spittoon (B) – 400 mL, 12 × 12 × 9 cm, ceramika, druk 3D, 2023.

Historia spittoonów sięga od starożytnych naczyń chińskich po amerykańskie pojemniki używane w XIX wieku w celu ochrony zdrowia publicznego. Spittoon to przenośny przedmiot służący do przechowywania wydalanych płynów, najczęściej śliny. W kontekście Marsjańskiego zestawu higieny, spittoon pozwala oszczędzać wodę i ograniczać straty, a przechowywana ciecz może być w pełni poddana recyklingowi i ponownie wykorzystana w gospodarstwie domowym.

Prototyp stanowi element systemu zrównoważonego gospodarowania wodą w warunkach marsjańskiej rezydencji. Został wykonany w technologii druku 3D z wykorzystaniem filamentu składającego się z porcelany i czerwonej gliny bogatej w tlenek żelaza – materiałów obecnych również w marsjańskim regolicie.

for reuse in domestic purposes such as plant watering or humidifying the interior ambiance, in speculation. Spittoon (A) has an ergonomic shape to adjust on the facial area of the nose and mouth. Additionally, Spittoon (B) is portable and comes with a silicone lid that secures liquids temporarily. The speculative use of a spittoon as a vessel for disposed water after mouth washing conceptualizes the pattern of a functional receptacle from the past that was useful when interiors were missing bathrooms with sanitary devices. The Spittoons are 3D printed with porcelain and red stoneware clay rich in iron oxide, materials which exist also on the Martian ground according to observations made by the rover Perseverance which landed at the Crater Jezero on February 18, 2021.

Zestaw spittoonów obejmuje dwie wersje ceramicznych naczyń: Spittoon A i Spittoon B, każda o pojemności 400 mL. Obiekty te spełniają funkcję fikcyjną: gromadzenia i przechowywania odpadów wodnych po płukaniu ust w celu ponownego użycia, np. do podlewania roślin lub nawilżania powietrza w habitatowym wnętrzu.

Spittoon A ma ergonomiczny kształt dopasowany do okolic nosa i ust.

Spittoon B jest przenośny i wyposażony w silikonową pokrywkę, która tymczasowo zabezpiecza zgromadzoną ciecz.

Spekulatywne użycie spittoonów jako pojemników na wodę po płukaniu ust nawiązuje do historycznej funkcji naczyń używanych, gdy brakowało pełnych systemów sanitarnych w pomieszczeniach mieszkalnych. Oba spittoony zostały wydrukowane w 3D z porcelany i czerwonej gliny kamionkowej bogatej w tlenek żelaza, materiałów, które – według obserwacji łazika Perseverance w Jezero Crater – występują także na powierzchni Marsa.



23. The prototype Spittoon 1 in 3D printed copies



24. The prototype Spittoon 2 in 3D printed copies



25. NML toothpaste and Crateri Dentes

4.1.3 NML, 3D printed edible toothpaste pills

Prototype 3

Edible toothpaste pills (40pcs), star shaped– single pill size: 1 x 1 x 0.5 cm, 3D printed, bentonite clay, sodium bicarbonate, refined coconut oil, 100% Pure Peppermint Essential Oil, 2023.

The research project includes a toiletry product, the edible toothpaste “NML” that comes in the form of 3D printed clay pills and pairs with the prototype 1, the Mouthwash Cup and the prototype 2, the Spittoons . The formula of NML is based on calcium bentonite clay. The intention of an edible toothpaste aims to avoid chemical impact on the water used when brushing teeth. This natural toothpaste promises to maintain wider oral health and increase the quality of discarded water, which later is to be recycled or reused for domestic mainenance. Thanks to the properties of calcium bentonite clay, the formula of the edible toothpaste might prevent intoxication from extreme environmental conditions such as the high level of CO₂ existing on planet Mars. The toiletry product also contains sodium bicarbonate, and plant-based essential oils from herbs, grown in hydroponics. Potentially, the essential oils could be derived from cultivation farming on the Red Planet and in the Advanced Plant Habitat (APH). It offers a zero-rinse and zero-contamination oral care routine.

4.1.3 NML – 3D drukowane jadalne pastylki do zębów

Prototyp 3

Jadalne pastylki do zębów (40 szt.), w kształcie gwiazdek – pojedyncza pastylka: 1 × 1 × 0,5 cm, druk 3D, bentonitowa glina, wodorowęglan sodu, rafinowany olej kokosowy, 100% naturalny olejek miętowy, 2023

Projekt obejmuje produkt toaletowy – jadalną pastę do zębów NML, w formie drukowanych w 3D pastylek z gliny. Produkt współgra z prototypem 1 (Mouthwash Cup) i prototypem 2 (Spittoons). Formuła NML opiera się na glinie bentonitowej i ma na celu ograniczenie chemicznego wpływu na wodę używaną podczas szczotkowania. Naturalna pasta zapewnia dbałość o zdrowie jamy ustnej, a użyta woda może być później poddana recyklingowi lub ponownie wykorzystana w gospodarstwie domowym.

Dzięki właściwościom gliny bentonitowej formuła pasty może chronić przed toksycznym wpływem ekstremalnych warunków środowiskowych, takich jak wysoki poziom CO₂ na Marsie. Produkt zawiera również wodorowęglan sodu oraz olejki roślinne pochodzące z hydroponicznej uprawy roślin, które potencjalnie mogłyby być produkowane na Czerwonej Planecie w Advanced Plant Habitat (APH). Pastylki zapewniają

The cultivation of plants in monitored extraterrestrial environments is a critical step toward self-sustaining human colonies in space. A high potential system developed for this purpose is NASA's Advanced Plant Habitat (APH) aboard the International Space Station (ISS). The APH is based on a fully automated plant cultivation research facility designed to support essential plant studies for extended durations. Utilizing LED lighting, porous clay substrates, and controlled-release fertilizers, the APH distributes water, nutrients, and oxygen to the plants in a closed-loop environment, with minimal crew intervention.

For the NML 3D printed edible toothpaste pills, the APH has particular relevance. These pills are envisioned as a sustainable oral care solution for extraterrestrial living, combining essential oils derived from cultivated plants combined with functional ingredients for the oral care. The contained essential oils such as mint, clove, and thyme require reliable cultivation methods as long as extreme conditions occur in the farming process. The APH demonstrates how controlled growth environments can sustain the production of such crops, ensuring a steady supply of natural flavorings, antimicrobial agents, and functional oils needed for pill formulation, production of toiletries and cosmetics.

The product follows the speculative concepts of the whole project and it is not related to the market mass pro-

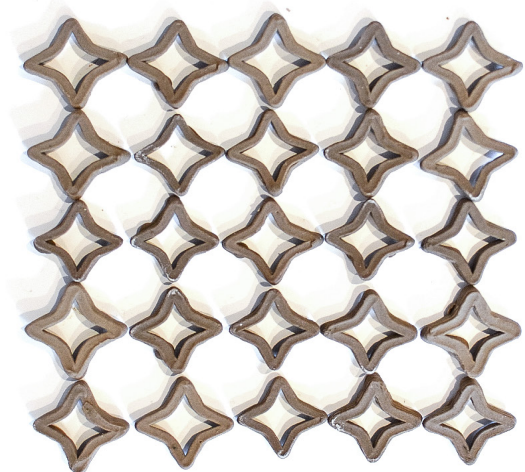
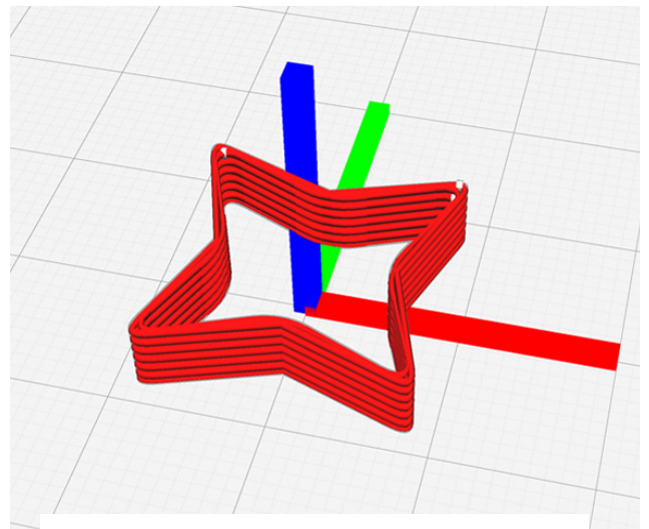
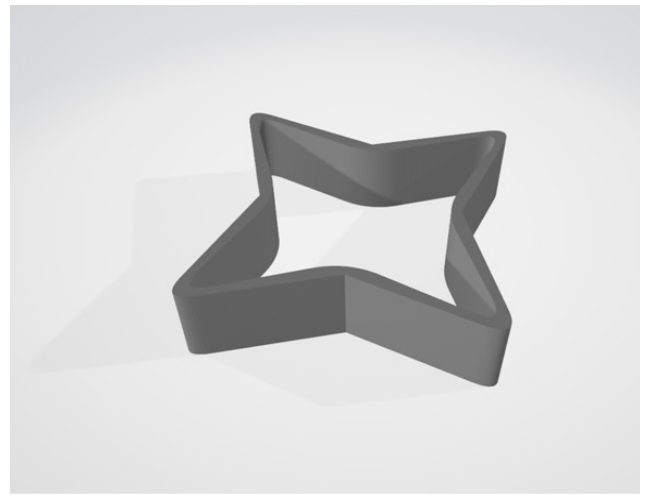
rutynę higieny jamy ustnej bez potrzeby płukania i z zerowym ryzykiem kontaminacji.

Advanced Plant Habitat (APH) to w pełni zautomatyzowana stacja badawcza na ISS, wspierająca długoterminową uprawę roślin w kontrolowanym środowisku. Technologia ta umożliwia dystrybucję wody, składników odżywczych i tlenu w systemie zamkniętym, z minimalną ingerencją załogi. APH ilustruje, w jaki sposób kontrolowane warunki wzrostu mogą zapewnić stałą produkcję olejków roślinnych niezbędnych do formułowania pastylek NML.

Produkt wpisuje się w spekulatywne założenia projektu i nie jest związany z masową produkcją. Jest skierowany do autonomicznego użytkownika produkującego własne dobra w zaawansowanych systemach mieszkalnych, zgodnie z zasadą autarkii. Choć bentonit nie został jeszcze potwierdzony na Marsie, Jezero Crater zawiera różnorodne gliny, które mogą posłużyć jako analog dla Ziemi. Produkcja pastylek na miejscu w habitatowych warunkach Marsa jest elementem samowystarczalności i zrównoważonego życia.

duction and commerce. This formula is referred to an autonomous user who is self-producing goods in advanced residential facilities as an act of autarky. According to this scenario, the first Martians will be following a routine of domestic 3D printing for life purposes and for self-care, respecting the environmental principles of zero-waste and lesser production footprint. Bentonite clay has not yet been spotted on Mars, however the Jezero Crater is rich in clays and the analysis of the found clays requires extended research in the Geology of the Red Planet. However, similar to the phenomena on Earth, Jezero Crater was flooded and clay samples appeared to be various in the coastal areas of the fan delta formations streaming in the lake of the crater. The use of Bentonite clay was chosen as an hypothesis of spotting clay resources on the Red Planet, mimicking the ones on Earth. The in-situ production of a toiletry product, the edible toothpaste pills and their formula, is performed inside the scenario of self-efficiency of the habitats on the Red Planet, since the domestic production will be an act of sustainable living and survival.

The project is using already existing concepts that apply to reality. The idea of creating a toiletry product that suggests individual production with the use of digital fabrication and in-situ mined materials in an extraterrestrial habitat is the fiction that describes the impossible. Examining the survival needs and the environments where resource levels are critical, the necessities in comfort



26. .stl file, and sliced model of an NML pill

27. 3D printed edible NML toothpaste pills

change the dynamics of a longliving independent colony. The product development of the NML toothpaste pills and the research on the issue of consumption are linked in order to critique the waste culture, the potentiality of advanced cultivations in slower productions and the re-evaluation of the consumption habits .

4.1.4 Speculating the Oral Care in Space Habitats while performing Water Conservation

Space exploration introduces numerous technical and ecological challenges, with water scarcity being one of the most critical constraints. Life on Mars will demand extreme efficiency in resource management, as access to water will be severely limited. In this context, even seemingly mundane activities, such as the oral care, contribute significantly to overall water consumption¹³ at a domestic level. While often overlooked in broader sustainability discussions, personal hygiene habits represent an opportunity to develop innovative conservation strategies and greener mentalities. Crateri Dentaless addresses this issue by rethinking oral care in a way that aligns with sustainable living principles required for interplanetary survival in speculation but also in practice.

Beyond its functional role, the prototype Crateri Dentaless represents a Speculative Design proposal, prompt-

4.1.4 Spekulacja higieny jamy ustnej w habitatycznych warunkach kosmicznych z oszczędnością wody

Eksplokacja kosmosu wprowadza liczne wyzwania techniczne i ekologiczne, z których najważniejszym jest ograniczona dostępność wody. Życie na Marsie wymaga ekstremalnej efektywności w zarządzaniu zasobami. Nawet codzienne czynności higieniczne mają znaczący wpływ na całkowite zużycie wody.

Prototyp Crateri Dentaless reinterpretuje higienę jamy ustnej, promując zasady zrównoważonego rozwoju potrzebne do przetrwania międzyplanetarnego. Oprócz funkcjonalnej roli, zestaw pełni funkcję narzędzia Speculative Design, inicjując dyskurs o etycznym wykorzystaniu wody i konsekwencjach nadmiernej konsumpcji. Zwraca uwagę na potrzebę ograniczania zasobów, a także kształtuje świadomość zmian mentalnych koniecznych w warunkach kolonizacji kosmosu.

Zestaw pokazuje praktyczne i koncepcyjne podejście do świadomego zarządzania zasobami. Model użytkownika, stosującego jadalną pastę do zębów i odmierzoną ilość wody, podkreśla odpowiedzialne wykorzystanie zasobów. Takie praktyki mają również wartość edukacyjną na Ziemi, inspirować do przemyślenia obecnych standardów higieny i zużycia wody w codzi-

¹³ (Wanĵek, 2020, p. 219–301)

ing discourse on sustainable water use and the ethical implications of resource depletion. The project underscores the potential consequences of over-consumption, positioning water as a precious and finite element. By drawing attention to the possible future discomfort of water scarcity, Crateri Dentales challenges contemporary habits and encourages a reassessment of conventional hygiene practices. As humanity embarks on interplanetary expansion, the transition to a mindset of conservation becomes imperative. This project stimulates critical awareness by demonstrating how everyday routines must be restructured to align with environmental constraints. Crateri Dentales functions as both a practical design intervention and a conceptual tool for exploring the intersection of speculative futures, material sustainability, and human adaptation to extreme environments.

ennym życia.

The integration of Crateri Dentales into the Martian bathroom reflects a broader philosophy of mindful consumption. By mirroring space travelers and extraterrestrial residents practicing using edible toothpaste and pre-measured water allocations, this proposal underscores the importance of intentional and responsible resource management. The necessity of such practices extends beyond Mars, offering valuable insights for sustainable solutions on Earth. The choice of the prototype was made as an example of altering the mentalities and the rituals of self care with a broader meaning of shifting

the status quo of the water treatment
for cosmetic industries that shape the
needs of the consumers' culture.



4.2 Crematorial Toilet, a 3D printed ceramic incineration toilet for the Sustainable Martian Bathroom.

Prototype 4

Crematorial Toilet, 48 x 26 x 23 cm, 2024.

3D printed chamotte clay, high performance porcelain, copper sheets, ceramic fiber paper, furnace.

The Crematorial Toilet, an ultimately sustainable 3D printed ceramic toilet obtaining a firing chamber that burns the waste, without flushed water. The toilet combines traditional structural features with a furnace system that replaces the flush completely. The aim of the 3D printed toilet is to prevent water discard and offer sustainable credits to the first Martian bathrooms. It is an assembled ceramic 3D printed sanitary ware compatible with temperature sensors and heating coils for the performance of a monitored and controlled firing. The use of copper sheets and ceramic fiber paper prevents heat waste during the firing process, while every assembled ceramic layer is responsible for the sufficient firing and safety procedure. The Crematorial Toilet is designed for a bathroom with an implemented air ventilator that filters the room ambience and prevents the spread of the odors of the smoke pro-

4.2 Crematorial Toilet – 3D drukowany ceramiczny system spalania odpadów w Sustainable Martian Bathroom

Prototyp 4

Rozmiar: 48 × 26 × 23 cm, 2024.

Materiały: druk 3D z gliny chamotte, porcelany wysokiej jakości, miedziane arkusze, ceramiczna włóknina, komora spalania

Crematorial Toilet to ostatecznie zrównoważony, drukowany w 3D, ceramiczny system toalety z komorą spalania, który zastępuje tradycyjny spłukiwany system. Urządzenie łączy tradycyjną strukturę z piecem, eliminując konieczność użycia wody. Każda warstwa ceramiczna jest zoptymalizowana pod kątem bezpieczeństwa i efektywności spalania, a miedziane arkusze i włóknina ceramiczna minimalizują straty ciepła.

Toaleta współpracuje z wentylacją, filtrując powietrze i ograniczając rozprzestrzenianie zapachów powstających podczas spalania odpadów. Metodologia badawcza obejmowała eksperymenty przeprowadzone w laboratorium Hackerspace we Wrocławiu pod kierownictwem inż. Bartosza Pytko. Wyniki eksperymentów potwierdziły funk-

duced while firing the toilet. In order to deliver a scientifically approved outcome, the methodology that was followed during the research, and the prototyping, included an experiment. The scientific experiment was conducted in collaboration with the engineer, Bartosz Pytko, founder and host of the laboratory "Hackerspace" in Wrocław, Poland. Following electrical engineering practices, the incineration process and the prototyping for the Crematorial Toilet, resulted in positive assumptions of the speculative functionality of the Sustainable Martian Bathroom.

4.2.1 The Crematorial Toilet: A Speculative Zero-Water Waste Sanitaryware

As humanity moves closer to interplanetary colonization, the question of sustainable living beyond Earth becomes increasingly urgent. One of the most critical aspects of extraterrestrial habitation is sanitation, an essential yet often overlooked challenge in space exploration¹⁴.

The idea of a 3D printed ceramic toilet with furnace, a speculative bathroom ware prototype, offers a groundbreaking solution to the issue of waste management on Mars. Designed as a zero-water waste sanitary device, this prototype suggests an innovative idea of space hygiene and questions the established terrestrial sanitation practice-

ctionality of the prototype in the scenario of a speculative Sustainable Martian Bathroom.

4.2.1 Crematorial Toilet: Speculative zero-waste system sanitary

W miarę jak ludzkość zbliża się do etapu międzyplanetarnej kolonizacji, kwestia zrównoważonego życia poza Ziemią staje się coraz pilniejsza. Jednym z najbardziej kluczowych aspektów pozaziemskiego zamieszkiwania jest sanitacja, stanowiąca niezbędne, choć często pomijane wyzwanie w eksploracji kosmosu.

Idea ceramicznej toalety 3D z piecem, będącej spekulatywnym prototypem wyposażenia łazienkowego, oferuje przełomowe rozwiązanie problemu gospodarowania odpadami na Marsie. Zaprojektowana jako urządzenie sanitarne bez zużycia wody, toaleta ta proponuje innowacyjne podejście do higieny w przestrzeni kosmicznej i kwestionuje ustalone ziemskie praktyki sanitarne.

Toaleta Krematoryjna jest nowatorską koncepcją, która wykorzystuje zaawansowaną technologię druku 3D oraz trwałe materiały ceramiczne do stworzenia zrównoważonego, bezwodnego systemu utylizacji odpadów. Tradycyjne toalety opierają się na dużym zużyciu wody do splukiwania, co jest podejściem całkowicie niepraktycznym w warunkach kosmicznych, gdzie woda jest zasobem niezwykle cennym

¹⁴ (Weir, 2010, p. 5-18)

es. The Crematorial Toilet is a novel concept that leverages advanced 3D printing technology and durable ceramic materials to create a sustainable, water-free waste disposal system. Traditional toilets rely on large amounts of water for flushing, an unsustainable approach in space where water is a scarce and valuable resource. Instead, this novel device incorporates a furnace, eliminating the need for conventional plumbing and significantly reducing logistical challenges associated with waste management on Mars. Crematorial Toilet is an incineration system toilet that suggests a zero-water waste solution which combines ceramic 3D printing¹⁵ and a control firing practice replacing the traditional flush. The first Martian citizens would have to adjust to a new system of water utilities in their first residences that will be designed to function within an environment with completely new requirements. In the era of Anthropocene, one of the most crucial resource crises that humanity faces on Earth– due to overconsumption and industry expansion, is the water scarcity. The prototype of the Crematorial Toilet highlights a sanitation solution by the use of already known technologies combined with ceramic 3D printing– an ideal fabrication method for extraterrestrial applications.

4.2.2 Water Conservation in Martian and Earthly Domestic Amenities

i ograniczonym. Zamiast tego, nowe urządzenie zawiera piec, eliminując potrzebę konwencjonalnej instalacji wodno-kanalizacyjnej i znacząco redukując wyzwania logistyczne związane z gospodarowaniem odpadami na Marsie.

Toaleta Krematoryjna to system spalania odpadów, który proponuje rozwiązanie bez zużycia wody, łącząc technologię druku 3D z ceramiką z praktyką kontrolowanego wypalania, zastępując tradycyjne splukiwanie. Pierwsi mieszkańcy Marsa będą musieli dostosować się do nowego systemu gospodarki wodnej w swoich pierwszych habitatów, zaprojektowanych tak, aby funkcjonowały w środowisku o całkowicie nowych wymaganiach.

W epoce Antropocenu jednym z najpoważniejszych kryzysów zasobów, z jakim mierzy się ludzkość na Ziemi – wskutek nadmiernej konsumpcji i ekspansji przemysłowej – jest deficyt wody. Prototyp Toalety Krematoryjnej wskazuje możliwe rozwiązanie problemu sanitarnego poprzez wykorzystanie już znanych technologii w połączeniu z ceramicznym drukiem 3D – metodą wytwarzania idealnie nadającą się do zastosowań pozaziemskich.

4.2.2 Oszczędzanie wody w marsjańskich i ziemskich urządzeniach domowych

Ochrona zasobów wodnych wykracza poza perspektywę kosmiczną i jest kluczowa dla utrzymania życia na

15 (Keep, 2020)

The importance of water conservation extends beyond space in order to potentially sustain life.¹⁶ It is a fundamental concern for living on Earth while the human factor is responsible for the resource and the ecosystem management. In both terrestrial and extraterrestrial environments, water should be treated as a precious resource that must be preserved to support an advanced and sustainable living. The Crematorial Toilet pioneers this principle by offering a zero-water waste sanitation solution, setting an example for future domestic amenities both on Mars and on Earth. As we innovate for space habitation, we should also integrate these water-saving advancements into everyday life, ensuring that sustainability remains a core principle of technological progress. On Earth, toilets account for a substantial percentage of household water consumption. According to the research result announcements by EPA (The United States Environmental Protection Agency), the flush facts of the residential toilets reach up to 6 liters per flush. The outcome of a yearly domestic use of flushing a traditionally manufactured toilet leads up to 10.950 liters of water scarcity per person. This hypothesis motivates the re-imagination of water consumption while using a toilet in extraterrestrial environments. In the case of Mars colonisation water is a finite resource that must be carefully conserved. Only 1/3 of the amount of water existing on Earth has been spotted on Mars. The Martian terrain despite the fact of its rocky surface, the regolith includes water in ice form and it is locat-

Ziemi. W obu środowiskach – ziemskim i pozaziemskim – woda powinna być traktowana jako cenny zasób, który należy oszczędzać, aby wspierać zaawansowane i zrównoważone życie. Crematorial Toilet wdraża tę zasadę, oferując rozwiązanie sanitarne bez użycia wody, stanowiąc wzór dla przyszłych systemów sanitarnych zarówno na Marsie, jak i na Ziemi.

Na Ziemi toalety odpowiadają za znaczną część zużycia wody w gospodarstwach domowych. Według danych EPA (Environmental Protection Agency, USA), tradycyjne toalety zużywają do 6 litrów wody na spłukanie, co w skali roku przekłada się na około 10 950 litrów na osobę. Scenariusz kolonizacji Marsa podkreśla, że woda jest zasobem ograniczonym – szacuje się, że dostępna ilość wody na Marsie to jedynie jedna trzecia zasobów ziemskich. Regolit marsjański zawiera wodę w postaci lodu w rejonach, w których zasiedlenie byłoby krytyczne z powodu surowych warunków środowiskowych.

Eliminując mechanizmy spłukujące oparte na wodzie, Crematorial Toilet zapewnia zerowe zużycie wody, stając się przełomowym rozwiązaniem dla zrównoważonej sanitarnej infrastruktury kosmicznej. Integracja systemu termicznego umożliwia efektywne spalanie odpadów, minimalizując potrzebę skomplikowanych procesów recyklingu. Takie podejście nie tylko oszczędza wodę, ale także wpisuje się w szersze cele zrównoważonego rozwoju, istotne

16 (Weir, 2010, p. 5-18)

ed in places where habitation would be more than critical due to environmental harshness. By eliminating water-based flushing mechanisms, the Crematorial Toilet ensures zero water waste, making it a game-changer for sustainable sanitation in space. Additionally, by integrating a thermal disposal system, waste is efficiently incinerated, further minimizing the need for complex waste recycling processes. This approach not only conserves water but also aligns with broader sustainability goals essential for a potentially long-term space colonization, a speculative scenario.

4.2.3 Merging Artisan Craftsmanship with Advanced Tools.

This prototype represents the merge of an artisan concept with advanced technological implementations.¹⁶ Its 100% 3D printed ceramic body ensures precision and durability, while the molybdenum heating element, temperature sensor, DIP controller wiring system, and electric energy operation provide state-of-the-art functionality. The combination of chamotte clay, high performance porcelain, copper sheets effectively blocks heat escape, while ceramic fiber paper enhances thermal efficiency in practice. The result is a sophisticated system that incinerates waste into ashes, transforming organic matter into a form that aligns with renewable energy principles. This innovative idea redefines sanitary ware, shifting from a system that once used

w perspektywie długotrwałej kolonizacji kosmicznej.

4.2.3 Merging Artisan Craftsmanship with Advanced Tools

Prototyp łączy tradycyjne rzemiosło z nowoczesnymi rozwiązaniami technologicznymi. W pełni drukowana ceramika 3D zapewnia precyzję i trwałość, a elementy takie jak grzałka molibdenowa, czujnik temperatury, system sterowania DIP oraz zasilanie elektryczne umożliwiają zaawansowaną funkcjonalność. Połączenie gliny chamotte, porcelany wysokiej jakości oraz miedzianych arkuszy skutecznie ogranicza straty ciepła, podczas gdy papier ceramiczny zwiększa efektywność termiczną.

W rezultacie powstaje wyrafinowany system, który przekształca odpady w popiół, zamieniając materię organiczną w formę zgodną z zasadami energii odnawialnej. Koncepcja redefiniuje wyposażenie sanitarne, przekształcając system, który wcześniej zużywał czystą wodę, w rozwiązanie promujące zrównoważony rozwój poprzez zaawansowane materiały, metody wytwarzania i efektywność energetyczną.

4.2.4 Porównanie wydajności z istniejącymi produktami

Tabela porównawcza pokazuje, że Crematorial Toilet łączy efektywność,

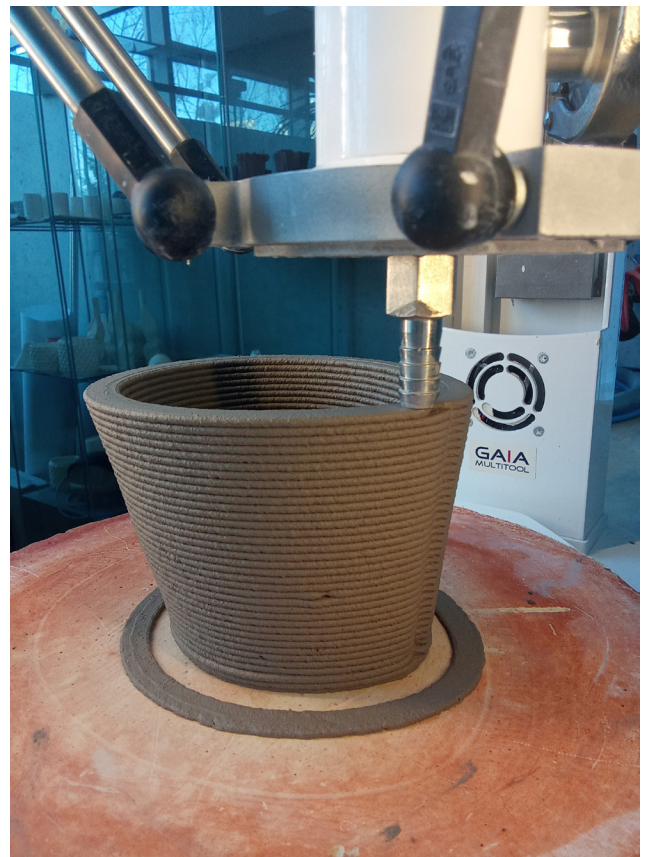
¹⁶ (Keep, 2014, p. 32-36)

perfectly clean water for waste disposal to one that promotes sustainability through the combination of advanced materials, fabrication methods and aims to energy efficiency.

4.2.4 Performance Comparison with the existing products

Performance Comparison Table: This table highlights how the Crematorial Toilet balances energy efficiency, sustainability, and waste reduction while being adapted for Martian conditions. Also, it is compared with the existing In-

zrównoważenie i redukcję odpadów, przewyższając dostępne rozwiązania w warunkach marsjańskich.



30. 3D printing of the as bowl



29. 3D printing of the toilet bowl



31. Adjusting the copper sheets

Feature	Crematorial Toilet in speculation	Traditional Incineration Toilet	NASA Space Toilet
Waste Disposal Method	High-temperature controlled incineration (500°C)	High-temperature incineration (540–760°C)	Vacuum suction and freeze-drying
Energy Source	Electric, heating element (PID-controlled)	Butane or electric incinerator	Vacuum pump and airflow system
Combustion Efficiency	Expected near-complete combustion (~90–95% waste reduction)	95–98% waste reduction	No firing (stored in containers)
Odor Control	Sealed chamber with ventilation/filtration	Chimney	Air filtration and vacuum containment
Energy Consumption	Moderate (~1.5–2 kWh per cycle)	High (~3–4 kWh per cycle)	Low (mainly for vacuum system)
Water Usage	None	None	Minimal (wipes, urine processing)
Material Durability	3D-printed chamotte clay and high performance porcelain, copper sheets, ceramic fiber paper	Stainless steel chamber	Lightweight polymers and steel
Sustainability	Reduced waste, ash can be repurposed	Requires fuel, produces emissions	Waste is stored, not reduced
Application Suitability	Speculative Martian habitats, resource-limited environments	Off-grid, Recreational Vehicles, remote locations	Micro-gravity environments

Cecha	Crematorial Toilet (spekulacja)	Tradycyjna toaleta incineracyjna	Toaleta kosmiczna NASA
Metoda usuwania odpadów	Kontrolowane spalanie w wysokiej temperaturze (~500°C)	Spalanie w wysokiej temperaturze (540–760°C)	Ssanie próżniowe i liofilizacja
Źródło energii	Elektryczne, element grzewczy (PID)	Butan lub elektryczny incinerator	Pompa próżniowa i system przepływu powietrza
Efektywność spalania	Prawie całkowite spalanie (~90–95% redukcji odpadów)	95 – 98 % redukcji odpadów	Brak spalania (przechowywane w pojemnikach)
Kontrola zapachu	Zamknięta komora z wentylacją i filtracją	Komin	Filtracja powietrza i system próżniowy
Zużycie energii	Umiarkowane (~1,5–2 kWh na cykl)	Wysokie (~3–4 kWh na cykl) Wysokie (~3–4 kWh na cykl)	Niskie (głównie dla systemu próżni)
Zużycie wody	Brak	Brak	Minimalne (ścierki, przetwarzanie moczu)
Trwałość materiałów	Ceramika 3D (głina chamotte, porcelana wysokiej jakości), miedziane arkusze, papier ceramiczny	Komora ze stali nierdzewnej	Polimery i stal lekkie
Zrównoważony rozwój	Redukcja odpadów, popiół można ponownie wykorzystać	Wymaga paliwa, generuje emisję	Odpady są przechowywane, brak redukcji
Zastosowanie	Spekulatywne habitaty marsjańskie, środowiska o ograniczonych zasobach	Off-grid, pojazdy rekreacyjne, miejsca odległe	Środowiska mikro-grawitacyjne

4.2.5 Questioning Transplanetary Sustainability

Beyond its practical benefits, the Crematorial Toilet serves as a speculative prototype that challenges our perception of sustainability beyond Earth. Starting from the hypothesis of the development of a new colony on a dry planet with extreme environmental conditions, we must rethink our approach to basic necessities, adapting technologies to fit extreme ambiances. This toilet gathers already existing technologies, continuously developing fabrication methods and the combination of those, credited on the prototype, and suggests innovative thinking for the living in resource efficient habitats. The speculative function links to re-shaped standards of resource treatment and self-sufficiency. The Toilet prototype framed by the scenario of a living with critical water resources and with minimized risks of waste, encourages discussions on the future of transplanetary sustainability. The speculative object mirrors solutions that could be accounted for on Earth, in cases where water conservation is vital. While there are still issues on water scarcity, industries project at constructing potentialities for the Martian habitation, requiring enormous amounts of resources from Earth— often unavailable. The prototype of the Toilet for zero water-waste sanitation highlights the persisting issues on the topic of responsible water treatment for both industry and domestic use. An incinerating domestic toilet, without flush, discards the need for grey water production which

4.2.5 Refleksja nad transplanetarną zrównoważonością

Poza praktycznymi zaletami, Crematorial Toilet funkcjonuje jako prototyp spekulatywny, który kwestionuje naszą percepcję zrównowżonego rozwoju poza Ziemią. Zakładając scenariusz kolonii na suchej planecie o ekstremalnych warunkach środowiskowych, wymagane jest przemysłenie podstawowych potrzeb i dostosowanie technologii do surowego otoczenia.

Prototyp wykorzystuje istniejące technologie, rozwijane metody wytwarzania oraz ich kombinację, zachęcając do innowacyjnego podejścia w tworzeniu zasobów efektywnych habitatów. Funkcja spekulatywna wskazuje na predefiniowane standardy gospodarowania zasobami i samowystarczalności. Urządzenie, zaprojektowane dla środowiska o krytycznie ograniczonych zasobach wodnych, promuje dyskusję na temat przyszłości zrównowżonego rozwoju trans planetarnego.

Rozwiązania takie jak toaleta bez spłukiwania podkreślają istotność odpowiedzialnego gospodarowania wodą zarówno w przemyśle, jak i w gospodarstwach domowych. W scenerii ultra-zrównowżonej łazienki marsjańskiej metody sanitarne i produkcyjne mogą funkcjonować jako narracja edukacyjna, zmieniająca sposób postrzegania świadomego traktowania zasobów. Przy wdrażaniu tych zasad

would be extremely hard to maintain in Martian Conditions. The Toilet does not connect with a plumbing system as the residential toilets. Instead, it is located in a sealed room with ventilation and air filtration, features with a strong potential in the Martian residency, hypothetically.

Taking into account the design scenario of the ultra-sustainable Martian bathroom the concepts for sanitary and manufacturing methods could work as a narration of a call for altering the perception towards the conscious treatment of resources. As we prepare for future settlements on Mars and beyond, the Crematorial Toilet for the Sustainable Martian Bathroom will play a vital role in ensuring a viable and resource-efficient existence for humanity in extraterrestrial environments. Furthermore, by embracing these principles on Earth, we can move toward a future where advanced technology and sustainability are seamlessly intertwined.

na Ziemi możemy zmierzać w kierunku przyszłości, w której zaawansowana technologia i zrównoważony rozwój są ze sobą nierozdzielnie powiązane.



32. DIP Controller

33. The Crematorial Toilet in front view

4.3 Residual Sink: Smart Ceramic Sink with Arduino Implementation

Prototype 5

Residual Sink, 28 x 25 x 27 cm, 3D printed parian porcelain. Accessories: 13 x 11 x 9 cm, 3D printed parian porcelain, PVC transparent hose, water flow sensor, Arduino monitoring system, LCD screen, LED lights.

The integration of smart technologies into everyday utilities has gained significant traction in recent years, particularly in areas concerning sustainability and conservation. This project presents the development of a Smart Ceramic Sink, incorporating an Arduino-based water flow monitoring system. The implementation demonstrates how real-time sensing, visual feedback, and data tracking can encourage users to adopt water-saving habits.

The Residual Sink is a sanitary bathware system that detects the water-wasting levels and motivates the user's performance towards intentional water consumption. It functions in the speculative scenario where the first Martian residents—engineers, self-sufficient designers and interplanetary data analysts focus on a living that prioritizes mindful resource management. The Smart Sink is made of 3D printed parian porcelain with a characteristic trans-

4.3 Residual Sink: Inteligentny ceramiczny zlew z implementacją Arduino

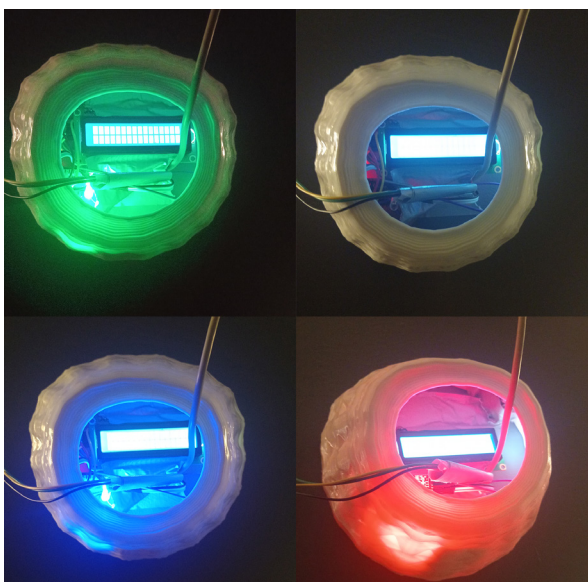
Prototyp 5

Residual Sink, 28 × 25 × 27 cm, porcelana parian drukowana 3D. Akcesoria: 13 × 11 × 9 cm, porcelana parian drukowana 3D, przezroczysty wąż PVC, czujnik przepływu wody, system monitorujący Arduino, ekran LCD, diody LED.

Integracja technologii inteligentnych z codziennymi urządzeniami w ostatnich latach zyskała znaczną dynamikę, szczególnie w obszarach związanych ze zrównoważonym rozwojem i ochroną zasobów. Niniejszy projekt przedstawia rozwój Inteligentnego Ceramicznego Zlewu, w którym zastosowano system monitorowania przepływu wody oparty na Arduino. Implementacja pokazuje, w jaki sposób czujniki w czasie rzeczywistym, sprzężenie wizualne i śledzenie danych mogą zachęcać użytkowników do przyjmowania nawyków oszczędzania wody.

Residual Sink to system sanitarno-łazienkowy, który wykrywa poziomy marnotrawstwa wody i motywuje użytkownika do świadomego jej zużycia. Funkcjonuje w spekulatywnym scenariuszu, w którym pierwsi mieszkańcy Marsa – inżynierowie, samowystarczalni projektanci i międzyplanetarny anali-

parency and niche light reflections. As to perform the functionality in speculation, the 3D printed sanitary bathware prototype suggests an Arduino-based implementation of a smart water flow monitoring system integrated into the parts of the 3D printed porcelain sink working as a water-waste alert. The Residual Sink system includes two 3D printed parian porcelain basket accessories that secure the Arduino system and the monitoring LCD screen, allowing the user to access the displayed notifications of the water-waste levels simultaneously. The system provides real-time visual feedback through RGBLED color coding and numerical flow rate display via LCD screen, enabling water conservation awareness and usage monitoring. The system includes 3D printed parian porcelain basket accessories that secure the Arduino system and the monitoring LCD screen, allowing the user to view the notifications of the water-waste levels simultaneously. This Sink prioritizes the moderation of excessive water discard with a programmed signal that notifies the user for the safe water flow, and also warns about the heavy consumption.



tycy danych – koncentrują się na stylu życia, w którym priorytetem jest uważne zarządzanie zasobami. Inteligentny zlew wykonany jest z porcelany parian drukowanej w technologii 3D, charakteryzującej się półprzezroczystością i specyficznymi refleksami świetlnymi. Aby urzeczywistnić funkcjonalność w ramach spekulacji, prototyp sanitarny sugeruje implementację systemu monitorowania przepływu wody opartego na Arduino, zintegrowanego z elementami porcelanowego zlewu drukowanego 3D, pełniącego funkcję alarmu ostrzegającego przed marnotrawstwem wody.

System Residual Sink obejmuje dwa akcesoria w formie koszyków z porcelany parian drukowanej 3D, które zabezpieczają układ Arduino i ekran LCD, umożliwiając użytkownikowi jednoczesne odczytywanie komunikatów dotyczących poziomu marnotrawstwa wody. System dostarcza informacji zwrotnych w czasie rzeczywistym poprzez kodowanie kolorami diod RGB LED oraz numeryczne wyświetlanie wartości przepływu na ekranie LCD, zwiększając świadomość oszczędzania wody i monitorowanie jej zużycia. Zlew ten priorytetyzuje ograniczanie nadmiernego odprowadzania wody dzięki zaprogramowanym sygnałowi, który informuje użytkownika o bezpiecznym przepływie oraz ostrzega przed intensywnym zużyciem.



35. Installation of the Residual Sink

4.3.1 Functionality of the Residual Sink

The Residual Sink creates a situation of a controlled flow, tracking the amount of water disposal as a medium of closer observations. The LCD screen displays notifications alerting the water wasting, according to the flow rate given by the sensor. This is a sanitary prototype that processes real time data in order to motivate the user's behaviour towards an improved performance of water resource management. The Residual Sink speculates a reality in which the user is responsible for the amount of water usage, inspecting and transforming data to discover meaningful real time insights. The performance of using a data driven Sink hypothesizes the situation where the Martians prioritize turning the tap off thanks to a smart sanitary system, as a critique on the alarming state of unnecessary water waste, in a phase of crucial resource levels. The prototype was developed through a design iteration process, involving experimental tests of water flow through a pipe system with a sensory integration, in order to monitor the levels of water discard. In accordance, the user receives notifications displayed on the screen informing for a safer wasting level and a critically excessive wasting level. The Arduino implementation supports a programmed blinking LED lamp that follows the notified messages flashing multiple colors- through the transparent porcelain accessories, commensurated with the sensed water flow. The flow is described through

4.3.1 Funkcjonalność Residual Sink

Residual Sink tworzy sytuację kontrolowanego przepływu, śledząc ilość odprowadzanej wody jako medium do dokładniejszej obserwacji. Ekran LCD wyświetla powiadomienia ostrzegające o marnowaniu wody, zgodnie z wartościami przepływu przekazywanymi przez czujnik. Jest to prototyp sanitarny, który przetwarza dane w czasie rzeczywistym, aby motywować użytkownika do poprawy sposobu gospodarowania zasobami wodnymi.

Residual Sink spekuluje o rzeczywistości, w której użytkownik jest odpowiedzialny za ilość zużywanej wody, bada i przekształca dane, aby odkrywać znaczące wnioski w czasie rzeczywistym. Korzystanie z „zlewu opartego na danych” zakłada sytuację, w której Marsjanie priorytetowo traktują zakręcanie kranu dzięki inteligentnemu systemowi sanitarnemu, stanowiącemu krytykę alarmującego poziomu niepotrzebnego marnowania wody w fazie krytycznego stanu zasobów.

Prototyp został opracowany w procesie iteracyjnego projektowania, obejmującym eksperymentalne testy przepływu wody przez system rur z integracją sensoryczną, aby monitorować poziom odprowadzanej wody. Użytkownik otrzymuje powiadomienia wyświetlane na ekranie, informujące o bezpiecznym poziomie zużycia

the colored blinking as follows :

```
Serial.println(F(" 0-0.6 L/min: GREEN  
(gentle)"));
```

```
Serial.println(F(" 0.6-1.3 L/min: BLUE  
(normal)"));
```

```
Serial.println(F(" 1.3-2.0 L/min: YELLOW  
(heavy)"));
```

```
Serial.println(F(" >2.0 L/min: RED blink-  
ing (warning)"));
```

4.3.2 Materiality: Parian Porcelain as Martian Bathware

The Residual Sink is developed in 3D printed parian porcelain, a category of a low fired porcelain, known for its semi-transparency and luminous surface reflections, rich in feldspar. Feldspar acts as a crucial flux that melts to form a glassy phase, bonding other ingredients and enhancing strength, toughness, and durability, achieving a full-body vitrification. NASA's Perseverance rover has found and analyzed plagioclase feldspar in the Jezero crater on Mars as part of its mission to understand Mars's geological and climatic history, including its volcanic activity. The initiative to deliver sanitary bathware using materials that can potentially be mined on the Red Planet,

oraz o krytycznie nadmiernym marnotrawstwie. Implementacja Arduino wspiera zaprogramowaną migającą diodę LED, która podąża za komunikatami, błyskając różnymi kolorami – przez półprzezroczyste porcelanowe akcesoria – odpowiadającymi zmierzonemu przepływowi wody.

Przepływ opisywany jest za pomocą sygnałów świetlnych w następujący sposób:

0–0,6 L/min: ZIELONY (łagodny)

0,6–1,3 L/min: NIEBIESKI (normalny)

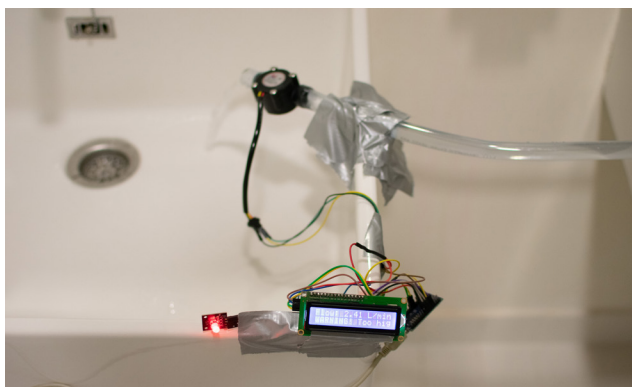
1,3–2,0 L/min: ŻÓŁTY (intensywny)

>2,0 L/min: CZERWONY migający (ostrzeżenie)

4.3.2 Materialność: porcelana parian jako marsjańska ceramika sanitarna

Residual Sink został opracowany z porcelany parian drukowanej w technologii 3D – kategorii niskotemperaturowej porcelany, znanej z półprzezroczystości i świetlistych refleksów powierzchniowych, bogatej w skaleń. Skaleń pełni rolę kluczowego topnika, który topi się, tworząc fazę szklaną, wiążącą pozos-

positions the sink not merely as a functional bathware object but as a performative sanitary medium, where light and water indicate ecological responsibility beyond Earth. The translucency of porcelain amplifies the aesthetic presence of the Arduino-driven signals, rendering ecological consciousness into a visible and aestheticized experience. In a Martian context, where raw materials will be extruded from regolith or fabricated through in-situ resource utilization, porcelain becomes a reference of local, clean, and closed-loop material cultures, bridging craft and 3D extrusion with digital autonomy. The Residual Sink therefore operates at the threshold of utility and performance, making visible the hidden, unnoticed and excessive flows of water consumption that need to be avoided at any cost both in reality and speculation.



tałe składniki oraz zwiększającą wytrzymałość, odporność i trwałość, prowadząc do pełnej witrifikacji masy. Łazik Perseverance NASA odkrył i przeanalizował plagioklaz w kraterze Jezero na Marsie w ramach misji mającej na celu zrozumienie historii geologicznej i klimatycznej planety, w tym jej aktywności wulkanicznej.

Inicjatywa tworzenia ceramiki sanitarnej z materiałów, które potencjalnie mogą być pozyskiwane na Czerwonej Planecie, sytuuje zlew nie tylko jako funkcjonalny obiekt łazienkowy, lecz także jako performatywne medium sanitarne, w którym światło i woda sygnalizują odpowiedzialność ekologiczną wykraczającą poza Ziemię. Półprzezroczystość porcelany wzmacnia estetyczną obecność sygnałów sterowanych przez Arduino, zamieniając świadomość ekologiczną w widzialne i estetyzowane doświadczenie.

36. Iterational testing of the water flow programme

37. .stl model of the Residual Sink

4.3.3 Technological System: Arduino-Enabled Feedback

The Residual Sink includes a set of wall attached ceramic cases-accessories that work as both structural elements and functional components. The Arduino system is placed safely inside the ceramic accessories, attached on the wall, and the viewer can easily access the assembly and have a clear view to the LCD screen while using the Sink.

The Arduino-based water flow monitoring system, a speculative yet feasible integration of open-source electronics into ceramic bathware can be developed with intermediate programming skills and accessible piping systems. The flow sensor is placed within the output tube, tracking water flow in real time, while RGB LED lights and an LCD display provide immediate feedback on the consumption rate.

The system's color-coded language appearing as green for gentle use, blue for moderated use and as red blinking for excessive waste, transforms raw data into sensory cues that engage the user both cognitively and emotionally. This coupling of computational logic with traditional material surfaces represents an aesthetic of hybridization, where ceramic craft converges with the logic of code and circuitry, pointing towards an era of intelligent sanitary infrastructure on Mars and beyond.

W marsjańskim kontekście, gdzie surowce będą wytłaczane z regolitu lub wytwarzane poprzez technologie in-situ resource utilization, porcelana staje się odniesieniem do lokalnych, czystych i zamkniętych kultur materiałowych, łączących rzemiosło i ekstruzję 3D z cyfrową autonomią. Residual Sink funkcjonuje zatem na styku użyteczności i performatywności, czyniąc widocznymi ukryte, niezauważone i nadmierne przepływy zużycia wody, których należy unikać za wszelką cenę – zarówno w rzeczywistości, jak i w spekulacji.

4.3.3 System technologiczny: sprzężenie zwrotne z Arduino

Residual Sink obejmuje zestaw ceramicznych obudów-akcesoriów mocowanych do ściany, które pełnią zarówno funkcję konstrukcyjną, jak i użytkową. System Arduino jest bezpiecznie umieszczony wewnątrz ceramicznych akcesoriów, zamocowanych na ścianie, a użytkownik może łatwo uzyskać dostęp do układu i mieć wyraźny wgląd w ekran LCD podczas korzystania ze zlewu.

System monitorowania przepływu wody oparty na Arduino – spekulatywna, lecz wykonalna integracja otwartoźródłowej elektroniki z ceramiką sanitarną – może być rozwinięty przy średnio zaawansowanych umiejętnościach programistycznych i przy użyciu dostępnych systemów rur. Czujnik przepływu umieszczono w przewodzie wylotowym, monitorując przepływ w

The Smart Ceramic Sink project represents a practical integration of embedded electronics with traditional household utilities. It was conceived as a sustainable design intervention to promote water conservation through real-time monitoring and user feedback. Easily built around an Arduino Nano microcontroller, the system incorporates a flow sensor, an RGB LED indicator, and a liquid crystal display (LCD), functioning together to measure, analyze, and communicate water usage patterns to the user. By combining this system with a 3D printed ceramic sink, the project bridges the gap between conventional fixtures and modern smart technologies, highlighting the potential of both the programmed features and their pairing with 3D printed functional ceramics.

The objectives of the project were threefold. The primary aim was to achieve accurate real-time water flow monitoring using a calibrated hall-effect sensor. The secondary aim was to measure flow rates with precision and track cumulative usage across individual sessions. Finally, the tertiary objective was to raise awareness of water conservation by providing color-coded visual alerts to highlight inefficient or excessive usage. Collectively, these goals ensured that the system would provide real time data performing as a reliable measurement tool but also creating an educational and behavioral situation towards water saving.

czasie rzeczywistym, podczas gdy diody RGB LED oraz wyświetlacz LCD dostarczają natychmiastowych informacji zwrotnych o intensywności zużycia.

Język kodowania kolorystycznego – zielony dla łagodnego przepływu, niebieski dla umiarkowanego, a czerwony migający dla nadmiernego – przekształca surowe dane w sygnały sensoryczne angażujące użytkownika zarówno poznawczo, jak i emocjonalnie. To powiązanie logiki obliczeniowej z tradycyjnymi powierzchniami materiałowymi reprezentuje estetykę hybrydyzacji, w której rzemiosło ceramiczne łączy się z logiką kodu i obwodów, wskazując na erę inteligentnej infrastruktury sanitarnej na Marsie i poza nim.

Projekt Inteligentnego Ceramicznego Zlewu stanowi praktyczną integrację elektroniki wbudowanej z tradycyjnymi urządzeniami gospodarstwa domowego. Został pomyślany jako interwencja projektowa na rzecz zrównoważonego rozwoju, mająca na celu promowanie oszczędzania wody poprzez monitorowanie w czasie rzeczywistym i sprzężenie zwrotne z użytkownikiem. System, zbudowany wokół mikrokontrolera Arduino Nano, obejmuje czujnik przepływu, wskaźnik RGB LED oraz wyświetlacz ciekłokrystaliczny (LCD), które współpracują, aby mierzyć, analizować i komunikować wzorce zużycia wody. Połączenie tego systemu z ceramicznym zlewem drukowanym w 3D pozwala zbliżyć tradycyjne wyposażenie do nowoczesnych technologii in-

The hardware architecture of the system was designed for both efficiency and modularity. At its core, the Arduino Nano (ATmega328P) acted as the central processor, handling inputs from the YF-S201 flow sensor and outputs to the display and LED. The YF-S201 sensor, connected to an interrupt-capable pin, generated digital pulses proportional to the flow of water. These pulses were processed to calculate flow rates in liters per minute. For user feedback, a 16 x 2 I2C LCD screen displayed the instantaneous flow and cumulative session volume, while a common-cathode RGB LED light conveyed flow conditions through color changes. Supporting components such as resistors and jumper wires ensured electrical safety and stable operation. The entire system operated on 5V DC supplied via USB, consuming less than 200 mA overall, making it suitable for continuous operation in household environments.

The electrical design prioritized both safety and responsiveness. Power was distributed through the Arduino's 5V rail, with each peripheral appropriately protected. The flow sensor signal line was stabilized with a 10k Ω pull-up resistor, and the RGB LED channels were protected using 220 Ω current-limiting resistors. Pin allocation was carefully planned, with D2 handling sensor interrupts, PWM-enabled pins D3–D5 controlling the RGB channels, and the I2C bus (A4 and A5) driving the LCD. This design ensured efficient use of the Nano's limited resources while supporting real-time performance.

teligentnych, podkreślając potencjał zarówno zaprogramowanych funkcji, jak i ich integracji z funkcjonalną ceramiką drukowaną w 3D.

Cele projektu były trójstopniowe. Głównym celem było uzyskanie dokładnego monitorowania przepływu wody w czasie rzeczywistym przy użyciu skalibrowanego czujnika Halla. Drugim – precyzyjny pomiar przepływu i śledzenie zużycia skumulowanego w ramach poszczególnych sesji. Trzecim – zwiększenie świadomości w zakresie oszczędzania wody poprzez sygnały wizualne kodowane kolorami, wskazujące na nieefektywne bądź nadmierne użycie. Łącznie cele te zapewniły, że system dostarcza dane w czasie rzeczywistym, pełniąc rolę wiarygodnego narzędzia pomiarowego, a jednocześnie tworząc sytuację edukacyjną i behawioralną, sprzyjającą oszczędzaniu wody.

Architektura sprzętowa systemu została zaprojektowana z myślą o efektywności i modułowości. Rdzeniem układu był Arduino Nano (ATmega328P), pełniący funkcję procesora centralnego, obsługującego wejścia z czujnika przepływu YF-S201 oraz wyjścia na ekran i diody LED. Czujnik YF-S201, podłączony do pinu obsługującego przerwanie, generował impulsy cyfrowe proporcjonalne do przepływu wody. Impulsy te były przetwarzane w celu obliczenia wartości przepływu w litrach na minutę. Dla użytkownika ekran LCD 16x2 I2C wyświetlał przepływ chwilowy i objętość skumulowaną sesji, a dioda

Software implementation was achieved using the Arduino IDE and written in C++ under the Arduino framework. The code was modular, with functions dedicated to pulse counting, flow rate calculation, display updates, and LED control. Pulse detection was interrupt-driven, ensuring that no sensor signals were missed. Every second, the number of pulses was converted into liters per minute using a calibrated factor of 449 pulses per liter. The LCD was refreshed at 500-millisecond intervals, providing smooth, continuous updates, while the LED responded instantaneously to flow changes. Session tracking was handled by integrating flow rate over time, enabling the system to display cumulative water usage for each interaction with the Sink.

User interaction was carefully designed to be intuitive and unobtrusive. The LCD presented two lines of information: the first showed the real-time flow rate, while the second displayed a status message along with the complete cumulative session. The LED provided a complementary visual channel, where green indicated gentle flow, blue signified normal flow, yellow represented heavier use and red indicated excessive flow above 2.0 L/min. In warning states, the red LED blinked to emphasize potential excessive water waste. The connection of these interfaces offered both detailed numerical data and at-a-glance awareness, appearing directly and instantly according to the water flow in real time.

RGB LED sygnalizowała warunki przepływu poprzez zmianę kolorów. Dodatkowe elementy, takie jak rezystory i przewody połączeniowe, zapewniały bezpieczeństwo elektryczne i stabilną pracę. Cały system działał przy napięciu 5V DC zasilanym przez USB, zużywając mniej niż 200 mA, co czyni go odpowiednim do ciągłej pracy w warunkach domowych.

Projekt elektryczny priorytetowo traktował bezpieczeństwo i responsywność. Zasilanie było rozprowadzane poprzez linię 5V Arduino, a każde urządzenie peryferyjne było odpowiednio zabezpieczone. Linia sygnałowa czujnika przepływu została ustabilizowana rezystorem podciągającym 10 k Ω , a kanały diody RGB zabezpieczono rezystorami ograniczającymi prąd o wartości 220 Ω . Przydział pinów został starannie zaplanowany: pin D2 obsługiwał przerwania czujnika, piny PWM D3–D5 sterowały kanałami RGB, a magistrala I2C (A4 i A5) obsługiwała ekran LCD. Projekt zapewniał efektywne wykorzystanie ograniczonych zasobów Arduino Nano przy jednoczesnym wsparciu pracy w czasie rzeczywistym.

Implementacja programowa została przeprowadzona w środowisku Arduino IDE i napisana w języku C++ w ramach frameworka Arduino. Kod miał budowę modułową, z funkcjami dedykowanymi zliczaniu impulsów, obliczaniu przepływu, aktualizacji wyświetlacza i sterowaniu diodą LED. Detekcja impulsów opierała się na przerwaniach, co gwarantowało, że żaden sygnał czujni-

A rigorous calibration process was undertaken to ensure measurement accuracy. Using a precisely measured 1.5-liter test volume, the sensor produced 674 pulses, which translated to a calibration constant of 449.33 pulses per liter. This value was rounded to 449 for implementation, providing a practical balance between simplicity and precision. Repeated trials confirmed system accuracy within $\pm 1\%$ across most flow ranges, with slight increases to $\pm 2\%$ at very low flows and $\pm 1.5\%$ at high ranges. This validated both the sensor's reliability and the robustness of the calibration methodology.

System performance was evaluated in terms of accuracy, responsiveness, and resource utilization. The results demonstrated that the sink could provide reliable readings across flows ranging from 0.13 to 2.13 liters per minute, with higher ranges also tested and verified. Response times were consistently under one second, and both the LED and display provided smooth, real-time updates. In terms of resource consumption, the compiled program occupied approximately 25% of the Arduino's flash memory and only 10% of available dynamic memory, leaving ample capacity for future expansion.

Installation requirements addressed both mechanical and electrical considerations. Mechanically, the flow sensor was mounted in the water supply line using a simple sink piping system, a PVC tube hose, linked to the sensor. The

ka nie zostanie pominięty. Co sekundę liczba impulsów była przeliczana na litry na minutę przy użyciu skalibrowanego współczynnika 449 impulsów na litr. Wyświetlacz LCD był odświeżany co 500 ms, zapewniając płynne i ciągłe aktualizacje, podczas gdy dioda LED reagowała natychmiast na zmiany przepływu. Śledzenie sesji odbywało się poprzez całkowanie przepływu w czasie, umożliwiając systemowi wyświetlanie skumulowanego zużycia wody dla każdej interakcji ze zlewem.

Interakcja użytkownika została zaprojektowana jako intuicyjna i nienachalna. Ekran LCD prezentował dwie linie informacji: pierwsza pokazywała przepływ chwilowy, a druga komunikat statusowy wraz ze skumulowanym wynikiem sesji. Dioda LED dostarczała dodatkowego kanału wizualnego: zielony oznaczał łagodny przepływ, niebieski – normalny, żółty – intensywniejsze użycie, a czerwony – nadmierny przepływ powyżej 2,0 L/min. W stanach ostrzegawczych dioda czerwona migiała, podkreślając potencjalne nadmierne marnowanie wody. Połączenie tych interfejsów oferowało zarówno szczegółowe dane liczbowe, jak i natychmiastową świadomość sytuacyjną w czasie rzeczywistym.

Przeprowadzono rygorystyczny proces kalibracji w celu zapewnienia dokładności pomiarów. Przy użyciu precyzyjnie odmierzonej objętości testowej 1,5 litra czujnik wygenerował 674 impulsy, co odpowiada współczynnikowi kalibracy-

orientation of the sensor was aligned with the flow direction. Electrically, the system was powered by a standard 5V USB supply, and all connections were housed within a waterproof enclosure to protect sensitive electronics. The LCD was positioned and attached inside the ceramic accessory for user visibility, ensuring easy interpretation of data during everyday use. Troubleshooting guidelines were developed to resolve common issues, such as verifying wiring connections, checking the I2C LCD performance, and testing sensor signals of faulty readings displayed on the screen.

Beyond its current functionality, the Smart Ceramic Sink was designed with future enhancements in mind. Proposed hardware improvements include the addition of an SD card module for long-term data logging, a real-time clock for timestamp tracking, and Wi-Fi integration for remote monitoring. Potential software upgrades involve leak detection algorithms, customizable user thresholds, and data analytics for consumption trends. System-level extensions could incorporate smartphone applications, home automation platforms, and multi-sensor monitoring for whole-house water management.

In conclusion, the Smart Ceramic Sink demonstrates a successful implementation of embedded electronics within a household fixture. It delivers accurate flow measurements,

inym 449,33 impulsów na litr. Wartość ta została zaokrąglona do 449 dla uproszczenia implementacji, zachowując równowagę między prostotą a precyzją. Powtarzane próby potwierdziły dokładność systemu w granicach $\pm 1\%$ dla większości zakresów przepływu, ze wzrostem do $\pm 2\%$ przy bardzo niskich wartościach i $\pm 1,5\%$ przy wysokich. To potwierdziło zarówno niezawodność czujnika, jak i solidność metody kalibracyjnej.

Wydajność systemu oceniano pod kątem dokładności, responsywności i wykorzystania zasobów. Wyniki wykazały, że zlew zapewniał wiarygodne odczyty w zakresie przepływów od 0,13 do 2,13 l/min, przy czym wyższe wartości również były testowane i weryfikowane. Czas reakcji wynosił konsekwentnie poniżej jednej sekundy, a zarówno dioda, jak i wyświetlacz dostarczały płynnych aktualizacji w czasie rzeczywistym. Pod względem zasobów program skompilowany zajmował około 25% pamięci flash Arduino i jedynie 10% pamięci dynamicznej, pozostawiając duży zapas na przyszłe rozszerzenia.

Wymagania instalacyjne obejmowały zarówno aspekty mechaniczne, jak i elektryczne. Mechanicznie czujnik przepływu został zamontowany w przewodzie doprowadzającym wodę przy użyciu prostego systemu rur zlewu – węży PVC połączonego z czujnikiem. Orientacja czujnika została dostosowana do kierunku przepływu. Elektrycznie system był zasilany standardowym

real-time feedback, and intuitive visual cues that collectively encourage mindful water consumption. The system's reliability was confirmed through calibration, testing, and performance validation. With a modest budget of approximately €35 and a short development cycle of two weeks—keeping out the ceramic production, the project exemplifies an accessible and scalable solution for sustainability-focused innovations. Beyond its immediate impact, it provides an educational platform for understanding IoT systems and establishes a foundation for future smart home applications, and beyond.



38. Processing the Residual Sink

źródłem 5V USB, a wszystkie połączenia znajdowały się w wodoodpornej obudowie chroniącej wrażliwą elektronikę. Ekran LCD został umieszczony i przymocowany wewnątrz ceramicznego akcesorium dla czytelności i łatwej interpretacji danych podczas codziennego użytkowania. Opracowano także wskazówki diagnostyczne pozwalające rozwiązywać typowe problemy, takie jak sprawdzanie połączeń przewodów, weryfikacja działania ekranu I2C LCD czy testowanie sygnałów czujnika w przypadku błędnych odczytów.

Poza aktualną funkcjonalnością Inteligentny Ceramiczny Zlew został zaprojektowany z myślą o przyszłych ulepszeniach. Proponowane ulepszenia sprzętowe obejmują dodanie modułu karty SD do długoterminowego rejestrowania danych, zegara czasu rzeczywistego do śledzenia znaczników czasowych oraz integrację Wi-Fi dla zdalnego monitorowania. Potencjalne rozszerzenia programowe obejmują algorytmy detekcji wycieków, dostosowywane progi użytkownika i analitykę danych dotyczącą trendów zużycia. Rozszerzenia systemowe mogłyby obejmować aplikacje mobilne, platformy automatyki domowej oraz monitoring wieloczujnikowy dla zarządzania zużyciem wody w całym gospodarstwie.

Podsumowując, Inteligentny Ceramiczny Zlew demonstruje udaną implementację elektroniki wbudowanej w urządzenie gospodarstwa domowego. Dostarcza dokładnych pomiarów

4.3.4 Speculative Role: Martian User as Conscious Actor

The Residual Sink is a data driven sanitary scenario in design speculation, imagining the first Martian settlers as engineers, self-sufficient fabricators, and data-conscious users. Unlike the passive consumption patterns on Earth, these speculative inhabitants live in conditions of absolute scarcity, where every drop of water carries survival value. The sink thus envisions an environment in which daily acts of hygiene are reframed as ecological negotiations. Turning the tap off is no longer an act of discipline but a requirement for continuity of life-support systems. By projecting this reality into speculative bathware, the Residual Sink provides a design fiction that critiques Earth's water-wasting habits while suggesting a blueprint for future sustainable practices.

Functioning simultaneously as a tool of empowerment, civil responsibility, and closer observations, the sink reveals the dual role of feedback technologies. Through constant monitoring and visual signaling, the user's behavior when turning the tap on, is tracked, quantified, and subtly modified. This duality mirrors larger socio-technological debates. When do feedback systems become disciplinary apparatuses, and when do they serve as ethical companions in sustainability? In this sense, the sink speculates a future where sanitary objects themselves become ecologi-

przeptywu, informacji zwrotnych w czasie rzeczywistym oraz intuicyjnych sygnałów wizualnych, które łącznie zachęcają do świadomego zużycia wody. Niezawodność systemu została potwierdzona poprzez kalibrację, testy i walidację wydajności. Przy niewielkim budżecie, wynoszącym około 35 € i krótkim cyklu rozwoju trwającym dwa tygodnie – z wyłączeniem produkcji ceramicznej – projekt stanowi przykład dostępnego i skalowalnego rozwiązania dla innowacji zorientowanych na zrównoważony rozwój. Poza bezpośrednim wpływem projekt ten pełni także rolę platformy edukacyjnej do zrozumienia systemów IoT oraz tworzy fundament dla przyszłych zastosowań inteligentnych technologii domowych i nie tylko.

4.3.4 Rola spekulatywna: Marsjański użytkownik jako świadomy aktor

Residual Sink to scenariusz sanitarny oparty na danych w ramach spekulacji projektowej, wyobrażający pierwszych osadników na Marsie jako inżynierów, samowystarczalnych wytwórców i użytkowników świadomych danych. W przeciwieństwie do pasywnych wzorców konsumpcji na Ziemi, ci hipotetyczni mieszkańcy funkcjonują w warunkach absolutnego niedoboru, gdzie każda kropla wody posiada wartość przetrwania. Zlew wizualizuje więc środowisko, w którym codzienne czynności higieniczne zostają przekształcone w ekologiczne negocjacje. Zakręcenie

cal governors, ensuring moderation of use by embedding resource awareness directly into the act of sanitation. By visualizing waste through color-coded alerts, the sink reframes water usage as a data-embodied responsible ritual, transforming the bathroom into a site of critical ecological consciousness.

While designed in a Martian speculative scenario, the Residual Sink offers pressing lessons for Earth, where water scarcity is already a lived reality in many regions. The U.S. Environmental Protection Agency estimates that the average faucet flows at 8 liters per minute, and leaving taps running during tasks such as brushing teeth can waste up to 15–20 liters of water per day per person. By contrast, the Residual Sink normalizes water control as an everyday responsibility. Its layered feedback system could easily be adapted to terrestrial domestic environments, reframing hygiene as an interaction with real-time data. The speculative Sink becomes a mirror for Earth, reminding us that sustainability should not be only for Mars– it can be prototyped here and now, within an intimate but yet a more technical bathroom.

Finally, the Residual Sink highlights how even in conditions of scarcity, aesthetic values are seamlessly connected to survival practices. The features of the soft glow of light through the tactile transparency of the porcelain body, the LED color shifts transform water conservation into an aestheticized

kranu nie jest już aktem dyscypliny, lecz warunkiem utrzymania systemów podtrzymywania życia. Projektując tę rzeczywistość w formie spekulatywnego urządzenia sanitarnego, Residual Sink tworzy fikcję projektową, która krytykuje ziemskie nawyki marnowania wody, jednocześnie sugerując wzorzec przyszłych praktyk zrównoważonych.

Zlew pełni równocześnie funkcję narzędzia wzmocnienia sprawczości, odpowiedzialności obywatelskiej i dokładniejszej obserwacji, ujawniając podwójną rolę technologii sprzężenia zwrotnego. Poprzez stałe monitorowanie i sygnały wizualne zachowanie użytkownika podczas odkręcania kranu jest śledzone, skwantyfikowane i subtelnie modyfikowane. Ta dwoistość odzwierciedla szersze debaty społeczno-technologiczne: kiedy systemy sprzężenia zwrotnego stają się aparatem dyscyplinującym, a kiedy pełnią rolę etycznych towarzyszy w dążeniu do zrównoważonego rozwoju? W tym sensie zlew spekuluje o przyszłości, w której same obiekty sanitarne stają się ekologicznymi regulatorami, zapewniającymi umiar w użytkowaniu poprzez wbudowanie świadomości zasobów w sam akt higieny. Dzięki wizualizacji marnotrawstwa za pomocą sygnałów kolorystycznych, zlew redefiniuje zużycie wody jako rytuał odpowiedzialności ucieleśniony w danych, przekształcając łazienkę w przestrzeń krytycznej świadomości ekologicznej.

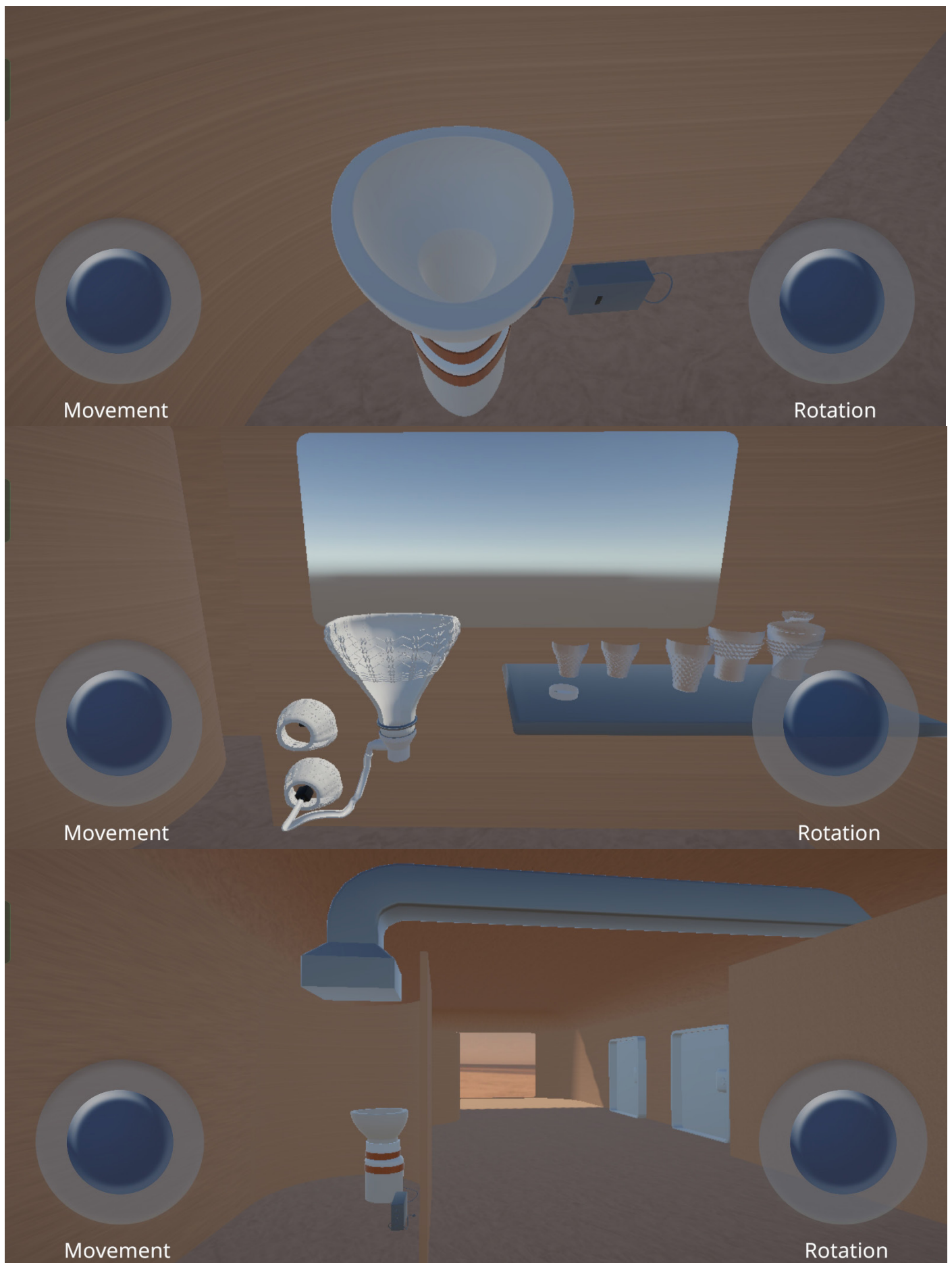
Choć zaprojektowany w spekulaty-

performance of care and responsibility. This transplanetary design gesture suggests that future Martian life will not only prioritize survival but will cultivate new aesthetics of sustainability, where design objects act as didactic companions that teach, remind, and guide behavior. On a global scale, the development of the prototype of the Residual Sink envisioned a cultural shift toward autonomy, independence, and data-driven self-sufficiency- qualities that may define not only the Martian settlers but also the ecologically conscious citizens of Earth.

wnym scenariuszu marsjańskim, Residual Sink oferuje pilne lekcje dla Ziemi, gdzie niedobór wody jest już rzeczywistością w wielu regionach. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) szacuje, że średni przepływ wody z kranu wynosi 8 litrów na minutę, a pozostawienie odkręconego kranu podczas szczotkowania zębów może prowadzić do zmarnowania nawet 15–20 litrów wody dziennie na osobę. W przeciwieństwie do tego, Residual Sink normalizuje kontrolę wody jako codzienną odpowiedzialność. Jego warstwowy system sprzężenia zwrotnego mógłby z łatwością zostać zaadaptowany do ziemskich środowisk domowych, redefiniując higienę jako interakcję z danymi w czasie rzeczywistym. Spekulatywny zlew staje się lustrem dla Ziemi, przypominając nam, że zrównoważony rozwój nie powinien być wyłącznie domeną Marsa – może zostać prototypowanie tu i teraz, w intymnej, choć bardziej technicznej przestrzeni łazienki.

Ostatecznie Residual Sink podkreśla, że nawet w warunkach niedoboru wartości estetyczne pozostają nierozdzielnie związane z praktykami przetrwania. Miękkie światło przenikające przez dotykową transparentność porcelanowego korpusu oraz zmieniające się kolory diod LED przekształcają oszczędzanie wody w estetyczny performance troski i odpowiedzialności. Ten transplanetary gest projektowy sugeruje, że przyszłe życie na Marsie nie będzie ograniczać się do samego przetrwania, lecz będzie kultywować nowe estety-

ki zrównoważonego rozwoju, w których obiekty projektowe pełnią rolę dydaktycznych towarzyszy uczących, przypominających i kierujących zachowaniami. W skali globalnej rozwój prototypu Residual Sink wyobraża kulturową zmianę w kierunku autonomii, niezależności i samowystarczalności opartej na danych – cech, które mogą definiować nie tylko marsjańskich osadników, lecz także ekologicznie świadomych obywateli Ziemi.



5. Application “SMB”, a Virtual Reality Navigation in the Sustainable Martian Bathroom

After finalizing the development of the prototypes, the research expands into the field of Virtual Reality through the design of an interactive application navigating the user into the speculative Sustainable Martian Bathroom, developed in Unity and exported for Android devices. The purpose of creating this virtual space was to extend the Speculative Design of the Sustainable Martian Bathroom into an immersive medium that allows users to navigate, explore, and critically engage with the proposed prototypes in their intended architectural context¹⁷

The theoretical background of the final stage of the research is drawn from concepts of immersion and interaction¹⁸ where virtual environments function not only as representational tools but as a stage of hypothetical actions. Immersion is here to be understood as the ability of the digital space to engage the user's imagination, simulating lived experience in a speculative scenario. The Sustainable Martian Bathroom appears in the SMB application as a virtual interior where the user experiences the gamification as a navigating gesture. The prototypes that were developed once physically, are here presented as virtual objects that invite for a new spatial dialogue, exploration and discussion.

¹⁷ (Ryan, 2001)

¹⁸ (Slater, and Wilbur, 1997, p. 603–616)

5. Aplikacja „SMB”: Nawigacja w rzeczywistości wirtualnej w Zrównoważonej Marsjańskiej Łazience

Po ukończeniu rozwoju prototypów, badania zostały rozszerzone na obszar rzeczywistości wirtualnej poprzez zaprojektowanie interaktywnej aplikacji, która prowadzi użytkownika po spekulatywnej Zrównoważonej Marsjańskiej Łazience. Aplikacja została opracowana w programie Unity i wyeksportowana na urządzenia z systemem Android. Celem stworzenia tej wirtualnej przestrzeni było rozszerzenie Speculative Design Zrównoważonej Marsjańskiej Łazienki o immersyjne medium, które pozwala użytkownikom na nawigację, eksplorację i krytyczne zaangażowanie się w zaproponowane prototypy w ich zamierzonym kontekście architektonicznym.

Podstawy teoretyczne ostatniego etapu badań czerpią z koncepcji immersji i interakcji, gdzie środowiska wirtualne funkcjonują nie tylko jako narzędzia reprezentacyjne, lecz także jako scena hipotetycznych działań. Immersja jest tutaj rozumiana jako zdolność przestrzeni cyfrowej do angażowania wyobraźni użytkownika, symulując doświadczenie życia w scenariuszu spekulatywnym. Zrównoważona Marsjańska Łazienka pojawia się w aplikacji SMB jako wirtualne wnętrze, w którym użytkownik doświadcza grywalizacji w formie gestu nawigacyjnego. Prototypy, które wcześniej zostały opracowane fizycznie,

The following prototypes, the Residual Sink, Crateri Dentales, NML and the Crematorial Toilet are accompanied by functional interior elements on the scene to create a wholesome installation of objects of speculative hygiene practices for survival in harsh environments. The additional elements include a shower with features that regulate the water flow- in speculation, inside a rounded shower cabin, as a continuation of the central wall in the room, towards the front window, hosting the station of the Residual Sink together with the ceramic Spittoons and the oral care items. Opening the application of the virtual Sustainable Martian Bathroom the user can explore the navigable in real time interior, the speculative amenity that reinforces the narrative attributes of water conservation scenarios, turning static prototypes into experiential design fictions, while creating space for reimagination and thought¹⁹ beyond the present, as in a time of crisis.

The immersiveness²⁰ expands to the exterior of the Martian landscape, by showcasing an open source HDR image of a 360° Landscape on Earth, modified in Adobe Photoshop and Unity in order to refer to the Martian Landscape, with its regolith and the sandy ambience, creating a situation to imagine an infinite deserted, rocky planet where water is valued for survival and longevity with a broader essence- a long lasting sustainability that encounters a mindful management of water resource-
¹⁹ (Murray, 1997)

20 (Jasečková, Milan, Vartiak, 2022)

są tu przedstawione jako obiekty wirtualne, zapraszające do nowego dialogu przestrzennego, eksploracji i dyskusji.

Następujące prototypy – Residual Sink, Crateri Dentales, NML oraz Crematorial Toilet – zostały uzupełnione o funkcjonalne elementy wnętrza, aby stworzyć spójną instalację obiektów spekulatywnych praktyk higienicznych, służących przetrwaniu w trudnych warunkach. Dodatkowe elementy obejmują prysznic z funkcjami regulującymi przepływ wody – w spekulacji, wewnątrz zaokrąglonej kabiny prysznicowej, będącej kontynuacją centralnej ściany w pomieszczeniu, prowadzącej do frontowego okna, gdzie znajduje się stanowisko Residual Sink wraz z ceramicznymi spluwaczkami i akcesoriami do higieny jamy ustnej. Uruchamiając aplikację wirtualnej Zrównoważonej Marsjańskiej Łazienki, użytkownik może eksplorować w czasie rzeczywistym wnętrze, które jako spekulatywne udogodnienie wzmacnia narracyjne aspekty scenariuszy oszczędzania wody, przekształcając statyczne prototypy w doświadczalne fikcje projektowe, a jednocześnie tworząc przestrzeń dla ponownej wyobraźni i refleksji wykraczającej poza teraźniejszość – w czas kryzysu.

Immersja rozszerza się również na zewnętrzny krajobraz marsjański poprzez prezentację otwartego źródła obrazu HDR w formie panoramy 360° Ziemi, zmodyfikowanego w Adobe Photoshop i Unity, aby odwoływał się do krajobrazu Marsa, z jego regolitem i piaszczystą

es. The speculation of the Sustainable Martian Bathroom through the series of the prototypes and the Virtual Reality Bathroom together with the immersive extension of the Martian landscape—beyond the bathroom interior situates the project within the philosophy of the geosphere and the noosphere. The terms are rooted in the philosophical concepts of Vladimir Vernadsky and later developed by Teilhard de Chardin. The geosphere refers to the material substrate of the planet: the rocks, sands, regolith, and physical matter upon which human and non-human life depends. Through the terrestrial HDR image into a Martian ambience, the project aesthetically re-imagines this geological layer as a site of both scarcity and potential. The view from the window opens a fictional horizon of a planetary surface that is at once hostile and generative. The speculative Martian Bathroom therefore, does not simply exist in isolation as an interior object-space but is nested within the larger material and climate condition of the planet, making survival inseparable from geological awareness. The noosphere, in contrast, designates the sphere of human thought, culture, and technological imagination that overlays and transforms the geosphere. The presence of a digitally created Martian horizon into the VR environment activates this noospheric dimension and as a result, the virtual image becomes both a scenographic representation and a philosophical projection of human agency onto the planetary scale. The noosphere here is speculative, presented as an imagined realm where data, design, and cultural narratives

atmosferą. Tworzy to sytuację, w której można wyobrazić sobie nieskończoną, pustynną, skalistą planetę, gdzie woda ma kluczową wartość dla przetrwania i długowieczności, w szerszym znaczeniu – jako trwała zrównowaga oparta na świadomym zarządzaniu zasobami wodnymi. Spekulacja Zrównowagonej Marsjańskiej Łazienki – poprzez serię prototypów i Wirtualną Rzeczywistość Łazienki, wraz z immersyjnym rozszerzeniem marsjańskiego krajobrazu poza wnętrze łazienki – sytuują projekt w ramach filozofii geosfery i noosfery.

Pojęcia te wywodzą się z filozoficznych koncepcji Władimira Wiernadskiego, a później rozwiniętych przez Teilharda de Chardin. Geosfera odnosi się do materialnej podstawy planety: skał, piasków, regolitu i materii fizycznej, od których zależy życie ludzkie i pozaludzkie. Dzięki wprowadzeniu ziemskiego obrazu HDR w marsjańską aurę, projekt estetycznie przeobraża tę warstwę geologiczną w miejsce zarówno niedostatku, jak i potencjału. Widok z okna otwiera fikcyjny horyzont powierzchni planetarnej, która jest zarazem wroga i twórcza. Spekulatywna Marsjańska Łazienka nie istnieje więc w izolacji jako obiektowe wnętrze, lecz jest osadzona w szerszym kontekście materialnym i klimatycznym planety, czyniąc przetrwanie nierozdzielnie związanym ze świadomością geologiczną.

Noosfera natomiast oznacza sferę ludzkiej myśli, kultury i wyobraźni technologicznej, która nakłada się na geos-

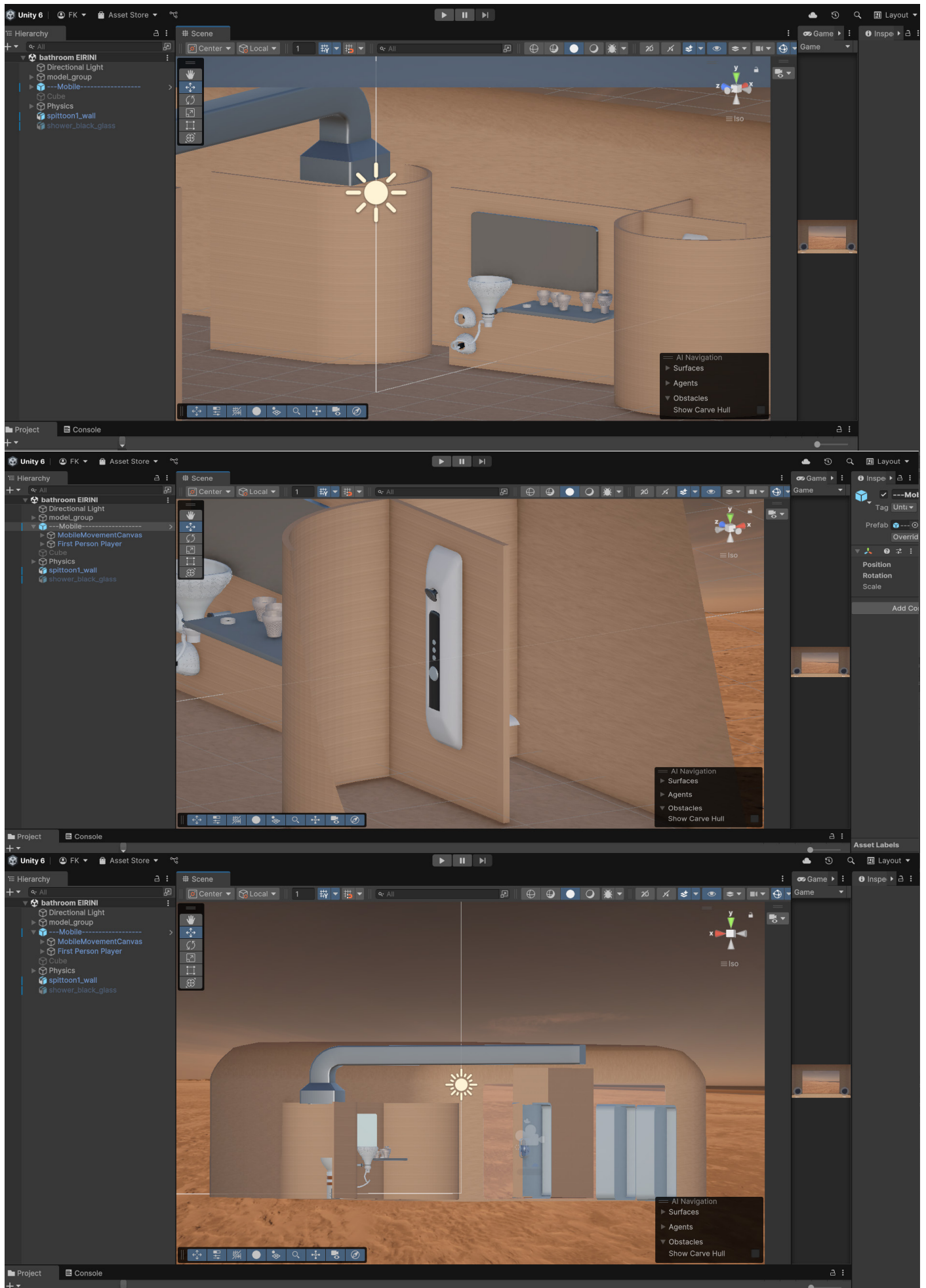
actively reshape ecological futures. In this sense, the Sustainable Martian Bathroom functions as a design fiction about hygiene but also an allegory of how the mind's abstractions inscribe value systems onto material ecologies, urging reflection on water as a resource of survival, environmental ethics, and cultural order.

Aesthetically, the juxtaposition of the intimate interior (the bathroom as a site of daily mindful rituals) with the infinite exterior (the harsh Martian environment) enacts a tension between micro-scale actions and macro-scale consequences. This mirrors the philosophical issue embedded in the geosphere-noosphere relation including small human gestures, such as turning a tap off, rinsing in moderation, replacing the traditional flush, becoming inseparably linked to the broader survival of ecological implementations. The speculative prototypes upgrade the bathroom into a didactic aesthetic space, where the geological and the cultural meet, producing an awareness that sustainability is both a material necessity and a cognitive responsibility.

ferę i ją przekształca. Obecność cyfrowo stworzonego marsjańskiego horyzontu w środowisku VR aktywuje ten wymiar noosferyczny, a w rezultacie wirtualny obraz staje się jednocześnie reprezentacją scenograficzną i filozoficzną projekcją ludzkiej sprawczości w skali planetarnej. Noosfera jest tutaj spekulatywna, ukazana jako wyobrażona sfera, w której dane, design i narracje kulturowe aktywnie przekształcają przyszłości ekologiczne. W tym sensie Zrównoważona Marsjańska Łazienka jest nie tylko fikcją projektową dotyczącą higieny, ale także alegorią tego, jak abstrakcje umysłu wpisują systemy wartości w materialne ekologię, skłaniając do refleksji nad wodą jako zasobem przetrwania, etyką środowiskową i porządkiem kulturowym.

Estetycznie zestawienie intymnego wnętrza (łazienki jako miejsca codziennych, ważnych rytuałów) z nieskończonym zewnętrzem (surowym środowiskiem Marsa) tworzy napięcie między działaniami w mikroskali a konsekwencjami w makroskali. Odbija to filozoficzny problem wpisany w relację geosfera-noosfera, gdzie drobne ludzkie gesty – takie jak zakręcanie kranu, umiarkowane płukanie czy zastępowanie tradycyjnego spłukiwania – stają się nierozdzielnie związane z szerszym przetrwaniem ekologicznym. Spekulatywne prototypy przekształcają łazienkę w dydaktyczną, estetyczną przestrzeń, w której geologia i kultura spotykają się, tworząc świadomość, że zrównoważoność jest zarówno materialną koniecznością, jak i poznawczą odpowiedzialnością.





5.1 Technical Development of the Application “SMB”

In technical aspects, the application was developed in Unity, an open source, real time development platform, using the existing .fbx models of the prototypes and the speculative Bathroom interior, designed in 3DS MAX by Autodesk. By adding a script in the programming language C#, encompassing static typing in Unity to provide two basic modes of navigation: movement through a left lever, as appeared on the screen and rotation through a right lever, the project is easily prepared and exported to an application for several platforms and operational systems. This system allows the user to traverse the rectangular bathroom interior, oriented toward a panoramic northern window that frames the Martian landscape, while also accessing specific architectural features such as rounded partition walls, a conscious shower system, and the infrared sauna chamber. The interaction model thus emphasizes autonomy and spatial agency, reinforcing the speculative role of the first Martian user as an explorer of sustainable domestic systems, a resident who follows an hypothetical protocol suggesting an extraterrestrial sustainability model. The virtual Bathroom in the SMB application was exported in an .apk file, suitable for Android devices. However it is possible to export the application file to be compatible with more platforms such as Mobile platforms iOS, iPadOS, Android (Android TV), tvOS, desktop platforms such as Windows (Universal Windows

5.1 Rozwój techniczny aplikacji „SMB”

Pod względem technicznym aplikacja została opracowana w Unity – otwartym, działającym w czasie rzeczywistym środowisku programistycznym – z wykorzystaniem istniejących modeli prototypów w formacie .fbx oraz spekulatywnego wnętrza łazienki, zaprojektowanego w 3DS MAX firmy Autodesk. Poprzez dodanie skryptu w języku programowania C#, obejmującego statyczne typowanie w Unity, stworzono dwa podstawowe tryby nawigacji: ruch za pomocą lewego manipulatora, widocznego na ekranie, oraz obrót za pomocą prawego manipulatora. Dzięki temu projekt został łatwo przygotowany i wyeksportowany do aplikacji na różne platformy i systemy operacyjne. System ten umożliwia użytkownikowi przemieszczanie się wewnątrz prostokątnego wnętrza łazienki, zorientowanej w stronę panoramicznego północnego okna, kierującego marsjański krajobraz, a także dostęp do określonych elementów architektonicznych, takich jak zaokrąglone ściany działowe, świadomy system prysznicowy czy komora sauny na podczerwień. Model interakcji podkreśla zatem autonomię i sprawczość przestrzenną, wzmacniając spekulatywną rolę pierwszego użytkownika na Marsie jako odkrywcy zrównoważonych systemów domowych – mieszkańca podążającego za hipotetycznym protokołem sugerującym pozaziemski model zrównoważonego życia.

Platform), Mac, Linux, ChromeOS, web platform WebGL, and console platforms like PlayStation 4, PlayStation 5, Xbox One, Xbox Series X/S, Nintendo Switch.

With the initiative to incorporate a Virtual Reality application into the design methodology, the project achieves two goals. Firstly, it expands Speculative Design beyond physical prototyping into the realm of virtual storytelling. Secondly, it demonstrates how digital tools can act as critical mediators between design fiction and user experience. The Sustainable Martian Bathroom as an experimental virtual prototype and a space of narration, highlights the potential of immersive technologies to speculate on future ways of living, managing resources, and inhabiting extra-terrestrial environments.

Wirtualna łazienka w aplikacji SMB została wyeksportowana w pliku .apk, odpowiednim dla urządzeń z systemem Android. Możliwe jest jednak wyeksportowanie aplikacji także na inne platformy, takie jak: mobilne (iOS, iPadOS, Android TV, tvOS), stacjonarne (Windows – Universal Windows Platform, Mac, Linux, ChromeOS), internetowe (WebGL) oraz konsole (PlayStation 4, PlayStation 5, Xbox One, Xbox Series X/S, Nintendo Switch).

Dzięki inicjatywie włączenia aplikacji VR do metodologii projektowej projekt osiąga dwa cele. Po pierwsze – poszerza spekulatywny design poza fizyczne prototypowanie w obszar wirtualnej narracji. Po drugie – pokazuje, jak narzędzia cyfrowe mogą pełnić rolę krytycznych mediatorów pomiędzy fikcją projektową a doświadczeniem użytkownika. Zrównoważona Marsjańska łazienka, jako eksperymentalny prototyp wirtualny i przestrzeń narracyjną, podkreśla potencjał technologii immersyjnych do spekulowania o przyszłych sposobach życia, zarządzania zasobami i zamieszkiwania środowisk pozaziemskich.

The future of humanity is already shadowed by urgent concerns, dwindling resources, rising environmental instability, and the persistent failure to address ecological crises on Earth. In this context, the issue was taken into account, together with the fact of evidence of water that was spotted on Mars and considered as a fundamental starting point for this artistic and design research, speculative and critical design emerged not as a design that offers solutions, but as a cultural catalyst, aiming to provoke awareness, to question assumptions, and to prepare imaginaries of how we might live differently. This is how the project distances from the requirements of a market product. The Sustainable Martian Bathroom, with its prototypes, the Crateri Dentaless, the Residual Sink, and the Crematorial Toilet, does not promise to solve the problems of water scarcity in practice. Instead, it enacts a narrative environment in which the value of water is magnified, reframed, and experienced through speculative artifacts that challenge us to reconsider our relationship to the most fundamental resource of survival, the water resource management. In imagining the daily rituals of Martian settlers, the project positions its fictional users as conscious actors: engineers of their own survival, fabricators of their own tools, and analysts of their own resource consumption. These figures mirror what we might aspire to on Earth: citizens who live not in denial of scarcity, but in mindful engagement

Przyszłość ludzkości jest już naznaczona pilnymi obawami: kurczącymi się zasobami, narastającą niestabilnością środowiskową i nieustannym brakiem skutecznej odpowiedzi na kryzysy ekologiczne na Ziemi. W tym kontekście, w połączeniu z faktem odkrycia śladów wody na Marsie – uznanych za fundamentalny punkt wyjścia dla niniejszych badań artystycznych i projektowych – spekulatywny i krytyczny design pojawił się nie jako projekt proponujący rozwiązania, lecz jako katalizator kulturowy, mający na celu wywołanie świadomości, zakwestionowanie założeń oraz przygotowanie wyobrażeń o tym, jak moglibyśmy żyć inaczej. W ten sposób projekt dystansuje się od wymogów rynku i komercyjnego produktu.

Zrównoważona Marsjańska Łazienka wraz ze swoimi prototypami – Crateri Dentaless, Residual Sink i Crematorial Toilet – nie obiecuje praktycznego rozwiązania problemów związanych z niedoborem wody. Zamiast tego kreuje narracyjne środowisko, w którym wartość wody zostaje powiększona, przekształcona i doświadczona poprzez spekulatywne artefakty, które zmuszają nas do ponownego przemyślenia relacji z tym fundamentalnym zasobem przetrwania, jakim jest zarządzanie wodą. W wyobrażeniu codziennych rytuałów marsjańskich osadników projekt umieszcza fikcyjnych użytkowników jako świadomych aktorów: inżynierów własnego przetrwania, wytwórców

with sustainable performance results. The speculative bathroom creates a fictional yet tangible scenario, inspired by the future or the almost actual statements of environmental critical points and instabilities. The hypothetical Sustainable Martian Bathroom demonstrates a hygiene practice which motivates a dialogue around the subject of resource conservation and a more conscious treatment not necessarily in the domestic context but in a wider scale of environmental respect. Every drop becomes visible, every gesture monitored, every resource treated with dignity and ethical approach. In this way, the project both critiques our present excess and proposes an alternative mindset of care, self-sufficiency, and responsibility in a civil scene. The Martian ethics appear as a fictional narration that speculate the paradigm shift of how we approach and manage the essentials for survival on Earth.

The speculative narration actively educates in terms of perception, unsettling habitual behaviors. The project engages audiences in dialogue rather than dictate answers. Unlike commercial design, which links to efficiency or novelty, Speculative Design slows us down and asks us to dwell in questioning discomfort or imagination of a situation. What would it mean if our bathroom features displayed our water usage in real time? What if brushing our teeth without rinsing became a necessity rather than an option? What if waste could be transformed into resources for new life? These are not simply technical

własnych narzędzi i analityków własnego zużycia zasobów. Postacie te są lustrzanym odbiciem tego, do czego powinniśmy dążyć na Ziemi: obywateli żyjących nie w zaprzeczeniu niedoboru, lecz w świadomym zaangażowaniu w wyniki zrównoważonych praktyk.

Spekulatywna łazienka tworzy scenariusz fikcyjny, lecz namacalny, inspirowany prognozami przyszłości lub niemal realnymi stwierdzeniami dotyczącymi krytycznych punktów i niestabilności środowiskowych. Hipotetyczna Zrównoważona Marsjańska Łazienka przedstawia praktykę higieniczną, która motywuje dialog wokół kwestii oszczędzania zasobów i bardziej świadomego traktowania ich nie tylko w kontekście domowym, lecz także w szerszej skali szacunku dla środowiska. Każda kropla staje się widoczna, każdy gest monitorowany, każdy zasób traktowany z godnością i etycznym podejściem. W ten sposób projekt krytykuje naszą współczesną nadmierną konsumpcję, a zarazem proponuje alternatywny sposób myślenia o trosce, samowystarczalności i odpowiedzialności w wymiarze społecznym.

Etyka marsjańska pojawia się tutaj jako narracja fikcyjna, spekulująca nad zmianą paradygmatu w podejściu do zarządzania podstawowymi środkami przetrwania na Ziemi. Spekulatywna narracja pełni rolę edukacyjną, zmieniając percepcję i zaburzając przyzwyczajenia. Projekt wchodzi w dialog z odbiorcami zamiast narzucać odpow-

questions, but ethical provocations about how we wish to relate to the philosophical concepts of the geosphere and the noosphere. Environmental crises, particularly those surrounding water are already shaping the lives of millions across the globe. Yet, in many cases, water remains an invisible infrastructure: abundant, taken for granted, and often wasted. The U.S. Environmental Protection Agency reports that leaving the tap running while brushing teeth can waste up to 15 liters per use. Multiplied across months and years, this transforms into an unfathomable volume of lost resources. The speculative Martian Bathroom reframes this statistic into a lived, designed scenario, where water conservation is not a moral choice but a structural necessity, directly linked to the very architecture of survival.

The potentiality of 3D printing in this context is crucial. On Mars, as on Earth, resource independence and in-situ production are supposed to be luxuries, but they work in terms of lifelines. The ability to fabricate sanitary devices, tools, or even structural components from available materials such as ceramic, regolith-like composites, or concrete-like extrusions, presents a paradigm of autarky and self-sufficiency. Beyond its technical function, 3D printing carries an aesthetic and cultural significance representing a new material language of layered progressive development including objects delivered through accumulation rather than subtraction. In clay, in concrete, other mortar and binding masses, the process itself becomes a visible plan of survival and adaptation. The project was developed not just about prototyping for extreme envi-

iedzi. W przeciwieństwie do designu komercyjnego, który łączy się z efektywnością czy nowością, spekulatywny design spowalnia nas i zmusza do trwania w dyskomforcie pytania lub w wyobrażeniu sytuacji.

Co by było, gdyby elementy naszej łazienki w czasie rzeczywistym pokazywały zużycie wody? Co, gdyby mycie zębów bez splukiwania stało się koniecznością, a nie opcją? Co, gdyby odpady mogły być przekształcane w zasoby dla nowego życia? Nie są to jedynie pytania techniczne, lecz prowokacje etyczne dotyczące tego, jak chcemy odnosić się do filozoficznych pojęć geosfery i noosfery.

Kryzysy środowiskowe, a szczególnie te dotyczące wody, już teraz kształtują życie milionów ludzi na całym świecie. Jednak w wielu przypadkach woda pozostaje niewidzialną infrastrukturą: obfitą, traktowaną jako oczywistość i często marnowaną. Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (EPA) raportuje, że pozostawienie odkręconego kranu podczas mycia zębów może zmarnować do 15 litrów wody na jedno użycie. Pomnożone przez miesiące i lata, staje się to niewyobrażalną objętością utraconych zasobów. Spekulatywna Marsjańska Łazienka przekształca tę statystykę w zaprojektowany scenariusz doświadczeniowy, w którym oszczędzanie wody nie jest wyborem moralnym, lecz koniecznością strukturalną, bezpośrednio powiązaną z samą architekturą przetrwania.

ronments, but also about how production itself is re-imagined as a dialogue between material, machine, and necessity.

Speculative Design thus opens a path for education not by teaching solutions, but by teaching imagination. By the idea of constructing narrative objects such as the edible toothpaste NML, the water-monitoring Residual Sink, or the Crematorial Toilet that transforms waste into ashes, the project builds stories around functionality and potentiality. These prototypes are not products for markets, although they are inspired by late trends and innovations in Design. The optimal goal was to create a debate and start provocations for reflection, activating what philosopher Pierre Teilhard de Chardin described as the noosphere: the collective layer of human thought and culture that interacts with the geosphere of material resources. In speculative scenarios, these spheres intersect the geological and the cultural, the environmental and the ethical while we can assume that it is possible to see Design as a philosophical act, shaping not only how we live, but how we think about living. What we continue to avoid, both in policies and in daily life, is precisely this shift from passive waste to responsible consumption. We invest in mega-projects of space exploration without confronting the ecological devastation at home when sometimes Earth's resources are not enough to cover industry demands and sustain societies. We celebrate technological progress while neglecting

Potencjał druku 3D w tym kontekście ma kluczowe znaczenie. Na Marsie, podobnie jak na Ziemi, niezależność zasobowa i produkcja in situ nie są luksusem, lecz warunkiem życia. Możliwość wytwarzania urządzeń sanitarnych, narzędzi czy nawet elementów konstrukcyjnych z dostępnych materiałów, takich jak ceramika, kompozyty podobne do regolitu czy masy o konsystencji betonu, otwiera perspektywę autarkii i samowystarczalności. Poza funkcją techniczną druk 3D niesie znaczenie estetyczne i kulturowe, reprezentując nowy język materialny warstwowego, progresywnego tworzenia, w którym obiekty powstają poprzez akumulację, a nie odejmowanie. W glinie, w betonie, w zaprawach i innych masach wiążących sam proces staje się widocznym planem przetrwania i adaptacji.

Projekt rozwijany był nie tylko wokół prototypowania dla środowisk ekstremalnych, lecz także wokół pytania, jak sama produkcja została przeobrażona w dialog między materiałem, maszyną a koniecznością. Spekulatywny design otwiera zatem drogę edukacji nie poprzez nauczanie rozwiązań, lecz poprzez nauczanie wyobraźni. Konstruując narracyjne obiekty takie jak jadalna pasta do zębów NML, monitorujący wodę Residual Sink czy Crematorial Toilet przekształcająca odpady w popiół, projekt buduje opowieści wokół funkcjonalności i potencjału.

the simplest of gestures: apply existing technologies for water management, recycling water, rethinking waste. A very good example of such a substantial investment project is the filtration toilet by Bill & Melinda Gates Foundation, the Nano Membrane Toilet, which uses membranes to clean water and a combustion unit to process solids.

The speculative bathroom insists that such small, intimate practices are not peripheral, but central to the survival of any planetary life, whether on Earth or on Mars. By situating them in an extra-terrestrial landscape, the project holds up a mirror to our current crisis, showing us the absurdity of wasting water in a world where survival depends on every molecule.

For the closing, the outcome of the research on developing the Sustainable Martian Bathroom is not about creating a survival guide for Mars, but it demonstrates what practices could be followed on Earth. The project suggests that Speculative Design can operate as an educational stage, where design artifacts act as motivational, functional objects in fiction, mediating between data, ethics, and imagination. The prototypes question the topic of a reimagined living in ceramic, clay, observations, operations and digital code and real-time performances. The Sustainable Martian Bathroom invites the viewer to enter into dialogue, to imagine futures where scarcity forces for responsibility, and highlights sustain-

Prototypy te nie są produktami rynkowymi, choć inspirowane są późnymi trendami i innowacjami w designie. Celem nadrzędnym było wywołanie debaty i sprowokowanie refleksji, aktywując to, co filozof Pierre Teilhard de Chardin opisał jako noosferę: zbiorową warstwę ludzkiej myśli i kultury, która oddziałuje na geosferę zasobów materialnych.

Scenariusz zamieszkiwania Marsa staje się punktem wyjścia do ponownego przemyślenia naszych motywacji wobec zrównoważonego życia, praktykowania świadomości środowiskowej i doceniania ograniczonych zasobów naturalnych. Choć spekulujemy na temat podróży kosmicznych i życia na Marsie, wciąż nie wiemy, czy kolonizacja Czerwonej Planety kiedykolwiek nastąpi. Jednak nawet w najbardziej niegościnnych miejscach pojawi się człowiek, a porządek natury będzie się toczył dalej. Wizualizowanie przyszłości przybliża nas do niej – a my już mamy zdolność projektowania tego, co nadejdzie.

ability as an optional lifestyle, action of choice, for a superior goal, the condition of survival. Ultimately, making a critical hypothesis while exploring design thinking proposes, given the extreme conditions, an inhospitable Martian desert, a fragile Earth under climate stress drove the directions of the project to design, to imagine, and to adapt in order to focus on underlying the issues of water resource treatment. The Sustainable Martian Bathroom asks us to reconsider the smallest of spaces, the most ordinary of routines, and to see through them the possibility of a drastic cultural transformation. Space travelling generates new aesthetics, new ethics of deriving from the 3Rs of sustainability, reuse, reduce and recycle. The fiction behind the speculative artifacts, demonstrates a future in which design cultivates the culture of sustainability on Earth, and beyond.

The scenario of inhabiting Mars works as a starting point to reconsider our motives towards a sustainable living, performing environmental mindfulness, valuing limited resources. While we are speculating space travelling and life on Mars, we cannot specify occupation on the Red Planet. However, even in the most inhospitable places, human appears, and the order of nature will continue to move. Visualizing the future brings us closer to it, and we already have the ability to design that future.

Bibliography and Links

1. Cabrol, N. A. and Grin, E. A. (eds.), 2018. From Habitability to Life on Mars. Amsterdam: Elsevier.
2. Wanjek, C., 2020. Spacefarers: How Humans Will Settle the Moon, Mars, and Beyond. Cambridge, MA: Harvard University Press.
3. Weir, A., 2010. Packing for Mars: The Curious Science of Life in the Void. New York: Crown Publishing.
4. Zubrin, R., 2011. The Case for Mars: The Plan to Settle the Red Planet and Why We Must. New York: Free Press.
5. Warnier, C., 2014. Printing Things: Visions and Essentials for 3D Printing. Berlin: Gestalten.
6. Keep, J., 2020. A Guide to Clay 3D Printing. [self-published].
7. Keep, J., 2014. "The Fourth Way." Ceramic Review, 270, pp.32-36.
8. Mason, P., 2015. PostCapitalism: A Guide to Our Future. London: Allen Lane.
9. Neukart, F., 2021. Towards Sustainable Horizons: A Comprehensive Blueprint for Mars Colonization. [online] Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024022114>> Heliyon [29 February 2024].
10. Petranek, S., 2015. How We'll Live on Mars. New York: Simon & Schuster.
11. Robinson, K. S., 2022. The High Frontier: An Easier Way to Colonize Mars. New York: Orbit.
12. Fisher, M., 2009. Capitalist Real-

Źródła internetowe

<https://science.nasa.gov/mission/advanced-plant-habitat/>

(PDF) MATERIAL KNOWLEDGE FOR DESIGN - THE ARCHITECT'S VOCABULARY

https://www.researchgate.net/publication/241090827_MATERIAL_KNOWLEDGE_FOR_DESIGN_-_THE_ARCHITECT'S_VOCABULARY

<https://sustainabletoilets.com/products/cinderella%C2%AE-catalytic-converter-w-insulated-housing?srsId=AfmBOoo19J8E4sVn-V4ny5LNIdha3otV0P4GswmMpiLhc3e0ORcTkbO9o>

Ore resources on Mars - Wikipedia
<https://share.google/S7CtBeKpo6Gks-RqL3>

<chrome-extension://efaidnbmn-nibpcajpcglclefindmkaj/https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220007076/downloads/Shkolyar.identifying.STI.pdf>

<https://www.ceramicsnow.org/articles/clay-3d-printing-a-potters-perspective/>

<https://science.nasa.gov/resource/a-water-ice-map-for-mars/>

<https://blogs.agu.org/geospace/2019/12/10/nasas-treasure-map-for-water-ice-on-mars/>

<https://www.dmaf-lab.com/digfab/ceramicprinting>

<https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jace.20043>

<https://www.youtube.com/watch?v=ybUdVSQsNKQ&t=165s>

<https://www.youtube.com/>

ism: Is There No Alternative? Winchester: Zero Books.

13. Dunne, A. and Raby, F., 2013. *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. London: Massachusetts Institute of Technology.
14. Hedrien Horn, 2024, *Let's Clay 3D Print! A Guidebook*, Independently published.
15. Murray, Janet H. *Hamlet on the Holodeck: The Future of Narrative in Cyberspace*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
16. Ryan, Marie-Laure. *Narrative as Virtual Reality: Immersion and Interactivity in Literature and Electronic Media*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001.
17. Slater, Mel, and Sylvia Wilbur. "A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments." *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, no. 6 (1997): 603–616.
18. Jasečková, Galina, Milan Konvit, and Lukáš Vartiak. "Vernadsky's Concept of the Noosphere and Its Reflection in Ethical and Moral Values of Society." *History of Science and Technology*, December 2022.
19. NASA. "NASA Phoenix Mars Lander Confirms Frozen Water." NASA.gov. Archived from the original on July 1, 2008. Accessed June 22, 2010. <https://www.nasa.gov>.
20. Steuer, Jonathan. "Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence." *Journal of Communication* 42, no. 4 (1992): 73–93.

gqVpBPJTrol

<https://www.youtube.com/watch?v=jDaRPsVvcz4>

<https://www.youtube.com/watch?v=ekMuWyUEfhU>

chrome-extension://efaidnbmn-nnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.eitkw.com/wp-content/uploads/2020/03/Arduino_Projects_Book.pdf?srsId=AfmBOopXSMSMN-ZApwYAaH7AEFQrY0_jttqhnuCWtjUVN-9S9ym9lbZcVU

chrome-extension://efaidnbmn-nnibpcajpcgclclefindmkaj/https://agsci.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/95/2020/03/Programming-Arduino.pdf

<https://www.nasa.gov/humans-in-space/boldly-go-nasas-new-space-toilet-offers-more-comfort-improved-efficiency-for-deep-space-missions/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Space_toilet

chrome-extension://efaidnbmn-nnibpcajpcgclclefindmkaj/https://ttu-ir.tdl.org/server/api/core/bitstreams/031cabaf-bb07-4aa6-8a36-0a98df182f5e/content

<https://www.youtube.com/watch?v=FKekzzj5844>

<https://www.youtube.com/watch?v=BLrHTHUjPuw>

<https://www.arduino.cc/>

<https://www.duinoidegenerator.com/>

All projects developed at the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław.

The 3D printing process, the ceramic firings and the prototyping were performed at the following studios of the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław: CSU. CI (Center for Applied Arts. Innovation Center.), Generała Romualda Traugutta 19/21, 50-416, Wrocław, Poland.

Space and Interactive Object Design Studio, Faculty of Interior Architecture, Design and Scenography, Department of Interior Design, supervised by dr.hab Dominika Sobolewska, Professor ASP.

Studio of Innovative Practices in Ceramics, Faculty of Ceramics and Glass, Department of Ceramics, supervised by Dr. Renata Bonter-Jędrzejewska, Assistant Professor ASP.

The conduction of the scientific experiment took place at Hackerspace Wrocław under the assistance of Bartosz Pytko.

The research was conducted under the support of the Doctoral School at the Eugeniusz Geppert Academy of Art and Design in Wrocław, 2022-2025.

Photography by Foteini Kolaiti

Wszystkie projekty zostały opracowane w Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu.

Proces druku 3D, wypały ceramiczne oraz prototypowanie zostały zrealizowane w następujących pracowniach Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu:

CSU.CI (Centrum Sztuk Użytkowych. Centrum Innowacji), ul. Generała Romualda Traugutta 19/21, 50-416 Wrocław, Polska.

Pracownia Projektowania Obiektów Interaktywnych i Kosmicznych, Wydział Architektury Wnętrz, Wzornictwa i Scenografii, Katedra Wzornictwa Wnętrz, pod kierunkiem dr hab. Dominiki Sobolewskiej, prof. ASP.

Pracownia Innowacyjnych Praktyk w Ceramice, Wydział Ceramiki i Szkła, Katedra Ceramiki, pod kierunkiem dr Renaty Bonter-Jędrzejewskiej, adiunkt.

Przeprowadzenie eksperymentu naukowego miało miejsce w Hackerspace Wrocław przy asyście Bartosza Pytko.

Badania były prowadzone przy wsparciu Szkoły Doktorskiej Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu w latach 2022–2025.

Zdjęcia: Foteini Kolaiti

















Supervisor / Promotorka:
Dr. Dominika Sobolewska, prof.ASP

Studio of Innovative Practices in Ceramics /
Pracownia Innowacyjnych Procesów
Projektowych w Ceramice:
Dr. Renata Bonter-Jędrzejewska prof.ASP

The project was developed at the Doctoral School of the
Eugeniusz Geppert Academy of Fine Arts and Design in
Wrocław, 2022 - 2025.