

# 01

**Michał Kracik**

## Autoreferat

Katedra Metodyki Projektowania  
Wydział Form Przemysłowych  
Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie

—  
Kraków, kwiecień 2019

załącznik nr 1  
do wniosku o przeprowadzenie  
postępowania habilitacyjnego



Imię i Nazwisko

Michał Kracik

**1.  
WYKSZTAŁCENIE, POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE  
NAUKOWE / ARTYSTYCZNE – Z PODANIEM NAZWY,  
MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA  
ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ:**

1998–2002	studia licencjackie, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, Kierunek – Turystyka i Rekreacja
2002	tytuł licencjata, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie
2002–2007	studia magisterskie na Wydziale Form Przemysłowych Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, Kierunek – Wzornictwo
02–06.2005	studia w L’Ecole de Design Nantes Atlantiques, Stypendium Sokrates – Erasmus
2007	tytuł magistra, Wydział Form Przemysłowych Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie, <i>Samochód przyszłości – projekt koncepcyjny</i> , promotor – dr Stanisław Półtorak
2010–2011	studia w ramach Junior Advanced Research Grant – Stypendium Fulbrighta, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Wydział Aeronautyki i Astronautyki
06–09.2012	studia na International Space University, Space Studies Program SSP11
18.05.2012	stopień doktora sztuk plastycznych w dyscyplinie artystycznej sztuki projektowe, Wydział Form Przemysłowych Akademii Sztuk Pięknych im. Jana Matejki w Krakowie tytuł rozprawy doktorskiej: <i>Projekt Miejskiego Samochodu Elektrycznego</i> , promotor – prof. Maria Dziedzic

**2.  
INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU  
W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH / ARTYSTYCZNYCH:**

**Wydział Form Przemysłowych, Akademii Sztuk Pięknych  
im. Jana Matejki w Krakowie:**

02.2007–06.2007	godziny zleczone, stanowisko – asystent stażysta Katedra Metodyki Projektowania prowadzenie zajęć z przedmiotu Projektowanie Struktur Użytkowych [pod opieką dydaktyczną prof. Marii Dziedzic]
01.02.2008–16.02.2014	umowa o pracę, stanowisko – asystent – pełny etat Katedra Metodyki Projektowania Pracownia Projektowania Struktur Użytkowych
17.02.2014–obecnie	umowa o pracę, stanowisko – adiunkt – pełny etat Katedra Metodyki Projektowania Pracownia Metod i Eksperymentów Projektowych / Pracownia Projektowania dla Środowisk Ekstremalnych

**Massachusetts Institute of Technology (MIT):**

02.01.2013–30.08.2013	staż podoktorski (Postdoctoral Fellow) Katedra Aeronautyki i Astronautyki Man Vehicle Laboratory
-----------------------	--

**3.**  
**WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO**  
**Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R.**  
**O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM**  
**ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI**  
[Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.]

**Tytuł osiągnięcia projektowego:**

*Spacesuit Trauma Countermeasure System for  
Intravehicular and Extravehicular Activities*

**NASA HRP Grant #NNX12AC09G**

Polskie tłumaczenie:

*System zapobiegania urazom w skafandrze kosmicznym podczas  
spacerów kosmicznych i wewnątrz statku kosmicznego*

Grant Badawczy NASA HRP #NNX12AC09G

# POSZUKIWANIE DROGI

Aby nakreślić kontekst dla opisu wskazanego osiągnięcia projektowego, uznałem za właściwe, krótkie przedstawienie mojej drogi zawodowej, dzięki której podjęcie prezentowanej problematyki stało się możliwe.

Studia na Wydziale Form Przemysłowych podjąłem będąc już absolwentem Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie. Na trzecim roku studiów licencjackich na AWF, na kierunku Turystyka i Rekreacja, mając już świadomość, że był to okres bardziej poszukiwania właściwej drogi niż zdobywania zawodu, rozpocząłem przygotowania do egzaminu na Wydział Form Przemysłowych, Krakowskiej ASP. W 2002 roku, po drugim, tym razem udanym podejściu do egzaminu, rozpocząłem studia na WFP. Mając stosunkowo ograniczoną świadomość w obszarze dziedziny wzornictwa, kierowany wrodzoną ciekawością świata, starałem się aktywnie chłonąć przekazywaną nam wiedzę.

Pracę na Wydziale Form Przemysłowych rozpocząłem jeszcze przed ukończeniem studiów, na roku piątym – dyplomowym, przyjąłem obowiązki asystenta stażysty w Katedrze Metodyki Projektowania, prowadzonej przez Panią Profesor Marię Dziedzic. Było to moje pierwsze doświadczenie z dydaktyką i też pewnego rodzaju eksperyment, gdyż nigdy wcześniej nie planowałem kariery naukowo-dydaktycznej. Po obronie pracy magisterskiej w październiku 2007 roku, zaciekawiony możliwością bezpośredniej pracy ze studentami, pozostając w znanym i oswojonym środowisku, trochę z rozpędu, kontynuowałem pracę jako asystent. Podczas studiów najwięcej czasu spędziłem właśnie w Katedrze Metodyki Projektowania pod okiem Profesor Marii Dziedzic i dr Stanisława Półtoraka, który był promotorem mojej pracy magisterskiej. Mimo, iż nie postrzegałem wówczas metodyki projektowania jako odrębnej dziedziny w obszarze wzornictwa, ani też nie wiązałem mojej przyszłości z pracą teoretyka czy naukowca, logika stanowiąca fundament każdej metodyki, stała się podstawą mojego myślenia o projektowaniu. Logika, odzwierciedlona w racjonalnym procesie projektowym, warunkującym powstanie przemyślanego rozwiązania projektowego, stała się wiodącą ideą leżącą głęboko u podstaw mojej pracy zawodowej. Zarówno tej związanej z dydaktyką i pracą naukową, ale też pracą projektanta praktyka. Świadomość dotycząca dziedziny, w której podjąłem pracę rodziła się stopniowo.

# ZDOBYWANIE DOŚWIADCZENIA

Mając poczucie, że moje doświadczenie jako projektanta, który rozpoczął nauczanie innych, samemu nie posiadając praktycznego doświadczenia projektowego (poza miesięczną praktyką w Peugeot Citroen pod Paryżem), uznałem za obowiązek jak najszybsze zdobycie doświadczenia projektowego. Ze względu na moje zainteresowanie motoryzacją, ugruntowane podczas praktyk zawodowych w trakcie studiów, ale także podczas realizacji pracy dyplomowej, już po studiach podjąłem współpracę z firmą Car Technology. Po 2 latach i kilku mniejszych zleceniach związanych z projektami elementów wnętrza samochodu Leopard Roadster, stanąłem przed pierwszym poważnym wyzwaniem jako projektant. Firma Car Technology proponowała mi udział w projekcie pierwszego polskiego samochodu elektrycznego, nazwanego roboczo ELV001. Będąc początkującym projektantem, nie zdając sobie w pełni sprawy z powagi postawionego przede mną zadania, zdecydowałem się przyjąć rolę głównego projektanta wzornictwa pojazdu, odpowiedzialnego zarówno za aspekty funkcjonalne jak i estetyczne. To doświadczenie bezpośredniej współpracy z interdyscyplinarnym, lecz głównie technicznym zespołem, niewątpliwie ukształtowało mnie jako projektanta i wpłynęło na decyzje związane z moją przyszłą karierą zawodową. Doświadczenie udziału w tak złożonym przedsięwzięciu już na początku drogi zawodowej, oprócz lekcji pokory, połączonej, mimo wszystko z pewną satysfakcją płynącą z podołania zadaniu, okazało się też istotną motywacją do poszukiwania kolejnych, ambitnych, wyzwań w dziedzinie projektowania.

# ODKRYWANIE PASJI

W drugim roku mojej pracy na Wydziale Form Przemysłowych, łącząc pracę dydaktyczną z praktyką zawodową, podążając za radą starszych współpracowników, postanowiłem ubiegać się o możliwość wyjazdu zagranicznego, aby poszerzyć moje horyzonty badawcze, szczególnie wobec mojego ówczesnego skupienia w pracy na Wydziale na zadaniach dydaktycznych. Będąc jeszcze w trakcie realizacji projektu pojazdu elektrycznego ELV001, poszukiwałem możliwości dalszego rozwoju. Przede wszystkim odnalezienia tego szczególnego obszaru w dziedzinie projektowania, w którym miałem nadzieję odkrycia głębszych wartości i pasji, która od czasów dzieciństwa była motorem działań na wszystkich polach mojej aktywności, zarówno tej naukowej, ale też sportowej. W 2010 roku otrzymałem roczne stypendium Fulbrighta – Junior Advanced Research Grant, w Massachusetts Institute of Technology w Katedrze Aeoranutyki i Astronautyki, w Man Vehicle Laboratory, pod opieką Profesor Davy Newman. Jakkolwiek patetycznie to zabrzmiał, wyjazd ten, zmienił i ukształtował moje dalsze życie zawodowe.

Główne zadanie, które realizowałem w ciągu całego okresu dziewięciu miesięcy polegało na zaprojektowaniu koncepcji kasku do skafandra kosmicznego BioSuit. Praca ta wymagała wnikliwych studiów zarówno w zakresie istniejących rozwiązań, rozwijanych technologii jak również anatomii i fizjologii człowieka w warunkach zmniejszonej grawitacji. Była to praca głównie koncepcyjna, aczkolwiek poparta wnikliwym studium wykonalności. Oprócz szczegółowego modelu komputerowego, wykonałem cztery makiety fizyczne kasku.

Równolegle, przez cztery miesiące byłem zaangażowany w pracę nad wnioskiem o grant badawczy NASA w zakresie analizy obecnego skafandra kosmicznego i wypracowania rozwiązań, które będą chronić astronautów przed urazami i kontuzjami, podczas misji i treningów. Przebieg realizacji tej pracy stanowi wskazane osiągnięcie projektowe. Oprócz realizowanych projektów uczestniczyłem w zajęciach i wykładach, starając się maksymalnie wykorzystać mój czas na MIT. Podjęte kursy to min. „Engineering Apollo” prowadzony przez Prof. Laurence R. Young, John Tylko, “Human Factors” prowadzony przez Prof. Missy Cummings, Prof. Laurence R. Young, czy “Space Biomedical & Life Support Engineering” prowadzony przez Prof. Dava Newman.

Pobyt na MIT otworzył mi oczy na wiele zagadnień, które wymykają się poza wąsko postrzegany obszar projektowania wzorniczego, z którym do momentu wyjazdu miałem głównie styczność. Zagadnienia związane z metodami naukowymi, pozyskiwaniem danych liczbowych i ich analizą, statystyką, teorią i praktyką eksperymentów naukowych, obiektywizacją oceny i podejmowania decyzji projektowych, czy wreszcie odpowiedzialnością, okazały się pasjonujące, szczególnie w kontekście potencjału ich wykorzystania w projektowaniu.

Atmosfera twórcza i intelektualna jaką miałem szczęście doświadczyć podczas mojego pobytu na MIT stała się inspiracją i motorem napędowym moich dalszych działań zawodowych.

Po powrocie z USA, otrzymałem stypendium Europejskiej Agencji Kosmicznej – ESA, dzięki któremu dostałem się na International Space University – Space Summer Programme SSP11.

W maju 2012 roku, obroniłem doktorat w oparciu o moją pracę nad samochodem elektrycznym ELV001. Mając w perspektywie możliwość kontynuacji pracy nad systemem zapobiegania urazów dla astronautów, postanowiłem ubiegać się o możliwość ponownego wyjazdu na MIT.

#### 4. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO/ARTYSTYCZNEGO WW. PRACY/PRAĆ I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

## WYBÓR PROJEKTU

Wybór „Dzieła wskazanego”, może wydawać się kontrowersyjny. Mimo innych zrealizowanych projektów, zakończonych wdrożeniem, postanowiłem wskazać właśnie ten o największym ładunku badawczym. W projekcie byłem jednym z członków interdyscyplinarnego zespołu, gdzie wzornictwo nie było kluczowym elementem sukcesu. Udział w tym przedsięwzięciu, stanowi jak do tej pory, najcenniejsze doświadczenie w mojej karierze zawodowej. Patrząc z perspektywy już ponad 10 lat pracy, najwartościowszym doświadczeniem dla rozwoju projektanta jest wychodzenie poza bezpieczny obszar dotychczasowej praktyki zawodowej.

W ramach realizacji grantu NASA HRP Grant #NNX12AC09G – *Spacesuit Trauma Countermeasure System for Intravehicular and Extravehicular Activities* – powstał zespół badawczy pod kierunkiem Prof. Davy Newman (MIT). Mój udział w projekcie rozpoczął się jeszcze w 2011 roku, podczas pierwszego pobytu na MIT na stypendium Fulbrighta, kiedy uczestniczyłem w pisaniu wniosku o grant badawczy, identyfikując potencjalne koncepcje rozwiązań projektowych. Przyznanie grantu badawczego nastąpiło w 2012 roku, jednak jego realizacja rozpoczęła się dopiero pod koniec tegoż roku. W tym czasie realizowałem zdalnie prace przygotowawcze dla zadania 4. W 2012 roku otrzymałem stypendium Kościuszkowskie i od stycznia 2013 roku pracowałem na MIT w ramach stażu podoktorskiego przez 8 miesięcy. Moja praca skoncentrowana była na realizacji zadania związanego z projektem systemu łagodzącego skutki pracy wewnątrz skafandra kosmicznego.

Poniższy opis 4 głównych komponentów projektu jest zgodny z raportem końcowym z realizacji grantu.

#### Cel naukowy

# Podstawowym celem tych badań było zrozumienie interakcji między człowiekiem a skafandrem kosmicznym oraz zaprojektowanie urządzeń służących do oceny i ograniczenia urazów i dyskomfortu wewnątrz skafandra kosmicznego.

Cel ten został osiągnięty poprzez realizację następujących zadań:

**Zadanie 1:** Analiza danych dotyczących korelacji między antropometrią, komponentami skafandra kosmicznego i urazami. Kontuzje barków to jedne z najpoważniejszych i najbardziej zagrażających urazów związanych z treningiem EVA [Extravehicular Activity - tzw. Spacerów Kosmiczne]. Do analizy wykorzystana została baza danych opracowana przez zespół NASA obejmująca dane dotyczące antropometrii astronautów, czas szkolenia w różnych komponentach skafandra kosmicznego oraz zgłoszone przypadki uszkodzenia barków.

**Zadanie 2:** Opracowanie urządzenia pozwalającego na ilościowe określenie i ocenę interakcji człowiek - skafander kosmiczny z wykorzystaniem układu czujników nacisku. Dotychczas nie było metody, za pomocą której można by zmierzyć, jak osoba porusza się wewnątrz skafandra kosmicznego. Koncentrując się na górnej części

ciała, opracowane zostało narzędzie do wyczuwania nacisku w celu ilościowego określenia interakcji człowiek – skafander kosmiczny przy różnych cyklach obciążenia.

Narzędzie do pomiaru ciśnienia zostało wykorzystane do oceny interakcji człowiek - skafander kosmiczny w celu oceny spójności ruchu. Spójność ruchu jest niezwykle ważnym wskaźnikiem charakteryzującym poziom odczuwalnego zmęczenia lub zmiany w strategiach biomechanicznych, które mogą być źródłem powstawania kontuzji EVA.

System z czujnikami nacisku jest używany w celu określenia ilościowego miejsc na ciele oraz wartości poziomów ucisku, w których dochodzi do kontaktu między skafandrem a ciałem astronauty. Urządzenie to ma potencjał wykorzystania w wielu zastosowaniach min. przez projektantów skafandrów kosmicznych, inżynierów, naukowców, chirurgów lotniczych oraz specjalistów od ćwiczeń i rehabilitacji.

W tym projekcie, zebrane dane zostały wykorzystane do określenia obszarów dyskomfortu i ucisku, które mogą być przyczyną urazów. Dodatkowo możliwość precyzyjnego rozpoznawania miejsc i poziomów nacisku może być docelowo wykorzystana do określenia skuteczności urządzeń ochronnych (opracowanych w ramach zadania czwartego).

W skafandrze kosmicznym przeprowadzono eksperyment z udziałem człowieka w celu oceny ruchów i obszarów szczególnie narażonych na urazy. Na podstawie rozkładu ciśnień, częstotliwości obciążeń i lokalnych reakcji na nacisk określiliśmy właściwe dla danego podmiotu charakterystyczne obszary antropometryczne.

**Zadanie 3:** Opracowanie modelu komputerowego interakcji człowiek - skafander kosmiczny. Celem tego działania było lepsze zrozumienie mechanizmów urazów EVA, w szczególności urazów spowodowanych przeciążeniami spowodowanymi przez obecnie używany przez NASA skafander kosmiczny (Extravehicular Mobility Unit – EMU). Opracowano model interakcji układu mięśniowo-szkieletowego człowieka ze skafandrem kosmicznym w celu ilościowego określenia wydolności układu mięśniowo-szkieletowego astronautów podczas spacerów kosmicznych (EVA) oraz oceny podatności na urazy.

**Zadanie 4:** Zaprojektowanie i budowa modułowego systemu ochronnego. Opracowywane przez nas rozwiązania koncepcyjne mają na celu ograniczenie częstotliwości występowania urazów i istotne podniesienie komfortu użytkowania obecnych skafandrów kosmicznych (EMU). Elementem tego działania było zidentyfikowanie

obiecujących materiałów i zbudowanie prototypowych urządzeń ochronnych. Założeniem było złagodzenie obszarów ryzyka wystąpienia urazów i poprawa komfortu użytkowania skafandra. Urządzenia ochronne mogą być zintegrowane z warstwą chłodzącą LCVG wewnątrz skafandra i dostosowane do indywidualnych potrzeb każdego członka załogi.

Aby nadać kontekst prowadzonym badaniom, należy zaznaczyć, że tzw. Spacer Kosmiczny (EVA) są kluczowym elementem eksploracji przestrzeni kosmicznej przez człowieka. Praca w skafandrach gazowych wiąże się jednak z szeregiem wyzwań, powodując zmęczenie, nadmierne obciążenie energetyczne i urazy. Zjawiska te nasilają się wraz z dodatkowymi godzinami spędzonymi przez astronautów w ramach misji oraz na treningu wewnątrz skafandra, zwłaszcza pod wodą w Laboratorium Neutralnej Pływalności (NBL). Mimo że naukowcy NASA w przeszłości analizowali wydajność skafandrów kosmicznych i w minimalnym stopniu udoskonalali ich budowę, to jednak niewiele wiadomo o tym, jak astronauta porusza się wewnątrz skafandra i jak oddziałuje na niego skafander kosmiczny, oraz jakie czynniki prowadzą do urazów i jak im zapobiegać. Dotychczasowe metody zapobiegania wspomnianym zjawiskom realizowane były za pomocą prostych rozwiązań, tymczasowych usprawnień, które w niewielkim stopniu łagodziły opisywany problem. Potrzeba zaproponowania całościowego, skutecznego rozwiązania skłoniła NASA i MIT do podjęcia prac nad systemem zapobiegania kontuzjom i urazom astronautów podczas misji i treningu przeznaczonym do skafandra EMU.

Celem tych badań było zrozumienie, w jaki sposób, osoba wchodzi w interakcję ze skafandrem kosmicznym i wykorzystanie tych informacji do zaprojektowania spersonalizowanych rozwiązań w celu ograniczenia zidentyfikowanych zagrożeń.

Potrzeba złagodzenia urazów i dyskomfortu nie ogranicza się wyłącznie do trudnych warunków panujących w przestrzeni skafandra kosmicznego. Rezultaty tej pracy mogą być wykorzystane w innych ekstremalnych środowiskach pracy, takich jak nurkowanie głębinowe, czy pilotowanie samolotów na dużych wysokościach. Zaprojektowany system przeciwdziałania i ochrony przed urazami może być również wykorzystywany w aplikacjach biomedycznych i rehabilitacyjnych. Potencjał ochronny systemu, może znaleźć również zastosowanie w kontekście osób starszych. Zapobieganie urazom, zarówno w ekstremalnych środowiskach pracy, jak i przed skutkami upadku osób starszych, to obiecujące aplikacje typu spin off (transfer technologii kosmicznych dla zastosowań na ziemi).



# MOJA ROLA

Realizacja projektu objęła lata 2012–2015, w trakcie prac nad poszczególnymi zadaniami w zespole uczestniczyli oprócz Prof. Davy Newman (Principal Investigator – PI), Prof. Jeffrey Hoffman (Co-investigator – COI), Guillermo Trotti (Trotti&Associates), studenci MIT (Allison Anderson, Ana Diaz, Pierre Bertrand i Aleksandra Hilbert). Ich obowiązki skupiały się na realizacji zadań 1–3. Zadanie czwarte w przebiegu projektu realizowałem w 2 osobowym zespole z Guillermo Trottim – doświadczonym architektem i projektantem, współpracującym z NASA i MIT od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

Moje obowiązki skupiały się na analizie przekazanych nam przez NASA danych, oraz wyników realizacji zadań 1–3, formułowaniu hipotez i założeń projektowych, opracowywaniu całościowych koncepcji systemu, analizie i testach dostępnych materiałów i technologii o najwyższym potencjale wykorzystania w projekcie, opracowywaniu koncepcji poszczególnych komponentów systemu, opracowaniu kompozytów materiałowych, opracowywaniu przestrzennych struktur mających na celu równomierną dystrybucję nacisków punktowych, budowę prototypów pasywnych i ich testowanie, oraz konsultacje i wsparcie przy budowie komponentów pneumatycznych przez firmę Dainese.



Ilustracje koncepcji i testy prototypów

Jako jeden z dwóch projektantów wzornictwa w całym zespole, wspierałem również prace nad zadaniem 2 – budową urządzenia pomiarowego do analizy poziomów nacisku skafandra na ciało astronauty.

# PRZEBIEG PROJEKTU

Poniższy skrótowy opis projektu powstał w oparciu o sprawozdanie końcowe z 24 września 2014 roku z realizacji zadania czwartego, autorstwa mojego i Guillermo Trottiego.

## Wprowadzenie

Zadanie 4 – polegające na opracowaniu modułowego systemu ochronnego, zostało podzielone na trzy fazy – pierwsza skupiła się na wnikliwej analizie problemu, rozpoznaniu i zrozumieniu mechanizmów powstawania urazów oraz ich kategoryzacji. Faza druga to poszukiwanie rozwiązań projektowych będących odpowiedzią na zidentyfikowany problem. Zakończeniem tego etapu było wskazanie najbardziej obiecujących koncepcji. Ostatnia faza projektu skoncentrowana była na budowie i testowaniu wybranych rozwiązań

## Metodologia

Biorąc pod uwagę złożoność problemu, ilość materiałów, które były badane, rozwijane i testowane, zdecydowaliśmy się przyjąć metodologię projektowania współbieżnego, zamiast bardziej tradycyjnego procesu projektowania sekwencyjnego. Szczególnie wobec prowadzonych równolegle czterech odrębnych zadań w ramach realizacji grantu badawczego.

Projektowanie współbieżne to metoda pracy/zarządzania projektami, oparta na równoległym podejmowaniu zadań związanych z projektowaniem i przygotowaniem do produkcji. Metoda ta podkreśla systematyczny i zintegrowany sposób podejścia do projektowania przedmiotu oraz procesu jego wytwarzania, zwracając uwagę na jakość, estetykę, koszt i czas projektowanego wyrobu w całym cyklu jego życia. Poprzez opracowywanie wielu aspektów projektu w tym samym czasie. Zamiast sztucznego odseparowania ich i ułożenia w chronologiczny ciąg, postuluje równoczesne – współbieżne podejmowanie zadań, co przy odpowiedniej organizacji zespołów i uporządkowanym przepływie informacji pozwala na odkrywanie błędów i ich korekty już na wczesnych etapach pracy.

Umożliwiło nam to pracę nad kilkoma koncepcjami projektowymi i ich testowanie w tym samym czasie, w miarę zdobywania różnych materiałów i pozyskiwania dodatkowych danych. Takie podejście dało nam większą elastyczność, zespół mógł pracować nad różnymi zadaniami i koncepcjami bez niepotrzebnego spowalniania procesu. Kolejną zaletą tego podejścia było to, że rozwiązania niespełniające wymagań mogły zostać zidentyfikowane na wczesnym etapie procesu projektowania.

Projektowanie wzornicze w projektach badawczych, rządzi się specyficznymi zasadami. Standardowy proces projektowy musi być dostosowany do podstawowych złożań i celów naukowych. Jest z nimi ściśle związany i wobec nich zależny. Wzornictwo w projektach B+R staje się środkiem do osiągnięcia celu, udowodnienia hipotezy badawczej, nie zaś celem samym w sobie, podporządkowanym np. założeniom marketingowym lub technologii produkcyjnej. Na szczęście działalność projektową i naukową łączy immanentnie zawarta w nich logika, pozwalająca na znalezienie wspólnego języka komunikacji.

## Założenia

Przed rozpoczęciem procesu projektowania ustaliliśmy podstawowe wymagania projektowe w oparciu o dostępne dane dotyczące urazów oraz wywiady z astronautami, jakie udało nam się przeprowadzić. Założenia zostały doprecyzowane i uzupełnione o pożądane atrybuty [wartości mierzalne], oraz metody ich weryfikacji.

Poniżej przedstawiam wybrane założenia projektowe:

**Komfort** – zmniejszenie poziomów ciśnienia odczuwalnego między kombinezonem a ciałem od linii podstawowej przez co najmniej 20% - Założenie zostało potwierdzone przez opracowany w zadaniu 2 system pomiaru ciśnienia punktowego.

Pożądane dodatkowe cechy – obniżone tarcie pomiędzy skafandrem a LCVG, kontrola wilgotności ciała, uniemożliwienie marszczenia się materiałów/ wyściółek.

**Dopasowanie do ciała** – system musi być zintegrowany wewnątrz skafandra, pomiędzy warstwą chłodzącą [LCVG] przylegającą do ciała astronauty i skafandrem. Integracja do punktów mocowania uprząży wewnątrz skafandra lub do warstwy LCVG.

Pożądane dodatkowe cechy – ciało nie powinno się przemieszczać swobodnie wewnątrz skafandra, system powinien zapewniać lepsze dopasowanie do kinematyki skafandra.

**Personalizacja** – system musi być dopasowany do wszystkich rozmiarów centylowych w obrębie grupy astronautów. Założenie zostało potwierdzone przez dopasowanie do danych antropometrycznych przekazanych przez NASA, oraz wstępne testy na ludziach.

Pożądane dodatkowe cechy – rozmiary komponentów systemu muszą być regulowane do indywidualnych potrzeb astronautów.

**Funkcjonalność** – nie powoduje ograniczenia pola zasięgów ruchu podczas pracy. Dopuszczalny próg ograniczenia – poniżej 5%. Założenie potwierdzono narzędziem do pomiaru stref zasięgu i siły nacisku.

Pożądane dodatkowe cechy – zachowanie właściwej pozycji wewnątrz skafandra po wejściu do niego, zachowanie prawidłowej pozycji w warunkach pracy.

**Wartości użytkowe** – czas przygotowania do spaceru kosmicznego [EVA] powinien zostać taki jak obecnie, lub skrócony. Założenie zweryfikowane poprzez porównanie z obecnym statystycznym czasem przygotowania.

Pożądane dodatkowe cechy – łatwa integracja do warstwy chłodzącej LCVG lub innych elementów ubioru, niewymagająca pomocy procedura wejścia do skafandra kosmicznego.

**Bezpieczeństwo** – kompatybilność systemu i zastosowanych materiałów ze 100% atmosferą tlenową wewnątrz skafandra kosmicznego. Minimalizacja, lub eliminacja występujących urazów barków. Założenia potwierdzone zostały poprzez porównanie z obecnymi standardami NASA. 100% niezawodność systemu, zgodna ze wszystkimi wymogami bezpieczeństwa wg standardów misji NASA.

**Eksploatacja** – minimalna wykorzystana przestrzeń do przechowywania systemu, minimalna masa systemu, minimalne zapotrzebowanie na energię, minimalna potrzeba treningu operacyjnego dla stosowania systemu, minimalna potrzeba serwisowania systemu, możliwość prania w pralce, wymiennosc komponentów.

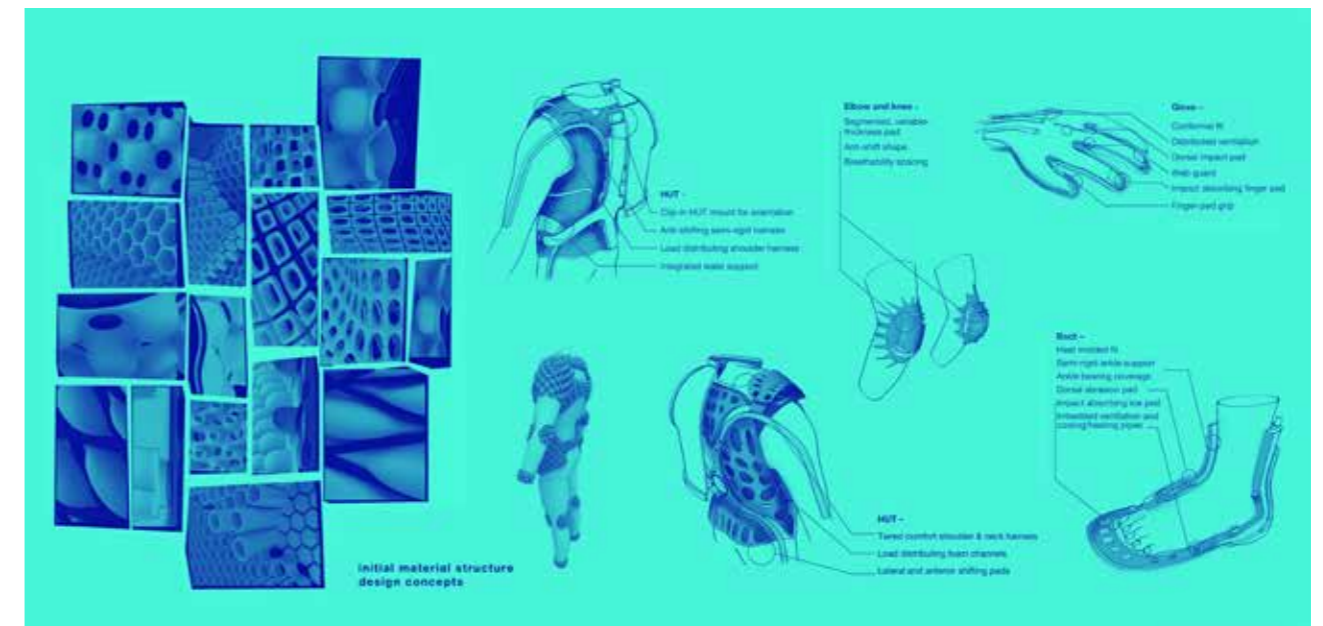
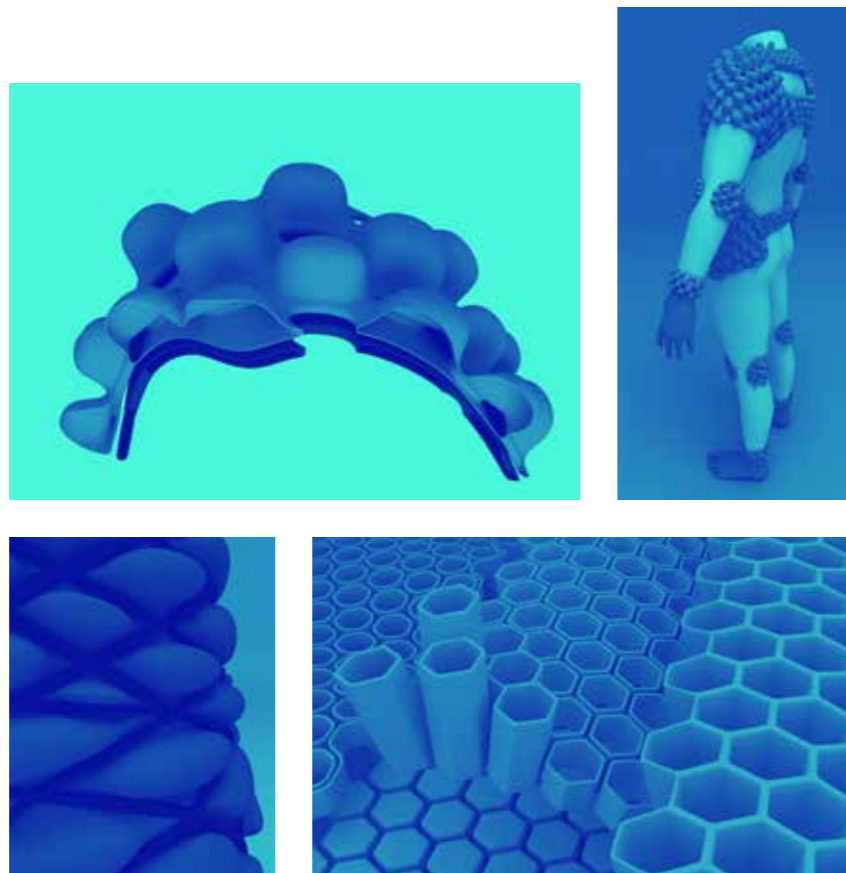
## Proces projektowy

Komentarz do materiału ilustracyjnego – ze względu na specyficzny charakter pracy nad projektem, częściową pracą zdalną i konieczność przekazania materiałów fizycznych wraz z raportami z poszczególnych etapów prac, dokumentacja fotograficzna i ilustracyjna do projektu ma charakter niespójny i niepełny. Z tego powodu postanowiłem przyjąć uproszczony i ujednolicony sposób prezentacji wybranych materiałów graficznych, które symbolicznie wspomagają opis projektu. Jestem autorem wszystkich szkiców, ilustracji, renderingów i zdjęć zawartych w poniższym opisie.

## Pierwsze koncepcje

W oparciu o wstępną analizę problemu przygotowaną pod kątem wniosku o grant badawczy opracowałem zbiór ogólnych koncepcji materiałów i potencjalnych komponentów systemu. Propozycje te były wstępem do prac prowadzonych w ramach uzyskanego grantu badawczego.

Koncepcje wstępne potencjalnej struktury przestrzennej



Po rozpoczęciu oficjalnych prac badawczo rozwojowych, miałem okazję osobiście obserwować procedury szkoleniowe, badać sprzęt, a także przeprowadzać wywiady z astronautami, chirurgami lotniczymi, serwisantami i inżynierami skafandrów, podczas pobytu w NASA Johnson Space Center, Neutral Buoyancy Lab (NBL). To nieocenione doświadczenie dało bezcenny pogląd na problem i ujawniło kilka wcześniej nie poruszonych problemów, takich jak: indywidualna percepcja komfortu, trudności związane z procedurą mocowania ochroniaczy do warstwy chłodzącej LCVG. Bezpośredni udział w treningu astronautów pozwolił mi krytycznie przyjrzeć się całemu procesowi, od pierwszego dopasowania kombinezonu, do faktycznego zakładania i użytkowania w basenie NBL. Wnioski z obserwacji pozwoliły na potwierdzenie założeń projektowych, a także zaproponowanie doraźnych usprawnień w procesie użytkowym i samych elementach używanych obecnie.

W drugim roku działania koncentrowaliśmy się na projektowaniu systemów pasywnych, a w trzecim i ostatnim roku trwania projektu na systemach aktywnych.

W niniejszym sprawozdaniu omówiono najbardziej obiecujące koncepcje.

Rozwój koncepcji wstępnych.  
Propozycje rozmieszczenia  
w obszarach neuralgicznych

## Badania materiałowe

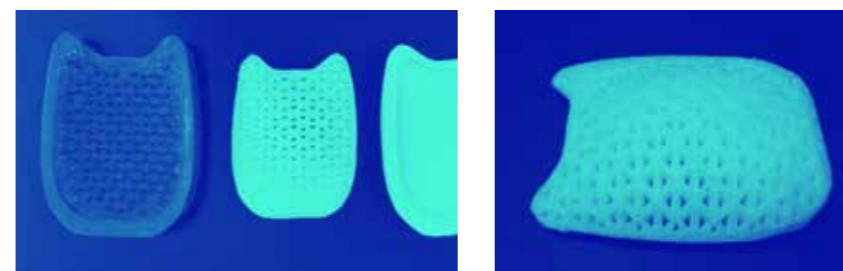
Wybór odpowiedniego materiału ma podstawowe znaczenie dla ogólnego funkcjonowania projektowanych systemów. W niektórych przypadkach materiał sam w sobie może stanowić ostateczne rozwiązanie w zakresie wytwarzania padów w celu rozwiązania problemów związanych z urazami i komfortem. Oprócz wyboru materiałów dostępnych w sprzedaży na potrzeby opracowania różnych systemów padów, zaprojektowaliśmy serię systemów „kompozytowych”, nakładających na siebie różne materiały o różnych właściwościach w celu uzyskania odpowiedniego profilu padów. Stworzyliśmy kilka ochraniaczy, które zaprojektowaliśmy z różnych kombinacji materiałów, aby uzyskać wymagane cechy, które zapobiegają urazom i dyskomfortowi. Dobór materiałów powinien również uwzględniać wymagania NASA dotyczące wykorzystania materiałów wewnątrz skafandra kosmicznego, gdzie najważniejszymi zagadnieniami mogą być łatwopalność i emisja gazów. Ponieważ wiele z testowanych materiałów jest bardzo nowych na rynku, nie ma ich na liście materiałów zatwierdzonych przez NASA. Uważamy jednak, że wiele z nich spełnia wymogi NASA.

Biorąc pod uwagę dużą ilość i różnorodność dostępnych materiałów oraz czas ich opracowywania, a także czas na ich znalezienie i pobranie próbek, rozszerzyliśmy początkowe badania materiałowe prowadzone w pierwszej fazie projektu na całkowity okres realizacji. W drugim roku przeprowadziliśmy szczegółowy dobór materiałów z naciskiem na dostępne na rynku produkty. Badania zostały pogłębione dzięki dostępowi do biblioteki Material Connexion w Nowy Jorku.

Z analizy i oceny dostępnych materiałów wybraliśmy i pozyskaliśmy te, których parametry okazały się najbardziej obiecujące.

Odrębnym obszarem badań potencjalnych materiałów skupił się na piankach płynnych. Pozwoliło nam to zaprojektować i wyprodukować trójwymiarowe podkładki o programowalnych właściwościach w odniesieniu do elastyczności, gęstości i rozkładu nacisku, jak również rozmiaru i kształtu zewnętrznego.

Podczas tego procesu zidentyfikowano kilka obiecujących technologii materiałowych, chociaż niektóre z nich, takie jak np. Deflexion by Dowcorning, nie są już dostępne na rynku, inne są dostępne lub są w trakcie badań przedwdrożeniowych.



Formy do odlewów z ciekłej pianki i wykonane prototypy

## Testy materiałów

Podczas tej fazy projektu opracowano podstawowe procedury testowe w celu przetestowania i porównania wybranych materiałów i koncepcji padów. Próba została przeprowadzona na maszynie Instron 5944 2KN, wraz z zastosowaniem czujników ciśnienia Tek-scan. Zaprojektowaliśmy i zbudowaliśmy specjalną platformę testową wraz z metalowym klinem symulującym krawędź łożyska barku skafandra uderzającego w ramię astronauty. Metoda badania dostarczyła ogólnych informacji na temat stosunku obciążenia do przemieszczenia oraz stosunku obciążenia do rozkładu ciśnienia.

Chociaż konfiguracja testowa była uproszczona i odzwierciedlała tylko wycinek rzeczywistej geometrii wewnątrz kombinezonu kosmicznego, pozwoliło nam to szybko porównać i ocenić proponowane materiały i kombinacje testowanych wkładek.



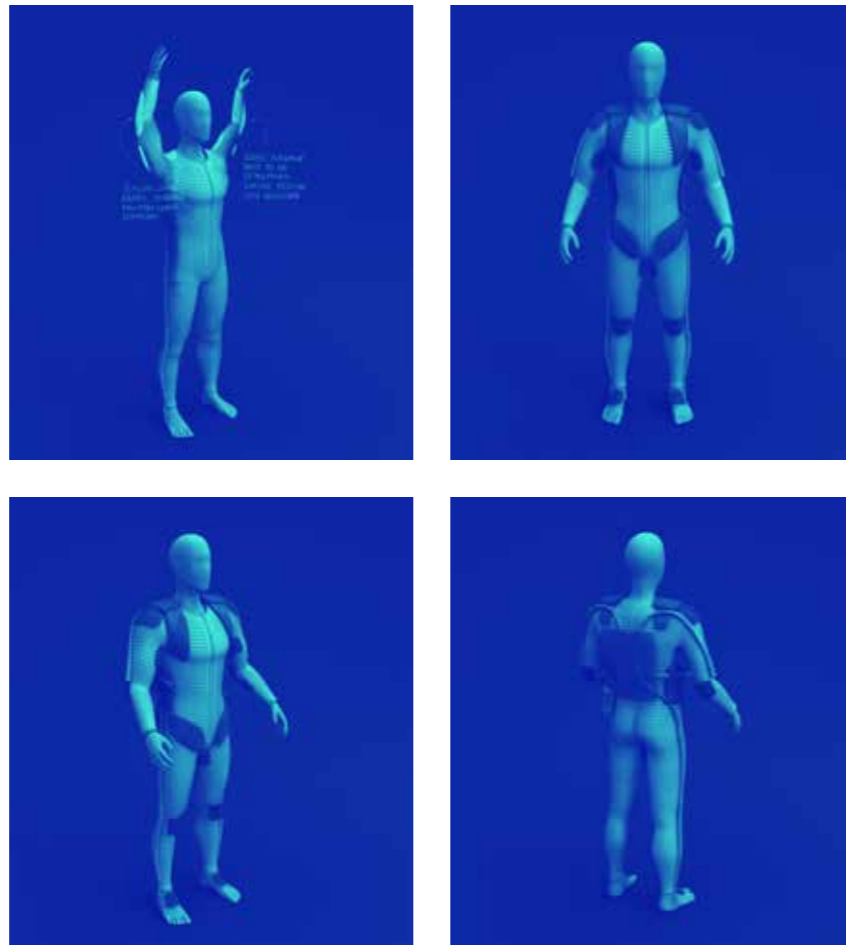
Procedury testowe na maszynie Instron 5944 2KN

## Koncepcje projektowe

Najczęstsze urazy astronautów są spowodowane różnicami w ruchu ciała ludzkiego oraz ograniczoną i specyficzną ruchomością skafandrów kosmicznych. Ponadto, astronauta różnią się między sobą rozmiarami, mają różne typy budowy ciała i antropometrię, dlatego potrzebny jest zindywidualizowany projekt systemów ochronnych. Obecne systemy są spersonalizowane do użytku wśród grupy astronautów w różnych rozmiarach skafandrów. Niektóre rozwiązania zapobiegają przesuwaniu się ciała w skafandrze w celu zapewnienia stabilnej i wygodnej pozycji, podczas gdy inne konstrukcje poprawiają komfort poprzez dodanie wyściółki zapobiegającej powstawaniu punktów zapalnych, otarć i kontuzji.

Koncepcje przedstawione w niniejszym raporcie są wybranym zbiorem wielu koncepcji opracowanych w trakcie trwania projektu. Koncepcje te odpowiadają wymogom ustalonym na wczesnym etapie projektu. Ich głównym celem jest zapobieganie urazom, poprawa komfortu, poprawa elastyczności, poprawa procesu mocowania oraz poprawa zakładania i zdejmowania skafandrów.

Wybrane wstępne koncepcje rozwiązań – rozmieszczenie w obszarach newralgicznych



Proces projektowania obejmował dogłębną analizę aktualnej sytuacji w oparciu o ograniczone dane dotyczące urazów, wywiady z astronautami oraz wizyty w basenie NBL, w ośrodku szkoleniowym Johnson Space Center [JSC]. Pomimo, że deklarowane prace w ramach projektu wymagały jedynie rozwiązań projektowych reprezentowanych w trójwymiarowych modelach komputerowych, uznaliśmy, że bardziej efektywnym rozwiązaniem jest budowanie prototypów w miarę opracowywania koncepcji projektowych, aby móc przetestować różne materiały, kombinacje i ich zgodność z założeniami. Projekty koncentrują się przede wszystkim na urazach górnych części tułowia, takich jak barki i okolice szyi, czyli te obszary, w których występowały najczęstsze i najbardziej problematyczne urazy.

Zidentyfikowano trzy odrębne obszary działań, które miały na celu rozwiązanie problemów związanych z ochroną – pasywne systemy padów, rozkład ciśnienia i aktywne systemy poduszek powietrznych.

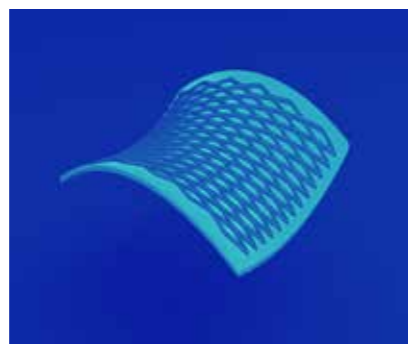
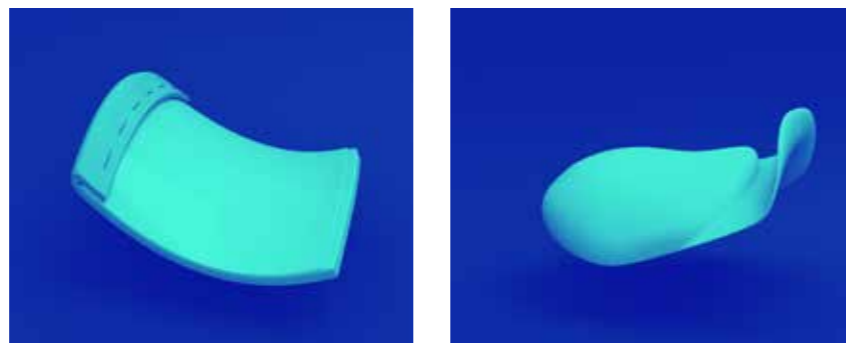
## Koncepcje wstępne pasywnych systemów padów ochronnych

Mimo, że jest to najlepsza metoda dostosowania geometrii ciała do potrzeb każdego astronauty i jego wymagań, jej zastosowanie jest bardzo czasochłonne i trudne do rozwiązania problemu w celach treningowych. Ta metoda projektowania i wytwarzania systemu ochrony może stać się praktyczna i ekonomicznie wykonalna w przypadku długotrwałych misji kosmicznych.

Szkice projektowe



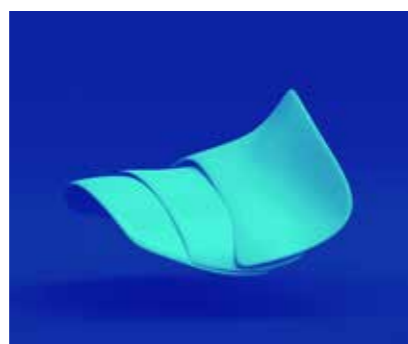
Projekty koncepcyjne podkładek perforowanych i jednolitych



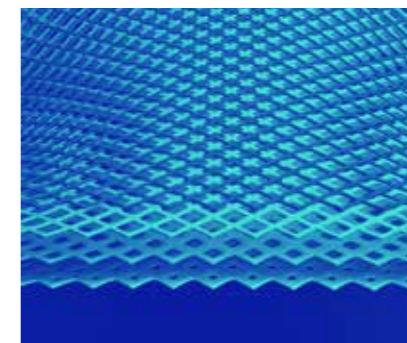
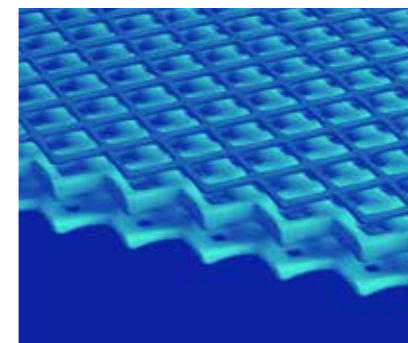
Projekty koncepcyjne podkładek żebrowanych



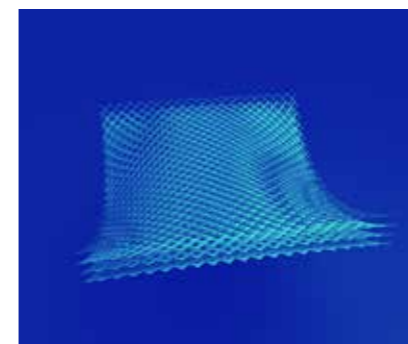
Koncepcje rozwiązań dla dystrybucji punktowego ucisku



Przeanalizowano szeroki wybór materiałów i konstrukcji w celu przetestowania różnych systemów padów pod kątem ich rozmieszczenia obciążenia i właściwości ochronnych. Koncepcje te mogą łączyć trzy lub więcej materiałów o różnych właściwościach w celu osiągnięcia doskonałego komfortu i ochrony.

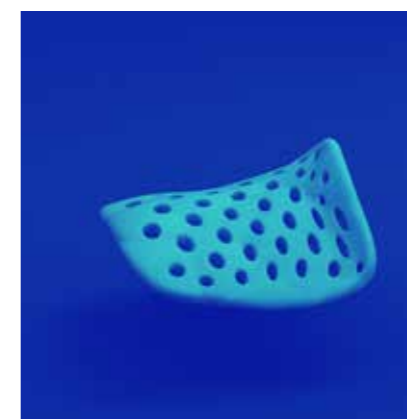
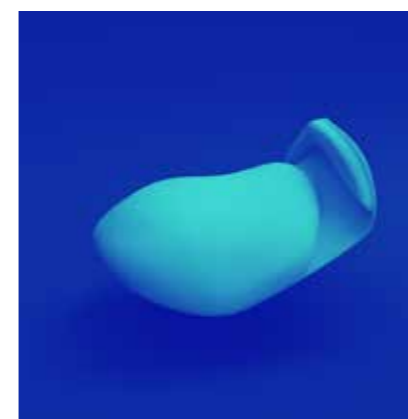


Schematyczne ilustracje piankowych i półsztywnych wkładów teflonowych

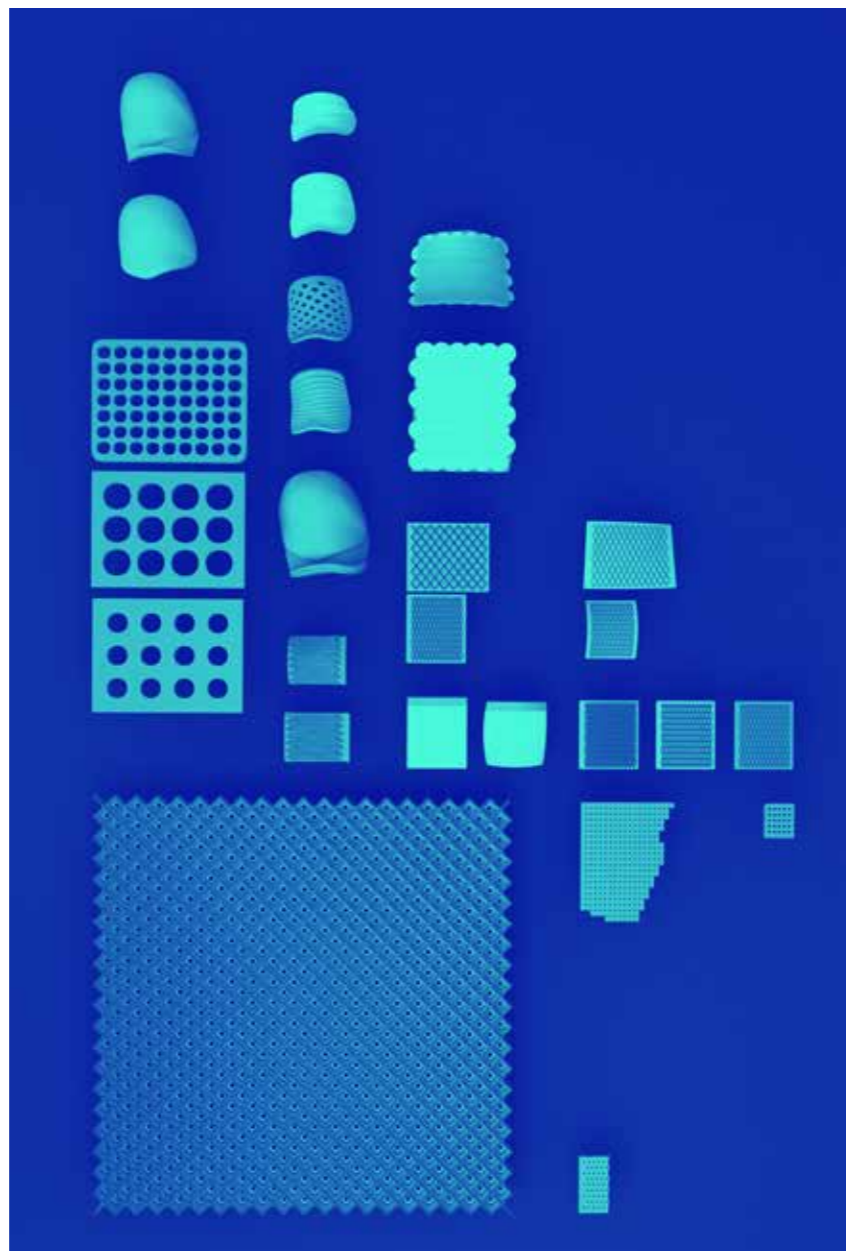


Projekty koncepcyjne półsztywnych paneli dystrybucji ucisku z zastosowaniem teflonu.

Aby uzyskać doskonałe dopasowanie i komfort, można łączyć wiele warstw pianek o różnej grubości i gęstości, umieszczając je między płytkami teflonu. Pianki mogą być również perforowane lub pełne.



Lite i perforowane pianki



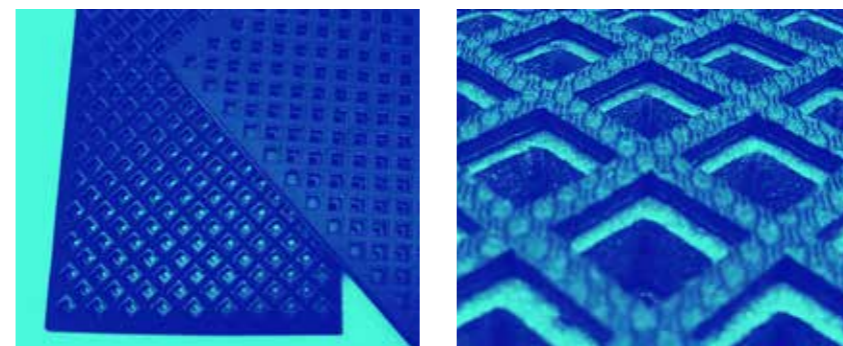
## Prototypowanie koncepcji

Wraz z fazą rozwoju koncepcji, zespół wykonał kilka pierwszych koncepcji przy użyciu dostępnych na rynku materiałów. Do wykonania prototypów wykorzystano cięcie laserowe, cięcie strumieniem wody oraz metody druku 3D. Formy do produkcji podkładek z ciekłej pianki wyprodukowano również dla pierwszych odlewanych podkładek o strukturze wewnętrznej pokazanej we wcześniejszym fragmencie. Wiele prototypów zostało wyprodukowanych w Centrum Badań i Rozwoju firmy Dainese w Molvenie we Włoszech. Dainese jest wiodącą międzynarodową firmą zajmującą się rozwojem i produkcją dostępnej na rynku odzieży i systemów ochronnych do uprawiania sportów ekstremalnych. Trotti & Associates, od dawna współpracuje z Dainese przy tworzeniu odzieży ochronnej dla branży kosmicznej. Moja pierwsza styczność z firmą Dainese miała miejsce przy projekcie kasku do skafandra kosmicznego BioSuit. Dzięki Dainese korzystaliśmy z nieograniczonego dostępu do ich laboratoriów badawczych, szerokiej gamy materiałów, zaawansowanych narzędzi do obróbki i wytwarzania, oraz fachowej wiedzy pracowników działu badań i rozwoju oraz produkcji. Takie warunki pozwoliły nam prototypować proponowane koncepcje na wysokim poziomie technologicznym.

## Materiały laminowane

Są one wykonane z kilku warstw materiałów o różnych właściwościach i są produkowane w arkuszach. Mogą być przycięte do odpowiedniego rozmiaru i gotowe do użycia, bez konieczności łączenia oddzielnych materiałów, takich jak podkładowe piankowe i teflonowe.

Poniżej prezentuję kilka przykładów zaprojektowanych i wykonanych przez nas kompozytów laminowanych.

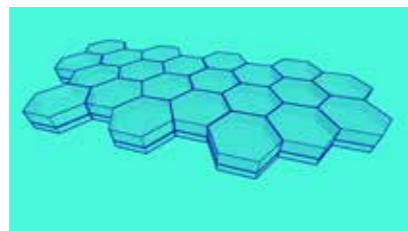
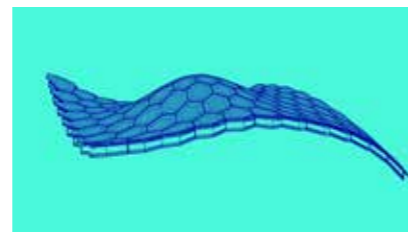
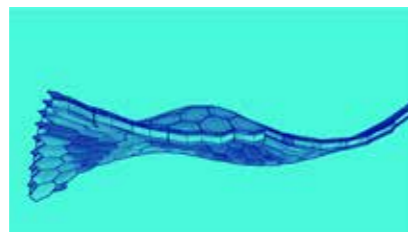
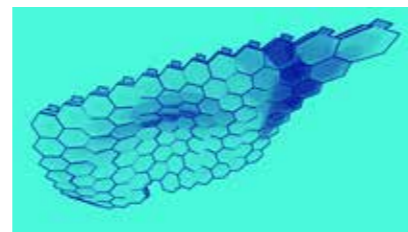
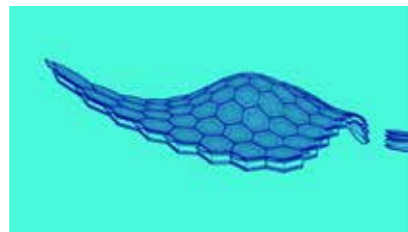
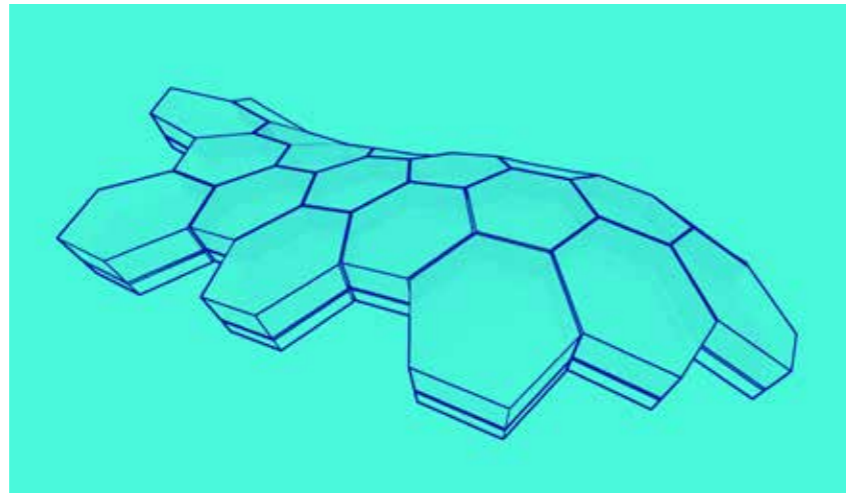


Laminowany materiał wyściółki  
wykonany z trzech warstw pianek  
o różnej gęstości

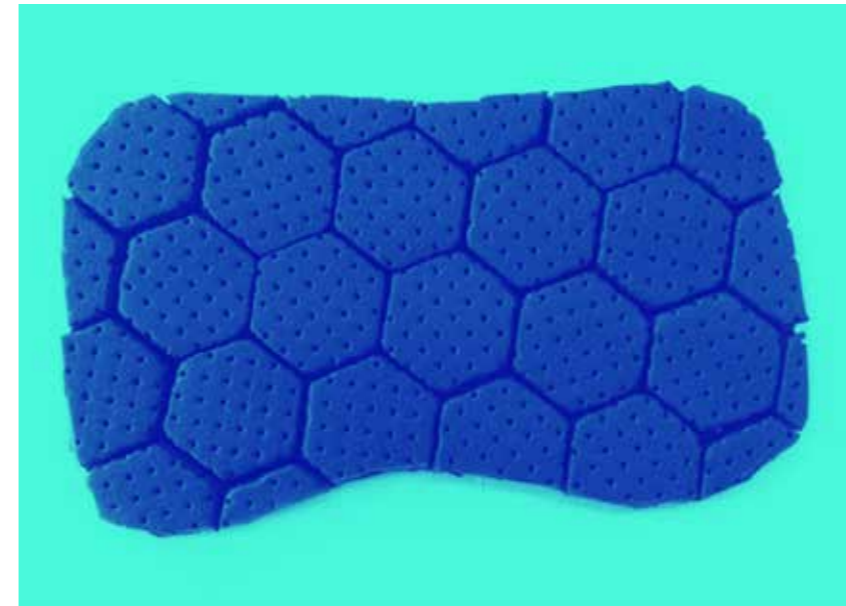
## Koncepcja Flex-Hex

Bardziej zaawansowanym rozwiązaniem jest pad typu Flex-Hex, w którym pomiędzy dwiema zewnętrznymi warstwami tkaniny elastycznej, znajdują się warstwy pianki z pamięcią wstępną, pianki o zamkniętych komórkach oraz płyta z tworzywa sztucznego/teflonu. Elementy te są zintegrowane, tworząc podkładkę, która jednocześnie zapewnia równomierne rozłożenie nacisku punktowego, komfort i elastyczność. Sześciokątny kształt elementów zamkniętych w elastycznych materiałach dopasowuje się do zróżnicowanych kształtów w kontakcie z ciałem.

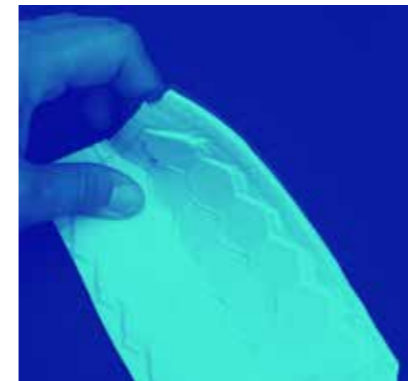
Koncepcje Flex-Hex



Zbudowaliśmy trzy rodzaje poduszek Flex-Hex o różnych właściwościach materiałowych, z których dwie zostały zbudowane z trzech warstw, a jedna z dwóch warstw, pianki dla komfortu oraz EPP [ekspandowany polipropylen] do rozkładu nacisku.



Prototypy Flex-Hex

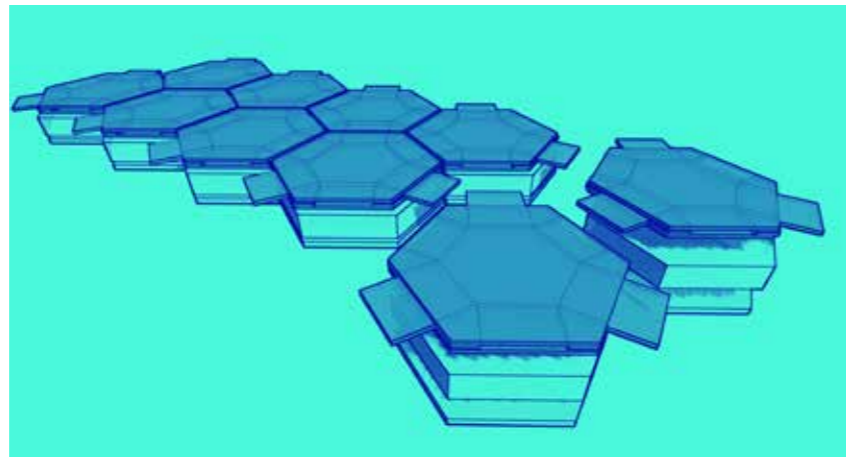
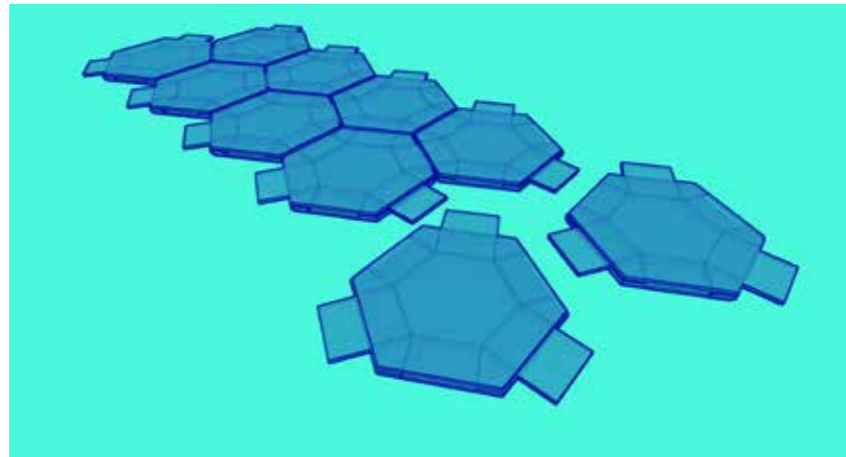




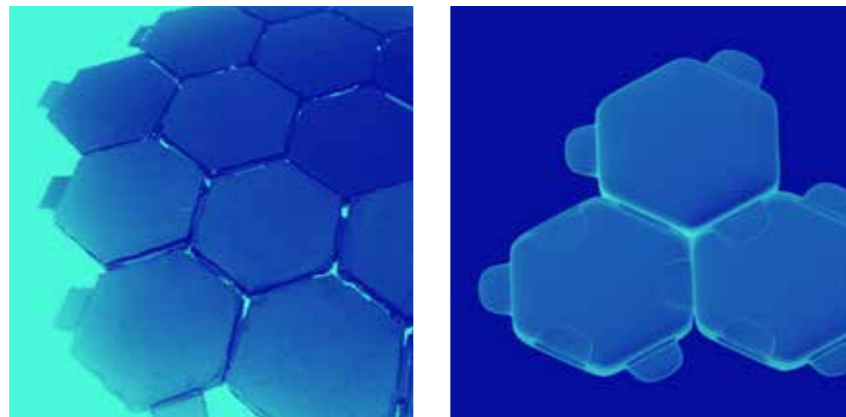
## Advanced Flex-Hex

Kolejna generacja podkładki Flex-Hex doprowadziła do opracowania Advanced Flex-Hex, w której twarde płyty heksagonalne zachodzą na siebie i zaczepiają się, aby wyeliminować ryzyko penetracji jakichkolwiek twardych elementów. Konceptcja ta, choć spełnia wymogi bezpieczeństwa i komfortu, jest dość skomplikowana i kosztowna w produkcji.

Koncepcja Advanced Flex-Hex



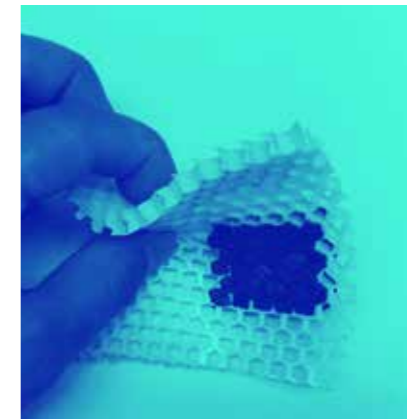
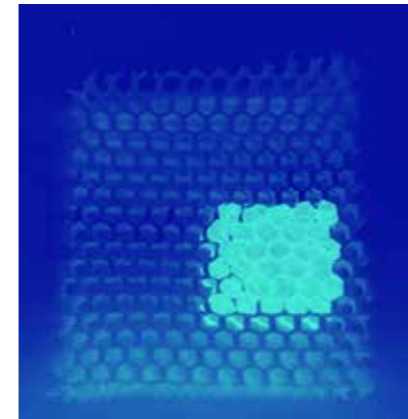
Prototypy Advanced Flex-Hex



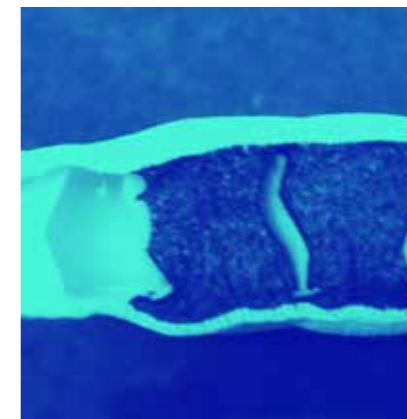
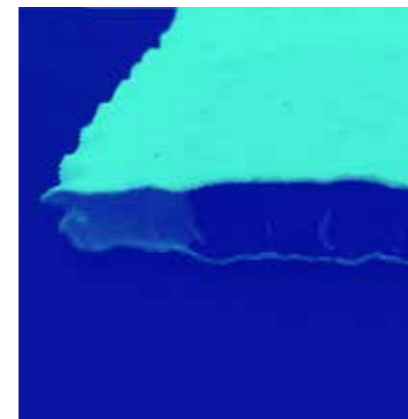
## Plaster miodu

Inne podejście, które badaliśmy, polegało na zastosowaniu dostępnej na rynku elastycznej, wytłaczanej struktury siatki plastra miodu wypełnionej płynną pianką w celu zapewnienia pionowego podparcia i zabezpieczenia przed możliwością uszkodzenia pionowej struktury plastra miodu.

Wyprodukowaliśmy małą próbkę tej koncepcji z jednym rodzajem płynnej pianki, różne gęstości płynnych pianek mogą być testowane w celu uzyskania optymalnej elastyczności.



Podkładka w kształcie plastra miodu zapadnięta pod naciskiem palca

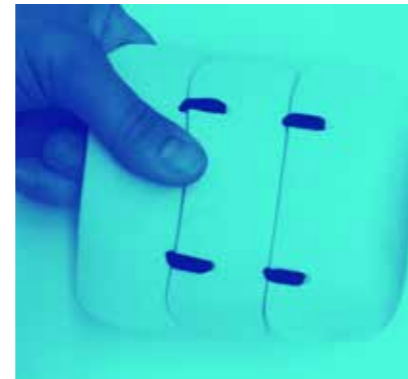


Wypełniona czarną pianką i laminowana po obu stronach elastyczną tkaniną

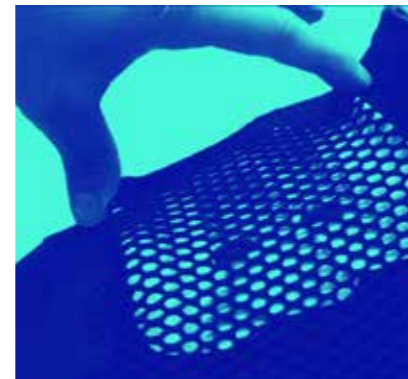
## Elastyczny panel dystrybucji ciśnienia

Wkładka wykonana jest z trzech płyt tworzywowych / teflonowych, które są termoformowane zgodnie z geometrią barków. Płyty zachodzą na siebie na krawędziach i są połączone z taśmami elastycznymi. Podczas wznoszenia ramion, powierzchnia ponad barkiem dramatycznie się kurczy. Obecne doświadczenia z użyciem pojedynczej płaskiej płyty z wkładki teflonowej pokazują, że przesuwa się ona i wbija w szyję, podczas gdy astronauta podnosi ramiona. Proponowana wkładka o zmiennych wymiarach będzie zmniejszała swój rozmiar co najmniej trzykrotnie przy podnoszeniu ramienia. Gdy ramię opadnie, wkładka wróci do swojego pierwotnego kształtu dzięki elastycznym taśmom. Koncepcja ta przypomina artykulację średniowiecznej i samurajskiej zbroi, którą analizowaliśmy w fazie projektowania.

Panel dystrybucji ciśnienia w pozycji zaciśniętej



Panel dystrybucji ciśnienia w pozycji normalnej



## Sposoby mocowania do warstwy LCVG

W pracach koncepcyjnych musieliśmy uwzględnić propozycję mocowania poszczególnych rozwiązań do warstwy chłodzącej, będącej najbliżej ciała astronauty. Obecny system polega na każdorazowym doszywaniu ochronnych gąbek. Poniżej prezentuję kilka wariantów testowych koncepcji mocowania opracowanych pasywnych padów do LCVG.

Sposoby mocowania do warstwy LCVG



## Zintegrowana osłona szyi

Jest to koncepcja, która łączy w jednym elemencie wyściółkę ramion, pleców, szyi i klatki piersiowej. Choć konstrukcja ta okazała się uciążliwa i sztywna, posłużyła jako wstęp do aktywnego systemu poduszek powietrznych. Wraz z dalszym rozwojem projektu geometrii i materiału, koncepcja ta może stać się wykonalna.

Zintegrowana osłona szyi



## Koncepcje aktywnych systemów ochrony

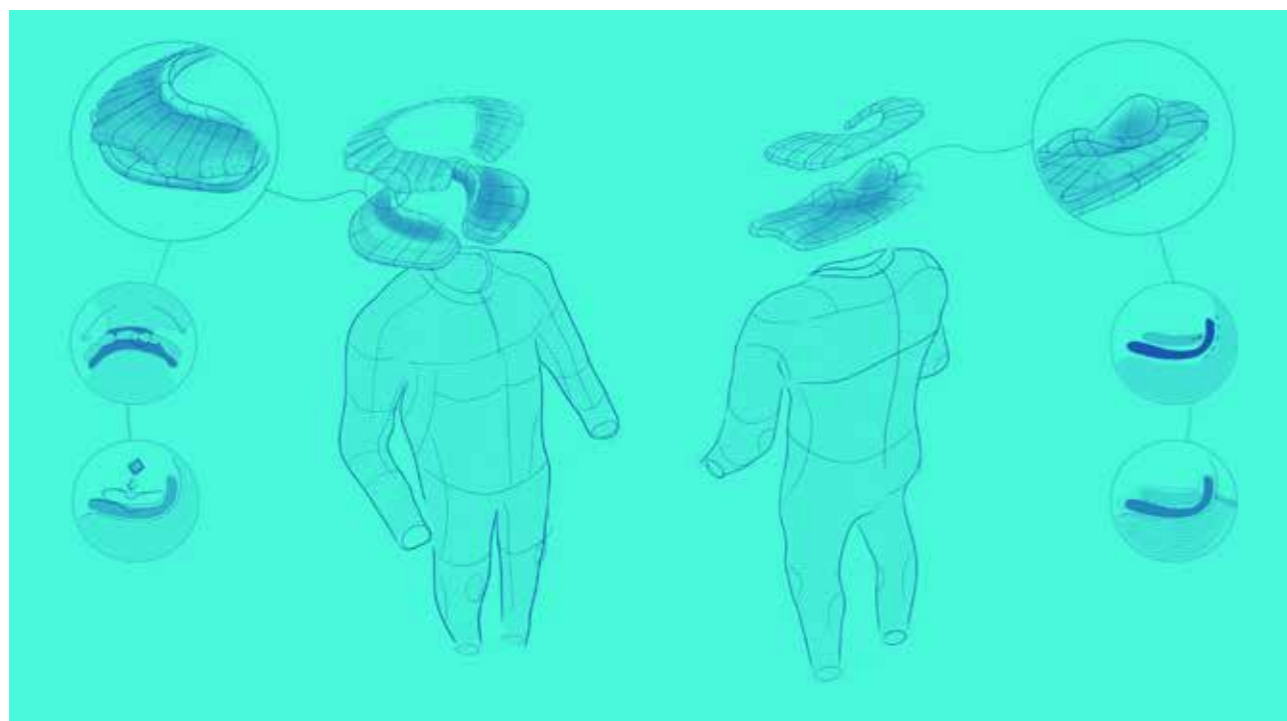
### Pneumatyczny System Ochronny – APS (Airbag Protection System)

W ostatnim roku realizacji grantu skoncentrowaliśmy nasze wysiłki na zaprojektowaniu i zbudowaniu prototypów pneumatycznych systemów zabezpieczających, zgodnie z pierwotną propozycją. Główną ideą tej koncepcji jest zapewnienie astronautom ochrony i komfortu dzięki cienkiej warstwie pianki o wysokiej gęstości, przymocowanej do nadmuchiwanej poduszki lub poduszek powietrznych, które nadmuchiwane są w celu zapewnienia amortyzacji pomiędzy skafandrem a ciałem. Nadmuchiwana poduszka została zaprojektowana w różnych grubościach, aby pasować do różnych centylowych rozmiarów astronautów, poduszka powietrzna wypełnia obszar pomiędzy ciałem a skafandrem, klinując i blokując astronautę w miejscu.

Jedna z pierwszych propozycji systemu ochrony poduszek powietrznych - opróżniona i napełniona



Koncepcja elementów Pneumatycznego Systemu Ochrony



Dostęp do torsu HUT (Hard Upper Torso) kombinezону kosmicznego w naszym laboratorium był krytyczny dla procesu projektowania koncepcji APS. Gdy tylko rozpoczęliśmy pracę nad tym projektem, zwróciliśmy się do NASA z prośbą o prototyp HUT i jego rysunki, abyśmy mogli go jak najszybciej zbudować. Niestety, po za możliwością pracy ze skafandrem na miejscu w JSC w Houston, nie udało nam się uzyskać żadnych szczegółowych rysunków ani informacji na temat geometrii HUT. Dlatego też przystąpiliśmy do budowy prototypu o bardzo przybliżonych wymiarach wykonanych na podstawie dostępnych przybliżonych danych. Rezultatem tego było stworzenie roboczej makiety, która służyła podstawowemu celowi zrozumienia, jak APS będzie pasował i współdziałał z twardymi krawędziami i powierzchniami HUT.



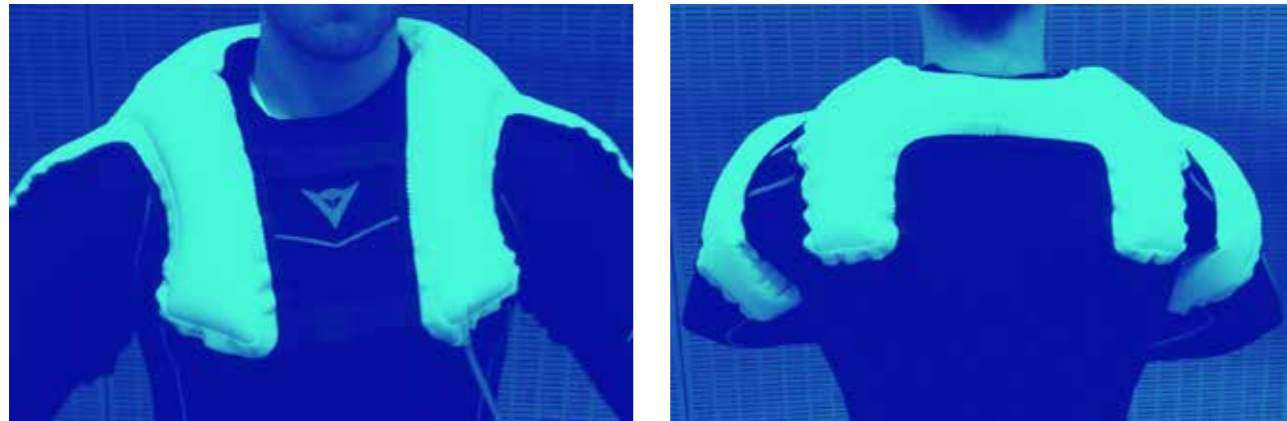
Stół roboczy z kilkoma próbkami wczesnych prototypów

Prototypowe wzory poduszek powietrznych na manekinie



Wykonanych zostało kilkanaście zróżnicowanych wzorów systemu ochrony poduszek powietrznych. Spośród tych wzorów wybraliśmy najbardziej obiecujące koncepcje, do budowy pierwszych prototypów.

### Prototyp APS-1a



Prototyp APS-1a

Powyżej pokazano prototyp APS-1a z długimi rękawami ochronnymi dla części piersiowej, pod pachą, szyją i plecami. Z początkowych testów dowiedzieliśmy się, że ta konstrukcja jest zbyt kłopotliwa, szczególnie w przypadku zabezpieczenia pod pachą.

Bardzo trudno było dopasować HUT do różnych typów korpusów i rozmiarów.

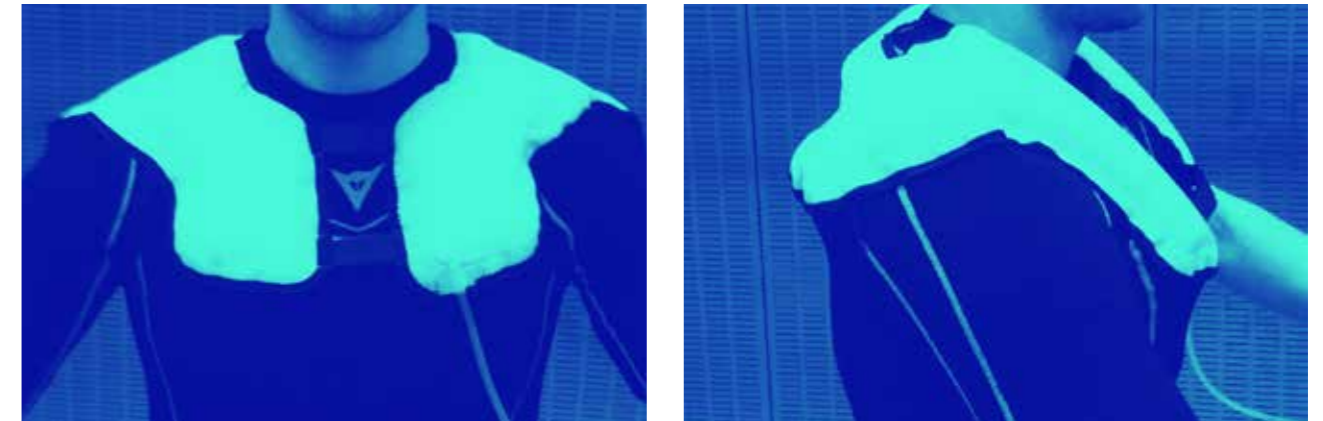
### Prototyp APS-2a



Prototyp APS-2a

Przedstawiony powyżej prototyp APS-2a obejmował szersze i krótsze obszary boczne, komory pod pachami były poszerzone i powiększone, a tylne poduszki zostały zastąpione przez jeden szeroki pad biegnący poziomo pomiędzy ramionami. Stwierdziliśmy, że szerszy pad pod pachami nie poprawił dopasowania do HUT, a szeroki pad na plecy nie pokrywał odpowiednich obszarów. Skrócenie poduszek piersiowych było korzystną zmianą.

### Prototyp APS-3a



Prototyp APS-3a

Prototyp APS-3a charakteryzuje się uproszczoną konstrukcją kołnierza rozciągającą się aż do obszarów piersiowych. Poduszeczki pod pachami zostały wyeliminowane. Stwierdziliśmy, że tylna część jest wciąż zbyt szeroka, co sprawia, że jest bardzo sztywna i nadal nie pokrywa wymaganych obszarów, w których HUD dotykał ciała.

### Prototyp APS-4a



Prototyp APS-4a

Prototyp APS-4a posiadał bardzo wąski zestaw podkładek biegnących z przodu i z tyłu, rozciągających się dobrze ponad obszarami piersiowymi i ramionami. Połączenie pomiędzy dwoma przednimi podkładkami pleców osiągnięto dzięki mniejszej i węższej podkładce, biegnącej poziomo pomiędzy dwoma głównymi padami. Konstrukcja ta okazała się bardzo wydajna, ale pady były nieco za wąskie, aby dopasować je do różnych rozmiarów ciała.

## APS-x

Po wnikliwej analizie zalet i wad kolejnych wariantów prototypów APS, zaprojektowaliśmy ostateczny prototyp APS-x, wykorzystując wszystkie doświadczenia zdobyte podczas tworzenia wcześniejszych prototypów.

### Kluczowe cechy prototypu APS-x obejmują:

1. Pady o średniej szerokości, aby zapewnić większą elastyczność i najlepsze pokrycie powierzchni styku z HUT.
2. Podłużne poduszki nad obszarami górnych partii barków, tak aby wystawały dalej poza ramiona i poza łożyska HUT, aby zapobiec zakleszczeniu.
3. Zminimalizowana szerokość poziomego padu, łączącego przednie i tylne elementy, ale na tyle szeroka, aby przenieść ciśnienie powietrza na obie strony systemu.
4. Zszywane „Zawiasy” na wszystkich padach, aby umożliwić im zginanie zgodnie z krzywizną ciała. „Zawiasy” uzyskuje się przez zszywanie małych odcinków obu powierzchni poduszek, na których pożądanym jest ich zgięcie.
5. Cienka podszewka z włókniny zapewnia warstwę pochłaniania wilgoci i zwiększony komfort.
6. Cienka podszewka z polaru wystaje do góry przy szyi, tworząc miękki kołnierz absorbujący wilgoć, aby zapobiec otarciom z poduszek powietrznych i kombinezonu, a także aby zapewnić dodatkowy komfort.
7. Otwory z przepustami na obwodzie APS-x pozwalają na zszywanie lub mocowanie do LCVG tam, gdzie jest to konieczne.
8. Rurka napompowująca umieszczona z tyłu szyi, z dala od przestrzeni operacyjnej astronauty.



Prototyp APS-x



Prototyp APS-x okazał się bardzo komfortowym systemem, zapewniającym ochronę we właściwych obszarach ciała. Jedną z głównych zalet systemu ochrony poduszek APS jest ułatwienie procedur zakładania i zdejmowania skafandra. W przypadku pasywnej pianki, podkładki muszą być dopasowane do odpowiedniej grubości i osadzone w LCVG, zanim astronauta włoży skafander. Ta dodatkowa grubość dodana do ciała, szczególnie w okolicach ramion, utrudnia astronautom podniesienie ramion podczas zakładania górnej części korpusu skafandra. Aktywny system ochrony APS jest bardzo cienki i elastyczny przed nadmuchiwanym, co pozwala astronautom na maksymalną elastyczność i maksymalny zasięg w górę podczas procedury zakładania skafandra. APS jest nadmuchiwany do odpowiedniego ciśnienia i komfortu po tym, jak astronauta jest wewnątrz skafandra.



Chociaż można by wprowadzić wiele dodatkowych usprawnień do tego systemu, jesteśmy przekonani, że jest on na tyle wydajny i wytrzymały, że można go przetestować podczas sesji treningowej w skafandrze EMU w basenie NBL.

Prototyp APS-x

# WNIOSKI KOŃCOWE

Występujące obecnie urazy wśród astronautów podczas treningu i misji kosmicznych stanowią poważny problem. Niektóre urazy są łagodne, takie jak otarcia lub podrażnienia skóry; inne są poważniejsze, takie jak zwichnięcia, naderwania, czy wreszcie zerwania mięśni lub więzadeł. Stosowany obecnie system ochrony prewencyjnej zapewnia astronautom podkładki piankowe, które czasami są warstwowo pokryte sztywnymi arkuszami teflonowymi. Różnią się one grubością w zależności od wielkości astronautów i ich fizycznych relacji ze skafandrem kosmicznym. Choć system ten okazał się być do tej pory akceptowalny, astronauta wciąż zgłaszają ból, dyskomfort i odnoszą obrażenia.

Urazy zdarzają się przy zakładaniu skafandrów, operacjach treningowych w NBL oraz podczas EVA w przestrzeni kosmicznej. Naszą pracę skoncentrowaliśmy na urazach powstałych w trakcie treningów.

## Nasze ustalenia wykazały, między innymi::

1. Najprostsze i najbardziej ekonomiczne rozwiązania to rozwiązania pasywne, takie jak podkładki piankowe.
2. Dostępne materiały i ich kombinacje są powszechne i trwale rozwijane. Występuje gwałtowny postęp w zakresie dostępności materiałów i urządzeń stosowanych w komercyjnej odzieży ochronnej dla sportowców.
3. Wykonanie pianek i paneli w systemie połączeń przegubowych, takich jak sześciokątne pady Flex-Hex, pozwala na znacznie lepsze dopasowanie się do ciała niż w przypadku pianek i płyt litych.
4. Prawidłowe przykrycie, wyprofilowanie i ukształtowanie podkładek w taki sposób, aby odpowiadały kształtowi i krzywiznom ciała, znacznie zmniejsza możliwość urazów i zwiększa komfort użytkowania.
5. Różnice w grubości systemu zabezpieczającego są znaczne w przypadku różnych astronautów. Dlatego też zwiększenie wyboru materiałów jest ważnym krokiem w kierunku poprawy systemu i zmniejszenia liczby urazów.
6. Sposób zamocowania systemu zabezpieczającego do warstwy chłodzącej LCVG może zostać ulepszony w celu zwiększenia wydajności i szybkości instalacji. Nie jest to jednak główny czynnik przyczyniający się do powstawania urazów. Im bardziej elementy są zintegrowane z LCVG tym lepiej system będzie działał jako całość.
7. Z ograniczonej liczby koncepcji i systemów, które przetestowaliśmy, możemy przewidzieć, że aktywne systemy ochrony APS-x, choć droższe i bardziej czasochłonne w produkcji, mogą zapewnić lepszą ochronę podczas misji i treningu i ułatwić procedury zakładania skafandrów.
8. Dzięki niewielkiej inwestycji w oprzyrządowanie produkcja APS-x może być wykonana na miejscu w centrum JSC w Neutral Boyuancy Laboratory (NBL).
9. Konieczne są dalsze badania działania mechanizmu do pompowania APS-x oraz kontrola napełnienia przy różnych wartościach ciśnienia w środowisku pracy skafandra.
10. Oprócz systemów ochronnych należy opracować rygorystyczny i zindywidualizowany program treningowy dla każdego astronauty w zakresie zakładania, zdejmowania i obsługi skafandra kosmicznego.

# WYKORZYSTANIE

## Publikacje

Efektem realizacji grantu były min. liczne publikacje i prezentacje projektu na międzynarodowych konferencjach poświęconych tematyce eksploracji kosmosu.

Kracik, M., Anderson, A., Trotti, J., Newman D.J. "The Development of the Astronaut Injury Protection System for the Current and Future Spacesuits"  
20th IAA Humans in Space Symposium 2015, Prague, Jun 29 – Jul 3, 2015.

Newman DJ, Anderson A, Diaz A, Kracik M, Hilbert A, Bertrand P, Hoffman J, Trotti G. „Spacesuit Trauma Countermeasures Research: Injury Prevention and Comfort Protection Design.” 2014 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-13, 2014.

2014 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-13, 2014.

Anderson A, Diaz A, Kracik M, Trotti G, Hoffman J, Newman DJ. „Understanding Human-Space Suit Interaction to Prevent Injury During Extravehicular Activity.” Presented at 2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013.

2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013. , Feb-2013.

Diaz A, Anderson A, Kracik R, Trotti G, Hoffman J, Newman DJ. „Development of a musculoskeletal human spacesuit interaction model.” 2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013.

2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013. , Feb-2013.

Anderson A, Diaz A, Kracik M, Trotti G, Hoffman J, Newman D. „Developing a Spacesuit Injury Countermeasure System for Extravehicular Activity: Modeling and Analysis.” 42nd International Conference on Environmental Systems, San Diego, CA, July 15-19, 2012. Poster and talk.

42nd International Conference on Environmental Systems, San Diego, CA, July 15-19, 2012. , Jul-2012.

Diaz A, Anderson A, Kracik M, Trotti G, Hoffman J, Newman D. „Development of a Comprehensive Astronaut Spacesuit Injury Database.” 63rd International Astronautical Congress, Naples, Italy, October 1-5, 2012. Oral session: Life Support and EVA Systems.

63rd International Astronautical Congress, Naples, Italy, October 1-5, 2012. , Oct-2012.

Anderson A, Diaz A, Kracik M, Kobrick R, Trotti G, Hoffman J, Newman D. „Methodology Toward Developing a Spacesuit Trauma Countermeasure System for Extravehicular Activity.” 2012 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Houston, TX, February 14-16, 2012.

2012 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Houston, TX, February 14-16, 2012. , Feb-2012.



Część z prezentowanych materiałów konferencyjnych miało formę tzw. Plakatów konferencyjnych, które również projektowałem.



### Dalszy rozwój projektu

Pierwotnie system po fazie wdrożeniowej miał zostać wprowadzony do użycia przez astronautów głównie podczas treningu w warunkach neutralnej pływalności w NBL. Po zakończeniu realizacji grantu [NASA HRP Grant #NNX12AC09G] zespół, tym razem pod kierunkiem Profesora Jeffa Hoffmana [Prof. Newman pełniła już w tym czasie obowiązki zastępcy dyrektora NASA] ubiegał się o kolejny grant przeznaczony na fazę wdrożeniową opracowanych koncepcji. W 2016 NASA przyznała grant badawczy [NNX17AB11G] na dalsze prace, jednak po wyborach prezydenckich w USA i zmianie polityki dotyczącej eksploracji kosmosu, grant został wstrzymany, a dalsze prace zawieszono.

# PODSUMOWANIE

Mimo iż cały zespół z jakim miałem szczęście i przywilej współpracować, oczekiwał, że nasza praca będzie kontynuowana i że rozwiązania jakie zaproponowaliśmy, zostaną w najbliższym czasie wdrożone i wykorzystane w praktyce, czujemy satysfakcję z wykonanej pracy. Sporo wypracowanych rozwiązań trafiło do działu jaki na co dzień dba o komfort i bezpieczeństwo pracy astronautów. Jestem przekonany, że wybrane koncepcje i opracowane rekomendacje zostaną wykorzystane w projektowaniu kolejnych generacji skafandrów kosmicznych. Od początku realizacji projektu, zdawaliśmy sobie sprawę, że najważniejszym krokiem do poprawy komfortu i bezpieczeństwa, nie jest opracowanie systemu, który niweluje wady obecnego skafandra, lecz projekt takiego skafandra, który ich nie posiada. Należy jednak pamiętać, że obecnie stosowane skafandry używane są od początku lat 80 tych, a ich opracowanie i udoskonalanie zajęło dziesięciolecie. Na szczęście prace nad nowym skafandrem się toczą, a osoby odpowiedzialne za jego działanie, konsultowały i wspierały prace naszego zespołu.

Wspomniana na początku autoreferatu odpowiedzialność w kontekście pracy projektanta, wymagała ode mnie zdobycia konkretnej wiedzy, zrozumienia technologii i warunków środowiska.

Praca w interdyscyplinarnym zespole badawczo-projektowym, była z jednej strony konkretnym wyzwaniem, ze względu na obszar tematyki projektu, z drugiej utwierdziła mnie w sensowności podejmowania takich zadań przez projektantów wzornictwa. Ugruntowała mnie w celowości podejmowania wysiłków projektowych na rzecz eksploracji i poznawania przez ludzi przestrzeni pozaziemskich. Stała się niewyczerpaną motywacją i inspiracją dla pracy dydaktycznej i zawodowej.

## 5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

### Wpływ doświadczeń na obszar pracy dydaktycznej

Moje zainteresowania eksploracją kosmosu i projektowaniem dla środowisk ekstremalnych, ugruntowane podczas dwóch pobytów na MIT, stały się motywacją dla powołania, najpierw przedmiotu „Projektowanie dla Środowisk Ekstremalnych” w ramach kierowanej przeze mnie pracowni Metod i Eksperymentów Projektowych, a następnie przekształcenie jej w Pracownię Projektowania dla Środowisk Ekstremalnych. Jest to pierwsza w Polsce pracownia na wydziale wzornictwa, specjalizująca się w tematyce eksploracji kosmosu przez człowieka.

Motywacja do podjęcia tematyki związanej z projektowaniem dla środowisk ekstremalnych w ramach programu studiów płynie między innymi ze świadomości potrzeby wprowadzania do programu problematyki wykraczającej poza komercyjny charakter projektowania oraz ze względu na ogromny potencjał dydaktyczny w kształtowaniu projektantów wzornictwa. Podjęcie tematyki projektowania dla ekstremalnych warunków ziemskich oraz tych poza środowiskiem ziemskim, wymaga od projektanta całkowitej zmiany perspektywy patrzenia na dotychczas doświadczane warunki, począwszy od tych fizycznych dotyczących grawitacji czy kompozycji atmosfery, poprzez technologiczne, aż po psychologiczne.

Zmiana perspektywy myślenia, kontekstu projektowego, ma sama w sobie wartość dydaktyczną, możliwość uzyskania praktycznych rozwiązań, dodatkowo uzasadnia celowość podejmowania takiej tematyki. Esencją tak rozumianego projektowania jest jego celowość. Projekt bezwzględnie musi odpowiadać realnej potrzebie, dla której powstał. Aby odnieść sukces w postaci poprawy danej sytuacji musimy gruntownie zrozumieć potrzeby społeczności – warunków, dla których projektujemy. Jest to możliwe min. poprzez stanie się, przynajmniej na jakiś czas ich częścią. W przypadku tych ekstremalnych sytuacji, konsekwencje ryzyka popełnienia błędu projektowego, mogą być ogromne.

Wydaje się, że doświadczenie ekstremalnej rzeczywistości, umiejętność spojrzenia z innej perspektywy niż własna, mogą okazać się bezcenną lekcją dla projektantów przyszłego świata.

Aby odpowiedzialnie móc prowadzić takie przedmioty, stale się doszkcałam, jeżdżę na konferencje, biorę też udział jako konsultant w innych projektach badawczych.

Od września 2016 roku, łączę obowiązki adiunkta w Katedry Metodyki Projektowania z funkcją prodziekana Wydziału Form Przemysłowych Akademii Sztuk Pięknych im Jana Matejki w Krakowie.

### Wpływ doświadczeń na obszar pracy zawodowej

Współczesny, szeroko rozumiany obszar wzornictwa, w szybkim tempie wychodzi poza tradycyjnie definiowany podział dyscypliny, potocznie zwany 2D i 3D. Rozwój technologii informatycznych, zjawisko Internetu rzeczy (IOT), wszechobecne interfejsy, eksplodujące projektowanie usług, czy wreszcie nie do końca rozumiany, nawet w środowisku projektowym UX – czyli projektowanie doświadczeń. Wszystkie te pojęcia i obszary, mimo iż obecne w obrębie dziedziny projektowania od dziesięcioleci, zyskują nowe znaczenia i role w kontekście błyskawicznie zmieniającej się sytuacji społeczno – ekonomicznej oraz rozwoju technologii. Zacieranie granic między specjalnościami projektowymi, jest moim zdaniem zjawiskiem pozytywnym. W procesie rozwoju szeroko rozumianego produktu, odchodzi się od wąskich specjalizacji w obrębie stylistyki, ergonomii czy inżynierii, na rzecz całościowych procesów projektowych, uwzględniających wszystkie obszary związane z danym zadaniem projektowym. Dodatkowo proces ten powinien uwzględniać jak najszerszy kontekst działania, wprowadzając zasady myślenia systemowego. Dobrą praktyką staje się, zamiast projektowania podsystemów – zintegrowany rozwój produktu.

Doświadczając od początku mojej styczności z projektowaniem, bliskości dziedzin wzornictwa, inżynierii, programowania, oraz ścisłych związków ze środowiskiem naukowym, wzrastałem w przekonaniu, że istnieje realna potrzeba łączenia tych dziedzin, poprzez świadczenie kompleksowych usług projektowych. W 2013 roku, z inspiracji znajomego inżyniera, mojego obecnego współlnika Michała Wujczaka założyliśmy firmę EXEON.

**EXEON** jest interdyscyplinarną firmą projektową. Oferujemy usługi w zakresie działalności projektowej, konstrukcyjnej oraz badawczo-rozwojowej. W obszarze naszych kompetencji mieści się szeroko rozumiane wzornictwo i inżynieria, zaawansowane programowanie, uczenie maszynowe, oraz wsparcie w tworzeniu nowych marek i usług.

Współpracujemy z klientami z wymagających branż, takich jak przemysł kosmiczny, lotnictwo, motoryzacja, systemy zrobotyzowane, przemysł medyczny. W centrum naszej pracy projektowej stawiamy człowieka i jego doświadczenie w kontakcie z przedmiotem.

EXEON to zespół 20 osób, w tym projektantów wzornictwa, inżynierów i ekspertów ds. oprogramowania.

Od momentu powstania firmy, pełnię funkcję Design Managera, odpowiedzialnego za dział projektowy oraz od 2018 nowo powstały dział programowania. Jestem odpowiedzialny za wyznaczanie standardów jakości, metodologię badań oraz rozwój twórczych procesów działania.

Niewątpliwie moje doświadczenia naukowe mają wpływ na kierunki obierane w historii rozwoju firmy, najlepiej świadczyć może o tym fakt, że prawie połowa podejmowanych zadań to projekty badawczo-rozwojowe – głównie ze względu na ich wartość poznawczą, a także potencjał rozwoju zespołu. Pozostałe działania mają charakter komercyjny, kończąc się najczęściej wdrożeniem na rynek. Począwszy od roku 2018 jesteśmy członkiem Związku Przedsiębiorców Sektora Kosmicznego.

Wybrane przykłady mojej działalności projektowej, realizowanej w zespole firmy EXEON (po uzyskaniu stopnia doktora) zawiera [załącznik nr 2](#): Wykaz i dokumentacja dorobku projektowego z lat 2012–2019.

We wstępie autoreferatu wspomniałem, że za jeden z istotnych czynników rozwoju projektanta uznaję wychodzenie poza bezpieczny obszar dotychczasowej praktyki zawodowej. Doświadczenie to ukształtowało mnie zarówno w obszarze zawodowym, jak i osobowościowym.

**W przyszłości pragnę kontynuować moją drogę poszukiwania, z nadzieją, że zaprowadzi mnie w nowe, niezbadane obszary ludzkiej aktywności, gdzie logika ukryta w projektowaniu pomoże w rozwiązywaniu istotnych problemów.**

data i podpis

29 / 04 / 2019 *Michał Kracik*

# 01

**Michał Kracik**

## Summary of Professional Accomplishments

Department of Design Methodology  
Faculty of Industrial Design  
Jan Matejko Academy of Fine Arts in Krakow  
—  
Krakow, April 2019

annex 1  
to the request for carrying out  
habilitation proceedings

Name and Surname

Michał Kracik

**1.  
EDUCATION, DIPLOMAS, SCIENTIFIC / ARTISTIC  
DEGREES (NAME, PLACE AND YEAR) AND TITLE  
OF THE DOCTORAL DISSERTATION:**

1998–2002	bachelor studies at the Faculty of Tourism and Recreation, University of Physical Education in Krakow
2002	bachelor degree in Tourism and Recreation, University of Physical Education in Krakow
2002–2007	studies at the Faculty of Industrial Design at the Jan Matejko Academy of Fine Arts in Krakow
02–06. 2005	studies at L’Ecole de Design Nantes Atlantiques, Sokrates – Erasmus scholarship
2007	master degree – master of art in product design, Faculty of Industrial Design at the Jan Matejko Academy of Fine Arts in Krakow, diploma work title “Car of the Future – Concept design”, supervisor: dr Stanisław Półtorak [Department of Design Methodology]
2010–2011	post-graduate research – Junior Advanced Research Grant – Fulbright Scholarship, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Department of Aeronautics and Astronautics
06–09. 2012	post-graduate studies at the International Space University, Space Studies Program SSP11
18. 05. 2012	doctorate in visual arts in the discipline of design, obtained on the basis of the work “The design of the city electric car” supervisor: Professor Maria Dziedzic, reviewers: Professor Marek Adamczewski, Professor Piotr Bożyk, a degree awarded by the Faculty of Industrial Design at the Jan Matejko Academy of Fine Arts in Krakow

**2.  
PREVIOUS EMPLOYMENT IN  
SCIENTIFIC / ARTISTIC INSTITUTIONS:**

**Faculty of Industrial Design at the Jan Matejko  
Academy of Fine Arts in Krakow:**

02.2007–06.2007	commissioned hours position: assistant trainee Department of Methodology of Design Functional Structure Design Studio (under the tutelage of Professor Maria Dziedzic)
01.02.2008–16.02.2014	contract of employment position: assistant, full-time Department of Methodology of Design Functional Structure Design Studio
17.02.2014–current	contract of employment position: adjunct, full-time Department of Methodology of Design Design for Extreme Environments Studio

**Massachusetts Institute of Technology (MIT):**

02.01.2013–30.08.2013	Postdoctoral Fellowship position: postdoctoral researcher, full-time Department of Aeronautics and Astronautics Man Vehicle Laboratory
-----------------------	---

**3.  
MAIN ACHIEVEMENT IN ACCORDANCE WITH  
ART. 16 SEC. 2 OF THE LAW OF 14 MARCH 2003  
ON ACADEMIC DEGREES AND ACADEMIC TITLE  
AND ON DEGREES AND TITLE IN ART**  
[Journal of Laws of 2016, item 882, as amended  
in Journal of Laws of 2016, item 1311.]

**Title of main achievement:**

*Spacesuit Trauma Countermeasure System for  
Intravehicular and Extravehicular Activities*

**NASA HRP Grant #NNX12AC09G**

# EXPLORING THE WAY

In order to provide some context and structure to the indicated main achievement, I thought suitable to provide a brief overview of my professional path. It was thanks to its distinct and unique character that it was possible to undertake the issues I will present in this document.

Prior to the commencement of my degree in Industrial Design, I completed a bachelor degree in Tourism and Leisure Studies at the University of Physical Education in Krakow. During my third year there, I became increasingly aware that this degree was not my true passion. This realization led me to contemplate an alternative field of study, and I started preparing for the entrance exam at the Faculty of Industrial Design at the Academy of Fine Arts in Cracow. Although initially rejected, I got accepted during my second attempt and began studying there in 2002. Unsure about what would be expected of me, I was driven and curious, so I quickly became submerged in my studies.

During my 5th year of ID [Industrial Design] studies, I got a job as a teaching assistant in Professor's Dziejdzic lab which specialized in Design Methodology. It was my first experience with didactics, and somewhat of an experiment, because I had never envisioned a career in science or academia. I really enjoyed working with students, and after successfully defending my Master's thesis in 2007, I decided to stay on as a Teaching Assistant in this well-known, familiar environment. Throughout my studies, I spent most of my time in the Department of Design Methodology under the supervision of Professor Maria Dziejdzic and Dr. Stanisław Pótorak, the latter being the promoter of my Master's thesis. Even though at this time, I did not perceive design methodology as a distinct field, its underlying principles would shape my personal approach to ID. The strong emphasis on logic, reflected in a rational design process leading to the creation of a well-thought-out solution, would become a deeply-rooted foundation in my professional work.

# GAINING EXPERIENCE

Although I really enjoyed teaching, I felt obliged to gain some practical insight. I felt I had little experience in the real world of design, apart from one month's practice in Peugeot Citroen Design Center in Velizy, France. Since automobiles were always my passion, it seemed natural to seek work within this field. Having already collaborated with them during my studies, I decided to pursue work for Car Technology. During my initial time there, I helped with a few small orders related to the interior design of the Leopard Roadster. Two years into my cooperation, I faced my first serious challenge as a designer. Car Technology wanted me to help with the design of the first Polish electric car, provisionally named ELV001. Oblivious to the challenge at hand, I agreed to take on the role of main designer, and I would be responsible for both functional and aesthetic aspects of the project. This experience, which required direct cooperation with an interdisciplinary, but mainly technical team, undoubtedly shaped me as a designer and influenced decisions related to my future career. Not only was it a great lesson in humility and responsibility, but it also became an important motivator in the search for new, ambitious challenges in the field of design.

# DISCOVERING MY PASSION

The ELV001 electric vehicle project really pushed me to look for more exciting opportunities. With the support and advice from my older colleagues, during my second year at the Faculty of Industrial Design, I decided that I needed to go abroad to broaden my research horizons. I was looking for opportunities for further development, but I also wanted to find a niche where I could consolidate my interests in science and sports. In 2010, I received a one-year Fulbright – Junior Advanced Research Grant at the Massachusetts Institute of Technology in the Department of Aeronautics and Astronautics, at the Man Vehicle Laboratory, in Professor Dava Newman’s lab. As pathetic as it sounds, this time at MIT would be the single most defining event to shape my future professional life.

During my nine months there, my main task was to design a prototype helmet for the BioSuit space suit. I had to acquire an in-depth understanding of the already present technologies and solutions related to this endeavor. I also had to be very knowledgeable about human anatomy and physiology under conditions of reduced gravity. Although the project consisted mainly of conceptual work, it needed to be supported by a thorough feasibility study. I made sure to provide a detailed computer model and took the liberty of creating four physical models of the helmet.

During my time at MIT, I was concurrently involved in preparing a research grant application for NASA, which would be geared towards the development of a system capable of protecting astronauts from injuries during missions and training. The course of this work is described below representing selected main achievement. Most importantly, during my time at MIT, I tried to attend as many interesting lectures as possible. I participated in courses such as “Engineering Apollo” led by Prof. Laurence R. Young and John Tytko; “Human Factors” led by Prof. Missy Cummings and Prof. Laurence R. Young, and “Space Biomedical & Life Support Engineering” led by Prof. Dave Newman.

My stay at MIT opened my eyes to issues that I would have never contemplated before. I became fascinated with various scientific methods, the analysis of numerical data, statistics, and the theory and practice which surrounded scientific experiments. I wanted to apply these newly found activities within the field of design.

The creative and intellectual atmosphere that I had the good fortune to experience at MIT became the inspiration in my future professional undertakings.

After my return from the USA, I received a scholarship from the European Space Agency – ESA, which allowed me to enter the International Space University – Space Summer Programme SSP11. In May 2012, I successfully defended my doctorate based on my work about the electric car ELV001. With the prospect of continuing to develop an injury prevention system for astronauts, I applied once again to MIT.



**4. DISCUSSION OF THE SCIENTIFIC/ARTISTIC GOAL OF THE ABOVE MENTIONED PROJECT WORK/WORK AND THE RESULTS ACHIEVED, TOGETHER WITH A DISCUSSION OF POSSIBLE RESULTS UTILIZATION**

## PROJECT SELECTION

My specific choice of the indicated main achievement, may seem controversial, since I have been involved in many successful assignments. Nonetheless, I chose this specific project, since it presented the biggest challenge on my end. Furthermore, the project's success did not depend on the design component; many other goals needed to be prioritized. Looking back, my involvement and collaboration in this interdisciplinary group was by far the most valuable experience in my professional career. With more than 10 years of dedicated work as a designer, I have developed the belief that the single best thing a designer can do to enhance their work is to leave their comfort zone and discover a new area of professional practice. In my case, it was a stepping stone in my career.

The NASA HRP Grant #NNX12AC09G – Spacesuit Trauma Countermeasure System for Intravehicular and Extravehicular Activities helped bring about a research team supervised by Prof. Dava Newman [MIT]. My first involvement with the project was in 2011, during my first Fulbright scholarship stay at MIT. I helped write the research grant application which highlighted potential solutions to design problems. Although the grant was awarded in 2012, we began serious undertakings towards the end of that same year. In the meantime, I gathered resources for Task Four of the Project, which I oversaw. Task Four dealt with the design aspect of the project-to-be. In 2012, I received a Kosciuszko scholarship which enabled me to begin work in January 2013 as an MIT postdoctoral fellow. During my 8 months there, my work focused on creating the design for a system which could mitigate the effects of working inside a space suit.

Below, I describe the four main objectives that were accomplished during this project and which are consistent with the funding received from the grant.

### Scientific Objective

The primary objective of this research was to understand the human-space suit interaction and design hardware to assess and mitigate injury and discomfort inside the space suit.

The objective was achieved by meeting the specific goals mentioned below:

**Task 1:** Analyze data for correlations between anthropometry, space suit components, and injury. Shoulder injuries are one of the most serious and threatening injuries associated with EVA [Extravehicular Activity] training, and thus warrant investigation. The analysis was based on a database developed by the NASA team including data on astronaut anthropometry, training time in various components of the space suit and cases of reported shoulder injury.

**Task 2:** Quantify and evaluate human-space suit interaction with a suite of sensors. Up until then, there were no known methods designed to measure how a person moved inside a space suit. Focusing on the upper body, a pressure sensing tool was developed to quantify the human-suit interaction at different load cycles. In addition, this

tool used inertial measurement units (IMU) to test and evaluate the kinematics of both the suit and its occupant.

The pressure measurement tool was used to evaluate the human-space suit interaction in order to assess the consistency of motion. The latter was an extremely important indicator for the level of perceived fatigue or changes in biomechanical strategies which could cause EVA injuries.

The pressure sensor system was used to measure pressure levels and determine contact areas between the suit and the astronaut's body. Today, the methodology we have developed has broad spectrum applicability – it can be used by engineers, scientists, aerospace surgeons, kinesiologists and physical therapists.

The data we collected helped identify specific problem areas. Additionally, it allowed for backtracking and inspection of the effectiveness of protective devices (developed as part of Task Four). Human experiments were performed to identify areas particularly vulnerable to injury. Based on pressure distribution, load frequency and local pressure responses, we were able to isolate specific trouble areas characteristic for each individual. The correctness of the test material was also evaluated using robust statistical analysis.

**Task 3:** Development of a model for human-space suit interaction. The purpose of this action was to gain a better understanding of the mechanisms of EVA injuries, particularly strain injuries caused by the Extravehicular Mobility Unit (EMU) space suit. The objective was to determine the extent to which muscle activity was affected by the presence of the highly-pressurized space suit. A musculoskeletal human-space suit interaction model was developed in order to quantify musculoskeletal performance of astronauts during Extravehicular Activity, and to assess their injury susceptibility. This task proved to be extremely difficult due to the limited possibilities of computer simulation of compression of human soft tissues.

**Task 4:** Design and Develop modular protective devices. Our work developed conceptual solutions to mitigate injury. We aimed to reduce the frequency of injury prone areas and improve the person's comfort within the suit. As part of this effort, we identified promising materials and built protective devices. The aim was to alleviate the risk of injury and improve the comfort of the suit. We have also made possible the incorporation of our protective devices into the LCVG cooling layer inside the suit, which can further be adapted to the needs of each individual.

In order to give even more insight about the importance of this research, it should be stressed that the Extravehicular Activity (EVA) is a critical component of human spaceflight. Working in gas-pressurized space suits, however, results in numerous challenges, causing fatigue, unnecessary energy expenditure, and injury. These limitations are becoming increasingly more evident since astronauts are spending more and more hours training inside the suit, especially underwater in the Neutral Buoyancy Laboratory (NBL). Although space suit performance and improved system designs have been investigated, relatively little is known about how the astronaut moves and interacts with the space suit, what factors lead to injury, and how to prevent injury. Previous methods of solving these issues were implemented by means of simple solutions; temporary improvements were made to mitigate the immediate problems. The need to propose a holistic, effective solution prompted NASA and MIT to collaborate on a system which would help prevent astronaut injuries during missions and training. The aim of this research was to understand how a person interacted with a space suit and to use this information to design personalized solutions which would reduce the risks mentioned.

The need to mitigate injury and discomfort is not exclusive to the harsh environment of space. The contributions from this work have the potential to be used in other extreme working environments, such as in dry-suit scuba diving and by high-altitude pilots. In both these cases, gas-pressurized suits are worn, and similar problems may arise. The envisioned countermeasure and protection system capability may also be used in biomedical and rehabilitation applications. Alternatively, the system can serve in prevention of injuries, i.e. protecting elderly people from falls. Whichever the case, all these solutions can become “spin offs” – a transfer of space exploration technology to the terrestrial applications.

# MY ROLE

The project took place between 2012–2015, and specific individual tasks were undertaken by other team members. The group was composed of Prof. Dava Newman (Principal Investigator – PI), Prof. Jeffrey Hoffman (Co-investigator – COI), Guillermo Trotti (Trotti&Associates), MIT students (Allison Anderson, Ana Diaz, Pierre Bertrand and Aleksandra Hilbert) whose duties focused on the implementation of tasks one through three. I was responsible for realizing task four, alongside Guillermo Trotti – an experienced architect and designer, who has been cooperating with NASA and MIT since the 1970s.

My duties consisted of analyzing data provided to me by NASA and members responsible for tasks 1 through 3, formulating hypotheses and design requirements, developing comprehensive system concepts, analyzing and testing available materials and technologies with the highest potential for use in the project, developing concepts for individual system components, developing material composites, developing spatial structures for the uniform distribution of point pressures, constructing and testing passive prototypes, and consulting and supporting construction of pneumatic components by the Italian company Dainese.



Concept illustrations  
and prototype tests

As one of the two designers in the whole team, I was also involved in work on the second task, where the end goal was to construct a measuring device capable of determining pressure levels exerted by the suit on an astronaut's body.

# PROJECT FLOW

The following description summary is based on the final report from September 24th, 2014 pertaining to task four, which was authored by Mr Trotti and myself.

## Introduction

Task four sought to develop a modular protection system. It was divided into three phases. The first phase focused on a thorough analysis of the problem and sought to understand the mechanisms of injury. The second phase consisted of formulating project solutions that could provide answers to the previously identified problems and recognizing which ones would be most pertinent. During the last phase of the project, we constructed and tested selected solutions.

## Methodology

Given the complexity of the problem, the amount of materials researched, acquired, and tested, we decided to adopt the Concurrent Design and Engineering methodology, instead of the more traditional Sequential Design process. This allowed us to work simultaneously on all four tasks encompassed by the scope of this project.

The Concurrent Design / Engineering method promotes simultaneous work on different tasks within the design process and production. This method accentuates a systemic and integrated approach to design and production. It maintains a holistic outlook throughout the whole life cycle of the product. Instead of blindly following a chronological sequel of events and artificially separating tasks, the concurrent approach relies on tasks being completed at the same time. With proper team organization, and good communication techniques, it diminishes the amount of mistakes and can apply quick-fixes at very early stages of the project.

Such an approach gave us more flexibility, since the team was able to manage different tasks and concepts at different phases of the project, without causing any delay. Another advantage of this approach was that non-conforming designs were detected early and dealt with accordingly.

## Requirements

Prior to the commencement of the design process, we established basic design criteria. It was based on data pertaining to injuries and qualitative interviews we conducted with astronauts. Our requirements were fine-tuned and accompanied with a section on desired outcomes and proposed methods of verification.

Below I present the proposed design requirements:

**Comfort** – Reduce pressure impacts between the suit and body by at least 20% from the known baseline. Our requirement was validated by measuring specific pressure points.

Other desired outcomes: reduce friction between suit and LCVG [Liquid Cooling and Ventilation Garment - LCVG], control body moisture, inhibit wrinkling of tissues/materials.

**Suit fit** – System must be integrated within the suit, between the LCVG layer and the core component of the suit. It should be integrated with harness mounting points, LCVG, 1st layer of underwear and skin. Other desired outcomes: The body should be restricted from shifting inside suit. The suit should move more naturally with the body.

**Customization** – Must accommodate full range of crew sizes. This requirement was verified by cross-checking with NASA database and testing on humans.

Other desired outcome: size of protection system must be adjustable.

**Functionality** – system should not restrict range of motion. Torque must be < 5%. This requirement was verified by measuring range of motion and pressure.

Other desired outcome: maintain adequate position after donning; maintain adequate position when in use.

**Usability** – EVA preparation and donning time should remain the same, or it can be reduced. This requirement was verified by cross-referencing current EVA preparation time logs.

Other desired outcome: enable system to be easily integrated to the LCVG or other protective devices/ elements of the suit. System should allow for unassisted donning within designated time constraint.

**Safety** – System must be compatible with a 100% oxygen environment. It should minimize or eliminate all shoulder injuries. Requirement was verified by NASA engineering standards. Our results showed high reliability congruent with all NASA flight safety restrictions.

**Operations** – there should be minimal storage space to conserve the system, the weight of the system should be as small as possible and power usage minimal. There should be minimal training required to operate the system, minimal service work, possibility to exchange parts and the system should be machine washable.

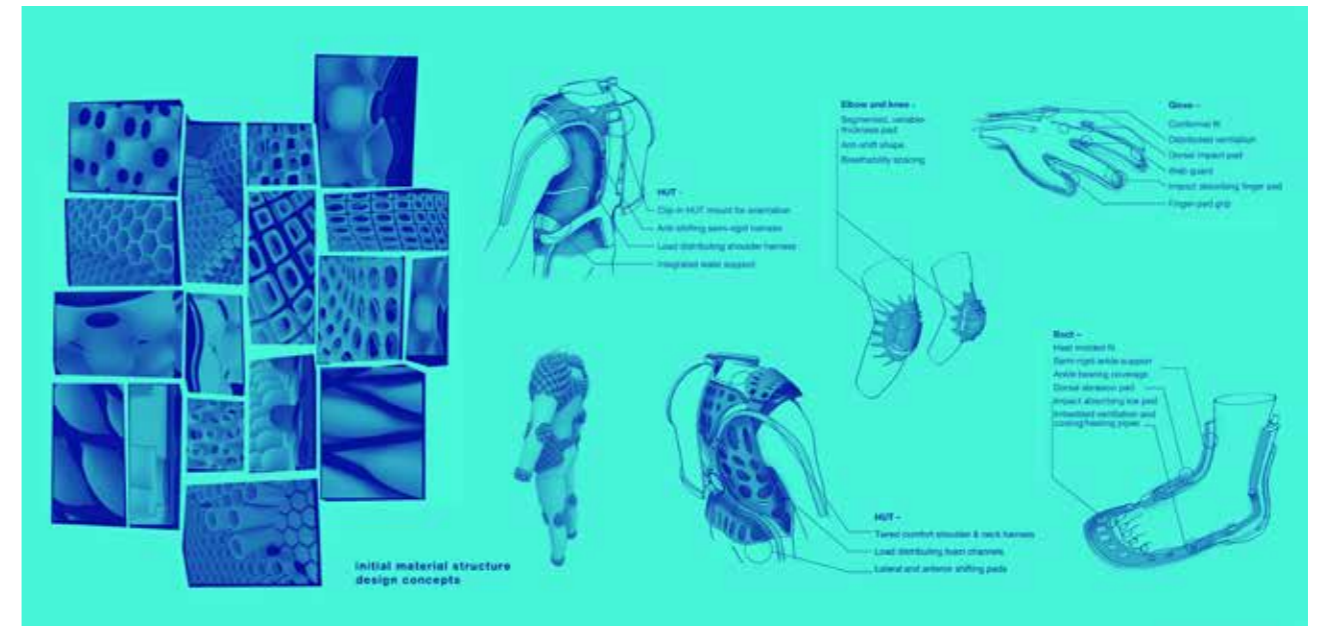
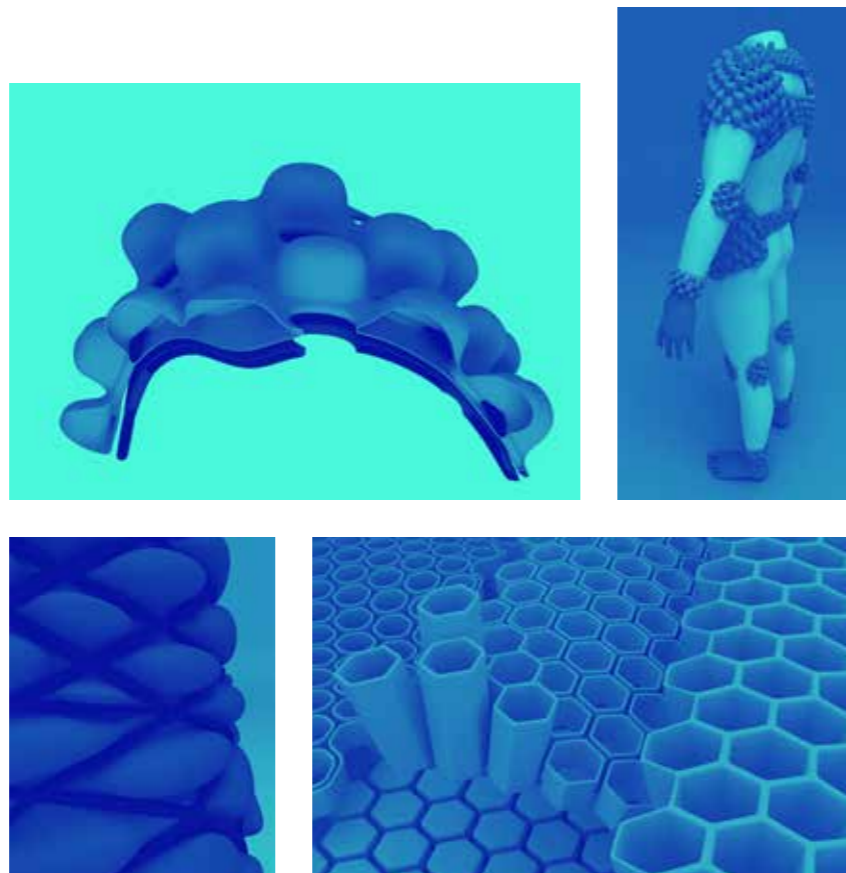
## Design Process

My remarks to the presented visual materials – due to the specific nature of the work on the project, partial remote work and the need to provide physical material together with reports from individual stages of work, photographic and illustrative documentation to the project is inconsistent and incomplete. For this reason I decided to adopt a simplified and unified way of presenting selected graphic materials, which symbolically support the description of the project. I am the author of all sketches, illustrations, renderings and photos included in the description below.

## First Concepts

Based on the initial problem analysis prepared for the research grant application, I developed a set of generic concepts for the various materials and potential components of the system. These ideas were an introduction to the work carried out within the framework of the research grant.

First conceptual designs



Evolution of the initial conceptual designs

After the start of the official research activities, I had the opportunity to personally observe the training procedures, examine the hardware, as well as to interview astronauts, training flight surgeons, suit technicians, and sizing personnel during a visit at the NASA Johnson Space Center, Neutral Buoyancy Lab. This invaluable experience gave a fresh view on the problem, and revealed several new issues like, individual perception of comfort, the difficulties on attachment procedure of the pads to the LCVG, also it allowed us to give a critically look at the overall process, from the first suit fit, to the actual donning and operations in the NBL pool. The conclusions from the observations allowed the team to confirm design requirements, as well as to propose improvements in the process, and hardware.

We have initially focused on the design of passive systems during the second year of performance, and on active systems on the third, and last year of the project.

The most promising concepts are discussed in this report.

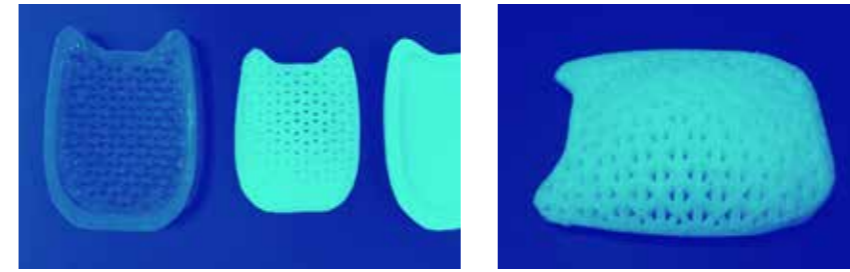
## Material Research

Choosing the right material was crucial for the overall success of the proposed systems. In some cases the material itself can be a final solution for the making of pads to address the injury and comfort problems. In addition to selecting “off the shelf” materials to develop various pad systems, we developed a series of “composite” systems, layering various materials with different characteristics to create pads. We fabricated several of the pads we designed with different combinations of materials to get the required characteristics that prevent injury and discomfort. The selection of materials should also take careful consideration to meet the NASA requirements for material use inside the spacesuit, where flammability and outgassing may be the most important issues. Since many of the materials tested are very new in the market, they are not in the NASA list of approved materials. However, we believe that many of these would meet the NASA specifications.

Given the great amount and variety of materials available, and in development, plus the time to find them, and acquire samples; we extended the initial material research activities conducted during the first phase of the project to the total period of performance. On the second year we conducted an in-depth selection of materials with emphasis on commercially available products. The research was enhanced, by having access to the Material Connexion Library in NY. From the analysis and evaluation of the available materials, we selected and acquired some of the most promising.

Another type of material researched focused on liquid foams. These allowed us to design and produce 3 dimensional pads with programmable properties with regards to flexibility, density, and pressure distribution as well as size and external shape.

During the process several promising material technologies have been identified, although some of them like e.g. Deflexion by Dowcorning are no longer commercially available, there are others that are available or under development. This design was tested and abandoned given its complexity, and the time required to create customized forms and pads.



Liquid foam casting and molds

## Material Testing

During this phase of the project, basic testing procedures were designed in order to test and compare selected materials, and pad concepts. The test set up hardware was performed on an Instron 5944 2KN machine, along with asset of Tek-scan pressure sensors. A specially designed test platform along with a metallic wedge that simulates the edge of a shoulder bearing of the spacesuit impacting the astronaut shoulder was designed and built. The test method provided the general information on the load - displacement ratio, and the load - pressure distribution ratio.

Although the test set up was simplistic and reflected only a section of the actual geometries inside the spacesuit, it allowed us to quickly compare, and evaluate proposed materials and combinations for the pads.



Testing procedures on the Instron 5944 2KN

## Concept Design

The most common of astronaut injuries are caused by the differences in motion between the human body, and the limited and specific mobility of the spacesuits. In addition, astronauts come in different sizes, have different body types, and anthropometrics; therefore, a customized design of the protection systems is needed. The present systems are personalized for use among the astronaut population across the multiple suit sizes. Some solutions keep the body from shifting within the suit to ensure a stable and comfortable position, while other designs improve comfort by adding padding to prevent hotspots, abrasions, and contusions.

The concepts presented in this report, are a selected group of the many concepts designed throughout the duration of project. These concepts respond to the requirements established early in the project. Their primary goals are to prevent injuries, improve comfort, improve flexibility, improve the attachment process, and to improve donning and doffing.

Selected preliminary design concepts – appropriate placement in sensitive areas



The design process included, an in depth analyses of the current situation, based on, limited injury data, astronaut interviews, and visits to the Neutral Buoyancy Lab (NBL) at the Johnson Space Center (JSC) training facilities. Although the statement of work for the project called only for design solutions represented in 3D electronic models, we found that it was more productive to build prototypes as we developed design concepts so we could test the various materials, combinations, and fitting. The designs focus primarily on the upper torso injuries, such as shoulders and neck areas, being these, the areas where the major, and most significant injuries have occurred.

Three sub areas of study were identified to address the protection issues – passive pad systems, pressure distribution, and active airbags systems.

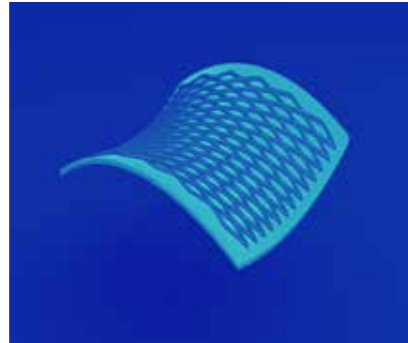
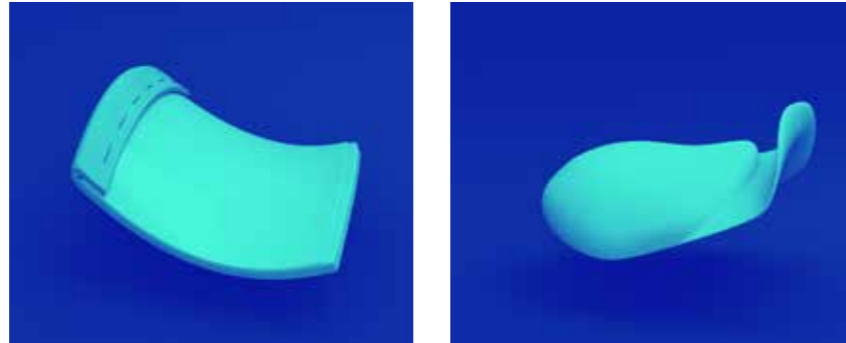
## Passive Pad Systems Design Concepts

Although this may be the best method to accommodate the best fitting geometry of the body by customizing the pads to each astronaut and their requirements, it is a very time consuming, and difficult way to resolve the problem for training purposes. This method of designing and fabricating the protection system may become practical and economically feasible for long duration space missions.

Design sketches



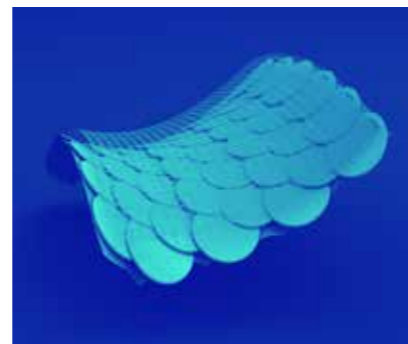
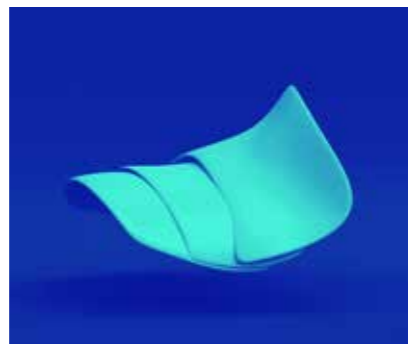
Conceptual designs of perforated and uniform pads



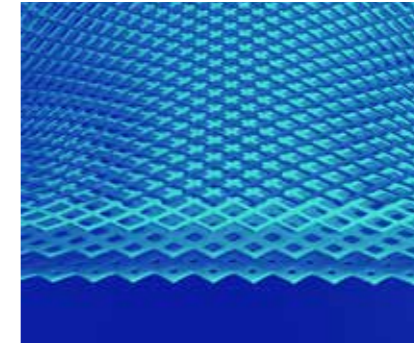
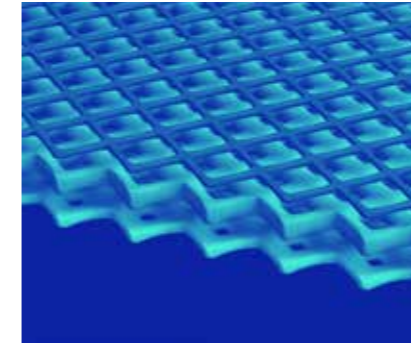
Conceptual design of ribbed pads



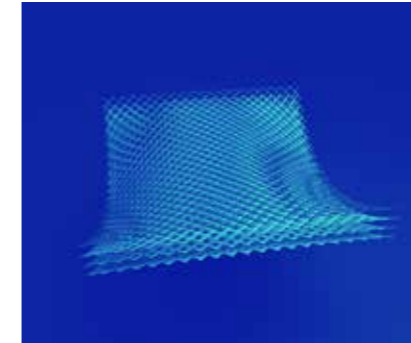
Concepts of solutions for distribution of pressure points



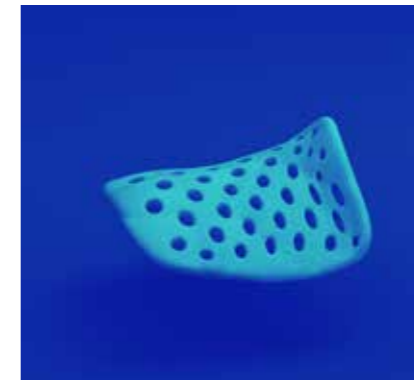
An extensive selection of materials and designs were analyzed to test various pad systems for their load distribution and protective characteristics. These concepts can integrate three or more materials with different properties to achieve the perfect comfort and protection.



Schematic Designs of foam and semi-rigid Teflon inserts

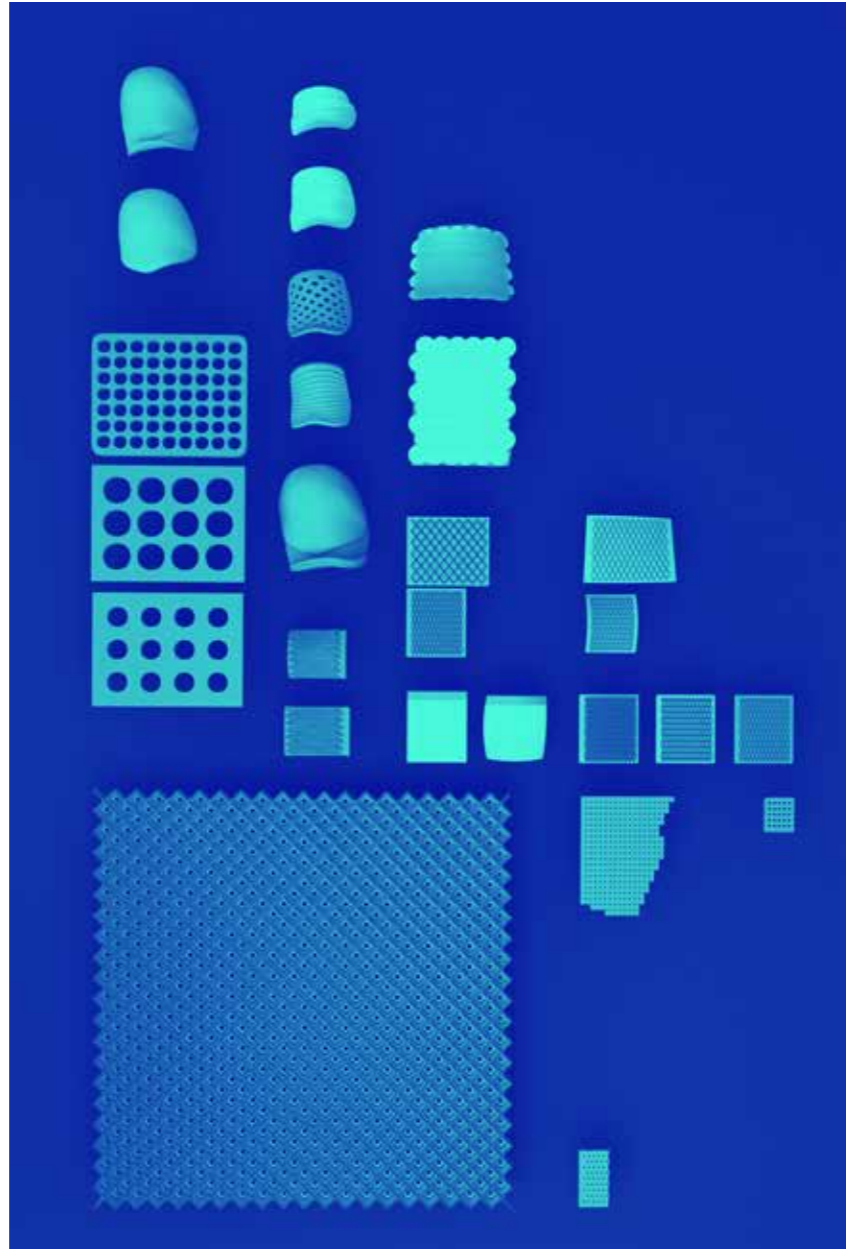


Conceptual Designs of Semi-rigid Teflon load distribution plates. Many foams of different thicknesses and densities can be attached between the plates and the body to achieve the perfect fit and comfort. The foams could also be perforated or solid.



Solid and Perforated foams.





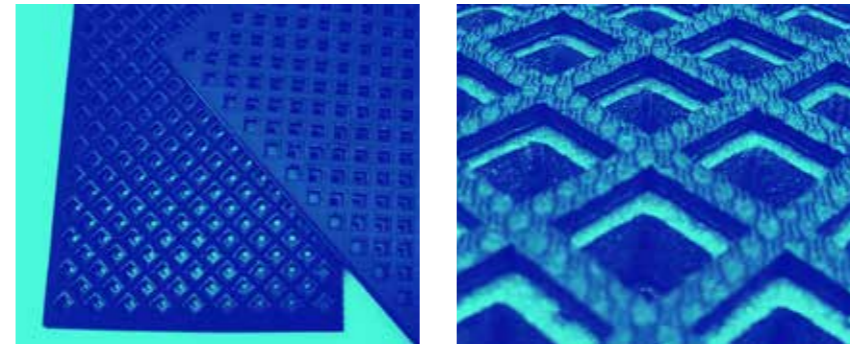
## Concepts Prototyping

Along with the concept development phase, the team fabricated several first concepts, using commercially available materials. Laser cutting, water jet cutting, and 3 D printing methods were used to produce the prototypes. Molds for the production of liquid foam pads were also produced for the first casted pads with internal structure shown earlier on this report. Many of the prototypes were fabricated at the Dainese R&D Center in Molvena, Italy. Dainese is a leading international company dedicated to the development and production of commercially available protective garments and devices for extreme sports. Trotti & Associates, has a long standing collaborating relationship with Dainese in developing protective garments for Space. We thank Dainese for the unrestricted access to their facilities, a wide range of materials, advanced machining and fabrication tools, and to the expertise of the in-house R&D and fabricating teams, that allowed us to prototype the proposed concepts at a very high level of quality.

## Laminated Materials

They are made of several layers of materials with different properties, and are produced in sheets. They can be cut to the right size and be ready to use, without the need to combine separate materials like foam pads, and Teflon pad.

Below are presented some of the examples of laminated composites designed and manufactured directly by us.

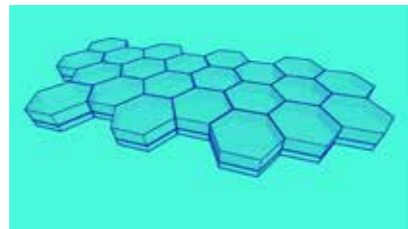
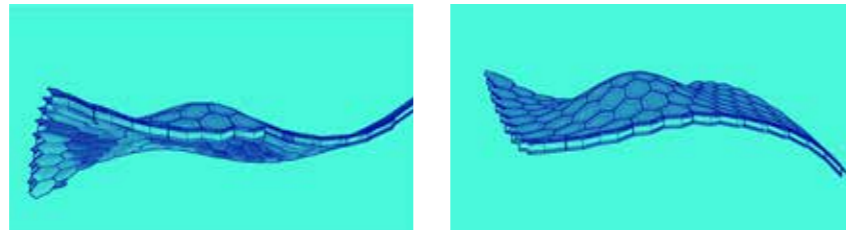
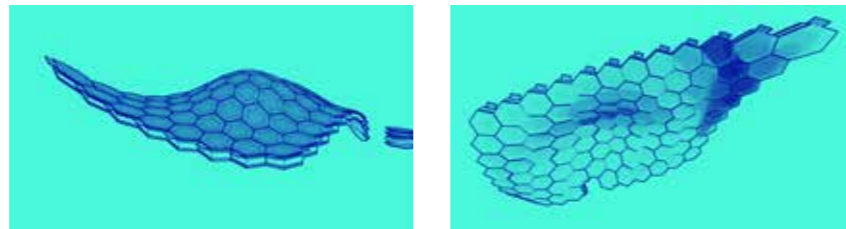
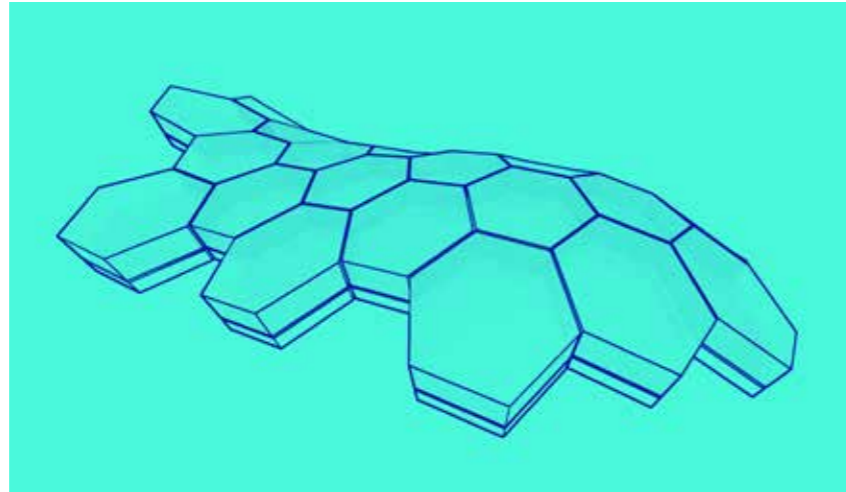


Laminated Padding Composite  
Prototypes

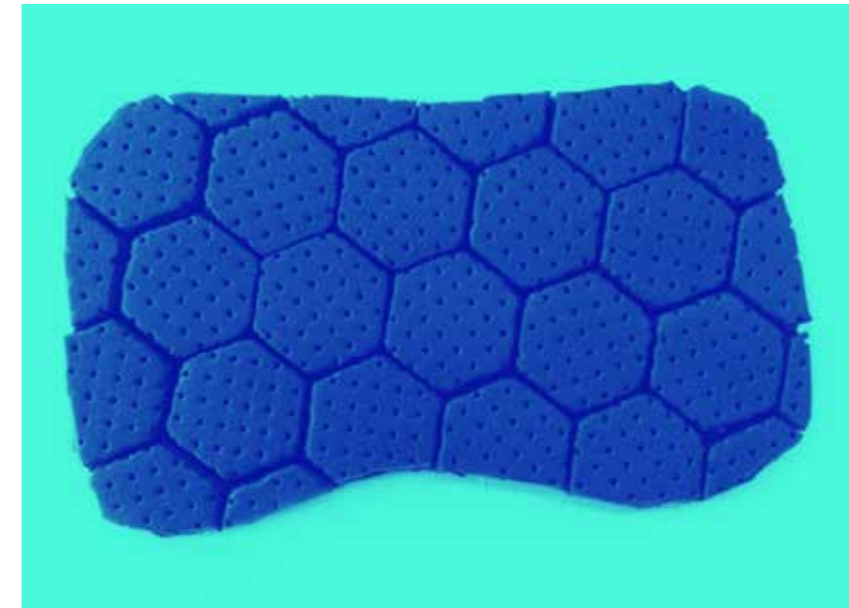
## Flex-Hex Concept

More advanced solution would be a Flex-Hex pad, where between the two outer layers of elastic fabric, a layer of pre cut memory foam, closed cell foam, and a plastic/ Teflon plate are integrated to form a pad that provides point pressure distribution, comfort and flexibility at the same time. The hexagonal shape of the elements enclosed in the elastic materials, give the needed flexibility, and prevents any hard to make direct contact with the body.

Flex-Hex Concept



We built three types of the Flex-Hex pads with different material properties, two were built with three layers, and one with two layers, the foam for comfort and the EPP [expanded polypropylene] for pressure distribution.



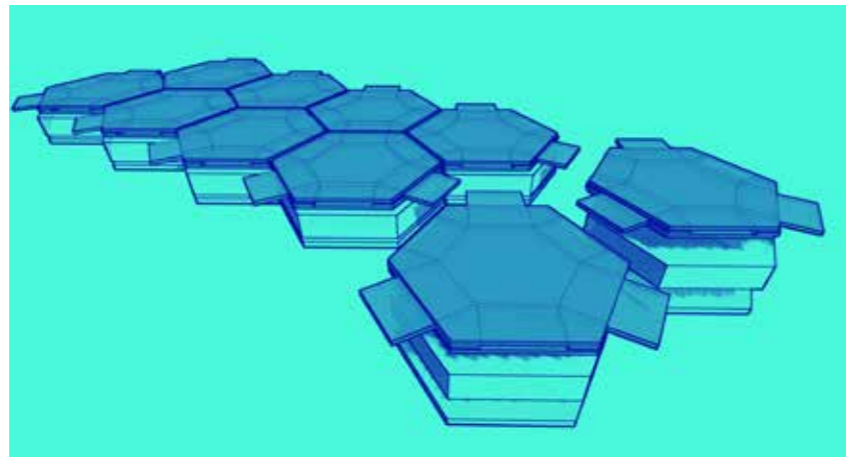
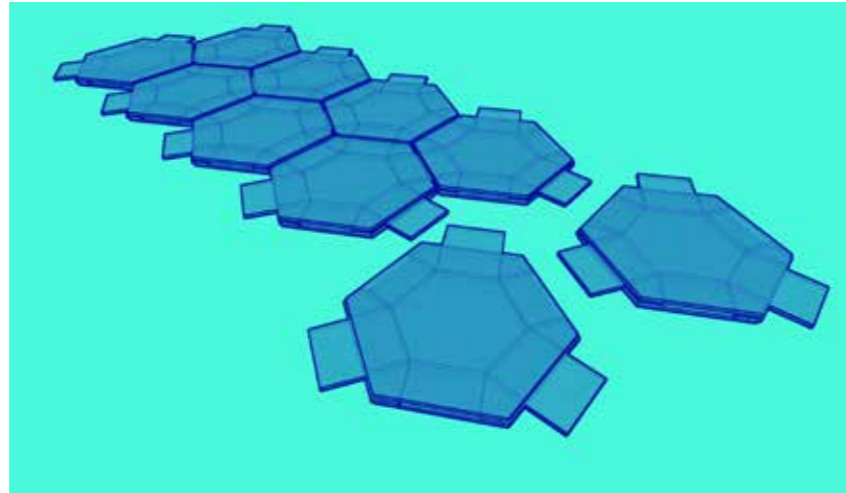
Flex-Hex Prototype



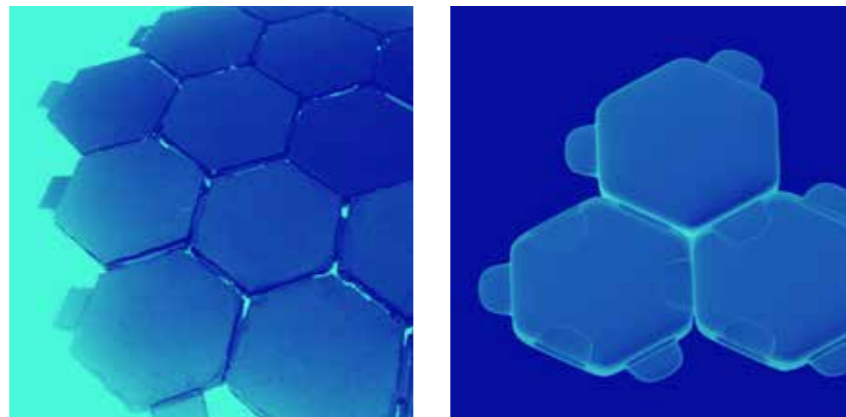
## Advanced Flex-Hex

Yet another evolution of the Flex-Hex pad led to the introduction of an Advanced Hex-Flex pad where the hard, hexagonal plates overlap and hook each other to eliminate the risk of any hard elements penetration. This concept, although it meets the safety and comfort requirements, is quite complex and expensive to manufacture.

Advanced Flex-Hex Concept



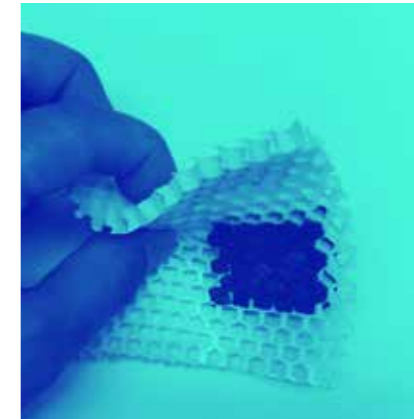
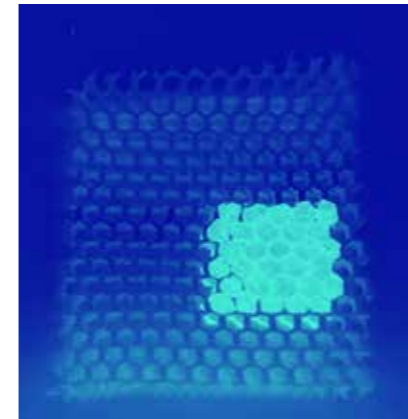
Advanced Flex-Hex Prototype



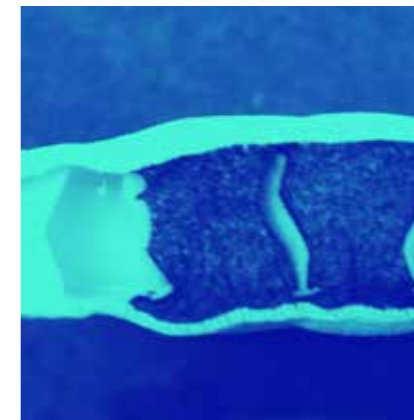
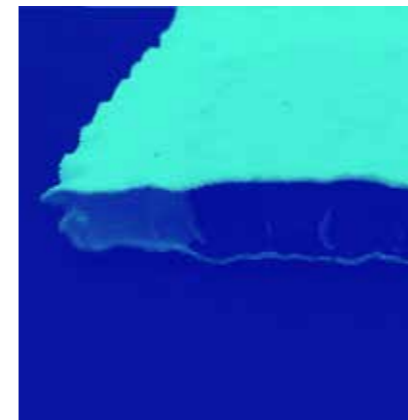
## Filled Honeycomb

Another approach we studied, involved the use of a commercially available elastic extruded honeycomb grid structure filled with liquid foam to provide vertical support, and prevent the collapsing of the to the honeycomb.

Although we made a small sample of this concept with one type of liquid foam, different density liquid foams could be tested to get the optimal elasticity.



Filled Honeycomb Early Prototype



Filled Honeycomb Composite Prototpe

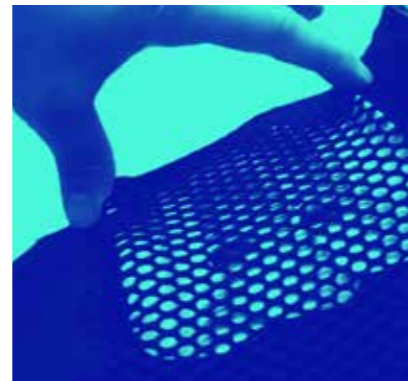
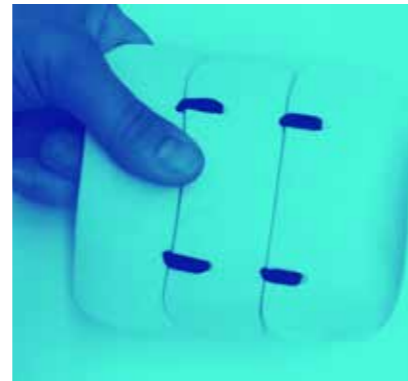
## Pressure Distribution Shield

The insert is made out of three plastic / Teflon plates that are thermoformed to follow the shoulder geometry. The plates overlap each other at the edges and are connected with the elastic bands. During the arm rise, the surface above the shoulder shrinks dramatically. The present experience of using a single flat plate of Teflon insert shows that it slides and cuts into the neck when the astronaut lifts her/his arms. The proposed variable dimension insert will reduce its size at least three times when the arm is lifted. When the arm goes down the insert will go back to its original shape thanks to the elastic bands. This concept resembles the articulation of medieval and samurai armor that we studied during the design phase.

Pressure Distribution Shield contracted



Pressure Distribution Shield in 'normal' position.



## Options for Attaching the Pads to the LCVG

In our conceptual work we had to take into account the proposal of attaching individual elements to the cooling layer that lies closest to the astronaut's body. The current system is based on sewing-in protective sponges every time astronaut performs the training/mission procedure. These are some of the test options for attaching the developed passive pads to the LCVG.

Options for attaching the pads to the LCVG



## Integrated Collar Shield

This is a conceptual design that integrates the padding of the shoulders, back, neck, and pectoral areas in one item. Although this design proved to be cumbersome, and rigid, it served as a precursor for the active airbag system. With further design development of the geometry and material, this concept may become viable.

Integrated Collar Shield



## Active Protection Systems

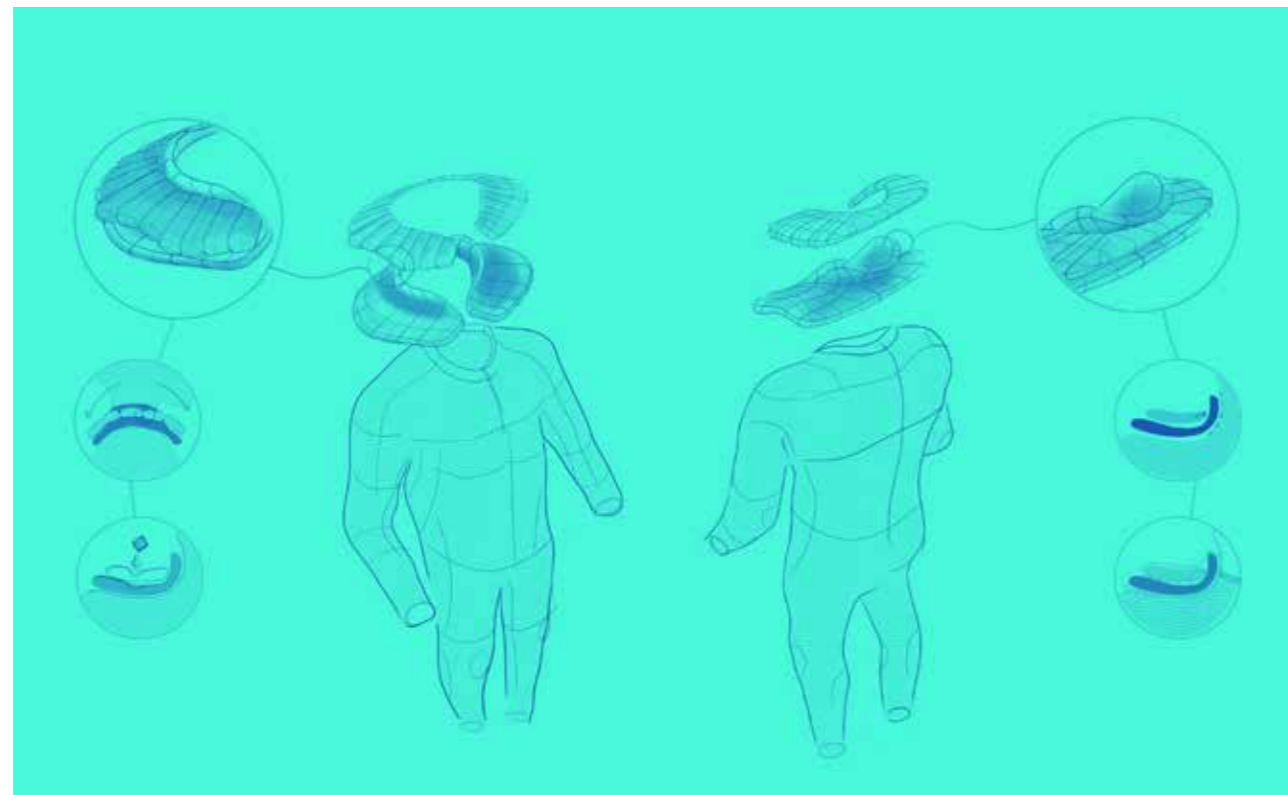
### APS (Airbag Protection System)

In the last year of the contract, we concentrated our efforts on the design and building prototypes of the inflatable protection systems, as envisioned in the original proposal. The main idea of this concept is to provide the astronaut protection and comfort with a thin high density foam layer, attached to an inflatable airbag or bags that inflate to provide cushion between the suit and the body. The inflatable bag is designed in various thicknesses to fit different astronaut sizes, the airbag fills the area between the body and the suit, wedging and locking the astronaut in place.

One of the early proposals of the Airbag Protection System – Deflated and Inflated



Pneumatic Protection System Concept



Having access to the Hard Upper Torso (HUT) element of the space-suit in our lab was critical to the design process of the APS concept. As soon as we started working on this project, we requested from NASA a HUT prototype and or drawings of it, so we could build one as soon as possible. We were never able to get any detailed drawings, or information of the design geometry of the HUT. Therefore, we proceeded to build a prototype with very rough dimensions taken from different images, and photographs. The result was, a rough mockup that served the basic purpose of understanding how the APS would fit and interact with the HUT's hard edges and surfaces.



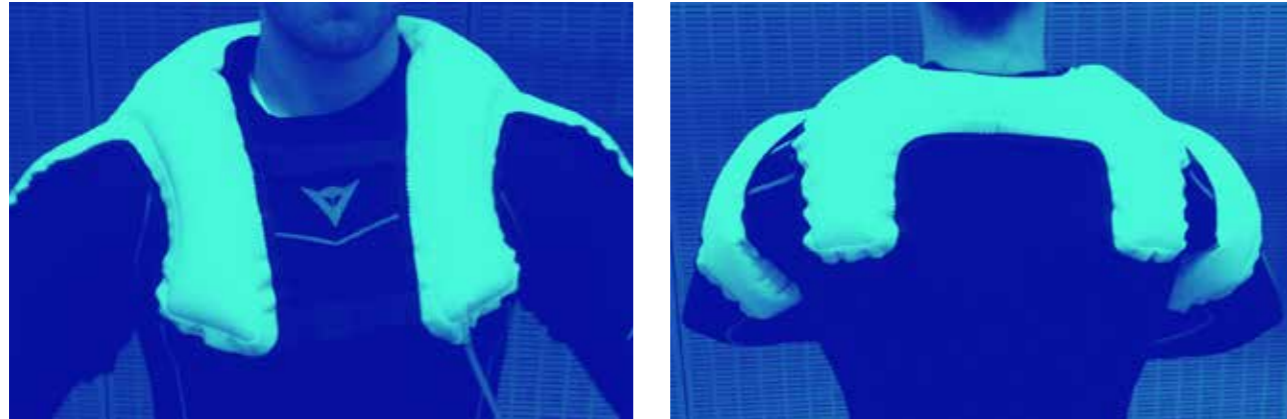
Work-table with several samples of the early prototypes.

Multiple Airbag patterns on mannequin



Many patterns were designed for the Airbag Protection System; from these patterns we chose the most promising designs to build the first prototypes.

### APS-1a Prototype



APS-1a Prototype

Shown above is the Prototype APS-1a featuring long protective bags for the pectoral, under arm, neck, and back areas. From the initial tests we found this design too cumbersome, particularly the under arm protector. It proved very hard to match the HUT with different body types and sizes.

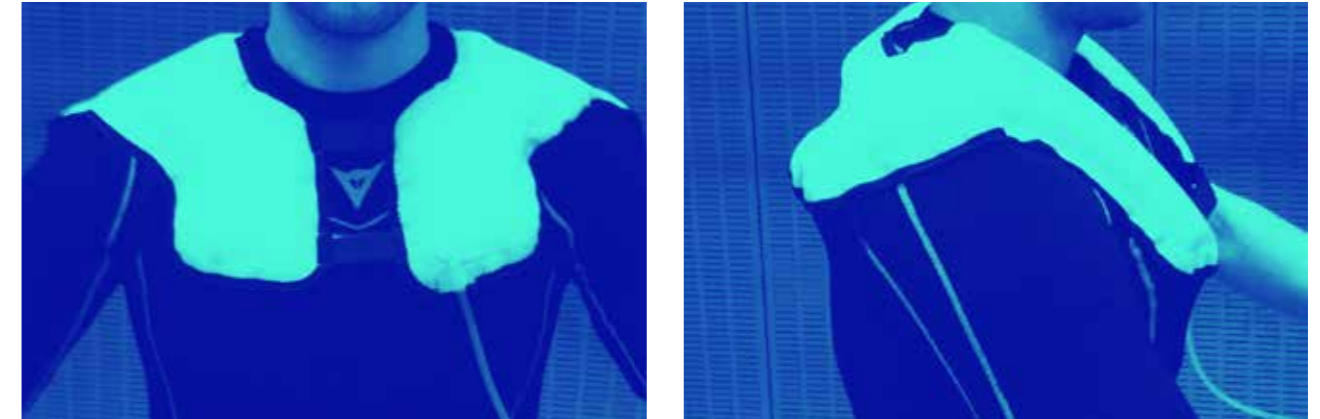
### APS-2a Prototype



APS-2a Prototype

The APS-2a Prototype shown above featured wider and shorter pectoral areas, the under arm bags were widened and enlarged, and the back pads were replaced by one wide pad running horizontally between the shoulders. We found that the wider under arm pad did not improve the fit with the HUT, and that the back wide pad was not covering the right areas of the back. The shortening of the pectoral pads was a good improvement.

### APS-3a Prototype



APS-3a Prototype

The APS-3a Prototype features a simplified collar design extending forward to the pectoral areas. The under arm pads were eliminated. We found that the back area was still too wide, making it very rigid, and still not covering the required areas, where the HUD touched the body.

### APS-4a Prototype



APS-4a Prototype

The APS-4a Prototype featured a very narrow set of pads running front and back, extending well over the pectoral areas and shoulders. The connection between the two front-back pads was achieved with a smaller, narrower pad, running horizontally between the two main pads. This design showed to be very efficient, but the pads were a bit narrow to fit different body sizes.

## APS-x

After careful analysis of the pros and cons of the different APS-a Prototypes, we designed the final APS-x Prototype taking advantage of all the lessons learned from the “a” prototypes.

### Key features of the APS-x Prototype include:

1. Medium width pads to allow more flexibility, and best coverage of HUD contact areas.
2. Elongated pads over the shoulder top areas so they extend further over the shoulders and beyond the HUT bearings to prevent jamming.
3. Minimized width of the horizontal pad connecting the front-back pads, just big enough to transfer the air pressure to both sides of the system.
4. Stitched “Hinges” on all pads, to allow them to bend with the curvature of the body. The “hinges” are achieved by stitching small sections of both surfaces of the pads where the creasing is desired.
5. Thin fleece lining provides a layer of moisture absorption and increased comfort.
6. The thin fleece lining extends upwards at the neck, creating a soft moisture absorbent collar to prevent chafing from the airbags and the suit, as well as to provide additional comfort.
7. Perforations with grommets on the perimeter of the APS-x allows stitching or attachments to the LCVG where needed.
8. Inflation tube located on the back of the neck, out of the way from the astronaut’s operating envelope.



APS-x Prototype



The APS-x Prototype proved to be a very comfortable system, providing protection in the right areas of the upper torso. One of the main advantages of the Airbag Protection System is that facilitates the donning and doffing procedures. With passive foam padding, the pads need to be fitted to the right thickness and sown to the LCVG before the astronaut dons the suit. This extra thickness added to the body, particularly on the shoulder area, makes it difficult for the astronaut to raise hers/his arms, when donning the upper torso section of the suit. The active Airbag Protection System is very thin and flexible before inflating while attached to the LCVG, allowing the astronaut maximum flexibility and upward reach. The APS is inflated to the right pressure, and comfort after the astronaut is inside the suit.



Although many additional improvements could be done to this system, we feel confident that the system is efficient and robust enough to be tested in a real time training session in the WETF, at JSC's NBL.

APS-x Prototype



# CONCLUSIONS

The present injury of astronauts during training and space operations are significant. Some injuries are mild, such as skin being chafed or irritated; others are more severe, such as sprains, torn muscles, or ligaments. The preventive protecting system being used today provides the astronaut with foam pads sometimes layered with a rigid Teflon sheet. These vary in thickness depending on the size of the astronauts, and their physical relationship to the spacesuit. Although this system has proved to be effective, astronauts still report pain, and are getting injured.

Injuries happen when donning, training operations in the NBL, and during EVAs in space. We have focused our work mainly on the injuries incurred during training operations.

## Our findings show that:

1. The simplest and most economic solutions are passive, such as foam pads.
2. The materials and combinations thereof to be used are extensive, and permanently being introduced to the market. There is an explosion on materials used in commercial protective garments for sports.
3. Foams and plates design in a articulated grid, such as hexagons, allow for much better contouring and conforming with the body than solid, monolithic foams and other materials.
4. Proper covering, contouring, and shaping of the pads to follow the shape and curves of the body dramatically reduces the possibility of injuries and increases comfort.
5. The thickness of the protection system varies significantly with different astronauts. Therefore increasing the selection of materials to the existing ones is a major step to improving the system, and reducing injuries.
6. The attachment method of the protecting system to the LCVG could be improved to enhance efficiency and speed of installation. It is not a major contributor to injuries. However, the better the attachment and the more integrated the protection system is to the LCVG the better it will perform.
7. From the limited amount of designs and fabricated systems we tested, we can project that the active Airbag Protecting Systems (APS), although more expensive and more time consuming to fabricate can provide better protection during operations, and facilitate the donning procedures.
8. With a small investment on tooling the fabrication of the APS can be done on site at the NBL.
9. Further investigation the APS inflating mechanism, and pressure control at different atmospheric pressures are required.
10. In addition to protective systems, a rigorous and individualized training program needs to be developed for every astronaut on the donning, doffing, and operation of the space suit.

# USAGE

## Publications

Thanks to the grant, numerous publications and presentations held during international conferences devoted to the subject of space exploration, were made possible.

Kracik, M., Anderson, A., Trotti, J., Newman D.J. "The Development of the Astronaut Injury Protection System for the Current and Future Spacesuits"  
20th IAA Humans in Space Symposium 2015, Prague, Jun 29 – Jul 3, 2015.

Newman DJ, Anderson A, Diaz A, Kracik M, Hilbert A, Bertrand P, Hoffman J, Trotti G. „Spacesuit Trauma Countermeasures Research: Injury Prevention and Comfort Protection Design.” 2014 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-13, 2014.

2014 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12–13, 2014.

Anderson A, Diaz A, Kracik M, Trotti G, Hoffman J, Newman DJ. „Understanding Human-Space Suit Interaction to Prevent Injury During Extravehicular Activity.” Presented at 2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013.

2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013. , Feb-2013.

Diaz A, Anderson A, Kracik R, Trotti G, Hoffman J, Newman DJ. „Development of a musculoskeletal human spacesuit interaction model.” 2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013.

2013 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Galveston, TX, February 12-14, 2013. , Feb-2013.

Anderson A, Diaz A, Kracik M, Trotti G, Hoffman J, Newman D. „Developing a Spacesuit Injury Countermeasure System for Extravehicular Activity: Modeling and Analysis.” 42nd International Conference on Environmental Systems, San Diego, CA, July 15-19, 2012. Poster and talk.

42nd International Conference on Environmental Systems, San Diego, CA, July 15-19, 2012. , Jul-2012.

Diaz A, Anderson A, Kracik M, Trotti G, Hoffman J, Newman D. „Development of a Comprehensive Astronaut Spacesuit Injury Database.” 63rd International Astronautical Congress, Naples, Italy, October 1-5, 2012. Oral session: Life Support and EVA Systems.

63rd International Astronautical Congress, Naples, Italy, October 1–5, 2012. , Oct-2012.

Anderson A, Diaz A, Kracik M, Kobrick R, Trotti G, Hoffman J, Newman D. „Methodology Toward Developing a Spacesuit Trauma Countermeasure System for Extravehicular Activity.” 2012 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Houston, TX, February 14-16, 2012.

2012 NASA Human Research Program Investigators’ Workshop, Houston, TX, February 14-16, 2012. , Feb-2012.

Some of the presented conference materials were in the form of conference posters, which I also designed.



### Further Development of the Project

Originally, the system was to be introduced during training of astronauts in NBL neutral buoyancy conditions. After the completion of the grant [NASA HRP Grant #NNX12AC09G], the team, this time under the direction of Professor Jeff Hoffman [Prof. Newman was already a deputy director of NASA at that time] applied for another grant for the implementation phase of the developed concepts. In 2016, NASA awarded the research grant [NNX17AB11G] for further work, but after the US presidential election and the changes in policies which ensued, the grant was suspended.

# SUMMARY

Although the whole team hoped our collaboration and work would continue, and that the proposed solutions would be implemented soon, despite the termination of the second grant, we received a lot of satisfaction from our achievements. It's also satisfying to know that many of our solutions were utilized by the NASA department responsible for the safety and comfort of astronauts. Furthermore, I am convinced that selected concepts and recommendations from our work will be useful in the design of the next generation of space suits. Since the beginning of our project, we knew that the most appropriate way to improve the comfort and safety of the suit was not by eliminating the flaws of the already existent model, but by designing a new space suit that would be flawless. That having been said, it should be emphasized that the space suits currently in use have been around since the early 1980s, and their development and refinement took decades. Fortunately, the NASA team responsible for the work on the new space suits consulted with us and have taken into consideration our suggestions.

As mentioned at the beginning, the sense of responsibility embedded in the designers work ethics, motivated me to gain specific knowledge, understand advanced technology and environmental phenomena. Although working in an interdisciplinary research and design team was, on the one hand, a concrete challenge, on the other hand, it reinforced my idea of the purpose and sense of undertaking the challenges of space exploration topics. It has become an inexhaustible motivation and inspiration in my teaching and professional work.

## 5. SUMMARY OF OTHER SCHOLARLY / RESEARCH / ARTISTIC ACHIEVEMENTS

### Influence on Didactic Work

My interests in both space exploration and design for extreme environments, which arose from my two stays at MIT, became the motivation for establishing the course „Design for Extreme Environments“, initially offered as part of the Methods and Experiments Design Studio I lead. Later, this course became its own entity – it was transformed into a design studio called “Design for Extreme Environments”. It is the first studio of its kind in Poland to specialize in such a field, as no other Faculty of Design has a lab dedicated to human space exploration design.

My motivation to pursue topics relating to design in extreme environments within the academic curriculum is twofold. Firstly, I am aware that there is a need to introduce students to issues that go beyond the commercial character, which is ever so prevalent within the design community. Secondly, I am cognizant that this kind of training has great didactic value for future designers. It forces them to adopt new perspectives, to no longer take for granted certain comforts or physical realities that we are accustomed with. Thinking about altered gravity or unfamiliar atmospheric conditions and how to design within such confines can be extremely rewarding, albeit challenging. Reimagining the physical space that surrounds us and adopting new psychological and methodological approaches in design enable continued self-development.

Besides its intellectual value, there is an added benefit to such courses – its practicality. Design should follow the demands of society, and it should seek to be purposeful. Projects should also address the needs of specific communities and gain as much understanding for the issues at play. To do this, a designer must become completely immersed in a given dynamic, because carelessness, particularly in the setting of design in extreme environments, can have dramatic consequences.

Involvement and awareness of design in extreme conditions along with the capacity to adopt radically different perspectives in design methods will be of great value for the designers of the future world.

Thus, in order to be able to teach such subjects responsibly, I am constantly learning, attending conferences and participating as a consultant in other research projects.

Since September 2016, I have undertaken a new role at my institution - I serve as the Vice-Dean of the Faculty of Industrial Design at the Jan Matejko Academy of Fine Arts in Krakow.

### Influence on Professional Work

The field of design is rapidly changing, and the traditional 2D and 3D modalities that once defined the field are becoming obsolete. The rapid advancement of new technologies, such as the Internet of Things (IOT), digital interfaces, exploding service design, or the not so fully understood, even amongst designers - UX, user experience, can no longer be ignored. Although some of these approaches have been around for some time, they are taking on new roles within the field of design. Meanwhile, the rapidly changing socio-economic situation and incredible technological advancements have blurred the boundaries between different design specialties, which I consider to be a positive thing. We are stepping away from a narrow, ultra-specialized approach, and encouraging a more diverse, dynamic view which takes into consideration broad ideas with underlying systemic ideas. We are opting for integrated product development instead of designing subsystems.

Since the beginning of my involvement in the field of ID, I have had the chance to collaborate with scholars and experts from other fields of design, engineering, programming and science. It has solidified my belief that there was a real need to provide comprehensive design services, by incorporating expertise from other specialties. In 2013, inspired by a colleague, an engineer and current partner Michał Wujczak, we founded EXEON.

**EXEON** is an interdisciplinary design company. We offer services in the field of design, engineering, research and development. The company's main expertise is in design and engineering, advanced programming, machine learning, and support in creating new brands and services.

Our customers are varied – we cooperate with members from advanced industries such as aerospace, aviation, automotive, robotic systems and medical. Our work philosophy is human centered, with emphasis on his experience in contact with the system of objects. EXEON is a team of 20 people, and includes designers, engineers and software experts.

From the moment the company was established, I have been acting as Design Manager. There I lead the design department and since 2018, I am also in charge of the newly established programming department. I am responsible for setting quality standards, implementing research methodologies and developing creative processes.

Undoubtedly, my scientific experience has had an impact on the directions chosen in the history of the company's development, which is best evidenced by the fact that almost half of the undertaken tasks are research and development projects. The remaining ventures are commercial in nature, and often end with product market implementation.

Since 2018, we have been a member of the Space Industries Association.

Selected examples of my design activity as a leader of the EXEON design team are presented in the [annex 2](#): List and documentation of the professional work from the years 2012-2019.

In the introduction I have stated that, the crucial factor in a designer's self-development is their ability to leave their comfort zone. In my case, this capacity was key for my professional and personal growth.

**I hope to continue my quest for such challenges, hoping to find new, unexplored areas of human activity where logic contained in the spirit of Design can help contribute in solving important problems.**

---

data i podpis

29 / 04 / 2019 *Michał Kracik*



