

Wstęp Projekt koncentruje się na: matematycznym modelowaniu i sterowaniu systemem Arm-Z (czyli strukturami rurowymi złożonymi z identycznych modułów).

► **Rura** to prosty i względnie łatwy do wykonania element konstrukcyjny, szczególnie efektywny w przypadku zginania wieloosiowego. Zachodzi ono w elementach uniwersalnych, czyli takich w których kierunek zginania nie jest z góry znany.

► Konstrukcje rurowe pozwalają na tworzenie kanałów **komunikacyjno-transportowych** (Rys 1).

► **Modularność** to racjonalny sposób ekonomizacji konstrukcji. Pozwala ona na masową produkcję stosunkowo skomplikowanych identycznych elementów przy względnie niskiej cenie. Ponadto, modularność pozytywnie wpływa na odporność konstrukcji na awarie. Mianowicie, zużyty lub zepsuty element może być stosunkowo łatwo wymieniony przez identyczny odpowiednik.

► **Responsywność, adaptowalność, rekonfigurowalność, szybka instalacja i dynamiczne sterowanie** to wyzwania nowoczesnej architektury, budownictwa i inżynierii w wiecznie-zmieniającym się środowisku. Współczesne konstrukcje nie tylko muszą spełniać wymagania nośności i bezpieczeństwa, ale powinny również w sposób inteligentny dostosowywać się do zmiennego środowiska jak i wymagań użytkowników.

Ogólna koncepcja *Extremely Modular Systems*, w skrócie EMS, to rodzina systemów konstrukcyjnych składających się wyłącznie z jednego typu modułu pozwalających na tworzenie konstrukcji o dowolnym kształcie. Arm-Z, to hiper-redundantny manipulator składający się z przystających modułów posiadających jeden stopień swobody (1-DOF) i realizującego (prawie) dowolne ruchy w przestrzeni. Niedawno został on zaproponowany jako system do szybkiej instalacji np. w stacjach orbitalnych czy kołnierzach ewakuacyjnych w przestrzeni kosmicznej (Rys. 1). Dwie zasadnicze zalety EMSów to:

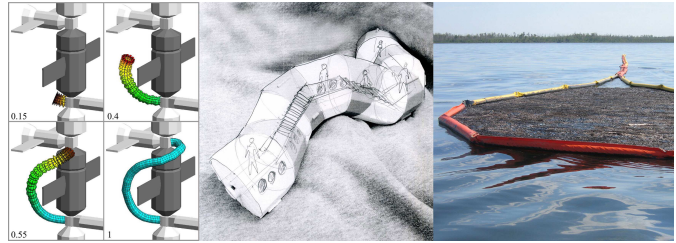
► **ekonomizacja** (dzięki masowej produkcji elementów) oraz
► **odporność na awarie** (zepsute moduły mogą być łatwo zastąpione i nawet gdy jeden lub więcej modułów ulegnie awarii to manipulator taki może ciągle wykonywać, prawdopodobnie w stopniu ograniczonym, zakładane zadania. Podstawową wadą EMSów jest ich nieintuicyjne „składanie” oraz bardzo trudne sterowanie. Mimo to, proponowane tutaj podejście jest racjonalne, zważywszy dostępność do wielkich mocy obliczeniowych w kontraście z wysokimi kosztami i „delikatnością” niestandardowych rozwiązań i urządzeń.

Cele projektu: określenie kryteriów oceny globalnej efektywności struktur rurowych złożonych z przystających modułów Arm-Z, stworzenie algorytmów optymalizacji modułu bazowego oraz optymalizacji ich sterowania; w szczególności:

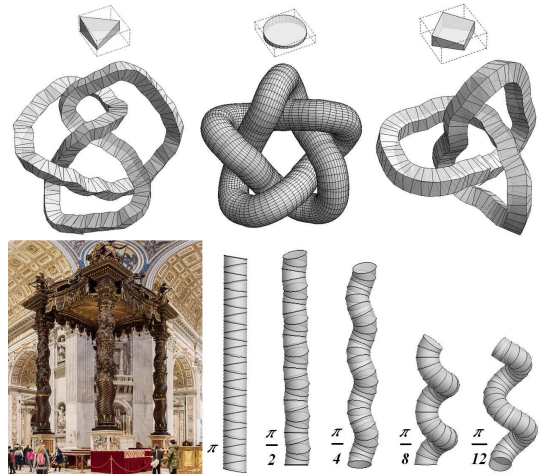
► **Opracowanie modułu bazowego pod kątem strukturalnym i funkcjonalnym** w kierunku proponowanych obszarów zastosowań. Własności globalne Arm-Z są funkcją własności modułu, zatem: ● Jaki jest zakres ruchów Arm-Z i jak w sposób efektywny może on penetrować przestrzeń? ● Jaka jest precyzja sterowania poprzez skręty względne? ● Jakie są mechaniczne ograniczenia stabilności i wytrzymałości konstrukcji i jak globalna struktura Arm-Z ma się do lokalnej struktury modułu bazowego? ● Jak skonstruować połączenie skrętne między modułami by przenosiły założone obciążenia? ● Jak inteligentnie modelować naprężenia i odkształcenia? ● Jaką miarę zastosować do oceny kryteriów w celu znalezienia uniwersalnego rozwiązania?

► **Sformułowanie matematyczne oraz optymalizacja dynamicznego przejścia między obecną a zadaną konfiguracją Arm-Z.** Arm-Z posiadają wiele stopni swobody i charakteryzują się dużą nieliniowością. Klasyczne techniki sterowania nie mogą być zastosowane, proponuje się zastosowanie uczenia maszynowego i optymalizacji heurystycznych w celu sterowania w czasie rzeczywistym kształtem globalnym.

► **Fizyczny demonstrator** posłuży jako kontroler podający globalny stan Arm-Z do komputera w celu analizy i wykonania procesu transformacji do pożądanej konfiguracji, oraz jako najbardziej intuicyjny i przekonujący sposób zilustrowania efektywności proponowanych rozwiązań.



Rys. 1. Po lewej: wybrane kroki ciągłego rozkładania 40-to elementowego kołnierza Arm-Z z przystających elementów „obchodzących” Moduł Zarya na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Odcień zabarwienia elementów koresponduje ze stopniem otwarcia. Czerwony i błękitny odpowiednio wskazują na w pełni zamknięty i otwarty stan. Dla każdego stanu podano stopień otwarcia w lewym dolnym rogu. W środku: wizualizacja koncepcji bazy Arm-Z w ekstremalnym środowisku w układzie „banana-split”. Po prawej: (modularny?) system oczyszczania powierzchni wody z wycieku ropy naftowej w ofercie Canadyn Technologies Inc.



Rys. 2. Na górze: Różne rodzaje węzłów matematycznych skonstruowanych z przystających modułów: Ósemka (4), Pięciolistnik (5) i Trójlistnik (3). Na dole: historyczny przykład kolumny spiralnej: Baldachin w Bazylice św. Piotra (AD 1634, arch. Bernini), oraz przykłady sterowalnych kolumn spiralnych skonstruowanych z identycznych modułów o różnych względnych skrętach (wartości skrętów pokazano).