

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Robot  
Tomáš Dymeš  
ateliér Karel

vedoucí bakalářské práce: prof. ak. soch. Marian Karel  
Ústav průmyslového designu FA ČVUT  
semestr 6 2017



## **Obsah**

- 1 Úvod
- 2 Rešerše
- 3 Typy průmyslových robotů
- 4 Analýza
- 5 Syntéza
- 6 Realizace
- 7 Závěr
- 8 Seznam použité literatury

## Seznam obrázků

- Obrázek 3.1 - Schéma SCARA robota
- Obrázek 3.2 - YASKAWA delta robot
- Obrázek 3.3 - Schéma 6-osého robotického ramena
- Obrázek 3.4 - Universal Robots
- Obrázek 3.5 - ALUTEC KK
- Obrázek 3.6 - Asimo
- Obrázek 3.7 - ABB IRB 1200
- Obrázek 3.8 - Fanuc CR-35iA
- Obrázek 3.9 - Yaskawa Motoman MH3F
- Obrázek 3.10 - Omron Adept Viper s650
- Obrázek 3.11 - Panasonic TM-Series TM-1100
- Obrázek 3.12 - Denso VS 6556/6577
- Obrázek 3.13 - MC004N Kawasaki
- Obrázek 3.14 - KMR iiwa Mobile Platform
- Obrázek 3.15 - Mitsubishi Electric MELFA
- Obrázek 3.16 - Nachi Fujikoshi EZ03
- Obrázek 3.17 - Schunk 5-Finger Hand SVH
- Obrázek 3.18 - Staubli RX-90
- Obrázek 3.19 - TV1000 TM Robotics
- Obrázek 5.1 - Cillia a Flagelia
- Obrázek 5.2 - Snímání růstu lišejníku
- Obrázek 5.3 - Haptické řízení simulace VŠB FEI
- Obrázek 5.4 - Haptické řízení simulace VŠB FEI
- Obrázek 6.1 - Festo Wavehandling
- Obrázek 6.2 - První představa, koncept
- Obrázek 6.3 - Schéma testu č.1
- Obrázek 6.4 - Schéma testu č.2
- Obrázek 6.5 - Schéma a výkres instalace
- Obrázek 6.6 - Vizualizace konstrukce struktury
- Obrázek 6.7 - Zobrazení tečností a směrů v konstrukci struktury
- Obrázek 6.8 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.9 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.10 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.11 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.12 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.13 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.14 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.15 - Vizualizace konstrukce fluidního robota
- Obrázek 6.16 - Vizualizace struktury - trasy materiálu A
- Obrázek 6.17 - Vizualizace struktury - trasy materiálu B

# Úvod

Život v 21. století bychom mohli pokládat za přelomový, ale z hlediska našich předků jsme jejich očekávání nenaplnili. Vize autonomních domácností a úklidových robotů jsou sice již naplněny, ale tyto technologie nejsou zdaleka tak schopné adaptability a konkurenceschopnosti oproti přírodě, která zde stále vládne.

Proč hledat nové řešení robotiky? Tuto otázku jsem si pokládal již dlouho s negativním výsledkem, avšak později jsem byl okouzlen mikrosvětlem a děním na kvantové a mikro úrovni, které rozvedu v analytické části práce.

Přenos materiálu byl od prvopočátku základem robotiky. Postupem času se pohyby robotů upřesnily a automatizovaly a zároveň bylo možné docílit opakovatelnosti. Následkem toho došlo k zařazení robotů do průmyslu. Příkladem je spolupráce robota a člověka, kde je velký kolos pohybující se s přesností 0,1 mm. Pokud však senzory zjistí přítomnost člověka, nemohou nijak zabránit hrozící kolizi. Tento problém nastává už při koncepci zařízení a na tento koncept se chci zaměřit. Základem je pohyb ve 3 osách, kdy robot uchytí předmět a skrze sílu ukrytou v ramenech přesune objekt z místa A na místo B. Nabízí se tedy otázka, proč se nemůže robot změnit tak, aby se místo přemísťování po trase nestal sám nosnou trasou, respektive mostem mezi A a B.

Robot by tímto docílil větší účinnosti a jeho potencionální energie uložená v pohybu se může využít na změnu tvaru. Pokud naváže tuto skutečnost na praktickou průmyslovou událost, není možné neomezeně modernizovat robotická pracoviště. Dříve nebo později je nutné robota zkalibrovat, a tím docílit další změny v koordinačních souřadnicích.

V této práci je pro mě zadáním koncepční část návrhu robota v návaznosti na otestovaný strukturní model podléhající zásadám fyziky a moderního inženýrství, zejména rychlá odezva na spontánní podnět a schopnost biomorfizace.

Cílem projektu je vdechnutí nového světla do světa svázaného inženýrství. Oprostit se od neforemných řešení a nastínit estetickou koncepci budoucího průmyslu 4.0. Odlehčení stojných součástí je nezbytné pro cíl v udržitelné fázi vývoje. Nástup jednoduchých a čistých řešení vybízí k promyšlení současné situace v průmyslu.

Celá tato idea byla původně mířena do kosmického výzkumu. Později jsem ji však navázal na řešení v průmyslu.

## Rešerše

Pokud budeme zkoumat počátky robotiky, tak zjistíme, že je to obor, který se zabývá studií a konstrukčním řešením robotů, zejména pak průmyslových strojů.

Zatím neexistuje jednotná definice robota, a tím pádem je neustále možné měnit jeho význam, formu i funkci. Robotem můžeme nazvat proměnnou funkci, která vykonává činnosti pohybové i manipulační. Syntaxem takové funkce je informace, kterou robot vytváří, získává nebo sdílí na základě jeho autonomie a schopnostech koordinace v prostoru. Dle získaných a vyhodnocených informací se roboti dělí na 2 základní typy: autonomní a řízené.

Autonomní robot je inteligentní stroj, který je zcela samostaný nezávisle na lidské pomoci. Vyhodnocení informací takového robota spočívá v umělé inteligenci, kterou však může mít i řízený robot. Na základě vjemů (informací) z okolí vyhodnotí operaci a provede ji. V případě, že by tento úkon provedl jednou nebo vícekrát bez známky zlepšení, jedná se o příkaz. Pokud je ale vjem z okolí přijímán s chytrou odezvou, tím rozumíme okamžitou reakci na základě zkušeností, jedná se o umělou inteligenci. Centrálním mozkiem takového robota je procesor, který komunikuje s podřízenými mikroprocesory, mikrokontrolery a přímo s některými senzory. Působení na své okolí má za následek efektor - ve většině případů je to krokový motor s převodovkou. Součástí konstrukce robotů je i vinutí elektřiny a datových kabelů.

Vzhledem k problematice spojené s mým projektem bych rád zmínil několik současných i minulých řešení průmyslových robotů. Z počátku jde o chronologickou rešerši, kde je důležitý mezní počátek. V historii robotiky je možné vidět několik náhledů na konstrukci. Většina konstrukčních řešení je závislá na účelu. Můžeme tak dělit roboty ke sváření, manipulaci, montáži atd. Ve výsledku je však pohyb součástí vždy stejný, tzn. že kopírují dráhu pohybu, místo toho, aby danou dráhu vytvářely.

V mé problematice spjaté s průmyslovým robotem jsem vybral předních 21 výrobců robotů. Konstrukce i účel je většinou stejný, avšak u několika jedinců můžeme vidět kooperativní zpracování, které se vyznačuje jemným opláštěním a čistým vzhledem. Zaměřme se tedy na roboty s váhou zdvihu do 7kg a možností kooperace. Tito roboti nás zajímají také z hlediska impaktu na průmysl, kdy je takové zařízení většinou schopno obsluhovat cnc stroje.

V první části budu popisovat současné základní typy robotických řešení současného průmyslu, dále se zaměřím na detailní popisy produktů od odlišných výrobců a jejich originální pojetí konstrukčně prostorového vztahu vzhledem k účelu. Každý robotický produkt bude ohodnocen dle mého úhlu pohledu. Hodnocena jsou kritéria použitelnosti v kooperačním procesu a možnost utilizace produktu, tím rozumíme různé druhy použití.

V další části rešerše pojmu technické zázemí k tvorbě myšlenky vlastního konceptu.

## Typy průmyslových robotů

Rozdělení robotů určujeme dle způsobu pohybu v prostoru. Pohyb je přenášen z efektoru. Zde poháněná hřídel, která pohybuje celým podřízeným osovým systémem.

Pohyb rozdělujeme na základní 2 typy: lineární a rotační, neboli radiální.

Pohyb u lineárního přenosu síly je funkcí pístu. Rameno je posouváno po přímce v prostoru limitovaném maximální délkou ramene. Řízení tohoto pohybu je nepřesné, používáme zde stlačené médium (pneumatické písty) nebo kapalinu (hydraulické písty). Existují také písty na tuhé směsy nebo newtonské kapaliny. Pneumatické písty jsou používány v automatizovaném procesu k přidržování, transportu nebo lehké manipulaci. Tento druh pístu je pro lineární pohyb velmi užitečný v těžce dostupných podmínkách a nehostinných provozních procesech. Avšak vlivem stlačitelnosti vzduchu je proces nepřesný a každým cyklem dosahujeme rozdílných teplot a tlaků na výstupu. Kladem tohoto druhu pístu je rychlost a technologická nenáročnost. Proces je možné jednoduše automatizovat přidáním řízeného ventilu. Hydraulický píst je funkčně velmi podobný předchozímu typu. energii dosaženou na rozpořívování pístu získáváme z tlaku kapaliny. Výhodou je minimální stlačitelnost tekutiny. Tento proces můžeme řídit s velkou přesností. Jako příklad jsem vybral dávkování lepidel s mikro přesností. Hydraulický systém je vysoce závislý na absenci nečistot a vzduchových kapslí. V případě prezenze vzduchu v pístu se vytvoří zpoždění ve stlačení. Nevýhodou hydraulického pístu je omezené použití v teplotních procesech, náchylnost na nečistoty a složitější proces automatizace než-li v pneumatickém procesu.

Druhým typem pohybu je radiální (rotační) pohyb. Principem je otáčení rotoru vlivem elektromagnetické energie, excitační (exotermické) energie vlivem spalení paliva (i jaderného) nebo energie dodané v podobě svalové kontrakce. V robotizaci a automatickém provozu jsou použity elektromotory. Nejznámějším druhem řízeného motoru je krokový motor. Krokové motory lze díky svým vlastnostem použít pro přesné polohování při zachování velmi dobré ceny. Velmi zajímavou alternativou k servomotorům jsou krokové motory s enkodérem, kterými lze nahradit servomotor (pokud není vyžadována vysoká výstupní rychlost). Stačí zaslat informaci o počtu, frekvenci pulsů a směru otáčení a motor najede na požadovanou polohu.[1] Tyto motory jsou výhodné pro aplikace, kde je třeba velkého rozběhového momentu. Nevýhodou krokového motoru je malá úhlová rychlost rotoru. Zvýšení je docíleno planetovou převodovkou. Dalším častým typem rotačního motoru v průmyslu je lineární aktuátor. Elektrický lineární aktuátor, pohon nebo také servopohon, je zařízení převádějící rotační pohyb nízkonapětového DC motoru nebo krokového motoru na lineární pohyb. Pohony tak mohou tahat nebo tlačit, jsou však řízené rotací, proto jsem je zařadil mezi rotační pohony. Aktuátory poskytují bezpečnou, tichou a čistou možnost posouvání či polohování s přesnou kontrolou pohybu. Jsou efektivní a mají dlouhou životnost s prakticky nulovými nároky na údržbu.[2]

Na začátku své práce nejprve popíšu základní rozdělení robotů, kde bude ka-

ždý systém zhodnocen. Hodnocení bude bráno z hlediska designu a využitelnosti. Výhodná vlastnost robota je modulativita. Tuto vlastnost splňuje pouze cartézský systém. Modulativitu hodnotím hlavně na nezávislosti na nových verzích hardware a lepším uživatelském komfortu v průmyslové aplikaci.

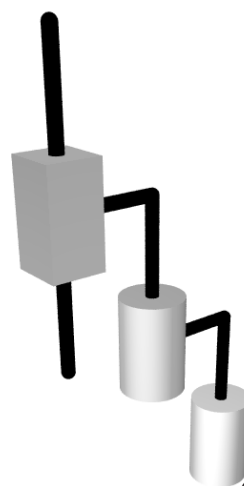
Po základních typech robotů bude následovat základní výběr z komerčních řešení robotů blížícím se kooperativnímu použití. Na závěr této kapitoly uvedu i další možnosti pohybu, ze které budu čerpat pro zpracování modelu.

## SCARA

SCARA neboli Selective Compliance Articulated Robot Arm.

V roce 1981 Sankyo Seiki , Pentel a NEC představili zcela novou koncepci pro montážní roboty. Robot byl vyvinut pod vedením Hiroshi Makina, profesora na univerzitě v Yamanashi.

Jeho rameno bylo v ose Z tuhé a pohyblivé v osách XY, což mu umožnilo přizpůsobit se otvorům v osách XY. Většina robotů SCARA je založena na sériových architekturách, což znamená, že první motor by měl nést všechny ostatní motory. Existuje také tzv. dvojřetenová architektura robota SCARA, ve které jsou dva motory upevněny na základně. [4]



Obrázek 3.1



## Delta

Delta robot je typ paralelního robota. Skládá se ze tří ramen spojených s univerzálními klouby na základně. Klíčovým konstrukčním prvkem je použití paralelogramů v pažích, které udržují orientaci koncového efektoru. Delta robot (paralelní robot) byl vynalezen na počátku 80. let výzkumným týmem vedeným profesorem Raymond Clavelem na École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, Švýcarsko).

Účelem tohoto nového typu robota bylo manipulovat s lehkými a malými předměty velmi vysokou rychlostí. Klíčovou koncepcí delta robota je použití paralelogramů, které omezují pohyb koncové plošiny na čistý překlad, tj. pouze pohyb ve směru X, Y nebo Z bez otáčení.

Základ robota je umístěn nad pracovním prostorem a na něm jsou umístěny všechny pohony.



Obrázek 3.2

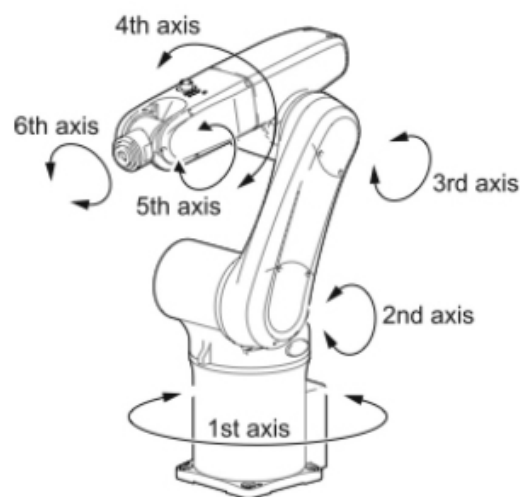
## 6 osý robot

Průmysloví roboti mají různé konfigurace os. Velká většina kloubových robotů však obsahuje šest os, nazývaných také šest stupňů volnosti. Šestiosí roboti umožňují větší flexibilitu a mohou provádět širší škálu aplikací než roboti s méně osami.

Tento druh robota popíšu detailněji, protože se jedná o nejprogresivnější druh robota.

### Osa 1

Tato osa, umístěná na základně robota, umožňuje robotovi otáčet se zleva doprava. Tento zametací pohyb rozšiřuje pracovní oblast tak, aby zahrnovala oblast na obou stranách a za ramenem. Tato osa dovoluje, aby se robot otočil až o 180 stupňů od středu.



Obrázek 3.3

## Osa 2

Tato osa umožňuje dolnímu ramenu robota vybíhat dopředu a dozadu. Je to osa, která napájí pohyby celého spodního ramena.

## Osa 3

Rozšiřuje svislý dosah robota. Umožňuje zvýšit a snížit horní rameno. Na některých kloubových modelech umožňuje hornímu ramenu zasahovat za tělo a dále rozšiřovat pracovní prostor. Tato osa poskytuje hornímu rameni lepší přístup k dílům.

## Osa 4

Ve spolupráci s osou 5 tato osa pomáhá při umístění koncového efektoru a manipulaci s částí. Známy jako zápěstní válec, otáčí horní rameno pohyblivými částmi v kruhovém pohybu mezi horizontálními a vertikálními orientacemi.

## Osa 5

Tato osa umožňuje, aby se zápěstí ramena robota sklánělo nahoru a dolů. Je zodpovědná za pohyb v tahu a zatáčení. Stoupání nebo ohyb pohybuje osou nahoru a dolů, podobně jako při otevírání a zavírání víka skříně.

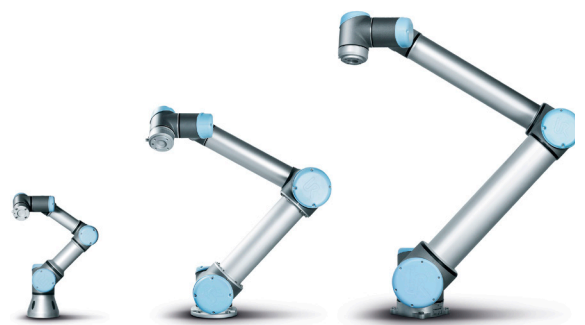
## Osa 6

Poslední a nejdůležitější osa robota - neboli zápěstí. Je zodpovědná za kroucení, což mu umožňuje volně se otáčet kruhovým pohybem, a to jak pro umístění koncových efektorů, tak pro manipulaci s díly. Obvykle je schopen otáčení o více než 360 stupňů, a to buď ve směru hodinových ručiček nebo proti směru hodinových ručiček.

## Coboti

Cobot, neboli kooperující robot, je robot určený k fyzické interakci s lidmi ve sdíleném pracovním prostoru. Tato skutečnost je v kontrastu s jinými roboty, kteří jsou navrženi tak, aby fungovali samostatně nebo s omezenými pokyny, což byla většina průmyslových robotů vyvinutých až do roku 2010.

Coboti byli vynalezeni v roce 1996 J. Edwardem Colgatem a Michaelem Peshkinem, profesory na Northwestern University. Patent z roku 1997 popisuje coboty jako „zařízení a metodu pro přímou fyzickou interakci mezi člověkem a manipulatorem obecného určení řízeným počítačem“. [5]



Obrázek 3.4

Coboti mohou mít mnoho rolí - od autonomních robotů schopných pracovat společně s lidmi v kancelářském prostředí, kde od Vás mohou žádat pomoc, až po průmyslové roboty, kteří mají ochranné kryty odstraněny, protože mohou reagovat na lidskou přítomnost dle normy ISO a ČSN. Hodnocení pro kooperaci s člověkem určují negativní výstupy v konstrukci, hybnost a síla kroutícího momentu stroje.

Systém musí být uzavřený. Konstrukce musí obsahovat ultrazvukové senzory pro interakci s člověkem, indukční senzory a haptické senzory v kloubech strojů.

## Kartézský robot

Kartézské roboty, někdy též zvané portálové, lze charakterizovat jako mechatronická zařízení, která pro nastavení nástroje do určité pozice využívají elektromotory a lineární aktuátory. Pohybují se lineárně po osách X, Y a Z.

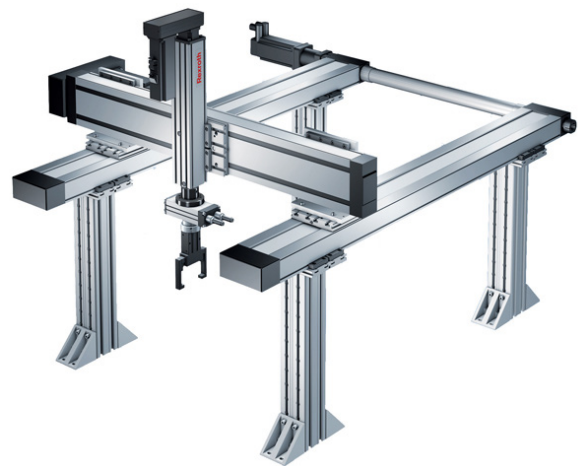
Kovová konstrukce slouží jako rám, který stanovuje trasy jednotlivých os a zároveň funguje jako podpora pro zdvih při zatížení. V některých případech, jako např. při obrábění součástek s nízkou tolerancí odchylnosti, je nezbytná plná podpora kotvící osy, obvykle osy X. Na druhé straně existují využití, jako v případě vyzvedávání láhví z pásu, kdy požadavky na přesnost nejsou tak vysoké a u základní nosné konstrukce stačí, aby kotvící osu podporovala pouze v souladu s doporučeními uváděnými výrobcem aktuátorů.

Roboti se pochopitelně mohou pohybovat pouze v rozmezí daném nosnou konstrukcí, ta však může být namontována horizontálně či vertikálně, v některých případech portálových konfigurací se lze také setkat se závěsným uchycením.[6]

## Humanoid

Přesná definice humanoidního robota by mohla znít takto: Robotický systém v konstrukčním uspořádání designu a hnacích zařízení ve formě co nejvíce se podobající lidem. Vnější obal co nejvíce podléhá lidské stavbě těla.

Důvody vzniku jsou experimentální, ale v současnosti nalézají uplatnění pro komunikační a dorozumívací schopnosti, protože svým zevnějškem působí pozitivním dojmem. V porovnání s čistým průmyslovým ramenem je tento robot určen výlučně pro komunikaci.



Obrázek 3.5



Obrázek 3.6

## 1. ABB

Nejmladší z rodiny ABB robotů schopných kooperace s člověkem. Vyznačuje se bezpečným provozem a nízkou ztrátovostí od minulých řad.

Jeho předností je cena v poměru s výkonem, výhodou je maximální zdvih 7kg.

Rameno splňuje požadavky na kooperaci s operátorem.



Obrázek 3.7

## 2. Fanuc

Spolupracující robot CR-35iA s užitým zatížením 35kg a řadou certifikátů bezpečného provozu posouvá hranice interakce člověka se strojem.

Model CR-35iA vybavený vestavěnými snímači síly a obložený měkkou pryží je schopen pracovat v těsné blízkosti lidí bez nutnosti dalších bezpečnostních zařízení. Pracovníci obsluhy jej mohou navádět, učit nebo jednoduše odstrčit.[7]



Obrázek 3.8

## 3. Motoman

Verze MH3F je nejmenší robot z řady Yaskawa robotics. Maximální váha zdvihu s operovanou přesností a opakovatelností je 3 kilogramy.

Prvky jsou vertikálně spojeny kloubovým spojem zajišťující dosah v R-ose až 260° v rádiu ramene.

Robot splňuje požadavky v kooperacním modu s operátorem



Obrázek 3.9

## 4. Omron Adept

Americký výrobce specializující se k vytváření robotů typu scara. Adept Viper s650 obsahuje prvek v každém kloubu rameni. Tento prvek je složen z dvou protichodných motorů.

System je velice náchylný k mechanickým otřesům. Výhodou jsou rychlé pohyby v osách R a T.

Robot nesplňuje požadavky v kooperacním modu s operátorem.



Obrázek 3.10

## 5. Panasonic

Robotický systém od Panasonic robotics slouží především ke svářecím operacím. Je to jediný komerčně využívaný robot od společnosti Panasonic. Design je silně spjat s korejskou tradicí tvorby těchto zařízení.

Tenké nosné konstrukce umožňují hbité pohyby s minimálním nárokem na prostředí robota.

Dle designu robot nevyhovuje použití v kooperaci s operátorem.



Obrázek 3.11

## 6. Denso

Rameno ze stáje Denso robotics. Přednostní tohoto stroje je kompaktní design, který umožní využít elektrotechnické komponenty ke stavbě konstrukce robota.

Váha ramene nepřekračuje 30kg. Maximální nosnost ramene dosahuje 3,1kg.

Rameno splňuje podmínky pro kooperaci s operátorem.



Obrázek 3.12

## 7. Kawasaki

Nepřesnější robotický systém od japonské firmy Kawasaki robots. Přednostní rameno je velmi čistý provoz.

Kompaktní design a přesné zpracování uzavření kloubů zamezuje úniku volných silikonů z konstrukce stroje.

Rameno je vhodné pro kooperaci s člověkem.



Obrázek 3.13



## 8. Kuka

Robot LBR iiwa je první sériově vyráběný citlivý robot – schopný HRC. LBR je zkratka pro robot lehké konstrukce („Leichtbauroboter“), iiwa znamená „intelligent industrial work assistant“.

Tak začíná nová éra průmyslové senzitivní robotiky – základní kámen pro novodobé výrobní procesy budoucnosti. Poprvé může člověk a robot řešit vysoce citlivé úlohy v úzké spolupráci. Vznikají tak nové pracovní oblasti a uvolňuje se cesta pro větší hospodárnost a maximální efektivitu.

Spolupracující a citlivý robot LBR iiwa existuje ve dvou provedeních - s nosnostmi 7 a 14 kilogramů. [8]



Obrázek 3.14

## 9. Mitsubishi

Koncernový robot těžké konstrukce Melfa RV-650. Nadstandardní zdvih 30kg v nekompatibilním designu.

Robot nesplňuje požadavky pro kooperaci s operátorem.



Obrázek 3.15

## 10. Nachi fujikoshi

Firma Fujikoshi přišla jako první v historii s jednoduchým řešením pro kompletaci součástek a třídění.

Jsou držiteli patentových ochran na systém SCARA robot.

EZ03 NACHI a jeho design splňuje požadavky na práci s operátorem. V systému jsou pouze 2 pohyblivé klouby. Použitím méně pohyblivých kloubů je stroj schopen větší predikce pohybových soustav.



Obrázek 3.16

## 11. Schunk

Společnost Schunk je specialistou pro robotické gripéry. Tento produkt jsem zařadil do práce, protože mění filozofii procesu robotického zdvihu.

Využitím věrné kopie lidské ruky v libovolném robotickém rameni je robot schopen uchopit většinu součástí v lehkém průmyslu. Velkým problémem při zdvihu jsou materiály, které obsahují drážky a struktury. Pro laser jsou těžké k zaměření a zároveň vlivem struktury je zde těžké uchytit materiál pod tlakem.

Kopie ruky je schopna řídit každý článek samostatně. Uvnitř černých oblastí úchytu jsou mikrotlakové senzory zajišťující maximální přesnost pro polohu obroubku v manipulaci.



Obrázek 3.17

## 12. Staubli

TX44 - Tradiční koncepce konstrukce. Poprvé jsou zde použity mimořádné krokové motory.

Jak je možné vidět, robot má úspornou základnu, díky ní je schopen využít prostor kolem ramene nejvýhodněji z celé série ramen.

Robot splňuje požadavky na kooperaci s operátorem



Obrázek 3.18

## 13 Toshiba

Za zmínku stojí Toshiba TV800, která používá systém dvou osově souměrných motorů v paralelním zapojení.

Systém využívá větší kroučící moment v motorech.

Značnou nevýhodou je nízká životnost.

Rameno nespĺňuje požadavky na kooperaci s operátorem.



Obrázek 3.19

# Analýza

Interpretace analytického myšlení v otázce současné robotiky přináší velké množství filozofických úvah. Důvod, proč jsem se zaměřil myšlenkami na robotiku byla zásadní změna ve vnímání robota a prostoru kolem něj. Člověk od prvopočátku existence toužil věci zlepšovat a posouvat technologie k budoucnosti. Hlavní úkon, který chce člověk zlepšovat, je pohyb. Chceme se neustále někam pohybovat, neustále se hýbeme, nebo chceme s okolím manipulovat. Tento fenomén nesouvisí jenom s hmotnými celky, ale například manipulace s časem, nehmotnými částicemi či světlem, tyto možnosti posouvání věcí, událostí nebo prázdnoty nám otevírají nové možnosti vidění světa a existence.

Robotika - složitá komplexní mechatronická disciplína, která spojuje elektrotechniku, programování, konstrukci a design do pohyblivého celku, který plní zadané či autonomní úkoly. Tyto úkoly vnímá robot jako jednotlivé derivace svého cyklu, ve kterém posouvá své osy, aby například přenesl materiál nebo manipuloval s danými zařízeními. Základem celého robota, tak jako u člověka je pohyb. Tato základní bitová operace je srdcem celého procesu a vyjadřuje vše, co robot dělá. V základním procesu získáme analýzou 2 větve pohybu: pohyb ramene a pohyb neseného materiálu (dále jen obrobek) není stejný, ale s jinou trajektorií. Rameno jako funkční celek tvoří většinu prostoru, ve kterém robot pracuje a tvoří trajektorii pro přenášení obrobku. Logickou úvahou získáváme 2 pohledy na tento složený pohyb - změna polohy obrobku z místa A na místo B a změna funkčního celku robota tvořícího trajektorii pro přenos materiálu z místa A na místo B. Analytické východisko přináší možnost změnit podstatu současné robotiky a změnit filozofii pohybu robota z pohybu tvořící trajektorii na pohyb, který je samotný trajektorií pro přenos obrobku z místa A na místo B.

Jednoduché popsání tohoto zjištění může být například přeprava lidí přes řeku. Člověk je neforemné stvoření těžce přepravitelné, tudíž jej budeme přepravovat například jeřábem. Takový jeřábový kolos přepraví člověka trajektorií, která je neúsporná, musí obsahovat velké množství pohybů a navíc je zde poměrná změna prostředí. Jeřáb vytváří trajektorii na konci svého lana pro člověka, který je zde upevněn. Takto zní jednoduše princip současné robotiky, přenos je velice složitý, nákladný a neúsporný. Pokud se podíváme na opravdové skvělé řešení - přepravíme osobu přes řeku lodí. Loď je sama trajektorií pro člověka, která vytváří jakýsi most mezi bodem A a bodem B.

Představíme-li si skutečnou řeku, vidíme v ní více než jednu loď. Možnost plurality a paralelity funkčních pohybů upřednostňují před možností pohybu v jedné možné neekonomické trajektorii. Tím získáváme nový obraz na současnou robotiku.



# Syntéza

Logické zpracování informací získaných v analytické části zohlední současné znalosti materiálového inženýrství a systematického řízení soustav. Přenášení materiálu skrze trajektorii vytvořenou samotným robotem je možné pouze za předpokladu maximální zdvihové váhy a vytvořeného momentu.

Představa je velmi jednoduchá, materiál je vsunut vlivem smrštění a rozpínání materiálu ve 3 souřadnicích. Robotický čin tvoří vlákna vyplňující pracovní prostor, která vlivem kmitání, rozpínání a vlnění přesouvají materiál z bodu A do B. Rozdíl oproti klasickému robotickému rameni je ten, že nesený materiál kopíruje dráhu robota v prostoru a robot není omezen vůči maximálním dosahujícím vzdálenostem a výchozímu bodu nula.

Kalibrace u současného robotického systému funguje na základě snímání impulsů (digitálních i analogových) do rotačního enkoderu. Velmi stručně se dá uvést, že rotační enkodér (snímač) je elektromechanický převodník, který převádí rotační pohyb na sekvence elektrických digitálních impulsů.[10]

U fluidního robota je řešení snímání polohy velmi primitivní a to na základě tenzometrických měření. Měření nedestruktivním dotykem v prostoru přesně určuje, v jaké části prostoru se obrobek nachází. Smyslem tohoto principu je zaručit maximální přesnost v nejrychlejším čase. Přesnost v pohybu zaručí vlastní zjištění tlaku v místě posouvaného objektu. Směr pohybu objektu určujeme třemi souřadnicemi v prostoru, rychlostí a momentem vlastního zrychlení drah robota.

## Konstrukce a design fluidního robota

Interpretace designu v dané části prostorového fluidu prezentuje myšlenku, směr a orientaci myšlení. Konstrukce je tvořena sama sebou a definování designu jako samotného koresponduje s identitou designu.

Tvary vytvářející prostředí pro práci robota jsou tvořeny výlučně funkčně, tzn. že forma sleduje funkci. Tvar jako takový můžeme definovat jako rozestup lan prostorovou mřížkou zaujímající kvantované vzdálenosti. Konstrukce robota vyplňuje operační prostor v blízkosti obrobků a operovaného strojního ústrojí na základě nejúspěšnějšího řešení.

Robotický fluid přenáší materiál pomocí změny své polohy na základě vjemů z aktuální polohy obrobku. Vlnění a dynamické kmitání způsobuje přenos materiálu v prostoru robota.

Přenos hmoty skrze změnu prostředí je nazýván distribuovaná manipulace. Klasické robotické přístupy pro manipulaci s objekty, jako třeba uchopit nějaký předmět pomocí robotického manipulátoru a přemístit jej, mají svá omezení. Nehodí se například pro mikroskopické objekty či křehké, rozměrné objekty a ani s nimi nelze realizovat manipulaci s mnoha předměty najednou, což motivuje výzkum

v této oblasti. Při distribuované manipulaci jsou pohony rozprostřené v prostoru místo toho, aby byly soustředěné v jednom či několika málo místech. Funkci takového manipulátoru lze připodobnit k chování davu fanoušků, kteří na koncertu nesou na ruku svou rockovou hvězdu poté, co mezi ně z pódia skočila (viz crowd surfing, stage diving). Zatímco na koncertě není třeba, aby manipulaci se zpěvákem někdo řídil, u technických zařízení se o to musí postarat nějaký systém.[10]

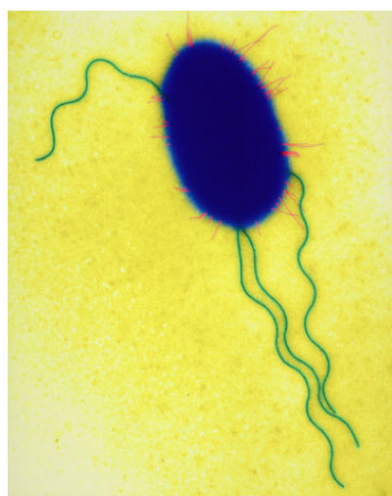
Fluidní robot je založen na principu biomimetického designu. Nejznámějším příkladem je biologický pohybový aparát Cilia a Flagella.

## Logické řízení

Cilia



Flagella



Obrázek 5.1

**Bičík** (flagellum) je podlouhlá buněčná struktura, která slouží k pohybu jednobuněčných bičíkovců, některých menších mnohobuněčných organismů a některých buněk mnohobuněčných organismů. Bičík se také vyskytuje u bakterií, ale v jejich případě jde o strukturu se zásadně odlišnou stavbou, původem i mechanismem pohybu.

**Řasinka**, také brva či cilium, je buněčná struktura, která se nachází v některých eukaryotických buňkách. Má úzký vlasovitý tvar a velikost asi 5-10 mikrometrů. Směřuje ven z povrchu obrvených buněk. [11]

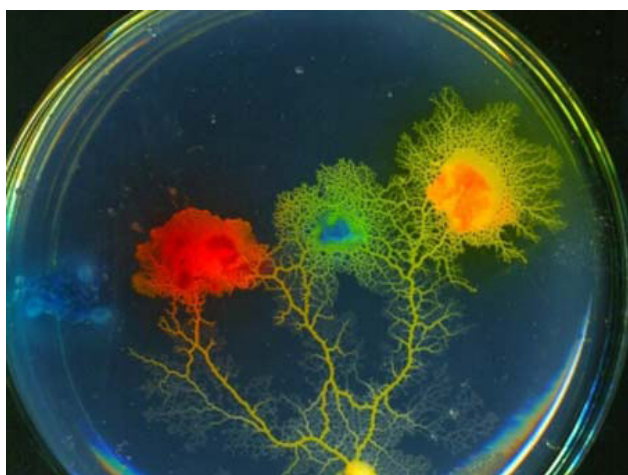
Využitím poznatků z biologie byl poprvé popsán možný umělý bičík pro distribuovanou manipulaci. Tímto projektem se v roce 1996 zabýval Donald Bohringer. Později byl tento umělý bičík transformován do drátového (lanového) distributoru, který je algoritmicky popsán. Všechny algoritmy jsou zveřejněny pod opensource licencí.[12]

Ideologie robota je samostatná. Vjemy z okolí a podněty řídí systém zcela samy. Inspirací je zde jako u konstrukce příroda. Představme si jak s materiálem zachází fluidní skupiny živočichů, příkladem jsou hejna ryb nebo ptáků. Mezi jednotlivými články fluidu dochází k minimální komunikaci a přece je naprosto aktuální reaktivita k vzruchům z okolí. Detailnější popis tohoto fenoménu dokazuje lidské chování v dopravní zácpě, dle lidského chápání by se reaktivita mezi jednotlivými řidiči rovnala úspěšnosti, v realitě jsou jednotlivé akty řidičů chápány jako zbrždění procesu.[13]

V knize *Physarum machines* je popsán způsob jak vytvořit „živý“ počítač. Jde o logické zdůvodnění chování a předvídání živých struktur. Adamatzky popisuje optimalizaci a způsob jakým se *Physarum* dokáže „replikovat“ do struktur v prostoru. Stroj *Physarum* je programovatelný amorfní biologický počítač experimentálně provedený ve vegetativním stavu skutečné slizové formy *Physarum polycephalum*. Obsahuje amorfní nažloutlou hmotu se sítěmi protoplazmatických žil, programovaná prostorovými konfiguracemi přitahujícími a odpuzujícími přechody.

Na obrázku 5.2 je znázorněn nekonvenční počítač složený z *Physarum*, který je umístěn v Petriho misce. Důvod, proč uvádím tento proces do logického řízení robota, je dokonalé autonomní řízení. Proces růstu *Physara*, který je autonomní a optimalizovaný, přesně využívá distribuované manipulace a řídí svůj proces v několika úrovních. Biologický počítač je reakčně difuzní struktura, která optimalizuje své dráhy vzniku chemickým výpočtem vyčteným z chemické reakce.

Logickým řízením distribuované manipulace se také zabývá projekt *Magman*, který využívá pohybu kovových částí vlivem magnetického pole. Pole je generováno pravidelným seskupením cívek a tvarujeme ho regulováním elektrických proudů cívkami. Pole je tvarováno tak, že jedna nebo několik ocelových kuliček umístěných na horní straně rovinného povrchu nad cívkami je (současně přesto nezávisle) řízeno podle specifikovaných cest a nebo k určeným cílům. Je použita zpětná vazba z měřených poloh. Měření se provádí buď pomocí odporové dotykové fólie (jak je používáno v některých kapesních zařízeních), nebo pomocí počítačového vidění.



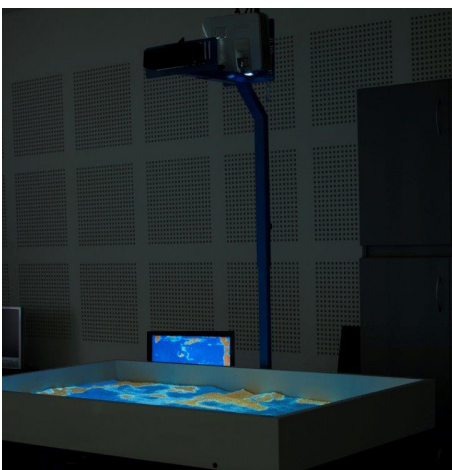
Obrázek 5.2

## Průmyslová interpretace

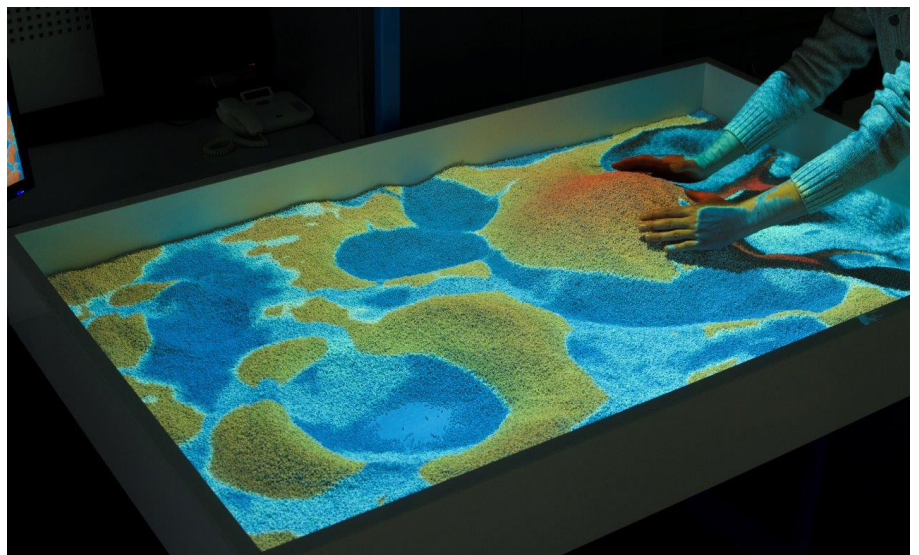
Automatizace výrobních procesů je nekončícím trendem. Požadavky na aktualizaci výroby a vyrobených celků často nahrazují tradiční technologie, jako například lisování plastových komponentů je nedostačující z hlediska výroby forem. 3D tisk nahrazuje zdlouhavý proces vzniku formy a využívá velmi rychlou adaptabilitu. Již současné „tradiční“ procesy manipulace robotickými rameny nesplňují různorodost, vyplatí se však v akceptovatelné simultánnosti procesu (automobilový průmysl).

Představa, že současný robot aktualizuje veškerá data pro přenesení nového druhu výrobku o kvantitě 1 kus je nepředstavitelná. Současní roboti dokáží upravovat své dráhy pro optimalizaci provozu, tento proces je aktivně využíván v automatizovaných masokombinátech, kde je část trupu prasete skenována a jsou zde získávána data pro následnou robotickou separaci páteře a další procesy. Pro aplikaci fluidního robota je zapotřebí pouze definovaný prostor. V tomto prostoru fluid vyplňuje prostor a na základě kladeného odporu prostoru vytváří živou mapu. V ideálním případě by tato mapa mohla být aktualizována s každým cyklem obrobku. Sledování dějů a událostí v ně a kolem fluidu je přímo součástí robota a nemělo by zde docházet ke zpoždění v řízení.

Koncept ovládání robota nahrazuje současné digitální prostředky. V řízení chci využít haptické kontroly přesouváním fyzického modelu. Princip je podobný šachové hře, přesouváním figurek v matici působím silově a vztahově na ostatní figurky, podobným principem je možné řídit i fluidního robota. Příkladem může být snímání polohy pískové hmoty RGBD kamerou, která snímá polohu písku a pomocí projektoru je přenášena simulace, která využívá data z polohy písku RGBD kamerou. V případě robota by místo projektoru 2D sloužil 3D projektor k interpretaci prostoru. Řízení haptikou přináší vztah mezi člověkem a objektem, v digitálním prostoru necítíme hmat, moment ani vazbu mezi objekty, ve fyzickém světě jsme schopni detailněji manipulovat s objekty. Příkladem takového řízení může být diplomová práce při VŠB FEI za použití NVIDIA CUDA + GLSL + Framework psaný v C++ [15]



Obrázek 5.3



Obrázek 5.4

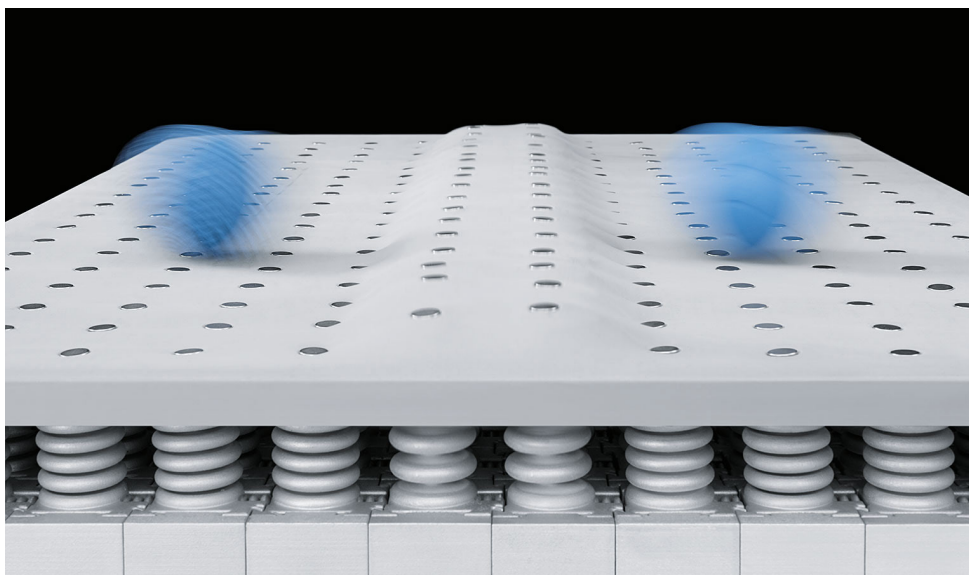


# Realizace

Dle předchozích studií jsem popsal ideologické chování robota. Pro ověření jakékoliv teorie je nutný reálný model představy. Popis distribuované manipulace byl před 1 rokem představen společností Festo. Princip realizace je založen na systému rozdělení 2,5D prostoru v maticovém vzoru. Každá pozice obsahuje akční člen tvořený z pneumatického aktuátoru. Robot je schopný manipulovat s kulovým objektem ve velice přesném pohybu.

Narozdíl od společnosti Festo je mnou navrnutý systém 3D prostorový. Definiují zde místo velikosti 2,5D velikost 3D.

Festo robot je velice užitečný pro lineární extraxci a pro méně náročné operace.



Obrázek 6.1

## Popis objektu

Fluidní prostorový robot (3D distribuční manipulátor), tvarově a pohybově nedefinovaná struktura sloužící k působení na jiné objekty.

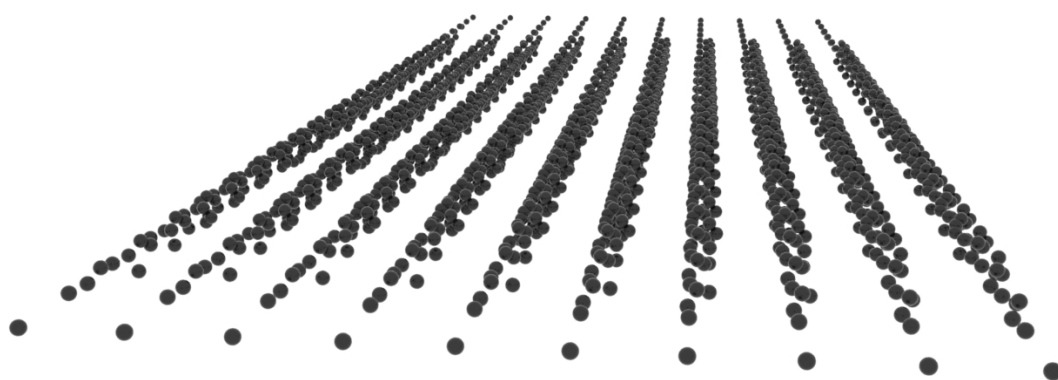
## Charakterizace objektu

Průmyslový robot schopný kooperace s člověkem. Objekt pozicovaný v souřadnicích X,Y,Z. Akční člen distribuuje kinetickou energii za změny krystalické mřížky bimetalu na změnu tvaru sousedícího akčního členu.

Materiál je řízen průchodem proudu a napětí v daný úsek a za časovou jednotku. Robot zjišťuje svou polohu odporem prostoru, tím si vytváří 3D mapu pro-

storu. Úbytkem a změnou teploty v daném úseku je sledována změna na dodávaném proudu. Pro reálný model vyrobený v ateliéru je nemožné dosáhnout daných schopností v současné fázi vývoje.

Vývoj následného proto-robotu bude dle simulace založen na vzájemné orientaci a působení kmitajících částic kolem své polohy. Jednotnou orientací pohybu je zařízení schopné pohybu ve 3 osách. Direktivní příkazy budou zpracovány do maticového rozložení v 3D a přeposlány do každého akčního členu. Myšlení robota je autonomní a pracuje na modelu jednoduchých úkonů z popisu Andrewa Adamatzkyho chování skupiny a jedince.



Obrázek 6.2

## Realizace modelu

Prvním konceptem realizace bylo využití stlačeného vzduchu v maticovém rozložení. Po zjištění finanční náročnosti digitálně řízených pneumatických ventilů jsem přešel k hledání alternativy jak docílit distribuované manipulace.

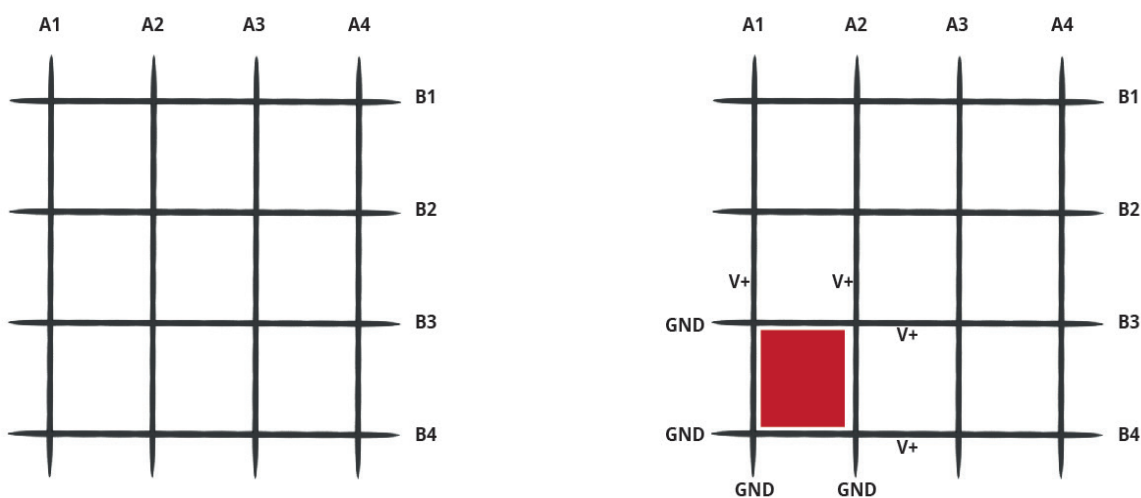
Pro první testy jsem použil systém 2 krokových motorů s trapézovým šroubem, které svým pohybem stlačovali a rozepínali 3D vytisklou strukturu z flexibilního materiálu na bázi gumy. Výtisk byl vložen do rámu a celý rám byl v jedné dimenzi deformován. Tímto způsobem jsem zjišťoval kapacity mechanického působení na flexibilní materiál v co nejmenší ploše. Spíše než-li z fyzikálního hlediska byl tento test vhodný k osvojení a pochopení myšlenky.

V druhé části procesu realizace jsem využil možností bimetalového drátu s názvem NiklTitan. Slitiny nitinolu vykazují dvě úzce příbuzné a jedinečné vlastnosti: efekt tvarové paměti (SME) a superelasticitu (SE, tzv. Pseudoelasticitá , PE). Tvarová paměť je schopnost nitinolu podstoupit deformaci při jedné teplotě a poté obnovit svůj původní, nedeformovaný tvar při zahřívání nad „transformační teplotou“.

Superelasticitá nastává v úzkém teplotním rozmezí těsně nad její transformační teplotou, v tomto případě není zapotřebí zahřátí, které by způsobilo zotavení nedeformovaného tvaru a materiál vykazuje obrovskou elasticitu, která je přibližně 10 až 30násobně vyšší než u obyčejného kovu.[14] Využil jsem komerčně dostupné NiklTitanové dráty o dloužtce 200 mikronů. První testy s nitinotelem jsem realizoval s laboratorním zdrojem o konstantním proudu.

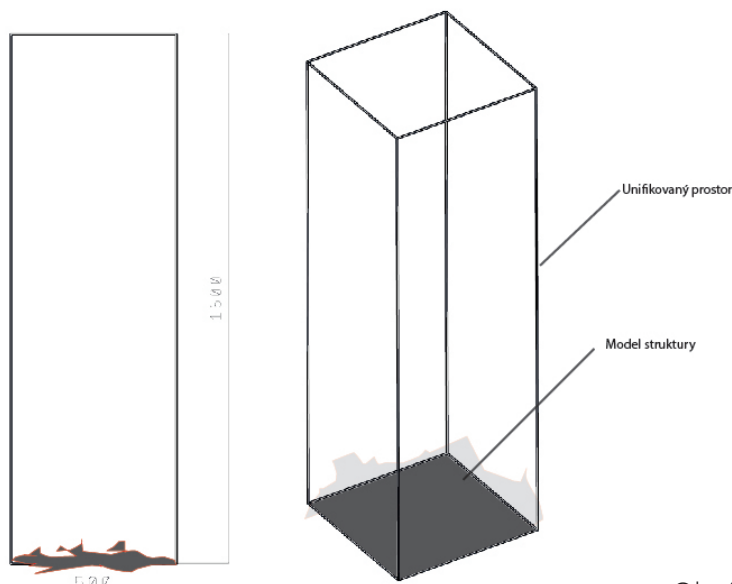
Po absolvání testů jsem protkal drát skrze látku, která je dobře deformovatelná a vydrží více než 100°C. Vlnění látky je volitelné pomocí deformace, pokud bych předdefinoval prohnutí v látce pravidelným rozestupem deformací, které bych mohl lokálně měnit, získal bych říditelnou strukturu pro přenos látky. Toto zjištění jsem aplikoval do následujících testů. Vytvořil jsem miniaturní model velikosti 50x50mm, látka byla protkána v směru A a B, každý člen má označení A# nebo B# dle směru protkání. Průběh testování probíhal vždy spojením 2 konců Nitinolového drátu na určité mezní napětí a proud. Výsledkem je zvlnění látky pouze v určitém kvadrantu.

Schopnost Nitinolového drátu vrátit se do původní polohy je úměrná proudu. Pokud překročíme hodnotu pro zachování struktury kristalické mřížky, tak dojde k porušení návratnosti tvaru. Pro každou vzdálenost a velikost kvadrantů je rozdílné napětí a proud, také čas pro změnu je proměnlivý. Z hlediska lehké říditelnosti procesu je vhodné každý kvadrant ohraničit a používat maticové řízení polí. V realizaci jsem použil pouze 4 kvadranty, protože jsem nechtěl překročit mezní proud a napětí laboratorního zdroje.



Obrázek 6.3 ; 6.4

Modelové řešení spojuje veškeré získané informace z předchozích testů. Pro názornou kvantifikaci procesu jsem strukturu umístil do unifikovaného prostoru o rozměru 500x500x1600mm. Objekt tvoří svařovaný kalený drát. Celý drátěný model je zavěšen v místnosti. Výška 1600mm dostatečně zasahuje přímo do očního kontaktu.



Obrázek 6.5

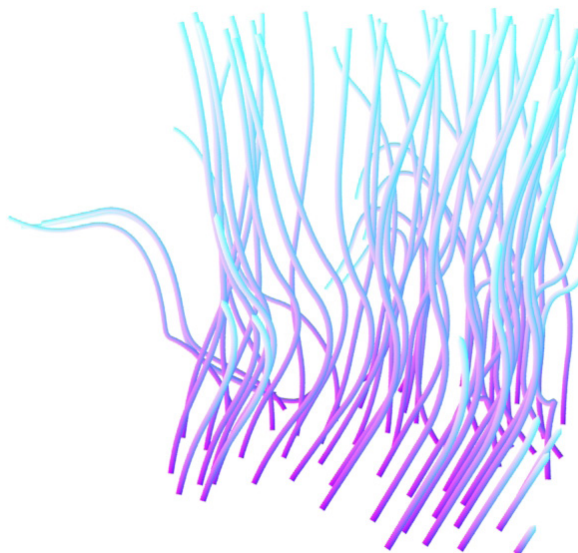
## Vizualizace

Simulování procesů přenosu materiálu pomocí změny tvaru a polohy součástí robota. Vycházím z materiálového chování reálného modelu. Velikost částic a prostor je unifikovaný. Veškeré pohybové úkony jsou obsaženy v animaci, kde mimo simulací je porovnaný fluidní a klasický robot.

Průběh simulací jde postupně. Hlavní záměr vizualizací je ukázat nestranný pohled na danou problematiku a případně nová řešení.



Obrázek 6.6



Obrázek 6.7

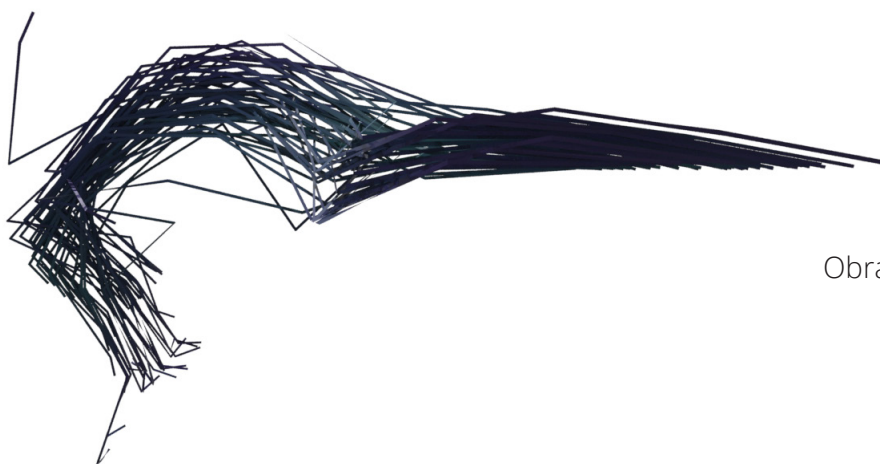




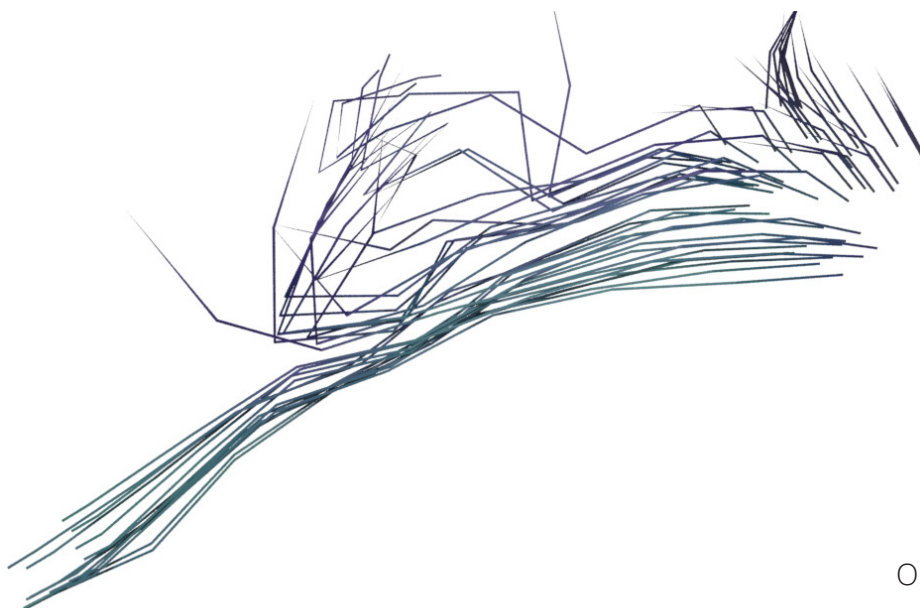
Obrázek 6.8



Obrázek 6.9



Obrázek 6.10

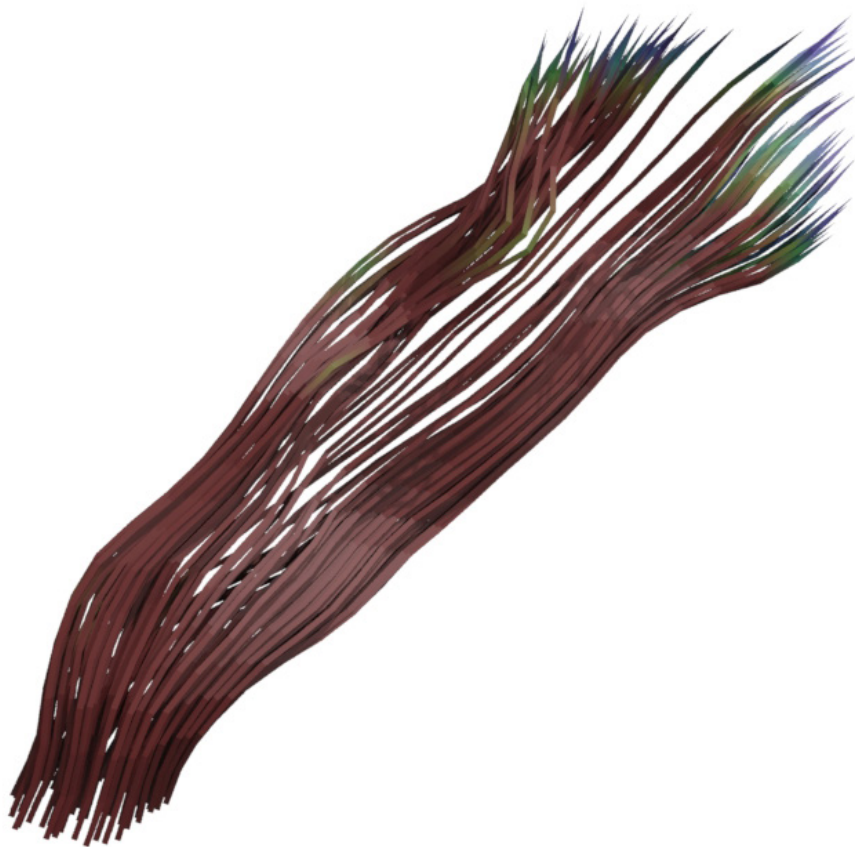


Obrázek 6.11

Obrázek 6.8 - 6.11 Kalibrace pozic v prostoru



Obrázek 6.12



Obrázek 6.13



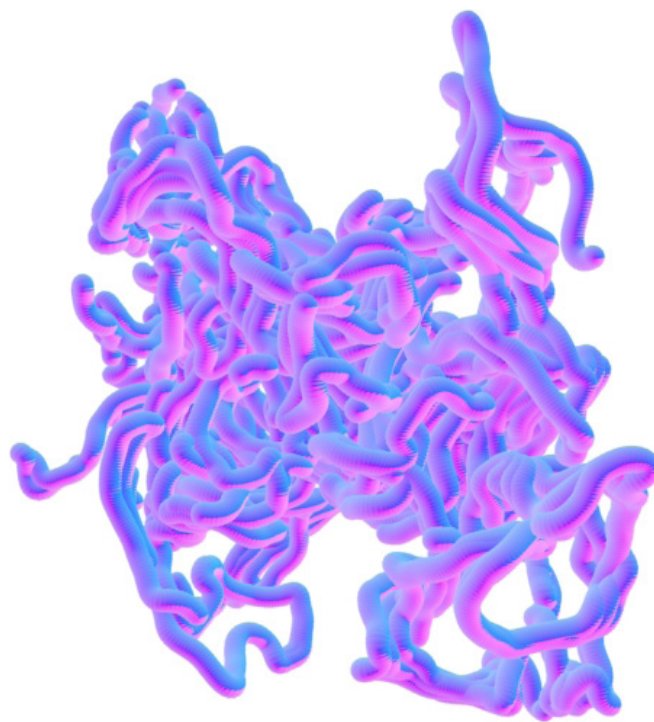
Obrázek 6.14



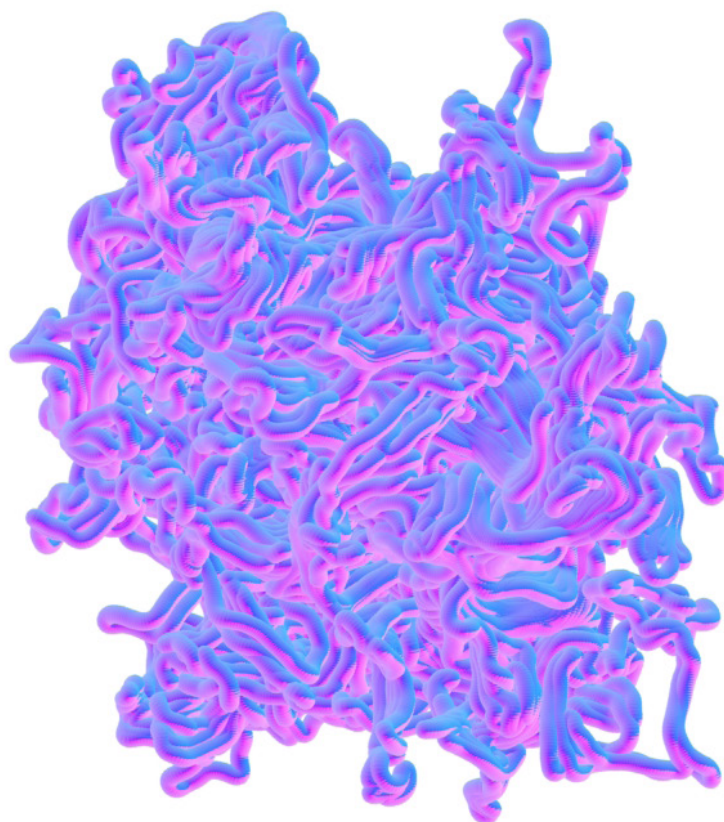
Obrázek 6.15

Obrázek 6.14-15 Distribuce materiálu na více míst najednou





Obrázek 6.16



Obrázek 6.17

# Závěr

„Nejlepším způsobem jak předpovědět budoucnost, je vytvořit ji.“ tuto větu vyslovil otec objektově orientovaného programování Allan Key. S tímto citátem chci apelovat na současnou robotiku a myšlení inženýrů k většímu využívání přírodních principů v robotice. Celá práce vystihuje mé pojetí definice slova „design“. Pouze myšlenka a mrhavý stav, kdy máme vše před očima je definicí designu. Přeji si, aby fluidní robot byl i nadále předmětem mého dalšího navrhování.

V závěru bych chtěl poděkovat spolku AA4CC za vřelé informace a podporu při navrhování a Ruben Mayorovi za implementaci Python simulací v Houdini. Zároveň chci také poděkovat prof. Václavu Snášelovi za poskytnutí nového pohledu na řízené objekty.

Cílem této práce byla v zadání 3D vytisklá struktura objektu. Ve výsledném objektu je použita z části technologie 3D tisku, avšak větší poměr objektu tvoří pohyblivá látka. Důvod použití látky a Nitinolových drátů odpovídá směru práce, která se zajímá celkovým pohybem, proto jsem se snažil docílit pohyblivého výstupu, který simuluje robotiku budoucnosti. Součástí je mimo doloženého portfolia také animace, která zobrazuje detaily k simulacím.

Tato práce není prostoupena tradičním průmyslovým designem, ale spojuje svobodné myšlení designera s budoucností.

# Seznam použité literatury

- [1] RAVEO. Krokové Motory [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: [www.raveo.cz/krokovy-motor](http://www.raveo.cz/krokovy-motor)
- [2] LINAK. Lineární aktuátory [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://www.linak.cz/about/?id3=4867>
- [3] FUJITSU LIMITED TOSHIBA CORPORATION. SCARA robot [Selective Compliance Assembly Robot Arm] [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: [http://rraj.rsj-web.org/en\\_atcl/842](http://rraj.rsj-web.org/en_atcl/842)
- [4] HOLUB, Michal. SCARA robot [Selective Compliance Assembly Robot Arm] [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=37895](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37895)
- [5] UNIVERSAL-ROBOTS. The Cobots [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/history-of-the-cobots/>
- [6] MACHINEDSIGN.COM. ROZDÍLY MEZI KARTEZSKÝMI, ŠESTIOSÝMI A SCARA ROBOTY [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://e-konstrukter.cz/novinka/rozdily-mezi-kartezskymi-sestiosymi-a-scara-roboty>
- [7] FANUC COMPANY. CR-35iA [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/spolupracuj%C3%ADc%C3%AD-roboty/collaborative-cr35ia>
- [8] KUKA. LBR iiwa [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/lbr%C2%A0iiwa>
- [9] VOJÁČEK. Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-rizeni-pohonu-a-pohybu.html>
- [10] ZEMÁNEK, Jiří. Řízení pro distribuovanou (mikro)manipulaci [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://kyr.fel.cvut.cz/rizeni-pro-distribuoanou-mikromanipulaci>
- [11] ROSYPAL, Stanislav. Nový přehled biologie. Česká republika: Scientia, 2003, ISBN 80-86960-23-4.
- [12] BÖHRINGER; CHOSET, Karl F; HOWIE. Distributed Manipulation. United Kingdom: Springer, 2000, ISBN 978-1-4615-4545-3.
- [13] ADAMATZKY, Andrew. Physarum Machines. United Kingdom: World Scientific, 2010, ISBN 1793-1010.
- [14] MEFANET. Materiály s tvarovou pamětí [online]. [cit. 22.5.2017]. Dostupný na WWW: [http://www.wikis-kripta.eu/index.php/Materi%C3%A1ly\\_s\\_tvarovou\\_pam%C4%9Bt%C3%AD](http://www.wikis-kripta.eu/index.php/Materi%C3%A1ly_s_tvarovou_pam%C4%9Bt%C3%AD)

# Zadání

## **Popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení**

Robotický materiál. Schopnost materiálu měnit tvar i polohu.  
Cílem je řešení 3D vytisklé struktury materiálu na základě studie.

## **Popis závěrečného výsledku**

Struktura, 1:1

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Robot“ vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze., dne 22.5. 2017

Tomáš Dymeš