

# Diplomová práce

---

## Prostředí pro programování pohybu manipulátorů

# Úvod

- **Motivace:** Potřeba plánovače prostorové trajektorie pro výukové účely - TeachRobot
- **Vstup:** Zadávání geometrických a kinematických parametrů trajektorie
- **Výstup:** Průběh polohy, rychlosti, zrychlení, orientace, vektoru úhlové rychlosti a zrychlení v čase

# Cíle diplomové práce

- Zhotovit software v prostředí MATLAB pro plánování trajektorie manipulátorů v uživatelsky příjemném grafickém prostředí.

## Jednotlivé dílčí úkoly:

- Vytvoření návrhové specifikace softwarového díla
- Návrh struktury a podoby uživatelského rozhraní pro zadávání parametrů
- Implementaci jednotlivých částí prostředí pro plánování trajektorie
- Ověření funkce implementovaných částí

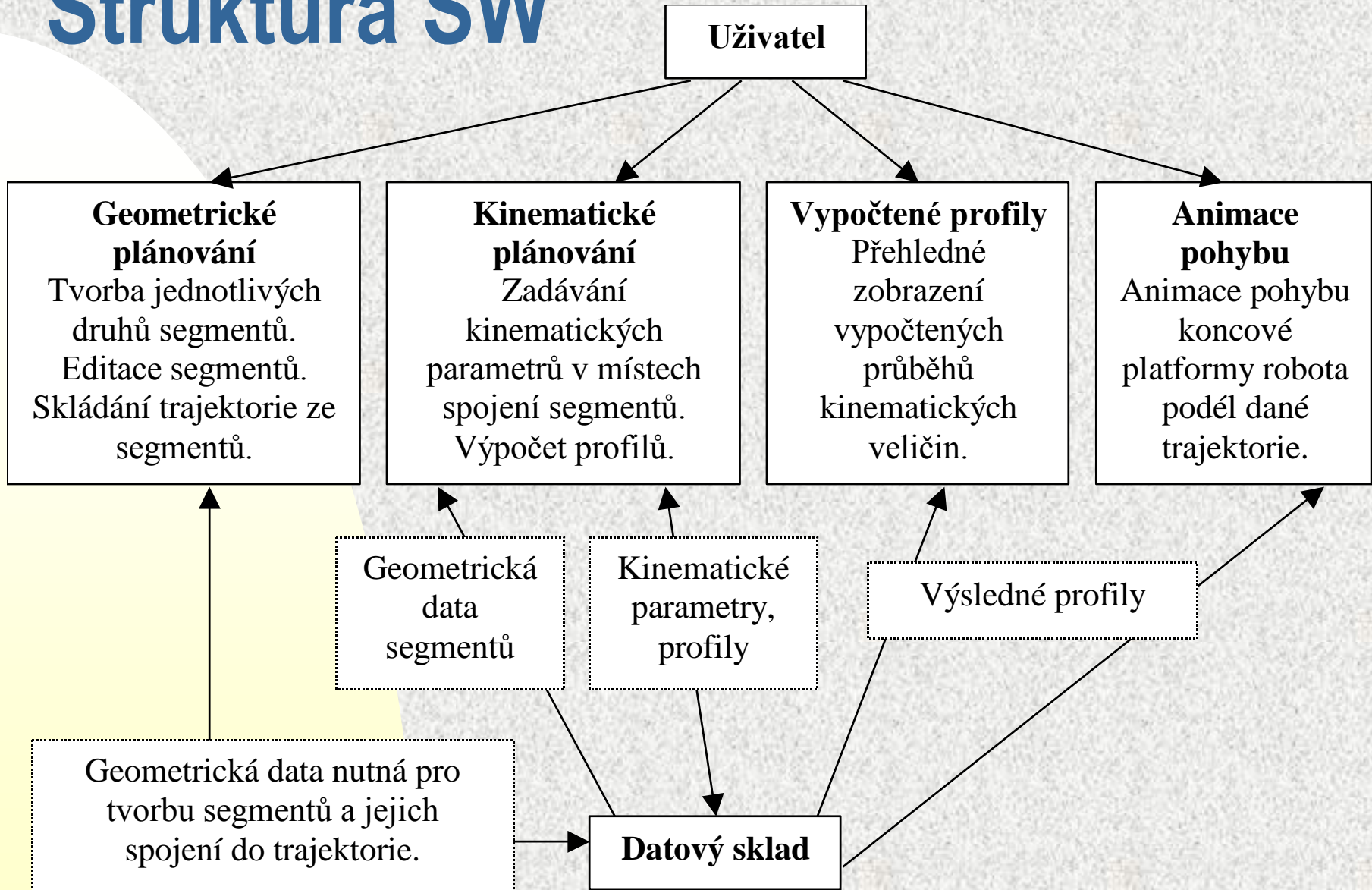
# Hlavní požadavky na SW

- Uživatelsky příjemné grafické prostředí, možnost rotace pohledů a lupy.
- Sestavení trojrozměrné necyklické trajektorie pomocí úsečkových segmentů, úseků kružnice a spline segmentů. Pro budoucí využití byl ještě přidán prostor i pro obecný úsek, který bude cele předdefinován uživatelem.
- Geometrické parametry jednotlivých segmentů lze zadávat myší nebo numericky pomocí klávesnice.
- Snadná editace jak hotové trajektorie tak jednotlivých segmentů.

# Hlavní požadavky na SW

- V místech napojení jednotlivých segmentů zadávání okrajových podmínek trajektorie, tedy rychlosti, natočení a vektoru úhlové rychlosti platformy. Pro budoucí využití jsou zde připravena i pole pro zadávání zrychlení a vektoru úhlového zrychlení.
- Výstupem budou průběhy polohy, natočení platformy, profily rychlostí a zrychlení v čase. Software bude obsahovat vizuální kontrolu výstupů.
- Navržená struktura bude otevřená dalšímu rozšiřování v souladu s původní ideou komplexního plánovače obsahujícího kinematickou i dynamickou kontrolu.

# Struktura SW



# Výpočet profilů

- Dopočet průběhů jednotlivých kinematických veličin v čase probíhá pomocí interpolace polynomem 3.-5. stupně.
- Polynomy se počítají pomocí okrajových podmínek na začátku a konci každého segmentu. Pro zachování hladkosti napojení a současného vykonání pohybů platformy musí mít trajektorie první derivaci spojitou a hladkou a druhá derivace by měla být spojitá, po částech hladká křivka s nulovými okrajovými hodnotami.

# TeePee Geometry

The screenshot shows the TeePee Geometry software interface. At the top left is the title bar 'TeePee Geometry Window' with menu options 'File', 'View', and 'About'. The main window is divided into several panels. On the left is a 2D coordinate system with a vertical axis from -1 to 5 and a horizontal axis from -10 to 0. On the right is the 'Object creator & editor' panel, which includes buttons for 'Start point', 'Line', 'Arc', 'Spline', and 'Custom ...'. It also has a 'Name' field set to 'Linear segment (3)', a 'Point list' containing 'new point [x,y,z]', '[4.4384,-1.0827,1.1709]', and 'new tangent [x,y,z]', and a 'Create' button. Below this panel are buttons for 'Edit', 'Save', 'Copy', and 'Delete'. At the bottom left are 'Zoom' and 'Rotate' buttons. At the bottom center is a status bar with the text 'Linear Segment: Pick point and click the Add point button to add it to the point list.' At the bottom right is a 'Kinematics >>' button. Five callout boxes with black borders and teal text provide descriptions of the software's features:

- Panel pro tvorbu a editaci jednotlivých segmentů.** (Panel for creating and editing individual segments.)
- Pro kontrolu vytvořených segmentů a jejich úpravy.** (For control of created segments and their modification.)
- Panel pro spojování jednotlivých segmentů do trajektorie.** (Panel for joining individual segments into a trajectory.)
- Dva nastavitelné pohledy pro zadávání bodů.** (Two adjustable views for entering points.)
- Tlačítka lupy a rotace pohledu a komunikační řádek.** (Zoom and view rotation buttons and a communication bar.)



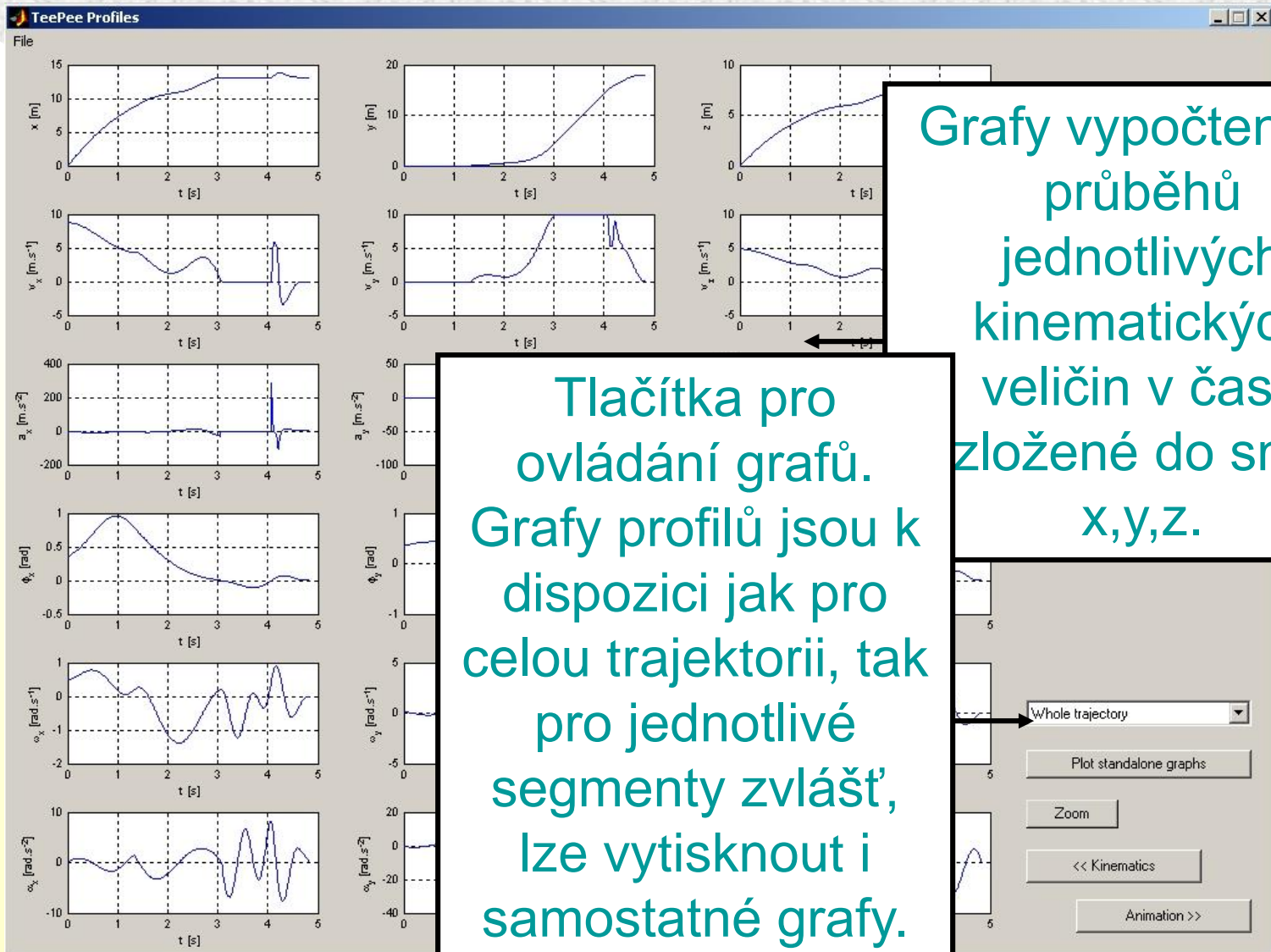
# TeePee Kinematics

The screenshot shows the TeePee Kinematics software interface. It features a 3D plot on the left with axes ranging from -10 to 2. The main window has a menu bar (File, View, About) and a connection indicator (2 / 3). Three callout boxes with arrows point to specific parts of the interface:

- Panel pro pohyb mezi jednotlivými napojeními v trajektorii.** (Panel for movement between individual connections in the trajectory.)
- Panel pro zadávání kinematických parametrů ve vybraném napojení a segmentu trajektorie.** (Panel for entering kinematic parameters in the selected connection and trajectory segment.)
- Tlačítka lupy a rotace pohledu a komunikační řádek.** (Zoom and view rotation buttons and communication bar.)

Additional interface elements include a 'Zoom' button, a 'Rotate' button, a 'ROTATE: Click and drag inside 3D axes to free rotate the view.' instruction box, a 'Save' button, a 'Reset' button, and navigation buttons '<< Geometry' and 'Profiles >>'. A table on the right shows 'Position of platform:' with columns for 'ax', 'ay', and 'az', each with a 'not available' value and a unit of  $[\text{rad/s}^2]$ .

# TeePee Profiles



# TeePee Animation

The screenshot shows the 'TeePee Animation' software window. It features a 3D coordinate system with a grid and a red trajectory line. On the right, there is a data panel with various kinematic parameters. Three callout boxes with arrows point to specific parts of the interface:

- Panel s okamžitými hodnotami jednotlivých kinematických veličin.** (Panel with instantaneous values of individual kinematic variables.) - Points to the data panel on the right.
- Prostorový pohyb ve kterém probíhá animace pohybu platformy podél zadané trajektorie.** (Spatial motion in which the animation of platform movement along the specified trajectory takes place.) - Points to the 3D grid and trajectory.
- Tlačítka pro ovládání animace.** (Buttons for animation control.) - Points to the 'Stop', 'Play', and 'End' buttons.

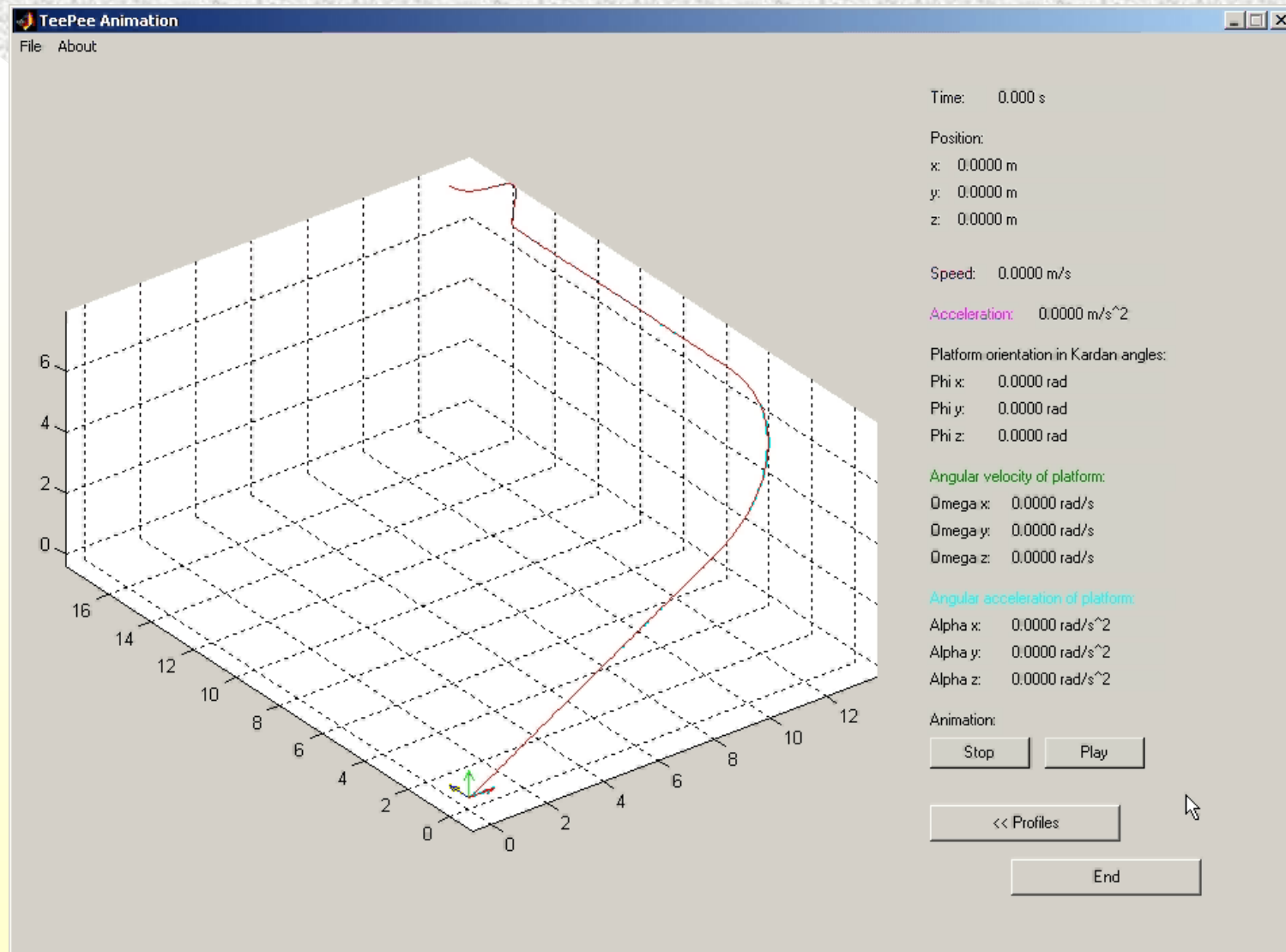
**Data Panel Values:**

- Time: 2.205 s
- Position:
  - x: 10.9028 m
  - y: 0.6435 m
  - z: 6.0186 m
- Speed: 1.8824 m/s
- Acceleration: 4.5849 m/s<sup>2</sup>
- Platform orientation in Kardan angles:
  - Phi x: 0.2024 rad
  - Phi y: 0.5295 rad
  - Phi z: 1.0920 rad
- Angular velocity of platform:
  - Omega x: -1.3930 rad/s
  - Omega y: -0.2849 rad/s
  - Omega z: -0.6437 rad/s
- Angular acceleration of platform:
  - Alpha x: -0.1696 rad/s<sup>2</sup>
  - Alpha y: -0.9632 rad/s<sup>2</sup>
  - Alpha z: 0.0045 rad/s<sup>2</sup>
- Animation: Stop, Play, << Profiles, End

# Testování vytvořeného SW

- Vzhledem k omezeným časovým možnostem byl program testován na jedné trajektorii složené ze všech typů dostupných segmentů, s náhodně zvolenými kinematickými parametry.
- Program pro takto zadanou trajektorii vypočítal výstupní profily a z výsledné animace je patrné, že pohyb splňuje zadané okrajové podmínky v každém místě spojení segmentů.

# Animace testované trajektorie



# Závěr

- Byl vytvořen SW pro plánování prostorové trajektorie použitelný pro obecný prostorový manipulátor. Tento SW je koncipován tak, aby byl dále jednoduše rozšiřitelný o další moduly.
- SW bude nyní třeba vystavit rozsáhlejšímu testování různými uživateli pro zvýšení jeho robustnosti a zlepšení ergonomie.
- Dalším logickým krokem ve vývoji díla bude návrh a implementace modulů pro ověření kinematické a dynamické schopnosti manipulátoru dosáhnout naplánované trajektorie.