

Optimalizace a řízení lehkých poddajných mechanismů s přídavnými aktuátory a senzory

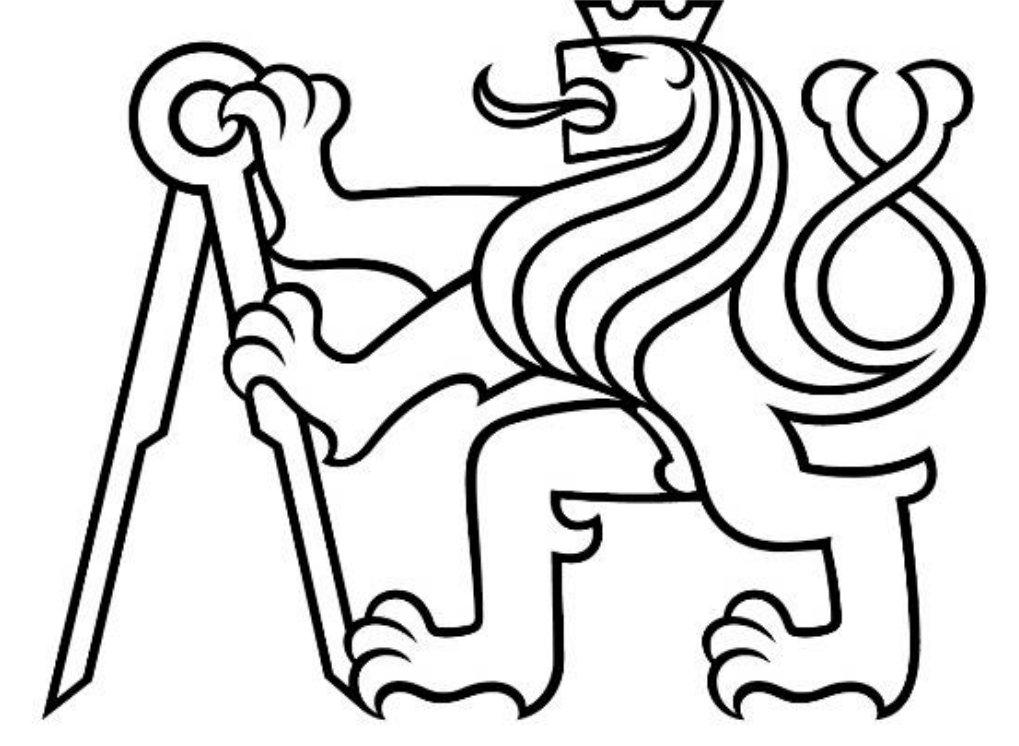
Ing. Jiří Volech

Studijní obor

Mechanika tuhých a poddajných těles a prostředí

Školitel

Prof. Ing. Zbyněk Šika, Ph.D.



Motivace

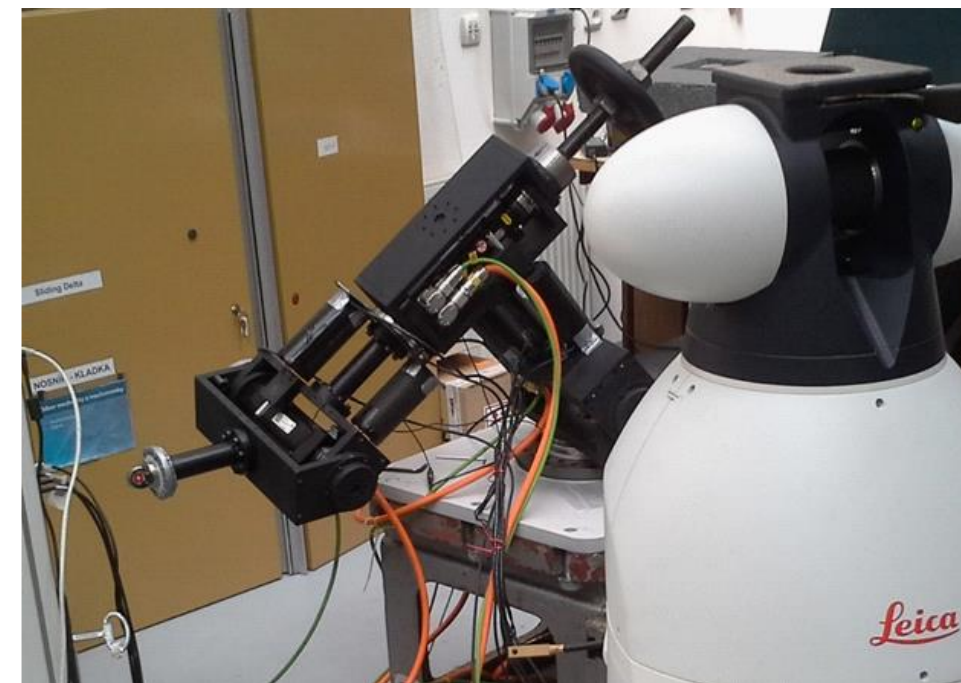
- Zlepšení základních vlastností: tuhost, pracovní/zástavbový prostor, přesnost a nízkou hmotnost. Sériová struktura má problémy s tuhostí, a tím i s přesností. Naopak paralelní kinematické mechanismy (PKM) mají problémy s pracovním/zástavbovým prostorem. Zajímavou variantou jsou vláknové PKM, které tento problém nemají, vyvstává u nich však mnoho jiných problémů, které je třeba vyřešit.
- Zpřesnění mechanismů s dobrým poměrem mezi pracovním a zástavbovým prostorem. Cílové struktury jsou sériové struktury a paralelní vláknové struktury.
- Přídavné odměřování stávajících lehkých sériových struktur jako prostředek k jejich zpřesnění, bez zasahování do již stávající konstrukce a s co nejmenším omezením jejich pracovního prostoru.
- Přídavná platforma paralelní vláknové struktury pro minimalizaci negativního frekvenčního vlivu vláken na pracovní platformu.

Cíle práce

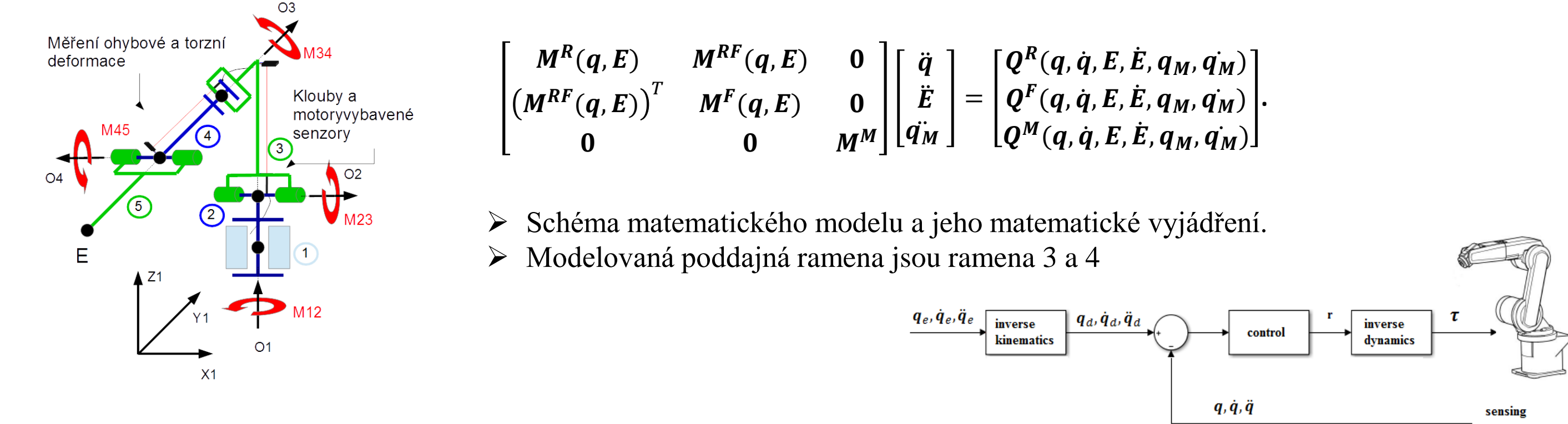
- Navrhnout a zkoumat vhodné koncepty přídavného odměřování pro sériovou strukturu robotického typu, které zlepšují dosažitelnou přesnost řízení pohybu a neomezují pracovní prostor.
- Vyvinout vhodné řízení s použitím vybraného přídavného odměřování sériové struktury, otestovat ho na detailním simulačním dynamickém modelu a částečně i na experimentálním demonstrátoru.
- Navrhnout a rozvinout koncept přídavných pohonů pro zlepšení přesnosti řízení pohybu výkonného členu lanového paralelního mechanismu při rychlých pohybech, včetně optimalizace mechanických vlastností vzniklé přidané struktury.
- Vyvinout vhodné řízení vícestupňového lanového mechanismu s přídavnými aktuátory a otestovat ho na detailním simulačním dynamickém modelu a částečně i na experimentálním demonstrátoru.

SÉRIOVÁ STRUKTURA

Light emitter, Light detector, Light, angle measurement, actuator

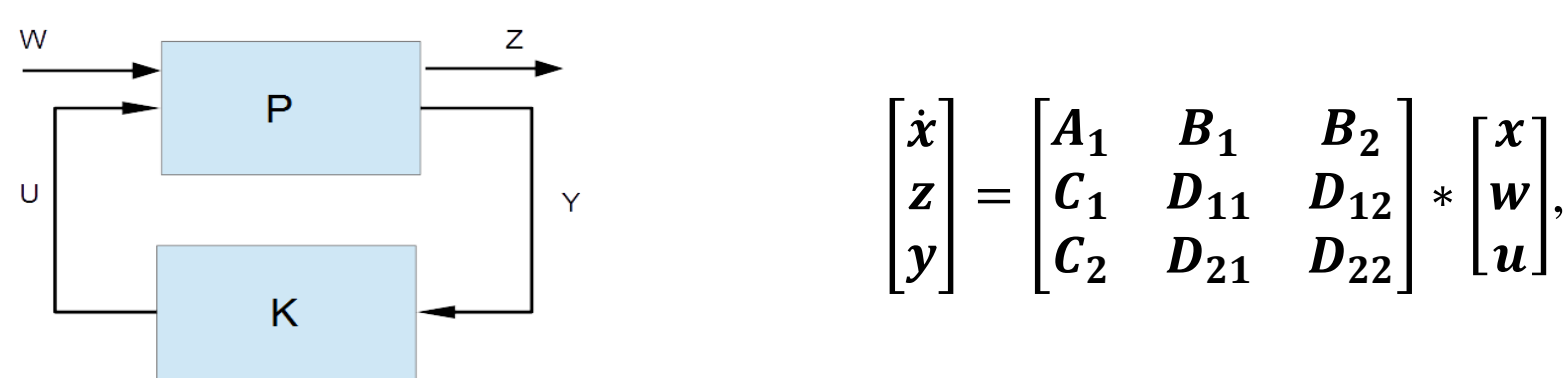


- Sériová struktura – vybraný koncept redundantního odměřování s co nejmenším omezením pracovního prostoru a reálný demonstrátor sestaven pro potvrzení funkčnosti regulátoru navrženého na poddajném matematickém modelu

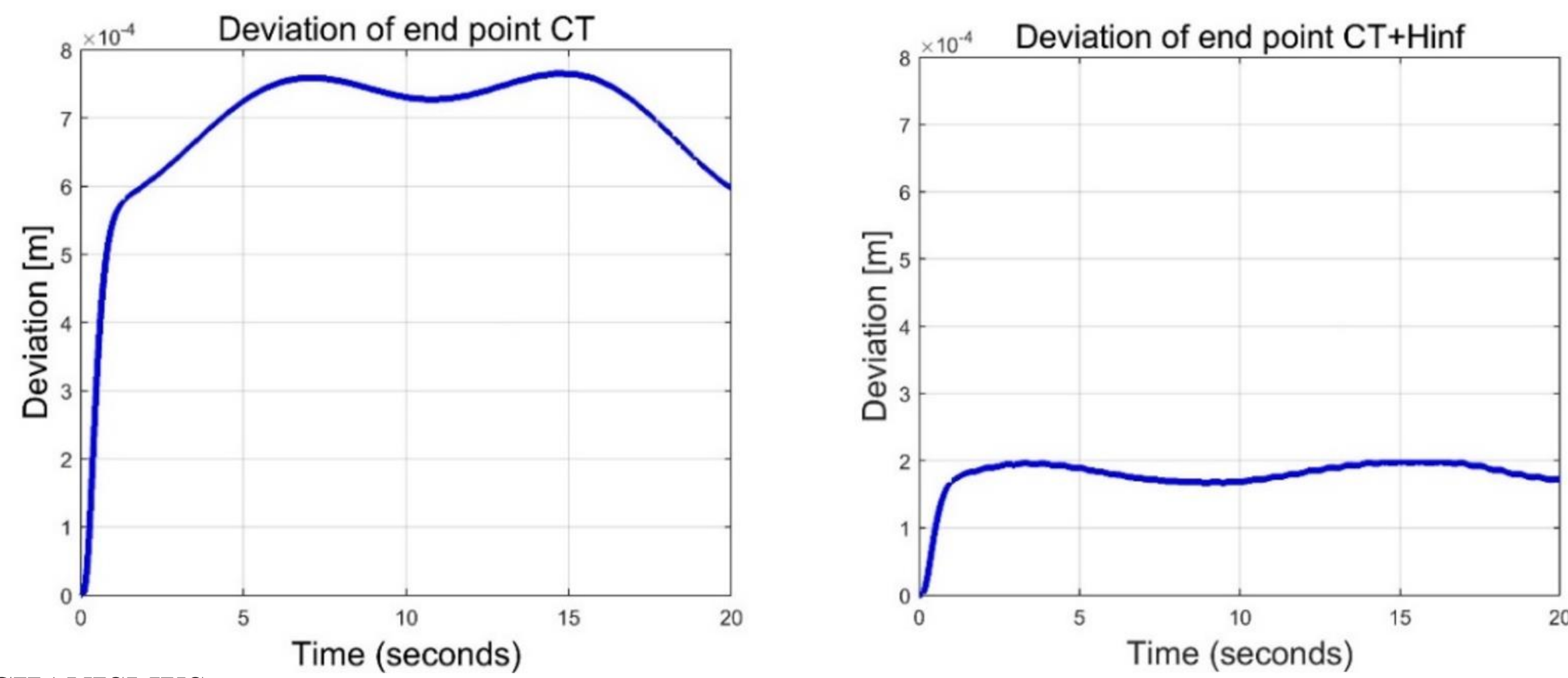


- Schéma matematického modelu a jeho matematické vyjádření.
- Modelovaná poddajná ramena jsou ramena 3 a 4

- Primární regulátor pohonů je realizován pomocí metody Computed Torques.
- Návrh regulátoru odchylek natočení v kloubech a poddajnosti ramen je realizován pomocí syntézy H^∞ .
- Vektor vstupního referenčního signálu v obsahuje požadovanou polohu koncového bodu robota R_{epx} , R_{epy} , R_{epz} v operačních souřadnicích robota. Poté chybový výstupní vektor z zahrnuje pouze odchylky od žádané polohy e_x , e_y , e_z .

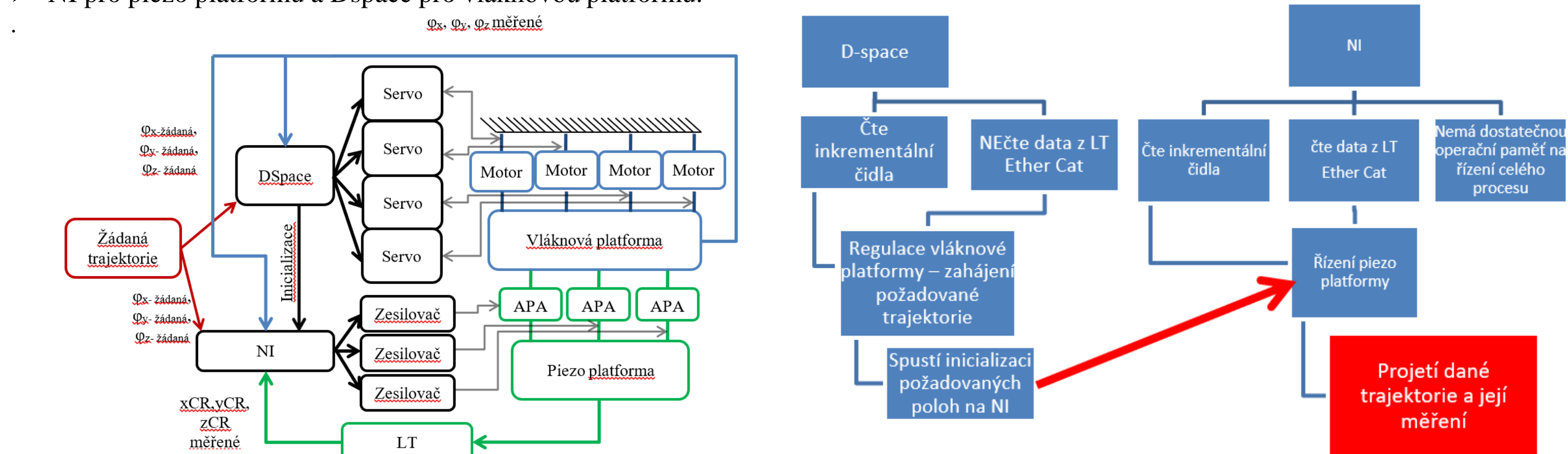


- Srovnání obou testovaných řídicích přístupů Computed Torques a Computed Torques + H^∞ .
- Jako testovací trajektorie byla zvolena Bernoulliho lemniskáta rovnoběžná s osou z s rozsahem 10 cm v y – ové ose a 28 cm v x – ové.
- Výsledná odchylka je počítána jako součet čtverců odchylek v x – ové a y – ové ose.

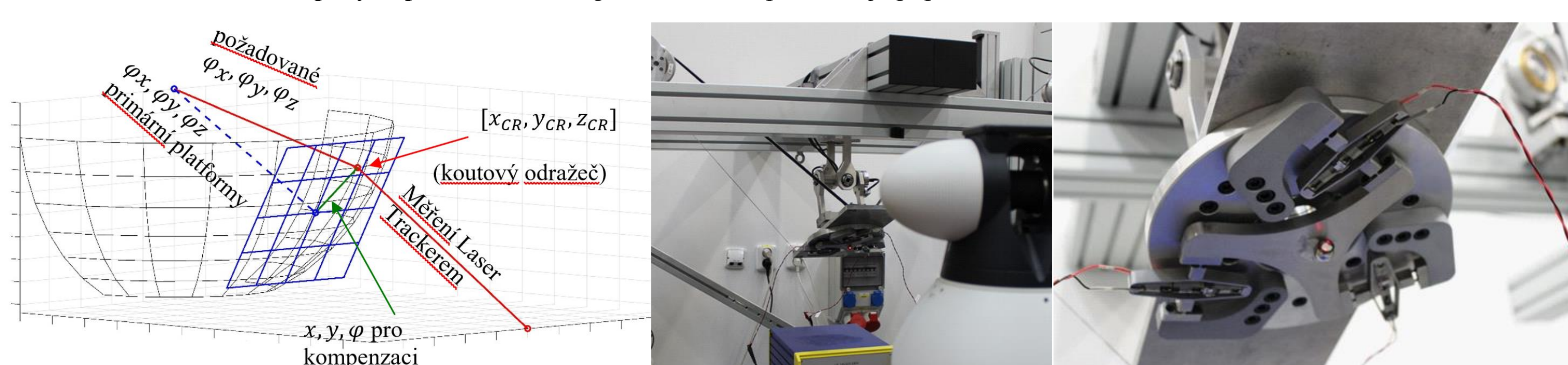


VÍCESTUPŇOVÝ MECHANISMUS

- Na laboratorní funkční model vláknového PKM QuadroSphere byla navržena a umístěna aktivní piezo – platforma.
- Její řízení bylo navrženo na simulačním modelu celého mechanismu.
- Z důvodu hardwarových omezení bylo řízení prováděno na dvou oddělených řídicích deskách, které byly spolu propojeny.
- NI pro piezo platformu a Dspace pro vláknovou platformu.



- Primární sférický demonstrátor QuadroSphere má 3 DOF, sekundární přídavný mechanismus má nově také 3 DOF pro korekci pohybu.
- Formulace cíle korekce pohybu pro toto druhé experimentální uspořádání je popsáno následovně.



- Projekce do aktuálního lokálního systému z obou měřících zařízení byla prováděna pomocí kalibračního modelu.

$$T_{04} = T_{01}T_{12}T_{23}T_{34}$$

$$T_{01} = T_x(x_0)T_y(y_0)T_z(z_0)T_{\varphi_x}(\varphi_{x0})T_{\varphi_y}(\varphi_{y0})T_{\varphi_z}(\varphi_{z0})$$

$$T_{12} = T_x(x_1)T_y(y_1)T_{\varphi_x}(\varphi_{x1})T_{\varphi_y}(\varphi_{y1})T_{\varphi_z}(\varphi_{z1\text{žádaná}})$$

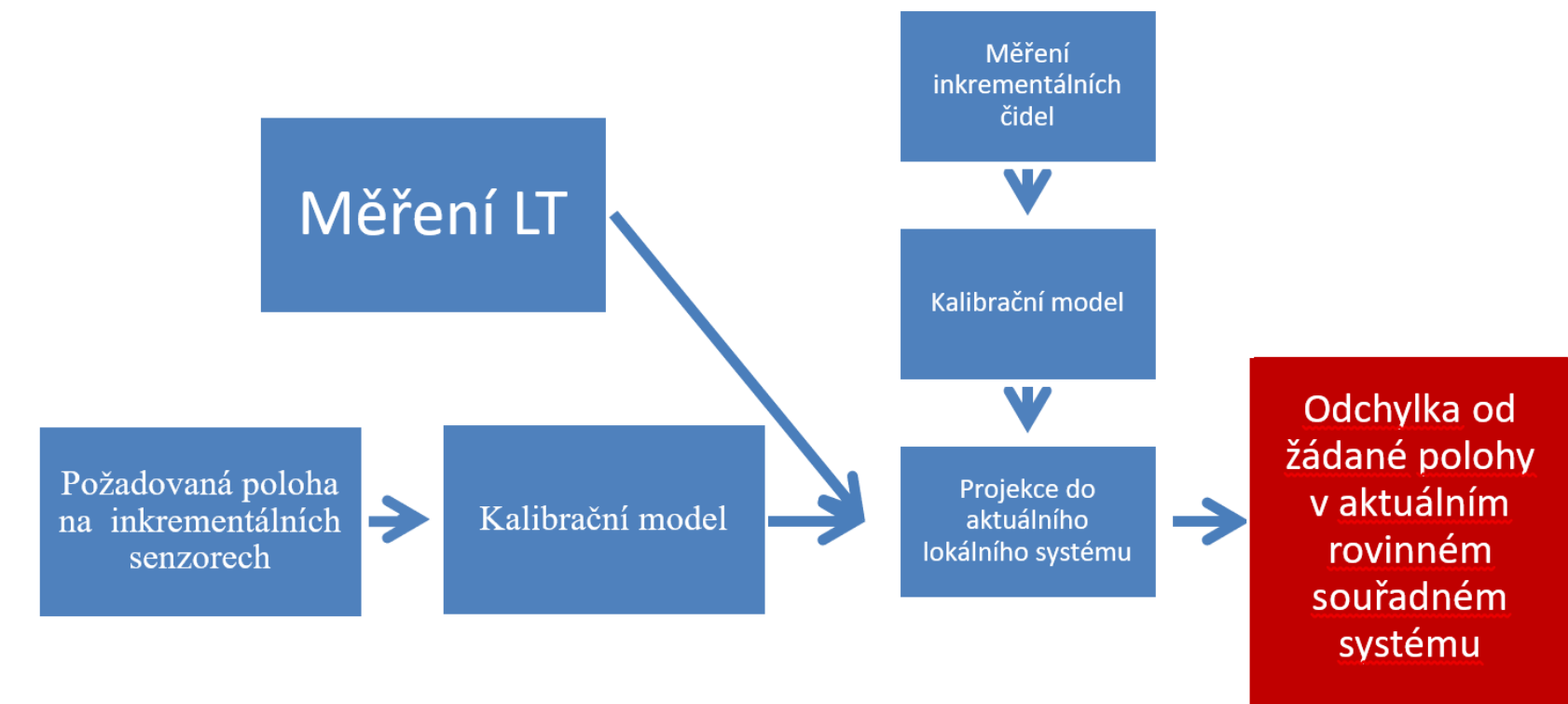
$$T_{23} = T_x(x_2)T_y(y_2)T_{\varphi_x}(\varphi_{x2})T_{\varphi_y}(\varphi_{y2})T_{\varphi_z}(\varphi_{z2\text{žádaná}})$$

$$T_{34} = T_y(y_3)T_z(z_3)T_{\varphi_y}(\varphi_{y3})T_{\varphi_z}(\varphi_{z3})T_{\varphi_x}(\varphi_{x3\text{žádaná}})$$

$$r_{4CR} = [x_{4CR}, y_{4CR}, z_{4CR}, 1]^T$$

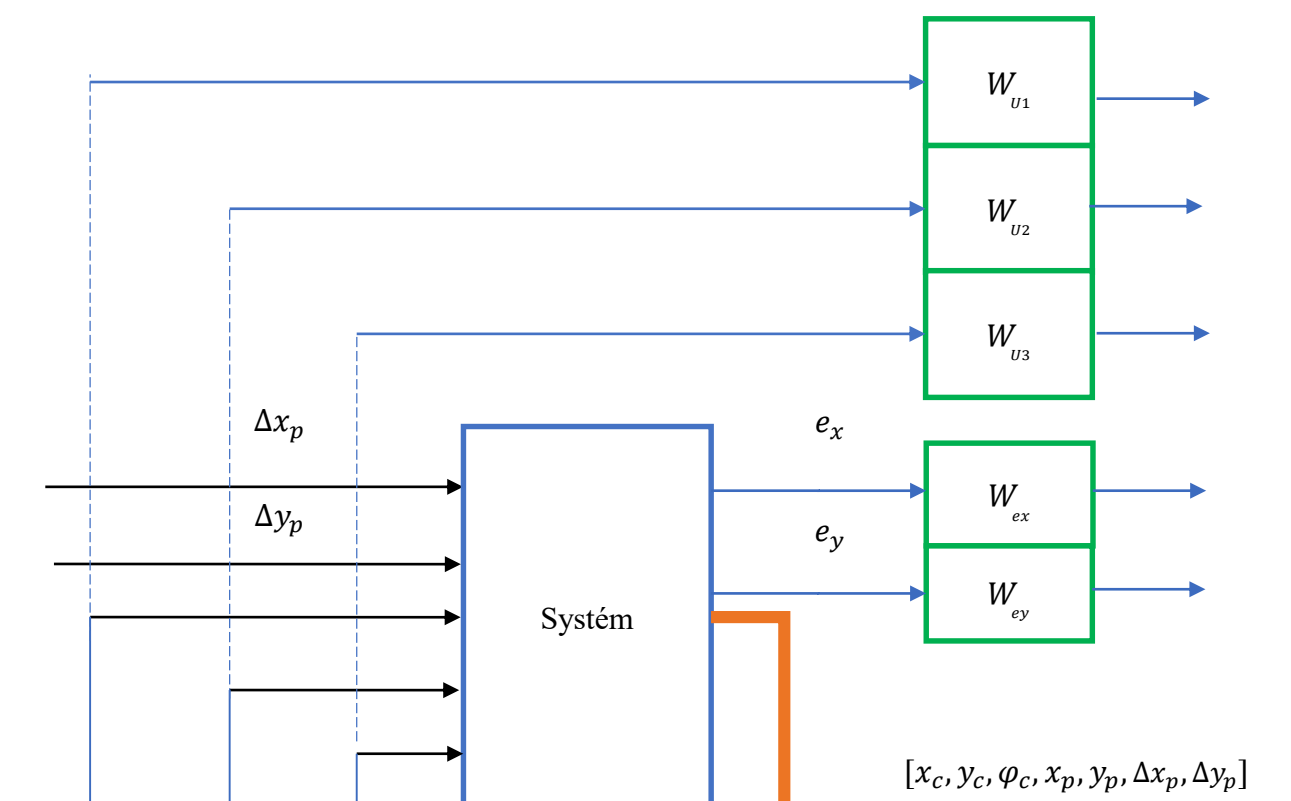
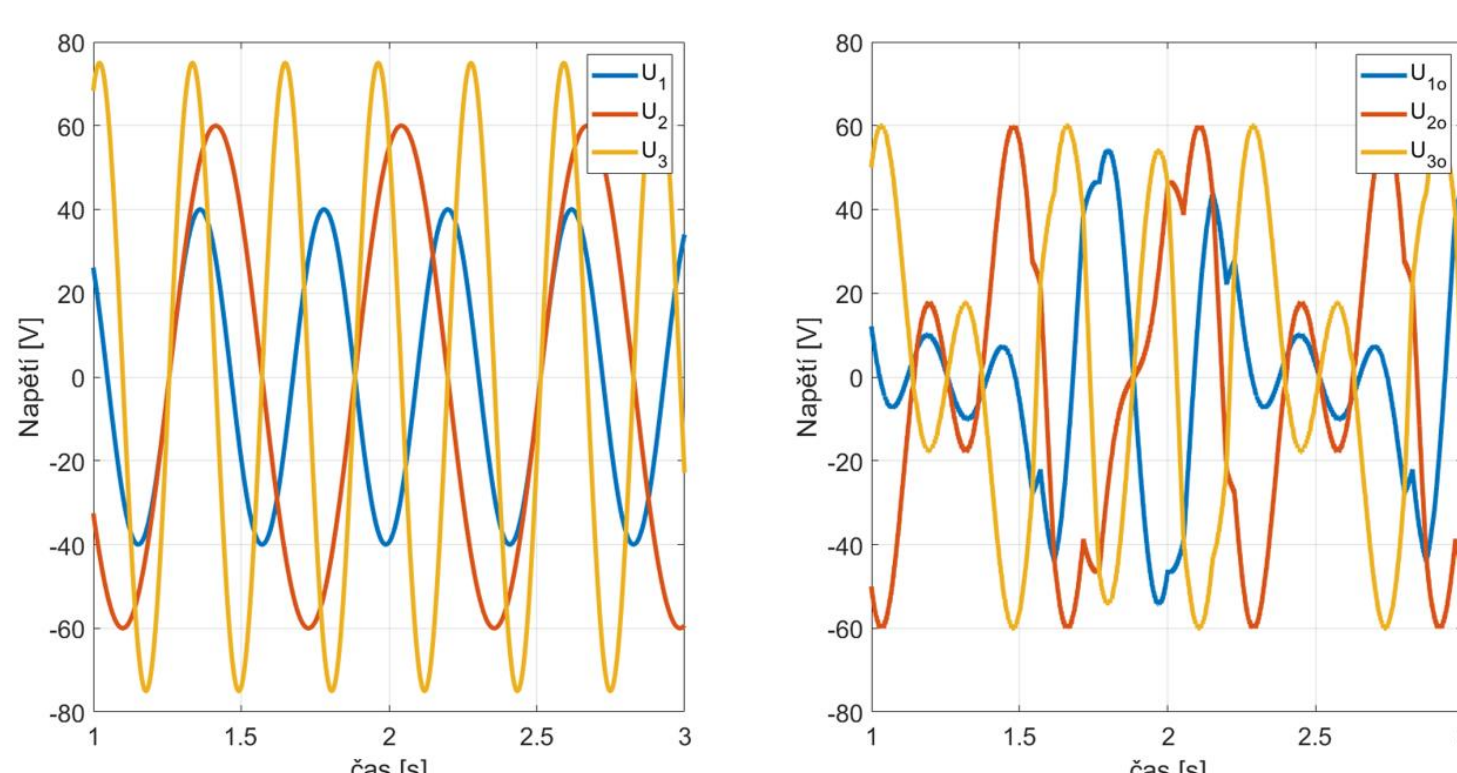
$$T_{04}^{-1}r_{0CR, \text{měřené}} - r_{4CR} = T_{40}r_{0CR, \text{měřené}} - r_{4CR} = \Delta$$

- r_{4CR} představuje rádius vektor koutového odražeče vypočítaného z pozic Renishaw kotoučků v kloubu vláknové platformy.
- $r_{0CR, \text{měřené}}$ rádius vektor koutového odražeče měřeného Laser Trackerem, který je také promítnut maticí T_{40} do souřadného systému sférického kloubu.
- Δ je odchylka měřeného koutového odražeče od požadované trajektorie v každé iteraci regulační smyčky.

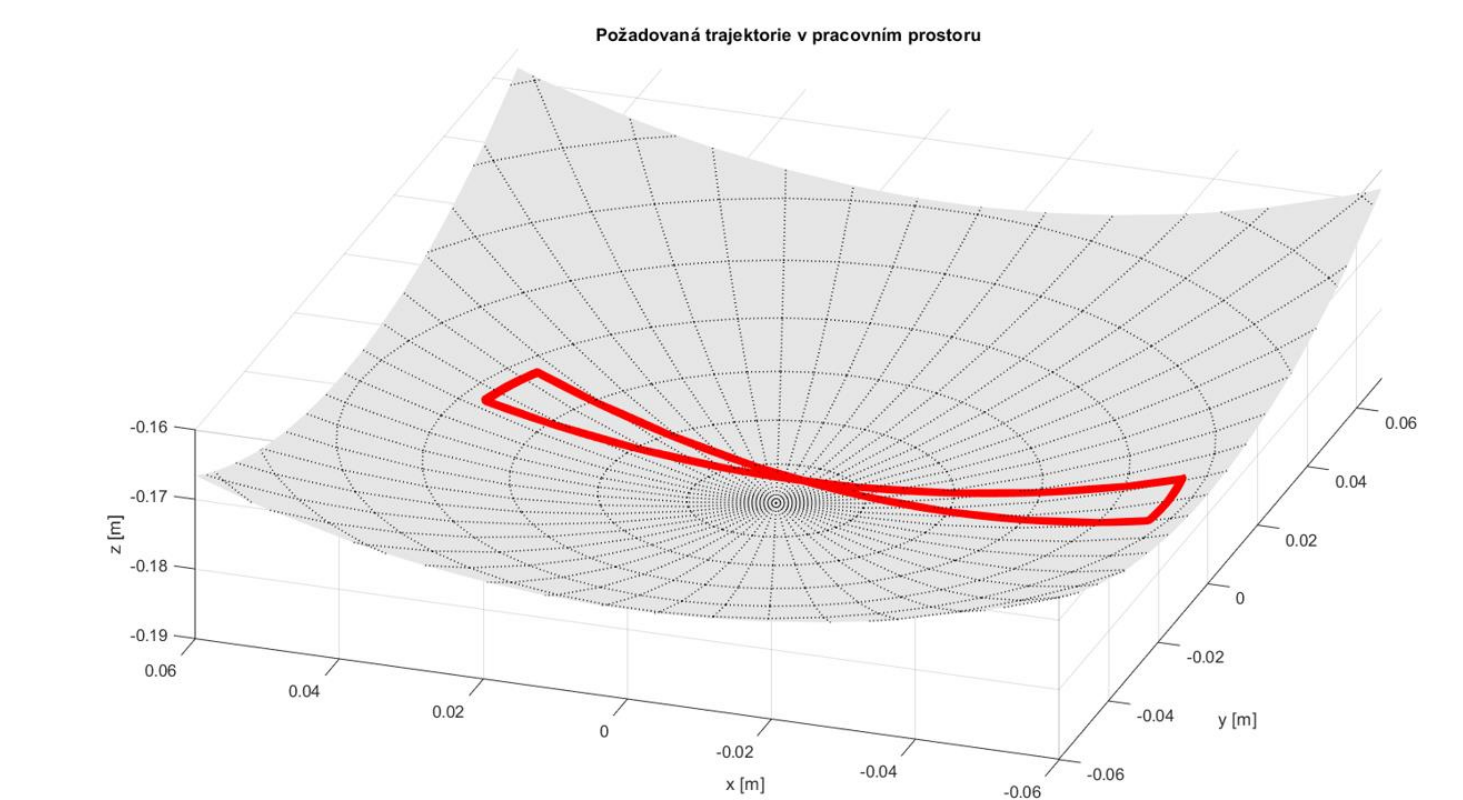
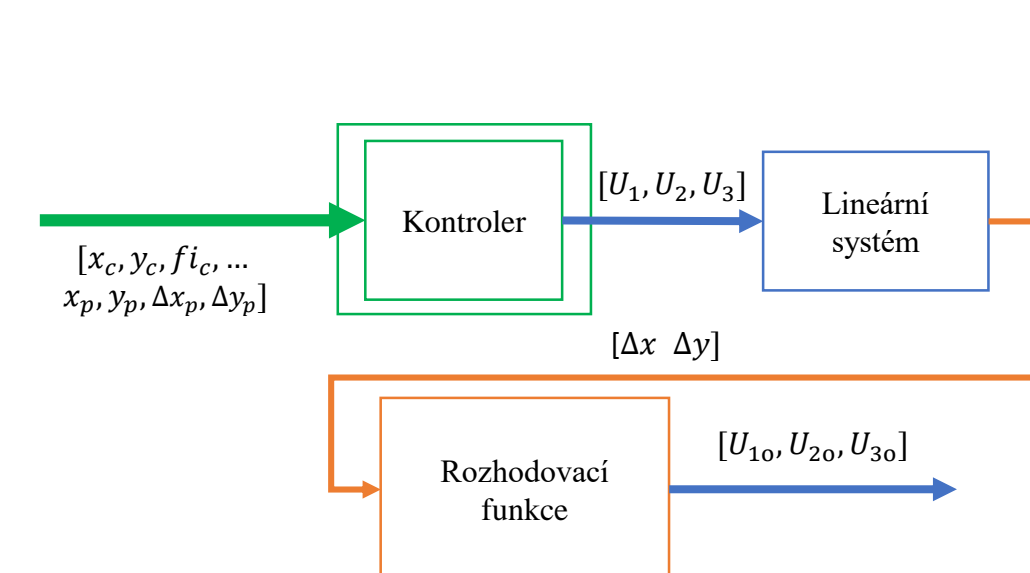


- Existuje sada vysokých frekvencí odpovídajících piezo – platformě.
- Sada nízkých frekvencí odpovídajících vláknové platformě.
- Je vhodné aplikovat filtr nebo filtry na známé frekvence a řídicí signály na které se chceme zaměřit.

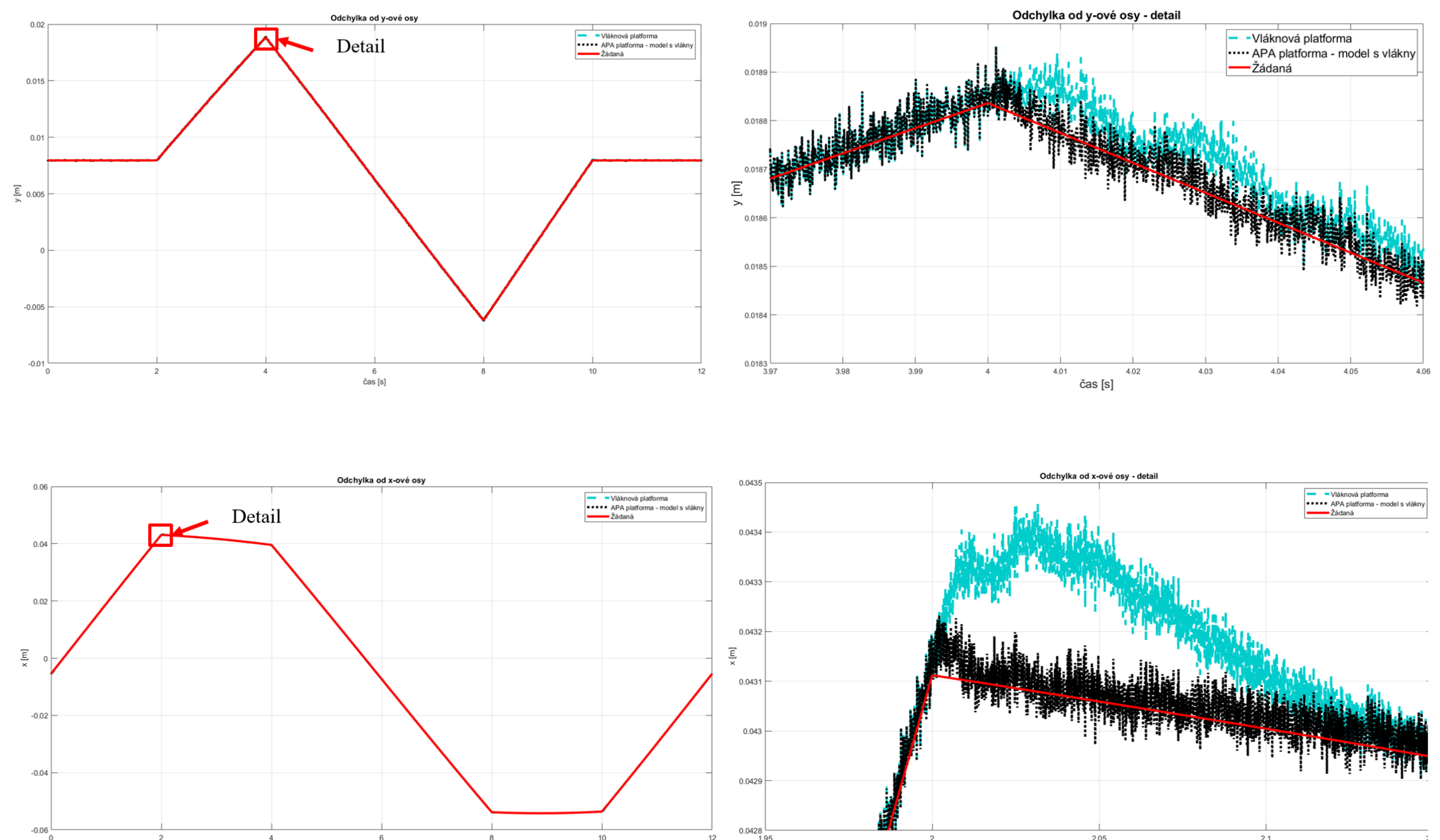
- Přídavná platforma má 2 DOF a tři pohony. Redundantní pohon je použit na snížení zdvihů jednotlivých piezo – pohonů.



- Výsledné schéma řízení přidané piezo – platformy.



- Testovací trajektorie v prostoru a výsledky z měření jak samotné vláknové platformy s fixovanou přídavnou strukturou, tak vláknové platformy se zapnutou přídavnou strukturou.



Závěr

Byly navrženy a optimalizovány koncepty sériového mechanismu s přídavným odměřováním i přidané struktury k vláknovému mechanismu pro vyšší přesnost koncových bodů jednotlivých mechanismů. Byla provedena detailní analýza vlastností pro návrh a optimalizaci regulátorů ve frekvenční oblasti. Chování bylo simulačně i experimentálně ověřeno pomocí demonstrátorů.

Publikace autora

- J. Volech, L. Mráz, Z. Šika a M. Valásek, „Concepts of Robot Accuracy Enhancement by Integrated Redundant Measurements,“ *Bulletin of Applied Mechanics*, sv. 9, č. 33, pp. 12-17, 2013.
- J. Volech, L. Mráz, Z. Šika a M. Valásek, „Model of Flexible Robot with Deformation Detection,“ *Procedia Engineering*, sv. 96, č. 96, pp. 510-516, 2014.
- L. Mráz, J. Volech, P. Beneš, Z. Šika a M. Valásek, „Control of Serial Robot Concerning Arm Flexibilities,“ *Bulletin of Applied Mechanics*, sv. 10, č. 36, pp. 1-4, 2014.
- Z. Šika, J. Volech, L. Mráz, M. Valásek a P. Beneš, „Modelling and Control Synthesis of Flexible Robot Arm Equipped with Additional Sensors,“ v *MULTIBODY 2015 - Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2015, Barcelona, 2015*.
- J. Volech, Z. Šika, P. Beneš a M. Valásek, „Modelling and Control Synthesis of Flexible Robot Arm Equipped with Additional Sensors,“ v *MULTIBODY 2017 - Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017, Praha, 2017*.
- Z. Šika, P. Beneš, M. Valásek, J. Volech a K. Kraus, „Cable Driven Spherical Mechanism Quadrosphere Enhanced by 3 DOF Piezo-actuated Platform,“ v *MULTIBODY 2017 - Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017, Praha: ČVUT, 2017*