

MPO TRIO

Název projektu:

Nová technologie pro inteligentní plánování pohybu robotů v průmyslových procesech

(FV 20597)

Prototyp

[Gprot] Prototyp robotické buňky osazené záznamovým zařízením (pilotní aplikace) (Uživatelská dokumentace)

Martin Švejda (ZČU), Arnold Jáger (ZČU), Jan Reitingер (ZČU), Ondřej Severa (ZČU), Vít Štrunc (LT), Štěpán Trousil (LT)

původní termín: do 31. 8. 2021

skutečný termín (prodloužení řešení projektu¹): 31. 12. 2021



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU

Identifikátor účastníka projektu:

ZČU: Západočeská univerzita v Plzni, LT: LaserTherm spol. s r.o.

¹ Řešení projektu prodlouženo do konce roku 2021 (dodatky 1) a 2) součástí přílohy roční zprávy)
1) D O D A T E K č. 1/2021 ke Smlouvě č. FV20597 o poskytnutí účelové podpory na řešení projektu formou dotace z výdajů státního rozpočtu na výzkum, vývoj a inovace
2) DODATEK č. 2 ke Smlouvě o účasti na řešení projektu ze dne 29.11.2016.

Obsah

Popis úkolu z přihlášky projektu	1
Úvod	3
Popis prototypu	3
Průmyslový robot	3
Trekovací (záznamové) zařízení včetně kontroleru	4
Virtuální simulační model - Digital Twin	5
Lakovací buňka s robotem	6
Provizorní lakovací buňka (pracoviště ZČU)	6
Reálná lakovací buňka	7
Foto a video dokumentace prototypu	11
Reference	12

Popis úkolu z přihlášky projektu

Zásadní inovace v oblasti nabízení robotických buněk především středním a malým firmám (robotizace výroby/technologie). Vyvinutý prototyp umožní intuitivní a snadné zadávání trajektorie průmyslového robotu v buňce prostřednictvím záznamu skutečného pohybu pracovního nástroje vedeného operátorem během reálného technologického procesu. Zásadní úspory financí a času z důvodu omezení nutnosti přeprogramování robotu kvalifikovaným externím integrátorem. Přirozená možnost integrovat technickou zdatnost lidského operátora do zaznamenané trajektorie.

Úvod

Předložená dokumentace shrnuje popis hlavního výsledku projektu [Gprot] Prototyp robotické buňky osazené záznamovým zařízením (pilotní aplikace), který představuje kompletní technologie robotu osazeného vyvinutým trekovacím zařízením, která je určena pro použití v procesu lakování. Pohyb lakovací pistole operátora je zaznamenán, zpracován a zpětně reprodukován průmyslovým robotem.

Popis prototypu

Hlavní výsledek projektu [Gprot] Prototyp robotické buňky osazené záznamovým zařízením (pilotní aplikace) sestává:

1. Průmyslového robotu - Fanuc (LRMate 200iD, M800iA60 - jen částečné testy)
2. Trekovacího zařízení včetně kontroleru s řídicím systémem
3. Virtuálního simulačního modelu - Digital Twin
4. Lakovací buňky, komory

Průmyslový robot

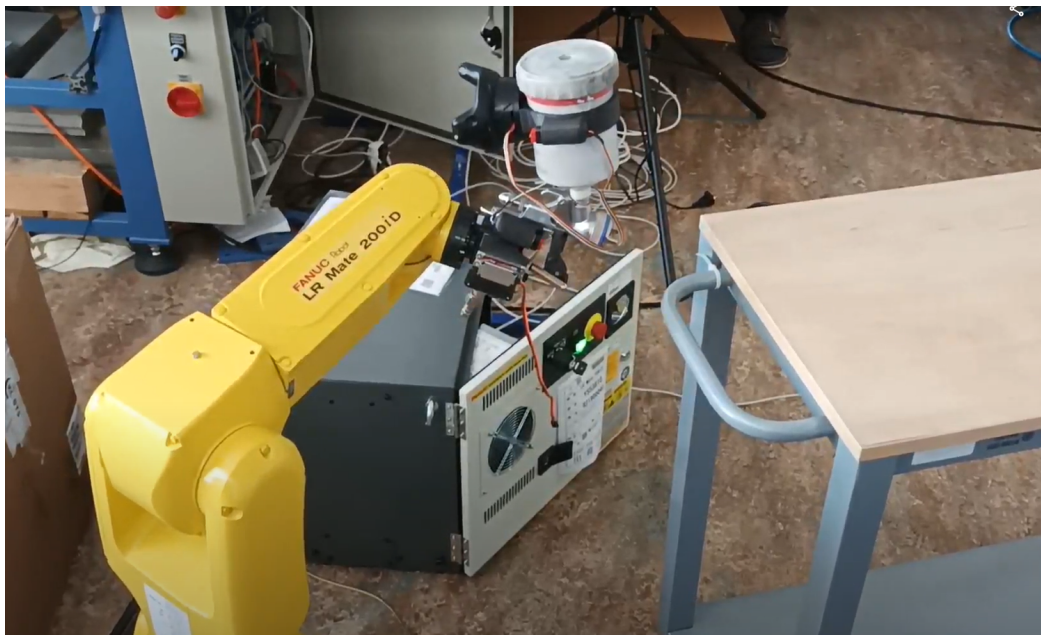
Přesto, že v rámci testování vyvinutého trekovacího zařízení byl použit převážně robot Stäubli TX40², viz protokol o testování prototypu [5], cílovou platformou použití jsou roboty Fanuc. V rámci prototypu (pilotní aplikace) byly použity dva typy robotů:

- Fanuc M800iA60, viz Obrázek 1 (částečné testy - ovládání robotu, kalibrace, trekování)
- Fanuc LRMate 200iD, viz Obrázek 2 (plné testy - ovládání robotu, kalibrace, trekování, replikace pohybu)



Obrázek 1: Osazené trekovací zařízení na robotu Fanuc M800iA60 (vlevo), testování trekování pohybu operátora

² Robot je ve vlastnictví ZČU a je HW a SW uzpůsoben tak, že je z hlediska řízení zcela otevřený k integraci nadřazeného řídicího systému reálného času, interface uniVAL Drive + EtherCAT, viz [1].



Obrázek 2: Osazené trekovací zařízení na robotu Fanuc LR Mate 200iD a testování replikace pohybu operátora

Trekovací (záznamové) zařízení včetně kontroleru

Samotné trekovací zařízení je podrobně dokumentováno v následujících technických zprávách:

1. Podrobný popis implementace řídicího systému (firmwaru) trekovacího zařízení včetně komunikačního rozhraní s roboty Fanuc a Staubli [7]:

**M. Švejda, A. Jáger, J. Reiting, M. Goubej, O. Severa: Řídicí systém prototypu (Implementační dokumentace), ZČU, 2021.
RIV výsledek typu [O]**

2. Uživatelská dokumentace řídicího systému (firmwaru) trekovacího zařízení [2]:

**M. Švejda, O. Severa, M. Goubej: Software zpracování dat senzorického systému, řídicí systém (Uživatelská dokumentace), ZČU, 2021.
RIV výsledek typu [R]**

3. Výkresová dokumentace prototypu trekovacího zařízení, protokol o testování prototypu [3, 5]:

**M. Švejda, A. Jáger: Kompletní dokumentace prototypu (Výkresová a implementační dokumentace, protokol z testování), ZČU, 2021.
RIV výsledek typu [O]**

4. Uživatelská dokumentace prototypu trekovacího zařízení [4]:

M. Švejda, A. Jáger, J. Reitinger, O. Severa: Prototyp záznamového zařízení (Uživatelská dokumentace), ZČU, 2021.
RIV výsledek typu [Gprot]

5. Dodatková dokumentace pilotní aplikace, protokol o testování prototypu [6]:

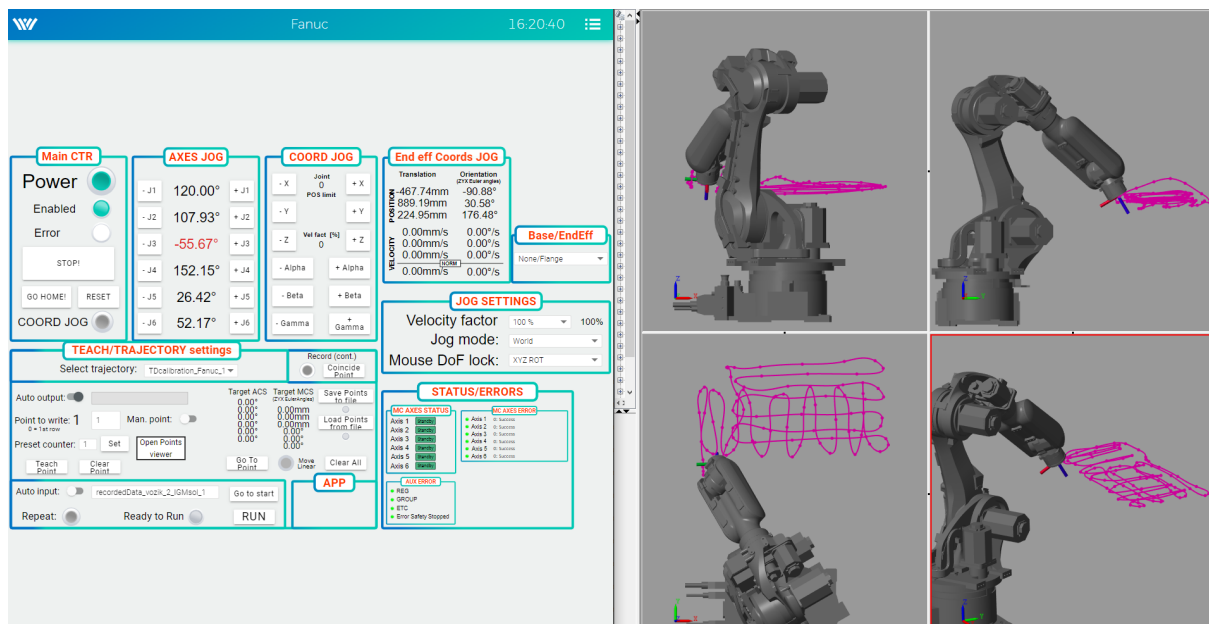
M. Švejda, A. Jáger, V. Štrunc, Š. Trousil: Kompletní dokumentace pilotní aplikace (Výkresová a implementační dokumentace, protokol z testování), ZČU, LT, 2021.
RIV výsledek typu [O]

Virtuální simulační model - Digital Twin

Virtuální simulační model celé pilotní aplikace byl vytvořen v prostředí Matlab/Simulink³, konkrétně v toolboxu SimScape-Multibody⁴. Virtuální simulační model byl propojen s reálným řídicím systémem robotu prostřednictvím komunikačního protokolu RESTful API⁵.

Byly vytvořeny dva virtuální simulační modely pro roboty Fanuc (M800iA60 resp. LRmate 200iD). Uživatelské rozhraní řídicího systému robotu se zobrazeným virtuálním modelem (Digital Twin) ukázáno na Obrázku 3 resp. 4.

Video z ukávek virtuálních simulačních modelů jsou dostupná na následujícím odkazu:
https://drive.google.com/drive/folders/1eb16qejYdj_zk5omRMNpzx9tCqzgi4YH?usp=sharing

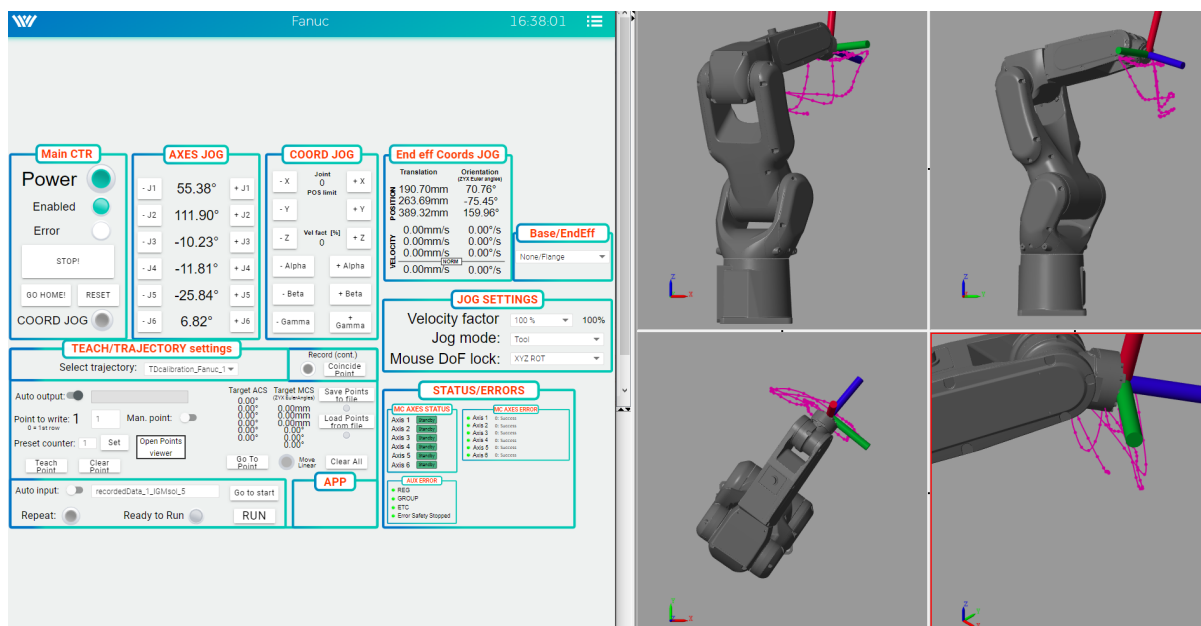


Obrázek 3: Virtuální simulační model s robotem Fanuc M800iA60

³ <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>

⁴ <https://www.mathworks.com/products/simscape-multibody.html>

⁵ https://www.rexygen.com/doc/ENGLISH/MANUALS/RexRestApi/RexRestApi_ENG.html



Obrázek 4: Virtuální simulační model s robotem Fanuc LR Mate 200iD

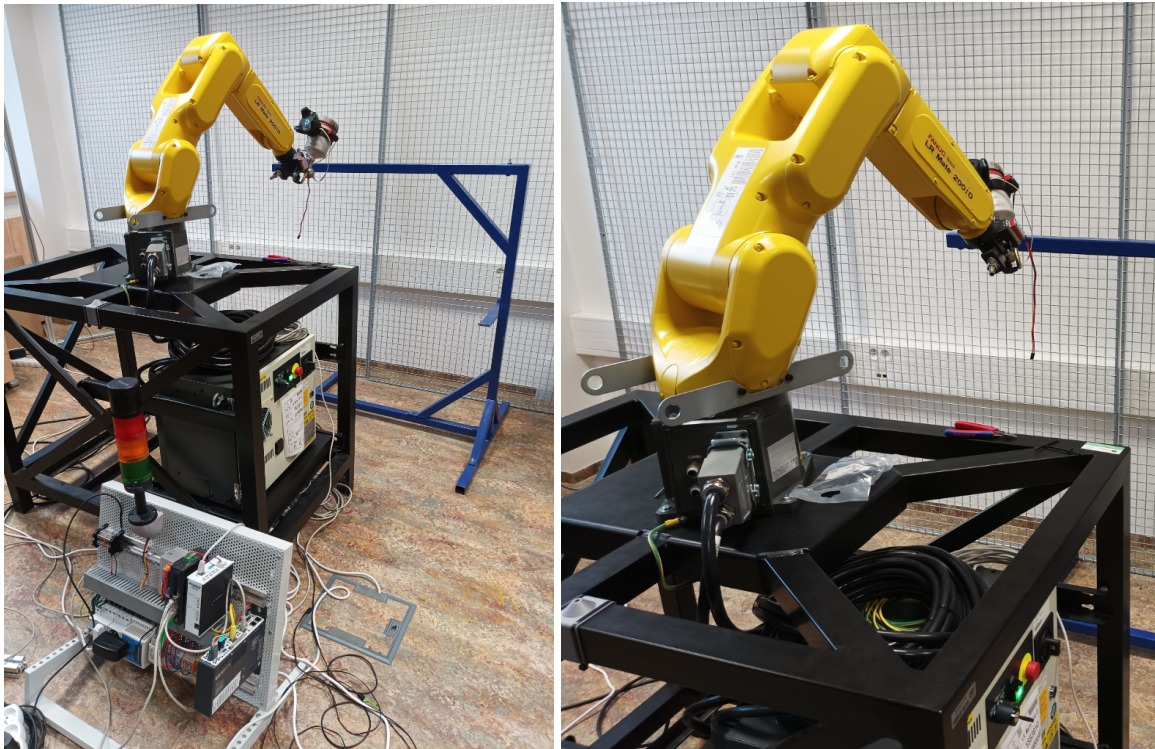
Lakovací buňka s robotem

Lakovací buňka s robotem osazeným trekovacím zařízením byla realizována ve dvou koncepcích, a to pro testovací účely (na pracovišti ZČU) a pro reálné použití v lakovacím procesu (na pracovišti LT). Taková koncepce umožnila apriori odladit nezbytné technicko-organizační aspekty, které nebylo možné v rámci výzkumně-vývojových prací předpokládat.

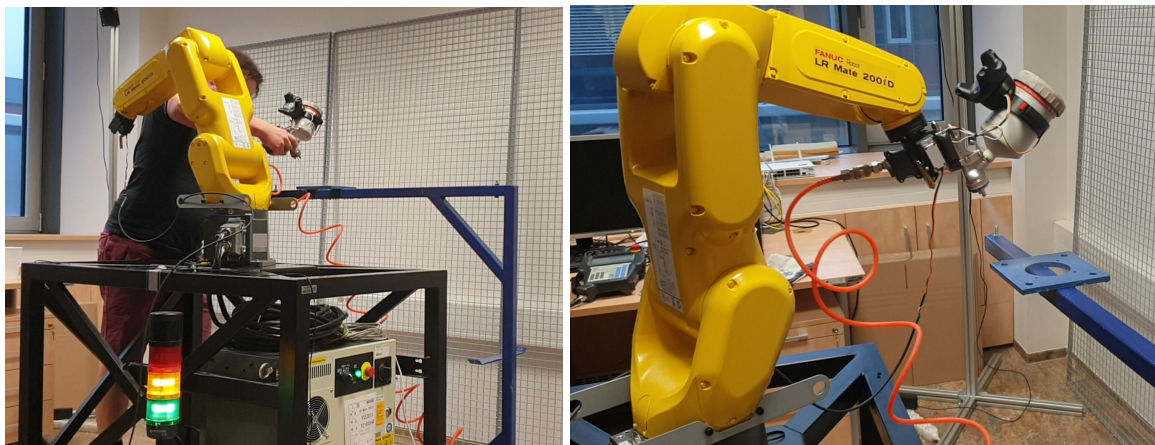
Provizorní lakovací buňka (pracoviště ZČU)

Provizorní lakovací buňka je umístěna v laboratoři na pracovišti ZČU a osazena robotem Fanuc LR Mate 200iD. V rámci provizorní lakovací buňky bylo využito připojení stříkací pistole na tlakový vzduch z kompresoru a jako náplň byly z bezpečnostních důvodů zvolena pouze voda ("lakovaný" díl byl oplachován vodním aerosolem), viz Obrázek 5.

V rámci testů byly realizovány všechny postupy pro učení pohybu se stříkací pistolí a automatické replikace pohybu robotem, viz Obrázek 6.



Obrázek 5: Uspořádání provizorní lakovací buňky v laboratoři ZČU



Obrázek 6: Učení pohybu během technologického procesu (vpravo), automatická replikace pohybu robotem

Reálná lakovací buňka

Reálná lakovací buňka byla realizována přímo na pracovišti hlavního řešitele projektu LT ve spolupráci s firmou JANTAR Plzeň s.r.o.

Robot Fanuc LR Mate 200iD byl společně s transportním nosným rámem instalován přímo v průmyslové lakovací komoře. Do komory byly umístěny stojany s bázovými stanicemi trekovacího systému, viz Obrázek 7.

V rámci testu pilotní aplikace byly použity kovové tvarované a svařované komponenty, viz Obrázek 8, které byly uchyceny dle pravidel pro mokré lakování dílů na stabilizační konstrukci, viz Obrázek 9.

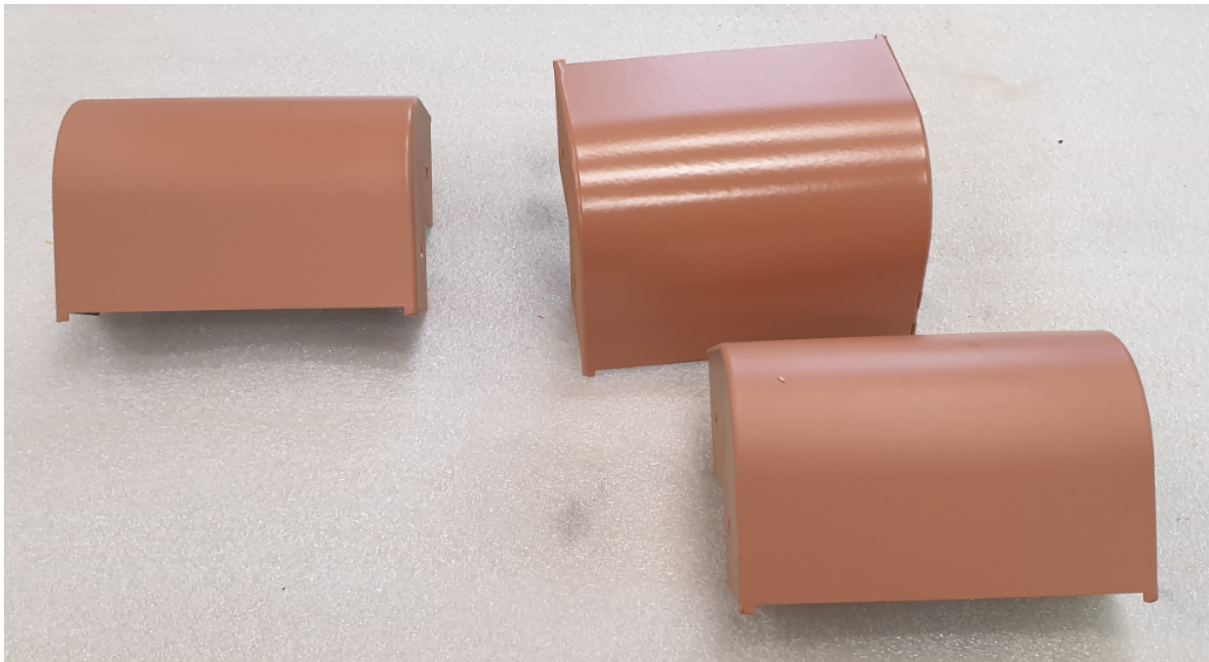
Reálný lakovací proces byl za účelem naučení pohybu proveden zkušeným lakýrníkem, viz Obrázek 10.

Po zpracování naučeného pohybu SW trekovacího zařízení s datovým postprocesorem (grafické výstupy postprocesoru dat jsou znázorněny na Obrázku 12) byl pohyb replikován robotem s usazenou lakovací pistolí, viz Obrázek 11. Na grafických výstupech je patrný opravný mechanismus filtrace dat, kdy je tzv. “ústřel” při záznamu pohybu korigován nekauzálním filtračním algoritmem.

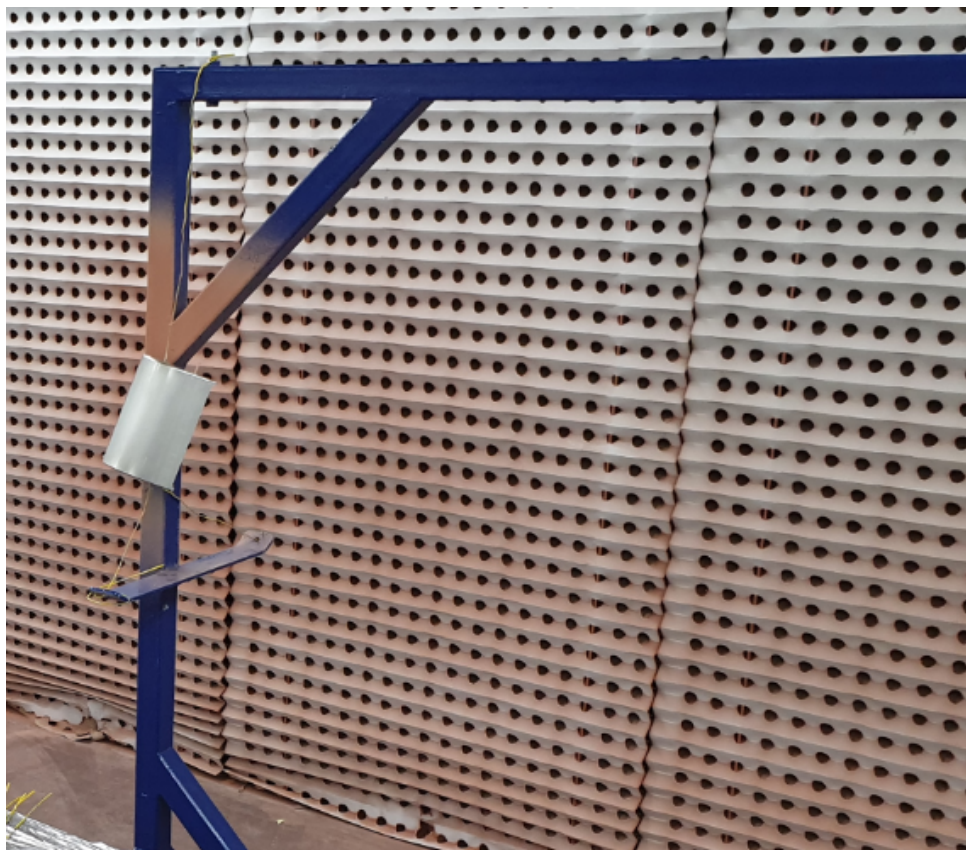
Foto a video dokumentace včetně výsledného souhrnného videa hlavních výstupů projektu je uvedena v kapitole [Foto a video dokumentace prototypu](#).



Obrázek 7: Lakovací buňka s robotem včetně operátorského pracoviště



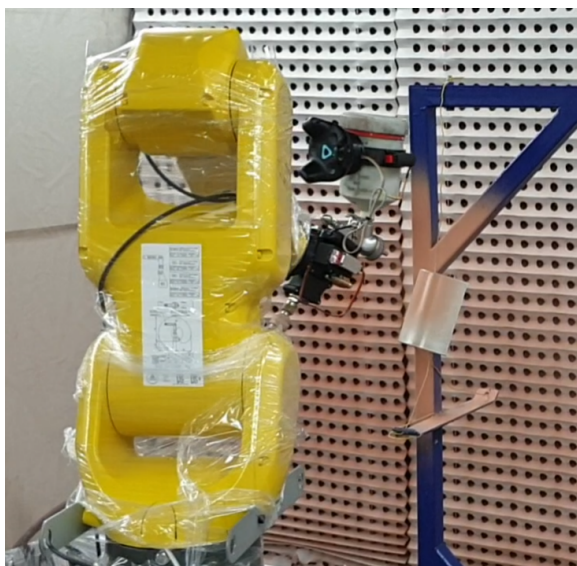
Obrázek 8: Komponenty po procesu lakování lakýrníkem (vlevo) a robotem



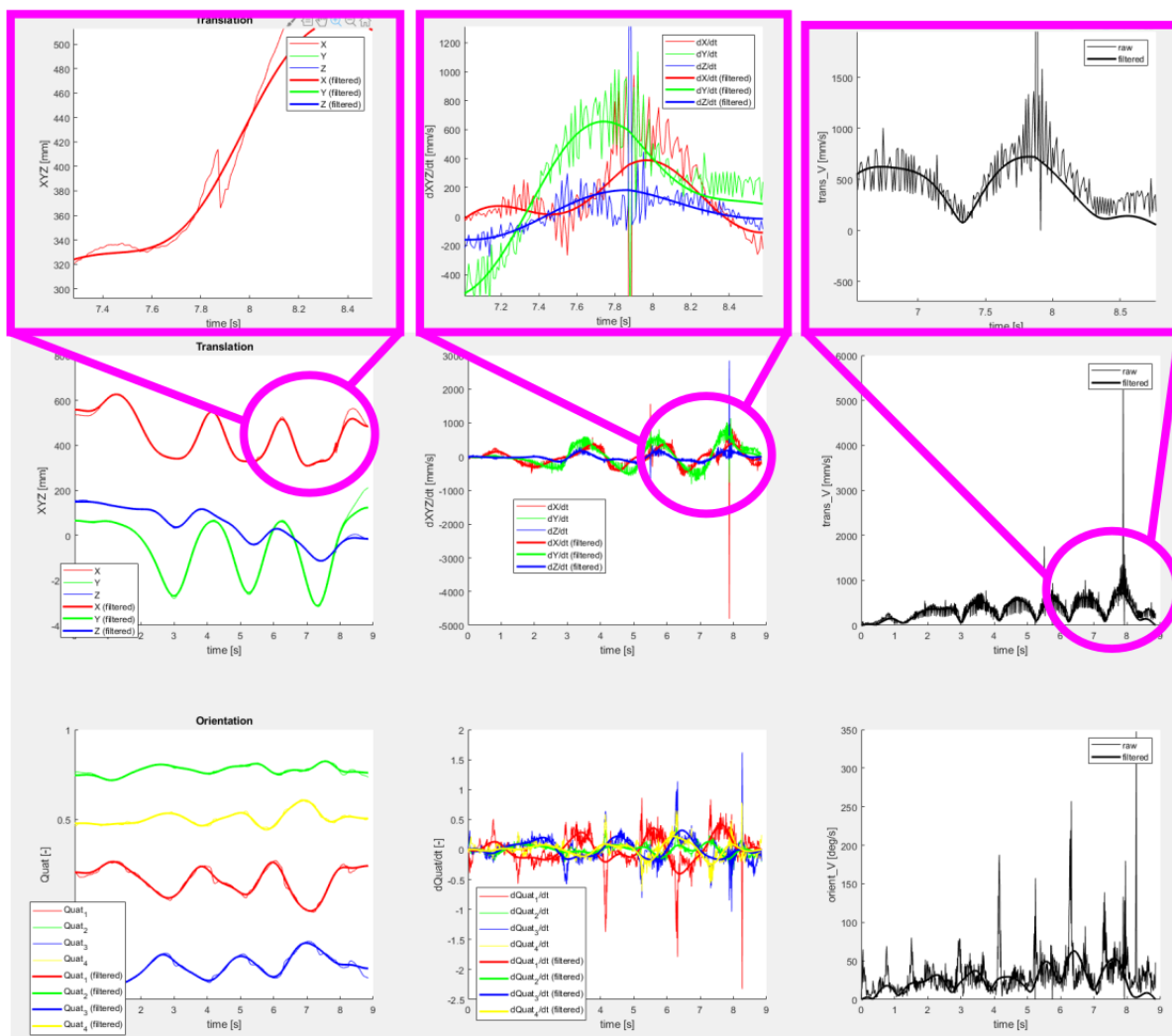
Obrázek 9: Konstrukce k uchycení a stabilizaci polohy dílu



Obrázek 10: Lakýrník při učení pohybu lakovací pistole během reálného procesu lakování



Obrázek 11: Replikace pohybu robotem a automatické lakování dílu



Obrázek 12: Grafický výstup postprocesoru dat (zaznamenané a filtrované polohy a rychlosti pracovního nástroje), detail korekce "ústřelu" polohy

Foto a video dokumentace prototypu

Dostupná na odkaze:

<https://drive.google.com/drive/folders/1tjkGBWktvbPa4vor76TDkFDXvljhySGo?usp=sharing>

Reference

- [1] J. Reitinger, V. Šetka, M. Švejda: *Software interfacu s průmyslovým robotem (Implementační a uživatelská dokumentace)*, ZČU, 2020.
- [2] M. Švejda, O. Severa, M. Goubej: *Software zpracování dat senzorického systému, řídicí systém (Uživatelská dokumentace)*, ZČU, 2021.
- [3] M. Švejda, A. Jáger: *Kompletní dokumentace prototypu (Výkresová a implementační dokumentace, protokol z testování)*, ZČU, 2021.
- [4] M. Švejda, A. Jáger, J. Reitinger, O. Severa: *Prototyp záznamového zařízení (Uživatelská dokumentace)*, ZČU, 2021.
- [5] *Protokol o testování prototypu záznamového zařízení*, ZČU, 2021.
- [6] M. Švejda, A. Jáger, V. Štrunc, Š. Trousil: *Kompletní dokumentace pilotní aplikace (Výkresová a implementační dokumentace, protokol z testování)*, ZČU, LT, 2021.
- [7] M. Švejda, A. Jáger, J. Reitinger, M. Goubej, O. Severa: *Řídicí systém prototypu (Implementační dokumentace)*, ZČU, 2021.