



BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA

**SOUČASNÝ STAV A ROZVOJ
SILNIČNÍ INFRASTRUKTURY STÁTU A REGIONŮ**

Robotické dotříd'ování stavebně-demoličního odpadu

Václav Nežerka, Jan Valentin, Tomáš Zbíral
Fakulta stavební ČVUT v Praze

Damien Salle
Fundacion Tecnalia Research (Španělsko)

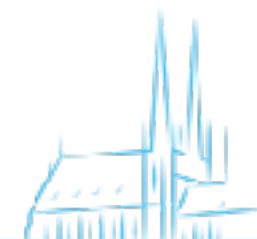
Silnička 32



BRNO 10.–11. 9. 2025

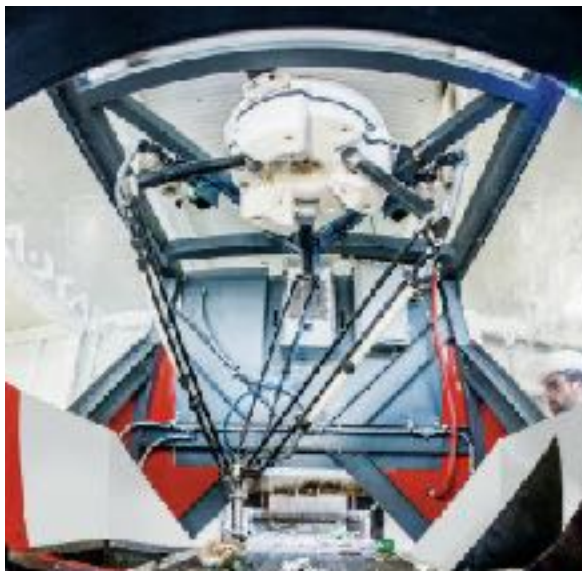
32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



MOTIVACE VÝZKUMU A VÝVOJE

- Využití efektivních logistických konceptů a digitalizovaného nakládání s odpady u recyklátorů
 - Zavedení automatizovaných robotických řešení pro třídění a zpracování odpadu
 - Vyhnout se řešením, kde vyšší míra opětovného použití/recyklace vede k vyšší uhlíkové stopě.
-
- Recyklační centra s využitím kamer a monitoringem stopy odpadu.
 - Automatizace třídění směsného SDO – semimobilní robotické řešení pro dotřídřování.





BRNO 10.–11. 9. 2025

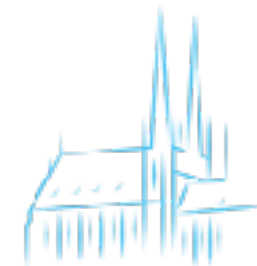
32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA

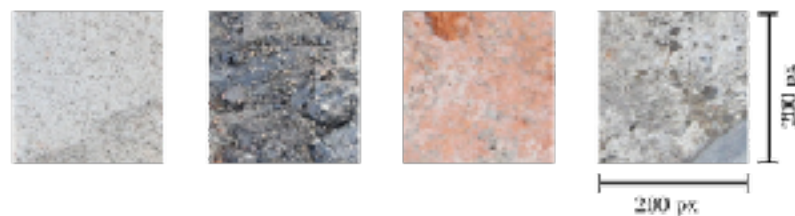
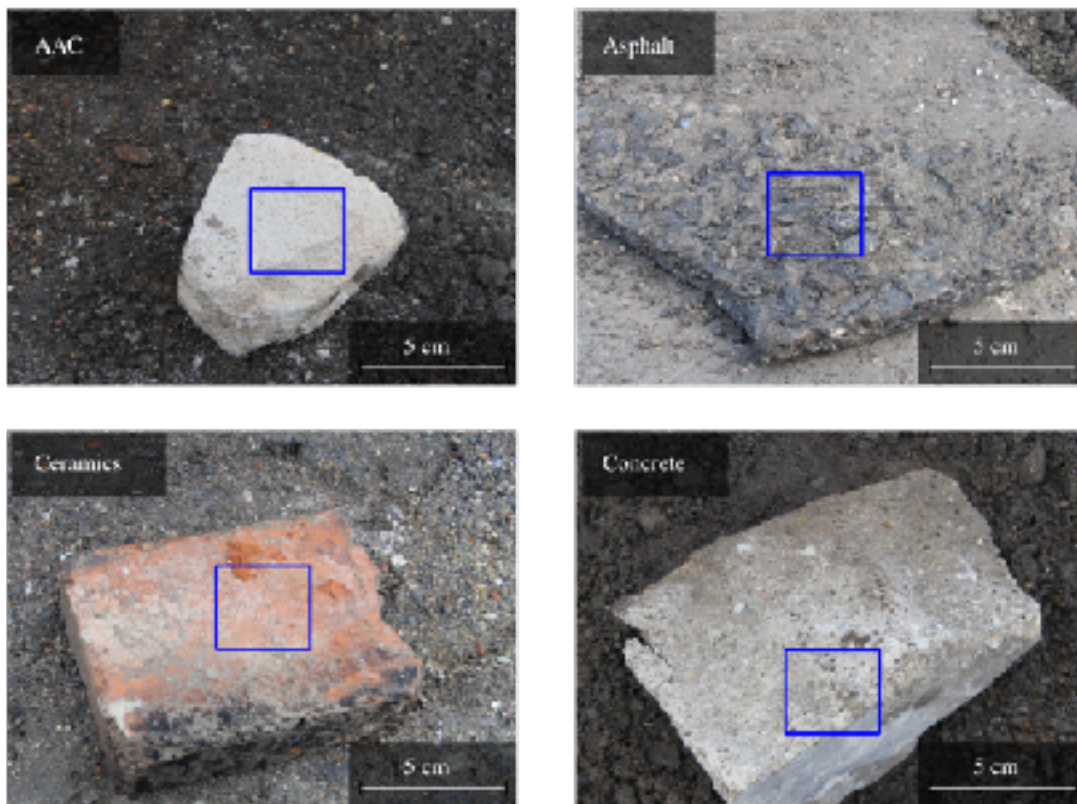
EFEKTIVITA

UDRŽITELNOST

INOVACE



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Získávání dat pro trénování modelu



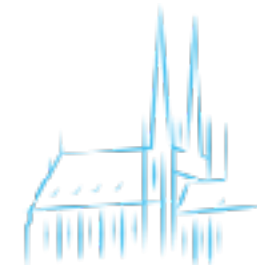
Silnička 32



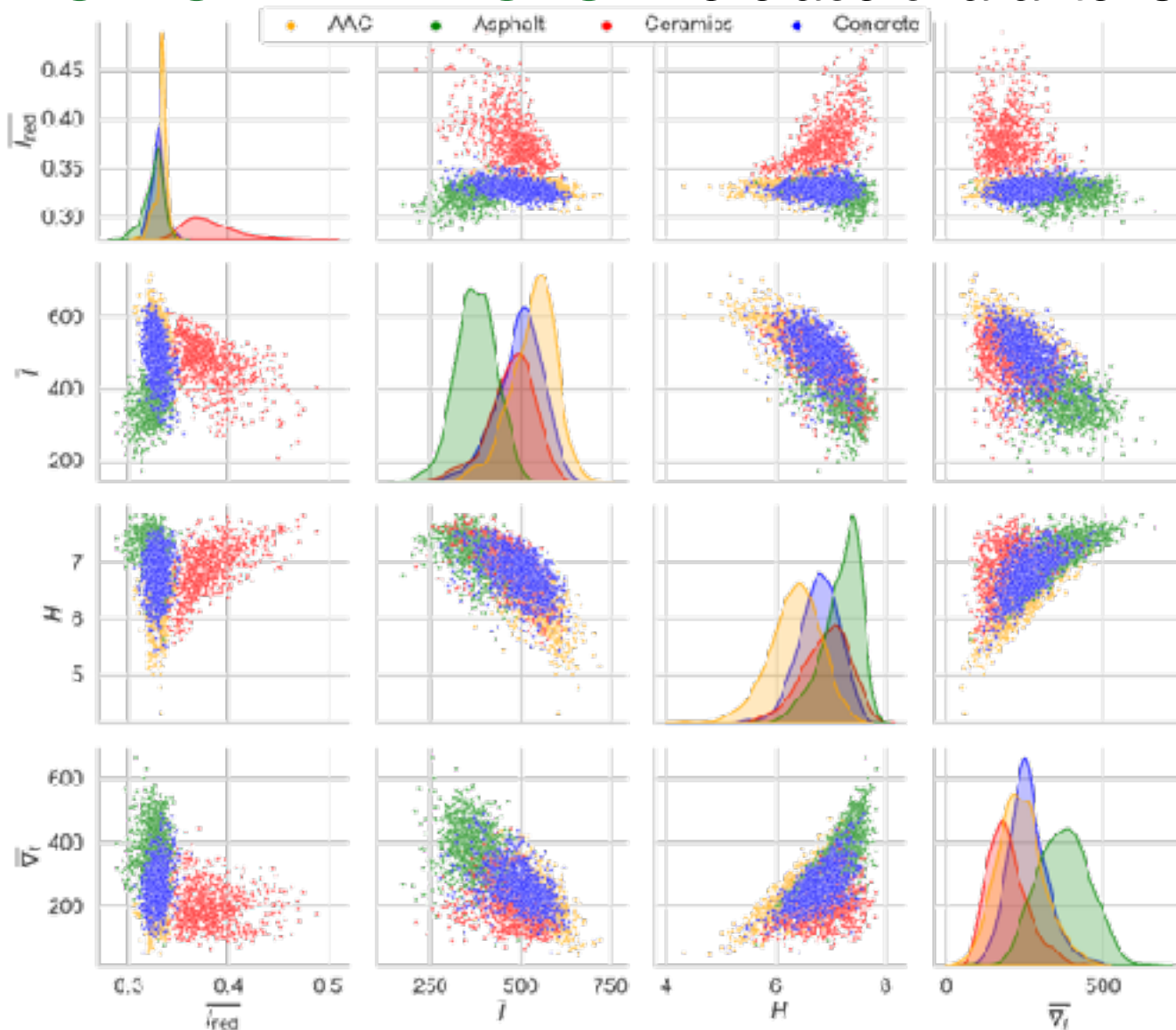
BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Korelace charakteristik textury



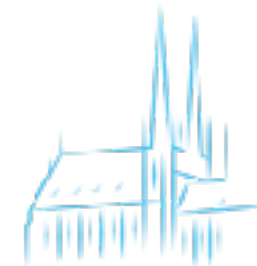
Asphalt = znovuzískaná asfaltová směs

Concrete = recyklovaný beton

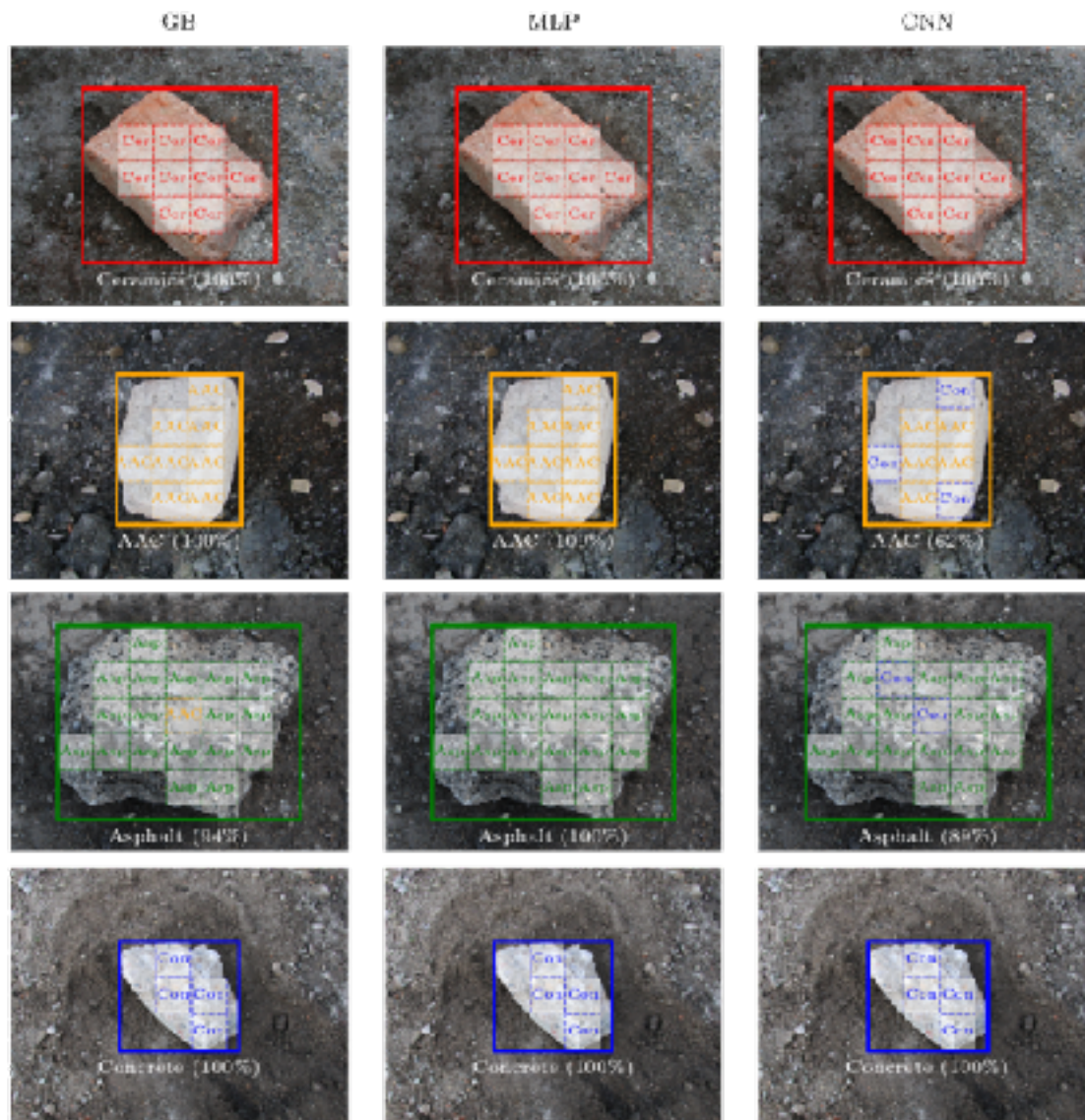
Ceramics = cihelné zdivo

AAC = pórobeton

Silnička 32

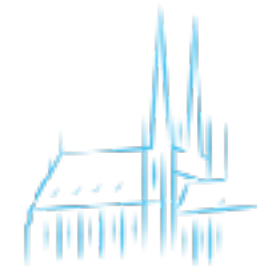


ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Lokalizace a rozpoznávání



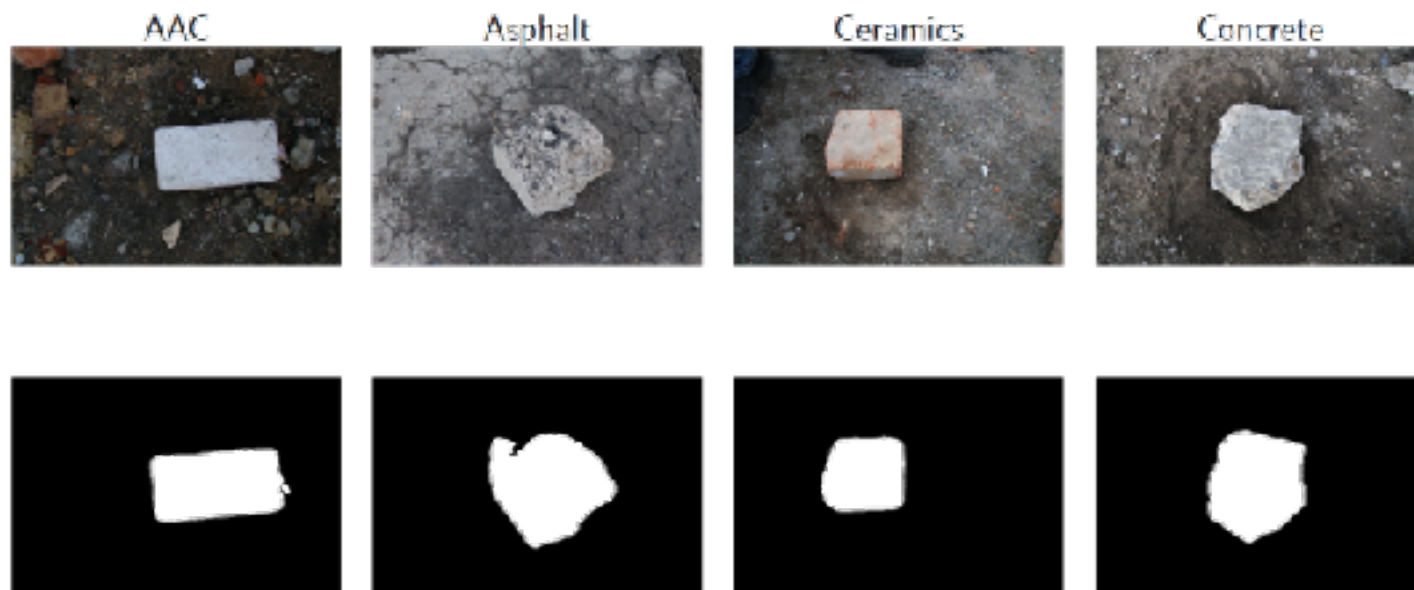
Classifier	AAC (582 images)	Asphalt (741 images)	Ceramics (572 images)	Concrete (769 images)	Complete dataset (2664 images)
GB	86.9%	93.9%	99.1%	89.7%	92.3%
MLP	89.4%	93.8%	98.4%	85.2%	91.3%
CNN	56.7%	97.2%	99.0%	87.5%	85.9%



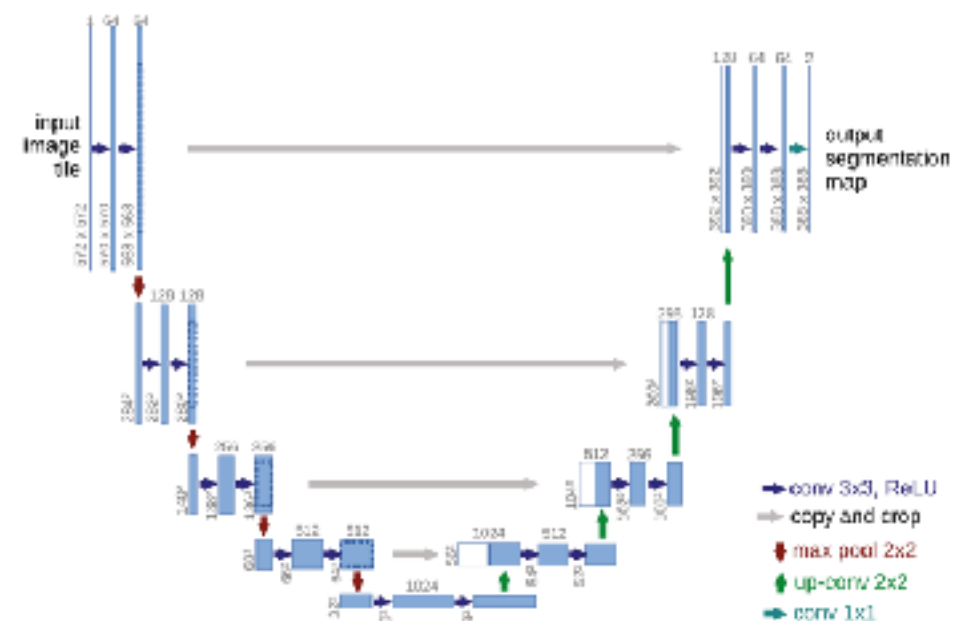


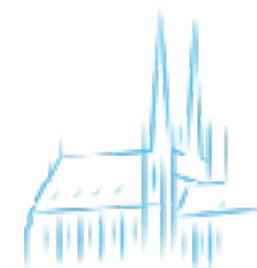
ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Segmentace (více fragmentů najednou)

Masky skutečných hodnot



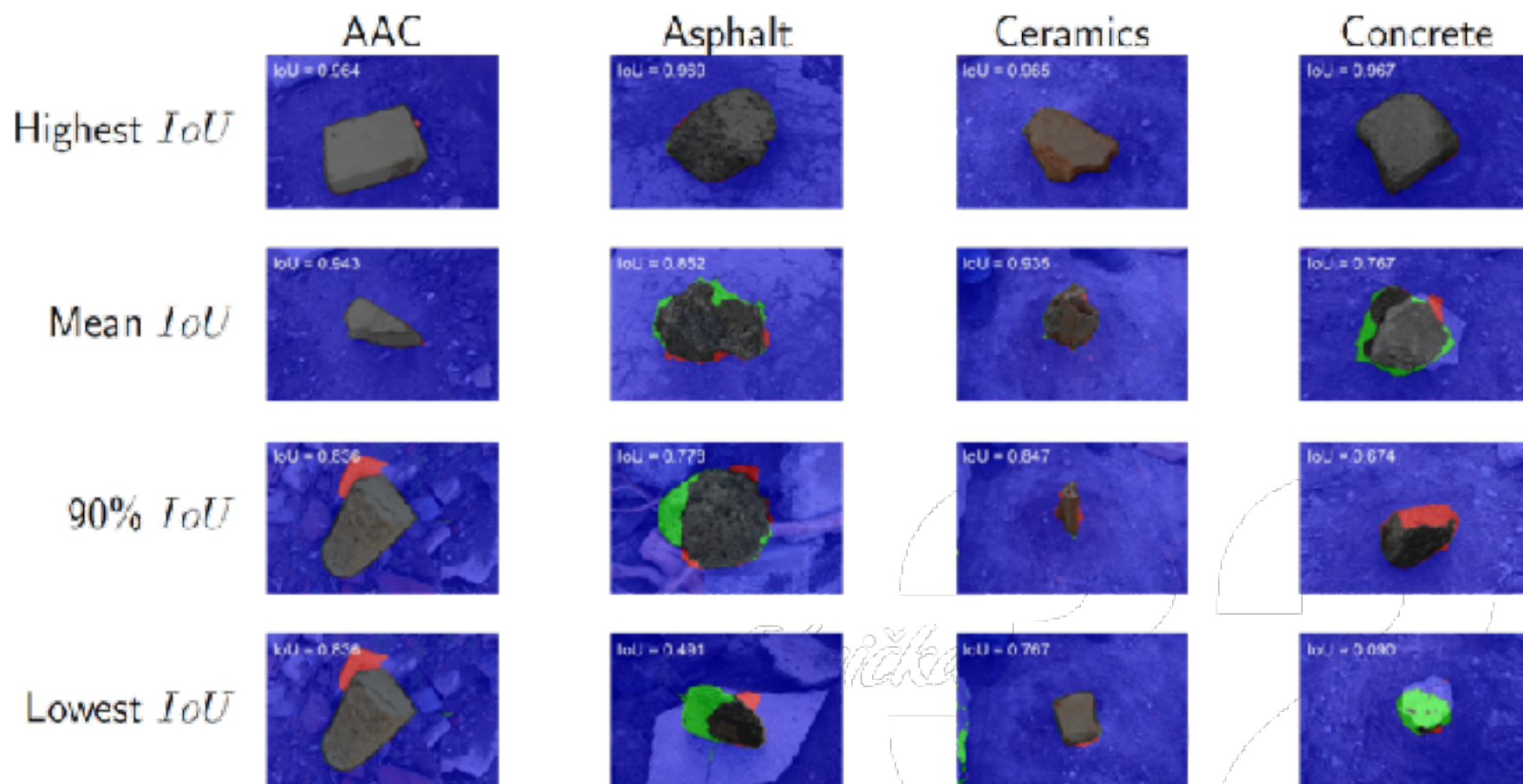
Metoda U-Net pro segmentaci snímků

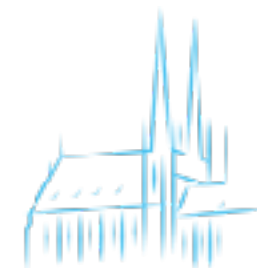




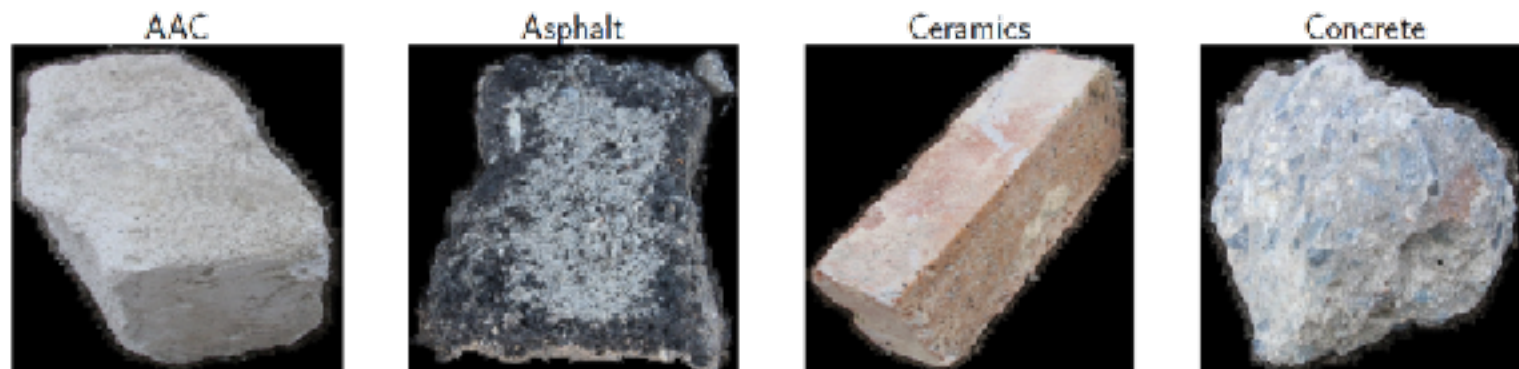
ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Segmentace (více fragmentů najednou) – Průnik nad sjednocením (IoU)

Class	Mean IoU
AAC	0.943
Asphalt	0.865
Ceramics	0.935
Concrete	0.767

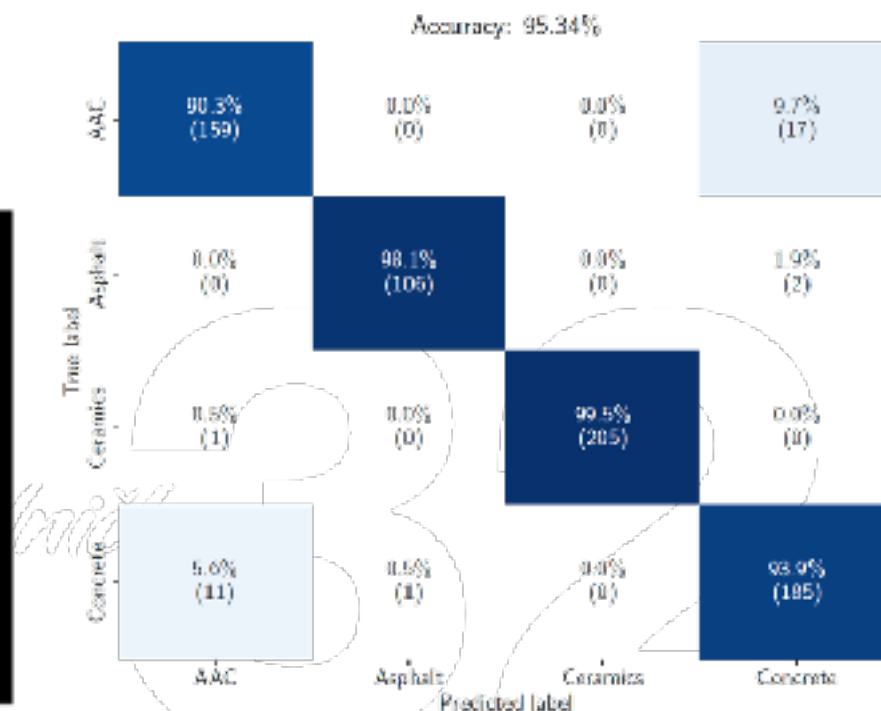
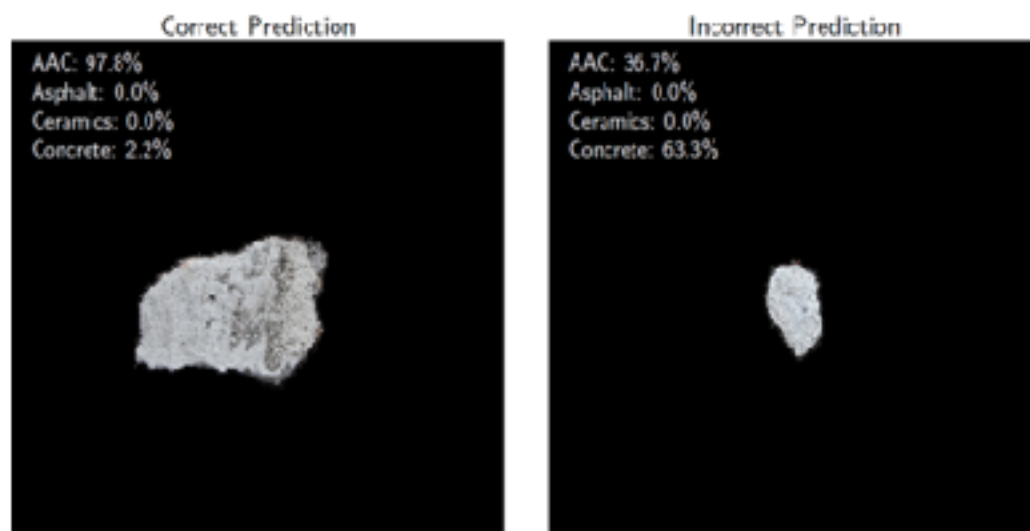




ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Segmentace (více fragmentů najednou) – použití ResNet pro klasifikaci



Model	Accuracy (%)
CNN	85.9%
GB	92.3%
MLP	91.3%
ResNet	95.3%

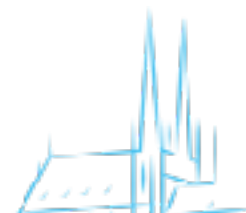




BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Podrobnější vysvětlení



Automated Solutions for
Sustainable and Circular
Construction and Demolition
Waste Management

Czech Technical University in Prague

D4.1 AI-based CDW classification software utilizing
low-cost sensors' inputs

Contract No: 101058580

June, 2024



Funded by
the European Union

This project is funded by the European Union under Grant Agreement No. 101058580.

WOODHEAD PUBLISHING SERIES IN CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING



ADVANCES IN CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE RECYCLING

DIGITAL TECHNOLOGIES, MANAGEMENT,
PROCESSING AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT



Edited by
F. PACHECO-TORGAL
FRANCESCO COLANGELO
RABIN TULADHAR
YINING DING
XIN-YU ZHAO
AND ALEXANDER KOUTAMANIS

Computer vision-assisted classification of recycled aggregates

V. Kuchelov, T. Zbiral and F. Valentin

Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic

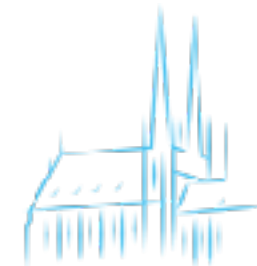
4.1 Introduction

The construction industry significantly drives global economic growth, contributing around 25% to the world's GDP and employing 7% of the population (Nouzei et al., 2021). In the European Union alone, the construction sector employed 15 million people in 2020 (Benachio et al., 2020). However, this prosperity comes with significant environmental costs. The industry is a major consumer of raw materials, using up to 30%–40% of all extracted natural resources globally (Darko et al., 2020; Pacheco et al., 2021), and generating 25%–40% of the world's waste (Nadei et al., 2017). Additionally, it is responsible for up to 15% of anthropogenic CO₂ emissions (Mehpour, 2018). In 2019, construction and demolition waste (CDW) production in the EU alone was estimated at a staggering 10 billion tons per year.¹

To steer toward sustainable development, managing this waste efficiently and adopting circular economy principles in construction is crucial (Habeeb et al., 2022). The European Parliament and the Commission, recognizing this need, issued Directive No 98/2008 in 2008. This directive mandates EU member states to increase their recycling rates to at least 70% by weight starting in 2020. While the average CDW recycling rate in the EU is around 90%,² much of this material is downcycled or used in low-value applications like landfill landscaping or backfilling. Globally, rapidly developing countries like China are even larger producers of CDW, generating two billion tons annually, surpassing the combined output of all EU states (Zheng et al., 2017). Managing waste effectively and embracing circular economy principles are vital steps toward sustainable development (Jensen et al., 2020; Orlinje et al., 2022). The EU's directive to increase recycling rates is a positive step toward sustainability, further strengthened by current EU taxonomy rules and requirements. However, despite these high recycling rates, much of the CDW is still underutilized. This issue is prevalent worldwide, with major CDW producers like China facing similar challenges (Zheng et al., 2017).

¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=sdg12.2.1>

² <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=sdg12.2.1>



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Zajištění minerálního odpadu opakovaným vzorkováním

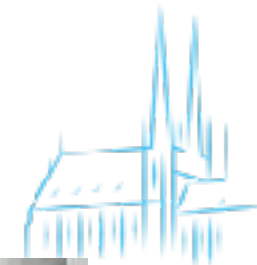




BRNO 10.–11. 9. 2025

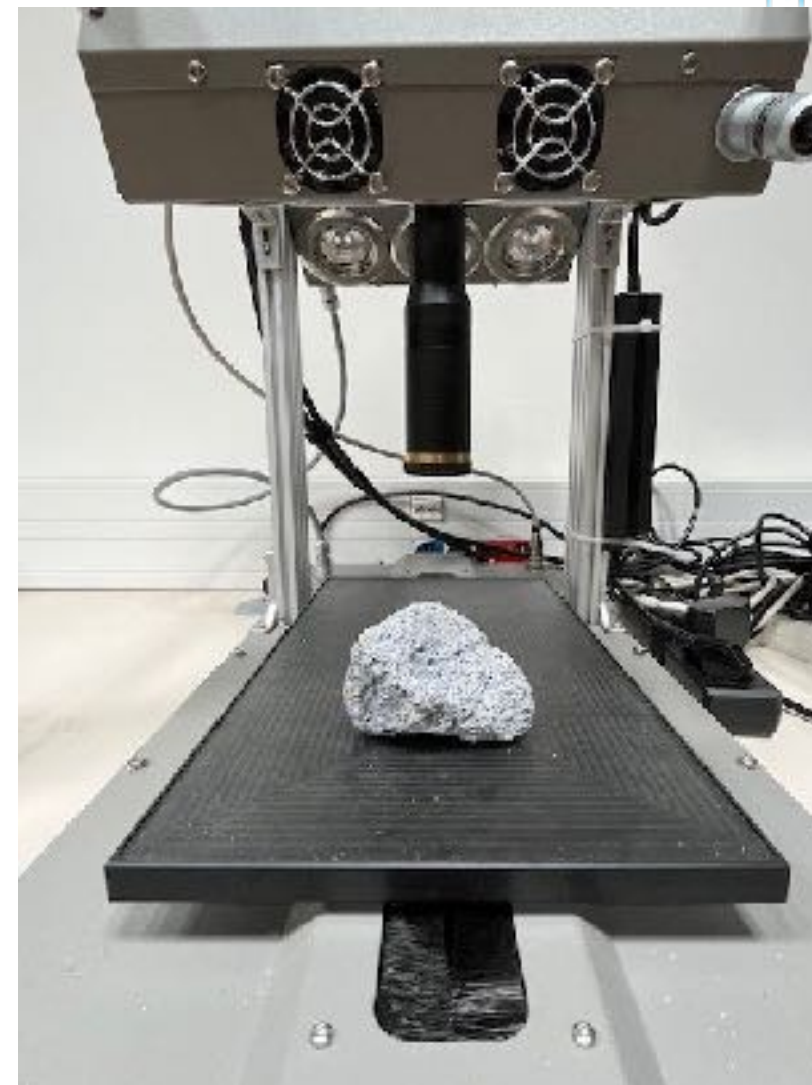
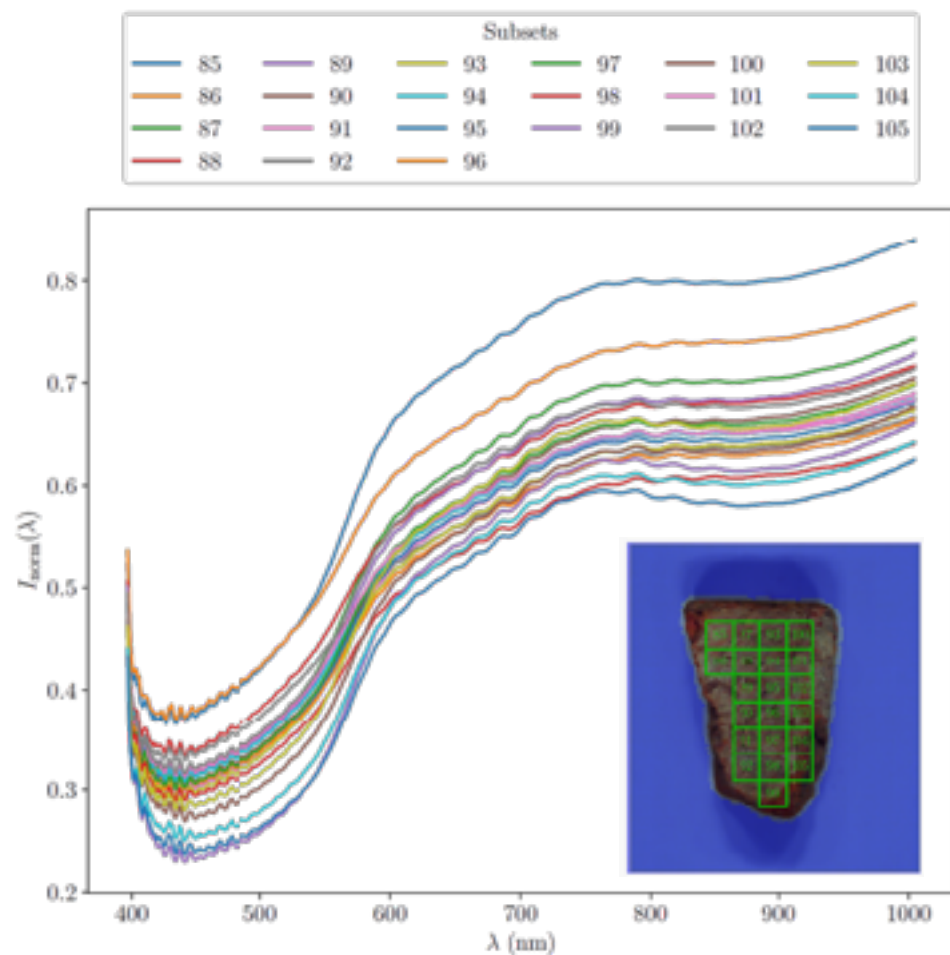
32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Hyperspektrální snímkování

* Z dalšího experimentálního vývoje byly vyloučeny: hmotnosti elementu, ultrazvukové senzory, jiné kontaktní senzory

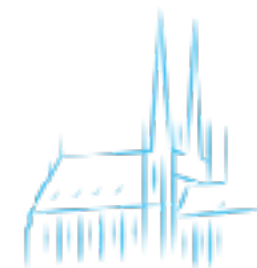




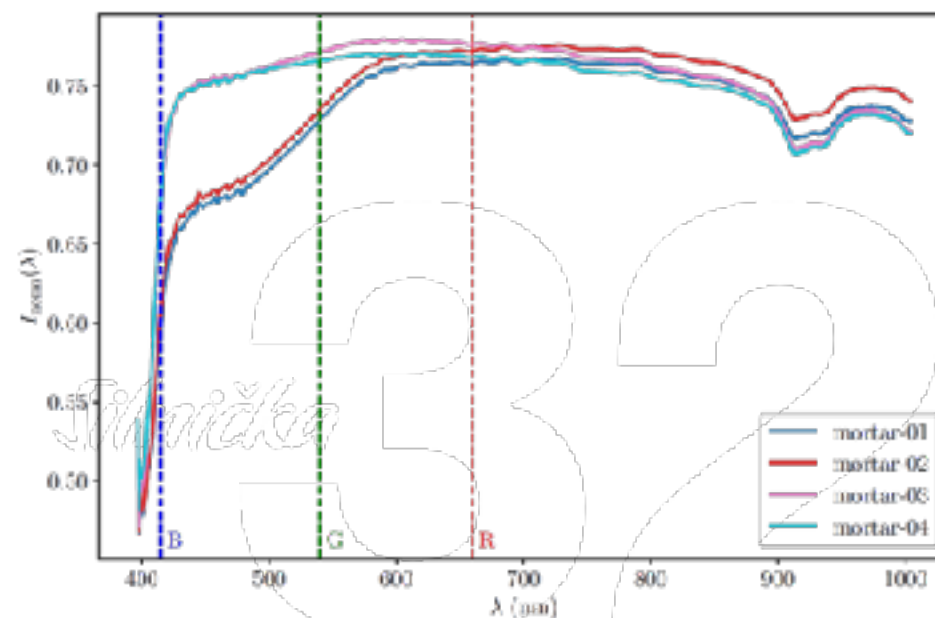
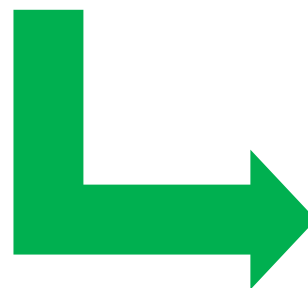
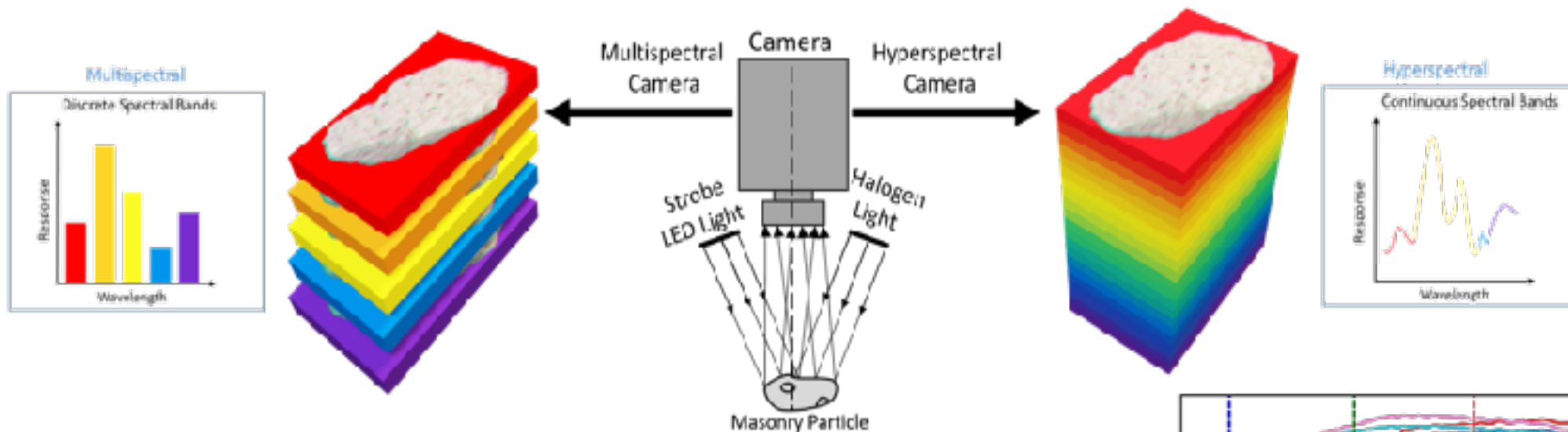
BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Hyperspektrální snímkování

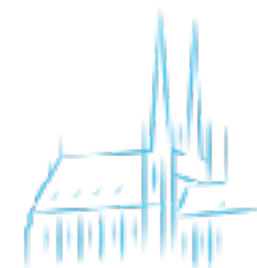




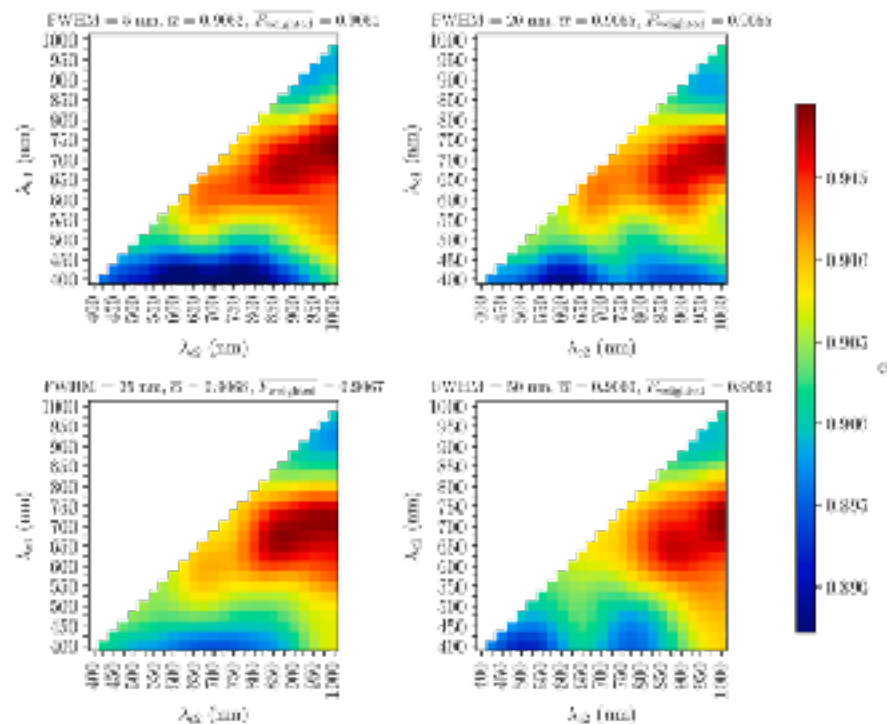
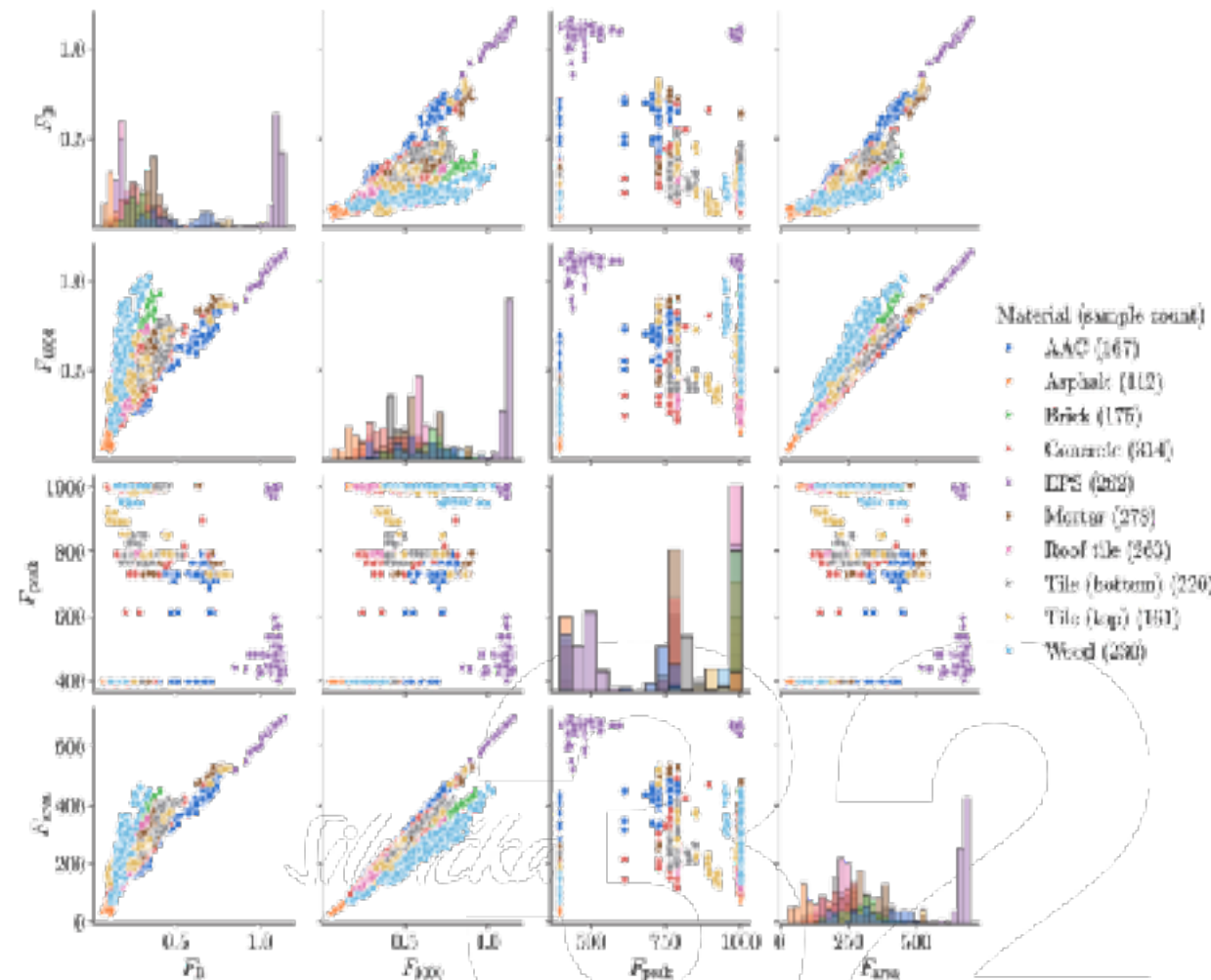
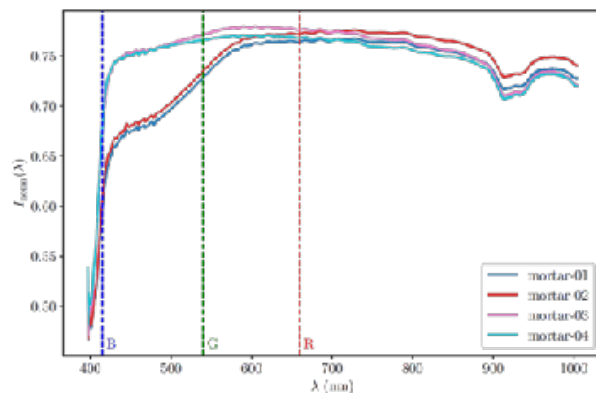
BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Hyperspektrální snímkování



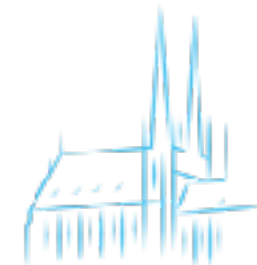
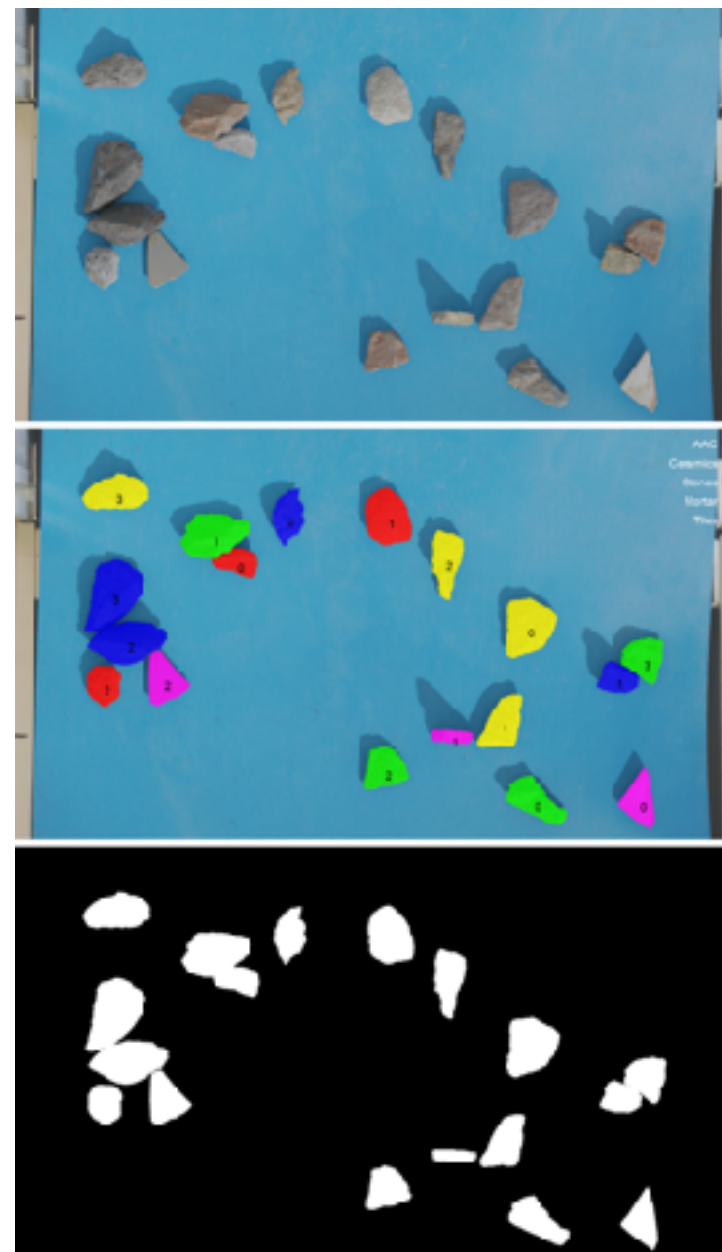


BRNO 10.-11. 9. 2025

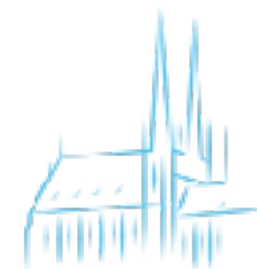
32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA

ROZPOZNÁVÁNÍ SDO I Další kroky



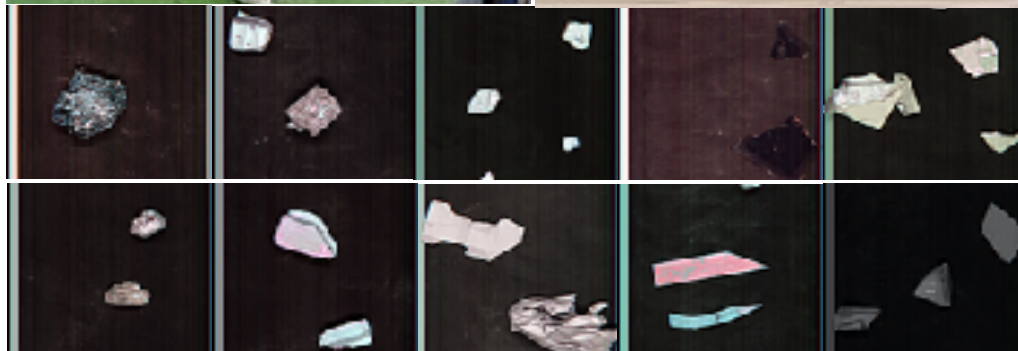
2



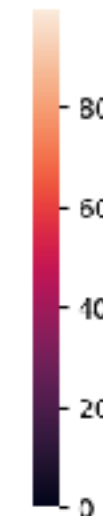
Automatizovaná robotická linka pro off-site dotřídění SDO

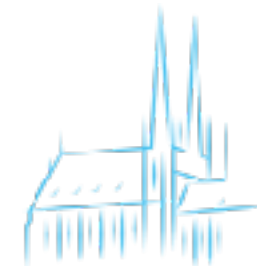
Umělá inteligence pro třídění a sběr SDO

- Generování datového souboru odpadů společnosti RECSO na základě NIR a RGB (asfaltový recyklát, lepenka, keramika, beton, cihly, dřevo, malta, sádrokarton, sklo)
- Modely AI trénované na datech NIR pro klasifikaci různých druhů odpadu
- Integrace modelů AI do řídicího systému robotů a experimentální ověření



Actual \	Agglomerado	Carton	Ceramico	Hormigon	Madera	Vidrio	Yeso	MetalBorde	Background
	85.2	1.2	5.0	3.5	0.6	1.7	0.0	0.5	2.4
	0.0	97.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.2	1.5
	1.6	0.3	76.5	16.2	2.0	0.3	0.6	0.3	2.2
	3.8	0.1	6.3	84.5	1.2	0.5	0.4	0.7	2.5
	0.0	0.6	0.1	0.0	96.7	0.0	0.0	0.1	2.5
	1.8	0.1	0.2	0.1	0.0	77.0	0.0	0.1	20.6
	0.0	0.1	2.0	5.3	18.5	0.1	71.5	0.0	2.4
	11.6	0.1	0.0	3.3	0.0	0.3	0.0	82.2	2.4
	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	99.7
Predicted									



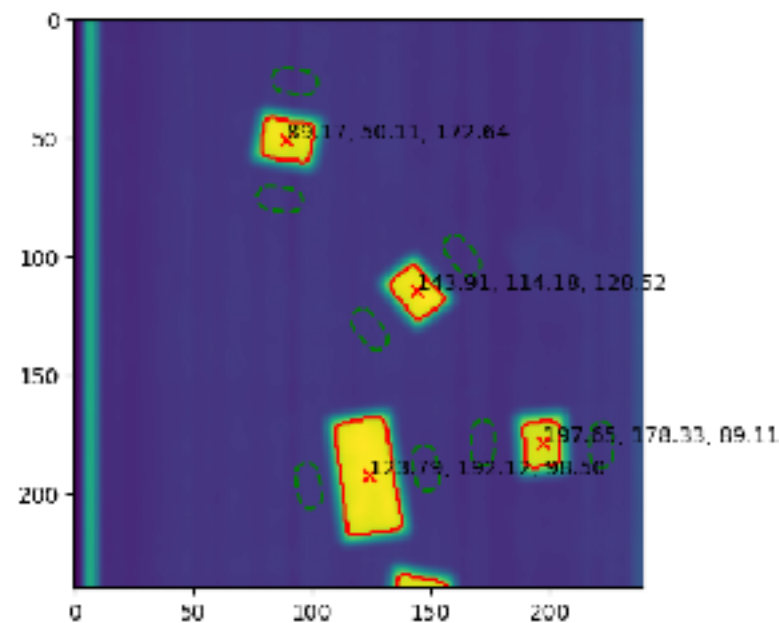
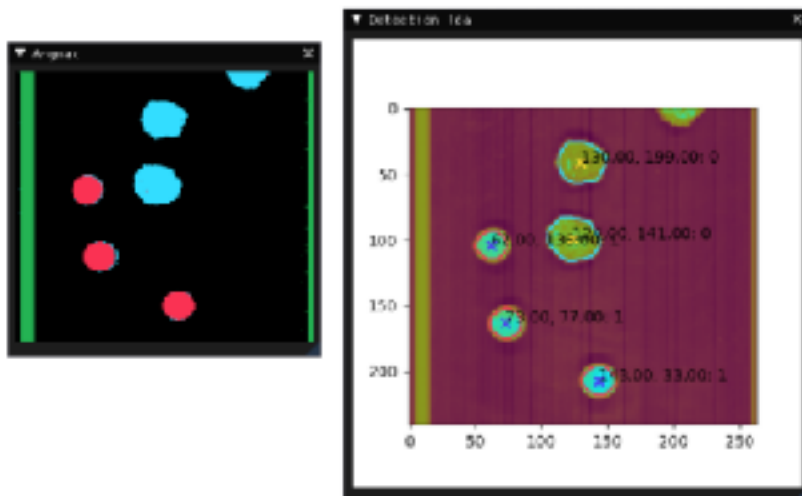


Automatizovaná robotická linka pro off-site dotřídění SDO

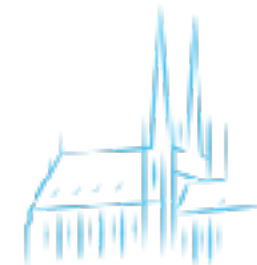
Rozpoznání předmětů a robotický sběr

- Software pro předběžné zpracování při kombinovaném systému strojového vnímání NIR + 2D + 3D.
- Integrace AI do procesu robotického sběru.
- Synchronizace 3D kamery a robotického ramene.
- Výpočet optimální polohy a orientace uchopení pro 2prstové kleště (aby nedošlo k jejich poškození).
- Integrace nového algoritmu pro výpočet polohy uchopení do procesu řízení robota.

Výpočet aktuální polohy při sběru, vhodný pro „symetrické“ objekty



Vylepšení: výpočet polohy při sběru, optimalizace polohy prstů, orientace a výšky



Automatizovaná robotická linka pro off-site dotřídění SDO

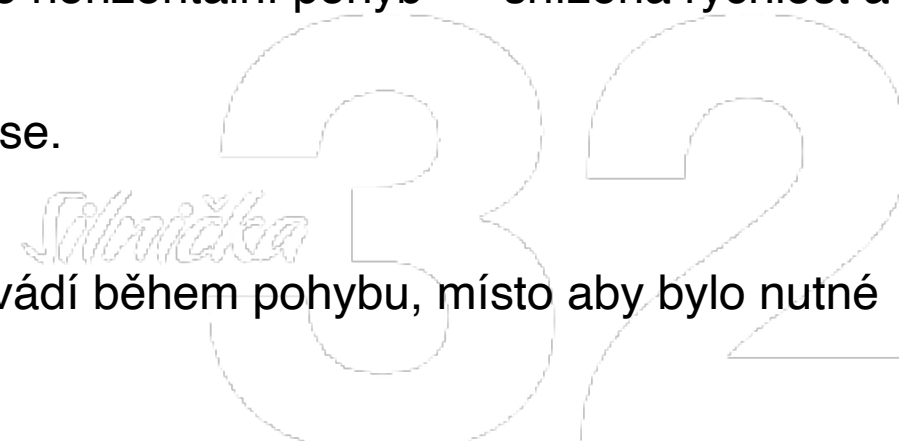
Seber a odhod': provozně otestováno

- Je namodelovaná trajektorie parabolického pohybu odpadu.
- Modelován i lineární pohyb robota s ohledem na profil zrychlení a omezení pracovního prostoru.
- Optimální kombinace úhlu a rychlosti hodu vypočítaná online, aby se „propojily“ pohybové schopnosti robota a volný let objektu => dosáhlo se tak cílového boxu.
- Implementace demonstrována s odpadními předměty ze dřeva a betonu - je funkční.
- **Používány jsou dvoupřstové čelisti a rozvíjí se kombinace s vakuovou přísavkou.**

Zjištěná omezení:

- dostupný prostor nad pásem pro vertikální pohyb → převážně horizontální pohyb → snížená rychlost a zrychlení
- výkonem CPU robota pro výpočet optimalizace v reálném čase.

Zlepšení času je dosaženo tím, že otevření kleští (0,4 s) se provádí během pohybu, místo aby bylo nutné čekat nad boxem odhozu.

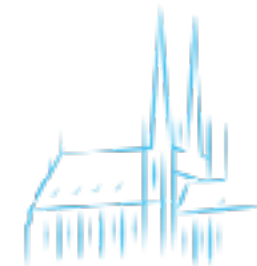




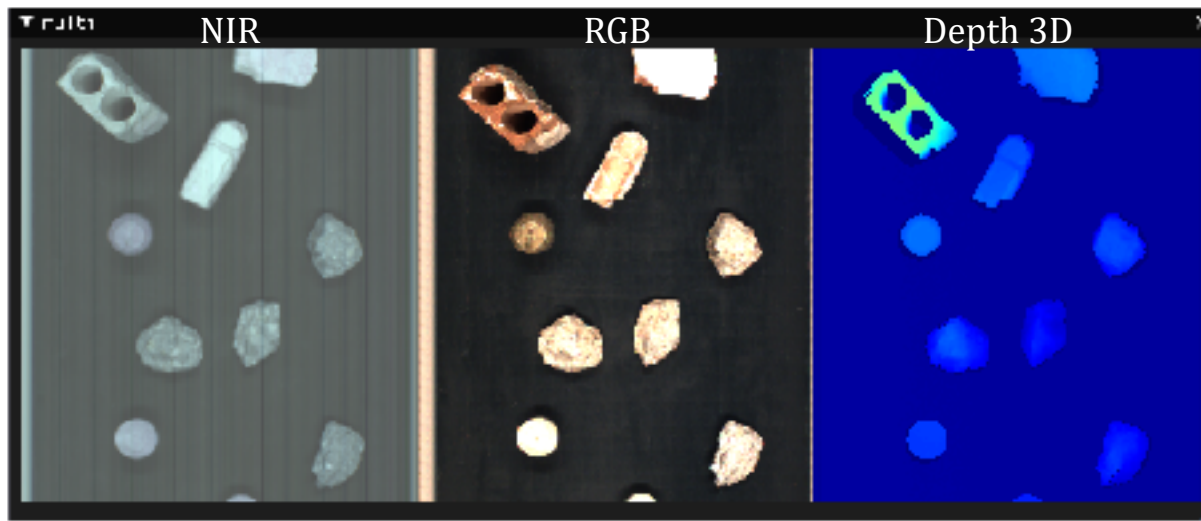
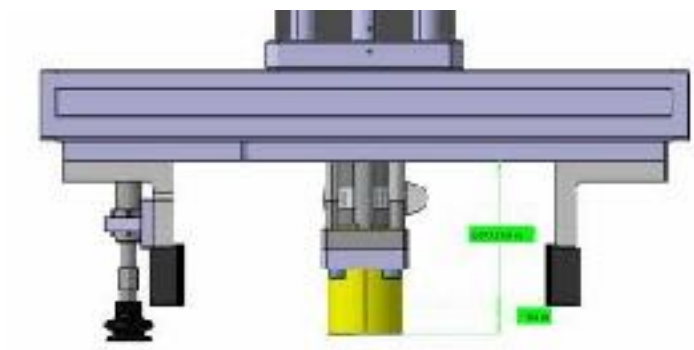
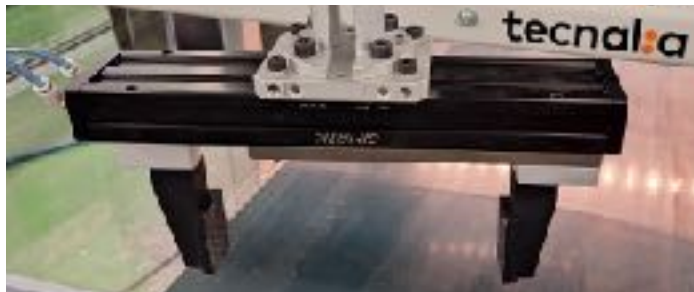
BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA



Automatizovaná robotická linka pro off-site dotřídění SDO





BRNO 10.–11. 9. 2025

32. SILNIČNÍ KONFERENCE

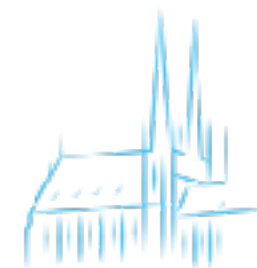
INOVACE, UDRŽITELNOST, EFEKTIVITA

EFEKTIVITA

UDRŽITELNOST

INOVACE

DĚKUJI ZA VAŠI POZORNOST I PŘÍZEŇ



Reconmatic



**Funded by the
European Union**

Jan Valentin & Václav Nežerka

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7

166 29 Praha 6

www.reconmatic.eu

www.linkedin.com/company/reconmatic/

The **Reconmatic project** has been funded by the European Union under Grant Agreement No 101058580 and by the UK Research and Innovation as part of the UK Guarantee programme for UK Horizon Europe participation.

Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the HORIZON-RIA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.