



**FACULTY OF CIVIL
ENGINEERING
CTU IN PRAGUE**

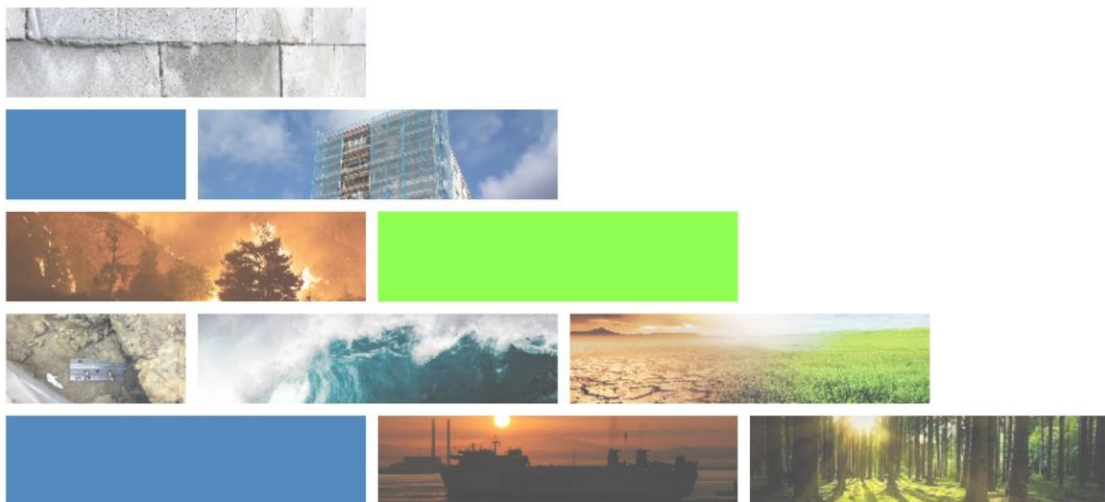


**Funded by the
European Union**



Reconmatic

Pokročilé získávání datasetů pro přesnou klasifikaci stavebního a demoličního odpadu pomocí strojového učení



Tomáš Zbíral, Václav Nežerka, **Jan Trejbal**
Katedra fyziky
FSv ČVUT

Matěj Hužvár, Stanislav Vítek
Katedra radioelektroniky
FEL ČVUT

jan.trejbal@fsv.cvut.cz
<http://people.fsv.cvut.cz/~trejbj4/>

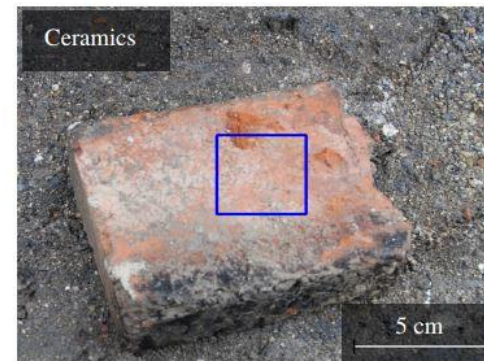
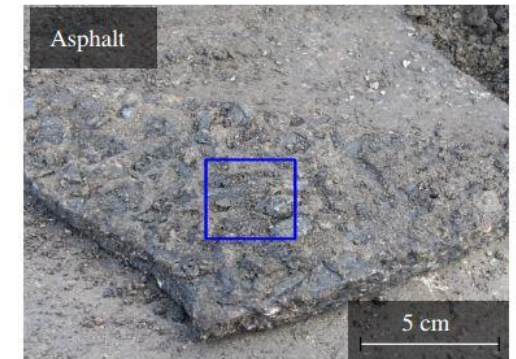
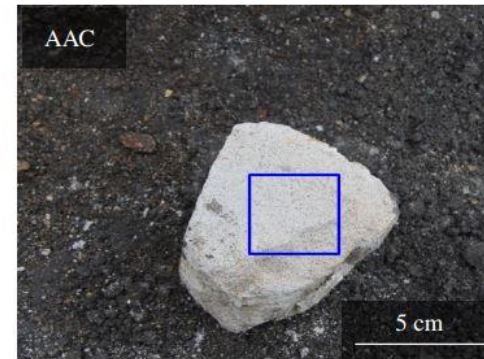
- Přímé
 - Třídění materiálu na základě účinků **působení** různých druhů **sil**
 - Síly: gravitační, magnetické, setrvačné, elektrostatické, vztlakové
 - Zpravidla lze použít pouze pro separaci jednoho typu materiálu z heterogenní směsi
 - Třídíče (hrubotřídíče, odhliňovací třídíče, vibrační a rezonanční třídíče), pračky kameniva (hydraulická separace), magnetické separátory (magnetické bloky, bubnové separátory, separátory neželezných kovů)
- Nepřímé
 - Aplikace **pokročilých metod**
 - Zpravidla multisenzorové aplikace
 - Senzory: optická čidla, spektroskopy, X-ray, akustická čidla, hyperspektrální čidla
 - Snímané informace hodnoceny na základě rozličných výpočetních modelů
 - ANN (Artificial Neural Networks), SVM (Support Vector Machines), DT (Decision Tree), GA (Generic Algorithm), apod.

- Automatizované metody se začaly uplatňovat v TKO (papír, kovy, plast, organický materiál)
- V 80. letech minulého století se objevují první patentovaná řešení automatizované klasifikace SDO (optická čidla, spektroskopy, indukční čidla, termokamery, X-ray senzory, atd.)
- Od 90. let pokračuje vývoj technologie počítačového vidění a strojového učení
- V současné době se uplatňují technologie hlubokého učení a neuronových sítí
- Získané poznatky přeneseny i do SDO
- Přesnost klasifikace přes 90 %

- 4 typy SDO: pórobeton, asfaltový beton, keramický střep, cementový beton



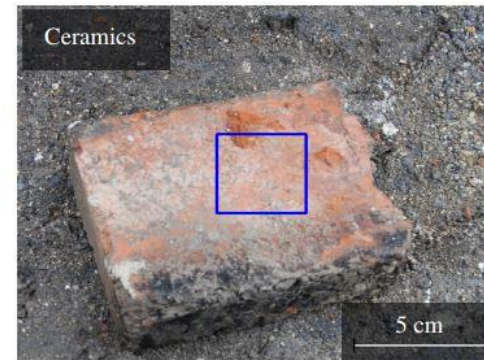
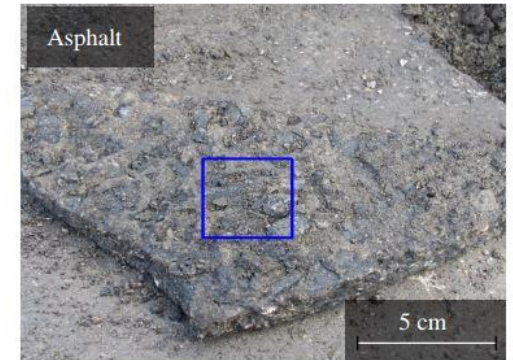
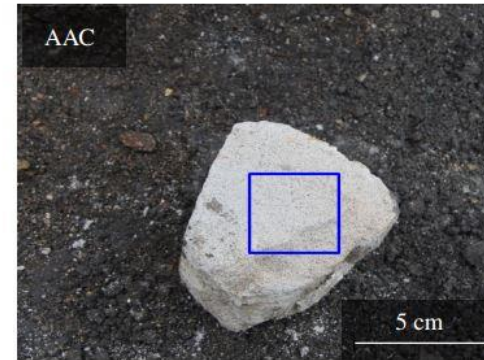
- RGB kamery
- Výřez 200×200 px
- 1000 snímků od každého materiálu
 - 80 % pro trénování modelu
 - 20 % pro validaci modelu
- 1000 snímků od každého materiálu
- 4 hodnocené veličiny
 - Celkový jas snímku $\overline{I_{gray}}$
 - Zastoupení červené barvy $\overline{I_{red}}$
 - Shannonova entropie H
 - Gradinet střední intenzity \overline{V}_i



- Celkový jas snímku = střední intenzita

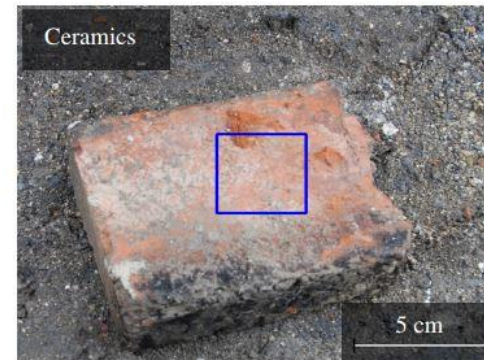
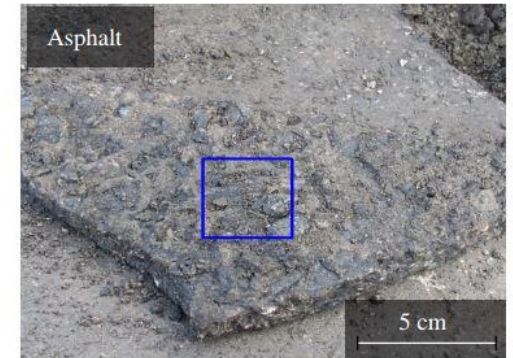
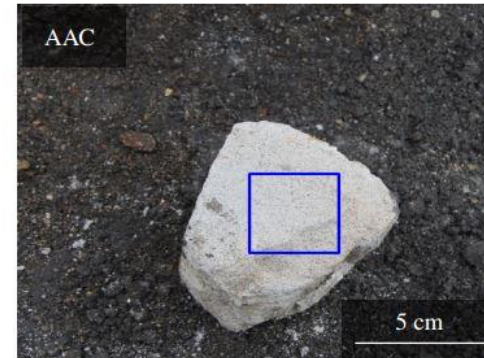
$$\overline{I_{gray}} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I_{gray}(i, j)$$

$$I_{gray}(i, j) = 0,299I_{red}(i, j) + 0,587I_{green}(i, j) + 0,114I_{blue}(i, j)$$



- Zastoupení červené barvy = střední intenzita červené barvy

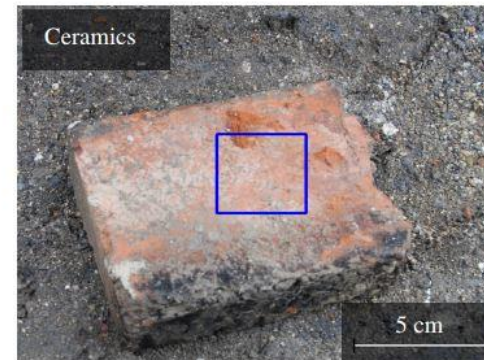
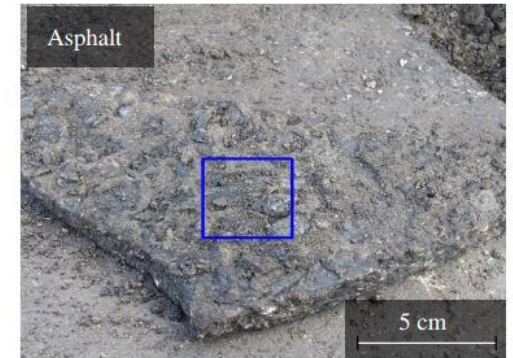
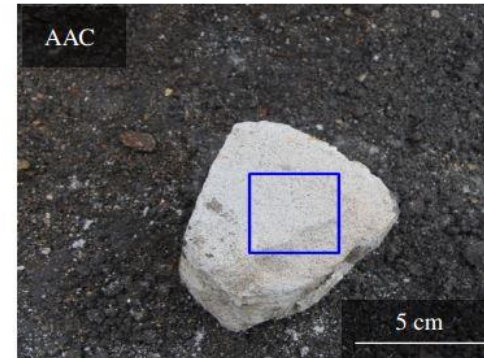
$$\overline{I_{red}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{I_{red}(i,j)}{N^2} \overline{I_{gray}}$$



- Shannonova entropie (1948)
- Vyjadřuje náhodnost textury

$$H = - \sum_{I_{gray}=0}^{255} P(I_{gray}) \log_2 P(I_{gray})$$

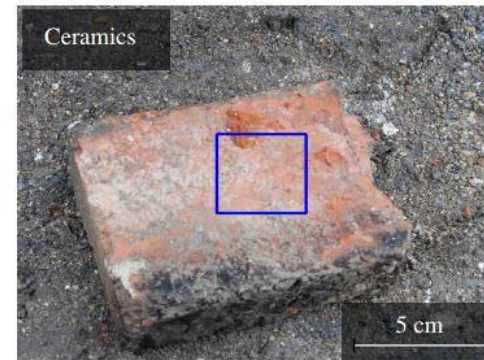
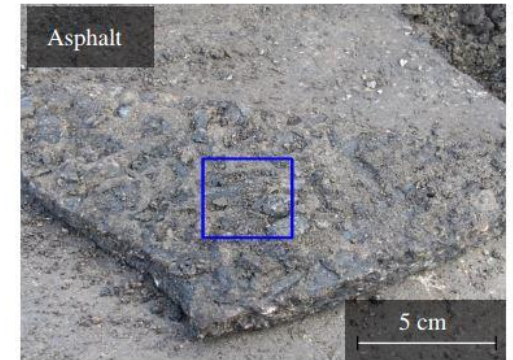
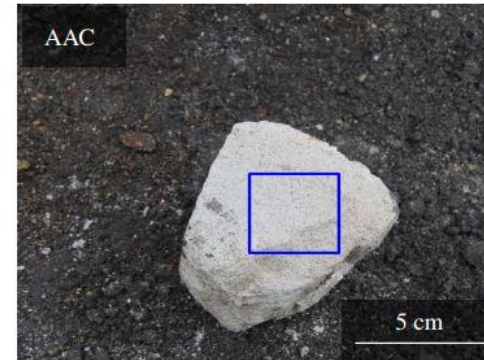
P = intenzita frekvence šedých pixelů



- Gradient střední intenzity
- Indikátor stochastického vzoru kvality (hrubost textury)

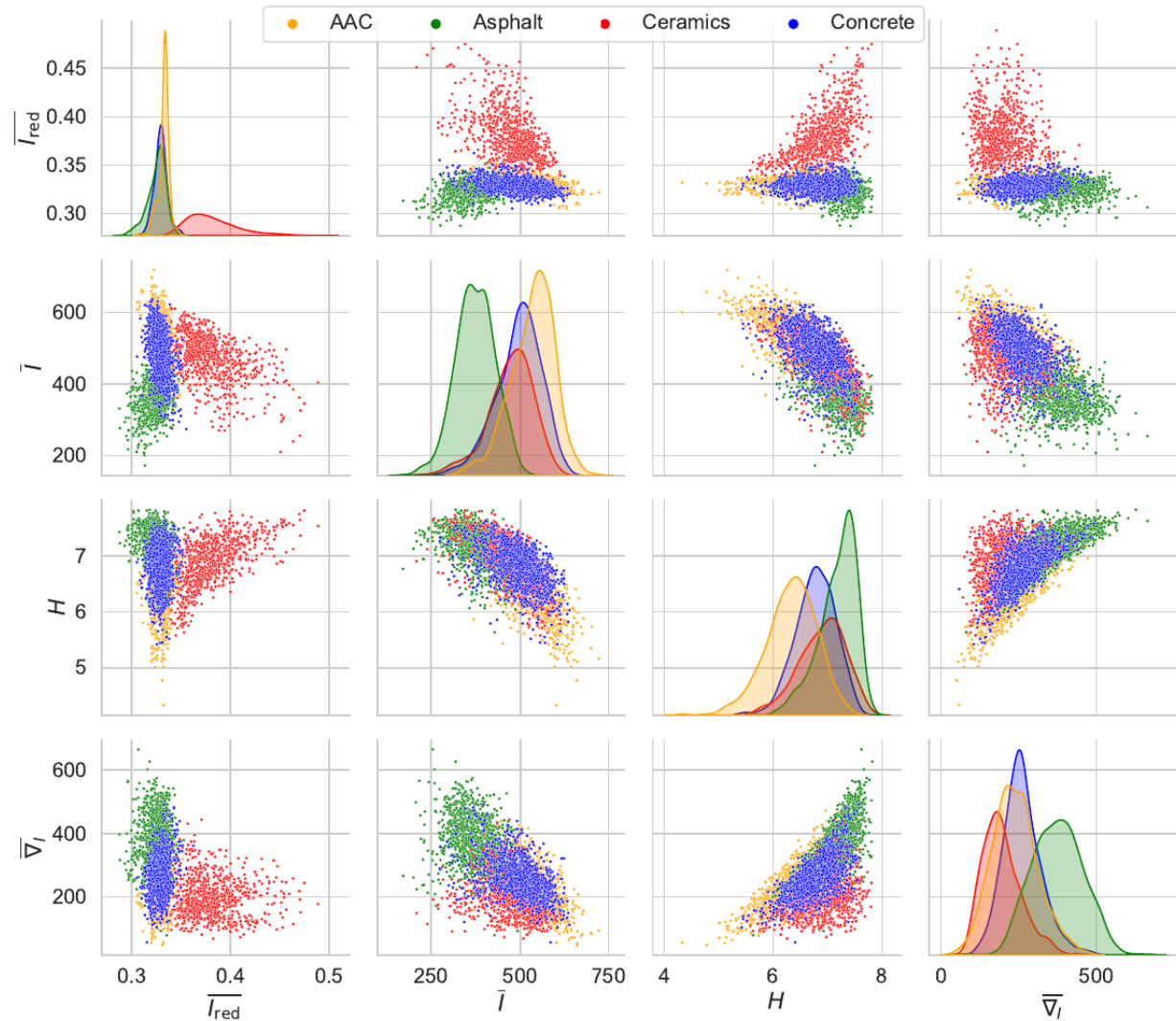
$$\bar{v}_I = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |\nabla I_{gray}(i,j)| \frac{1}{N^2}$$

$$|\nabla I_{gray}(i,j)| = \sqrt{I_i(i,j)^2 + I_j(i,j)^2}$$



- Zesílení gradientu (Gradient Boosting)
 - Algoritmus strojového učení využívající rozhodovací stromy
- Víceúrovňové vnímání (Multi-layer Perception)
 - Umělá neuronová síť
- Konvoluční neuronové síť (Convolutional Neural Network)
 - Umělá neuronová síť pro mřížkovou topologii

- Korelace mezi charakteristikami textury



- Matice nepřesností

GB ($\theta_{\text{test}} = 80.9\%$)

| | | | | | |
|------------|----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| True label | AAC | 77.9% (183) | 4.3% (10) | 0.4% (1) | 17.4% (41) |
| | Asphalt | 1.8% (4) | 88.9% (201) | 0.4% (1) | 8.8% (20) |
| | Ceramics | 2.6% (4) | 0.6% (1) | 95.5% (148) | 1.3% (2) |
| | Concrete | 25.2% (52) | 10.2% (21) | 0.0% (0) | 64.6% (133) |
| | | AAC | Asphalt | Ceramics | Concrete |
| | | Predicted label | | | |

MLP ($\theta_{\text{test}} = 81.5\%$)

| | | | | | |
|------------|----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| True label | AAC | 72.3% (170) | 6.4% (15) | 0.4% (1) | 20.9% (49) |
| | Asphalt | 3.1% (7) | 88.5% (200) | 0.0% (0) | 8.4% (19) |
| | Ceramics | 3.2% (5) | 0.6% (1) | 95.5% (148) | 0.6% (1) |
| | Concrete | 18.4% (38) | 7.3% (15) | 0.5% (1) | 73.8% (152) |
| | | AAC | Asphalt | Ceramics | Concrete |
| | | Predicted label | | | |

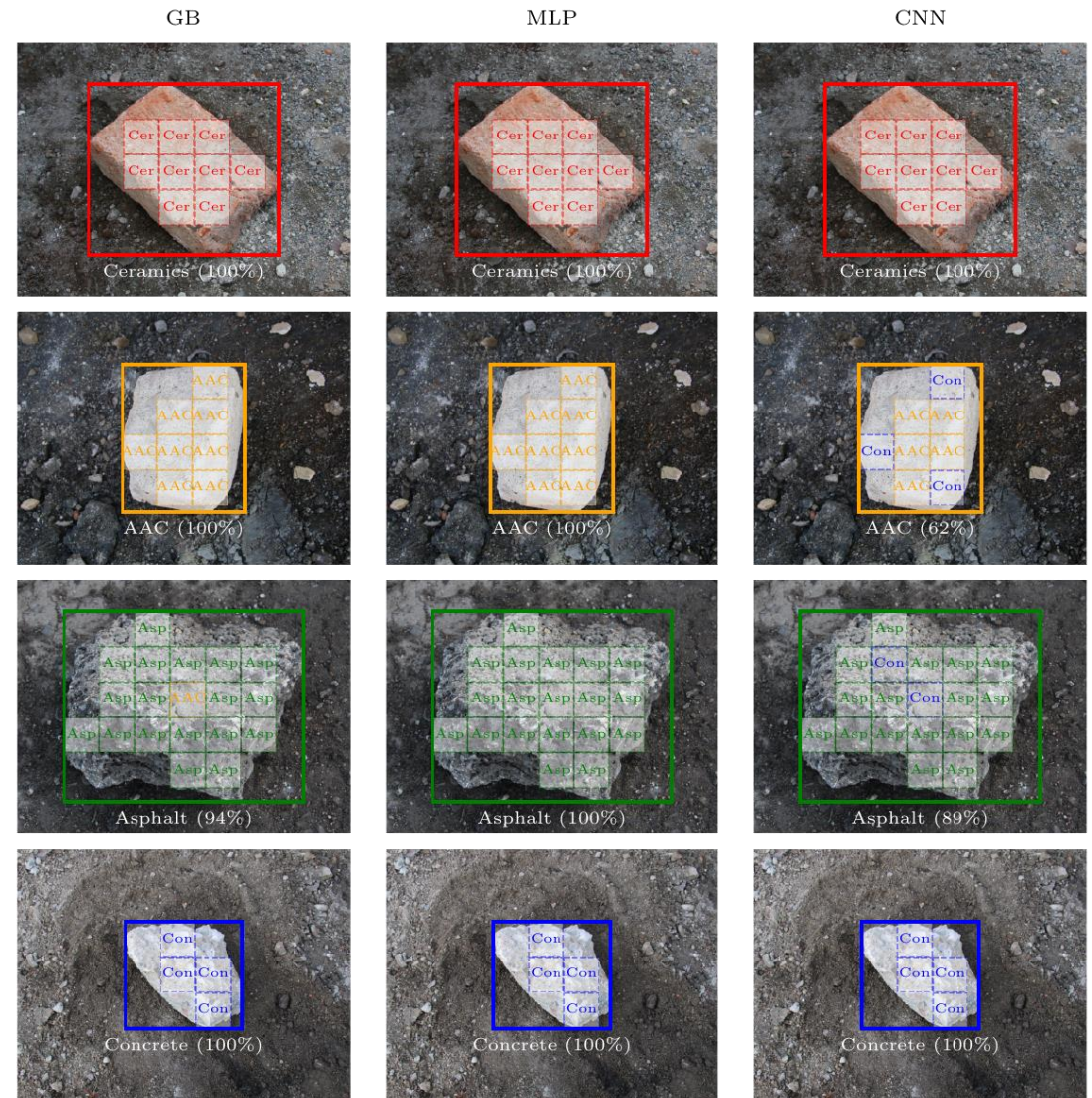
CNN ($\theta_{\text{test}} = 82.1\%$)

| | | | | | |
|------------|----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| True label | AAC | 68.5% (161) | 0.0% (0) | 0.0% (0) | 31.5% (74) |
| | Asphalt | 1.3% (3) | 90.3% (204) | 0.0% (0) | 8.4% (19) |
| | Ceramics | 1.9% (3) | 0.6% (1) | 96.1% (149) | 1.3% (2) |
| | Concrete | 8.7% (18) | 12.1% (25) | 1.0% (2) | 78.2% (161) |
| | | AAC | Asphalt | Ceramics | Concrete |
| | | Predicted label | | | |

Manual ($\theta_{\text{test}} = 87.2\%$)

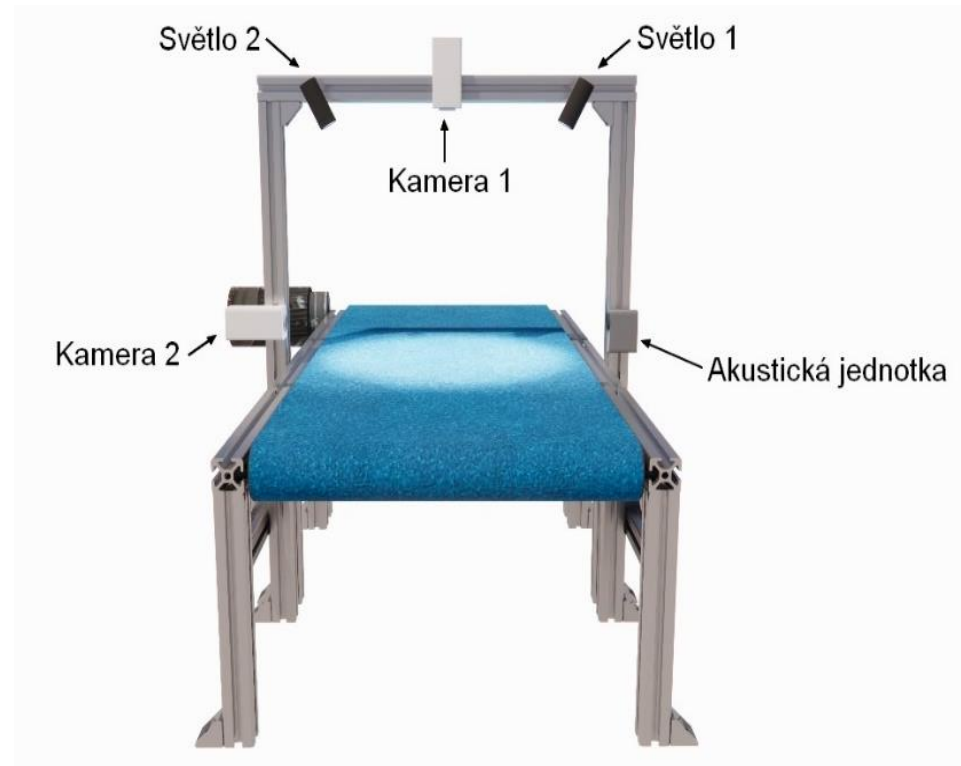
| | | | | | |
|------------|----------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| True label | AAC | 84.5% (993) | 0.0% (0) | 0.8% (9) | 14.7% (173) |
| | Asphalt | 0.2% (2) | 82.1% (928) | 0.1% (1) | 17.6% (199) |
| | Ceramics | 0.1% (1) | 0.3% (2) | 97.7% (757) | 1.9% (15) |
| | Concrete | 6.7% (69) | 2.7% (28) | 2.7% (28) | 87.9% (905) |
| | | AAC | Asphalt | Ceramics | Concrete |
| | | Predicted label | | | |

- Matice nepřesností

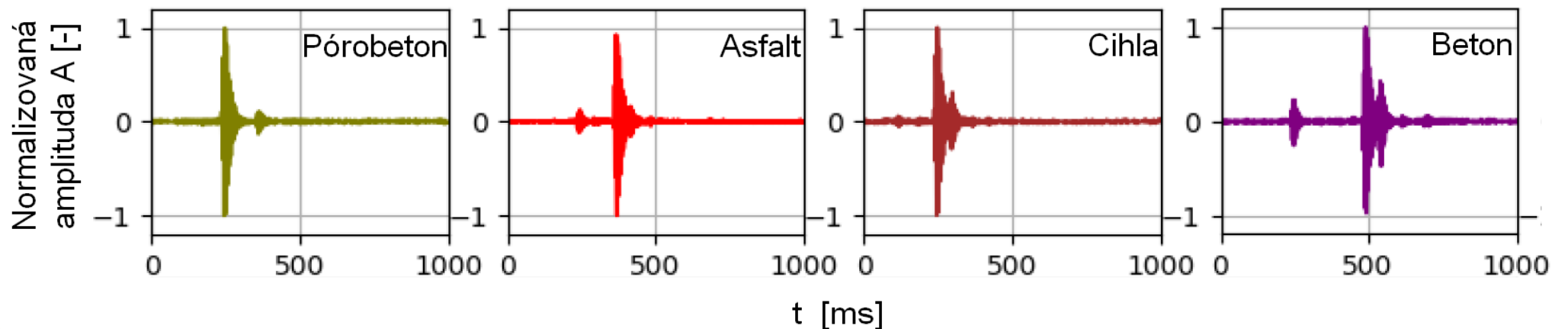
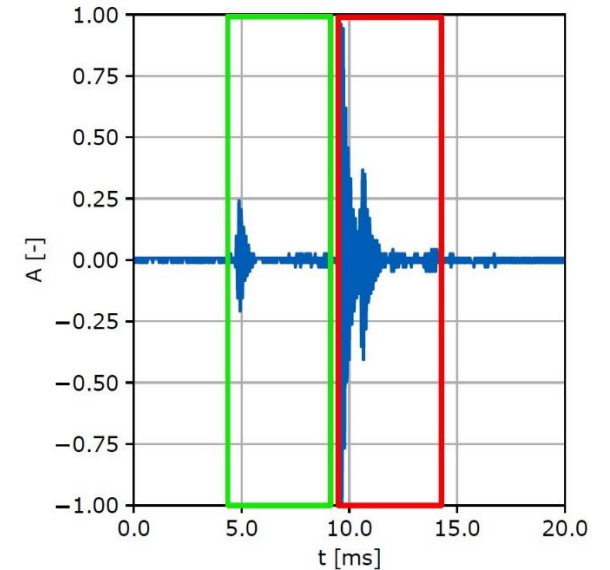


- Detekce ultrazvukových vln odražených od povrchu zkoušeného materiálu
- Ultrazvukové snímače HC-SR04
- Mikrokontrolér Arduino UNO
- Mikrofon Brüel & Kjær 1/8" Nexus
- Zesilovače Brüel & Kjær Nexus s nastavením převodu 100 mV/Pa
- Zesílený signál zobrazen na digitálním osciloskopu Rigol MSO5074

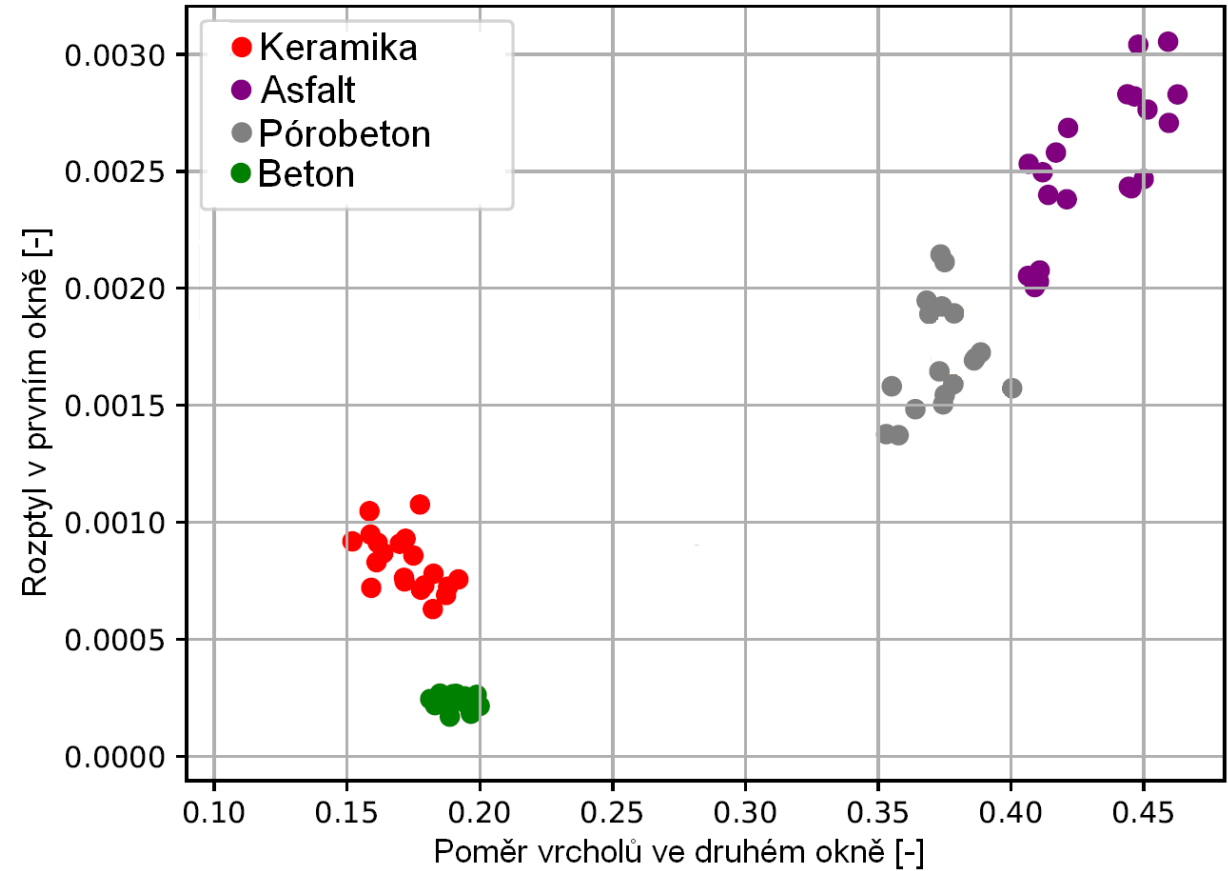
- Linka integrující RGB, US a hmotnostní senzory



- Naměřené signály odražených ultrazvukových vln vykazují krátký úzkopásmový signál na frekvenci cca 40 kHz
- Výrazný amplitudový vrchol
- Dvě časová okna



- Korelace charakteristik odezvy na ultrazvukový impulz





**FACULTY OF CIVIL
ENGINEERING
CTU IN PRAGUE**



**Funded by the
European Union**



Reconmatic

The **Reconmatic project** has been funded by the European Union under Grant Agreement No 101058580.

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.

Děkuji za pozornost

