



# Innowacyjny młot do rozdrabniania brył nagabarytowych w eksploatacji rud miedzi - projekt ECHO

Sesja I

19.09.2022

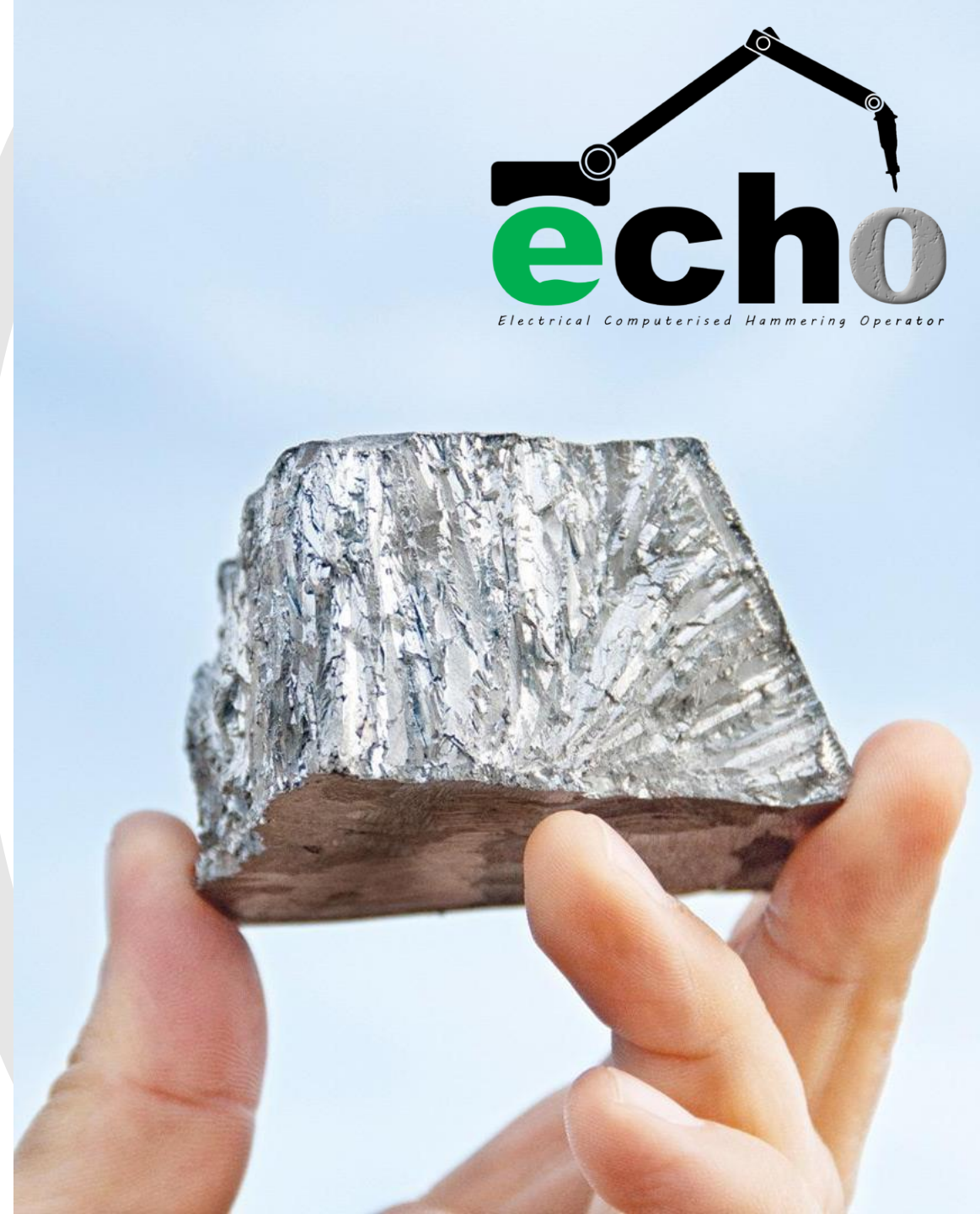
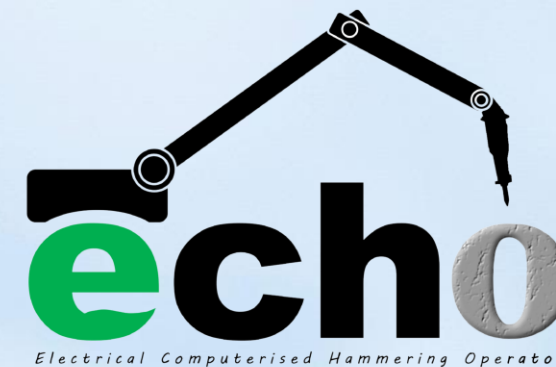
Politechnika Wroclawska



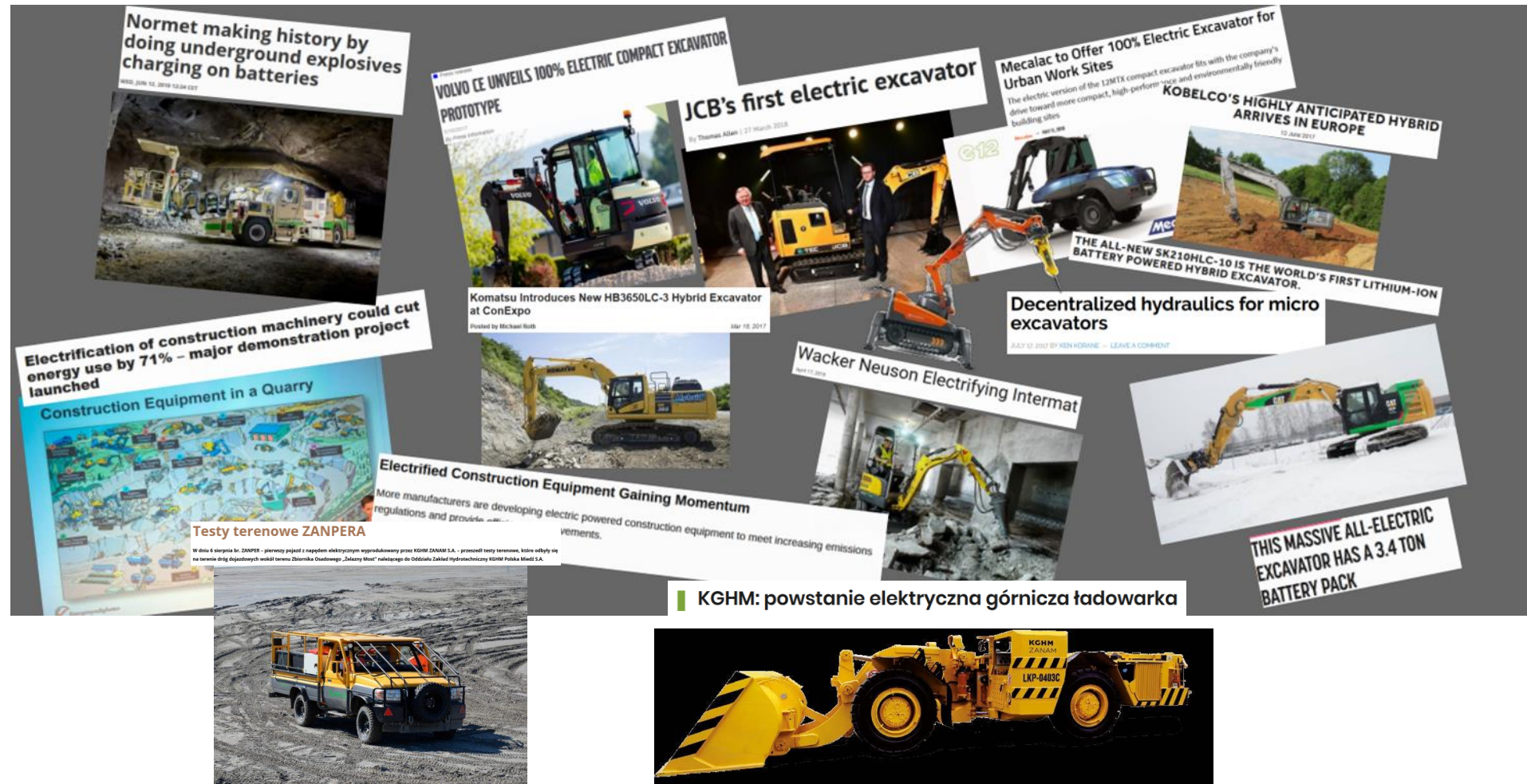
Co-funded by the European Union



Wrocław University of Science and Technology



# TREND - Elektryfikacja Górnictwa





# ECHO - przeznaczenie

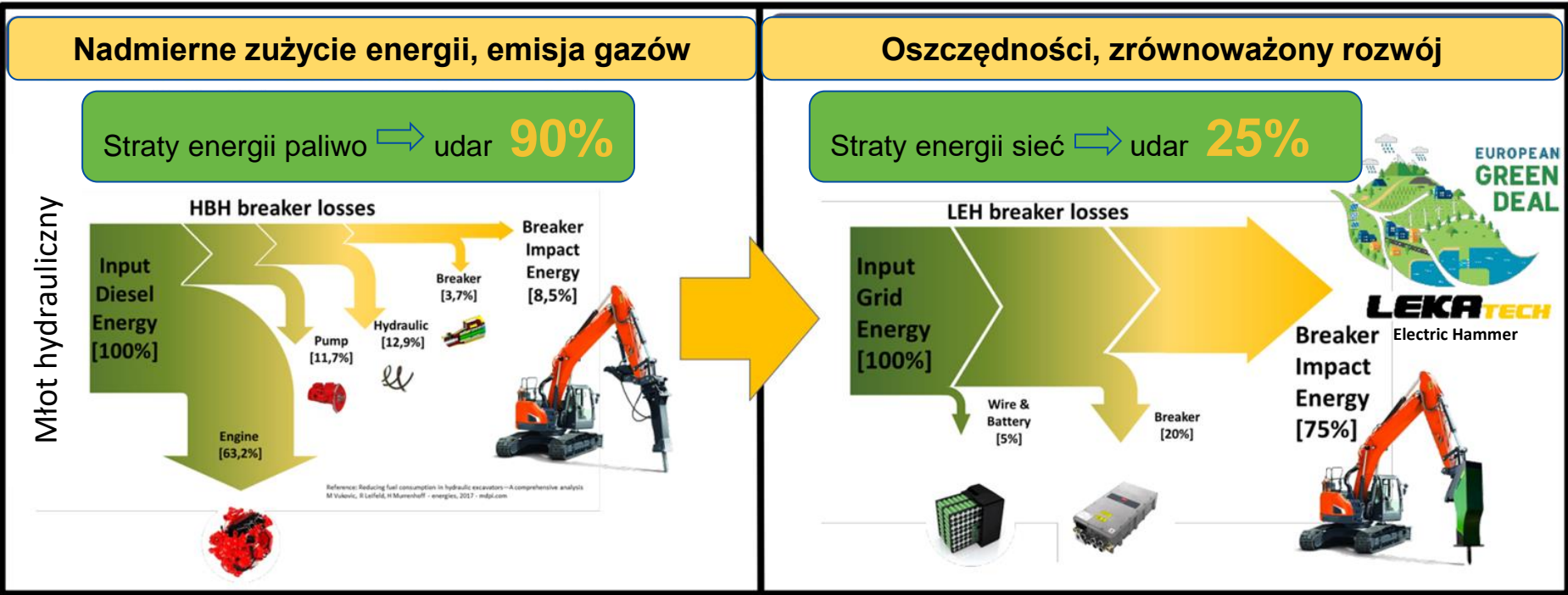




Fragmentacja rudy miedzi w punkcie przeładunkowym – film (KGHM PM S.A.)



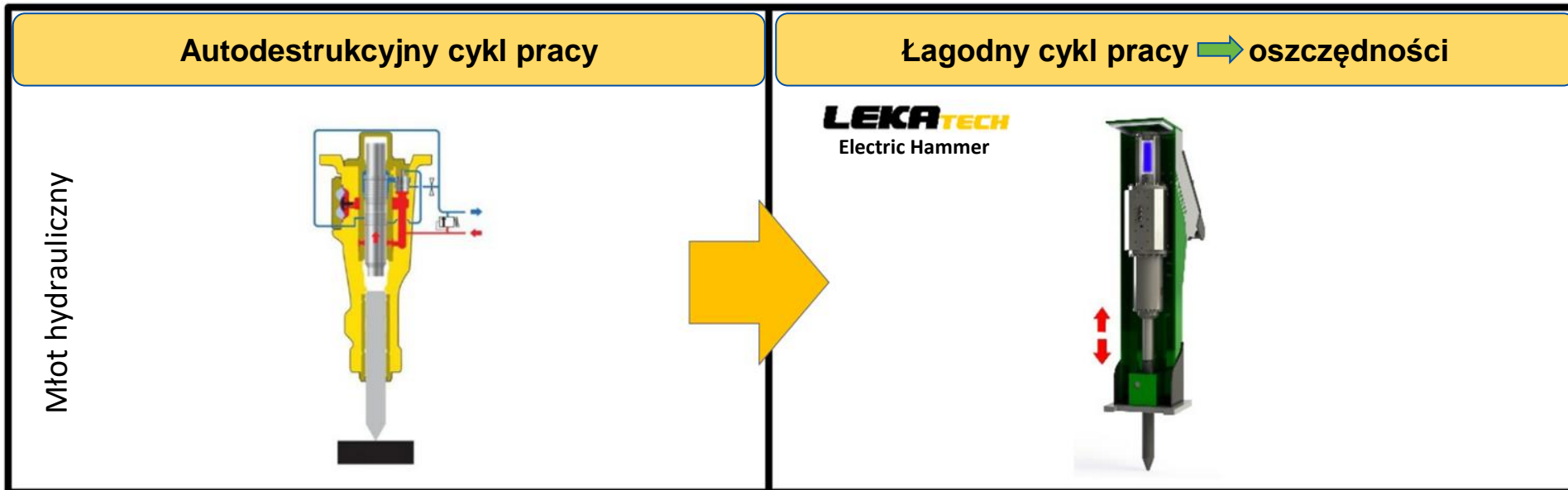
# Młoty hydrauliczne – fundamentalne problemy



## Młoty hydrauliczne – fundamentalne problemy




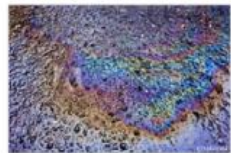

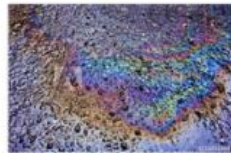


# Młoty hydrauliczne – fundamentalne problemy





# Młoty hydrauliczne – fundamentalne problemy

	Nadmierne zużycie oleju	Oszczędności, zrównoważony rozwój
Młot hydrauliczny	 Use >200 000 t annually = ~500 M€	  Use 0 t annually = 0 M€
	 Spill >10 000 t annually	  Spill = 0 t annually



## Lekatech Electric Hammer (LEH) - budowa



Gazowy akumulator hydrauliczny

Rurowy silnik liniowy składający się z:

- stojana
- magnesu trwałego

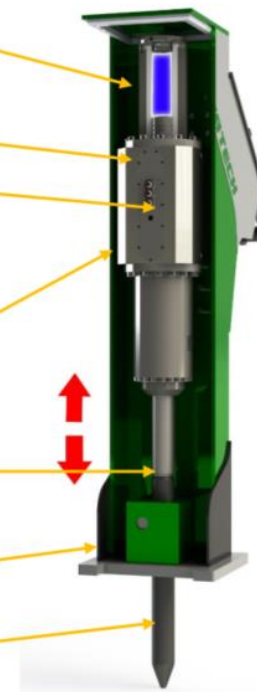
Falownik i jednostka sterująca

Rama

Młot

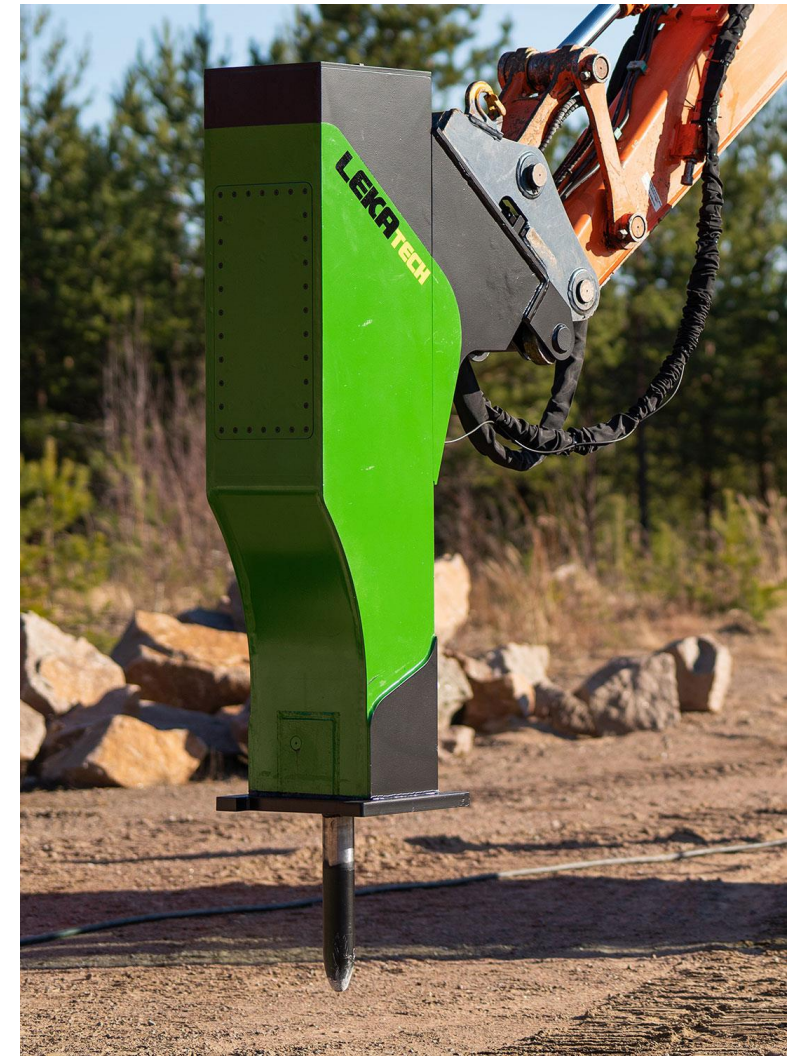
Obudowa

Dłuto



## Cele projektu

- Współtworzenie i walidacja młota elektrycznego Lekatech (LEH) w trzech różnych środowiskach pilotażowych i produkcyjnych,
- Udoskonalenie LEH poprzez uwzględnienie wymagań rynkowych, osiągając TRL 9 (od TRL7),
- Badanie cyfrowej transformacji procesu rozdrabniania w celu zaspokojenia potrzeb interesariuszy,
- Komercjalizacja, zwiększenie skali i replikacja LEH,
- Zwiększenie bezpieczeństwa i zdrowia pracowników zgodnie z nowymi przepisami,
- Wsparcie transformacji maszyn górniczych w technologii zeroemisyjne.





## Konsorcjum

- Lekatech OY - Lider projektu
- KGHM Polska Miedź S.A.
- Iberian Sustainable Mining Cluster
- MNLT Innovations
- Politechnika Wroclawska

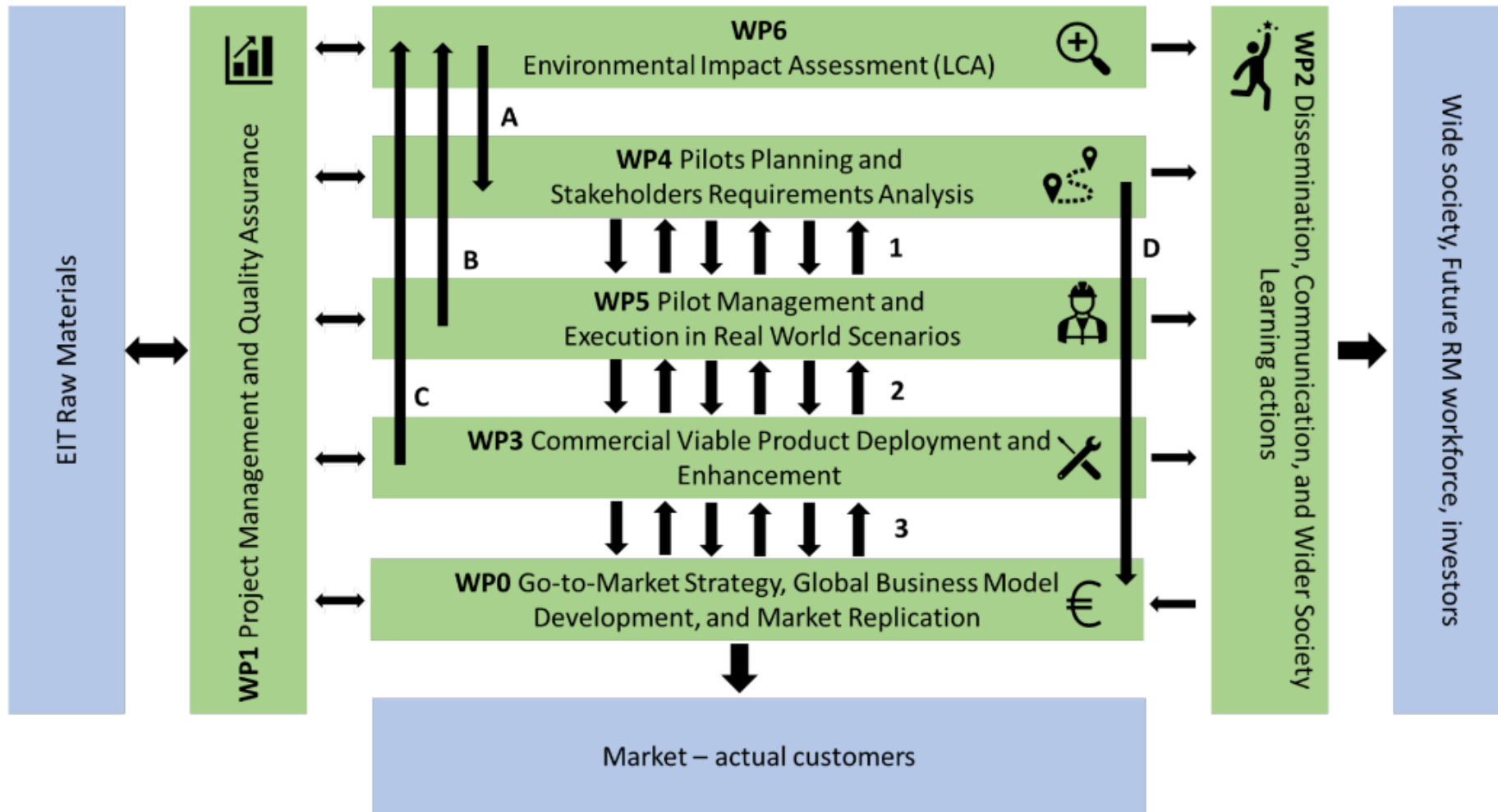


Politechnika Wroclawska

**LEKATECH**



# Pakiety robocze





## Narzędzia i metody ewaluacji

Sesja II

19.09.2022

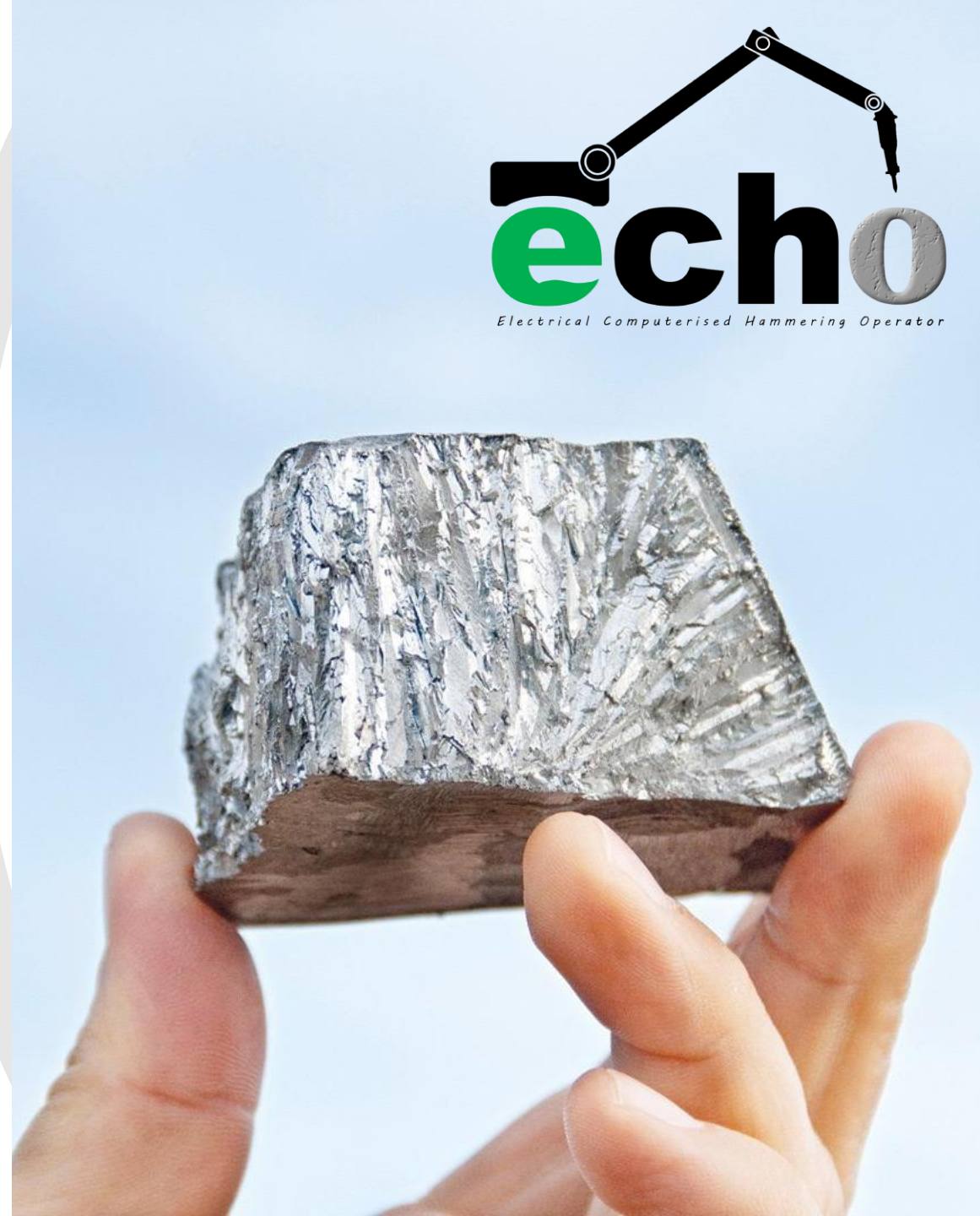
Politechnika Wroclawska



Co-funded by the  
European Union



Wrocław University  
of Science and Technology



# Urządzenie do Rozbijania Brył (URB) KGHM ZANAM

<https://www.kghmzanam.com/en/produkty/belt-conveyor-haulage-systems/stationary-rock-breaker-type-urb-klim/>

## Parametry wysięgnika:

Wysokość: min. 5,0m

Szerokość: min. 6,0m

Długość: min. 10,0m

## Dane techniczne urządzenia:

Zasięg wysięgnika: 4 700 mm

Kąt obrotu wysięgnika:  $\pm 40^\circ$

Masa całkowita: 7 000 kg

## Parametry młota hydraulicznego:

Energia uderzenia: 400 J ÷ 1 900 J

Ciśnienie robocze: 10 MPa ÷ 17 MPa

Przepływ oleju: 20 l/min. ÷ 120 l/min

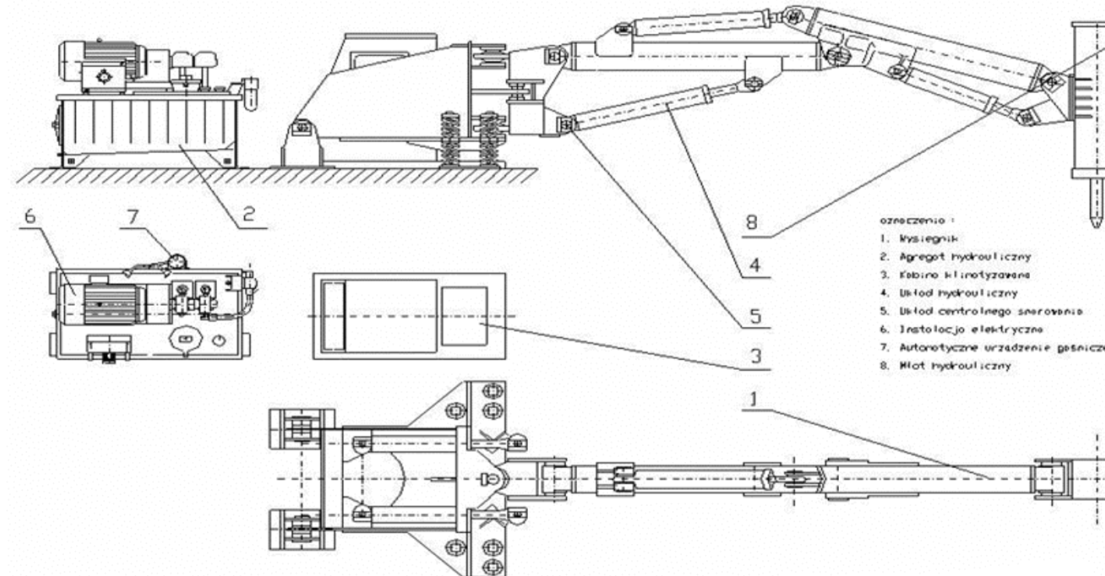
## Dodatkowe parametry:

Masa młota (kg)

Średnica narzędzia roboczego (mm)

Długość robocza narzędzia (mm)

Szybkość uderu (min-1)



Stefaniak P., Wodecki J., Jakubiak J., Zimroz R. Development of Test Rig for Robotization of Mining Technological Processes – Oversized Rock Breaking Process Case. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 95 (2017)



## Młot Elektryczny LEKATECH (LEH)

### Specyfikacja techniczna:

Waga młota 454 kg

Minimalna waga robocza 516 kg

Częstotliwość uderzeń (regulowana) 60 - 900 uderzeń na minutę

Energia uderzenia (regulowana) 500 - 1500 J (Nm)

Średnica narzędzia 90 mm

Napięcie (sieć) AC 400V/50Hz/3x63A

Napięcie (połączenie DC) 700 V DC

### Skrzynia z akcesoriami zawiera:

układ chłodzenia, falownik, prostownik, bezpieczniki, przekaźniki i układ smarujący do dłuta.

### Interfejs użytkownika:

Ekran dotykowy/PLC CPX-Terminal-Vemcon 7"



# Parametry oceny procesu rozdrabniania

## Warunki statyczne

### Warunki dynamiczne

W przypadku twardej skały lepsze są dłuższe udary, natomiast dla skał słabszych krótsze i o wyższej częstotliwości, aby zmniejszyć ilość zbędnych wstrząsów i wibracji, poprawić wydajność i trwałość części maszyn.

Młoty hydrauliczne zawsze stosują maksymalną energię uderzenia, podczas gdy udar elektryczny może być sterowany automatycznie lub ręcznie.

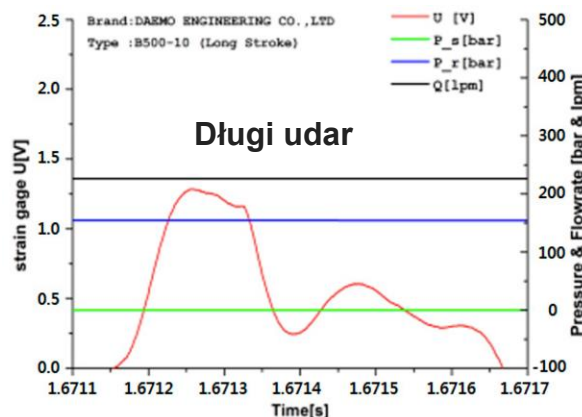
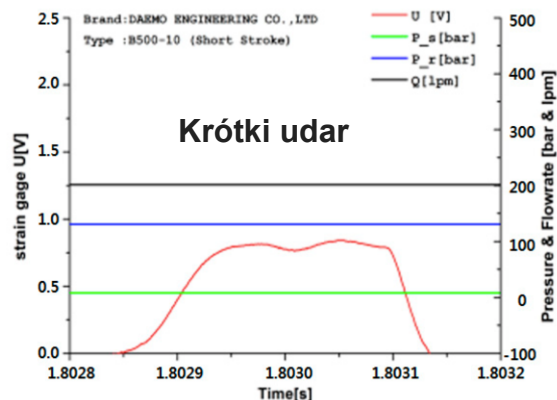
Parametry dynamiczne:

Udar L

Energia uderzenia E

Częstotliwość uderzeń f

Skuteczność uderzenia  $\eta$



### Współczynnik rozdrobnienia netto:

Net Breaking Rate (NBR) =  $4.24 \times P \times \text{RMCI}^{-0.567}$  (m<sup>3</sup>/h)

### Indeks ścinalności masywu skalnego

Rock Mass Cuttability Index (RMCI) =  $\text{UCS} \times (\text{RQD}/100)^{2/3}$

gdzie:

P to moc młota hydraulicznego w KM

UCS to jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie w MPa

RQD to oznaczenie jakości skały w %.

$$P = 1714 \times 0.85 \times q_0 \times \sigma_{oil}$$

gdzie:

$Q_0$  – natężenie przepływu oleju

$\sigma_{oil}$  – ciśnienie robocze oleju

### Wartości UCS materiału (MPa)

Bardzo miękkie	- 30
Miękkie	- 70
Średnio twarde	- 100
Twarde	- 130
Bardzo twarde	- 160

C.O. Aksoy, V. Ozacar, S. Safak, An updated formula and method to predict the performance of impact hammers, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 61, 2013, 289-295.

Yoon, B.-J.; Lee, K.-S.; Lee, J.-H. A Novel Predictable Rock Breaker Using Intelligent Hydraulic Control with ICT Convergences. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 3333.

# Parametry mierzalne w procesie ewaluacji

## Młot hydrauliczny

Natężenie przepływu oleju hydraulicznego  
Ciśnienie oleju hydraulicznego  
Drgania elementów konstrukcyjnych  
Hałas akustyczny w kabinie operatora  
Hałas akustyczny w miejscu pracy młota  
Poziom mocy akustycznej dB(A) (EN ISO 3744)  
Dane wizyjne z kamery  
Czas kruszenia brył z jednego transportu

## Młot elektryczny

Prąd wejściowy lub moc  
Temperatura cewek napędowych  
Drgania elementów konstrukcyjnych  
Hałas akustyczny w kabinie operatora  
Hałas akustyczny w miejscu pracy młota  
Poziom mocy akustycznej dB(A) (EN ISO 3744)  
Dane wizyjne z kamery  
Czas kruszenia brył z jednego transportu

## Wskaźniki oceny

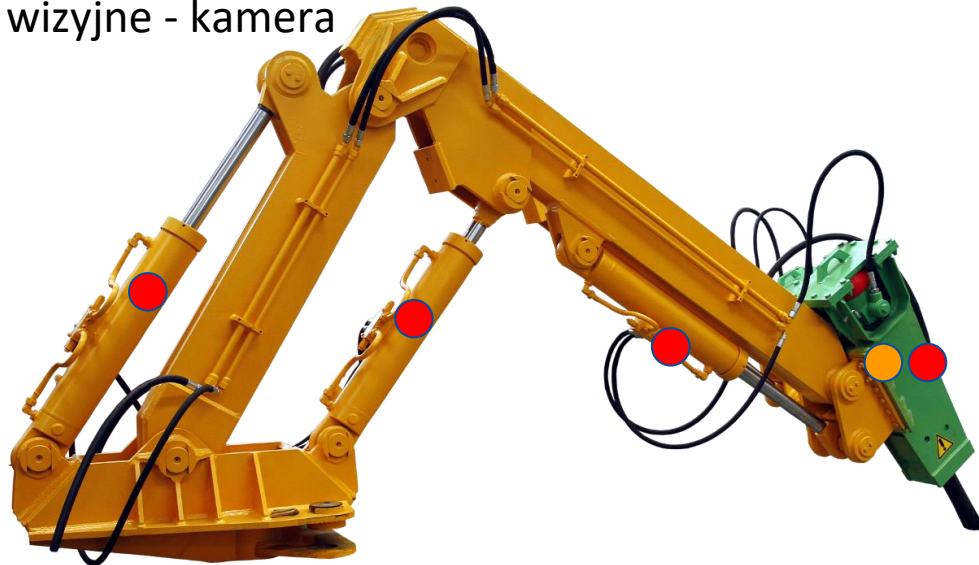
Wartości średnie (temperatura)  
Wartości szczytowe (ciśnienie, prąd, wibracje)  
Wartości RMS (dźwięk, wibracje)  
Moc właściwa (kW/t)  
Skuteczność kruszenia (uderzenia na bryłę)  
Opinie podmiotów gospodarczych  
Czas na naprawę i serwis



# Instalacja czujników i źródła sygnałów

## Młot hydrauliczny

- Natężenie przepływu oleju hydraulicznego - czujnik przepływu
- Ciśnienie oleju hydraulicznego - czujnik ciśnienia
- Drgania na elementach konstrukcyjnych - akcelerometr
- Hałas w kabinie operatora- mikrofon
- Hałas przy młocie - mikrofon
- Dane wizyjne - kamera



## Młot elektryczny

- Czujnik prądu wejściowego lub mocy (PLC)
  - Temperatura cewek napędowych – czujnik temp. (wewnętrzny)
  - Drgania na elementach konstrukcyjnych - akcelerometr
  - Hałas w kabinie operatora - mikrofon
  - Hałas przy młocie - mikrofon
  - Dane wizyjne - kamera
  - Ustawienia parametrów dynamicznych (częstotliwość, siła)
- 
- Układ pomiarowy w kabinie operatora (rozmiar okablowanie (długość?) zabezpieczone przed uszkodzeniem
  - Mikrofony (2) zainstalowane na elementach konstrukcyjnych
  - Akcelerometry (4) zamontowane na podkładkach magnetycznych
  - Temperatura (1) mierzona na cewkach (płyn chłodzący toC)
  - Czujniki ciśnienia i przepływu wymagają instalacji w rurach
  - Kamera montowana na elementach konstrukcyjnych
  - Czujnik prądu elektrycznego (PLC)

## Wymagania określone w dokumentach formalnych

Obliczenia i analizy elektryczne zostaną wykonane w celu zapewnienia mocy operacyjnej, wydajności, dokładności i usprawnienia LEH.

Proposal - T 3.1 - Functional, Technical Requirements and System Design  
D3.1 – Report Functional, Technical Requirements and System Design – v1

Aby Lekatech mógł zwiększyć skalę, producenci OEM muszą mieć solidny, potwierdzający niezawodność i trwałość.

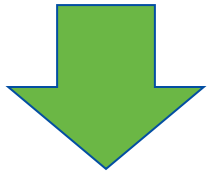
Proposal - T5.1 - PILOT 1: LEH validated on non hard material (...)  
D4.1 – Piloting Plan – v1

1. Porównanie skuteczności z młotami hydraulicznymi,
2. Porównanie wydajności z młotami hydraulicznymi,
3. Porównanie użyteczności z młotami hydraulicznymi.

Proposal - T5.2 - PILOT 2: LEH validated for pre-fragmentation of oversized ore chunks

1. Użyteczność LEH w środowisku odkrywkowym (subiektywny + obiektywny)
2. Wpływ synchronizacji do kruszenia skał
3. Techniczna wykonalność synchronizacji w warunkach polowych.

Proposal - T5.3 - PILOT 3: LEH validated on hard rock on open pits (...)



Analiza oparta na prądzie elektrycznym



Wskaźniki ilościowe wynikające ze stosowanych metod  
(Analiza baz prądowych, analiza oparta na obrazach, analiza oparta na wibracjach, analiza oparta na hałasie)



Analiza obrazu, analiza prądowa, Badanie doświadczeń użytkowników



badanie doświadczeń użytkowników, Analiza obrazu, analiza prądowa, ?

## Proponowane rozwiązanie

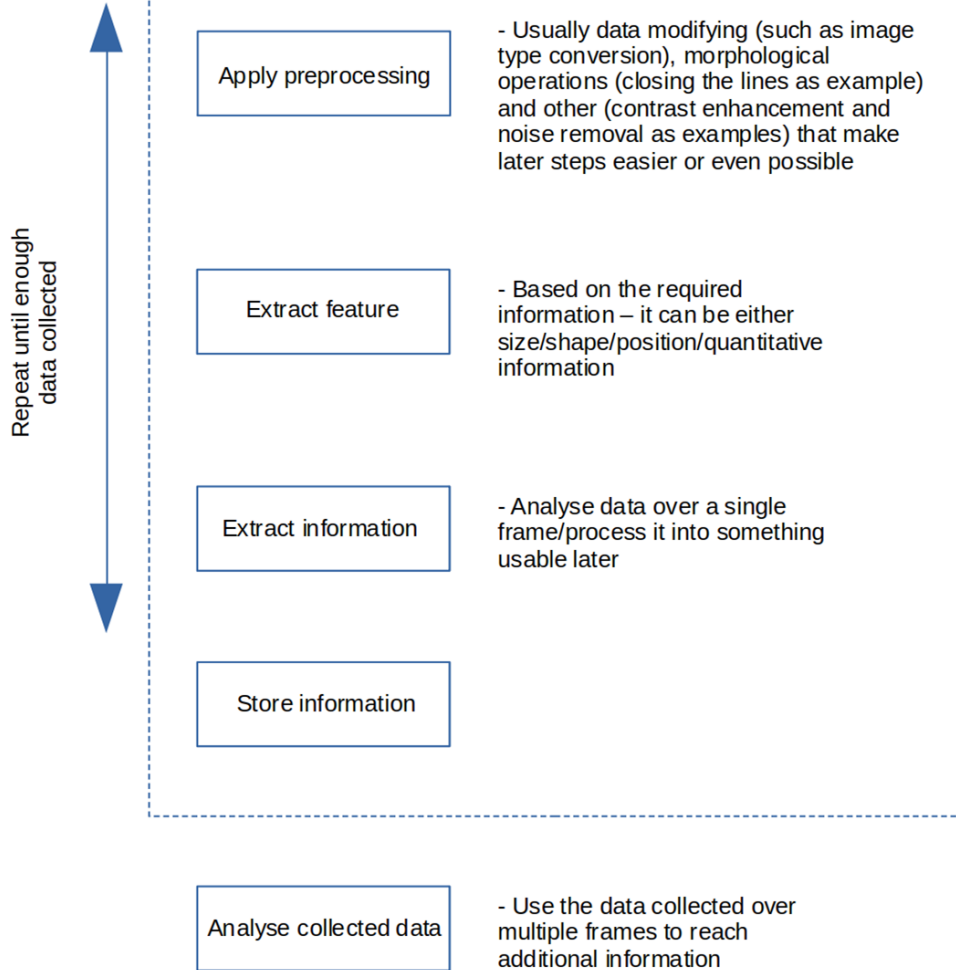
## Analiza obrazów

Analiza obrazu pozwala na monitorowanie wielkości cząstek materiału:

- łatwy pomiar za pomocą kamery (stereo, kamera głębi, wiele kamer RGB).
- porównanie stanu przed i po zerwaniu (efektywność procesu)

Przebieg procesu:

- ciągła akwizycja danych w długich ramach czasowych,
- monitorowanie kształtu cząstek materiału
- ujawnienie dodatkowych informacji o przyczynie zmniejszenia rozmiaru (i w którym momencie rozmiaru/czasu może się to zdarzyć).





## Wielkość cząstek materiału i kwalifikacja



Przykład z materiałem o początkowo dużych rozmiarach



Przykład z materiałem o początkowo mniejszym rozmiarze

Dane uzyskane ze specjalistycznej kamery (głębia/stereo) lub zestawu kamer RGB mogą być wykorzystane w procesie tworzenia danych przestrzennych (3D).

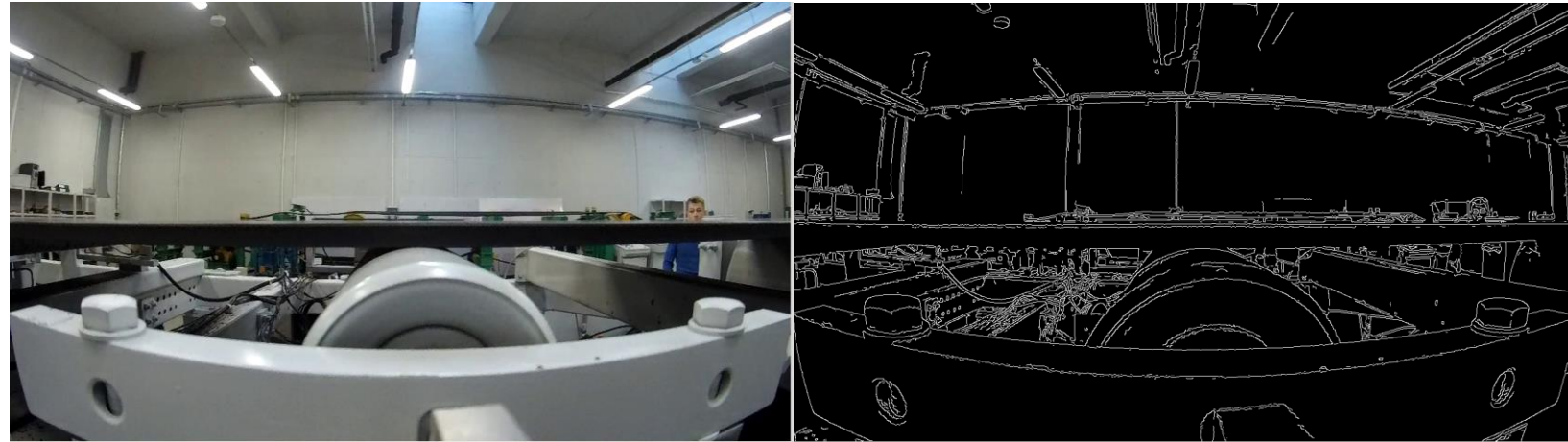
Kamery mogą obejmować zarówno duży, jak i mały obszar pomiaru, umieszczając je w pozycji statycznej (nad obszarem) lub montując je na ruchomej części maszyny (przykładem jest ramię młota).

Zbiór punktów reprezentujących powierzchnię może pozwolić na kwalifikację materiału (podobną do skanowania laserowego).

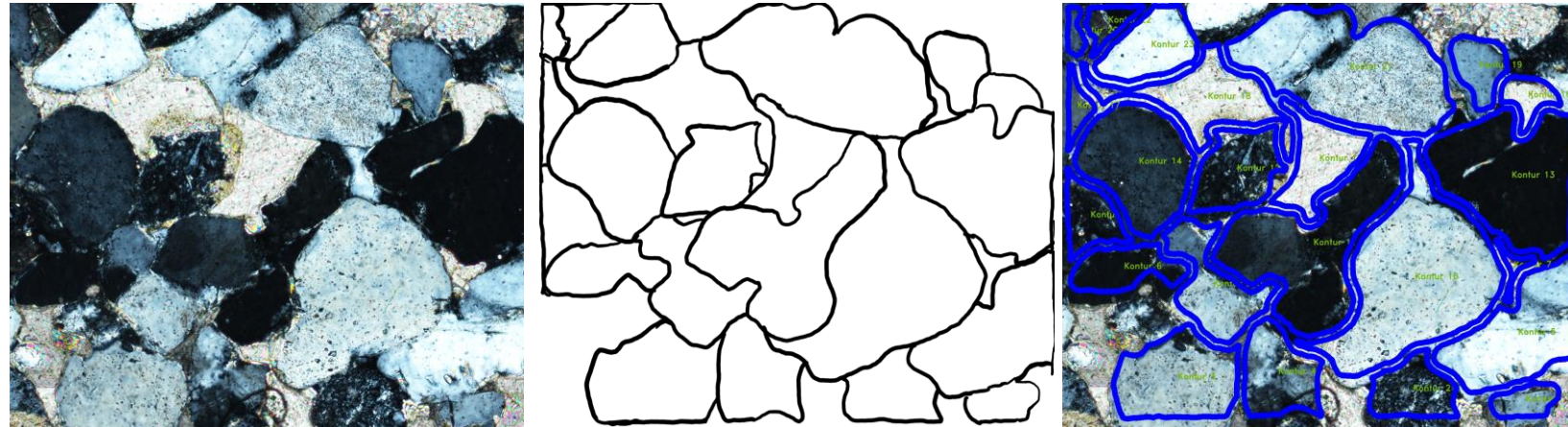
## Kształt cząstek materiału

**Analiza obrazu w celu ekstrakcji informacji:** wykrywanie krawędzi i konturów – przykłady.

Dzięki kamerze unoszącej się nad materiałem możliwe jest wyodrębnienie kształtu cząstek z dodatkową parametryzacją, taką jak skupienie się na pewnym dokładnym zakresie wielkości i późniejsza segmentacja, która może pozwolić na lepsze zrozumienie procesu.



Wykrywanie krawędzi krążnika przenośnika taśmowego w zadaniu pomiaru prędkości



Segmentacja powierzchni ziaren w zadaniu analizy piaskowca



## Parametry kamery i wymagania pomiarowe

Ważne parametry kamery:

**FPS (klatki na sekundę)** - jak we wszystkich przypadkach, zależy od intensywności (szybkości) zmian, które zachodzą na polu widzenia (FOV). Na przykład proces, który odbywa się pod ciężkim młotem, będzie przebiegał wolniej niż ten, który ma miejsce podczas transportu (kontrola jakości) na przenośniku taśmowym.

**Rozdzielczość** - w oparciu o minimalną różnicę geometryczną, jaka może wystąpić w zadaniu. Duże znaczenie ma również odległość od mierzonego obiektu (i może być odpowiednio modyfikowana), ponieważ dodatkowo zmniejsza rozmiar elementu rejestrowanego na kamerze. Im niższa oczekiwana cząstka materiału, tym wyższa rozdzielczość jest potrzebna.

Ważne parametry pomiarowe:

**odległość od mierzonego elementu** - ma bezpośredni wpływ na wymaganą rozdzielczość i pole widzenia. Ważne w przypadku pozyskiwania danych przestrzennych, z maksymalnym zasięgiem określonym przez producenta.

**kąt widzenia** - ma wpływ na cechy, które można zarejestrować, w oparciu o pozycję/układ materiału.

**Stabilność kamery** - im mniej drgań wewnętrznych/zmiana położenia kamery, tym lepiej. Jego wpływ można zminimalizować za pomocą algorytmów stabilizacji (tj. przepływu optycznego).

**przejrzystość widzenia** - w oparciu o dostępne światło i możliwy wpływ na środowisko (zapylenie, przejrzystość powietrza).

**czas pomiaru** - na podstawie zadania. Dobrze jest nagrywać więcej, jeśli nie wiesz, ile będzie potrzebne.



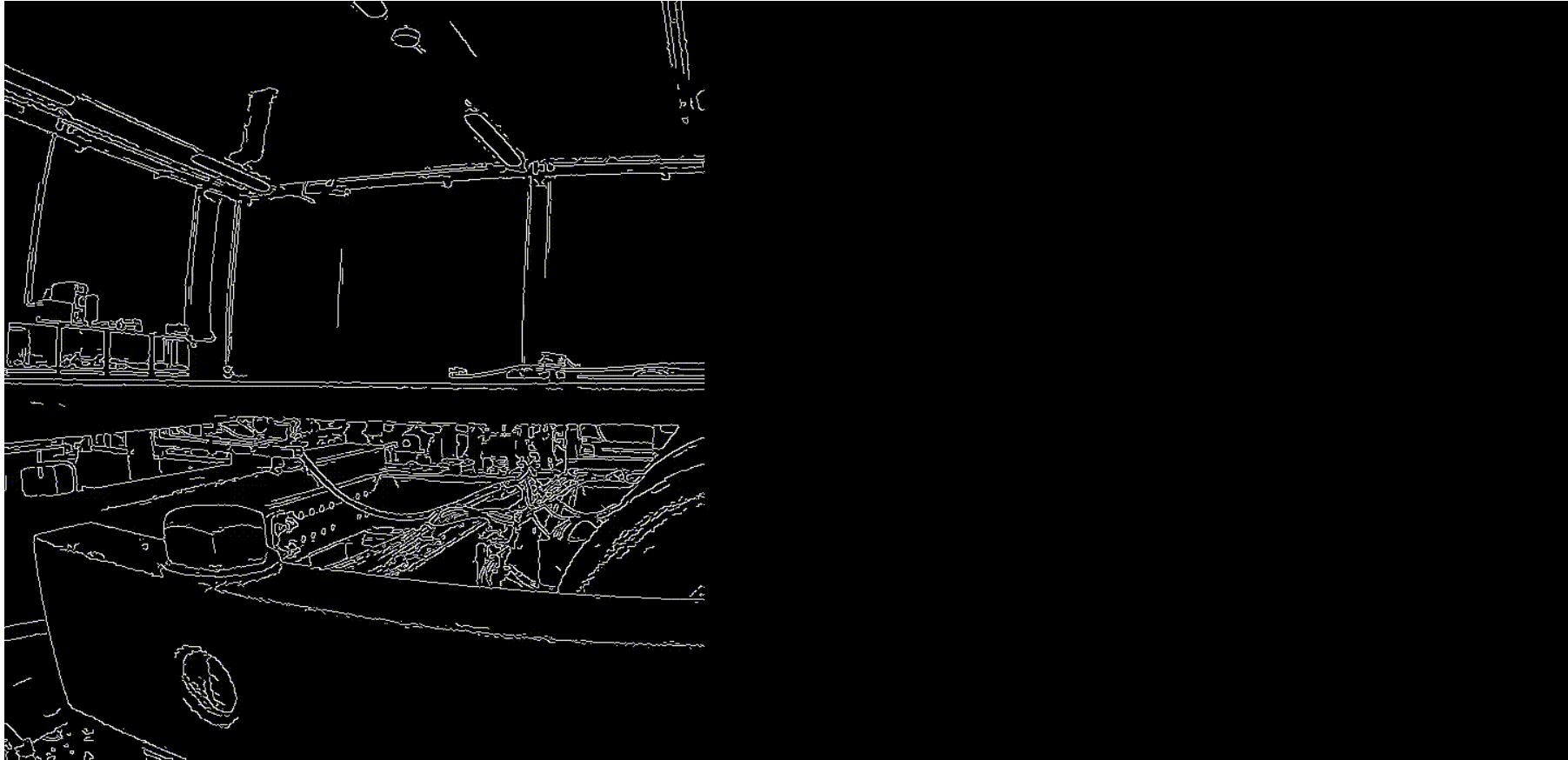
RealSense Depth Camera D435 - przykład kamery zdolnej do zapisu danych przestrzennych



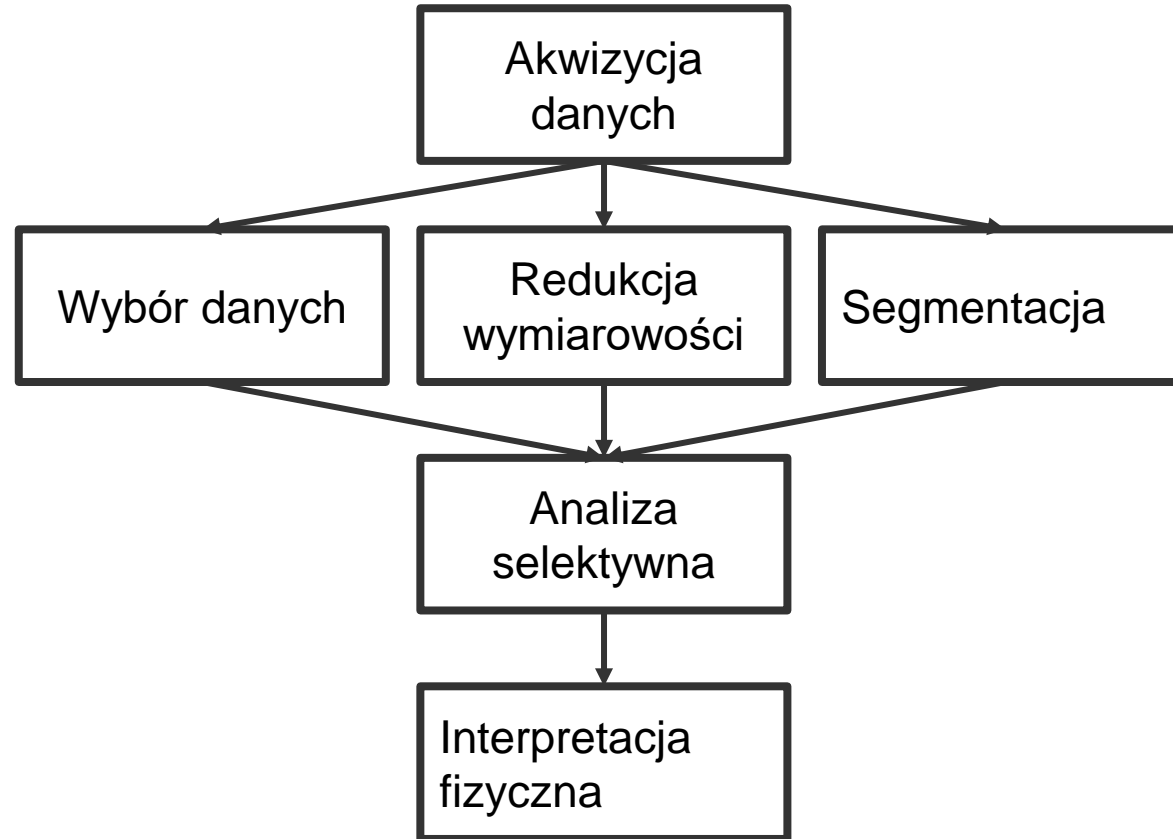
## Przykład

**Zadanie:** Pomiar prędkości obrotowej koła napinającego na podstawie danych wizualnych

**Rozwiązanie:** Przekształć ciągłe dane wizualne (kolejne klatki) w matrycę sygnałów opisujących zmianę położenia krawędzi w czasie



# Analiza oparta na drganiach



Ogólny schemat działania

## Akwizycja danych

- Ilość i lokalizacja czujników zależy od maszyny i problemu.
- Zazwyczaj (jeśli to możliwe) mierzymy drgania w co najmniej dwóch ortogonalnych kierunkach.
- Aby uzyskać wystarczającą jakość, mierzymy z częstotliwością próbkowania co najmniej 25 kHz, zwykle 50 kHz.

## Selekcja/redukcja/segmentacja

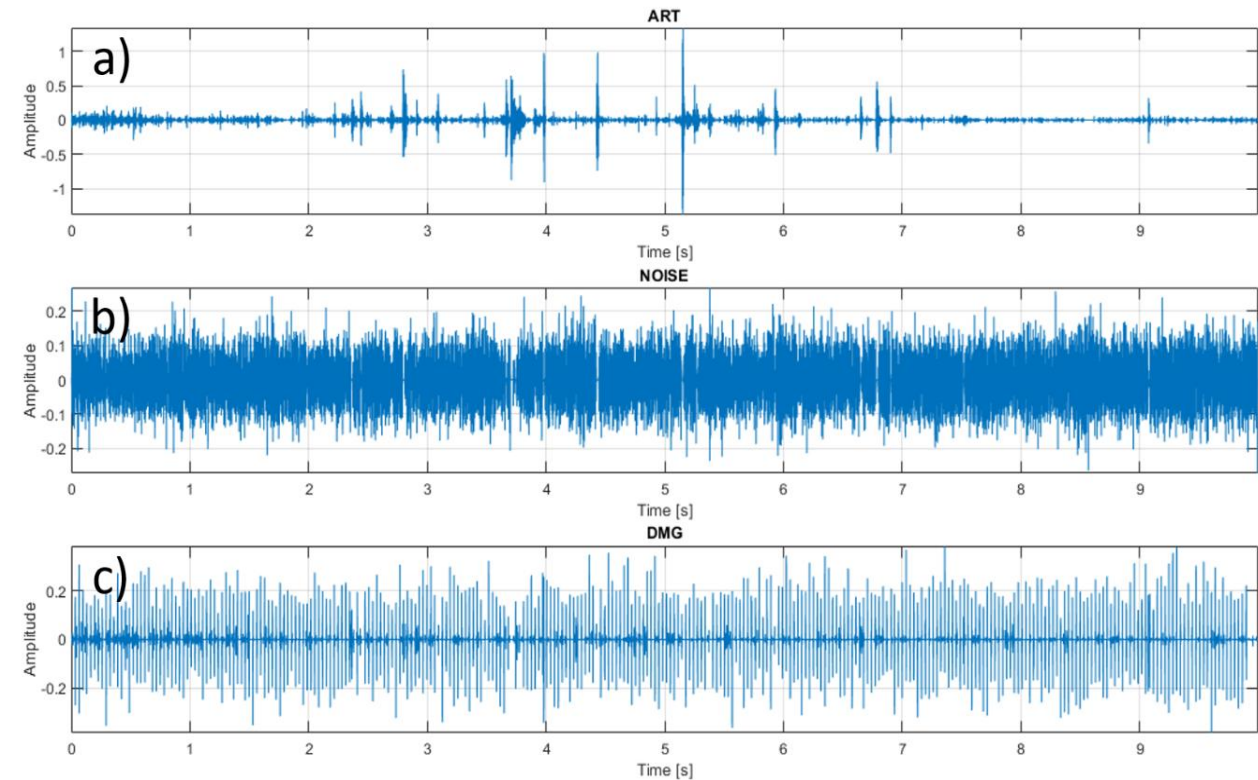
- Typowa ilość danych zebranych na jednej pozycji waha się od minut do kilkudziesięciu minut.
- Aby przeprowadzić diagnostykę i wszelkie analizy wymagające dużej mocy obliczeniowej, działamy na krótkich segmentach w zakresie kilku sekund.





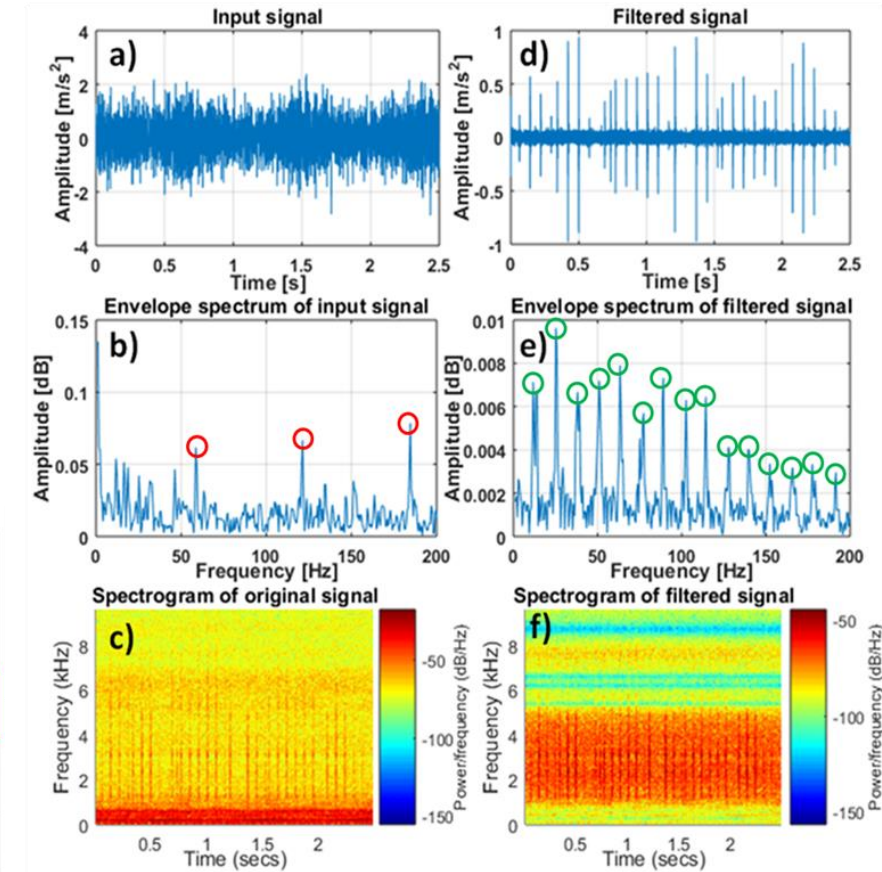
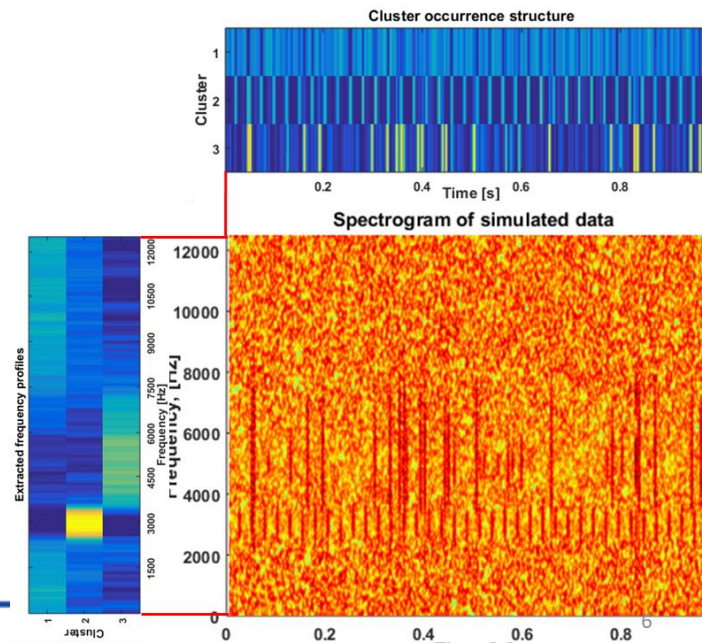
# Interpretacja

- Bardzo często (ale nie zawsze) możliwe jest oddzielenie i wizualizacja poszczególnych komponentów z danych.
- Przetwarzanie końcowe tych komponentów pozwalana zidentyfikowanie usterki lub jej braku.
- Jeśli rozdzielenie składników nie jest możliwe wizualna interpretacja istotnych danych struktury pozwala postawić diagnozę.



# Analiza selektywna

- Głównym problemem jest oddzielenie wewnętrznych komponentów w danych dotyczących drgań.
- Aby przeanalizować strukturę danych, często przekształcamy je w wielowymiarowe reprezentacje, takie jak mapy czasowo-częstotliwościowe, mapy cyklostacjonarne itp.
- Aby wyodrębnić przydatne informacje, używamy technik takich jak filtracja, rozkład, faktoryzacja, analiza statystyczna, odszumianie i wiele innych.





# Przykład 1: Kruszarka młotkowa

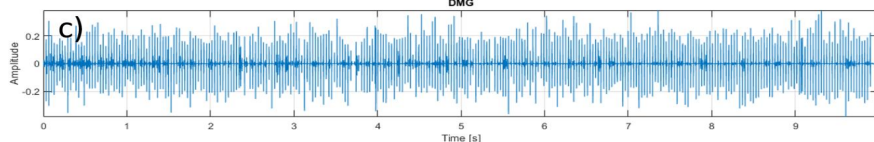
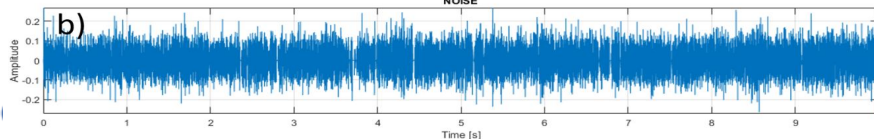
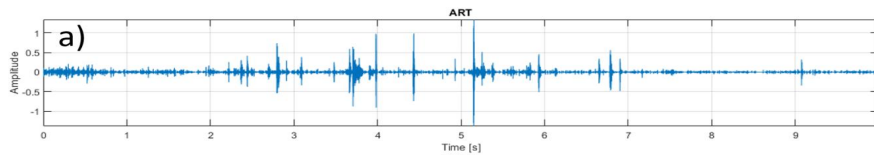
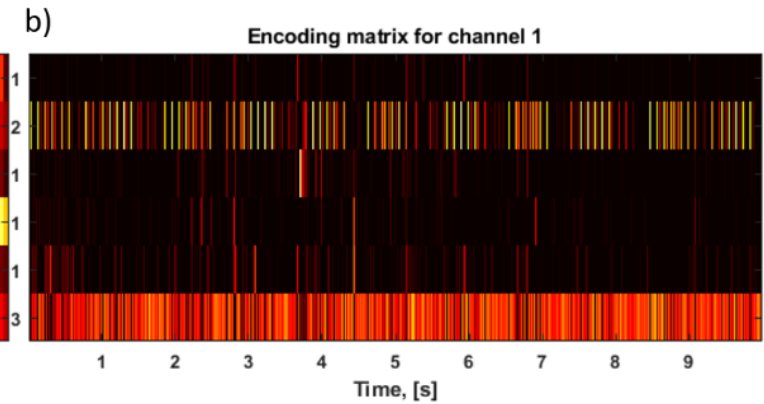
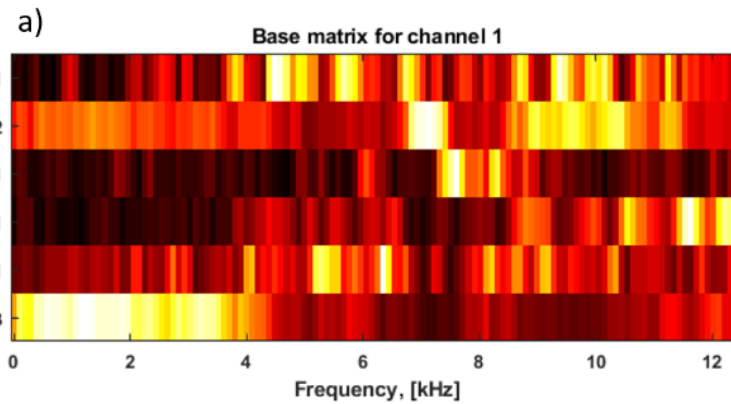
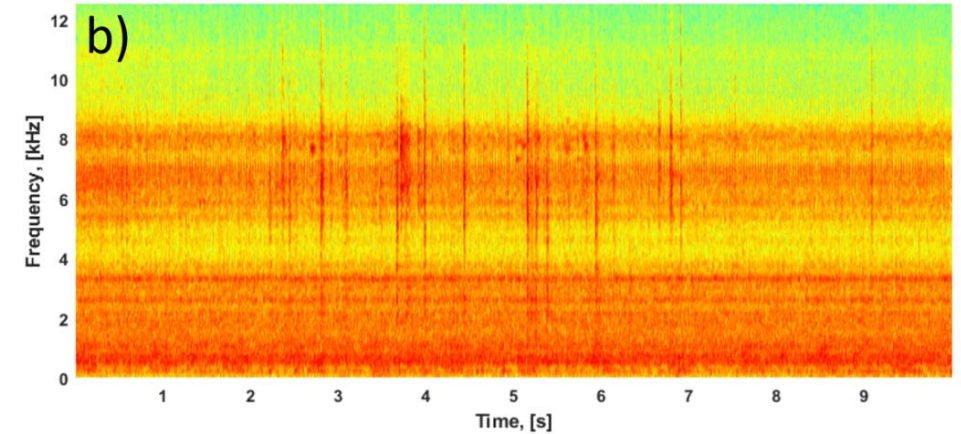
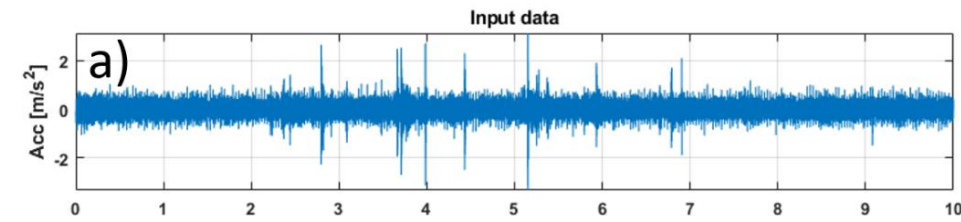
Problem: podejrzenie uszkodzenia łożyska w wysokoenergetycznym impulsowym środowisku.

Dane: jednowymiarowe

Wykorzystana struktura danych: mapa czasowo-częstotliwościowa (spektrogram).

Metoda analizy: beta-HALS NMF (Generalized Hierarchical Alternating Least Squares Nonnegative Matrix Factorization with Beta-Divergence).

Rezultat: trzy elementy oddzielone i zrekonstruowane (uszkodzenia, hałas, uderzenia skał), zidentyfikowane uszkodzenia.



ded by the  
an Union



Wrocław University  
of Science and Technology





## Przykład 2: Sprężarka

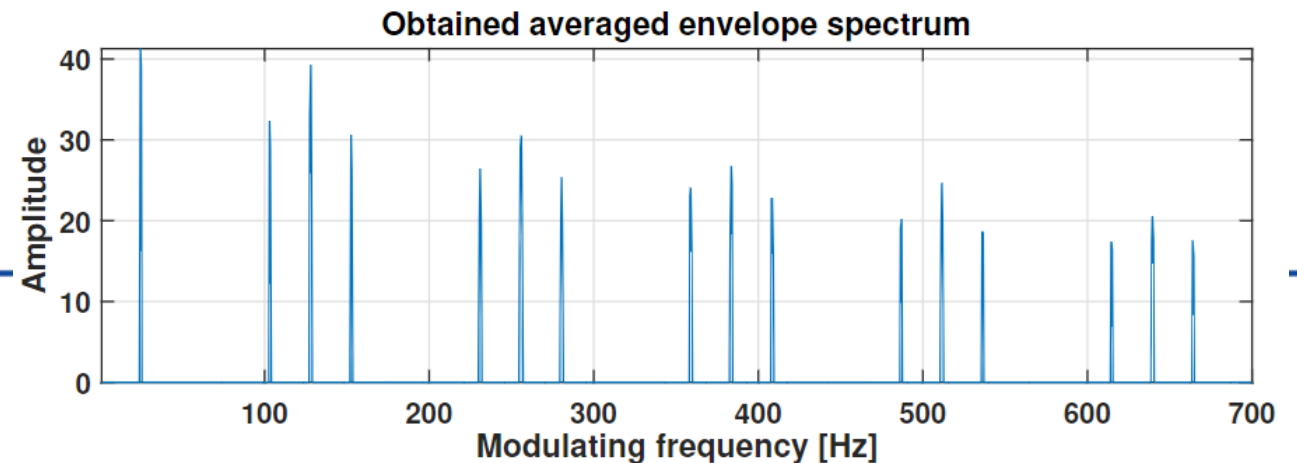
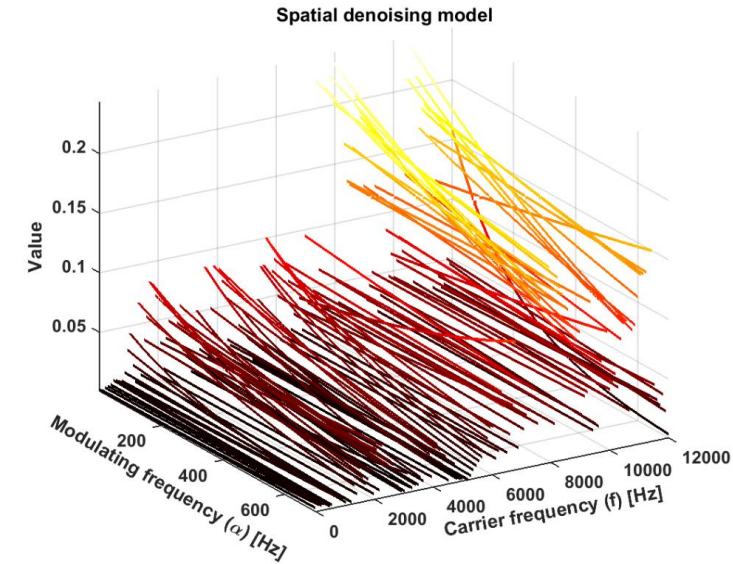
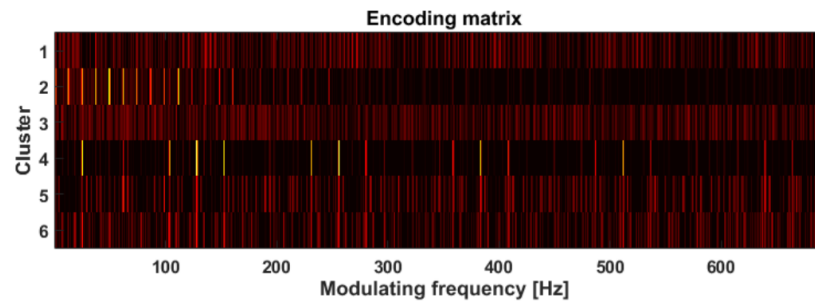
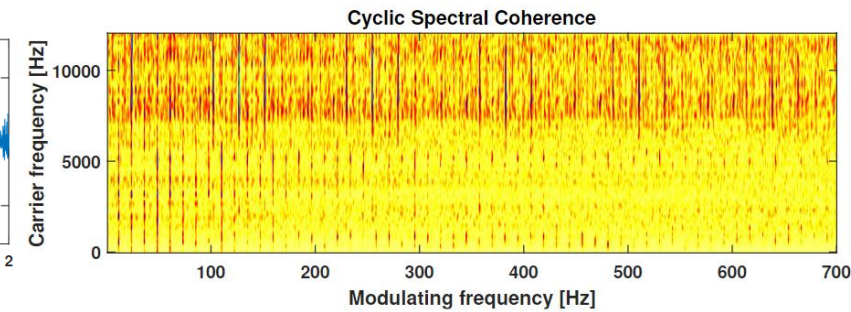
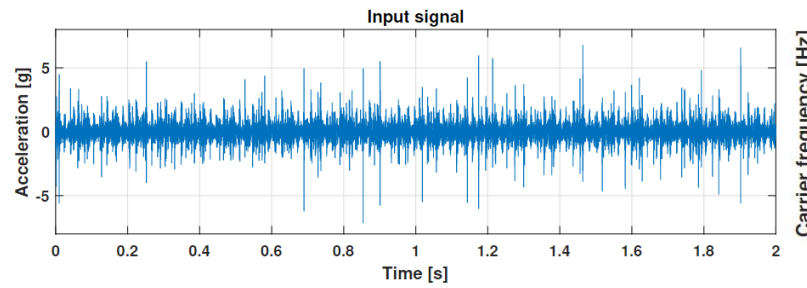
Problem: podejrzenie usterki łożyska w sprężarce - cykliczna impulsywna praca tłoków, usterka jest również cykliczna i impulsowa.

Dane: jednowymiarowe

Wykorzystana struktura danych: cykliczna koherencja spektralna (CSC).

Metoda analizy: euklidesowa faktoryzacja macierzy nieujemnej, symulacja Monte Carlo, odszumianie przestrzenne.

Wynik: rozdzielenie komponentów, uzyskanie idealnego spektrum obwiedni wadliwego komponentu, zidentyfikowane uszkodzenia.



# Przykład 3: Skrzynia biegów

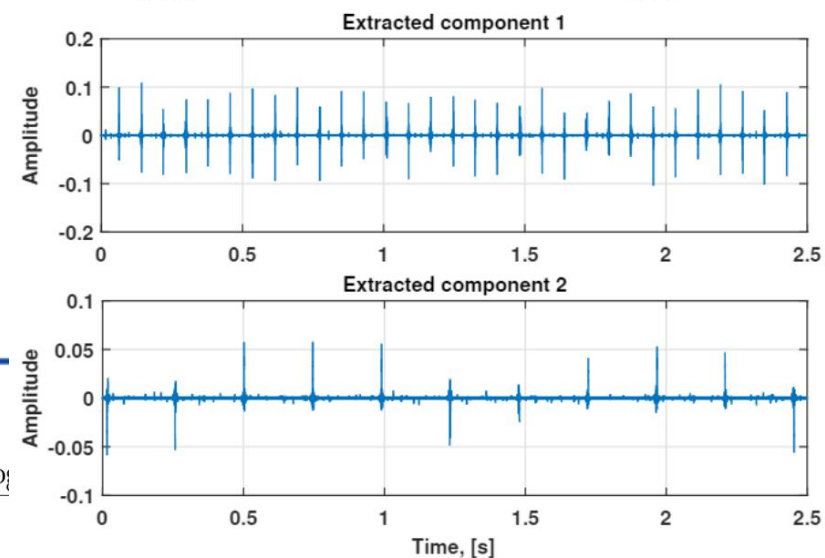
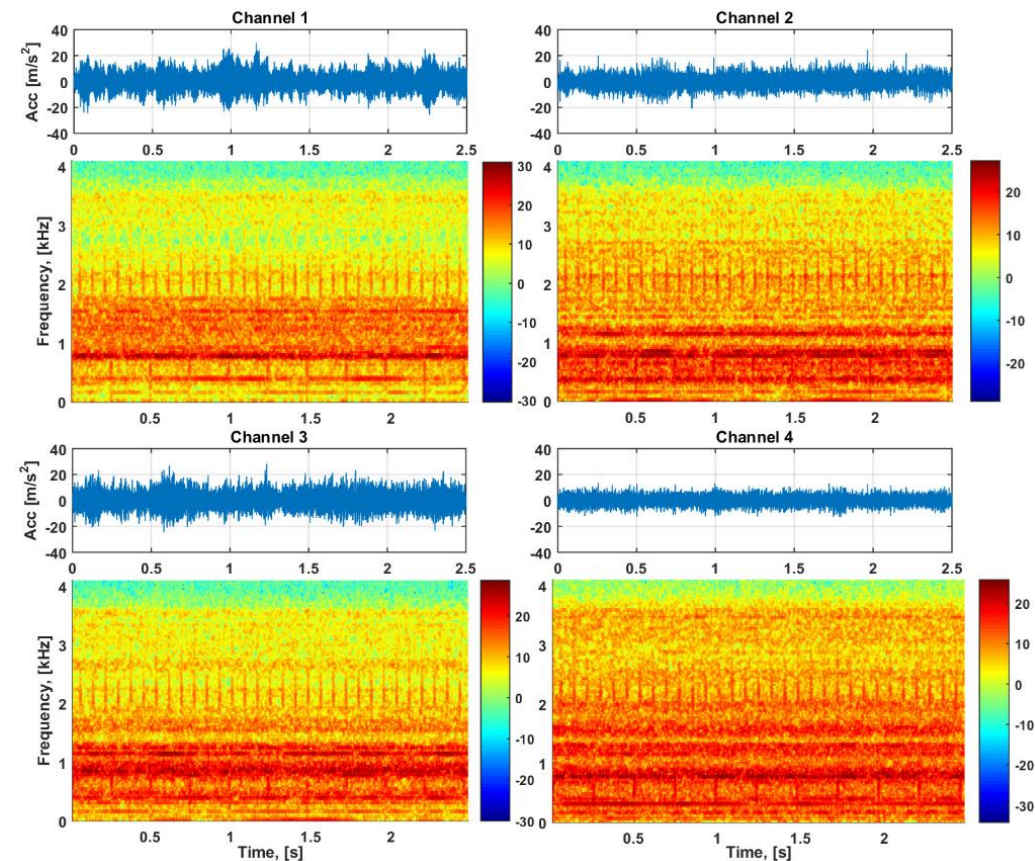
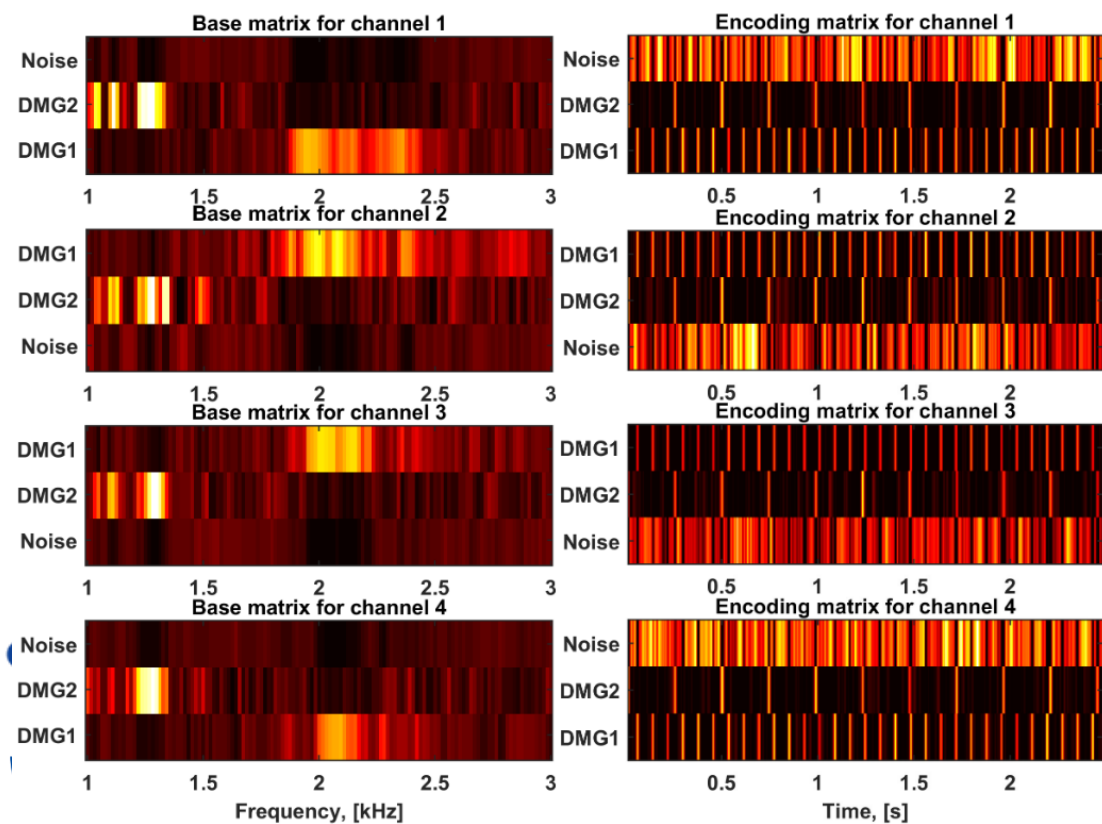
Problem: dwie usterki - wał, koło zębate i łożysko.

Dane: czterowymiarowe

Wykorzystana struktura danych: mapa czasowo-częstotliwościowa (spektrogram).

Metoda analizy: beta-HALS NMF, analiza statystyczna, fuzja danych.

Rezultat: elementy oddzielone i zrekonstruowane, oba uszkodzenia zidentyfikowane.





## Przykład 4: Przesiewacz

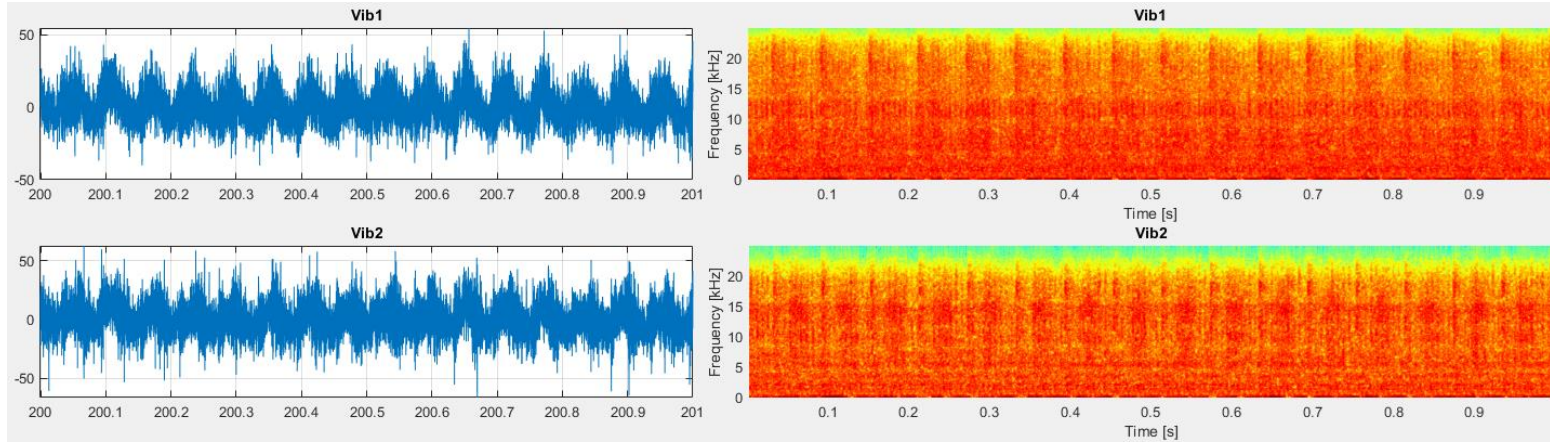
Problem: wadliwe łożysko.

Dane: wielowymiarowe (10 zmierzonych, 2 opisujące usterkę)

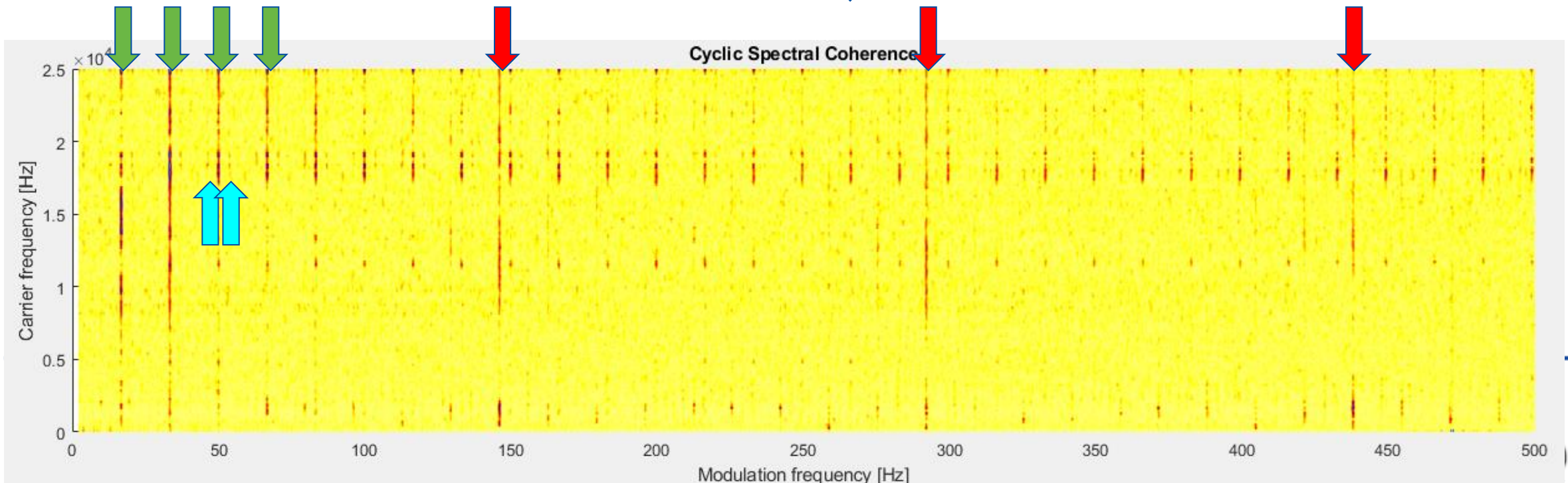
Wykorzystana struktura danych: mapa czasowo-częstotliwościowa (spektrogram) do rozpoznania, cykliczna koherencja spektralna (CSC) do identyfikacji.

Metoda analizy: Wizualna, ekspercka wiedza.

Wynik: rozpoznane komponenty, zidentyfikowane uszkodzenia (lokalne uszkodzenia rasy wewnętrznej).



- ↓ Cykl wału
- ↓ Usterka łożyska (bieżnia wewnętrzna)
- ↓ Modulacja z innej maszyny (pasma boczne)





# Analiza oparta na hałasie

- Pomiar dźwięku jest przydatny, gdy nie możemy zmierzyć wibracji.
- Bardzo często sygnał audio jest analizowany w podobny sposób jak wibracje (również sygnał szybko próbkowany).
- Sygnał audio jest bardziej zaszumiony i pośredni niż wibracje, trudniejszy do analizy, nie zawsze zawiera przydatne informacje.
- Analiza danych audio może być bardzo przydatna i przynieść cenne wyniki, ale użyteczność danych zależy od indywidualnego przypadku i właściwego planowania.
- Zazwyczaj mierzymy dźwięk z częstotliwością próbkowania 50 kHz.

# Przykład 1: Przenośnik taśmowy

Problem: diagnostyka kół napinających pod kątem uszkodzeń łożysk.

Dane: jednowymiarowe, 135 nagrań

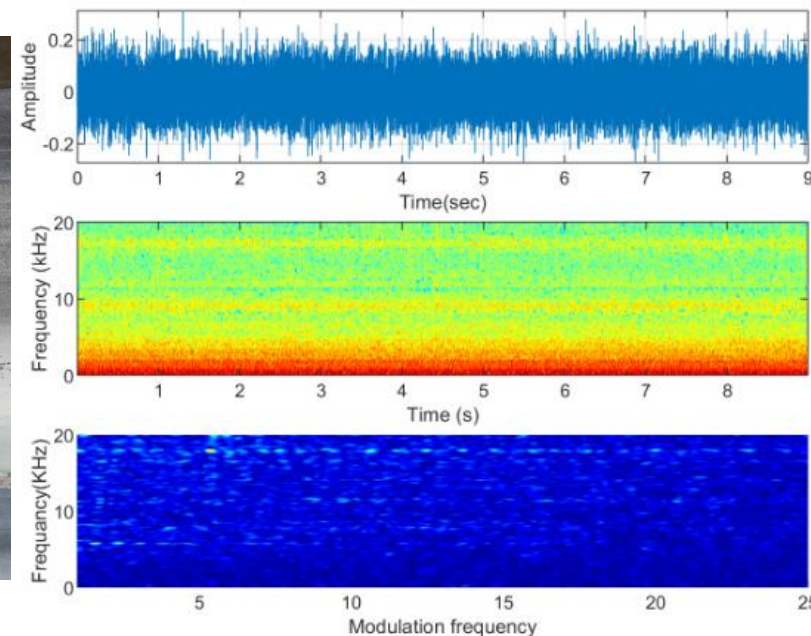
Wykorzystana struktura danych: mapa czasowo-częstotliwościowa (spektrogram), cykliczna koherencja spektralna (CSC).

Metoda analizy: analiza statystyczna, analiza głównych składowych, parametryzacja wielowymiarowa.

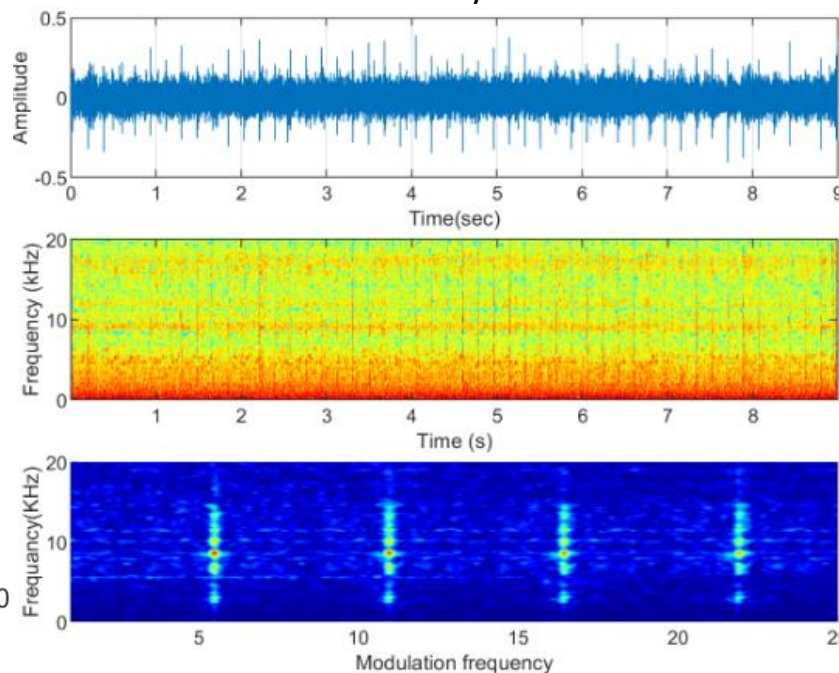
Wynik: zidentyfikowane uszkodzenia, sygnały sklasyfikowane w trzech klasach (wadliwe, zdrowe, niejednoznaczne - dźwięk zanieczyszczony uderzeniami mechanicznego złącza taśmy).



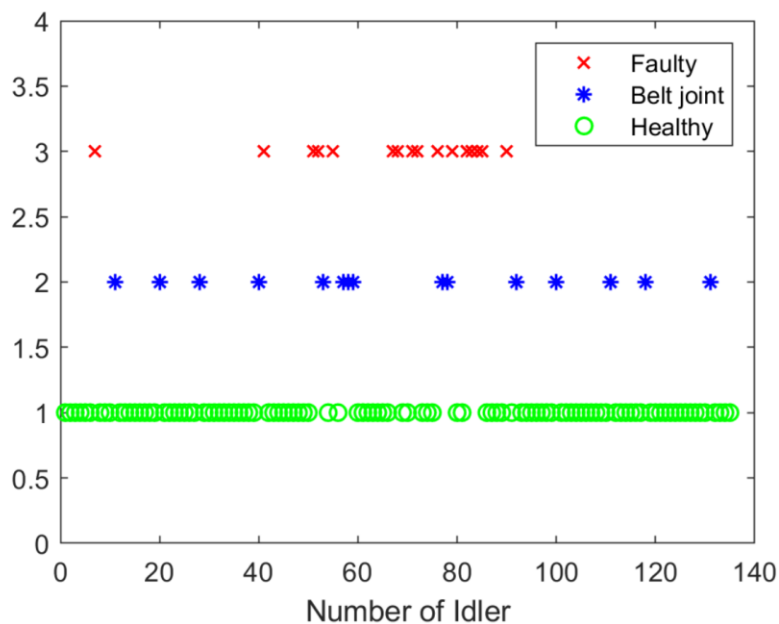
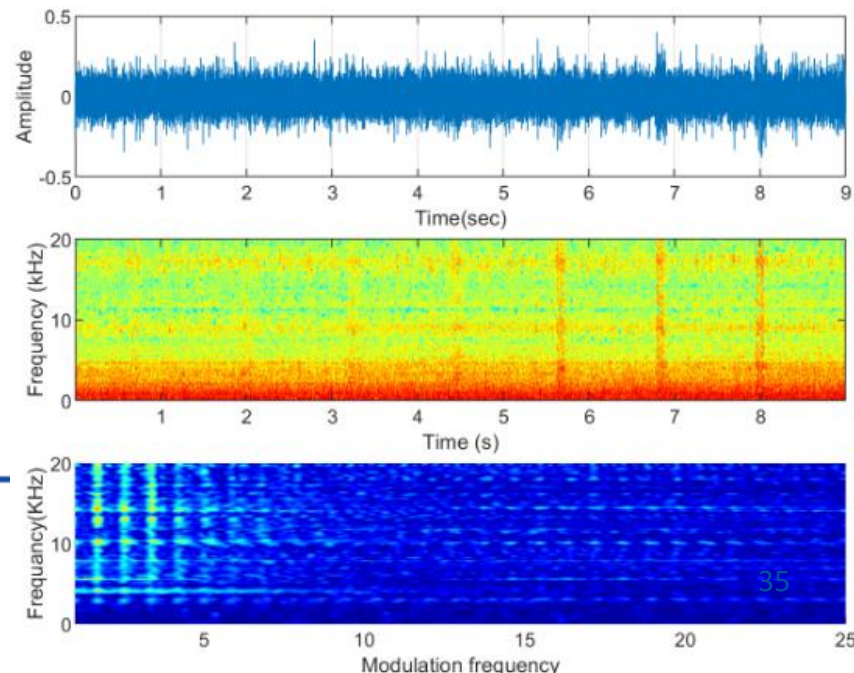
healthy



faulty



inconclusive





# Przykład 2: łożysko toczne

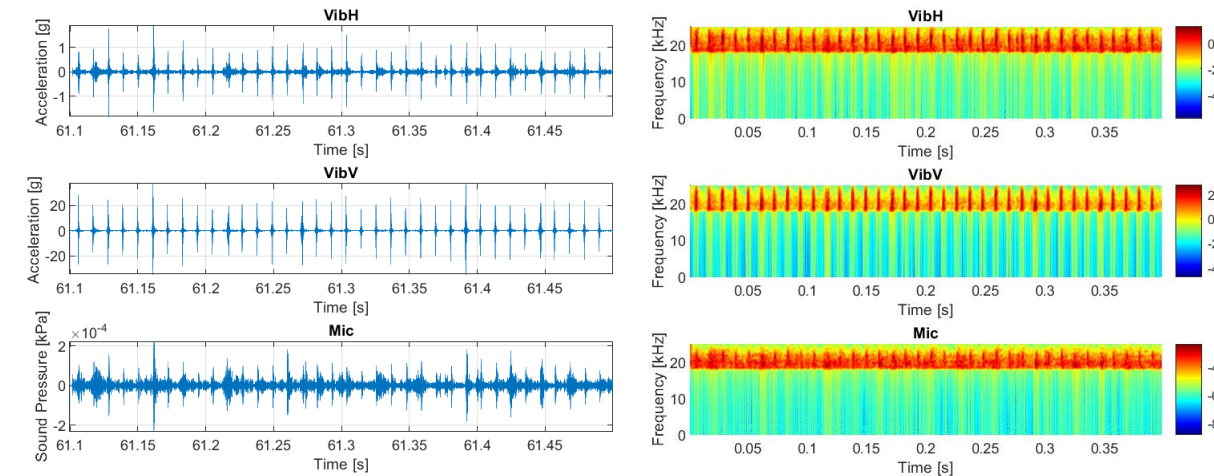
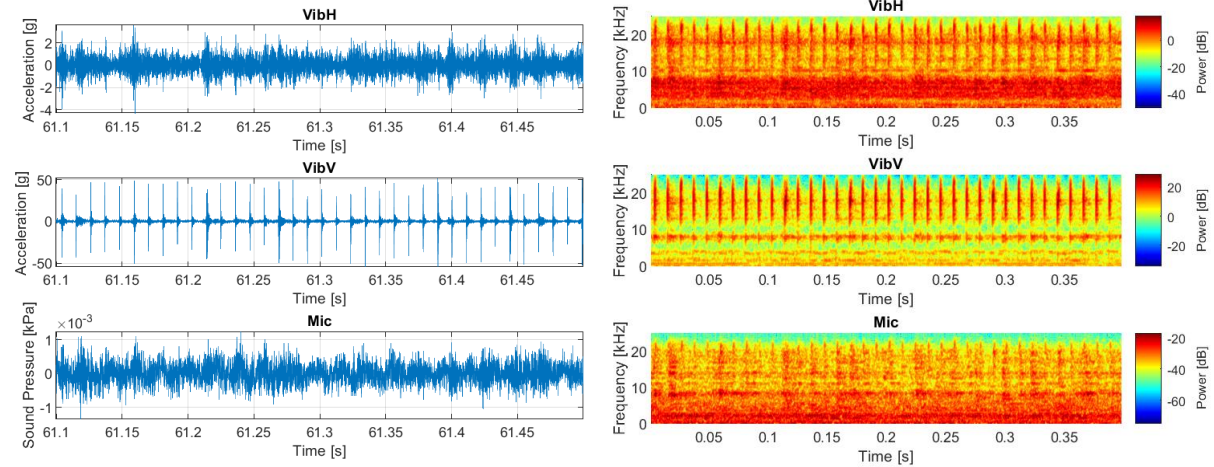
Problem: dźwiękowe wykrywanie usterki łożyska.

Dane: jednowymiarowe (jeden kanał dźwiękowy, wibro do walidacji)

Wykorzystana struktura danych: mapa czasowo-częstotliwościowa (spektrogram).

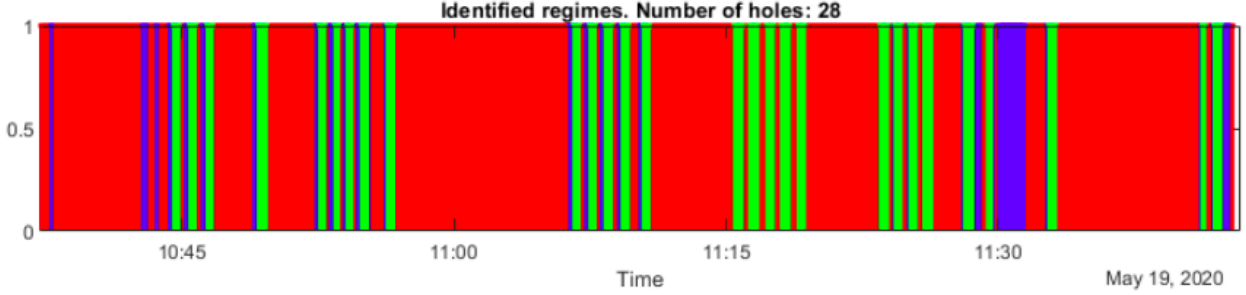
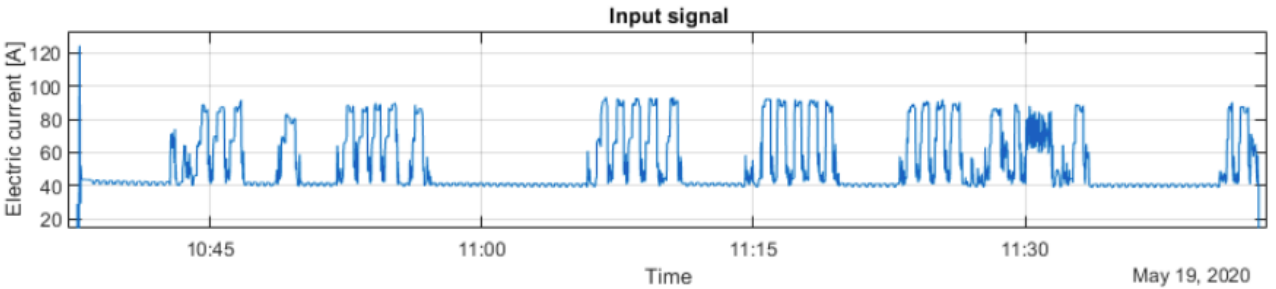
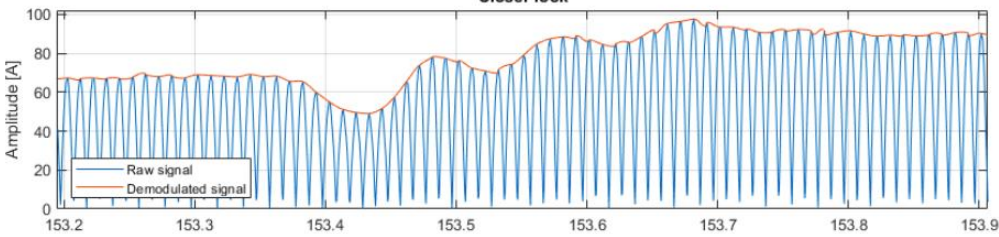
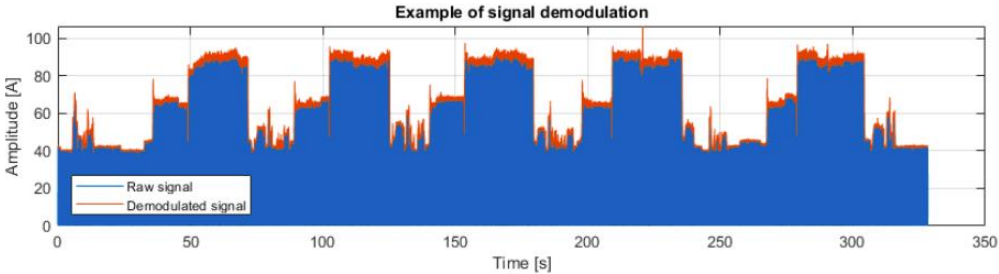
Metoda analizy: filtracja.

Wynik: wykryte uszkodzenia, potwierdzone sygnałami wibracyjnymi.

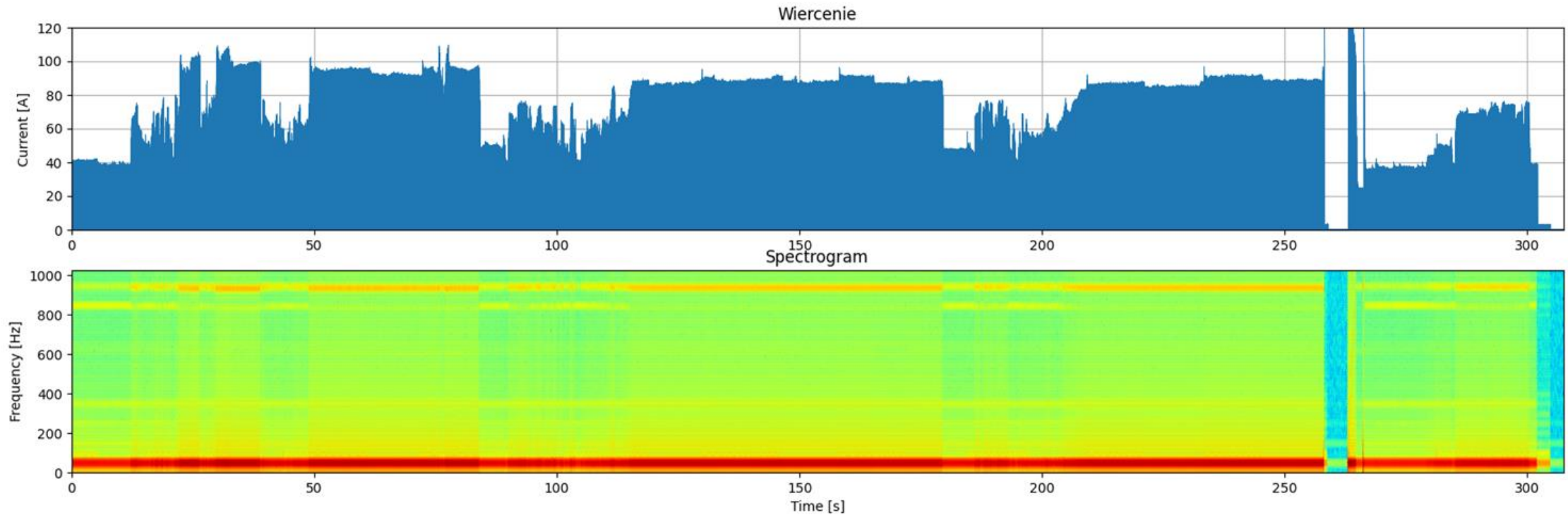




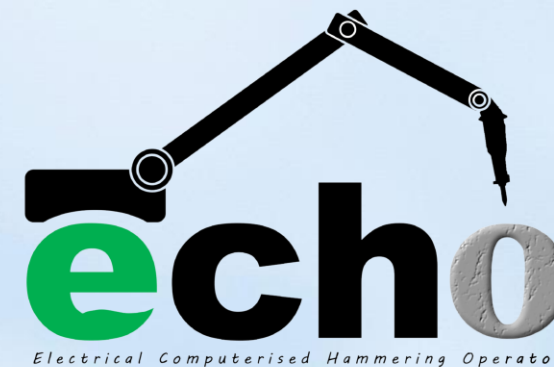
# Analiza oparta na prądzie elektrycznym



# Analiza oparta na prądzie elektrycznym - dziedzina częstotliwości







# Innowacyjne technologie w eksploatacji surowców krytycznych i strategicznych

Sesja III

19.09.2022

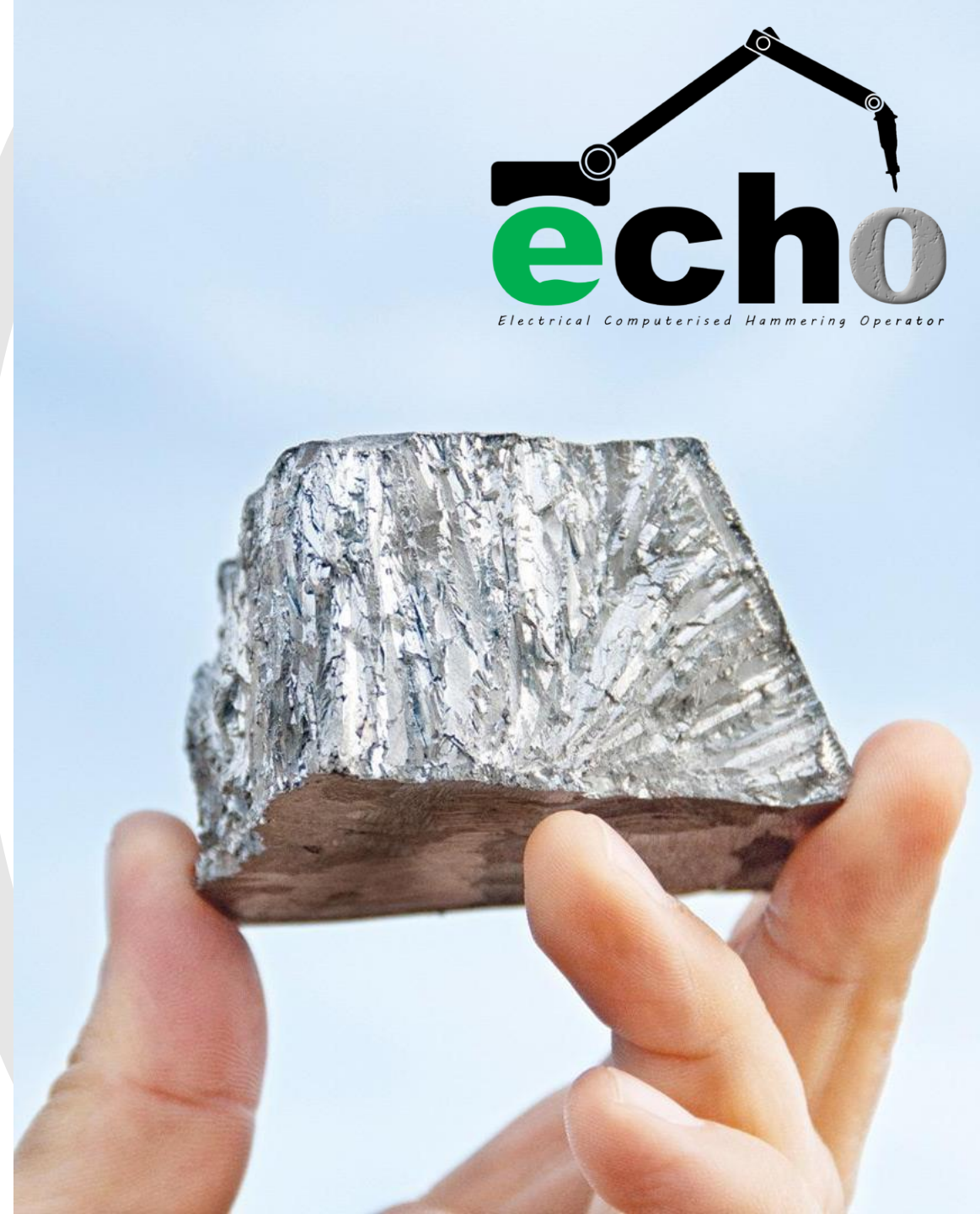
Politechnika Wrocławska



Co-funded by the  
European Union



Wrocław University  
of Science and Technology





# PROJEKTY EIT RM NA W06 UPSCALING



# Możliwości wykorzystania danych 3D ze skaningu laserowego do analizy numerycznej rozptywu powietrza w wyrobiskach górniczych - projekt VOT3D



# Problematyka projektu



Zmiana geometrii wyrobisk w czasie eksploatacji – zaciskanie wyrobisk



Nierównomierność powierzchni ociosów, stropu i spągu wyrobisk

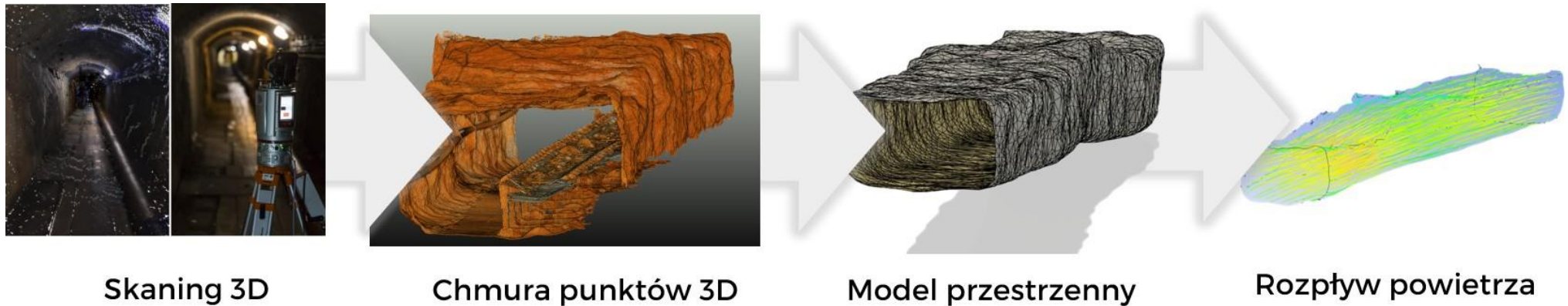


Zmienność kierunku zapadania wyrobisk w osi poziomej i pionowej





# Założenie projektu

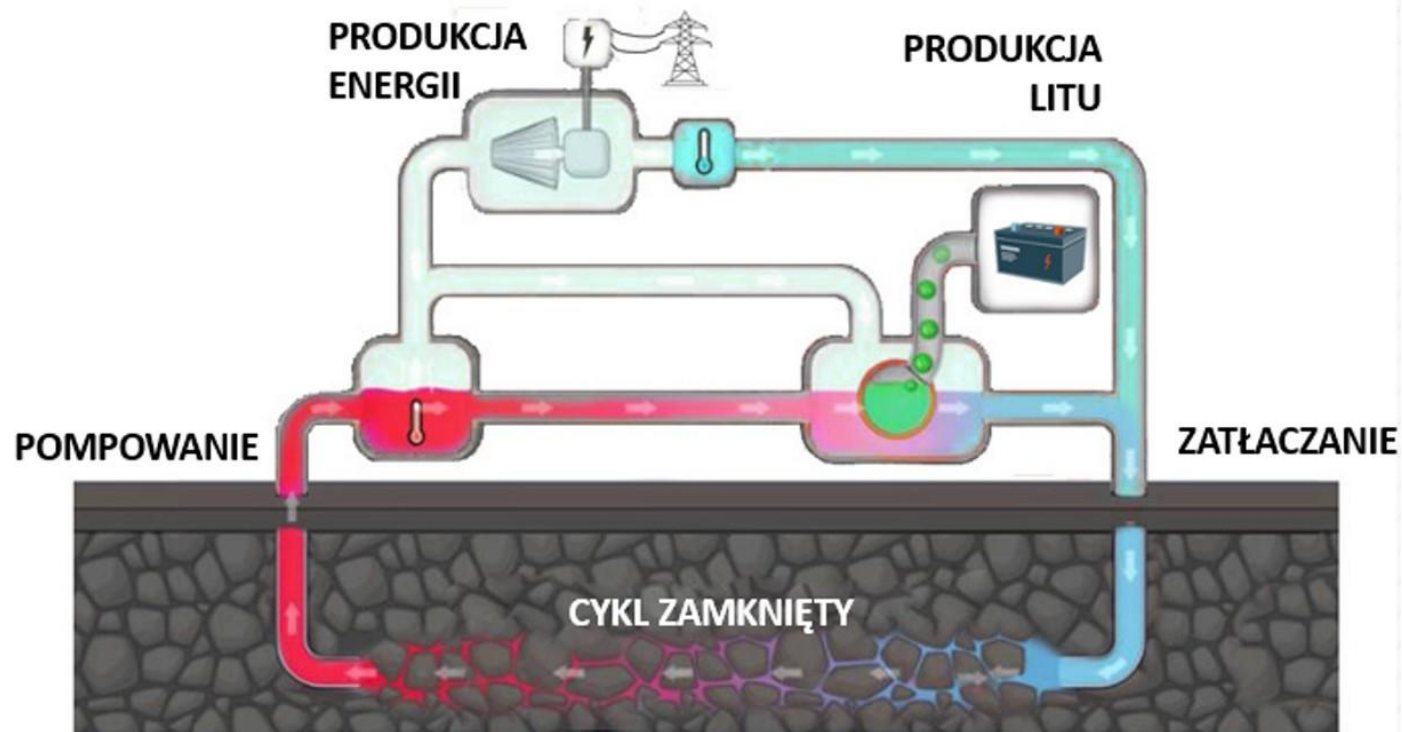




# BrineRIS - Solanki krajów RIS jako źródło CRM i dostaw energii



# DLACZEGO SOLANKI GEOTERMALNE?





# Robot do zastosowań inspekcyjnych w górnictwie - projekt AMICOS

## AMICOS – Projekt finansowany przez EIT KIC Raw Materials

- Inspekcja infrastruktury technicznej
- Wsparcie akcji ratowniczych
- Monitorowanie środowiska

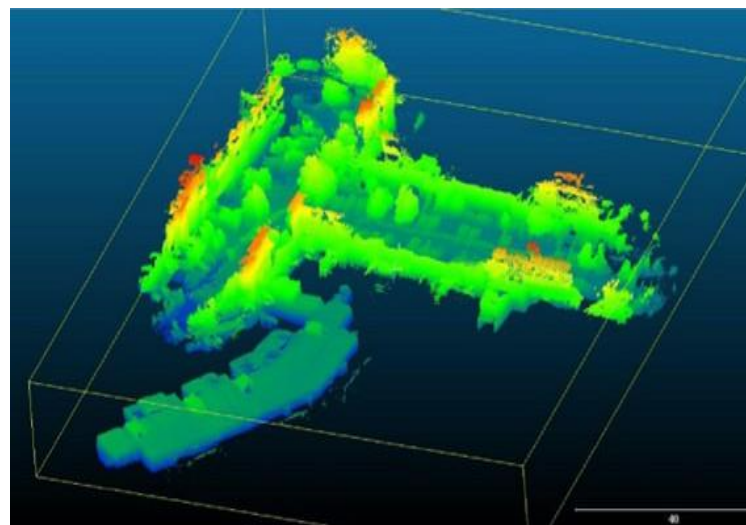
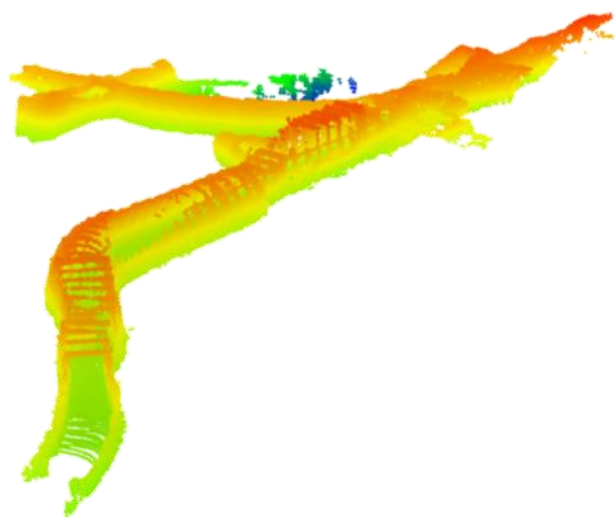


## Przykład zastosowania: Ocena stanu technicznego taśmy przenośnika (film)

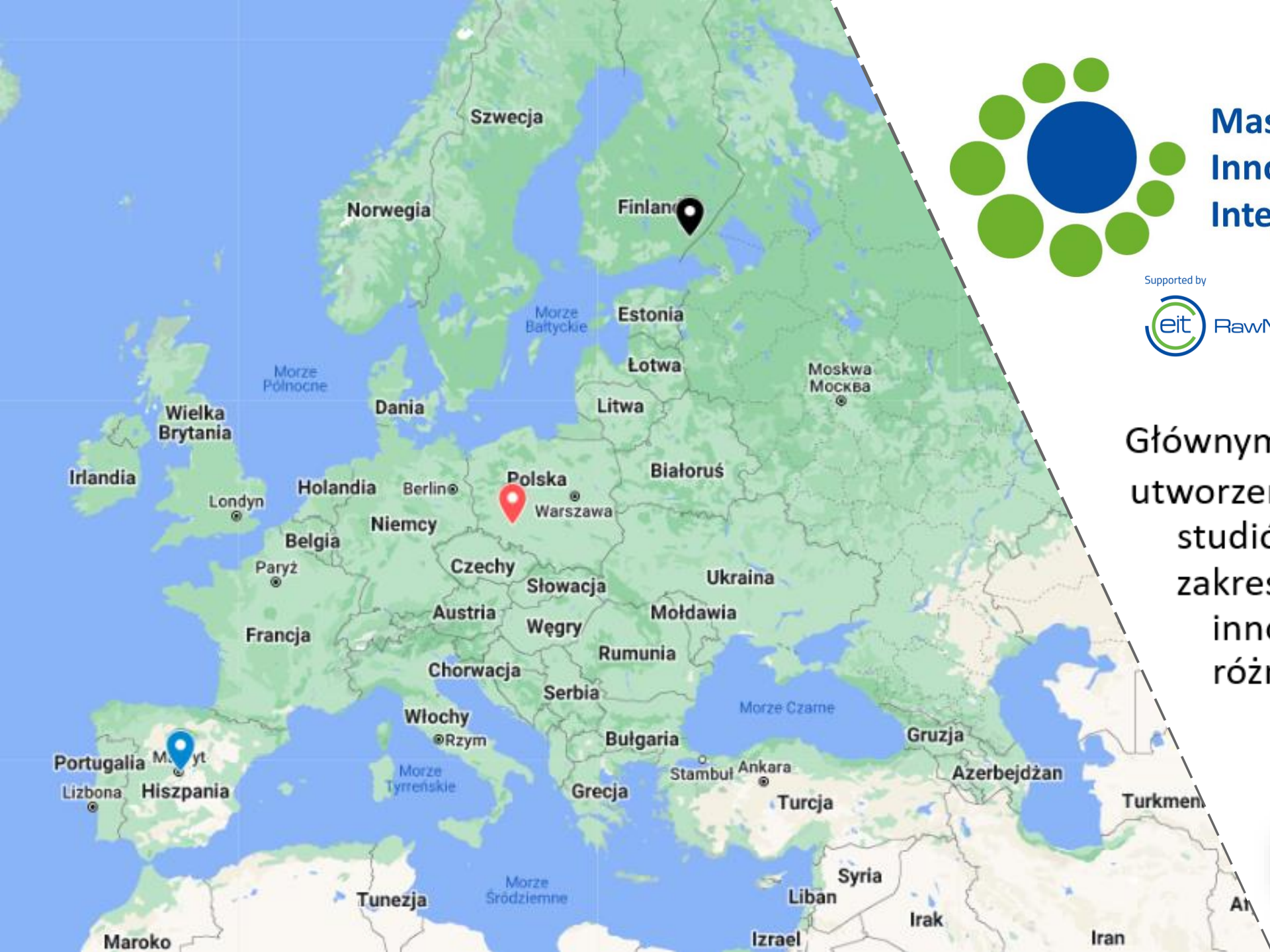




# Testy terenowe – skanowanie i mapowanie







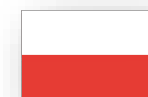
## Master in Entrepreneurship, Innovation and Technology Integration in Mining

Supported by



Co-funded by the  
European Union

Głównym celem projektu jest utworzenie nowego programu studiów magisterskich w zakresie przedsiębiorczości, innowacji i integracji różnorodnych technologii w górnictwie.



# Dziękujemy za uwagę!

