Politechnika Śląska

UCZELNIA BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

FUNDAMENTALNE ZNACZENIE INFORMACJI I CZASU JEJ POZYSKANIA W BADANIACH NAUKOWYCH I ZASTOSOWANIACH INŻYNIERSKICH

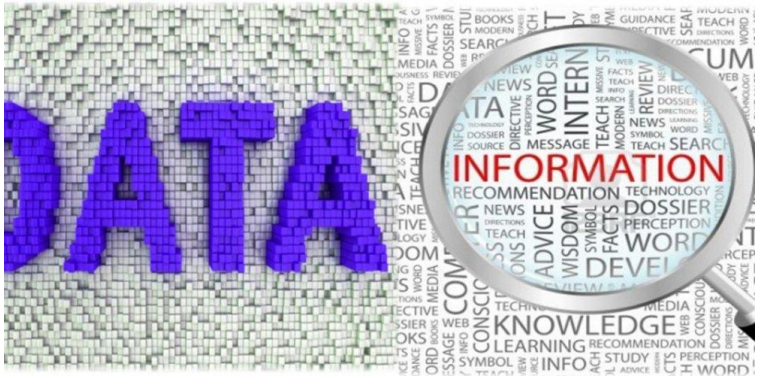
Rafał Burdzik
Politechnika Śląska
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

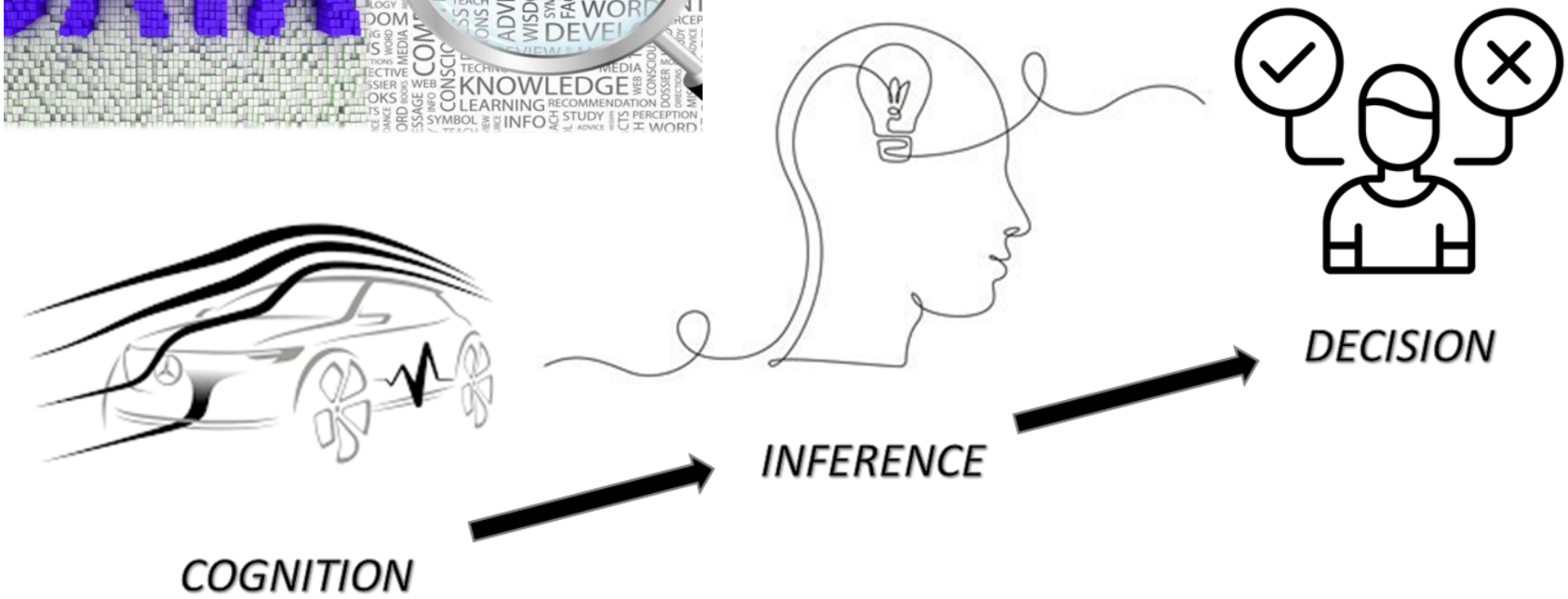
Sympozjum Akademii Inżynierskiej w Polsce
Willi Goldsteinów w Katowicach, 27.01.2026

Politechnika Śląska

Akademia Inżynierska w Polsce
Academy of Engineering in Poland

MOTYWACJA..

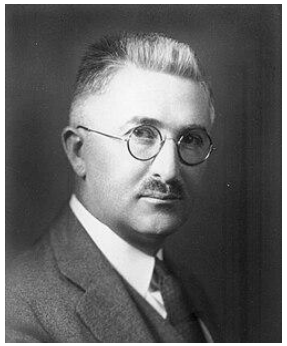

DATA
INFORMATION
KNOWLEDGE


COGNITION
INFERENCE
DECISION

INFORMACJA.. geneza i kamienie milowe..

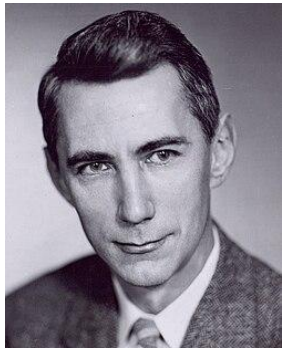
1889 - 1976

1924 – Harry Nyquist, naukowiec z Bell Laboratories, opublikował artykuł „Certain Factors Affecting Telegraph Speed (Pewne czynniki wpływające na prędkość telegrafu)”.



1888 - 1970

1928 – Ralph Vinton Lyon Hartley w swoim artykule „Transmission of Information” przedstawił pierwsze matematyczne podstawy teorii informacji bazując na zjawiskach fizycznych (nie psychologicznych).



1916 - 2001

1948 – Claude Elwood Shannon, opublikował artykuł „A Mathematical Theory of Communication (Matematyczna teoria komunikacji)”, w którym przedstawił fundamenty teorii sygnałów.

INFORMACJA.. Ogólnie..

W teorii informacji, w ujęciu ogólnym, jest to każde rozpoznanie stanu systemu, który można odróżnić od innego stanu tego systemu.

W koncepcji informacji istotne jest nie samo zjawisko, ale jego związek z zestawem zdarzeń, które mogły wystąpić.

Sygnał natomiast to abstrakcyjny model dowolnej mierzalnej wielkości, która zmienia się w czasie i generowana jest przez zjawiska fizyczne lub układy.

Można go opisać za pomocą aparatu matematycznego, np. poprzez określenie pewnej funkcji zależnej od czasu. Mówi się wówczas, że **sygnał przenosi informację** lub umożliwia przepływ strumienia informacji.

Sygnał vs symptom

Założenie #1

Symptomy diagnostyczne (uporządkowane zbiory S={S1(θ), S2(θ), …, Sm(θ)}) zależą od parametrów stanu

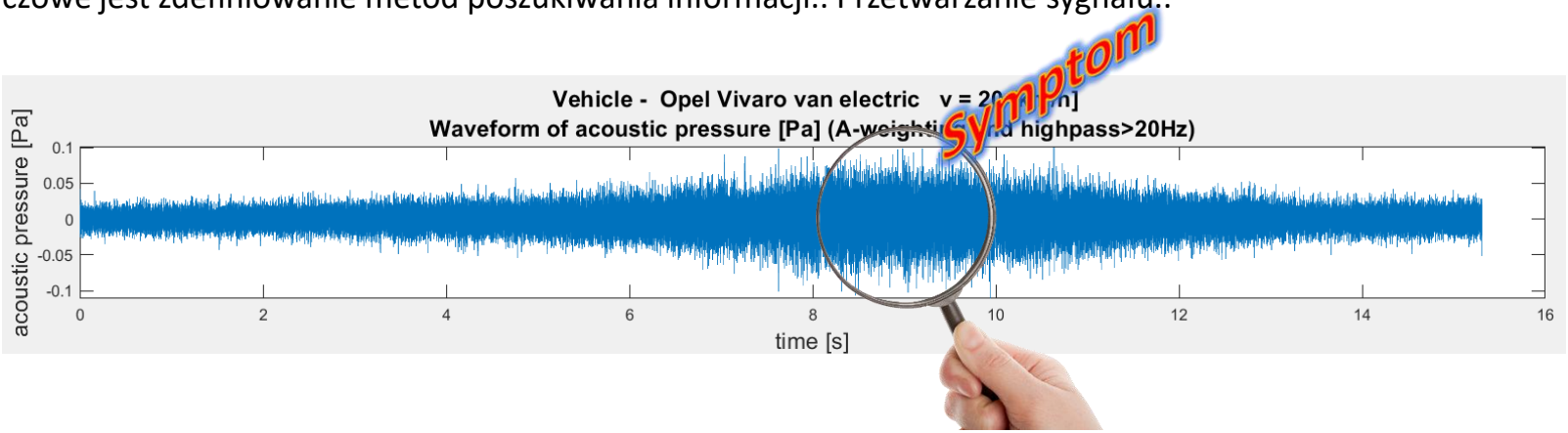
$$\mathbf{S}(\theta) = F[\mathbf{X}(\theta)]$$

Założenie #2

Możliwe jest zdefiniowanie estymatorów, jako miar symptomów: $V_{PP} = 2 \times V_P = 2\sqrt{2} \times V_{RMS}$

Założenie #3

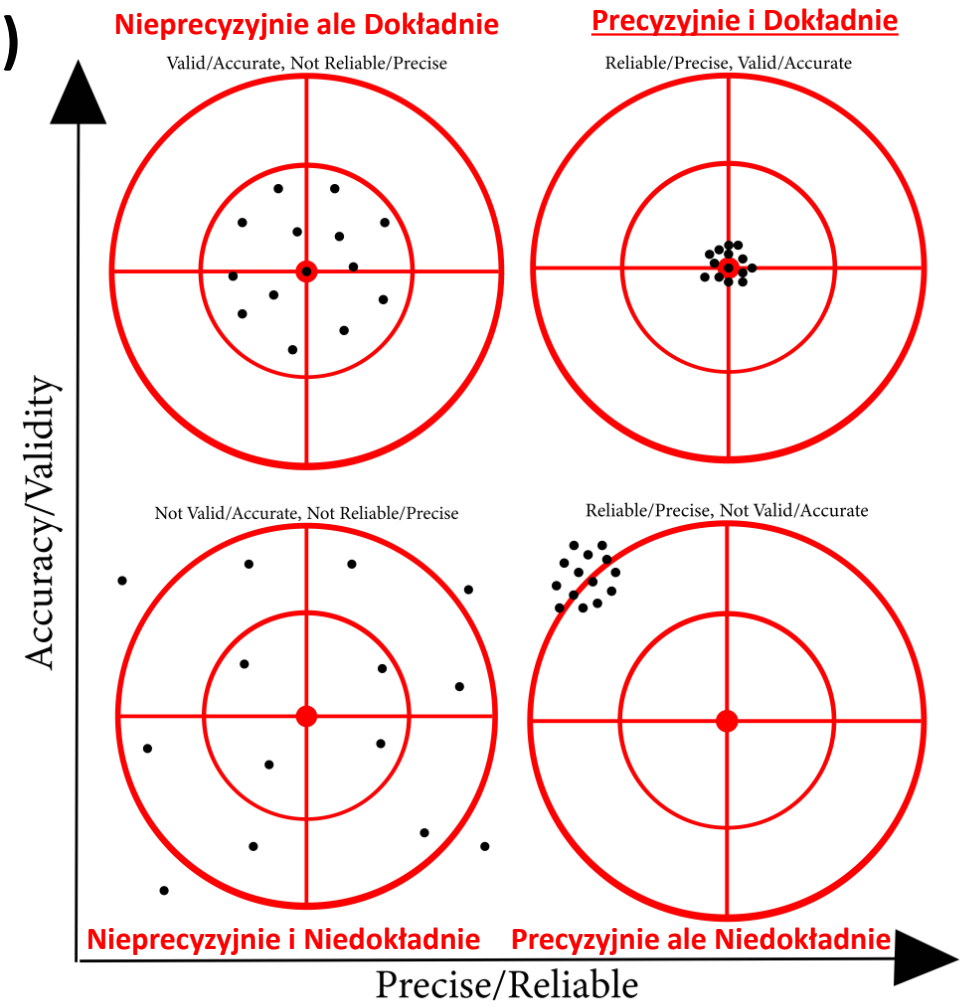
Kluczowe jest zdefiniowanie metod poszukiwania informacji.. Przetwarzanie sygnału..



Oczekiwania wobec sygnału..

Kryteria oceny informacji **(jakości) sygnału** (szczególnie VA):

- ✓ Jakość
- ✓ Pojemność
- ✓ Czułość
- ✓ Skuteczność
- ✓ Powtarzalność
- ✓ Dokładność
- ✓ Precyzja
- ✓ Niezawodność
- ✓ Zdolność do magazynowania

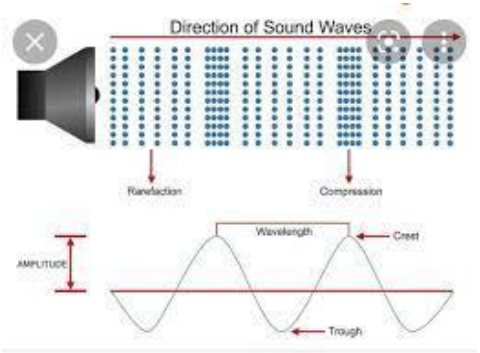


RELIABILITY & VALIDITY, Posted on July 18, 2021, by Stephen Sorensen
https://ctruth.today/2021/07/18/reliability-validity/

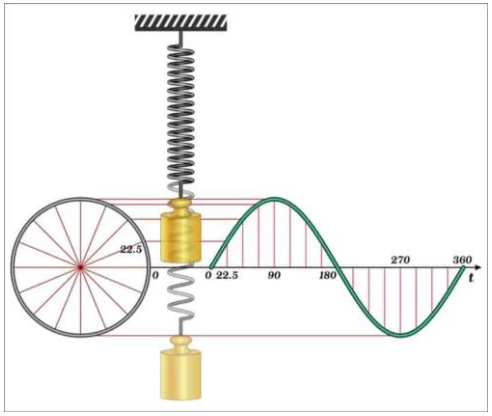
Wybór sygnału.. SMART..

Determinanty **jakości, niezawodności i pojemności informacyjnej sygnału**:

- właściwa definicja obserwowanego zjawiska (właściwości)
- wybór czujnika (typ i specyfikacja techniczna)
- konfiguracja systemu pomiarowego (szacowanie niepewności typu B)
- wybór lokalizacji czujnika (im bliżej źródła, tym lepiej)
- wybór metody montażu czujnika (zakres częstotliwości przenoszenia)
- określenie warunków pomiaru (warunki otoczenia i pracy urządzeń)
- określenie strategii pomiaru
- sposób przechowywania wyników i kompletność dokumentacji warunków pomiaru



Sound velocity, Nature and properties of sound waves
BY HEBA SOFFAR · PUBLISHED AUGUST 22, 2014 · UPDATED JUNE 14, 2022
https://www.online-sciences.com/the-waves/the-nature-and-the-properties-of-the-sound-waves/



https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-natural-frequency-formula-what-is-it-and-why-is-it-important

Czas pozyskania informacji..

Aktualnie toczy się kolejny wyścig w zakresie wspomagania badań naukowych oraz aplikacji inżynierskich.
Jest to „**wyścig z czasem**”.. z czasem pozyskania satysfakcjonującej informacji w wyniku pomiaru i przetwarzania sygnałów.

Czas pozyskania i transmisji informacji w wyniku pomiaru zależy od medium sygnału, które silnie zależy od fizycznych zjawisk związanych z menzurandem lub technologii transmisji.
Natomiast czas ekstrakcji informacji z sygnału zależy od poziomu skomplikowania algorytmu przetwarzania i oczekiwanego zakresu informacji.

Warto zadań pytanie czy w efekcie tego „**wyścigu z czasem**” konieczne jest poszukiwanie rozsądnego kompromisu pomiędzy czasem pozyskania i transmisji informacji w wyniku pomiaru (jakość informacji) oraz zaawansowaniem metod przetwarzania sygnałów (pojemność informacji)..??

Czas pozyskania informacji..

Pewną alternatywą dla ograniczeń wynikających z prędkości transmisji i czasu przetwarzania jest zastosowanie **predykcji,** czyli identyfikacji wartości (stanu) z wyprzedzeniem czasowym.

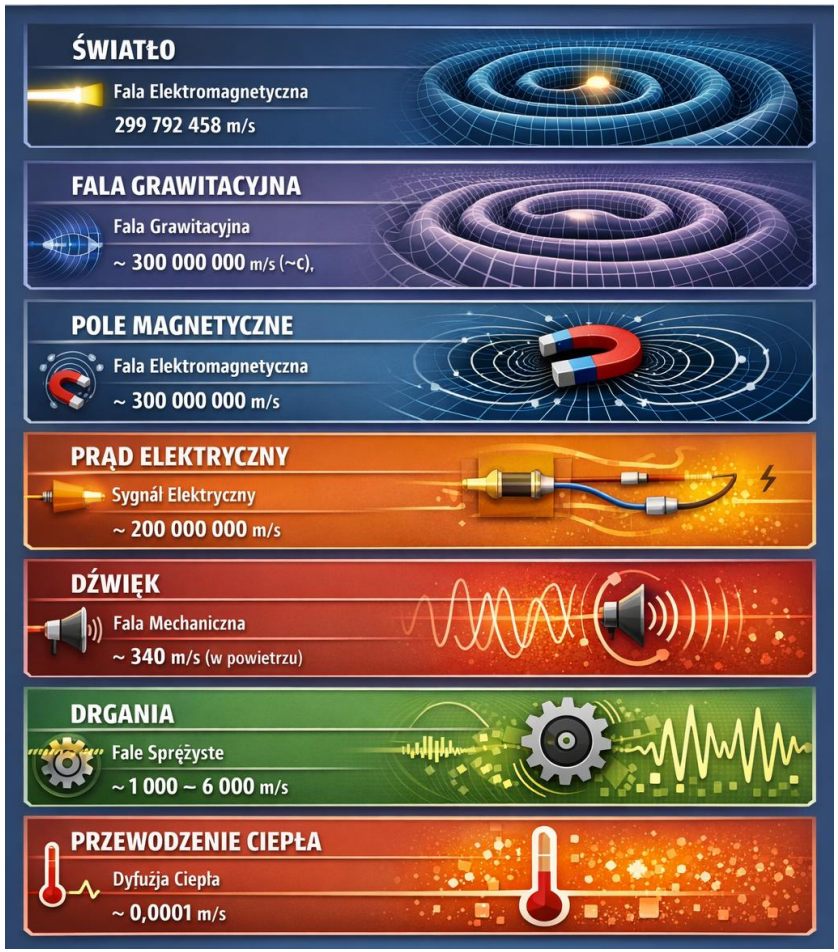
Nie należy utożsamiać predykcji z prognozą, która jest formą szacowania wartości na podstawie modelu trendu. W metodzie predykcji istotne informacje pozyskuje się z danych bieżących przy istotnie wczesnych symptomach skorelowanych z określonym stanem.

Zastosowanie metod predykcyjnych, w odróżnieniu od prognoz, nie wymaga archiwizacji i analizy „odległych w czasie" danych historycznych. Może jednak bazować na „pamięci krótkotrwałej", cofając się w czasie o relatywnie krótką chwilę (liczoną określoną liczbą próbek sygnału).

Istota metody predykcji polega na zdefiniowaniu symptomów stanu niosących informację o istotnych i co najważniejsze wczesnych jego zmianach, które „zwiastują" poszukiwaną zmianę stanu. **Celem predykcji jest jak najwcześniejsze wykrycie symptomów skorelowanych ze zmianą stanu, dzięki czemu redukujemy czas pozyskania informacji**.

Medium..

Istotne znaczenie w aspekcie czasu ma medium przesyłu sygnału (i zawartej w nim informacji) i wynikające z niego prędkości propagacji fali oraz technologia i związany z nią potencjał szybkości transmisji



Wygenerowane przez ChatGPT dnia 05.01.2026, prompt:
„przygotuj i porównaj zestawienie prędkości propagacji różnych rodzajów fal, w tym fal elektromechanicznych (np. światło) i mechanicznych (np. dźwięk). Uwzględnij rodzaj fali i ośrodka oraz podatność na zakłócenia. Uwzględnij w zestawieniu światło, dźwięk, drgania, oddziaływanie magnetyczne, prąd, temperaturę i inne"
„stwórz wersję graficzną (infografikę) dotyczącą zestawienie wszystkich rodzajów fal"

TECHNOLOGIA	TRANSMISZM TRANSMISJI	PRĘDKOŚĆ	PODATNOŚĆ NA ZAKŁOCENIA
	Przewód miedziany	~ 100 Mb/s ~ 100 000 000 bit/s	WYSOKA
	Ethernet / Kabel Ethernet (w skrętce)	~ 1 Gb/s ~ 1 000 000 000 bit/s)	ŚREDNIA
	Światłowód (Światło)	~ 10 Gb/s ~ 10 000 000 000 bit/s)	NISKA
	Wi-Fi (WLAN / IEEE 802.11) Fale Radiowe	~ 600 Mb/s ~ 600 000 000 bit/s)	ŚREDNIA
5G	5G (komórkowe)	~ 100 Mb/s -1~10Gb/s ~ 100 000 000 ~ 10 000 000 000 00 bit/s)	ŚREDNIA
	Mikrofalowe & Satelitarne Mikrotale	~ 10~100 Mb/s ~ 10 000 000–100 000 bit/s	NISKA
LoRa	LoRa (internet of Things)	~ 0,5 kb/s -50 kb/s ~ 500 – 50 000 bit/s)	NISKA
	RFID & NFC Fale Radiowe	~ 4 kb/s –400 kb/s ~ 4 000 – 400 000 bit/s)	NISKA
	Bluetooth Fale Radiowe	~ 1 Mb/s ~ 1 000 000 bit/s)	ŚREDNIA
	Transmisja Analogowa	~ 60 kb/s ~ 60 000 bit/s)	BARDZO WYSOKA

Wygenerowane przez ChatGPT dnia 05.01.2026, prompt:
„przygotuj podobne zestawienie dotyczące szybkości transmisji i podatności na zakłócenia oraz mechanizmu transmisji dla różnych technologii przesyła informacji (sygnału), np. kabel zwykły, kabel ethernet, światłowód, bluetooth, wifi, radiowa, rfid, lora, lte, 5G (komórkowe), WLAN, GSM, UMTS, IEEE 802, satelitarne, mikrofalowe, transmisja analogowa, dodaj do zestawienie informacje o przepływności w bit/s"

Medium.. Charakterystyka propagacji fal

Zjawisko / nośnik informacji	Klasyfikacja fizyczna	Ośrodek	Typowa prędkość propagacji	Rząd wielkości	Podatność na zakłócenia
Światło (fala EM)	fala elektromagnetyczna	próżnia	299 792 458 m/s	10^8 m/s	bardzo niska
Światło (fala EM)	fala elektromagnetyczna	powietrze	≈ 2.997×10^8 m/s	10^8 m/s	niska
Światło (fala EM)	fala elektromagnetyczna	szkło	$(1.9–2.1)\times10^8$ m/s	10^8 m/s	średnia
Oddziaływanie elektromagnetyczne	pole (relatywistyczne)	próżnia	c	10^8 m/s	bardzo niska
Pole magnetyczne (zmienne)	fala EM	próżnia / materia	c / c_n	10^8 m/s	niska
Prąd elektryczny (sygnał)	fala EM + ruch nośników	przewodnik Cu	$(0.6–0.9)\cdot c$	10^8 m/s	średnia
Prędkość dryfu elektronów	ruch cząstek	przewodnik	~10^{-4} m/s	10^{-4} m/s	wysoka
Dźwięk	fala mechaniczna podłużna	powietrze (20 °C)	343 m/s	10^2 m/s	wysoka
Dźwięk	fala mechaniczna	woda	~1480 m/s	10^3 m/s	średnia
Dźwięk	fala mechaniczna	stal	~5900 m/s	10^3 m/s	niska
Drgania mechaniczne	fala sprężysta	konstrukcje	500–6000 m/s	10^3 m/s	niska–średnia
Fale sejsmiczne P	fala mechaniczna	skorupa Ziemi	5000–8000 m/s	10^3 m/s	niska
Fale sejsmiczne S	fala mechaniczna	skorupa Ziemi	3000–4500 m/s	10^3 m/s	niska
Ciepło (przewodzenie)	dyfuzja energii	metale	~10^{-4}–10^{-3} m/s	10^{-4} m/s	bardzo wysoka

Dodatkowo – fala grawitacyjna: klasyfikacja (zmarszczka przestrzeni, przenosi energię, pęd i informację o dynamicznych, masywnych układach, np. łączenie czarnych dziur, gwiazd neutronowych), ośrodek (próżnia), prędkość (c), podatność na zakłócenia (ekstremalnie niska, nawet przejście przez gwiazdy, galaktyki ma pomijalny wpływ).

Medium.. Charakterystyka technologii transmisji

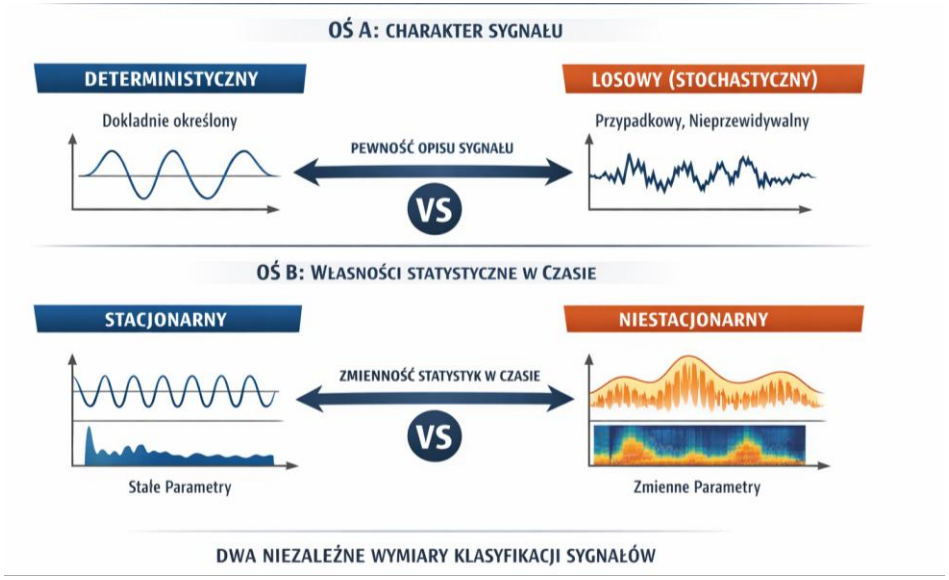
Technologia	Mechanizm transmisji	Medium fizyczne	Typowa przepływność	Maks. przepływność (standard)	Zasięg	Podatność na zakłócenia
Kabel miedziany (analogowy)	sygnał elektryczny (analogowy)	miedź	~10–100 kb/s	< 1 Mb/s	< 1 km	bardzo wysoka
Ethernet (skrętka)	sygnał elektryczny (cyfrowy)	miedź	100 Mb/s – 1 Gb/s	10 Gb/s (Cat6a)	100 m	średnia
Ethernet (światłowód)	światło (fala EM)	włókno szklane	1–10 Gb/s	> 400 Gb/s	10–100 km	niska
Światłowód (DWDM)	światło laserowe	włókno szklane	100 Gb/s	> 1 Tb/s	> 1000 km	bardzo niska
Wi-Fi (WLAN, IEEE 802.11)	fale radiowe	powietrze	100–600 Mb/s	~9.6 Gb/s (Wi-Fi 6/7)	10–50 m	średnia–wysoka
Bluetooth (Classic / LE)	fale radiowe	powietrze	125 kb/s – 2 Mb/s	~3 Mb/s	1–100 m	średnia
RFID / NFC	sprzężenie elektromagnetyczne	pole bliskie	4–400 kb/s	< 1 Mb/s	cm–m	niska
LoRa / LPWAN	fale radiowe (chirp spread spectrum)	powietrze	0.3–50 kb/s	< 100 kb/s	1–15 km	bardzo niska
GSM (2G)	fale radiowe	powietrze	9.6–14.4 kb/s	~270 kb/s (EDGE)	do 35km	wysoka
UMTS (3G)	fale radiowe (CDMA)	powietrze	384 kb/s	~42 Mb/s (HSPA+)	do kilkunastu km	średnia
LTE (4G)	fale radiowe (OFDM)	powietrze	10–100 Mb/s	~1 Gb/s	do 100 km	średnia
5G (NR)	fale radiowe (OFDM, mmWave)	powietrze	100 Mb/s – 1 Gb/s	> 10 Gb/s	100 m – 15 km	średnia–wysoka
Radiowa (broadcast)	fale radiowe	powietrze	kb/s–Mb/s	—	FM/AM do kilkudziesięciu km 2000 km dla DCF77	wysoka
Mikrofalowa (punkt–punkt)	fale mikrofalowe	powietrze	100 Mb/s – 10 Gb/s	> 40 Gb/s	40–60 km	niska
Satelitarna (GEO)	fale mikrofalowe	kosmos	10–100 Mb/s	~1 Gb/s	globalny	średnia
Satelitarna (LEO)	fale mikrofalowe	kosmos	50–300 Mb/s	> 1 Gb/s	globalny	średnia

Pojemność informacyjna i reprezentacje sygnałów..

Istotne są również ograniczenia w zakresie pojemności informacyjnej oraz czasu efektywnego przetwarzania sygnałów w celu ekstrakcji informacji o satysfakcjonującej jakości..

W zależności od właściwości sygnałów (stacjonarne, niestacjonarne, deterministyczne, losowe, ..) istnieją dedykowane transformacje matematyczne umożliwiające efektywne przetwarzanie i wielowymiarowe reprezentacje w celu ekstrakcji jak największej ilości użytecznych informacji.
Przeszkodą w ich stosowaniu może stać się czas transformacji i zapotrzebowanie obliczeniowe, zaś ograniczeniem brak identyfikacji modelu sygnału.

Z powodu tych przeszkód i ograniczeń coraz częściej w analizie sygnałów wykorzystuje się metody uczenia maszynowego, sztuczne sieci neuronowe i AI.
AI i modele językowe poszukujące analogii w 12 000-wymiarowej przestrzeni odniesień i wspomagane metodą Monte Carlo odnajdują wręcz nieograniczone spektrum cech sygnału w różnych kontekstach!

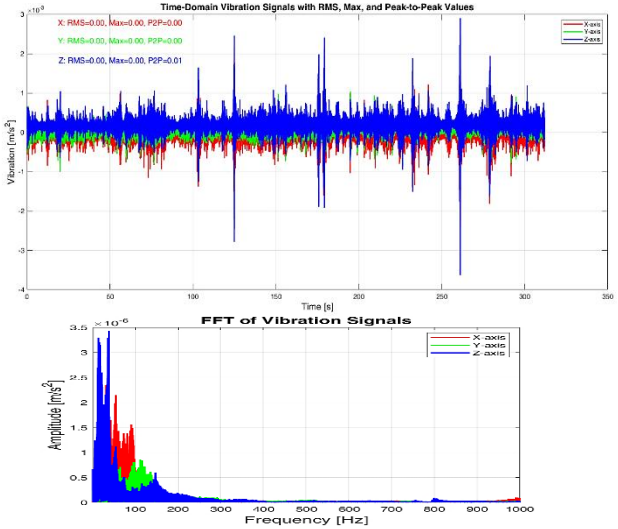


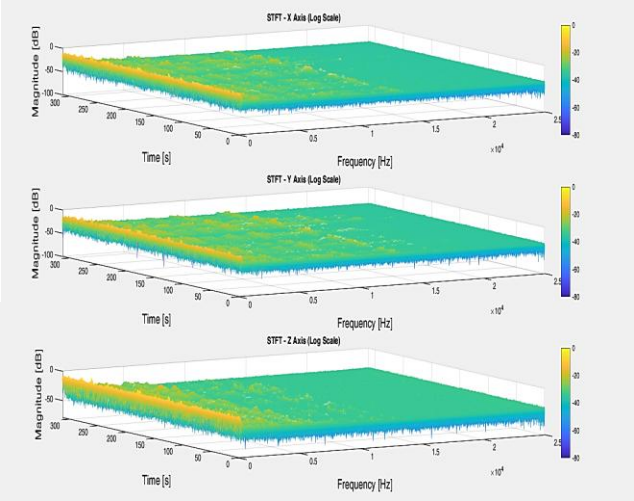
Wygenerowane przez ChatGPT dnia 05.01.2026, prompt:
„opracuj infografikę dotyczącą dwóch niezależnych osi pojęciowych w opisie sygnałów”

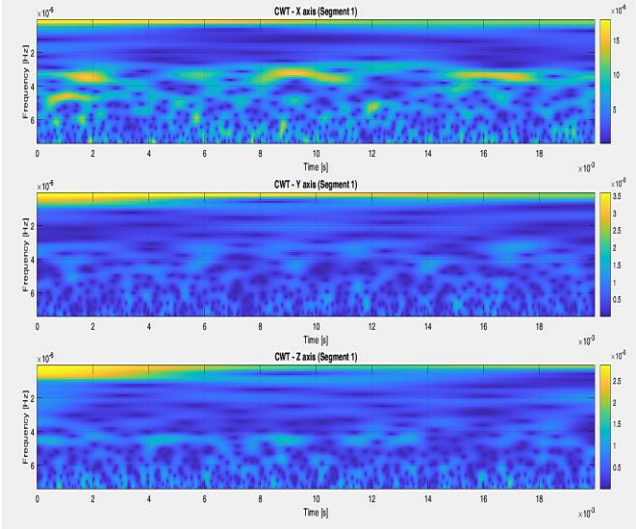
Pojemność informacyjna i reprezentacje sygnałów..

Klasyczne metody przetwarzania sygnałów (z jawnym zapisem matematycznym)

Algorytmiczne przekształcenia matematyczne (transformacje macierzowe)..



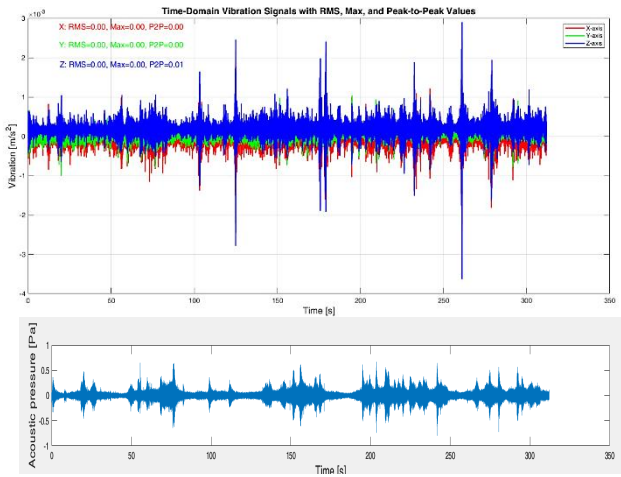




Pojemność informacyjna i reprezentacje sygnałów..

Alternatywne metody przetwarzania sygnałów (czarne skrzynki)

Zastosowanie uczenia maszynowego i sztucznych sieci neuronowych:



klasyfikacja (SVM)

algorytm uczenia maszynowego

True Class	Forest	Highway	Inside_Bridge_Highway	Residential	Residential_Tram	Road_Junction	Road_Junction_Trees_S.B	Roundabout	Trees	TPR	FNR
Forest	81.8%	3.0%		15.2%						81.8%	18.2%
Highway		83.6%	1.6%	1.6%	1.6%		3.3%		8.2%	83.6%	16.4%
Inside_Bridge_Highway			96.8%	3.2%						96.8%	3.2%
Residential	1.1%	0.6%	0.6%	94.1%	2.8%	0.3%			0.6%	94.1%	5.9%
Residential_Tram			3.0%	5.0%	85.1%	4.0%			3.0%	85.1%	14.9%
Road_Junction		0.9%		0.9%	0.9%	94.5%	0.5%	0.9%	1.4%	94.5%	5.5%
Road_Junction_Trees_S.B		6.9%		3.4%		6.9%	69.0%	6.9%	6.9%	69.0%	31.0%
Roundabout					1.6%	4.9%	1.6%	88.5%	3.3%	88.5%	11.5%
Trees		5.4%	3.2%	1.1%		5.4%		2.2%	82.8%	82.8%	17.2%

Predicted Class

Ocena klasyfikatora scen VA (SVM):

Precision (P) = TP ÷ (TP + FP)

Recall (R) = TP ÷ (TP + FN)

F1-score = 2 × (P × R) ÷ (P + R)

średnie F1 dla wszystkich klas (Macro F1): 0.901

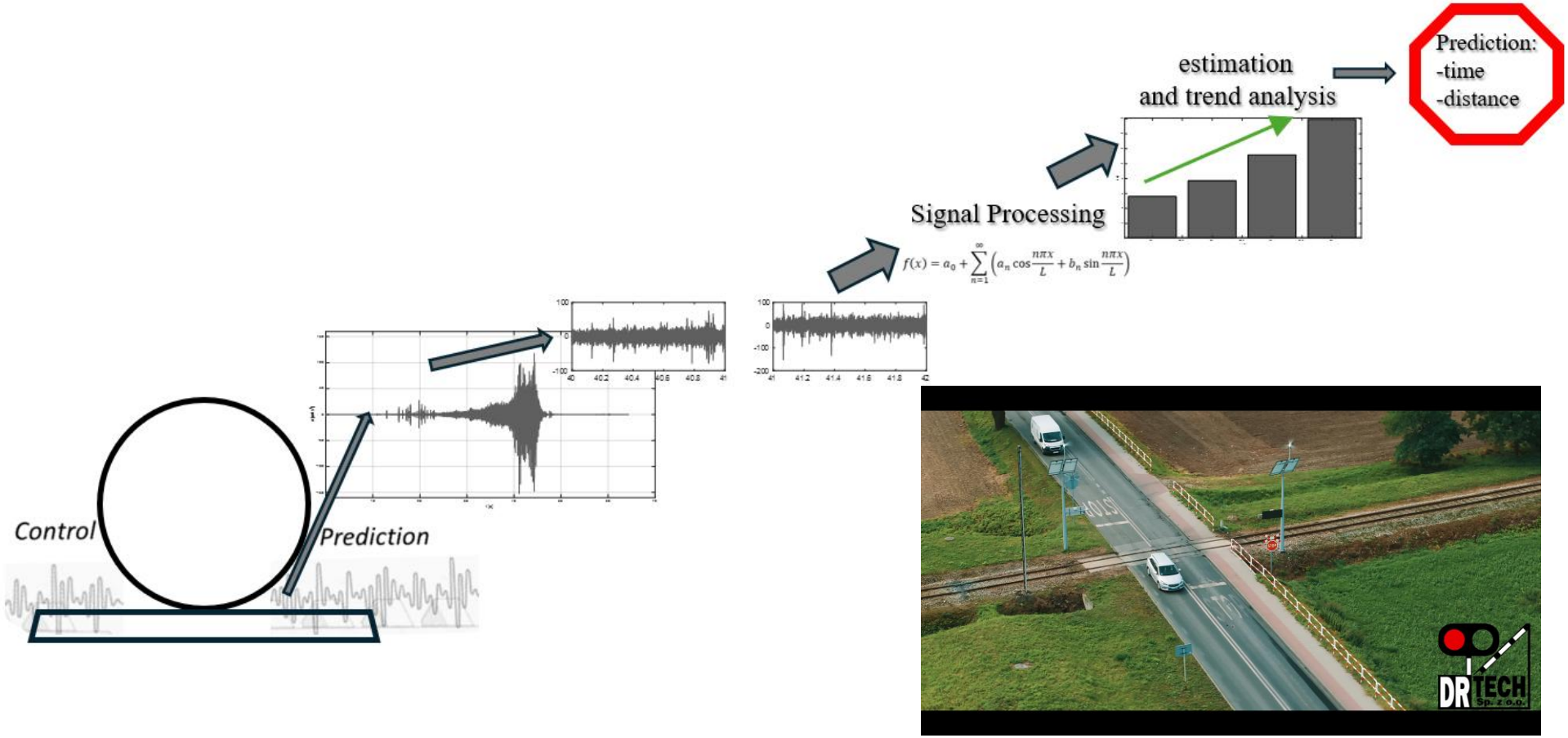
ważone F1 (po liczebności klas): 0.91–0.92

Realizacja w ramach pracy doktorskiej: Diyar Khan

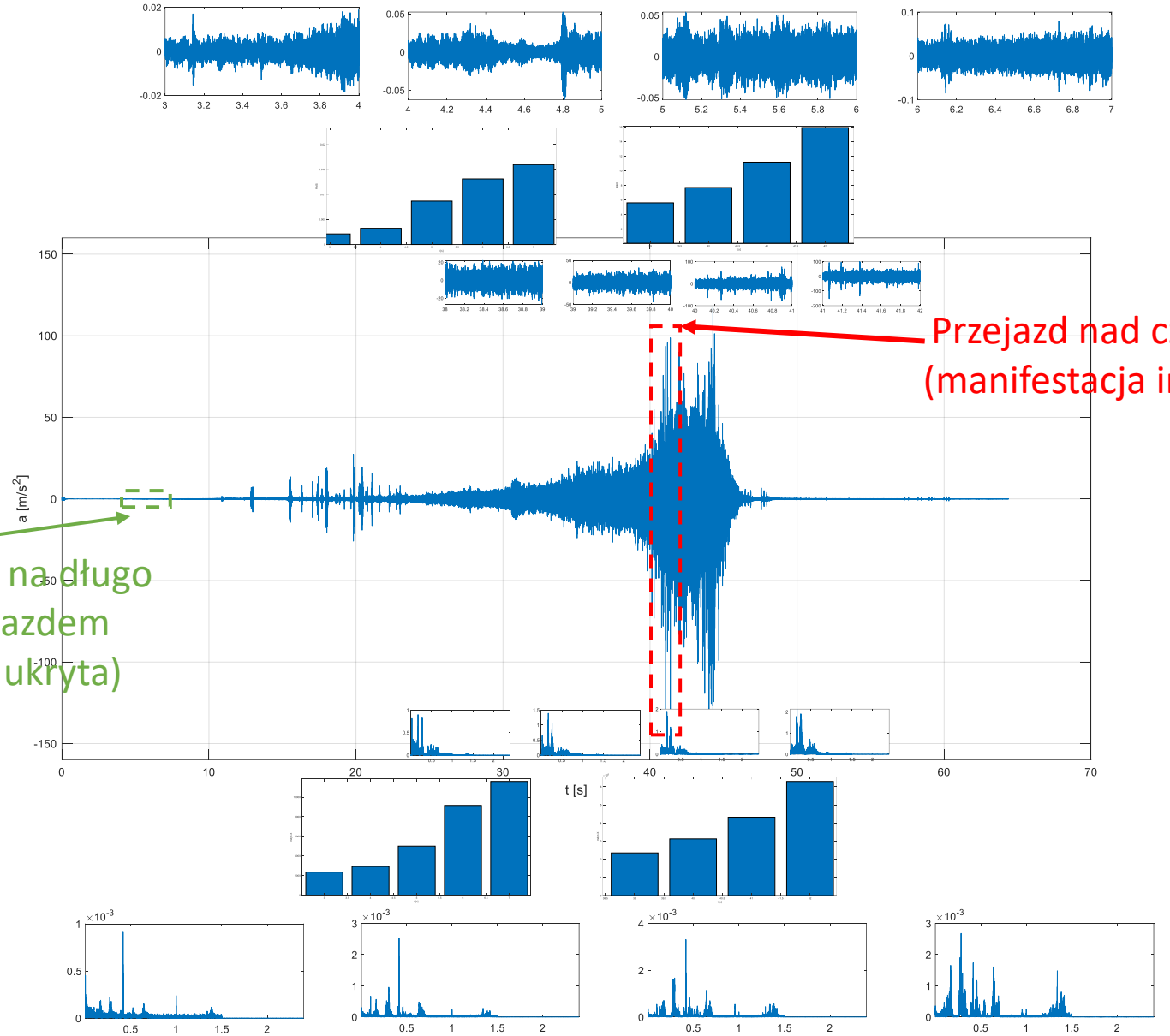
Zastosowanie inżynierskie (metoda predykcji)..

Wyniki praktycznych eksperymentów badawczych oraz implementacji inżynierskich.

Predykcja zbliżania się pojazdu w kontekście niezawodności transportowej infrastruktury krytycznej oraz bezpieczeństwa uczestników ruchu.



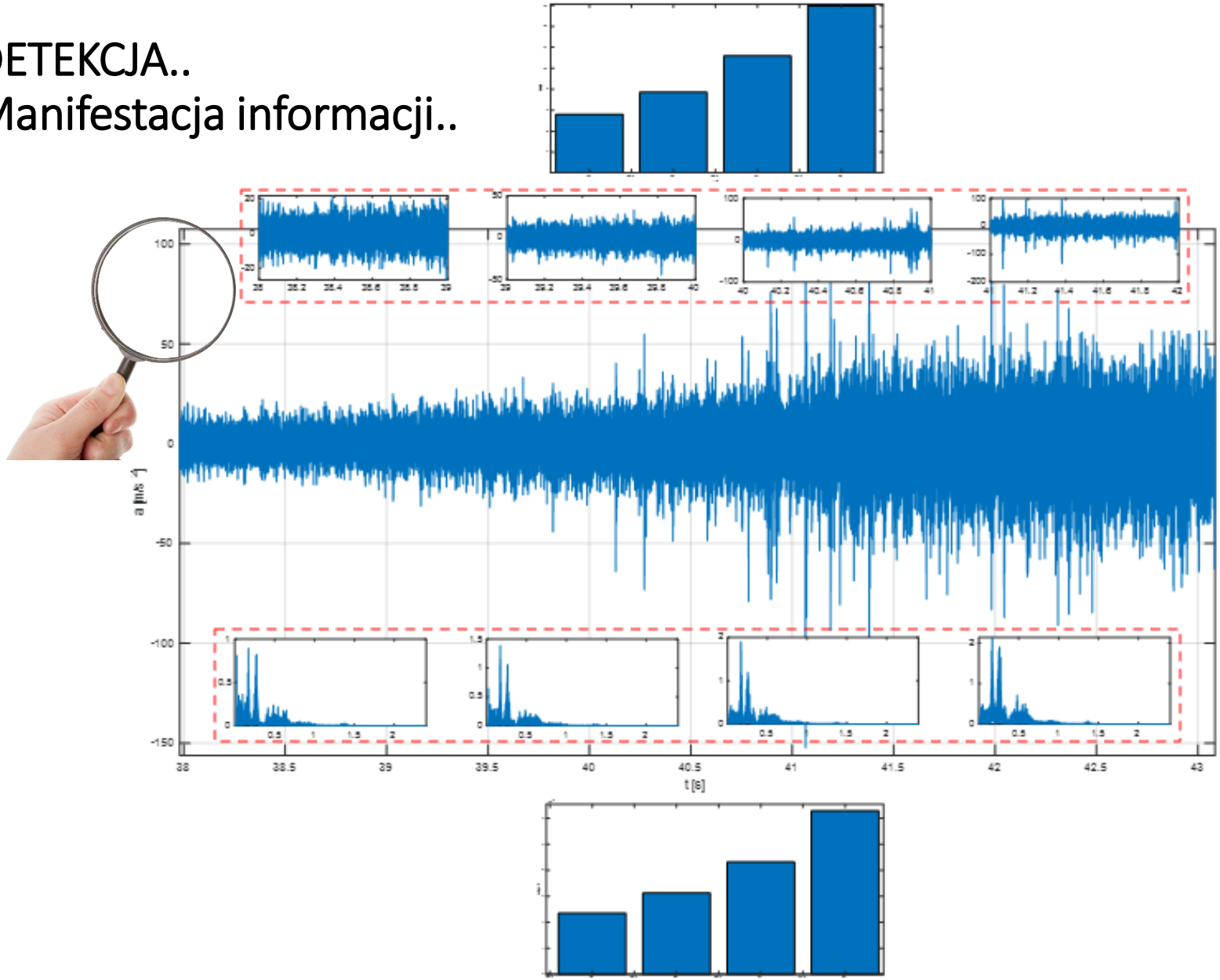
Sygnał drgań szyny podczas przejazdu pojazdu szynowego



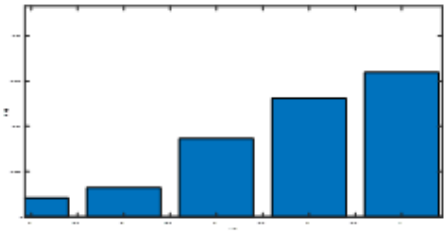
Przejazd nad czujnikiem
(manifestacja informacji)

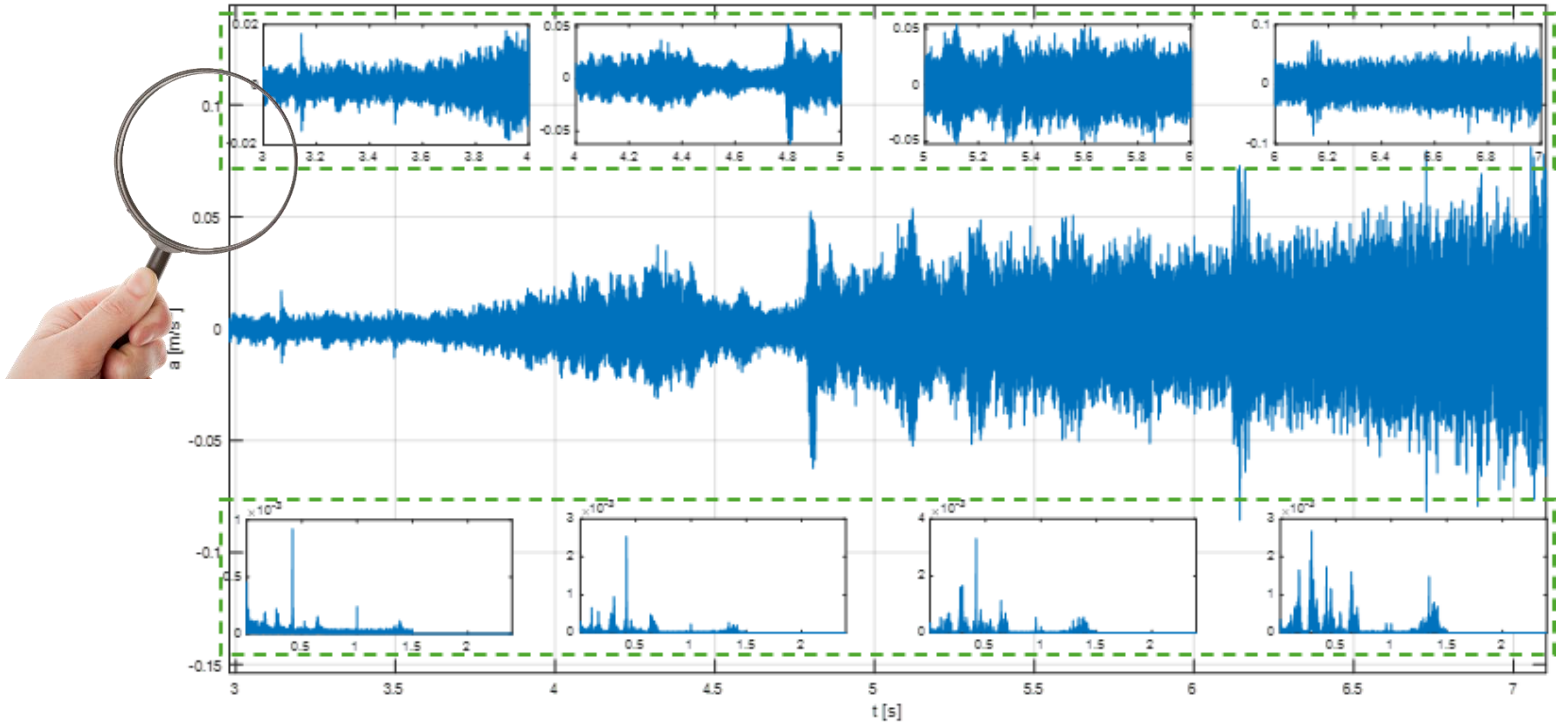
Drgania szyny na długo
przed przejazdem
(informacja ukryta)

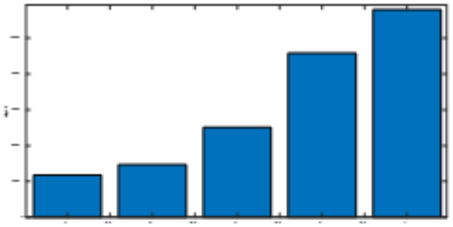
DETEKCJA..
Manifestacja informacji..



PREDYKCJA..
Ekstrakcja informacji..



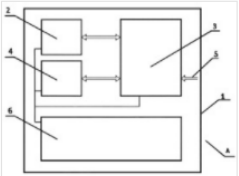




Patent RP

SZCZEGÓŁY PAT - P.429544

Informacje ogólne



Numer zgłoszenia	P.429544
Nazwa/Tytuł	Czujnik rozpoznania przejazdu pojazdów szynowych
Data zgłoszenia	2019-04-05
Klasyfikacja MKP	G05D 11/02

Linia czasu

2019-04-05	2020-10-19	2020-12-17	2021-04-06
Data zgłoszenia	Data publikacji BUP	Data udzielenia prawa	Data publikacji WUP

Efekt wdrożeniowy

System Identyfikacji Pojazdu Szynowego – system przeznaczony do informowania i ostrzegania uczestników ruchu drogowego na przejazdach kolejowo-drogowych kat. od D do F.

PKP CARGO
Service
SM42-533

Podsumowanie

Głównym celem referatu jest zwrócenie uwagi na nowy parametr, który staje się istotny w badaniach naukowych i zastosowaniach inżynierskich oraz związany jest z **czasem pozyskania informacji o satysfakcjonującej jakości**.

Dynamiczny rozwój systemów i urządzeń pomiarowych oraz transmisyjnych, rozwijanie nowych metod transformacji sygnałów, przy coraz częstszym wykorzystaniu uczenia maszynowego i sztucznych sieci neuronowych, stale podnoszą zdolności powiększania jakości sygnałów pomiarowych.

Rozpoczyna się jednak nowy wyścig.. **wyścig z czasem**.. i pojawia się nowe kryterium związane z czasem pozyskania sygnału i przetworzenia przenoszonych w nim informacji.

Innovation Research in Transport
Research Development Team

Dziękuję za współpracę!!

T *Together*
E *Everyone*
A *Achives*
M *More*

Contact Us:

E-mail: phd.transport.rt@gmail.com

Follow Us:
https://www.facebook.com/profile.php?id=100088474504106
https://www.youtube.com/channel/UCSAJUN8A491KpEpt8tU42JA

ZAPRASZAM DO WSPÓŁPRACY

LinkedIn – Rafał Burdzik

Phone
+48 32 603 41 16

E-mail
rafal.burdzik@polsl.pl

Follow us:

YT – Prof. Webinar

https://www.researchgate.net/profile/Rafal-Burdzik

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0360-8559