

# 8.WPGI 2024

## Światłowodowe pomiarы akustyczne (DAS) ośrodka gruntowego w ocenie jego parametrów geofizycznych

**RAFAŁ SIENKO**, Ł. Bednarski, S. Długosz,  
M. Majdański, A. Marciniak, T. Howiacki



Instytut Geofizyki  
Polskiej Akademii Nauk

8.WPGI 2024

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

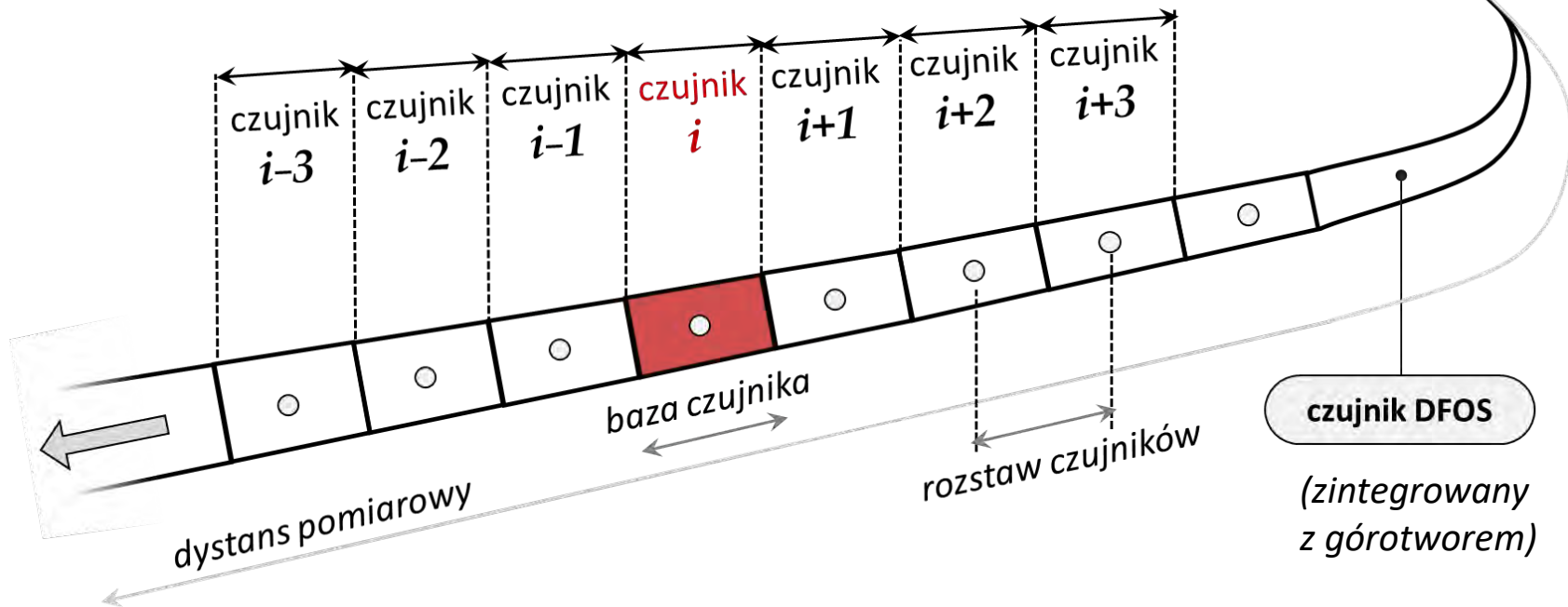
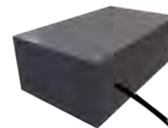
+ instalacja

+ kompensacja

+ analiza

interrogator (rejestrator)

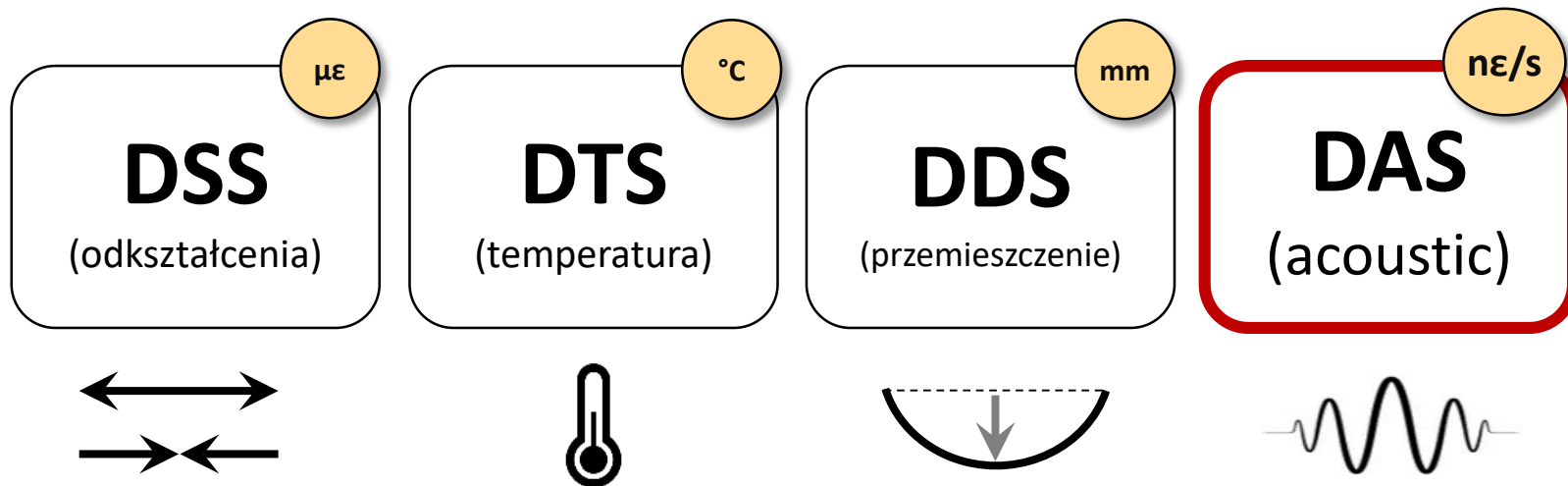
(Rayleigh, Brillouin lub Raman)



czujnik DFOS

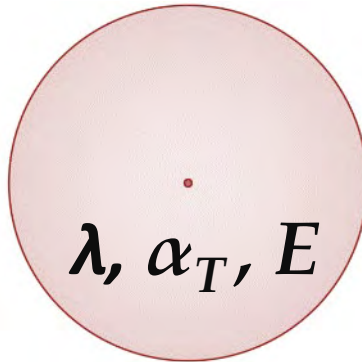
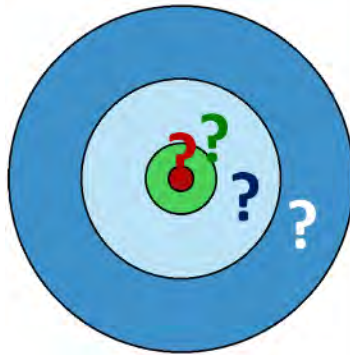
(zintegrowany z górotworem)

## Pomiary geometrycznie ciągłe (DFOS)



## Wybór odpowiedniego czujnika to jedno z kluczowych wyzwań przy projektowaniu skutecznego systemu pomiarowego!

- średnica, kształt, budowa wewnętrzna
  - rodzaj materiału
  - **przewodność termiczna wzdłuż i w poprzek czujnika**
  - maksymalny zakres pomiarowy
  - promień gięcia
  - sztywność, wytrzymałość
  - powierzchnia zewnętrzna
- wiele innych



## Warstwowe kable telekomunikacyjne

- *nieznane parametry materiałowe, w tym związane z przewodnictwem cieplnym*
- *poślizg i tarcie między warstwami*
- *plastikowe i stalowe warstwy łatwo ulegające uplastycznieniu*
- *niejednoznaczna odpowiedź mechaniczna i termiczna*

## Kompozytowe czujniki z monolitycznym rdzeniem

- *rdzeń z jednego materiału o znanych parametrach (współczynnik przewodności termicznej, moduł sprężystości)*
- *brak zjawiska poślizgu i tarcia (brak warstw)*
- *kompozyt o dużej odkształcalności*
- *jednoznaczna odpowiedź mechaniczna i termiczna*



## Odształcenia & temperatury

Epsilon  
Sensor



Epsilon  
Rebar



Epsilon  
Flat

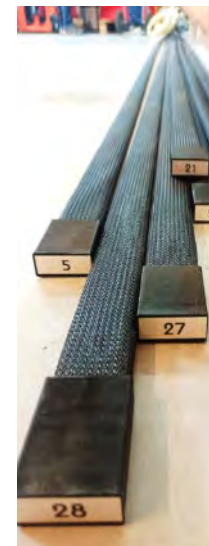


Epsilon  
Graph



## Przemieszczenia

3D  
Sensor



**Opatentowane!**  
**(EU, US, CAN)**



**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

# Pomiary punktowe a ciągłe geometrycznie



**8.WPGI 2024**

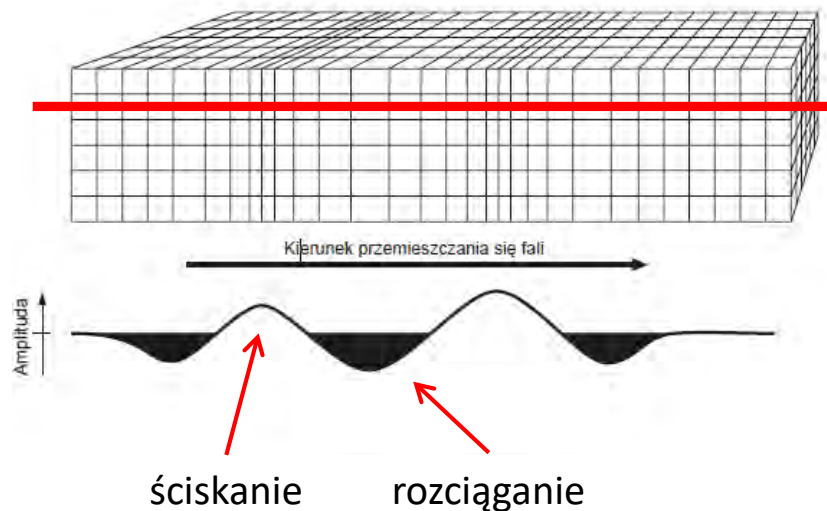
[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

# Geofony – pomiar punktowy



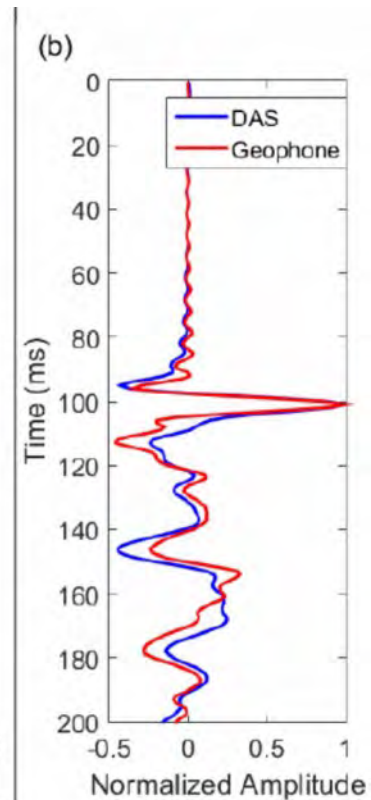
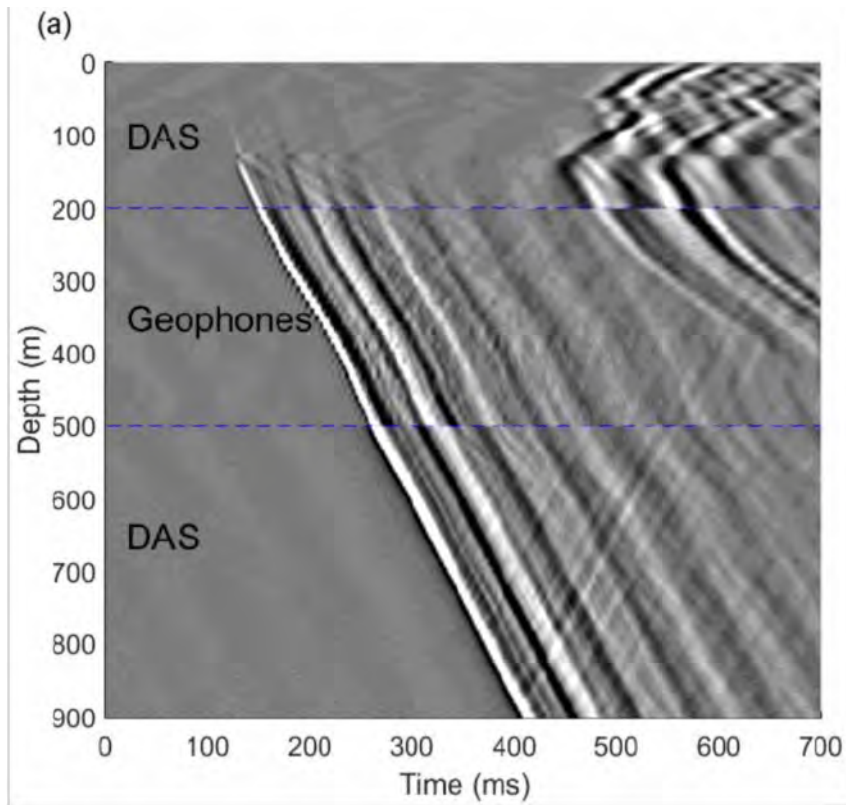
# Czujniki światłowodowe – pomiar ciągły geometrycznie na długościach mierzonych w km



Badania geologiczno-inżynierskie. Geofizyka inżynierska  
Pod redakcją merytoryczną S. Ostrowskiego, G. Pacanowskiego,  
E. Majer, M. Sokołowskiej, Wydawnictwo PIG, Warszawa 2023



# Porównanie Geofonów i Techniki DAS



— DAS

— Geofony



# Wykorzystanie pomiarów sejsmicznych

- określenie litologii podłoża
- ocena parametrów mechanicznych górotworu
- poziom zwierciadła wody gruntowej
- **zmiana zawodnienia gruntu**
- **ruch górotworu** w postaci np. osuwiska
- **pękanie** górotworu
- **zmiana właściwości mechanicznych** górotworu
- **obecność osób trzecich** w obrębie monitorowanego obszaru
- **oddziaływanie infrastruktury** umieszczonej w górotworze



# Praktyczne przykłady zastosowań



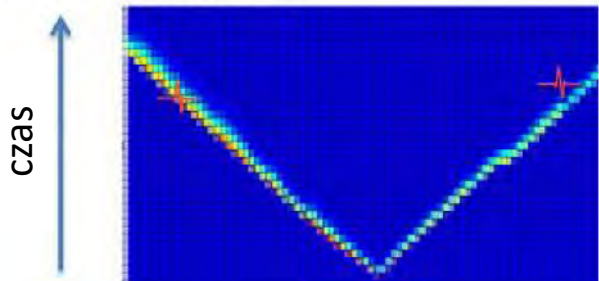
**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

# Przykład 1 – przeciek w gazociągu

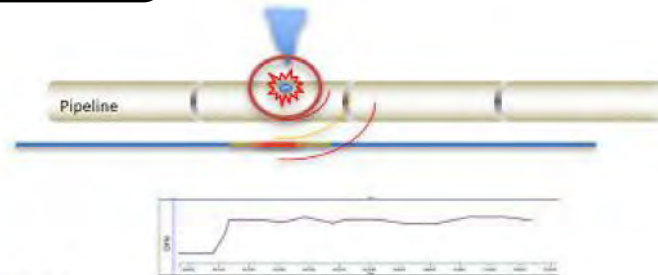
Propagacja fali sprężystej



PRIMARY

**DAS**

**pomiar „źródła”**



**DTS**



**DSS**



**pomiar efektu**



**8.WPGI 2024**

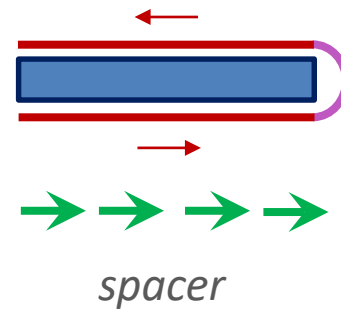
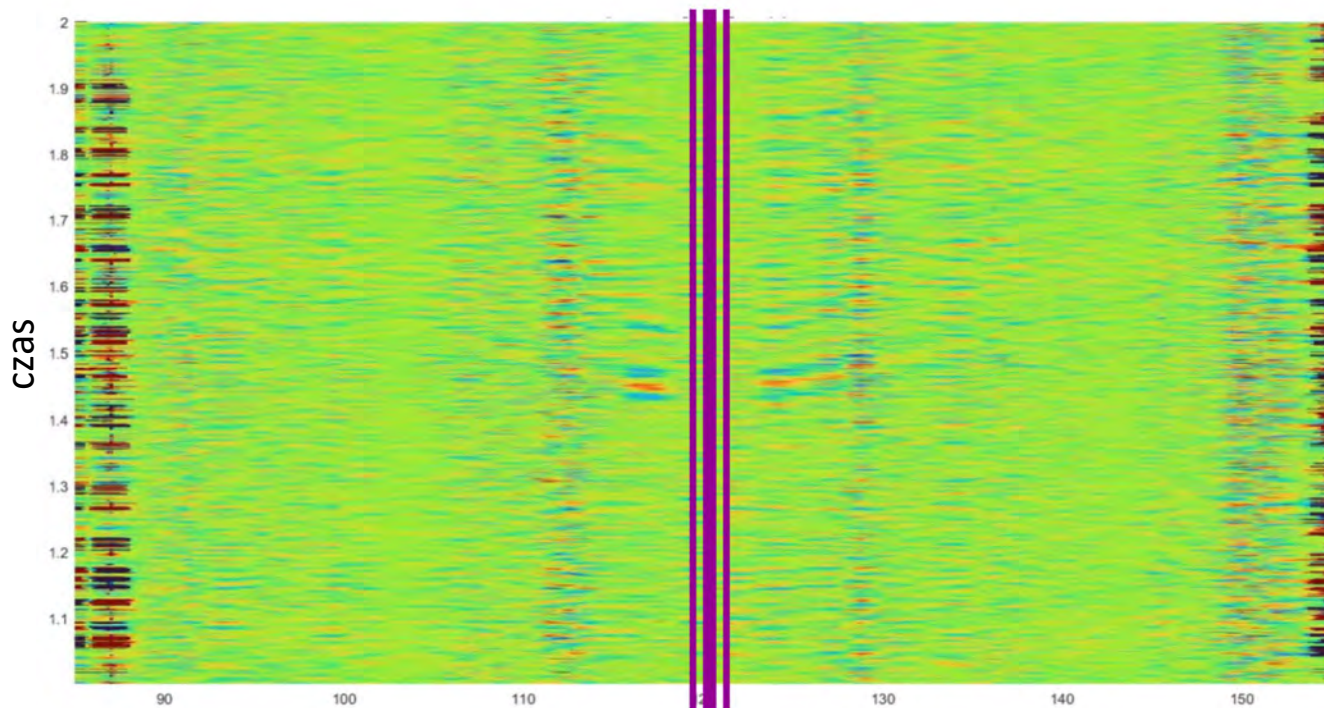
[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

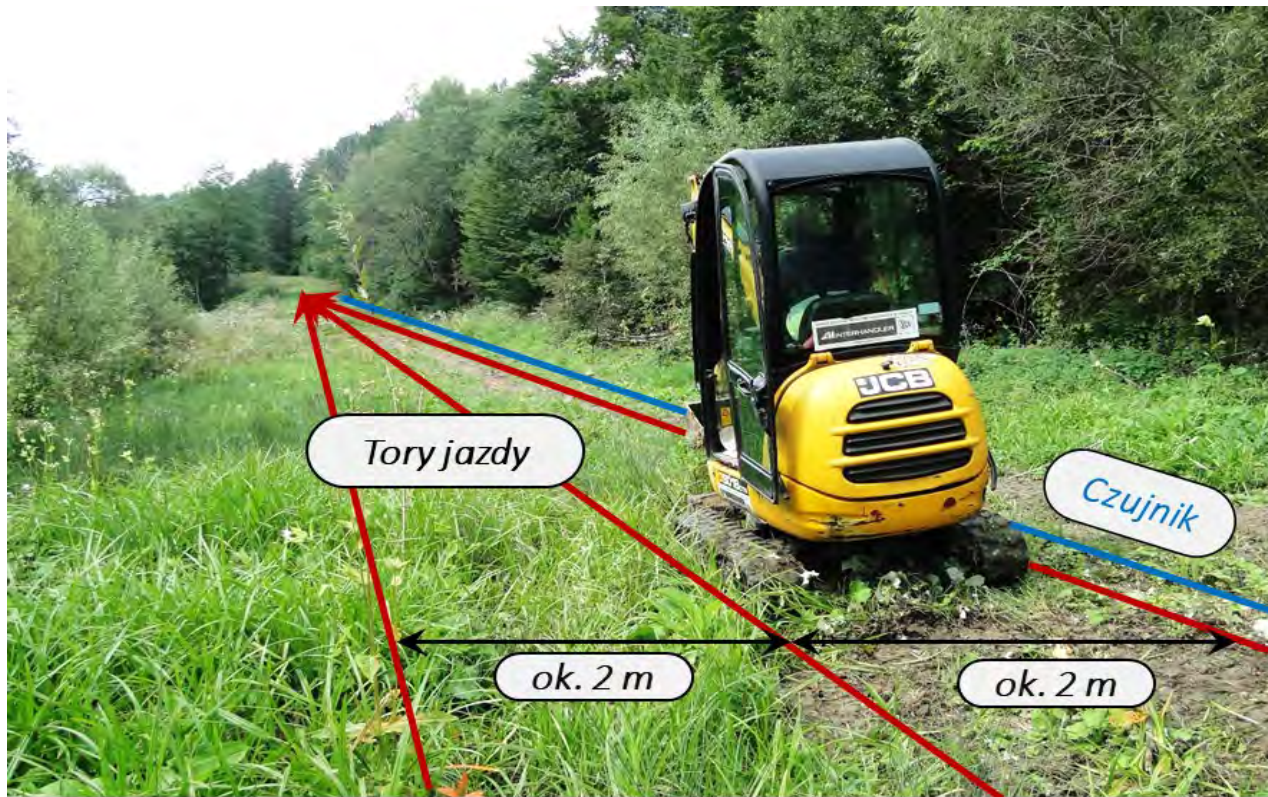
JJ Williams, Distributed Acoustic Sensing fiber optic pipeline monitoring. OptaSens 2018

## Przykład 2a – obecność osób trzecich – pomiary aktywne

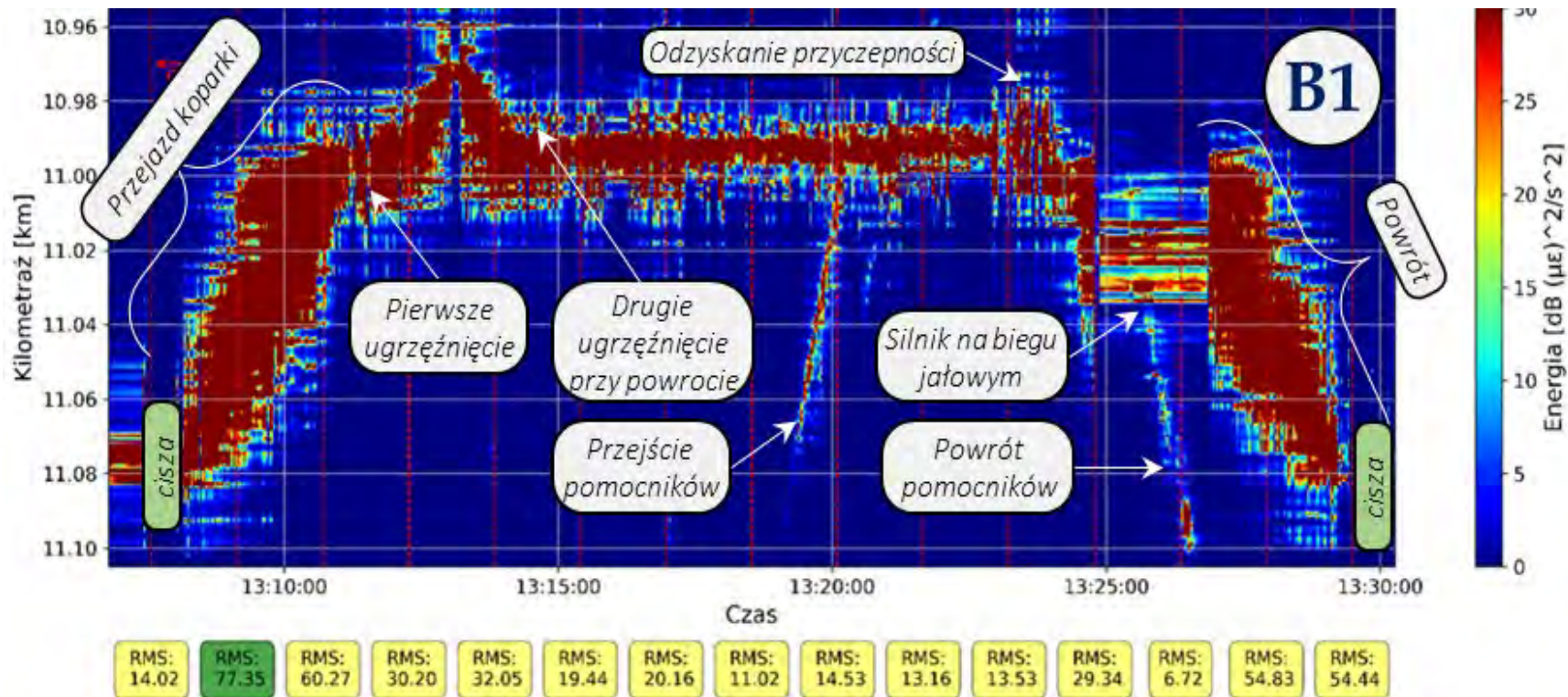
### Człowiek spacerujący wzdłuż czujnika



## Przykład 2b – ruch pojazdów – pomiary aktywne

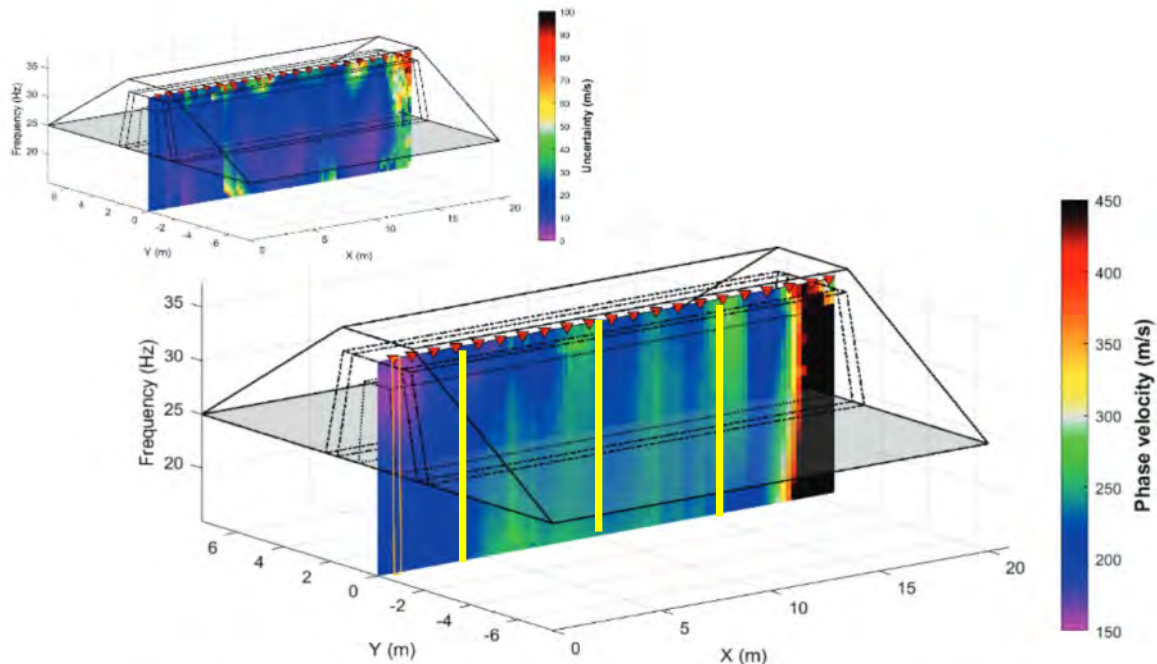


## Przykład 2b – ruch pojazdów – pomiary aktywne



## Przykład 3 – zmiana nawodnienia – pomiary aktywne

- przecieki
- zmiany **wilgotności**



**Źródło drgań** (fali mechanicznej)

Figure 11 Section of phase velocity measurements together with uncertainty (i.e., standard deviation) section



**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

Dzięki uprzejmości Neubrex



## Przykład 5 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne i pasywne



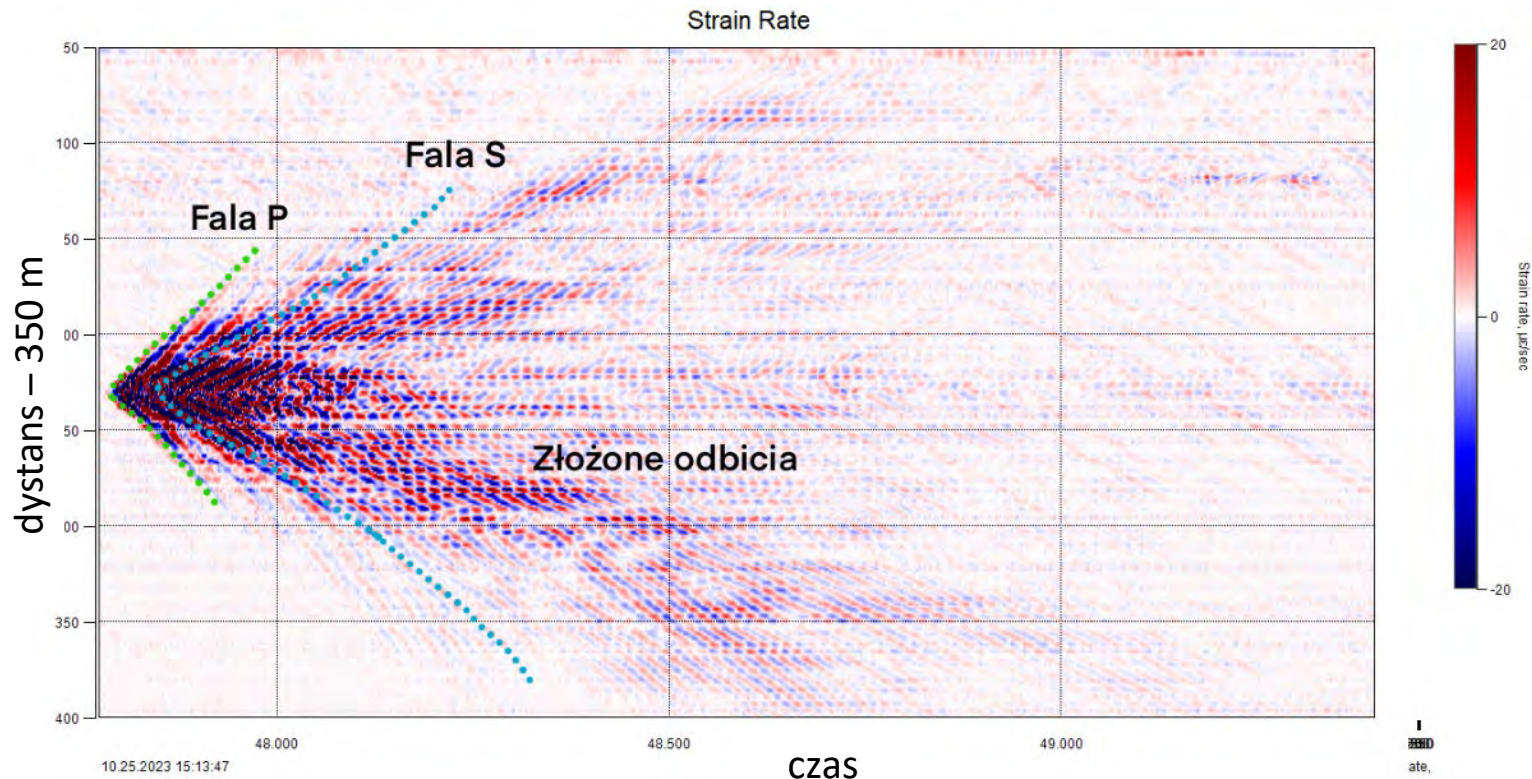
**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

Badania własne – w opracowaniu

# Przykład 5 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne



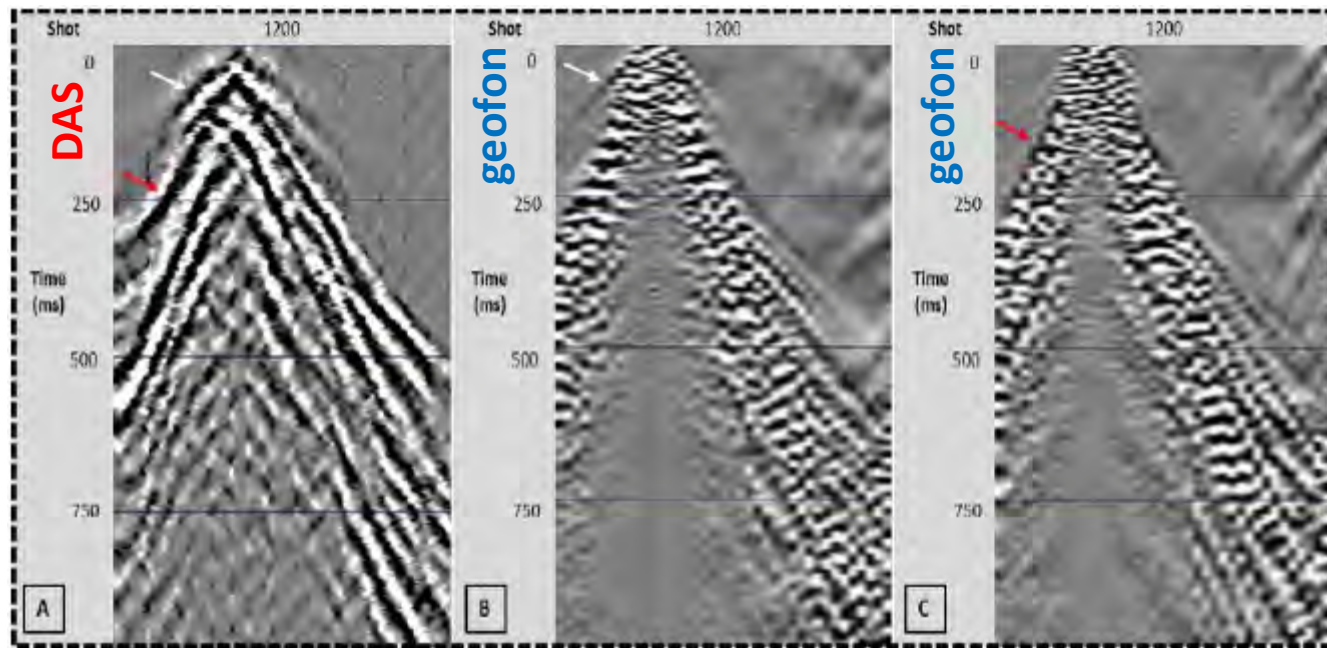
**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

Badania własne – w opracowaniu

## Przykład 5 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne



*A - DAS shot using industrial source*

*B&C - Two horizontal component of 3C active seismic (S1,S2) for shot domain using industrial source.*



**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

Badania własne – w opracowaniu

## Przykład 6 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne



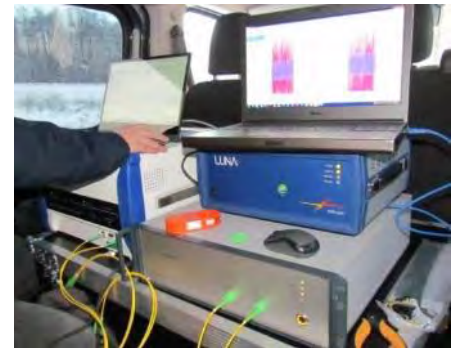
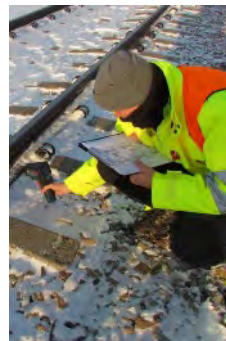
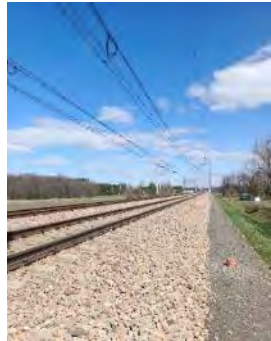
**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

Badania własne

## Przykład 6 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne



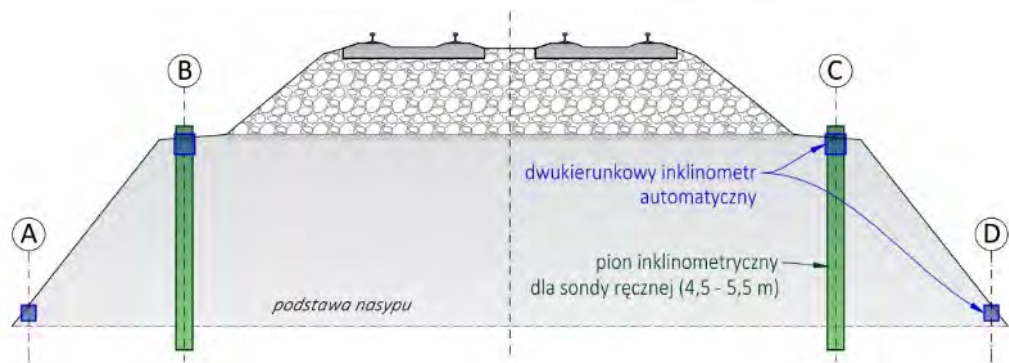
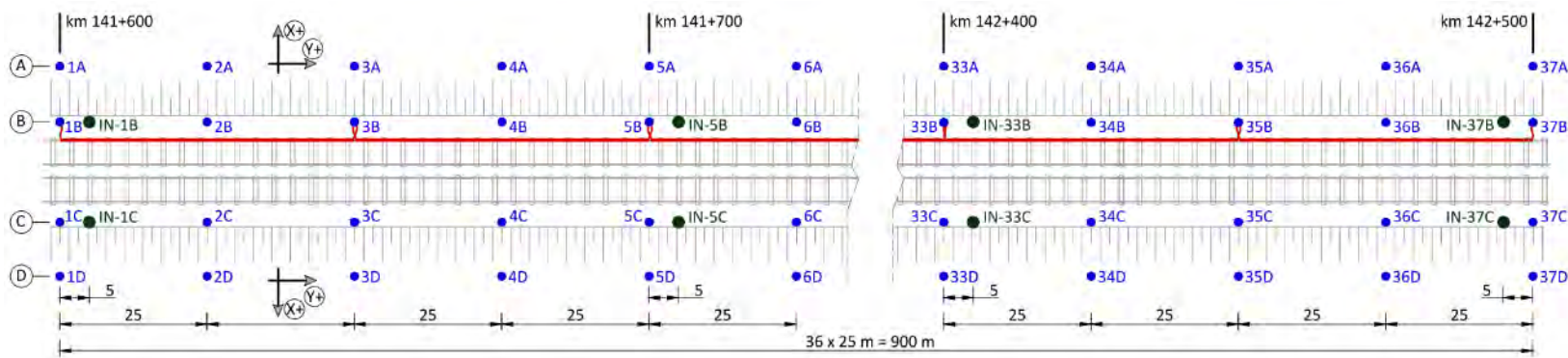
**8.WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

Badania własne

# Przykład 6 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne



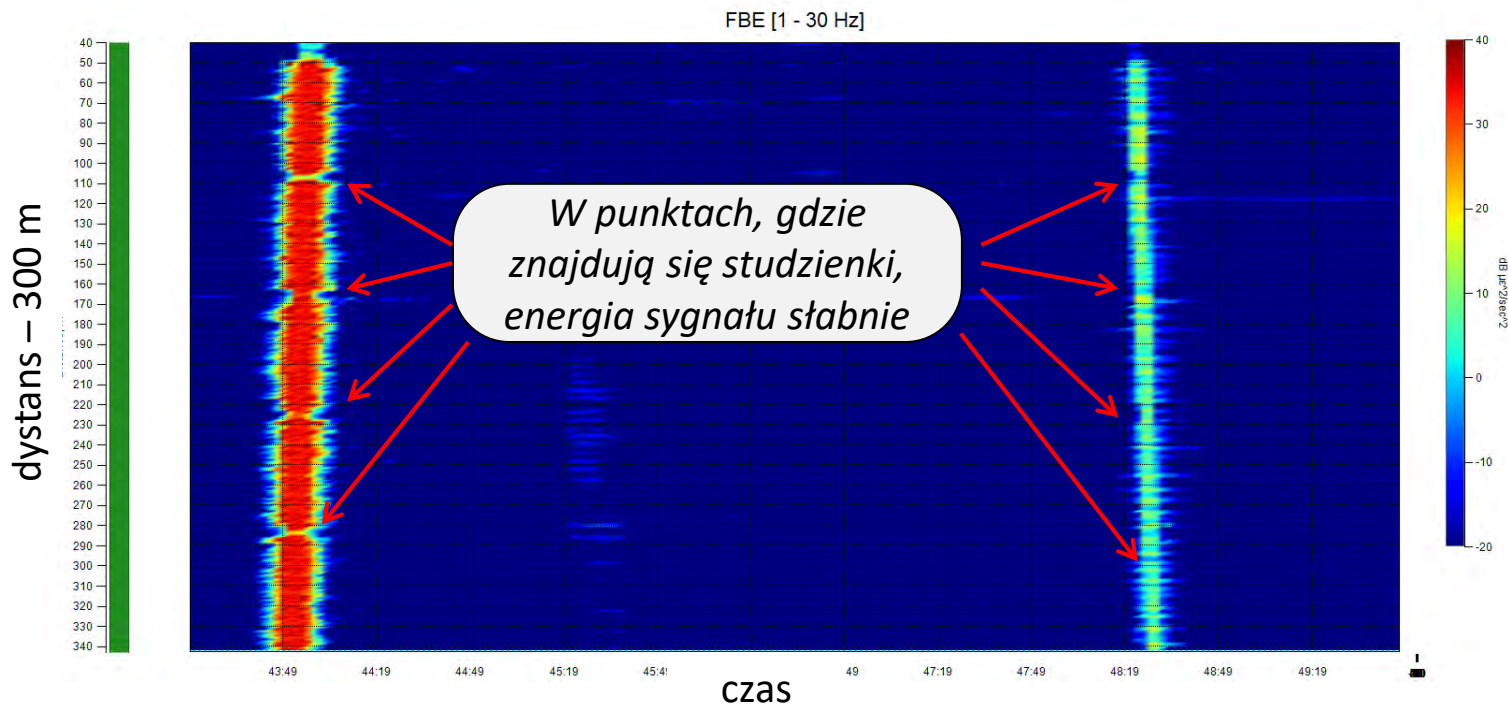
Studzienki  
pomiarowe  
co 50 m



# Przykład 6 – zmiana parametrów mechanicznych – pomiary aktywne

przejazd po torze z czujnikiem

przejazd pociągu po przeciwnym torze



8. WPGI 2024

wpgi.pgi.gov.pl

pgi.gov.pl

Badania własne

## Podsumowanie

- czujniki i urządzenia pomiarowe do **światłowodowych ciągłych geometrycznie automatycznych** pomiarów **DFOS odkształceń (DSS), temperatury (DTS) i drgań (DAS) w czasie rzeczywistym** mogą być z powodzeniem stosowane we współczesnej geofizyce,
- czujniki mogą być umieszczane **w otworach wiertniczych** wykonywanych zarówno z powierzchni terenu, jak i od strony wyrobiska górniczego oraz układane **w wykopach linowych przy powierzchni terenu**,
- monitoring może być prowadzony **okresowo lub ciągle w czasie**,



## Podsumowanie

- kombinacja pomiarów **odkształceń, temperatur i drgań** górotworu z wykorzystaniem **tych samych czujników**, stwarza niespotykane dotąd możliwości analizy pracy górotworu → **współczesna mikrosejsmika**,
- wbudowana w górotwór **siatka czujników światłowodowych** umożliwiać będzie **generowanie obrazów 4D (XYZ + czas)** w dowolnej chwili czasowej, dzięki którym możliwe będzie uchwycenie zachodzących w górotworze zmian.
- dotychczas ta wieloaspektowa analiza nie była stosowana w szerokim zakresie mikrosejsmiki, gdyż **nie było czujników, które mogłyby być wystarczająco dokładnym narzędziem** w różnych zastosowaniach optyki.



# 8. WPGI 2024

Dziękuję za uwagę!



**8. WPGI 2024**

[wpgi.pgi.gov.pl](http://wpgi.pgi.gov.pl)

[pgi.gov.pl](http://pgi.gov.pl)

