

## HTHA - POMIARY ULTRADŹWIĘKOWE



HTHA – wysokotemperaturowy atak wodorowy

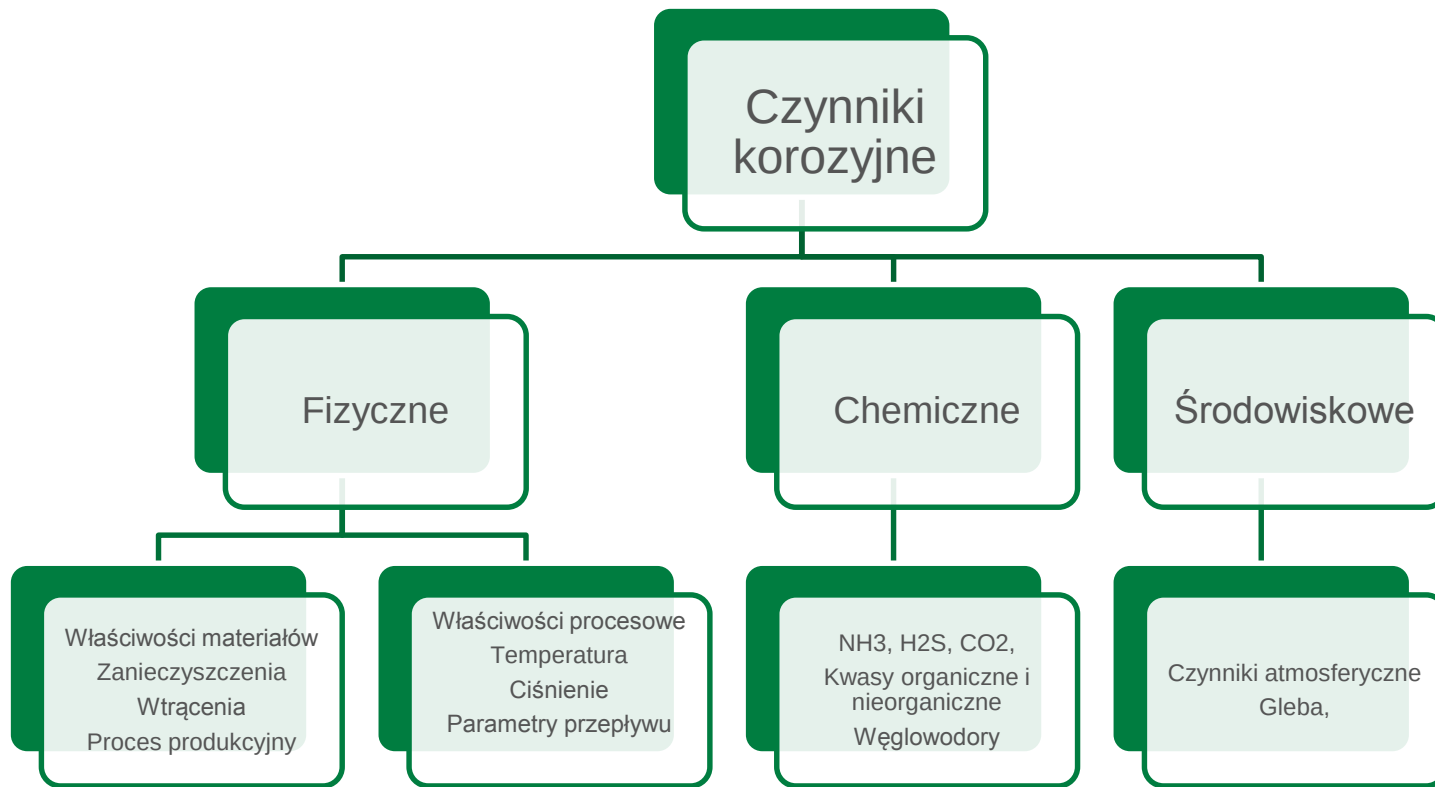
# Spis treści

1. Mechanizmy degradacji w przemyśle petrochemicznym
2. Degradacja wodorowa i jej przykłady
3. Powstawanie zjawiska HTHA
4. Ultradźwiękowe metody detekcji HTHA wg API
  - a) AUBT
  - b) TOFD
  - c) PAUT
  - d) Velocity Ratio
  - e) Pomiary tłumienia echa UT
  - f) Repliki
5. Realizacja badań HTHA w rafineriach
6. Przykłady raportowania
7. Ocena
8. Podsumowanie

# Animacja eksplozji w Tesoro's Anacortes Refinery na skutek HTHA



# Mechanizmy degradacji w przemyśle chemicznym



# Mechanizmy degradacji w przemyśle petrochemicznym

✓ HIC: Pęknięcia wodorowe, pęcherze wodorowe

SOHIC (stress oriented HIC) poddane H<sub>2</sub>S w niskich temperaturach – makroskopowe mierzalne defekty

✓ HTHA: Wysokotemperaturowy Atak Wodorowy

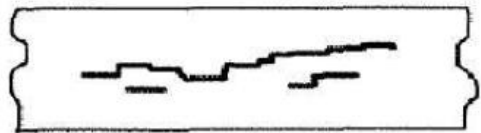
Wodór na granicach ziaren

Określenie uszkodzeń spowodowanych HTHA poprzez pomiar właściwości materiału – brak makroskopowych mierzalnych defektów

# Powstawanie zjawiska HTHA

1. Może powstać w urządzeniach ze stali węglowej zarówno w materiale jak i w strefie wpływu ciepła (HAZ)
2. Czynniki sprzyjające: wysoka temperatura  $>200$  st. C; ciśnienie 3,45 Mpa oraz wodór lub związki jako medium
3. Atomy wodoru pod wpływem ciśnienia i temperatury wnikają w strukturę stali reagując z węglem lub węglnikami żelaza co prowadzi do powstawania metanu
4. Metan gromadzi się na granicach ziaren co może prowadzić do powstawania mikropęknięć i nieciągłości
5. Degradacja wodorowa może występować wewnątrz materiału (pęknięcia, szczeliny, korozja) lub na powierzchni materiału (pęcherze).

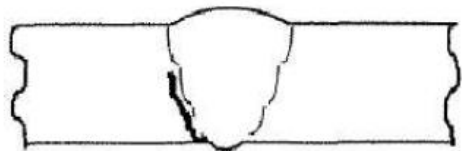
# Przykłady degradacji wodorowej



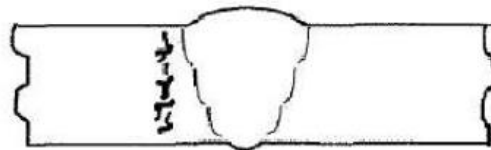
HIC / SWC



Blistering



SSC



SOHIC

# Ultradźwiękowe metody detekcji HTHA

Metody znane (API RP 941):

- ✓ AUBT – Advanced Ultrasonic Backscattering Technique
- ✓ Metoda TOFD
- ✓ Metoda PAUT
- ✓ Velocity Ratio (iloraz prędkości)
- ✓ Pomiar tłumienia echa fali UT
- ✓ Repliki metalograficzne

Niezbędne jest wykonanie badania minimum 2 lub więcej metodami, aby wyeliminować lub potwierdzić mechanizmy degradacji.



# AUBT – Advanced Ultrasonic Backscattering Technique

1. Metoda wstecznego rozproszenia fali UT – wsteczne odbicie fali pierwotnej od powierzchni zdegradowanej występującej na granicach ziaren.
2. Fala odbita podąża w kierunku przeciwnym do fali pierwotnej informując o zmianach w materiale
3. Badanie podpowierzchniowych zmian w mikrostrukturze materiału
4. Wyniki porównywane są z próbką referencyjną

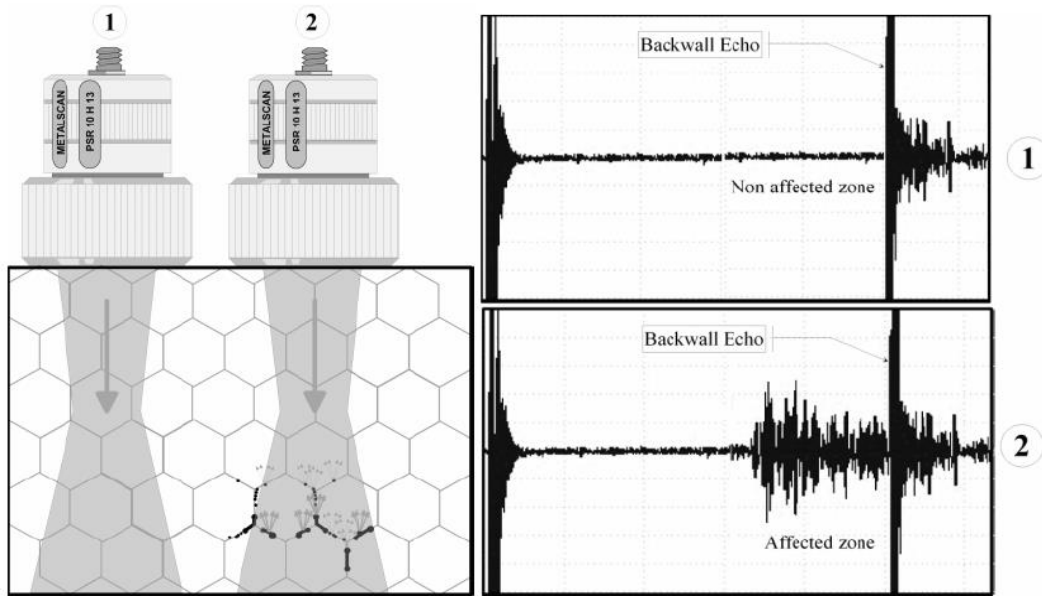
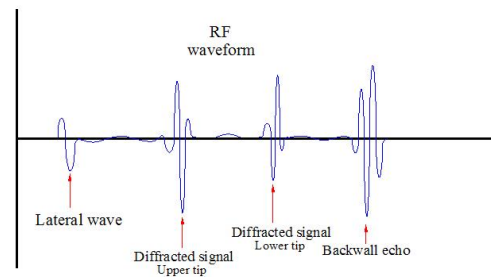
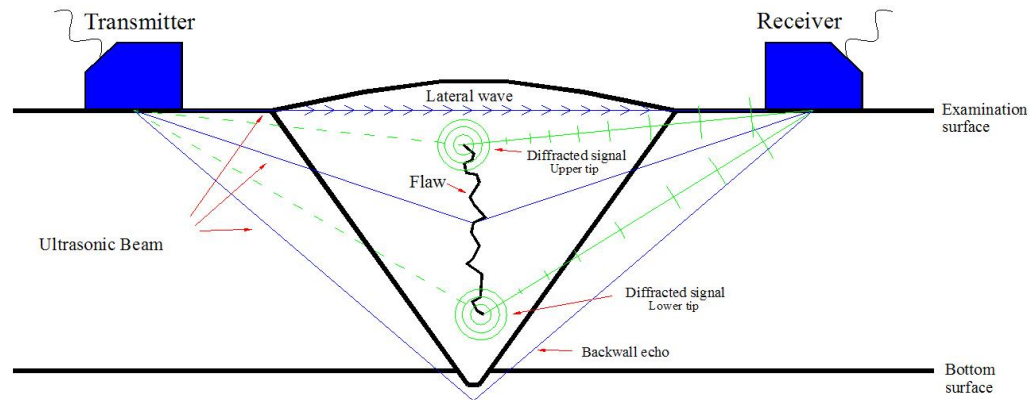


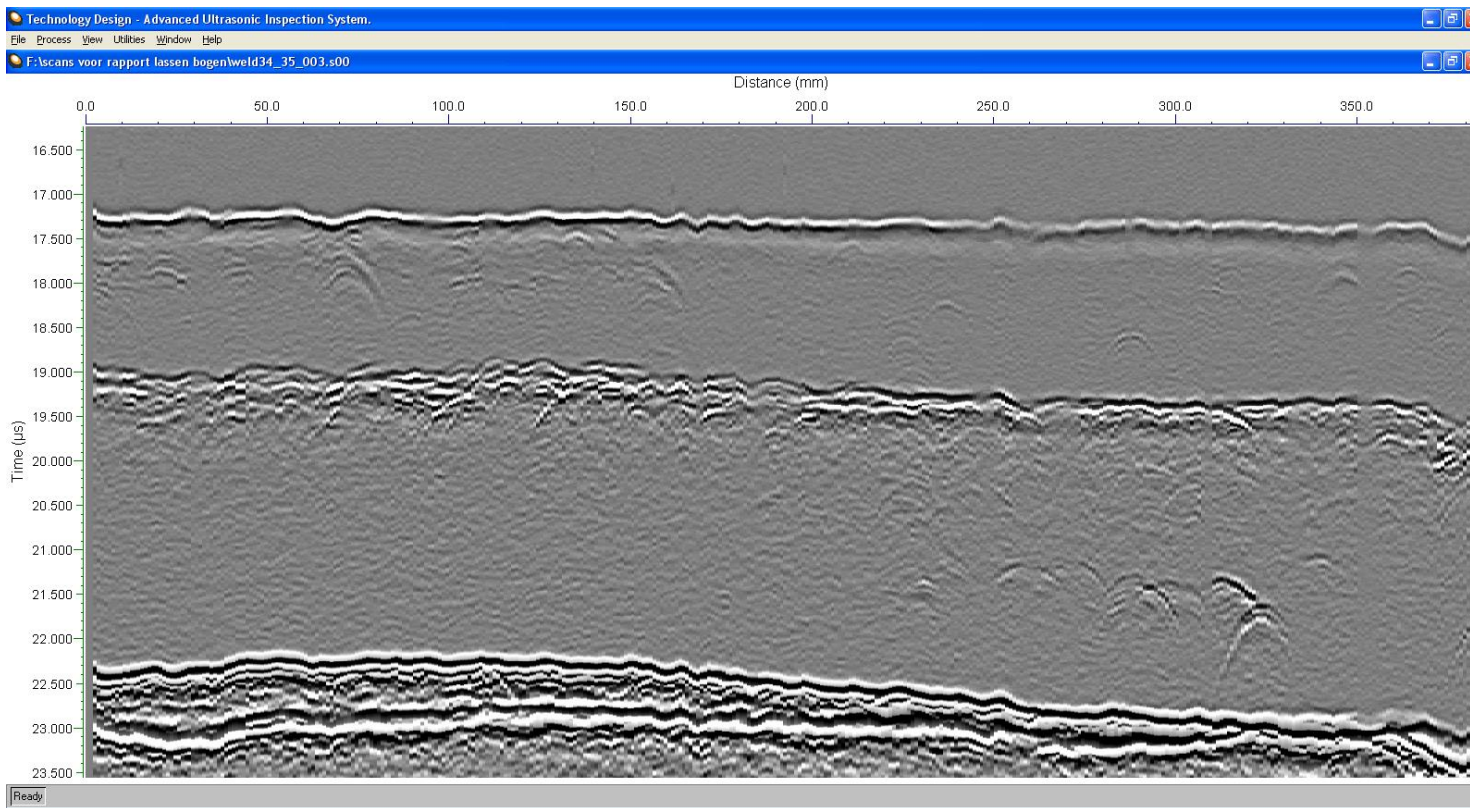
Illustration 5: Backscattering phenomenon.

# TOFD – Time of Flight Diffraction

1. Metoda wykorzystuje ultradźwiękowe fale podłużne
2. Pozwala na dokładne spozycjonowanie i zwymiarowanie pęknięć wewnątrz struktury materiału oraz w spoinach
3. Stosowana łącznie z techniką Phased Array

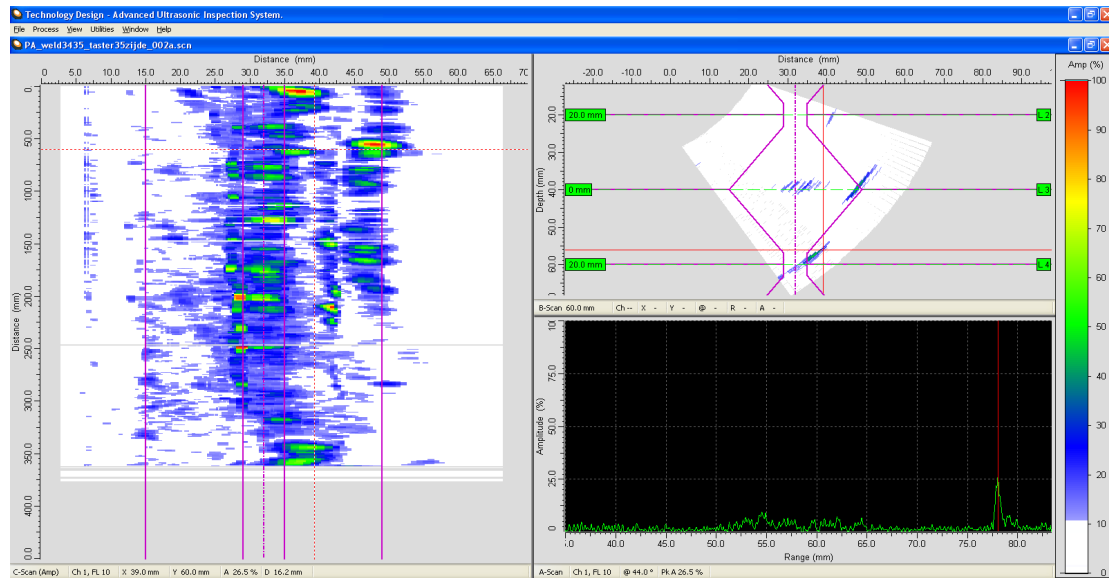


# Skannowanie spoiny - TOFD

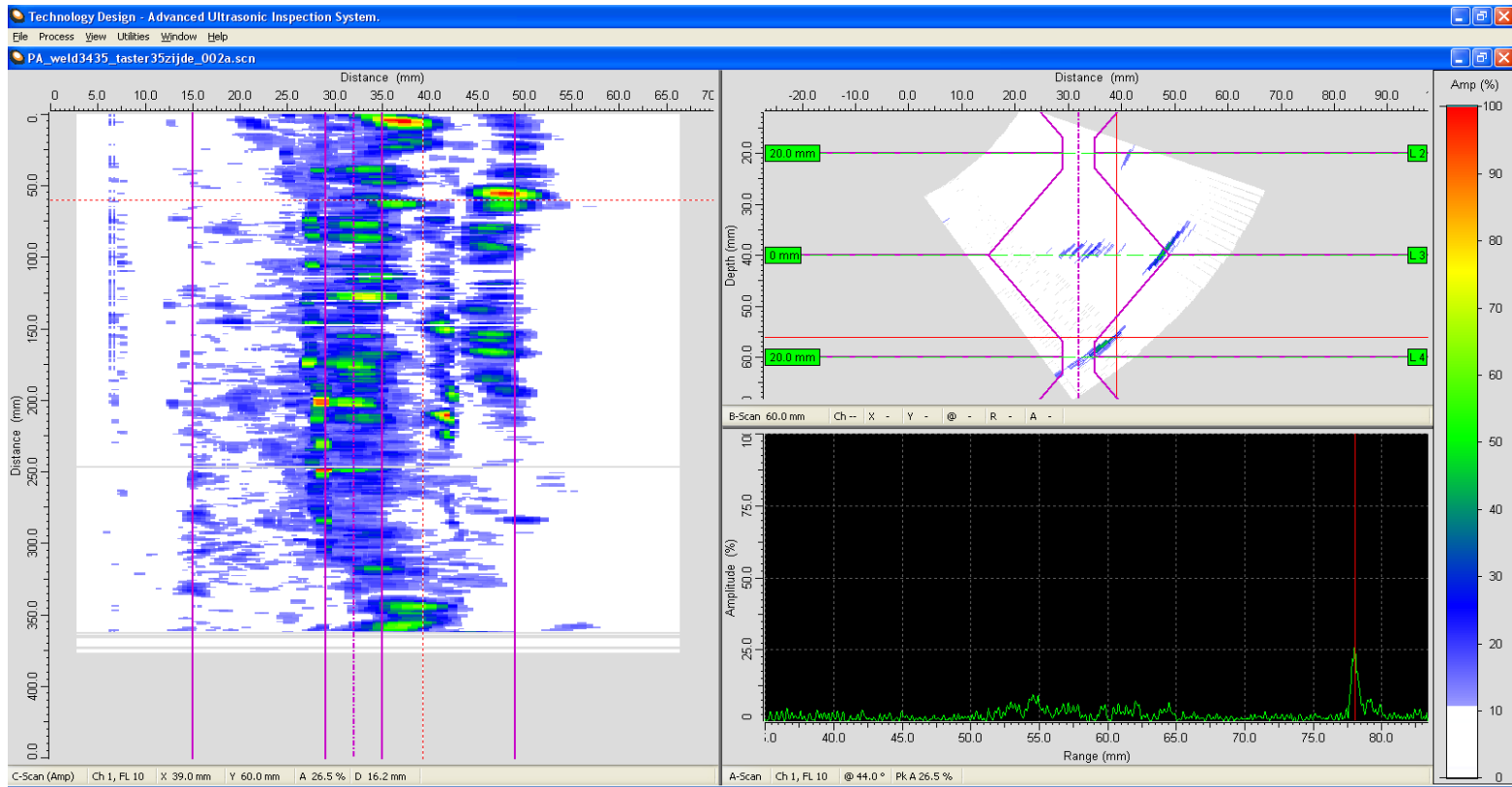


# PAUT – Phased Array Ultrasonics

1. Metoda wykorzystuje ultradźwiękowe głowice wieloprzetwornikowe
2. Pozwala na wykrycie zmian wewnątrz materiału lub spoiny typu pęknięcia, korozja
3. Połączenie badań metodą TOFD i PAUT jest efektywnym rozwiązaniem w detekcji HTHA



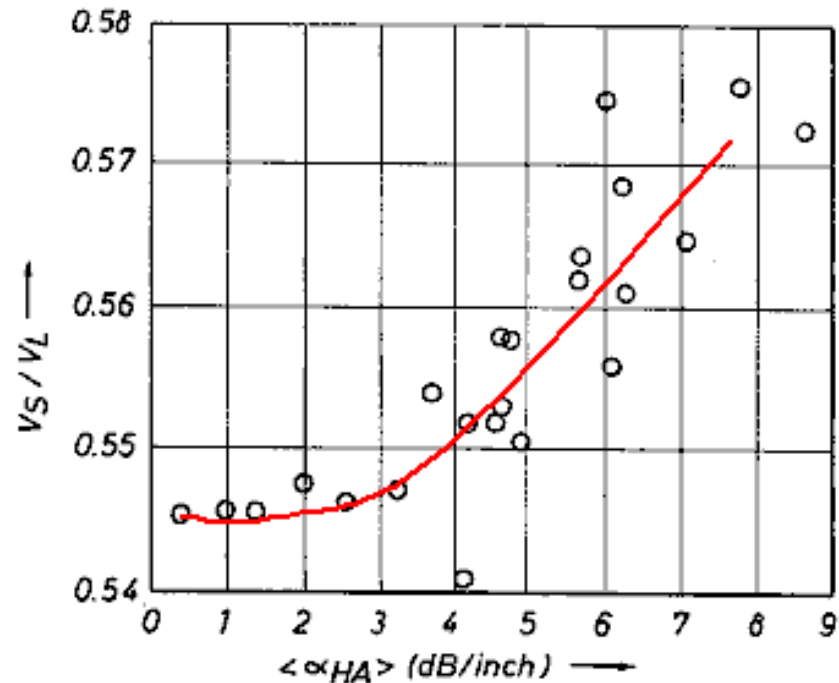
# Phased Array - spoina



Phased Array UT - spoiny

## Velocity Ratio – Iloraz prędkości fali UT

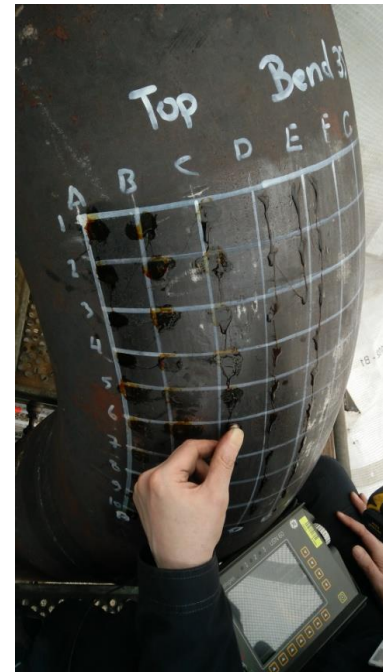
1. Pomiar fal UT podłużnych i poprzecznych
2. Obliczenia ilorazu prędkości fali poprzecznej i podłużnej ( $V_S/V_L$ )
3. Jeśli iloraz wynosi więcej niż 0,55 to należy zastosować obliczenie wg algorytmu FTT – szybkiej transformanty Fouriera



# Realizacja badań HTHA w rafineriach (1)

Badania przeprowadzone przez DEKRA podczas postoju na rafinerii w 2017 roku:

- ✓ Kolana – metoda ilorazu prędkości UT oraz pomiar tłumienia
- ✓ Pomiary punktowe
- ✓ Spoiny – skanowanie TOFD i PAUT





# Przykłady raportowania – iloraz prędkości fali UT

| Velocity ratio method |       |       | Bend id: 35 |       |       |       |       |       |       |       |          |
|-----------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Position              | A     | B     | C           | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     | Position |
| 1                     | 0,552 | 0,553 | 0,557       | 0,556 | 0,554 | 0,550 | 0,555 | 0,554 | 0,551 | 0,550 | 1        |
| 2                     | 0,554 | 0,554 | 0,554       | 0,557 | 0,559 | 0,553 | 0,553 | 0,554 | 0,554 | 0,555 | 2        |
| 3                     | 0,554 | 0,554 | 0,556       | 0,554 | 0,559 | 0,554 | 0,556 | 0,555 | 0,556 | 0,553 | 3        |
| 4                     | 0,552 | 0,555 | 0,554       | 0,555 | 0,557 | 0,550 | 0,553 | 0,554 | 0,553 | 0,552 | 4        |
| 5                     | 0,551 | 0,554 | 0,553       | 0,555 | 0,555 | 0,553 | 0,553 | 0,553 | 0,556 | 0,553 | 5        |
| 6                     | 0,554 | 0,556 | 0,553       | 0,554 | 0,555 | 0,559 | 0,557 | 0,554 | 0,552 | 0,554 | 6        |
| 7                     | 0,553 | 0,553 | 0,557       | 0,552 | 0,557 | 0,556 | 0,555 | 0,552 | 0,551 | 0,552 | 7        |
| 8                     | 0,553 | 0,552 | 0,556       | 0,555 | 0,555 | 0,555 | 0,555 | 0,556 | 0,554 | 0,553 | 8        |
| 9                     | 0,553 | 0,555 | 0,556       | 0,555 | 0,556 | 0,557 | 0,554 | 0,556 | 0,554 | 0,553 | 9        |
| 10                    | 0,554 | 0,552 | 0,553       | 0,557 | 0,555 | 0,556 | 0,555 | 0,555 | 0,551 | 0,556 | 10       |
| Position              | A     | B     | C           | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     | Position |

Values in the cells: Ratio between the ultrasonic velocities of longitudinal and shear waves.

|              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| Color format | Ratio $\leq 0,563$                |
|              | $0,563 < \text{Ratio} \leq 0,567$ |
|              | Ratio $> 0,567$                   |



# Ocena

Przykład oceny pomiarów:

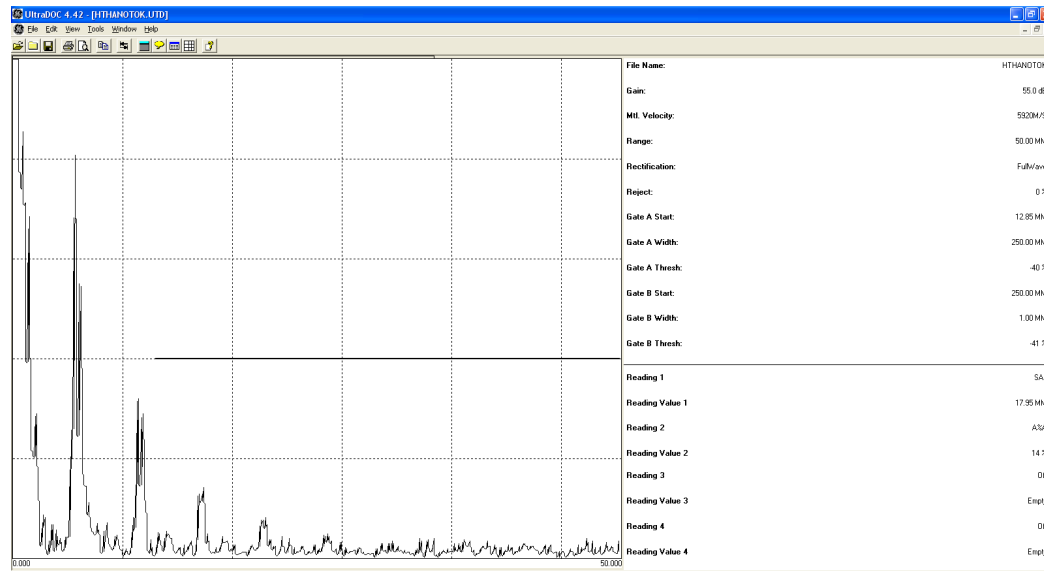
Iloraz prędkości fali UT – metoda stosowana dla materiałów wykorzystywanych w rafineriach.

Wzrost współczynnika  $> 1,5\%$  może wskazywać na występowanie HTHA.

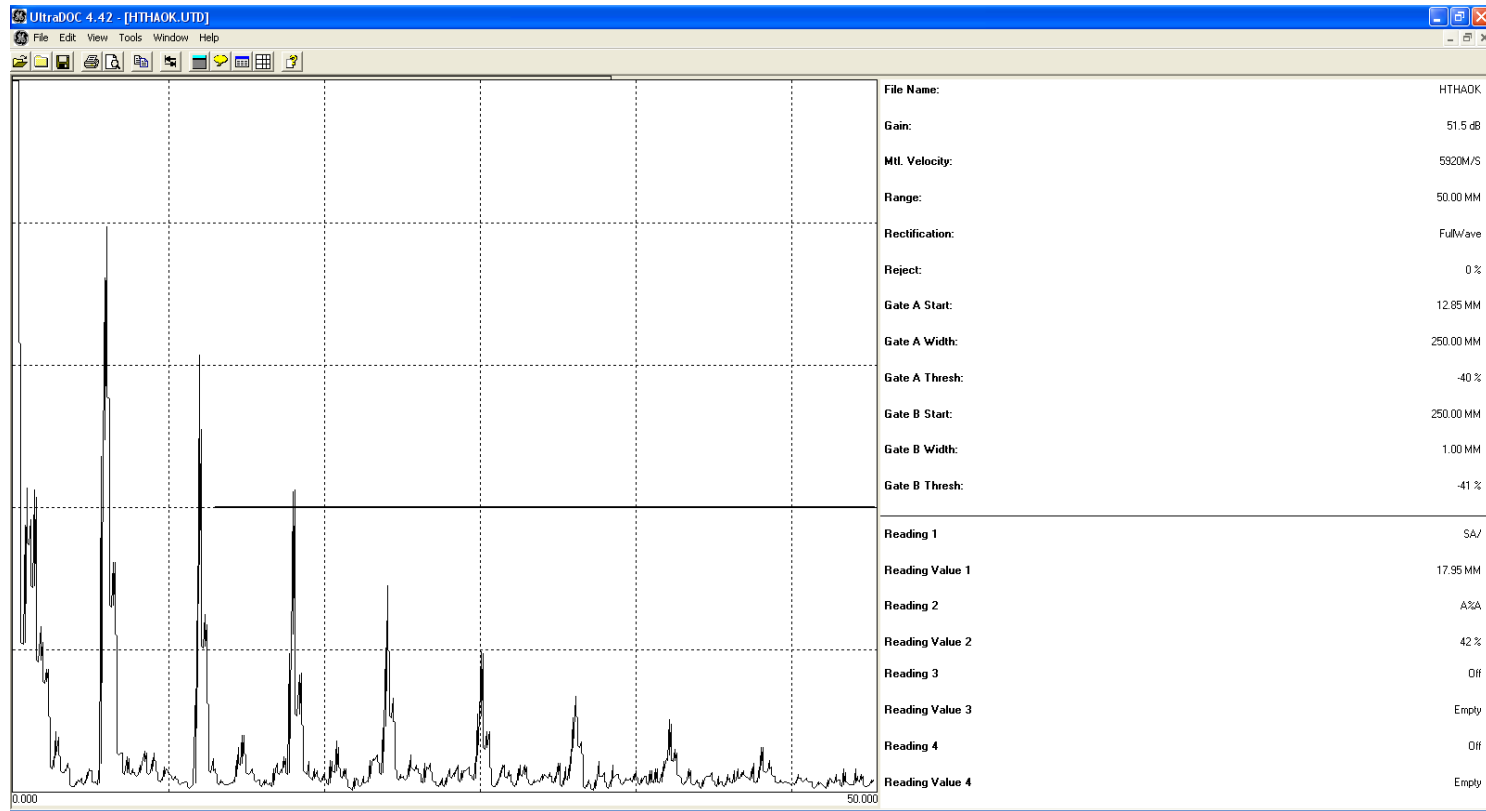
Wartości progowe dla współczynników to pomiędzy  $0,75\%$  a  $1,5\%$ .

# Pomiar tłumienia fali UT

1. Pomiar tłumienia echa podłużnych fal UT w stosunku do materiału referencyjnego
2. Występowanie HTHA powoduje większe tłumienie fal UT
3. Metoda stosunkowo łatwa i tania, stosowana jako uzupełnienie innych metod pomiarowych



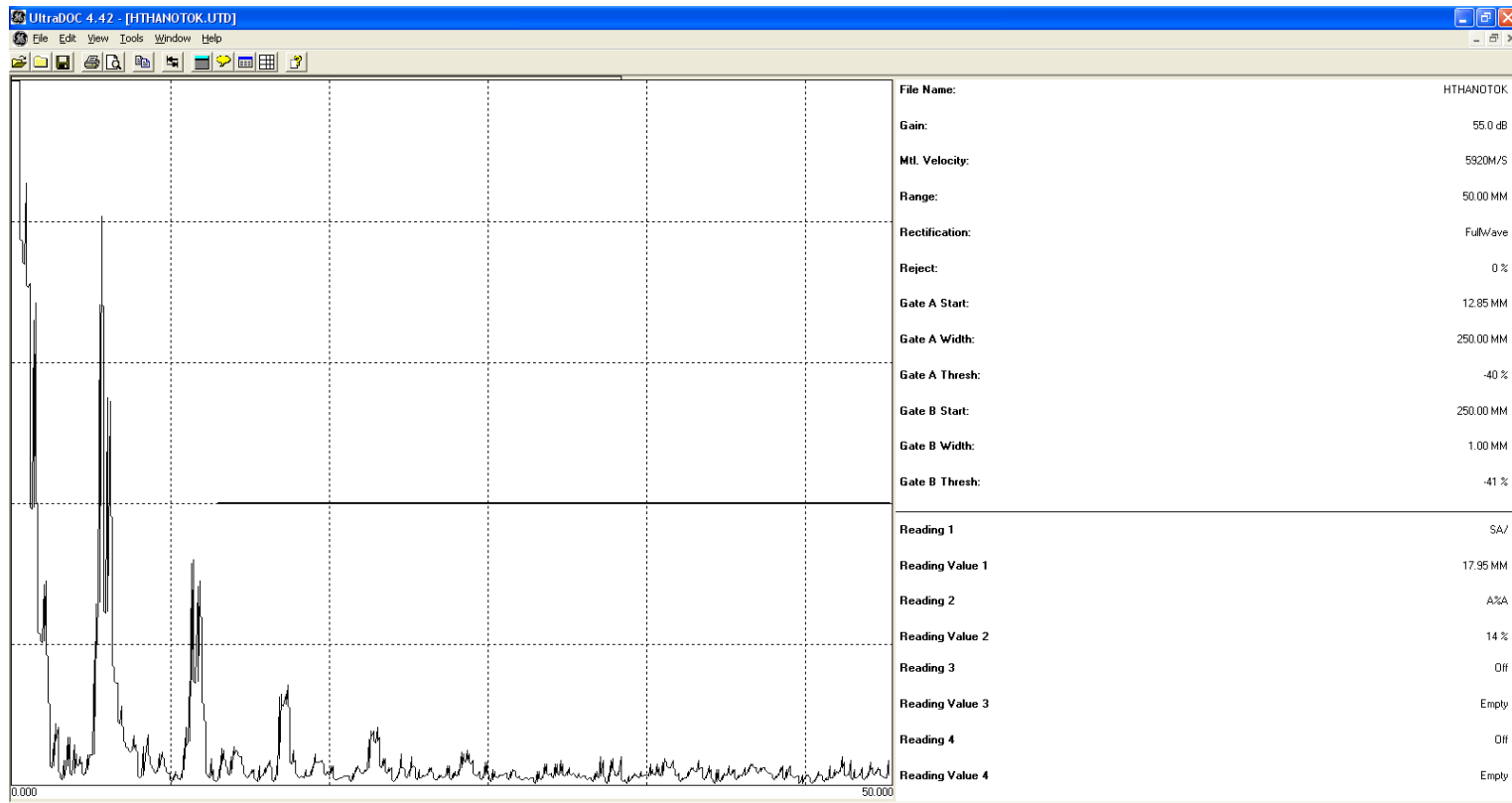
# Pomiary tłumienia – jakościowe, bez tłumienia



Jakościowe – bez tłumienia



# Pomiary tłumienia – jakościowe, znacznie tłumione



Jakościowe – znacznie tłumione – 4, 5 BWE trudno widoczne

# Przykłady raportowania – tłumienie fali UT

|                |      |      |             |      |      |                         |      |      |      |      |          |
|----------------|------|------|-------------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|----------|
| Damping method |      |      | Bend Id: 35 |      |      | Wall thickness: 18 [mm] |      |      |      |      |          |
| Position       | A    | B    | C           | D    | E    | F                       | G    | H    | I    | J    | Position |
| 1              | 0,03 | 0,07 | 0,08        | 0,09 | 0,10 | 0,09                    | 0,08 | 0,10 | 0,05 | 0,10 | 1        |
| 2              | 0,09 | 0,07 | 0,04        | 0,06 | 0,08 | 0,07                    | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 2        |
| 3              | 0,06 | 0,08 | 0,06        | 0,04 | 0,10 | 0,07                    | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 3        |
| 4              | 0,09 | 0,09 | 0,08        | 0,09 | 0,09 | 0,06                    | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 4        |
| 5              | 0,09 | 0,08 | 0,08        | 0,09 | 0,08 | 0,08                    | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 5        |
| 6              | 0,05 | 0,07 | 0,10        | 0,09 | 0,10 | 0,08                    | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 6        |
| 7              | 0,10 | 0,10 | 0,07        | 0,07 | 0,07 | 0,04                    | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 7        |
| 8              | 0,06 | 0,10 | 0,08        | 0,07 | 0,10 | 0,06                    | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 8        |
| 9              | 0,07 | 0,09 | 0,09        | 0,09 | 0,09 | 0,08                    | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 9        |
| 10             | 0,08 | 0,09 | 0,09        | 0,09 | 0,09 | 0,08                    | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 10       |
| Position       | A    | B    | C           | D    | E    | F                       | G    | H    | I    | J    | Position |

Values in the cells: Damping Coefficient; Alpha ( $\alpha$ ) in [dB/mm]

Values as measured only valid for this material in combination with the probe used.

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| Color format | $\alpha \leq 0,1$       |
|              | $0,1 < \alpha \leq 0,2$ |
|              | $\alpha > 0,2$          |

# Pomiary tłumienia - jakościowe i ilościowe

## Pomiary tłumienia - ilościowe

Współczynniki pomiarowy  $1^e/2^e$  lub  $2^e/4^e$  BWE dla każdej lokalizacji 5-10x

W arkuszu kalkulacyjnym obliczany jest średni współczynnik tłumienia  $\alpha$  wg poniższej formuły:

$$\alpha = 20 \cdot \log [(A2/A4) - 6] / 4 \cdot WT \text{ in dB/mm}$$

A2: amplituda  $2^e$  BWE

A4: amplituda  $4^e$  BWE

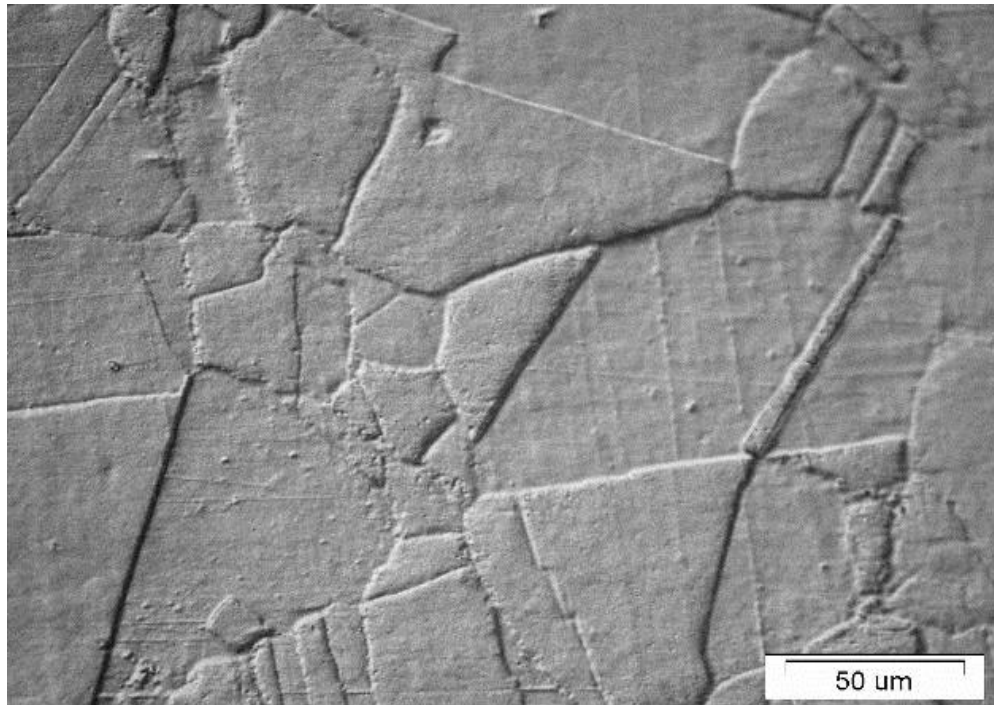
Pomiary tłumienia UT dla materiałów wykorzystywanych w rafineriach:

$\alpha > 0.2$  dB/mm: możliwe HTHA

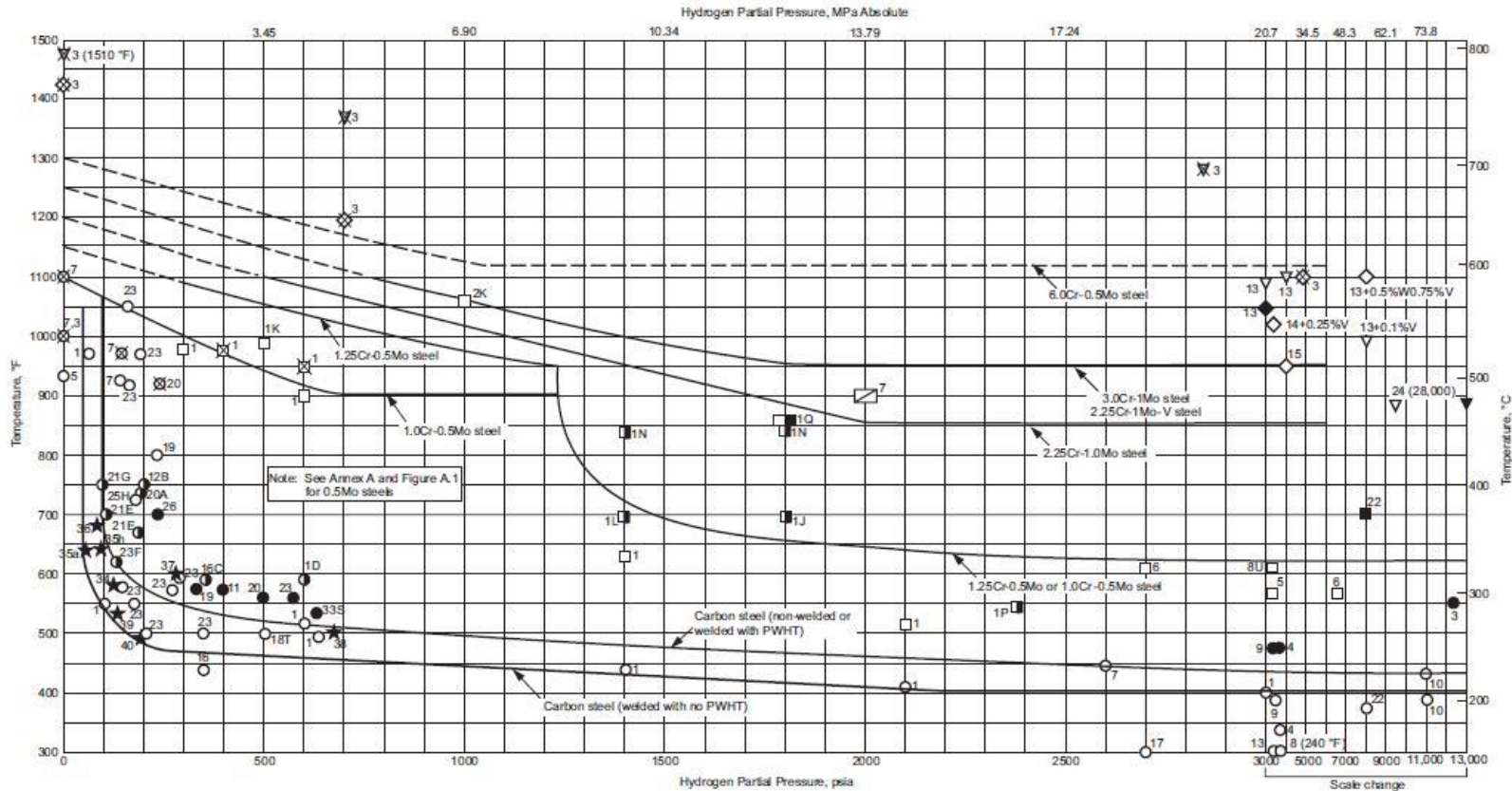
$\alpha$  pomiędzy 0,1 a 0,2 dB/mm: wartości progowe

# Repliki metalograficzne

1. Badanie struktury powierzchniowej materiałów w celu uzyskania obrazu metalograficznego.
2. Stosowana w celu wczesnego stwierdzenia potencjalnych zmian w materiale (pełzanie, zmęczenie) na skutek działania wysokich temperatur
3. Ocena kondycji instalacji przemysłowych, rurociągów, aparatów, reaktorów i prognozowanie długości eksploatacji



# Dobór materiałów - wykres Nelsona – API RP 941





# Realizacja badań HTHA w rafineriach

Wymagania dla badań HTHA:

- ✓ Baza danych dotycząca właściwości materiałów i przetworników
- ✓ Dane cech przestrzennych pochodzących od HTHA
- ✓ Doświadczeni operatorzy w wykonywaniu i ocenie pomiarów
- ✓ Próbki referencyjne bez uszkodzeń HTHA

DEKRA opracowuje instrukcje i procedury opracowane dla pomiarów HTHA w rafineriach, pracuje nad rozbudowaniem bazy danych ilorazów prędkości fali ultradźwiękowej dla różnych sond i częstotliwości oraz różnych materiałów.

# Podsumowanie

## Występowanie i niebezpieczeństwa

- ✓ Możliwość wystąpienia w stalach węglowych od 200 st. C, stopach Cr-Mo od 330 st. C
- ✓ Pęknięcia występują wewnątrz materiału i są trudno wykrywalne
- ✓ Niebezpieczeństwo szybkiej degradacji struktury materiału i awarii

## Dobre praktyki

- ✓ Projektowane materiały powinny być bezpieczne i wytrzymałe – wykres Nelsona
- ✓ Monitoring urządzeń narażonych na HTHA – regularne badania NDT
- ✓ Gromadzenie danych i analiza zmian
- ✓ Ocena zagrożeń dla procesów i urządzeń narażonych na HTHA

KONTAKT



ZAPEWNIAMY

BEZPIECZEŃSTWO

T. +48.512.022-579

[industrial.pl@dekra.com](mailto:industrial.pl@dekra.com)

[www.industrial.dekra.pl](http://www.industrial.dekra.pl)