



Prezentacja wyników badań w ramach projektu  
POIG 1.3.1:  
„Monitorowanie zużycia eksploatacyjnego i  
optymalizacja procesu naprawczego wirników  
turbin parowych”

---

Dane badawcze i analiza wyników badań



1. Program badań nieniszczących wirnika WP TK 120.
2. Opracowanie metodyki badań ultradźwiękowych techniką Phased Array.
3. Przygotowanie próbek odniesienia.
4. Podsumowanie wyników przeprowadzonych badań nieniszczących wirnika WP TK 120.
5. Podsumowanie wyników badań niszczących pierścieni.

# Badany element



**Producent:** Zakłady Mechaniczne "Zamech" Elbląg

**Typ:** TK120 - turbina trojkadłubowa, akcyjna, kondensacyjna z międzystopniowym przegrzewem pary, sześciostopniowym układem regeneracyjnym zasilanym z nieregulowanych upustów

**Numer fabryczny:** 20

**Rok produkcji :** 1969

**Lokalizacja:** 1969 – 2009 Elektrownia Łagisza TG-4

**Pierwsze uruchomienie:** 22.09.1969 r.

**Moc znamionowa:** 120 MW

**Obroty znamionowe:** 3 000 obr/min

**Obroty krytyczne:**

I stopnia 1 870 obr/min

II stopnia 2 600 obr/min

III stopnia 3 350 obr/min

**Parametry pary świeżej:**

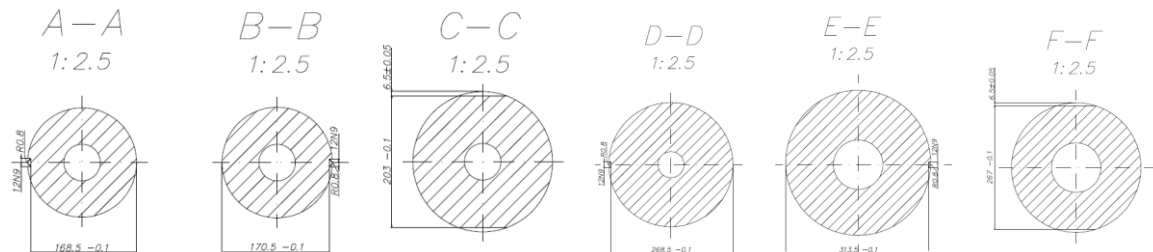
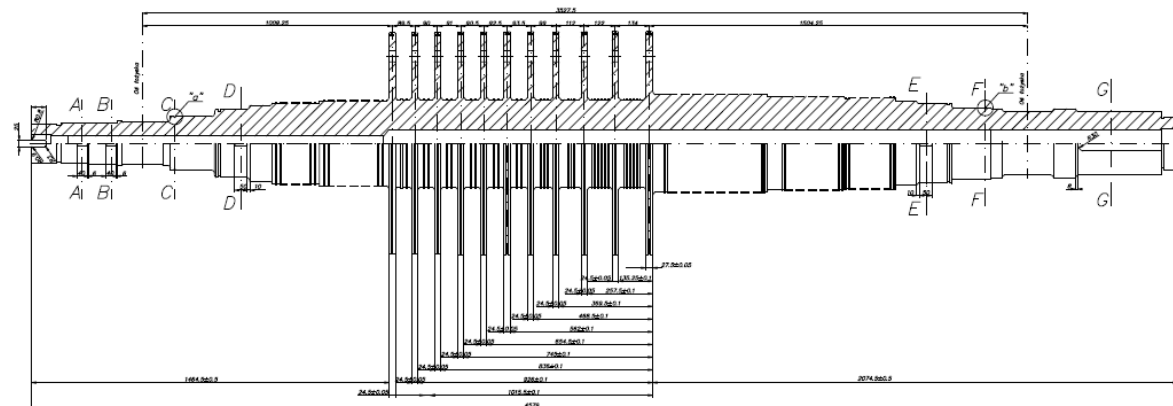
Temperatura znamionowa 535 °C

Ciśnienie znamionowe 12,95 MPa

**Parametry pary wtórnie przegrzanej:**

Temperatura 535 °C

Ciśnienie 2,58 Mpa

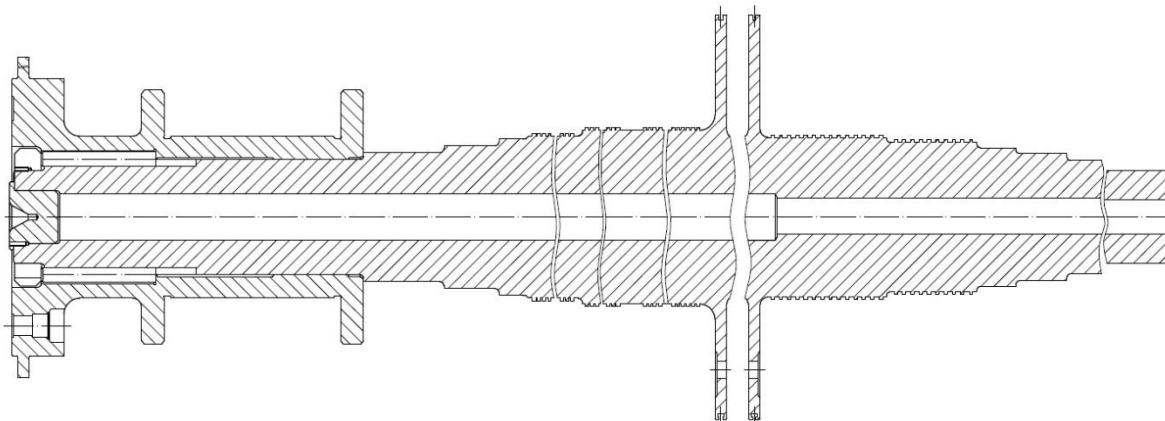


# Parametry pracy wirnika WP TK 120

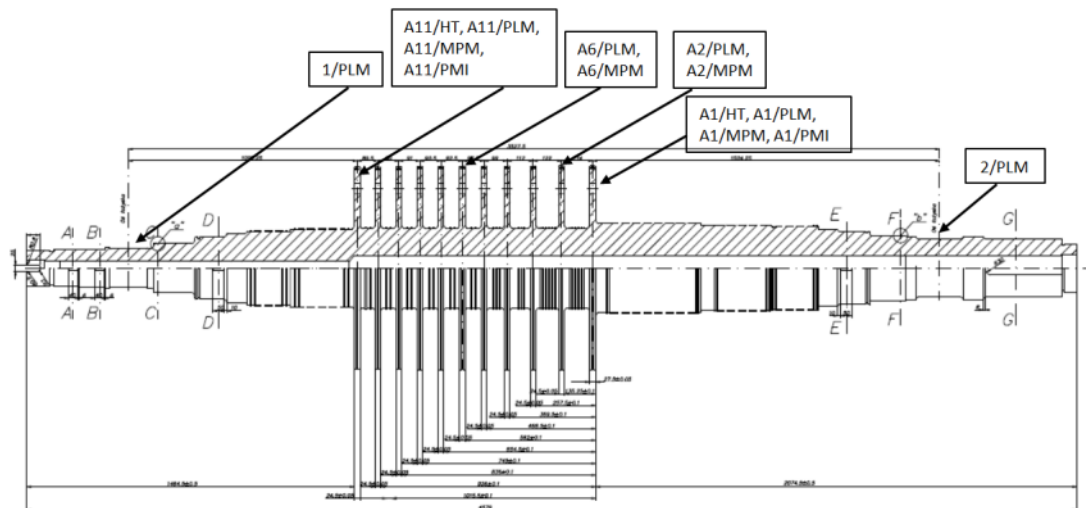


W zależności od obciążeń termicznych i dynamicznych, wirnik WP TK 120 można podzielić na następujące strefy:

- Strefa 1 - tarcza wirnikowa i łopatki robocze stopnia 1 - temperatury do 15°C wyższe od 535°C
- Strefa 2 - tarcze wirnikowe i łopatki robocze stopni 2 do 5 - temperatury od 535 do 450°C
- Strefa 3 - tarcze wirnikowe i łopatki robocze stopni 6 do 11 – temperatury od 450 do 345°C
- Strefa 4 - wał - dławica wlotowa – temperatury 535 do 220°C
- Strefa 5 - wał-dławica wylotowa- temperatury 345 do 220°C
- Strefa 6 - czopy wału – krytyczne odcinki wału
- Strefa 7 - środek wirnika – najwyższe ugięcia statyczne



# Program badań nieniszczących wirnika WP TK 120



L.p.	Metoda badania	Obiekt i zakres badania	Oznaczenie	Uwagi
1.	Pomiary twardości	Punkty na tarczach wirnika stopni A1, A2, A6 i A11	Punkty pomiarowe: A1/HT, A2/HT, A6/HT, A11/HT	Zgodnie ze szkicem
2.	Badania mikrostruktury techniką replik/ przenośne badania mikrostruktury	Punkty na tarczach wirnika stopni A1, A2, A6 i A11 oraz na wale, po stronie wlotowej i wylotowej	Punkty pomiarowe: A1/PLM, A2/PLM, A6/PLM, A11/PLM, 1/PLM, 2/PLM	Zgodnie ze szkicem
3.	Badania wirnika metodą magnetycznej pamięci metalu	Dostępna powierzchnia tarcz A1, A2, A6 i A11 po stronie wlotowej i wylotowej	Punkty pomiarowe: A1/MPM, A2/MPM, A6/MPM, A11/MPM	Zgodnie ze szkicem
	Badania składu chemicznego	Punkty na tarczach wirnika stopni A1 i A11	Punkty pomiarowe: A1/PMI, A11/PMI	Zgodnie ze szkicem
4.	Badania wizualne	100% powierzchni wirnika w dostępnych miejscach	VT	-
5.	Badania magnetyczno-proszkowe/ badania penetracyjne	100% powierzchni wirnika w dostępnych miejscach	MT/PT	-
6.	Badania ultradźwiękowe techniką Phased Array	100% powierzchni tarcz A1-A11 w obszarze mocowania łopatki	UTPA	-
7.	Badania wizualne/ultradźwiękowe/wiroprądowe otworu centralnego	100% długości otworu centralnego	VT/UT/ET	-

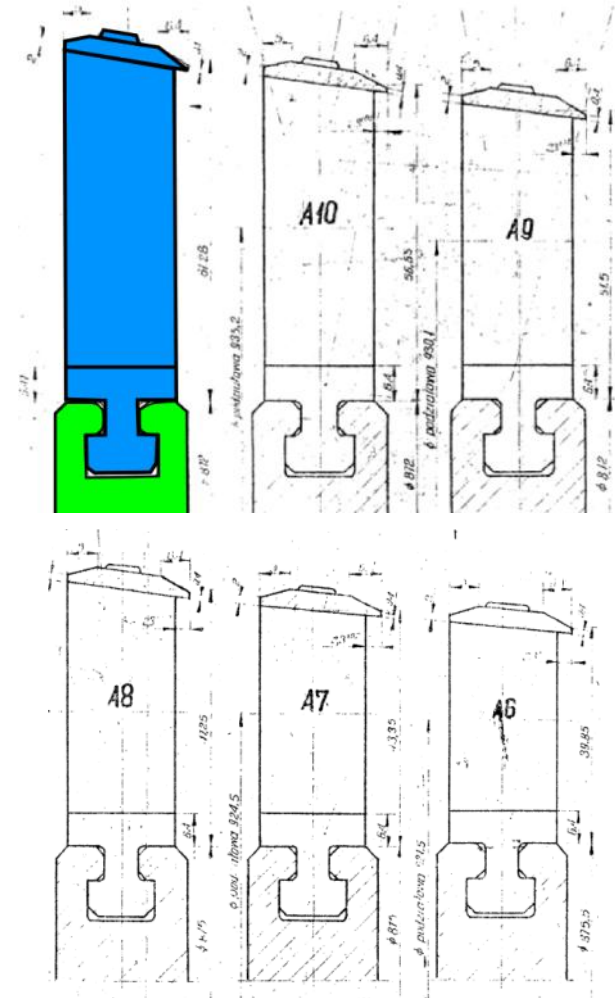


# Opracowanie metodyki badań ultradźwiękowych techniką Phased Array

# Badania wrębów łopatkowych



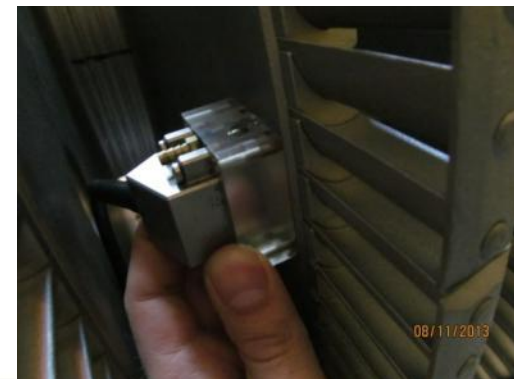
- Najbardziej obciążonym a zarazem najbardziej narażonym na degradację elementem turbiny parowej jest **łopatka wraz z wrębem łopatkowym**, mocującym ją do tarczy wirnika.
- W diagnostyce wirników turbin parowych kluczowym czynnikiem jest możliwość wykrycia i pomiaru wielkości ewentualnych pęknięć powstających w krawędziach geometrycznych znajdujących się we wrębach łopatkowych.
- Najczęściej do badań wrębów stosuje się **metodę ultradźwiękową**, która wspierana jest metodą magnetyczno-proszkową i wizualną.
- W ramach projektu opracowano metodykę badania wrębów turbin parowych o zróżnicowanych wymiarach i kształtach ultradźwiękową **techniką Phased Array**.





# Badania ultradźwiękowe wrębów łopatkowych

- Badania ultradźwiękowe wrębów turbin parowych w warunkach przemysłowych są problematyczne, ze względu na:
  - Skomplikowany geometrycznie kształt wrębów, często inny dla każdego stopnia wirnika,
  - Brak standardowych wzorców, próbek odniesienia i defektów referencyjnych,
  - Brak wytycznych w postaci dokumentów normatywnych,
  - Brak dostępnej dokumentacji technicznej turbin,
  - Konieczność wykrywania i oceny wielkości możliwie najmniejszych wad (ze względu na wymagania klienta),
  - Ograniczenie obszaru badania wymiarami geometrycznymi badanych elementów.
- Czynniki te wymuszają prowadzenie odpowiednich testów na **próbkach odniesienia** oraz **modelowanie badań** w celu osiągnięcia odpowiedniej wiarygodności wyników.

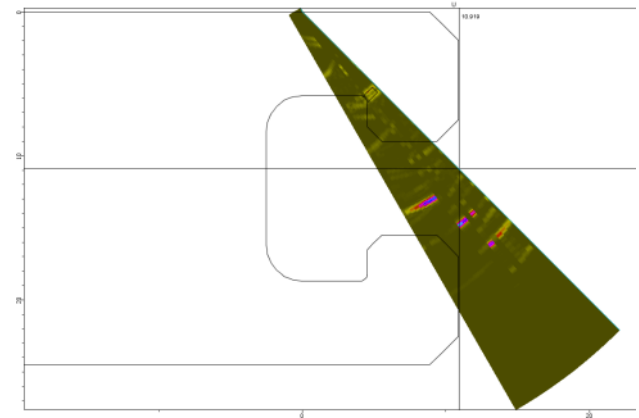
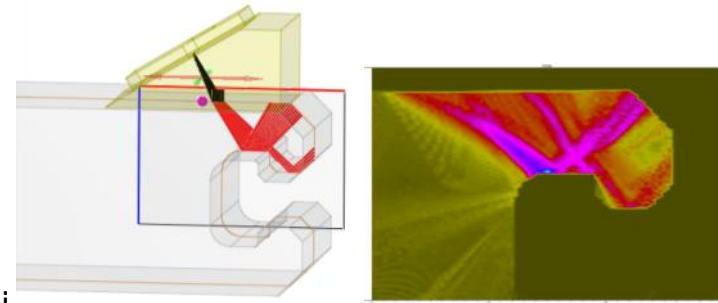
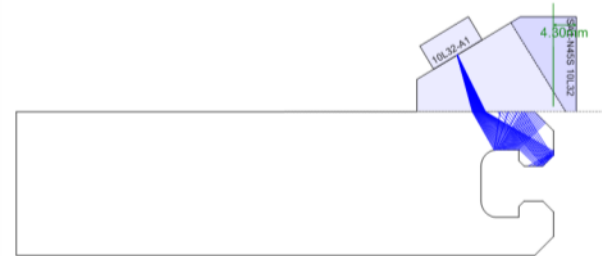




# Modelowanie badań ultradźwiękowych



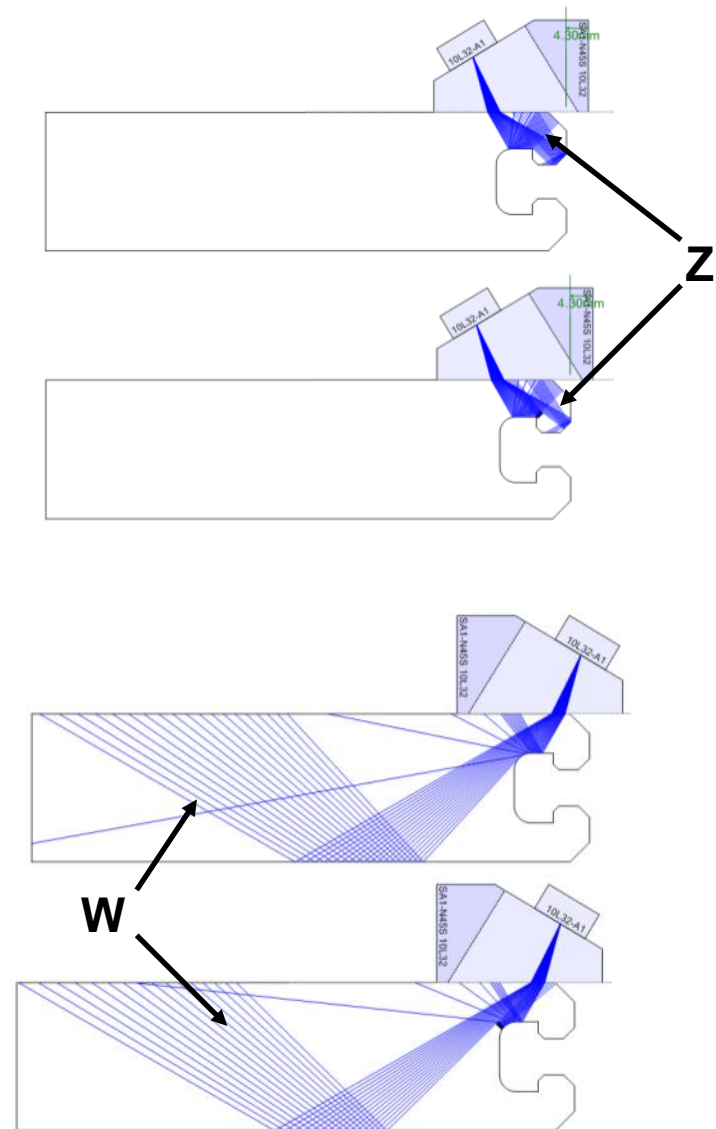
- Ultradźwiękowa technika Phased Array jest wspierana symulacjami numerycznymi ze względu na:
  - Względnie wysoki stopień zaawansowania techniki wynikający ze stosowania głowic wieloprzetwornikowych,
  - Skomplikowaną analizę wyników badań,
  - Skomplikowaną geometrię badanych elementów.
- Modelowanie umożliwia:
  - Zobrazowanie rozchodzenia się wiązek ultradźwiękowych,
  - Zobrazowanie odbicia i załamania fali związanego z geometrią obiektu,
  - Uwzględnienie właściwości akustycznych badanego elementu, jego struktury, właściwości powierzchni,
  - Uwzględnienie wad materiałowych.
- Modelowanie przeprowadza się przy zachowaniu trójwymiarowej geometrii badanego obiektu, przygotowanej w formacie CAD. W rezultacie uzyskiwane wyniki są bardzo zbliżone do rzeczywistych.
- Symulacje numeryczne mają na celu:
  - Dobór optymalnej pozycji głowicy ultradźwiękowej,
  - Dobór optymalnych ustawień systemu badawczego,
  - Analizę parametrów wytworzonej wiązki ultradźwiękowej,
  - Analizę interakcji fali ultradźwiękowej z wadami,
  - Analizę wykrywalności wad
  - Interpretację wskazań uzyskanych w badaniach eksperymentalnych.
- W ramach niniejszego projektu badania ultradźwiękowe modelowano za pomocą programów **ESBeamTool** oraz **CIVA**.



# Symulacje numeryczne - ESBeamTool



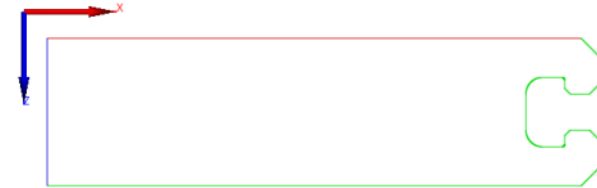
- W celu zbadania całej docelowej objętości materiału, wręby podzielono na dwa obszary:
  - Obszar obejmujący część zewnętrzną wrębu (oznaczony jako **Z**)
  - Obszar obejmujący część wewnętrzną wrębu (oznaczony jako **W**).
- Każda tarcza z wrębem będzie badana w **czterech etapach** – obszary W i Z po obu stronach tarczy.
- Uprozczone symulacje numeryczne przeprowadzono za pomocą programu **ESBeamTool**.
- Symulacje przedstawiają uproszczoną analizę interakcji fali ultradźwiękowej z wadami umiejscowionymi w obszarach krytycznych.
- Oprogramowanie ESBeamTool umożliwiło wstępną analizę rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w badanym materiale oraz dobór optymalnego ustawienia głowicy wieloprzetwornikowej na powierzchni wrębu.
- Zaawansowane symulacje przeprowadzono w kolejnym etapie za pomocą oprogramowania **CIVA**.



# Zaawansowane symulacje numeryczne - CIVA

- Numeryczne symulacje przeprowadzono za pomocą programu komputerowego CIVA.
- Pierwszym etapem pracy było opracowanie numerycznych modeli wrębów stopni A1-A11 wirnika turbiny parowej.
- Na podstawie rysunków technicznych wrębów stopni A1-A11 wirnika turbiny parowej stworzono numeryczny model.
- Wymiary, geometria i właściwości akustyczne zbudowanego modelu wiernie odzwierciedlają parametry rzeczywiste.

Schemat CAD modelu wrębu wirnika turbiny parowej:



Widok 3D modelu wycinka wrębu wirnika turbiny parowej:



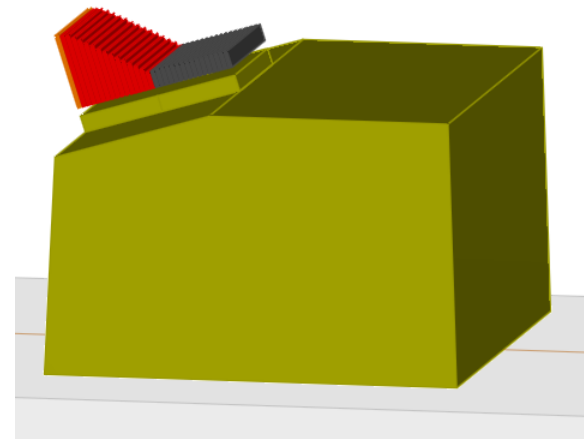
Widok 3D modelu tarczy wirnika turbiny parowej:



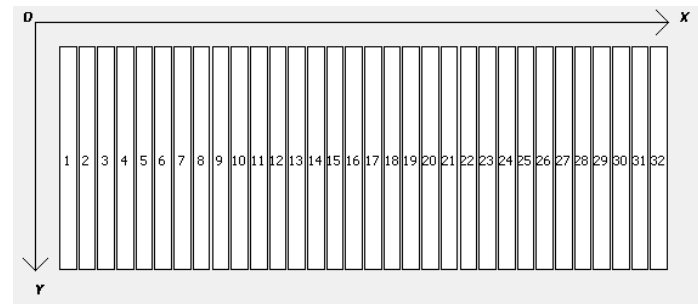


Widok 3D modelu głowicy wieloprzetwornikowej:

- Kolejnym etapem pracy opracowanie numerycznego modelu wieloprzetwornikowej głowicy ultradźwiękowych:
  - 10L32-A1,
  - 5L32-A5,
  - 5L64-A2.
- Na podstawie specyfikacji technicznej wieloprzetwornikowej głowicy ultradźwiękowych stworzono ich numeryczny model.
- Wymiary, geometria i parametry przetworników zbudowanego modelu wiernie odzwierciedlają parametry rzeczywiste.



Widok 2D opracowanych modeli głowic wieloprzetwornikowych:



# Parametry modeli



Główne parametry stworzonego modelu wrębu

Materiał	Stal ferrytyczna
Gęstość	7,8 g/cm <sup>3</sup>
C <sub>L</sub>	5920m/s
C <sub>T</sub>	3250m/s
Tłumienie fali ultradźwiękowej	0,05dB/mm

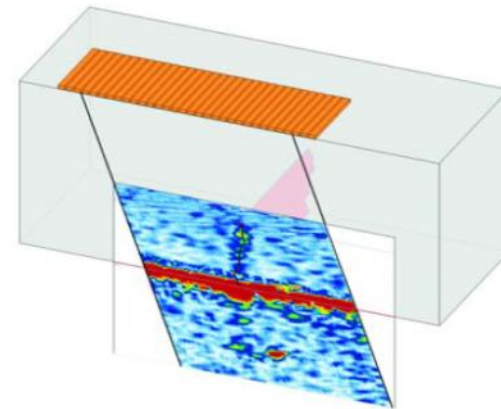
Wybrane parametry głowicy ultradźwiękowej 5L32/5L64/10L32:

Tryb pracy	Nadawczo-odbiorczy
Typ głowicy	Wieloprzetwornikowa
Liczba przetworników, <i>n</i>	32/64/32
Odległość między elementami, <i>g</i>	0,08 mm
Szerokość elementu, <i>e</i>	0,52/0,52/0,23 mm
Odległość między środkami elementów, <i>p</i>	0,6/0,6/0,31 mm
Długość apertury całkowitej, <i>A</i>	20/40/10 mm
Szerokość apertury całkowitej, <i>W</i>	20/10/7 mm
Powierzchnia głowicy	Płaska
Linia opóźniająca	Tak
Szerokość pasma częstotliwości głowicy	Szerokopasmowa
Częstotliwość środkowa głowicy	5/5/10 MHz
Przesunięcie w fazie	Brak
Liczba elementów w sekwencji	8/16/32 elementy
Ośrodek sprzęgający	Woda
Gęstość ośrodka sprzęgającego	1 g/cm <sup>3</sup>
Prędkość fali podłużnej w ośrodku sprzęgającym	1483 m/s

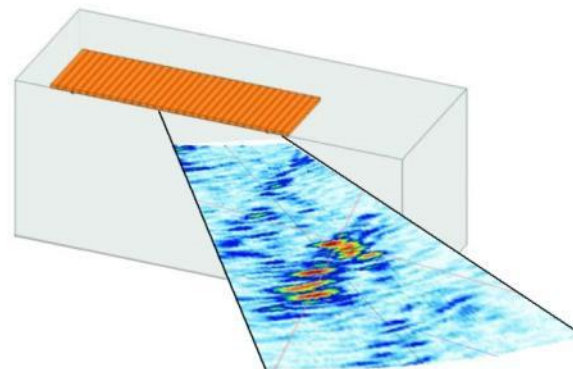


- Celem doboru optymalnej metodyki badawczej przeprowadzono symulacje numeryczne dla różnych ustawień systemu pomiarowego:
  - Tryb sektorowy (Sectorial Scan) - głowica wieloprzetwornikowa wysyła fale ultradźwiękowe w dużym zakresie kątowym),
  - Tryb liniowy (Linear Scan) - fale ultradźwiękowe wysyłane są pod stałym kątem.

Tryb Linear Scan - wprowadzanie fal pod stałym kątem:



Tryb Sectorial Scan - zakres kątowy:

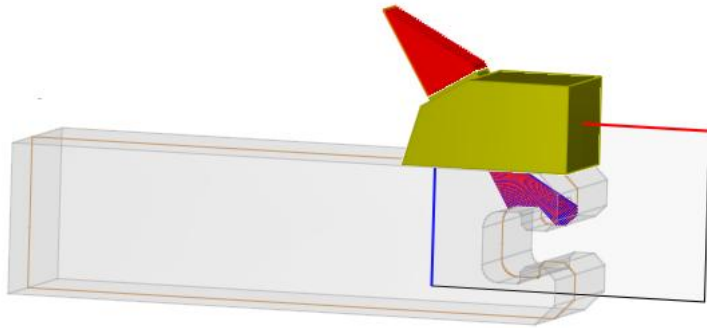




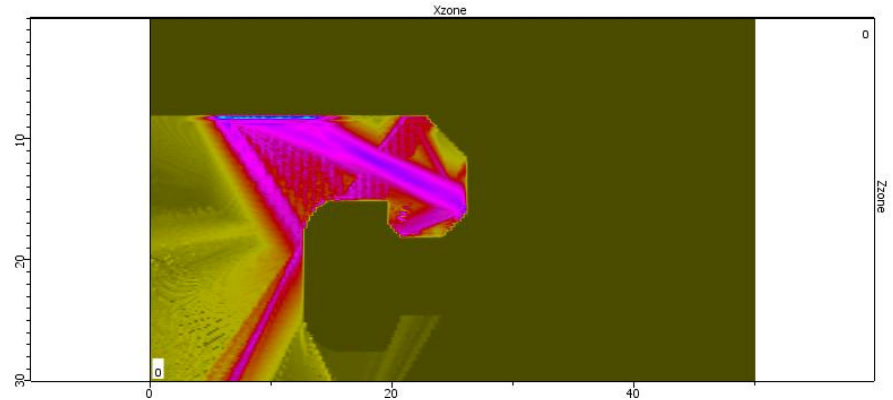
# Analiza rozkładu ciśnienia akustycznego we wrębie młotkowym



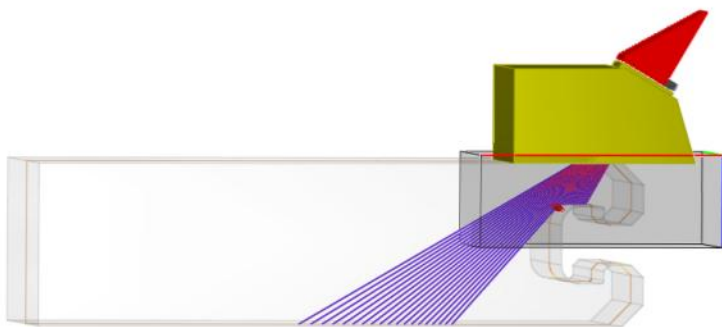
Ustawienie głowicy ultradźwiękowej w obszarze Z (Sectorial Scan)



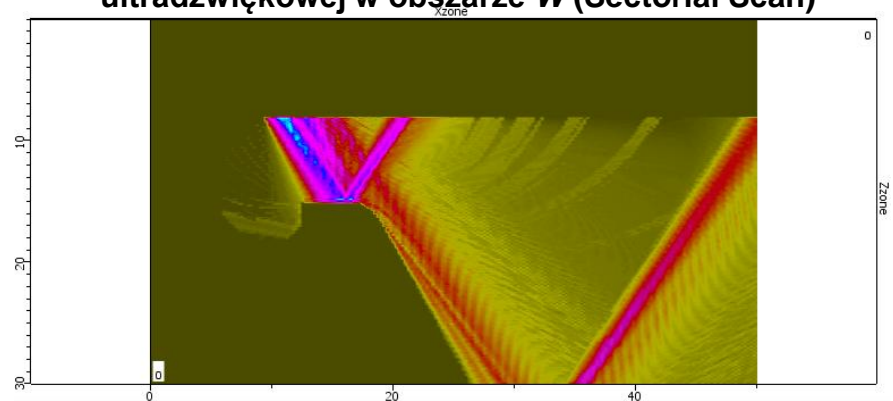
Wyniki symulacji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w obszarze Z (Sectorial Scan)



Ustawienie głowicy ultradźwiękowej w obszarze W (Sectorial Scan)



Wyniki symulacji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w obszarze W (Sectorial Scan)



Zobrazowanie amplitudy fali ultradźwiękowej za pomocą skali kolorów:

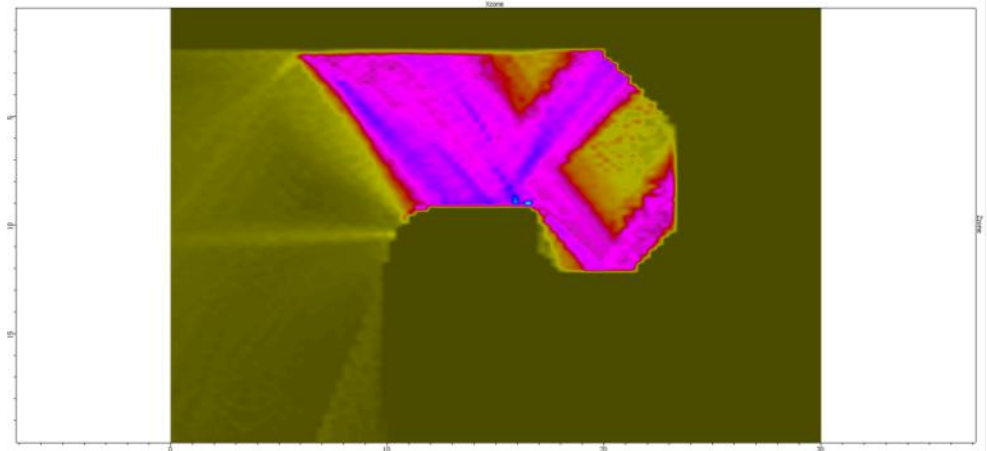
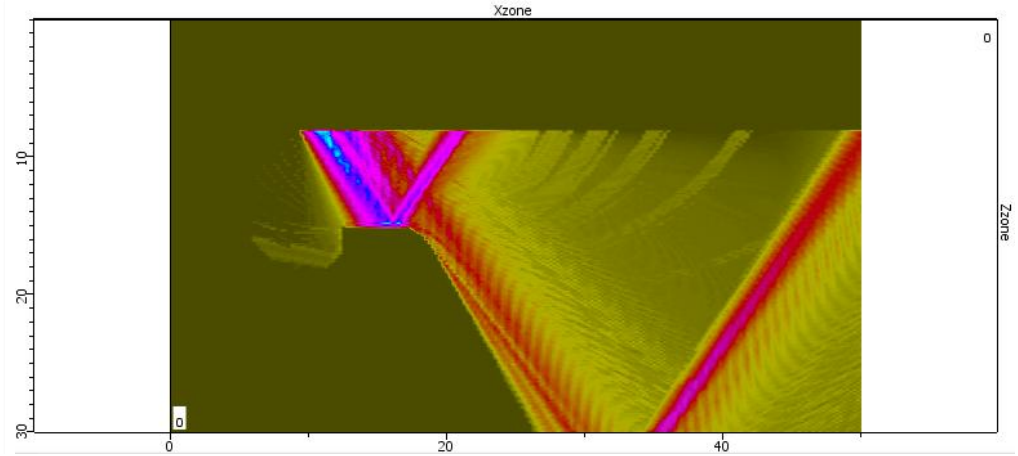
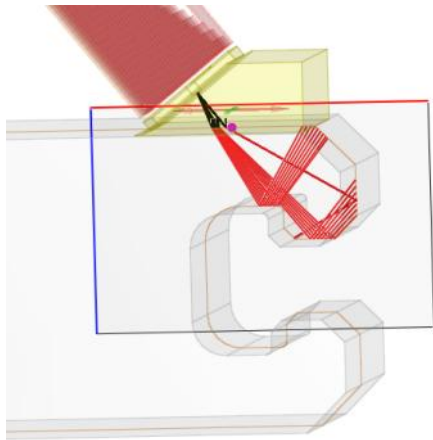
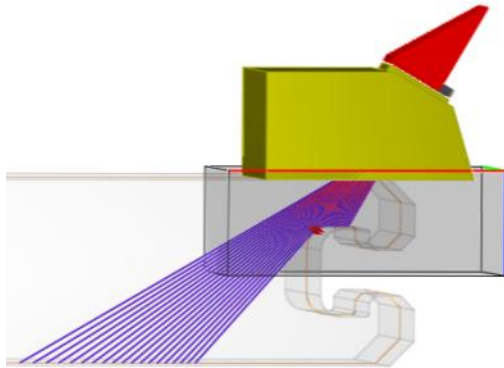
Amplituda fali



# Analiza wiązki ultradźwiękowej: Głowica 10L32, Sectorial Scan 45°, A1



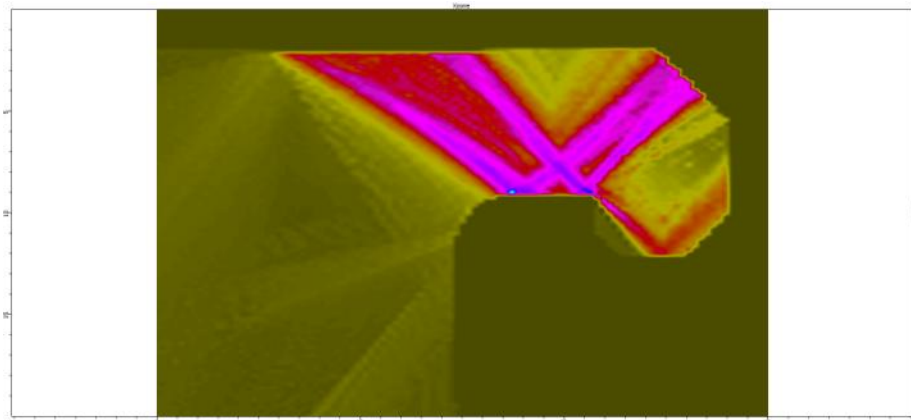
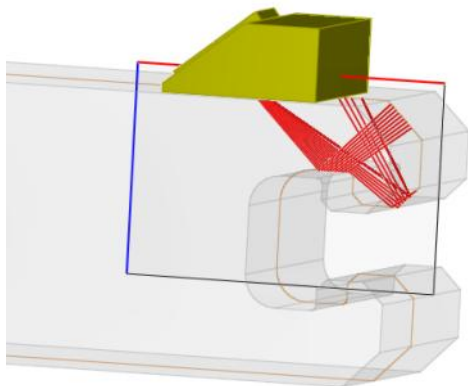
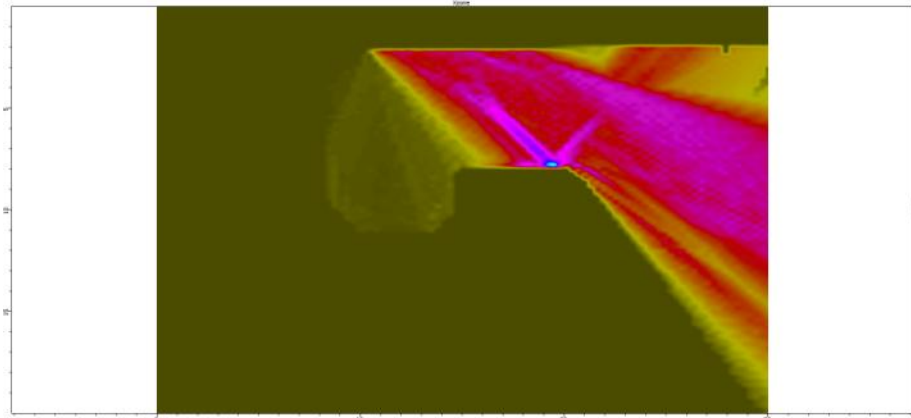
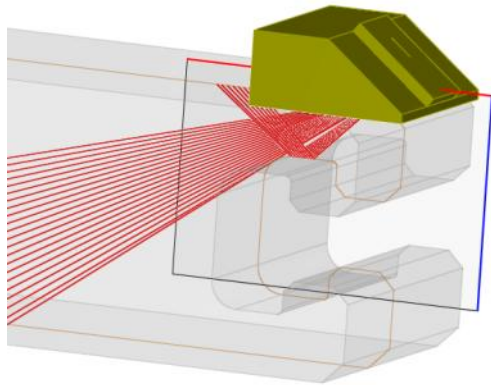
**Wyniki symulacji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 45° (Sectorial Scan):**



# Analiza wiązki ultradźwiękowej: Głowica 10L32, Sectorial Scan 60°, A1



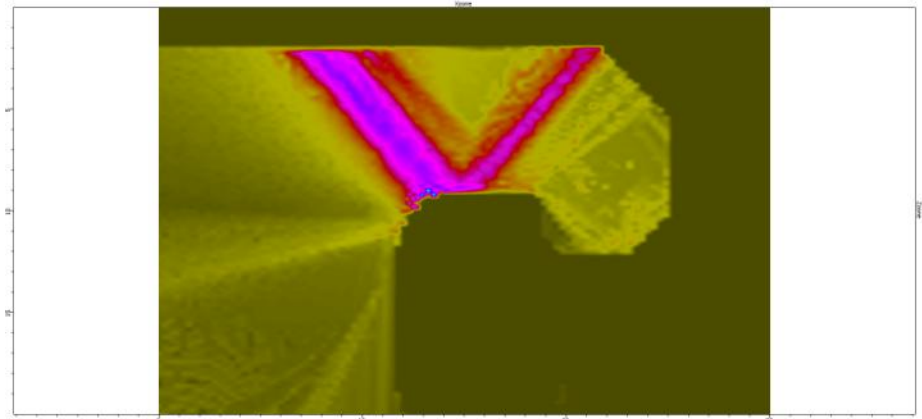
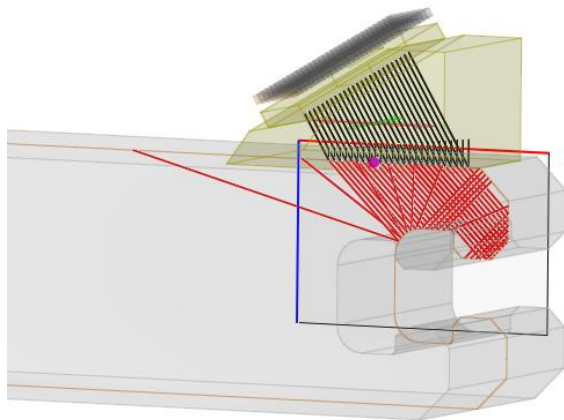
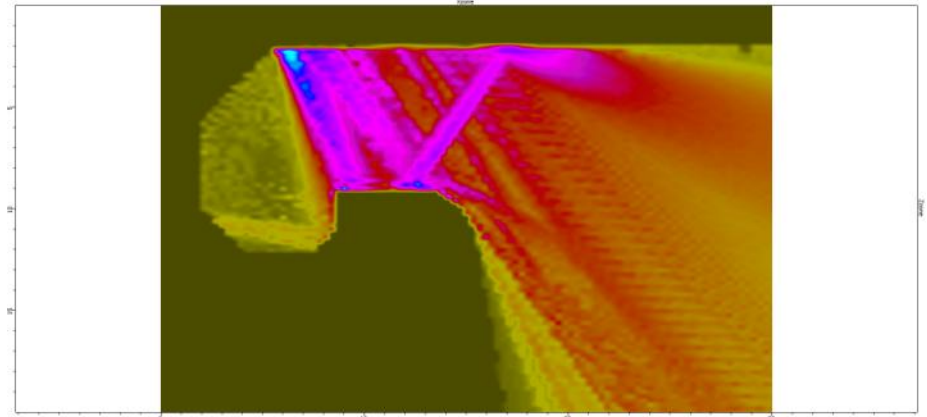
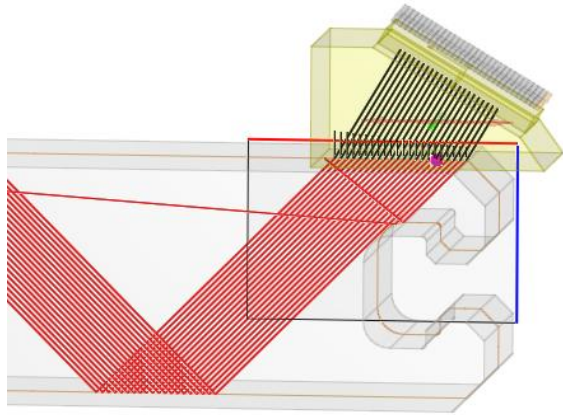
**Wyniki symulacji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 60° (Sectorial Scan):**



# Analiza wiązki ultradźwiękowej: Głowica 10L32, Linear Scan 45°, A1



**Wyniki symulacji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 45° (Linear Scan):**

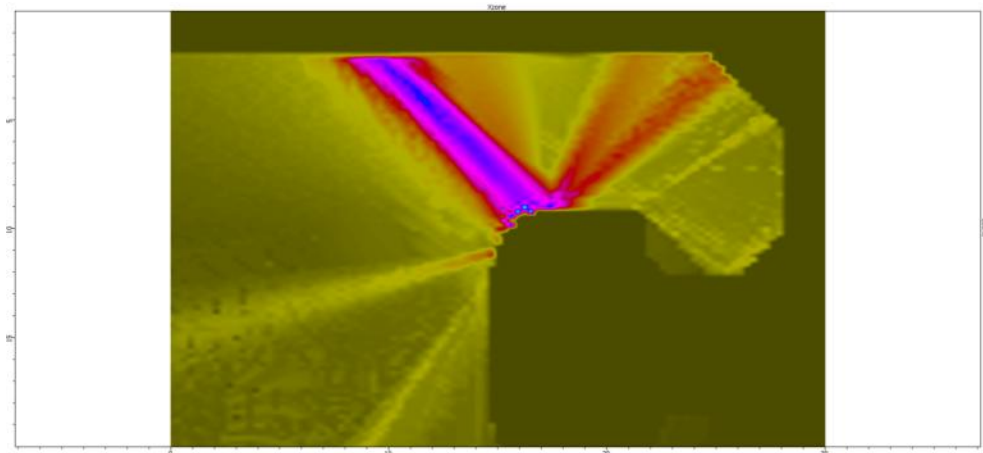
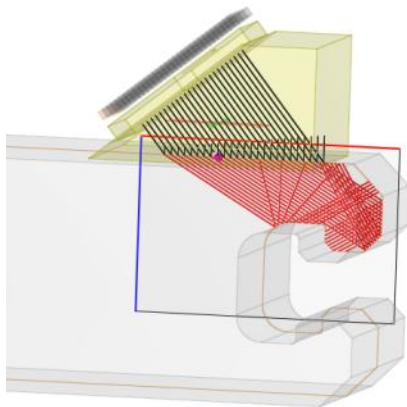
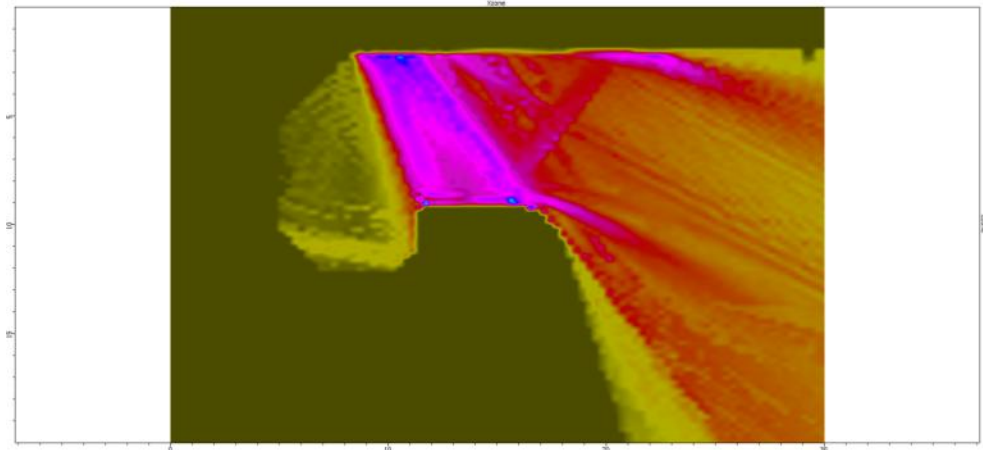
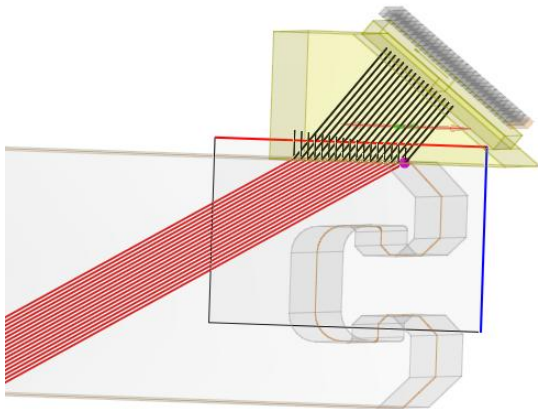




# Analiza wiązki ultradźwiękowej: Głowica 10L32, Linear Scan 60°, A1



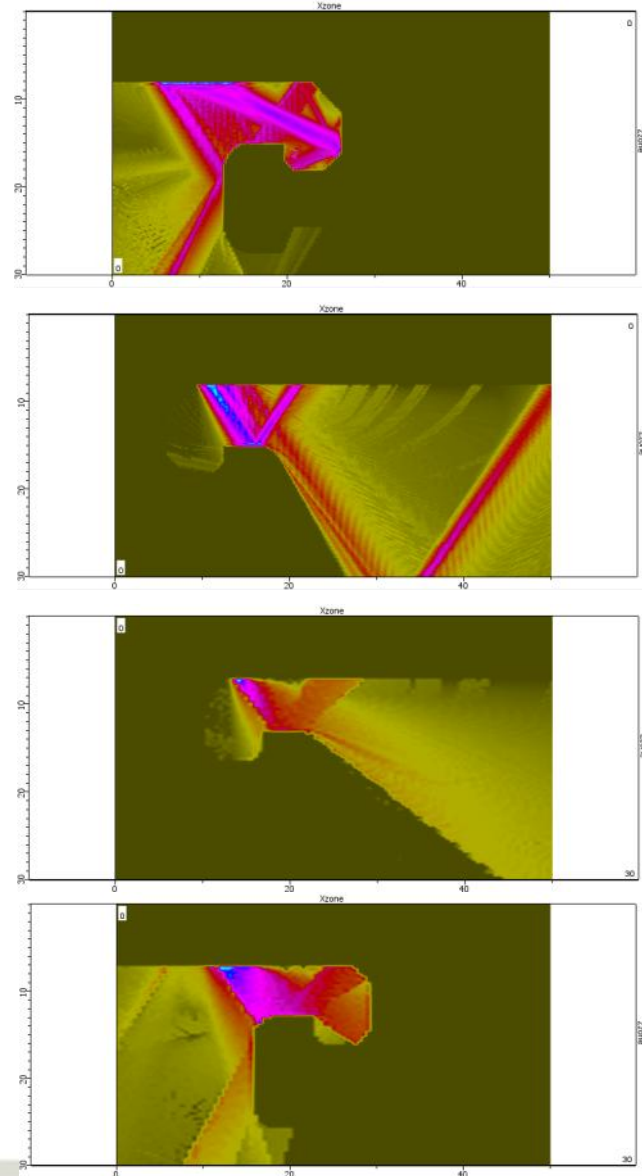
**Wyniki symulacji rozchodzenia się fali ultradźwiękowej we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 45° (Linear Scan):**



# Analiza wiązki ultradźwiękowej



- Analiza widma wiązki ultradźwiękowej pozwala określić rozkład energii wiązki ultradźwiękowej w badanym wrębie łopatkowym.
- Umożliwia ocenę energii wiązki w obszarach, w którym spodziewane są wady i pozwala na zobrazowanie zakresu kąтового wiązki ultradźwiękowej.
- Na podstawie analizy kształtów zsumowanych wiązek ultradźwiękowych uzyskanych dla wrębów młotkowych stwierdzono:
  - Istotną nierównomierność rozkładu ciśnienia akustycznego na poszczególnych kątach związaną z odbiciami fali ultradźwiękowej od geometrii próbki – tzw. echa kształtu.
  - Występowanie podwyższonej energii wiązki ultradźwiękowej w obszarze małych kątów 30-40° (przetworniki nr 1,2,3...) - fala ultradźwiękowa ma wyższą energię na skutek silnego odbicia od powierzchni przeciwległej wrębu łopatkowego.
  - Niższą energię fali na wyższych zakresach kątowych – przeważnie powyżej 55°.
- Analiza wyników symulacji numerycznych umożliwi bardziej skuteczną interpretację wyników uzyskanych podczas badań prowadzonych bezpośrednio na wirniku.

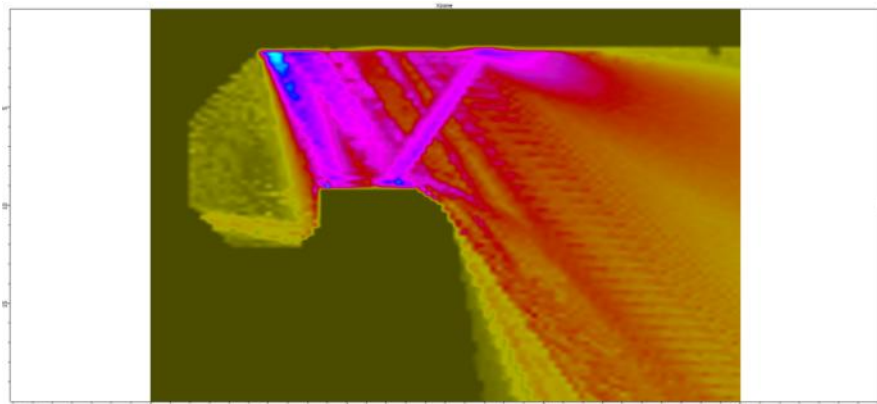




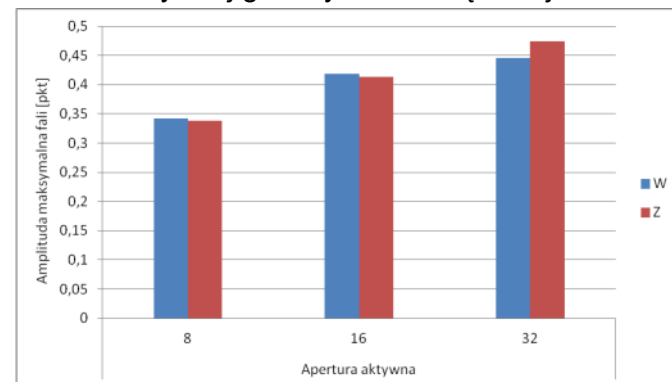
# Ilościowa analiza wiązki ultradźwiękowej



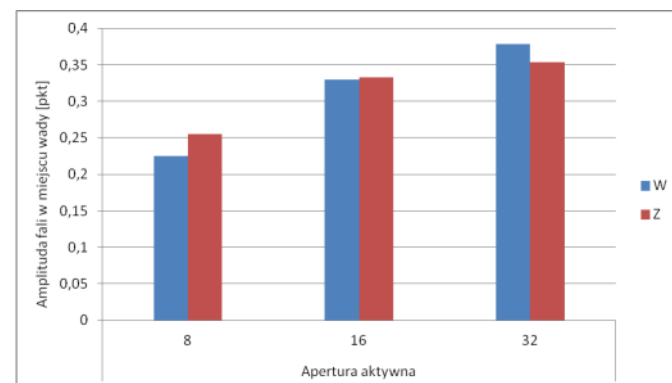
- Na podstawie analizy ilościowej widma fali ultradźwiękowej dla różnych apertur aktywnych stwierdzono:
  - wzrost maksymalnych amplitud wraz ze wzrostem apertury aktywnej głowicy (ilości pobudzanych jednocześnie elementów piezoelektrycznych)
  - Wzrost amplitud mierzonych w obszarach spodziewanych wad wraz ze wzrostem apertury aktywnej głowicy.
- Amplitudy sygnałów w programie CIVA podawane są w punktach, które są jednostkami arbitralnymi i służą do porównywania między sobą amplitud wyliczonych na podstawie symulacji numerycznych.



Porównanie **maksymalnych amplitud** w poszczególnych obszarach wrębu młotkowego w zależności od apertury aktywnej głowicy ultradźwiękowej



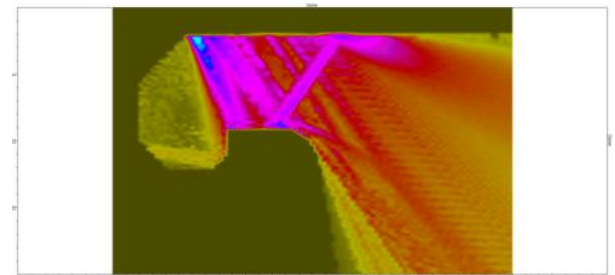
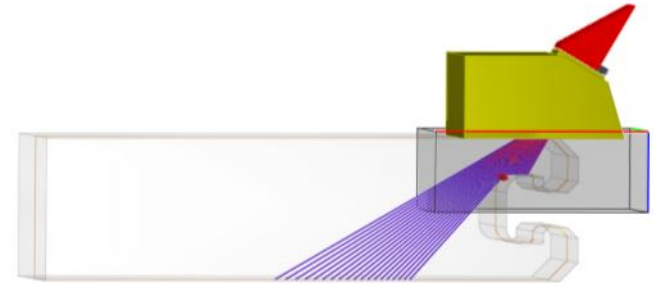
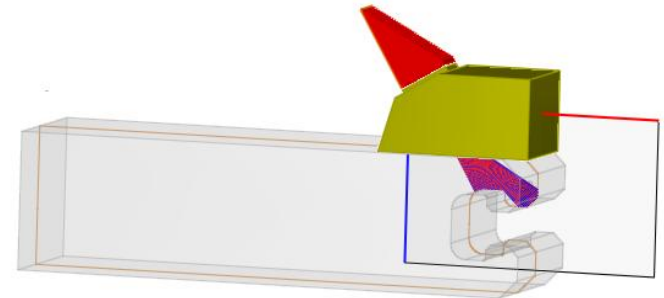
Porównanie amplitud fali ultradźwiękowej w **miejscu wady** w poszczególnych obszarach wrębu młotkowego w zależności od apertury aktywnej głowicy ultradźwiękowej



# Metodyka badania wrębów łopatkowych



- Do badań ultradźwiękowych wytypowano głowicę wieloprzetwornikową 10L32, ze względu na wysoką częstotliwość pomiarową i małą długość fali ultradźwiękowej (większą wykrywalność wad):
  - Dla wirnika turbiny WP TK 120 wykrywalność wad dla głowic 5L32 i 5L64 jest na poziomie 0,6 mm, a dla głowicy 10L32 – na poziomie **0,3 mm**.
  - W przypadku badań wrębów łopatkowych wykrywalności wad i rozdzielczości pomiaru są parametrami kluczowymi.
- Wskazane jest stosowanie trybu sektorowego ze względu na:
  - Możliwość uzyskania dużego zakresu kąтового wiązki ultradźwiękowej (przykładowo 30-60°).
  - Zwiększenie prawdopodobieństwa wykrycia wad, których orientacja względem badanego elementu i powierzchni przesuwu głowicy jest zróżnicowana.
- W trybie sektorowym należy stosować aperturę **32-elementową**, ze względu na najwyższe wartości amplitudy fali ultradźwiękowej i związaną z tym większą wykrywalność wad.

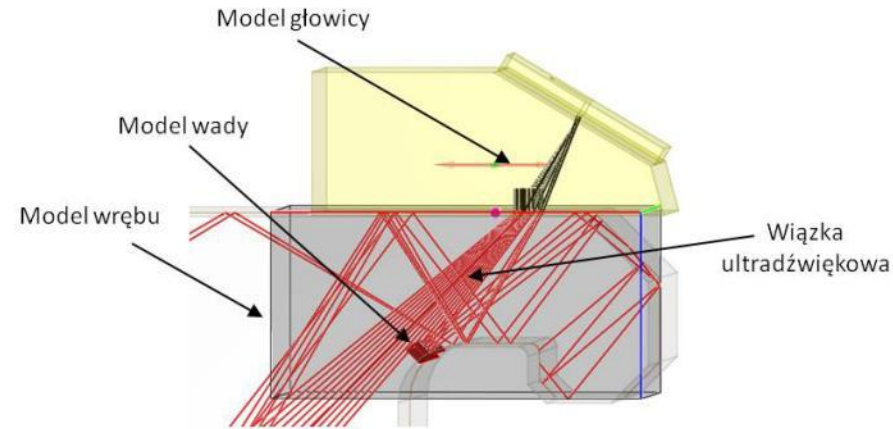


# Modelowanie wad

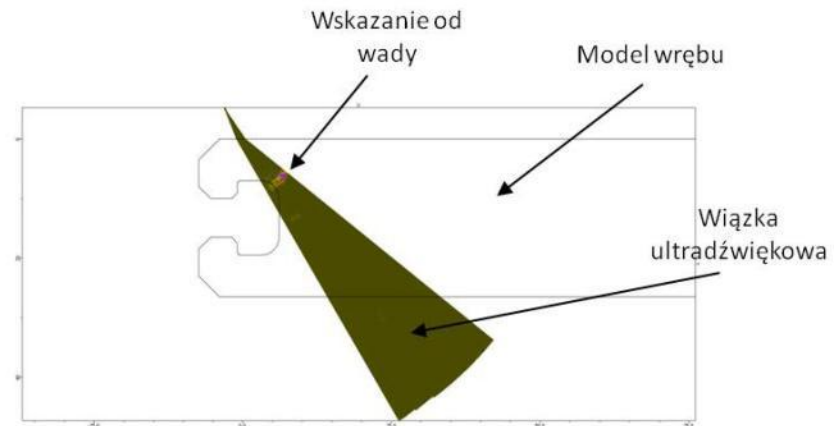


- Kluczowym parametrem w defektoskopii ultradźwiękowej jest **amplituda fali** odbitej od napotkanych nieciągłości.
- Im większa wada, tym większą powierzchnią odbija fale ultradźwiękowe, a co za tym idzie amplituda sygnału od wady jest większa.
- Istotna jest także orientacja wady w stosunku do wiązki ultradźwiękowej.
- Prowadzone symulacje numeryczne mają na celu porównanie amplitudy fali ultradźwiękowej odbitej od modeli wad w zależności od:
  - Geometrii wrębu łopatkowego,
  - Kąta padania wiązki ultradźwiękowej,
  - Trybu skanowania.
- Przedmiotem symulacji jest interakcja fali ultradźwiękowej z wadą – nacięciem zorientowanym w narożu, w miejscu koncentracji naprężeń, po stronie wewnętrznej i zewnętrznej wrębu.
- Amplitudy ech pochodzących od wady wyrażone są w punktach programu CIVA.

Symulacja badań ultradźwiękowych z oznaczeniami:



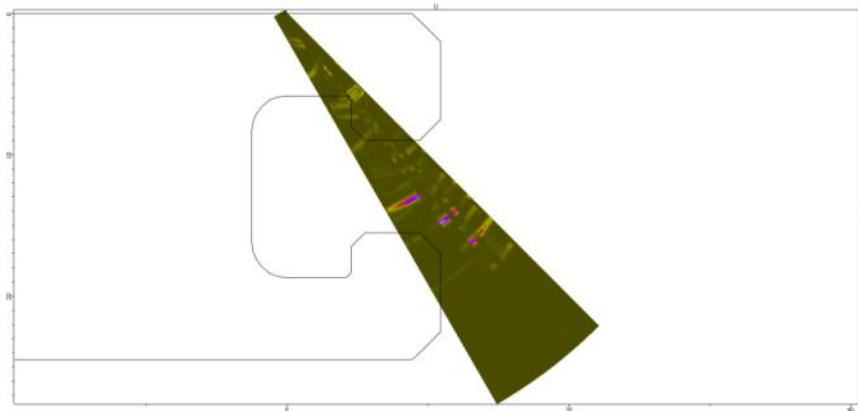
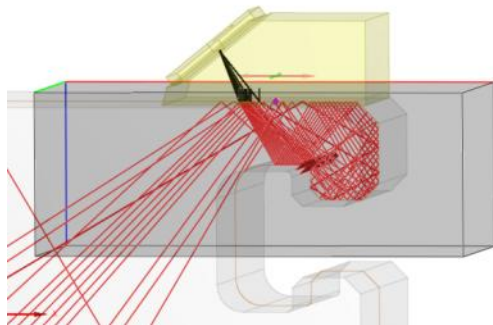
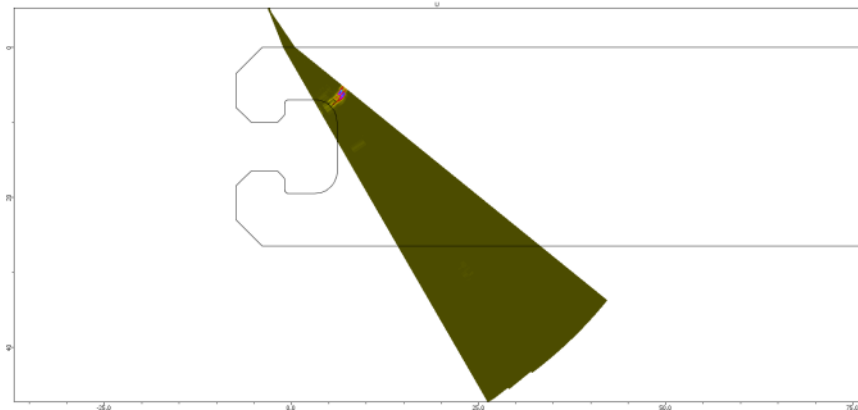
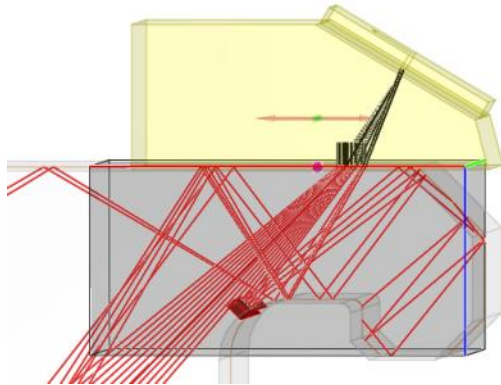
Wyniki modelowania interakcji fali ultradźwiękowej z wadą z oznaczeniami:



# Wyniki symulacji numerycznej: Głowica 10L32, Sectorial Scan 45°, A1



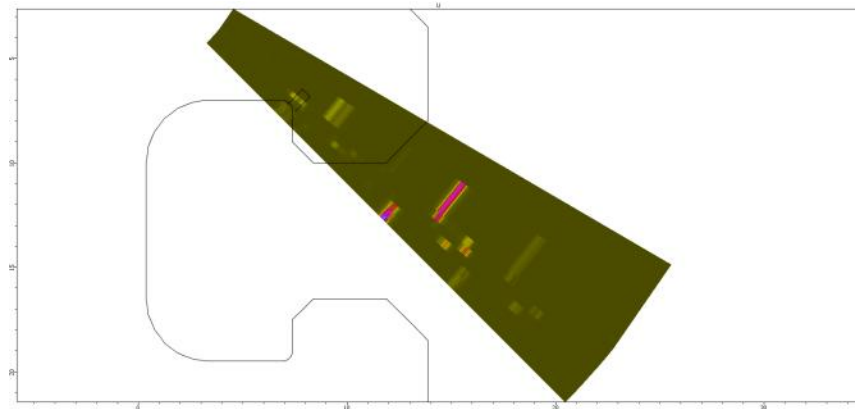
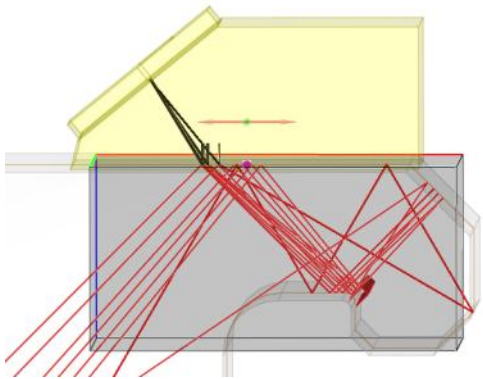
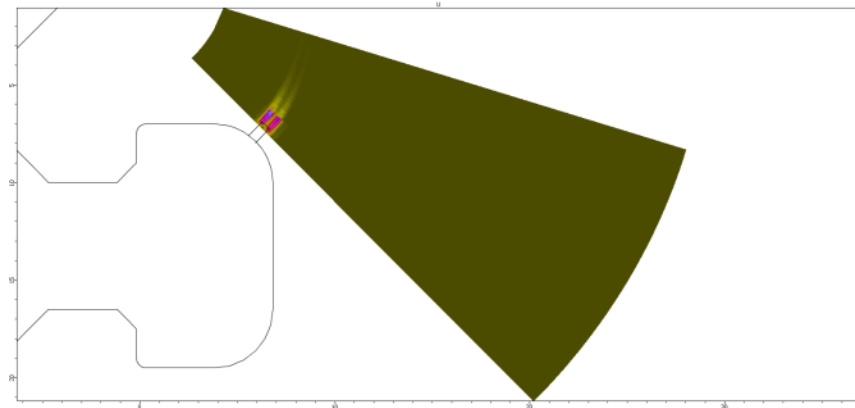
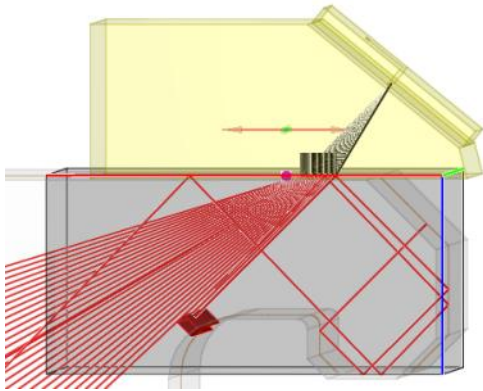
**Wyniki symulacji interakcji fali ultradźwiękowej z wadą h=1mm we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 45° (Sectorial Scan):**



# Wyniki symulacji numerycznej: Głowica 10L32, Sectorial Scan 45°, A1



**Wyniki symulacji interakcji fali ultradźwiękowej z wadą h=1mm we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 60° (Sectorial Scan):**

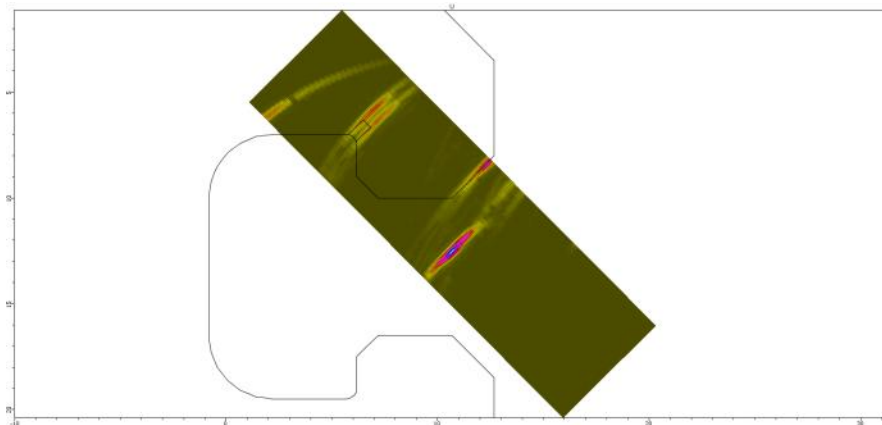
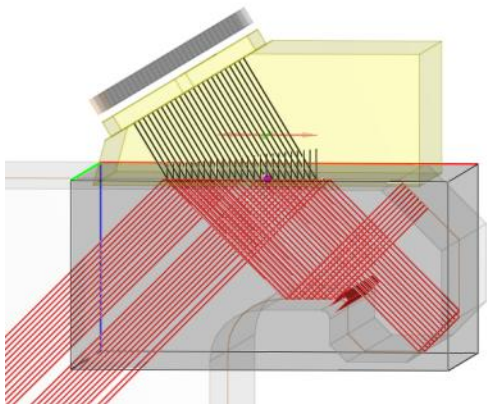
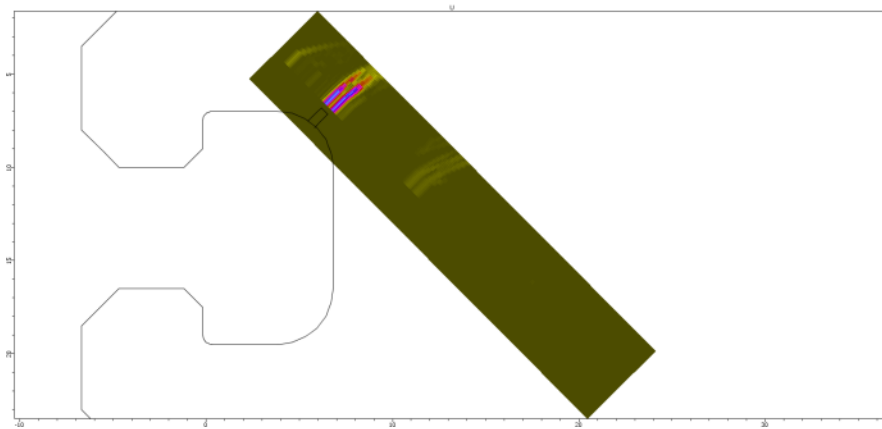
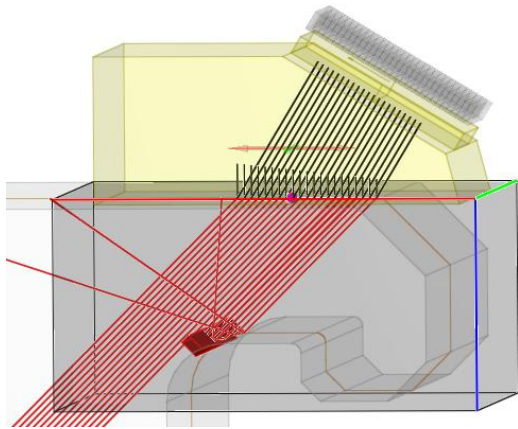




# Wyniki symulacji numerycznej: Głowica 10L32, Sectorial Scan 45°, A1



**Wyniki symulacji interakcji fali ultradźwiękowej z wadą h=1mm we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 45° (Linear Scan):**

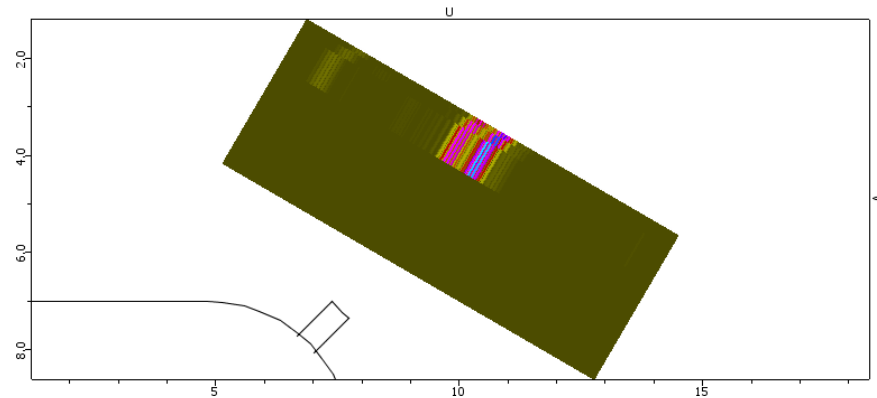
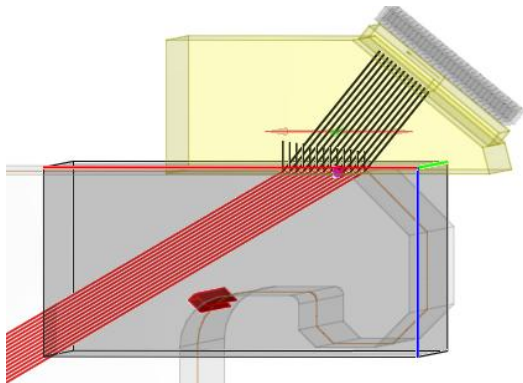
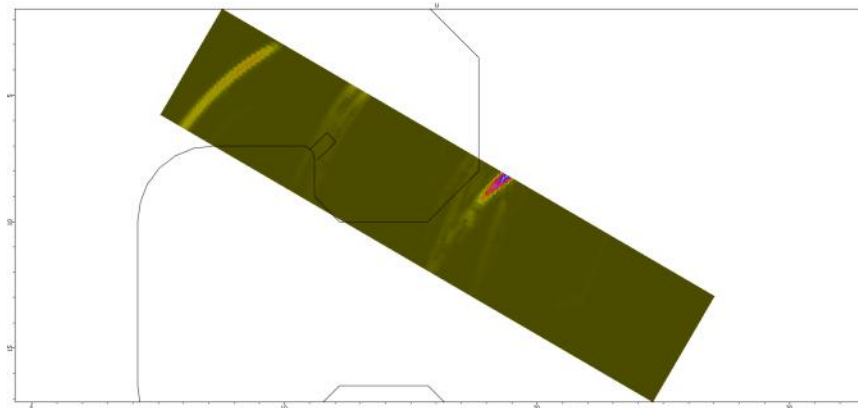
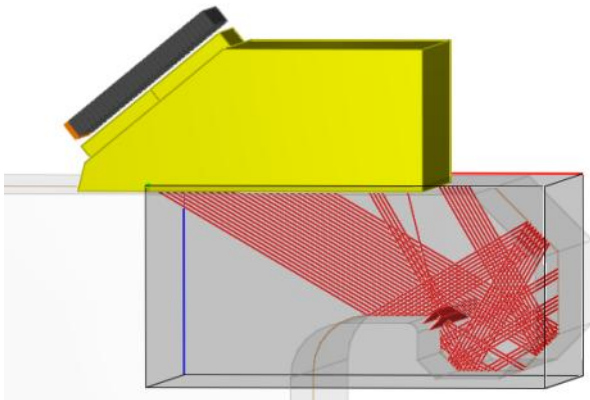




# Wyniki symulacji numerycznej: Głowica 10L32, Sectorial Scan 45°, A1



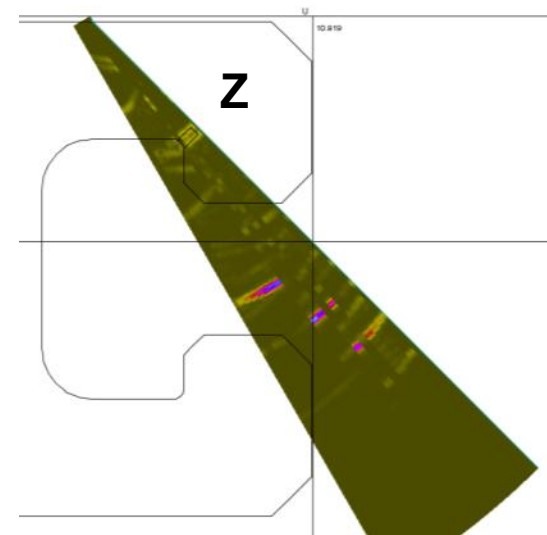
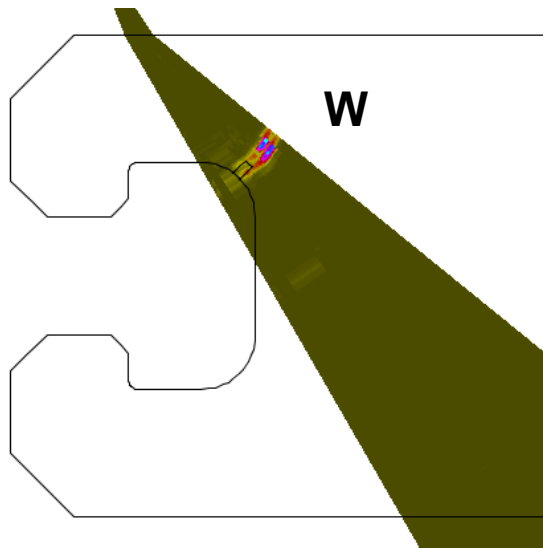
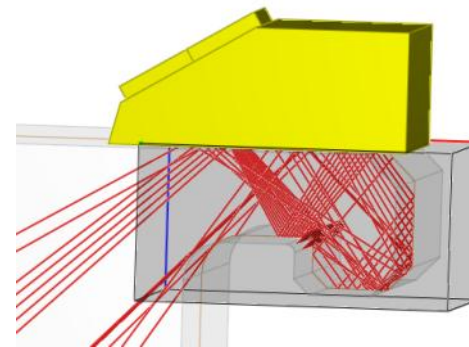
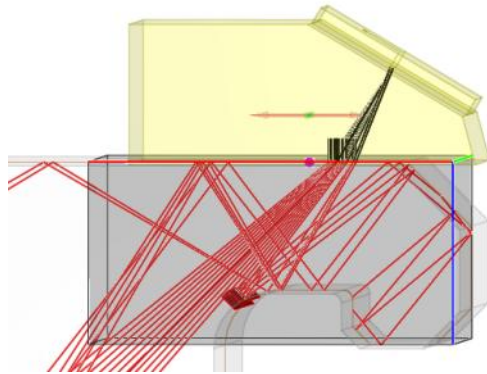
**Wyniki symulacji interakcji fali ultradźwiękowej z wadą  $h=1\text{mm}$  we wrębie typu A1 dla głowicy 10L32 z przekładką 60° (Linear Scan):**



# Analiza wyników symulacji numerycznej

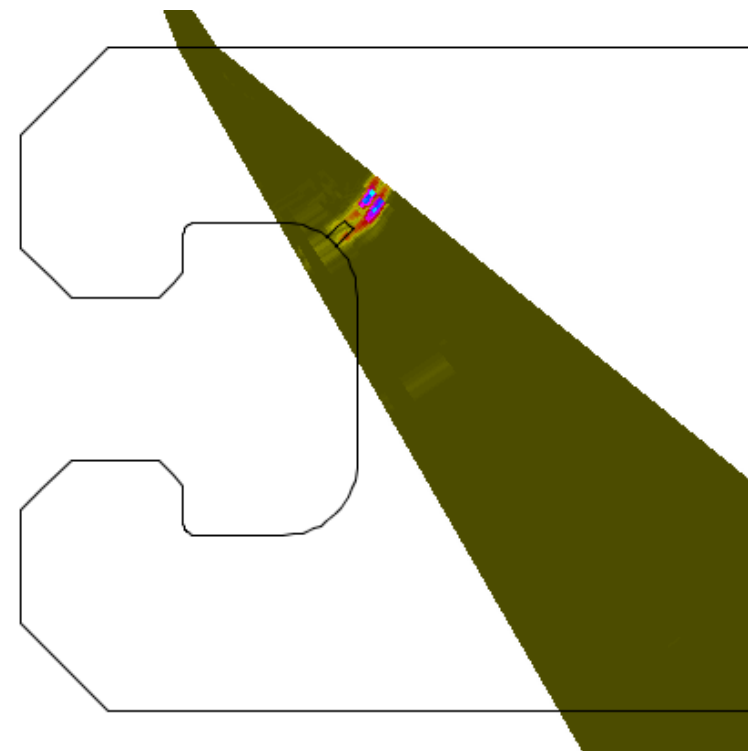
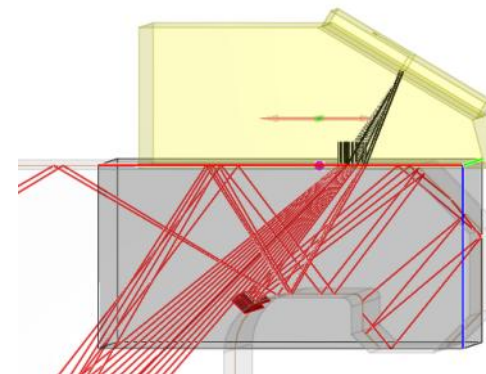


- W przypadku symulacji badań strony wewnętrznej **W**, uzyskane zobrazowanie jest bardzo czytelne, ponieważ występuje tylko jedno, wyraźne wskazanie od wady i o wiele słabsze wskazanie pochodzące od geometrii wrębu – powierzchni równoległej do powierzchni przesuwu głowicy.
- W przypadku strony zewnętrznej **Z**, pojawiają się dodatkowe wskazania od innych płaszczyzn geometrycznych, co znacznie zmniejsza jednoznaczność zobrazowania.





- Otrzymane wyniki pozwoliły na dokładne zobrazowanie i rozróżnienie wskazań pochodzących od:
  1. Wad materiałowych
  2. Kształtu wrębu - na skutek odbić od jego ścianek.
- Rezultaty przeprowadzonych symulacji:
  - Są istotne pod względem skutecznej interpretacji wyników uzyskanych podczas badań ultradźwiękowych wirnika.
  - Umożliwiają odróżnienie ech kształtu od ech nieciągłości.
  - Stanowią wzorcowe zobrazowania, do których można się odnieść podczas prowadzenia badań ultradźwiękowych wirnika .

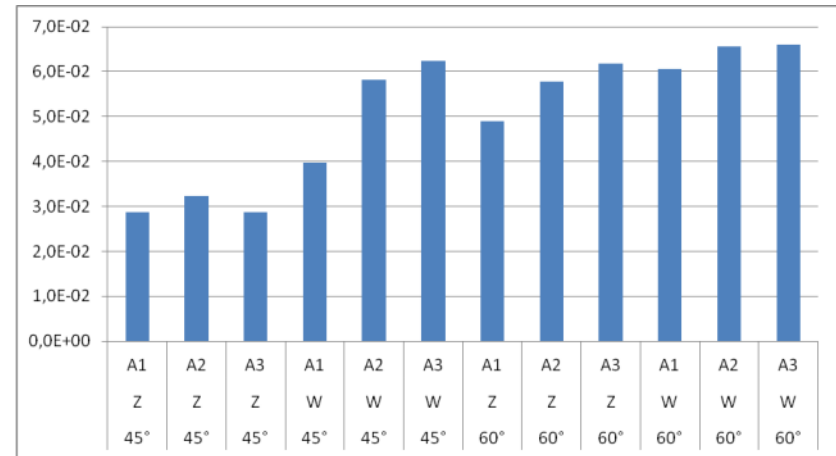


# Analiza ilościowa wyników symulacji numerycznej

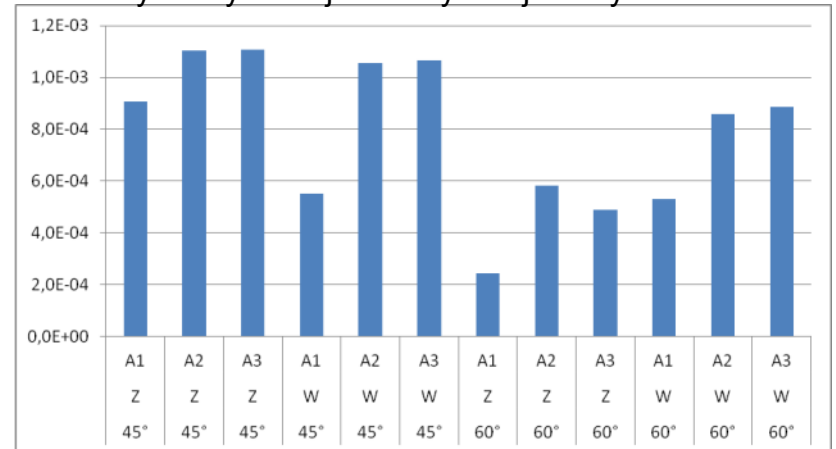


- Na podstawie symulacji numerycznej przeprowadzono ilościową analizę amplitud fali ultradźwiękowej odbitej od modelu wady.
- Wyniki przedstawiają wartości amplitudy fali ultradźwiękowej zmierzone w miejscu występowania modelu wady dla różnych wariantów symulacji:
  1. Sectorial Scan - kąt 45° i 60°, wręby typu A1, A2 i A3.
  2. Linear Scan - kąt 45° i 60°, wręby typu A1, A2 i A3.
- Na podstawie analizy wyników modelowania stwierdzono, że:
  - Najwyższa amplituda fali ultradźwiękowej uzyskiwana jest dla trybu **Sectorial Scan**.
  - W większości przypadków najwyższą amplitudę uzyskiwano dla wrębu A3, a następnie kolejno A2 i A1, jednak różnice w tych wartościach są stosunkowo niewielkie.
  - Różnice pomiędzy wrębami mają związek z ich geometrią i wymiarami oraz różnicami w rozchodzeniu się fali ultradźwiękowej.
  - W każdym z zasymulowanych przypadków dla głowicy 10L32 wskazanie od wady jest wyraźne.
  - Amplituda wskazania jest dostatecznie wysoka, aby wskazanie mogło zostać wykryte.
  - Zastosowana metodyka badawcza jest w tym przypadku odpowiednio dobrana i w pełni uzasadniona.

Ilościowe wyniki symulacji numerycznej dla trybu Sectorial Scan



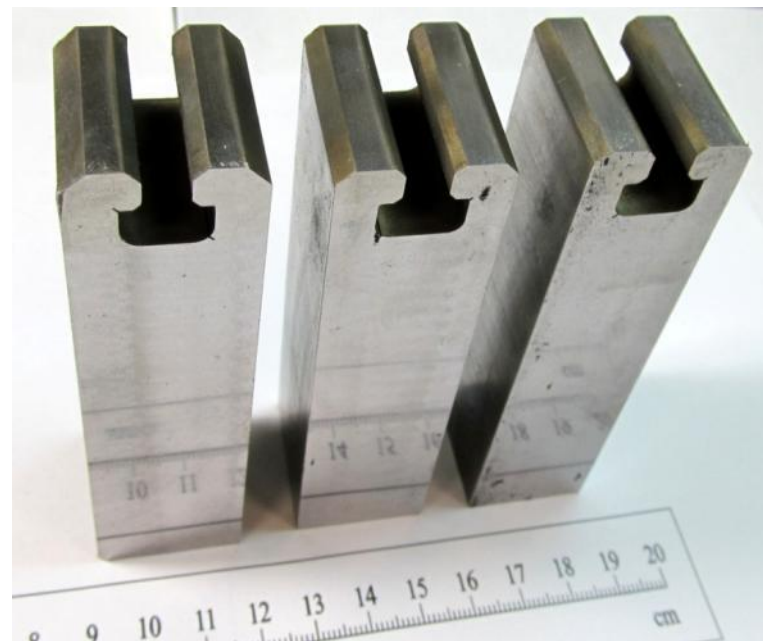
Ilościowe wyniki symulacji numerycznej dla trybu Linear Scan



# Próbki odniesienia



- Na podstawie dokumentacji technicznej przygotowano próbki odniesienia dla wrębów stopni A1-A11 z naciętymi wadami równoważnymi.
- Ponieważ wymiary wrębów stopni A3-A11 są jednakowe, wykonano dla nich jedną, wspólną próbkę odniesienia.
- Na wadach równoważnych próbek odniesienia dokonano kalibracji oraz weryfikacji ustawień systemu Phased Array dla wrębów wszystkich stopni wirnika turbiny parowej pod kątem badań ultradźwiękowych



Próbki odniesienia dla stopnia A1:  
Od lewej: bez wad, nacięcie 1mm, nacięcie 2mm







W ramach diagnostyki wirnika WP TK 120 przeprowadzono następujące badania nieniszczące:

- Badania wirnika metodą pamięci magnetycznej;
- Badania wizualne wirnika;
- Badania magnetyczno-proszkowe;
- Badania penetracyjne;
- Badania wizualne, wiroprądowe oraz ultradźwiękowe otworu centralnego;
- Badania ultradźwiękowe wrębów techniką Phased Array;
- Badania mikrostruktury techniką replik;
- Pomiary twardości;
- Badania składu chemicznego;
- Badania metodą przenośnej mikroskopii świetlnej.

***W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono występowania wskazań nieakceptowalnych.***

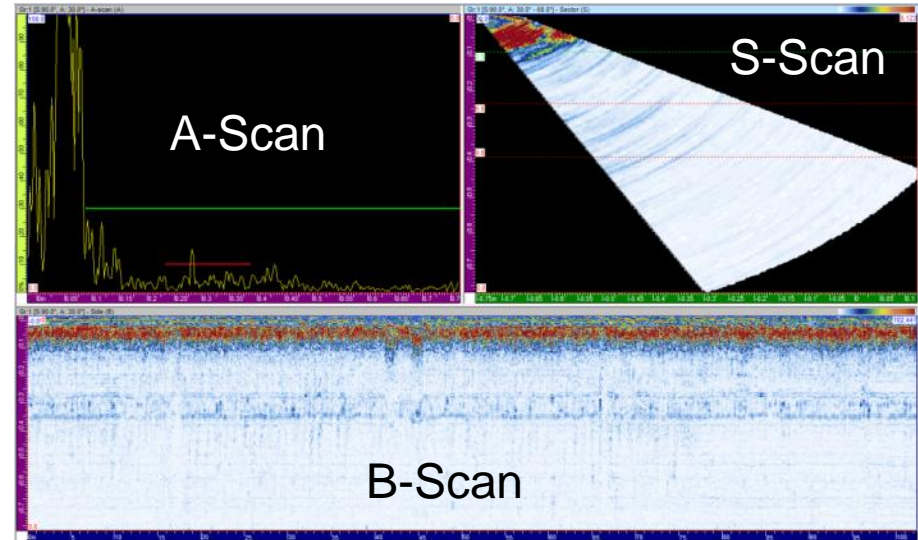


# Badania ultradźwiękowe wrębów techniką Phased Array



- Badania ultradźwiękowe wrębów przeprowadzono za pomocą defektoskopu ultradźwiękowego Omniscan MX firmy Olympus z systemem Phased Array.
- Defektoskop wyskalowano na próbkach odniesienia o kształtach i wymiarach odpowiadających rzeczywistym wrębom wirnika WP TK 120.
- W próbkach nacięto wady równoważne o głębokości 1 mm w obszarach o największej koncentracji naprężeń.
- Badania przeprowadzono zgodnie z ustawieniami opracowanymi w części dotyczącej symulacji numerycznych.
- W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono występowania wskazań nieakceptowanych.

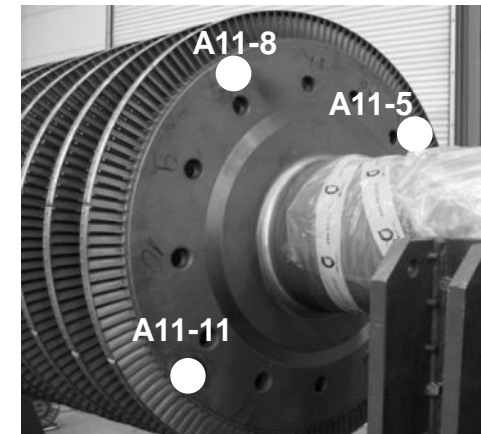
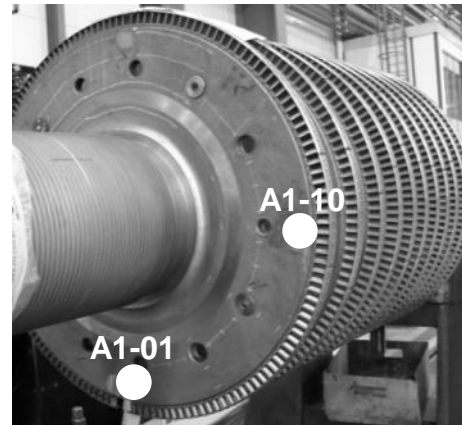
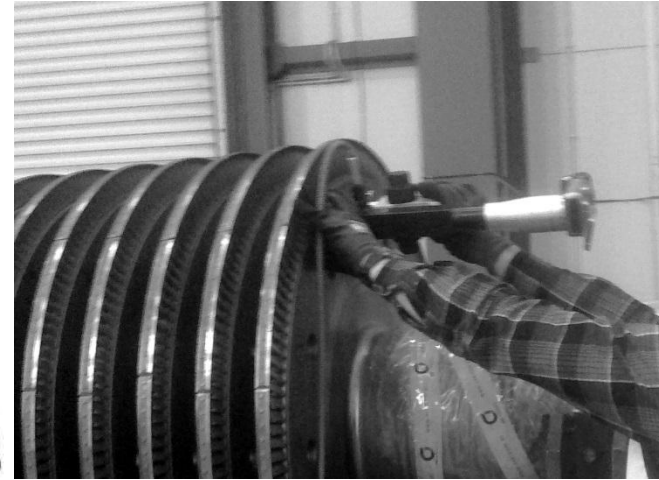
Przykładowe wyniki ultradźwiękowych badań techniką Phased Array wewnętrznej części wrębu A1



# Badania mikrostruktury techniką przenośnej mikroskopii świetlnej



- Badania metalograficzne prowadzono za pomocą świetlnego mikroskopu przenośnego NIKON z zestawem do metalografii przenośnej.
- Badania przeprowadzono na powierzchni tarcz wirnika uprzednio przygotowanej według standardowych procedur metalograficznych obejmujących: szlifowanie, polerowanie, trawienie odczynnikami Nital 4%
- Mikrostruktura materiału wirnika była obserwowana przy powiększeniach 100x ÷ 500x.
- Obszary pomiarowe wyznaczono na zewnętrznych tarczach wirnika, ponieważ była tam możliwość montażu przenośnego mikroskopu metalograficznego.
- Celem badań było uzyskanie jakościowej i ilościowej charakterystyki mikrostruktury materiału oraz ocena stopnia zaawansowania zjawisk degradacji.



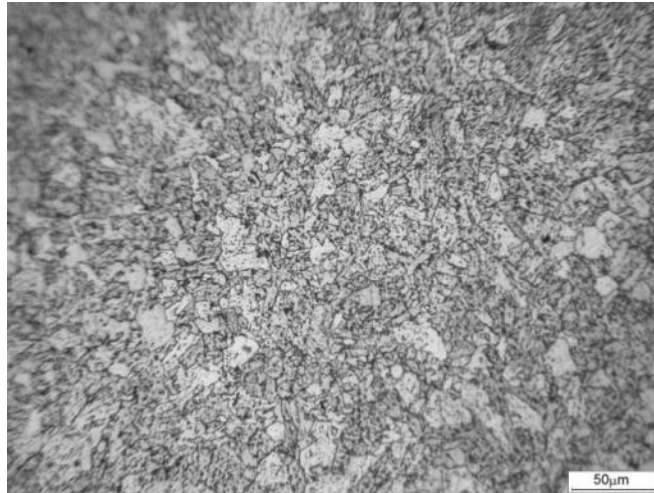


# Badania mikrostruktury techniką przenośnej mikroskopii świetlnej



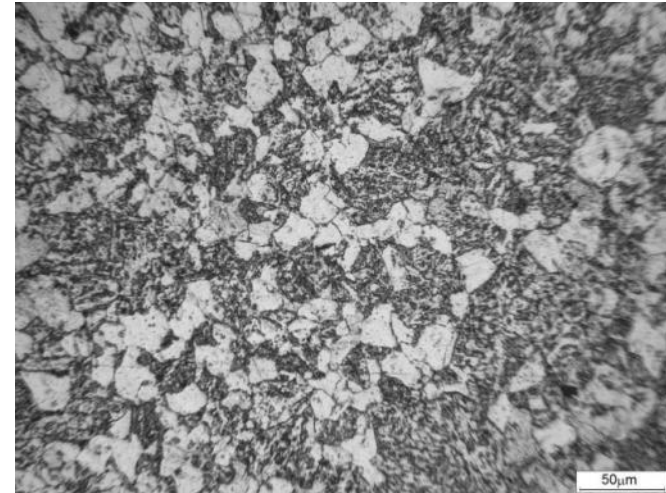
## Mikrostruktura materiału wirnika turbiny:

Strona wlotu

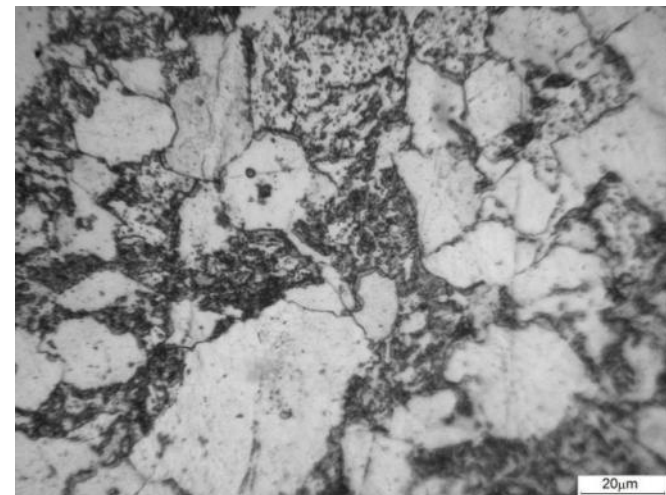
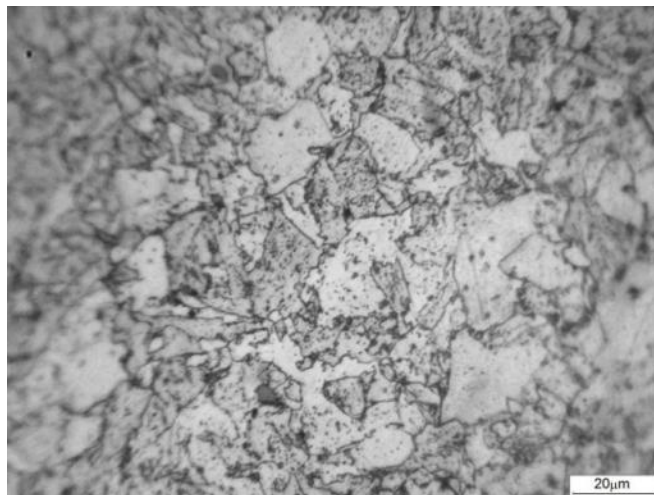


200x

Strona wylotu

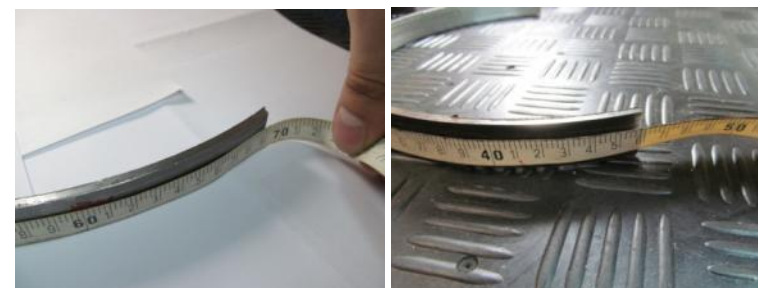
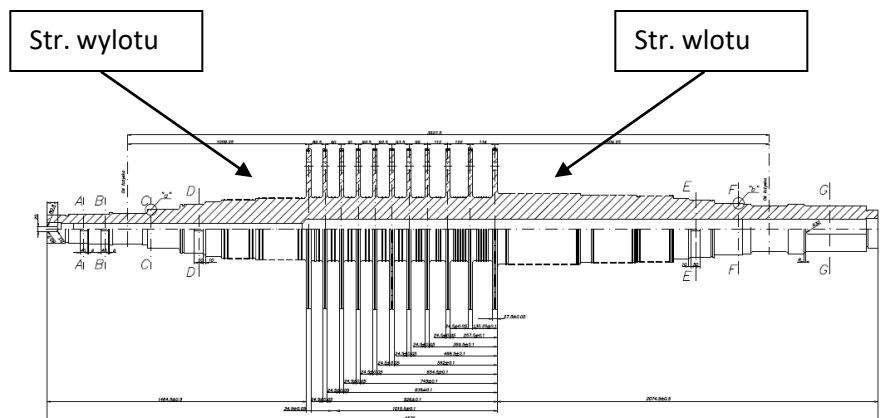


500x



# Zakres i wyniki badań niszczących pierścieni

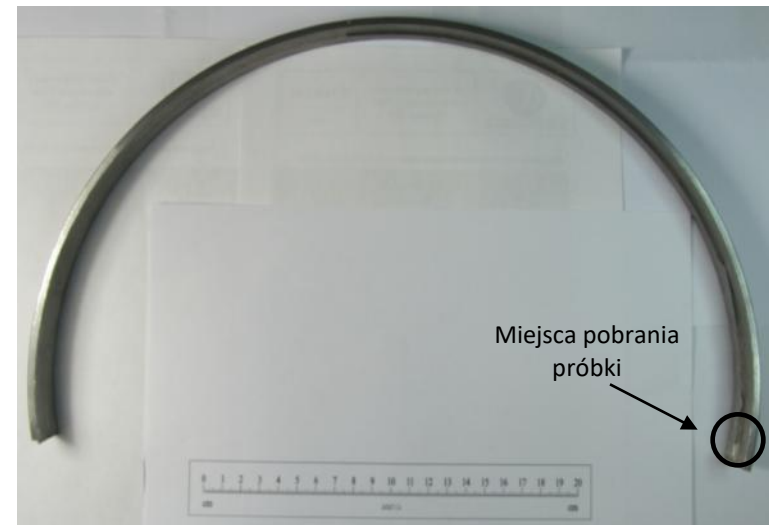
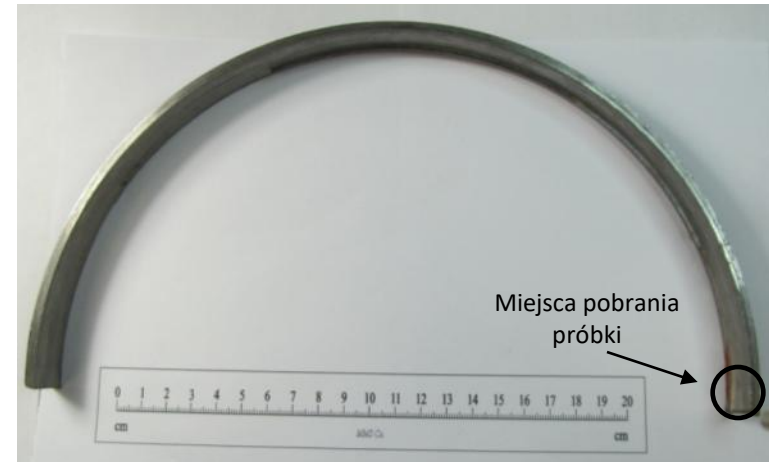
- W ramach diagnostyki wirnika WP TK 120 przeprowadzono badania niszczące próbek w kształcie pierścieni wyciętych ze **strefy wlotu** i **strefy wylotu** wirnika:
  - Badania mikrostruktury metodą mikroskopii świetlnej
  - Badania mikrostruktury metodą skaningowej mikroskopii elektronicznej (SEM)
  - Pomiary twardości
  - Badania wytrzymałościowe



# Badania pierścieni – mikroskopia świetlna



- Badania metalograficzne prowadzono za pomocą świetlnego mikroskopu metalograficznego NIKON Epiphot 200.
- Obserwacje prowadzono na przekroju poprzecznym wycinka,
- Powierzchnię przygotowano według standardowych procedur metalograficznych obejmujących:
  - Szlifowanie,
  - Polerowanie,
  - Trawienie odczynnikiem Nital 4%

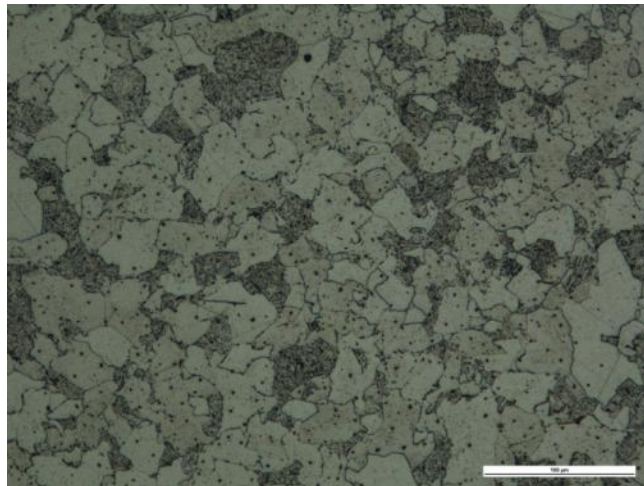






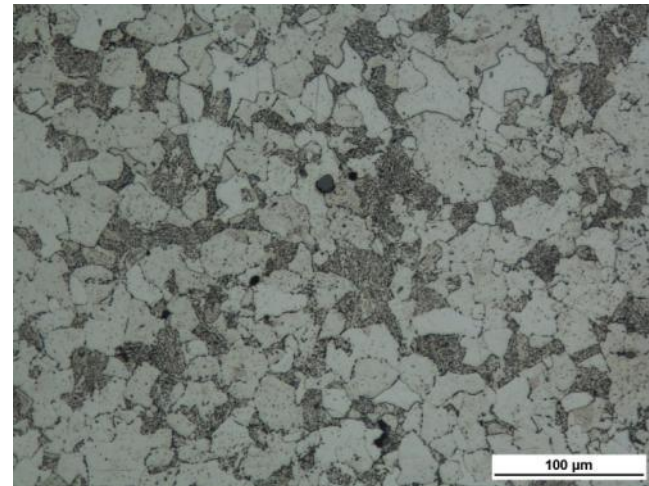
## Mikrostruktura materiału wirnika turbiny:

Strona wlotu

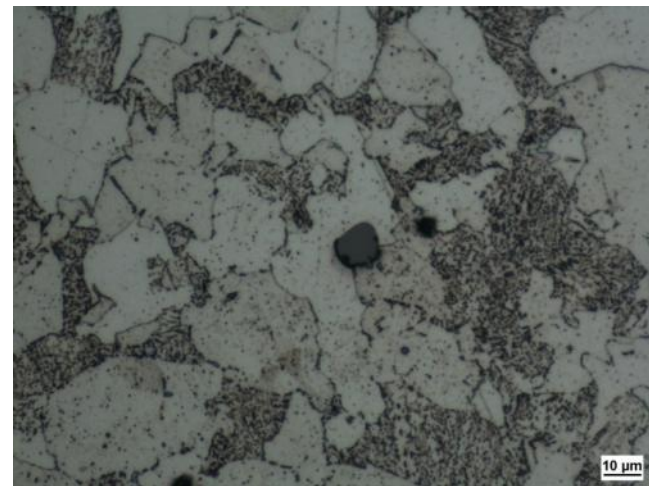
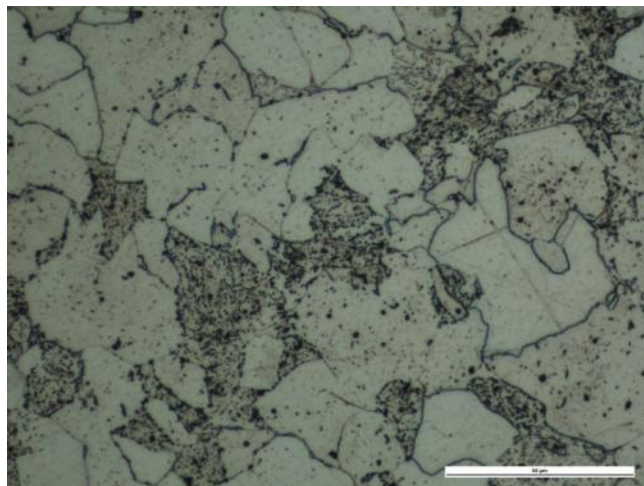


200x

Strona wylotu



500x



- Mikrostruktura bainityczno-ferrytyczna
- Drobne wydzielenia na granicach oraz wewnątrz ziaren ferrytu.



## Ocena mikrostruktury:

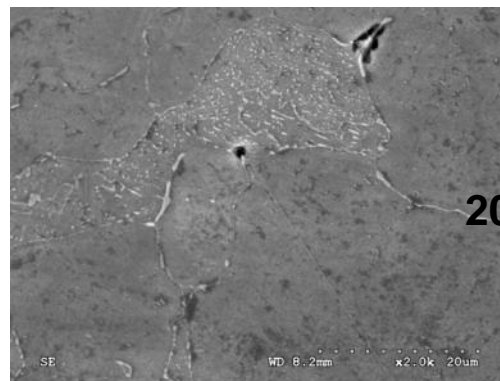
- Struktura bainityczno-ferrytyczna z nieznacznie skoagulowanymi obszarami bainitycznymi,
- Nieliczne, drobne wydzielenia wewnątrz i na granicach ziaren ferrytu,
- Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia,
- Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.

**Klasa struktury** w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania i względnym odkształceniem:

- Obszary bainityczne: **Klasa 0/1**
- Wydzielenia: **Klasa a**
- Procesy uszkodzenia: **Klasa 0**
- Stan materiału: **Klasa 1**
- Stopień wyczerpania: **~0,2-0,3 (niski)**

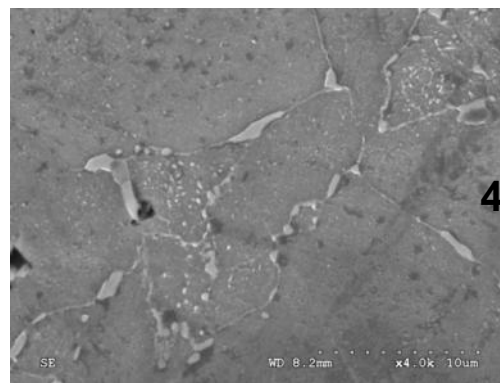
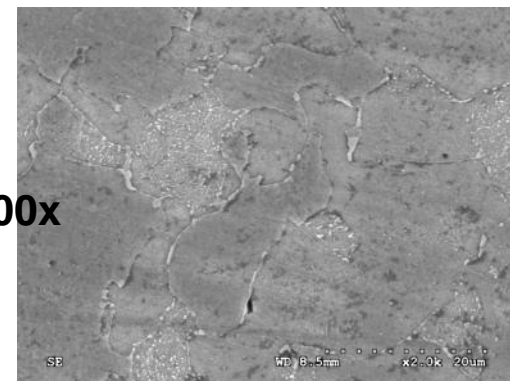
## Mikrostruktura materiału wirnika turbiny:

Strona wlotu

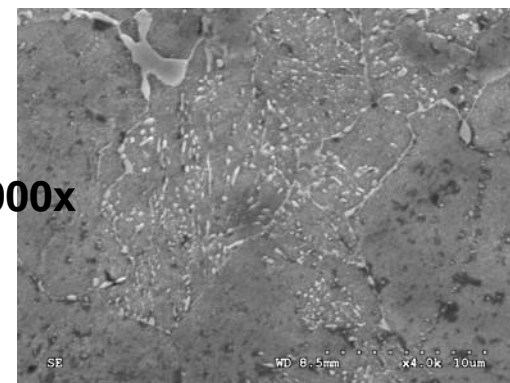


2000x

Strona wylotu



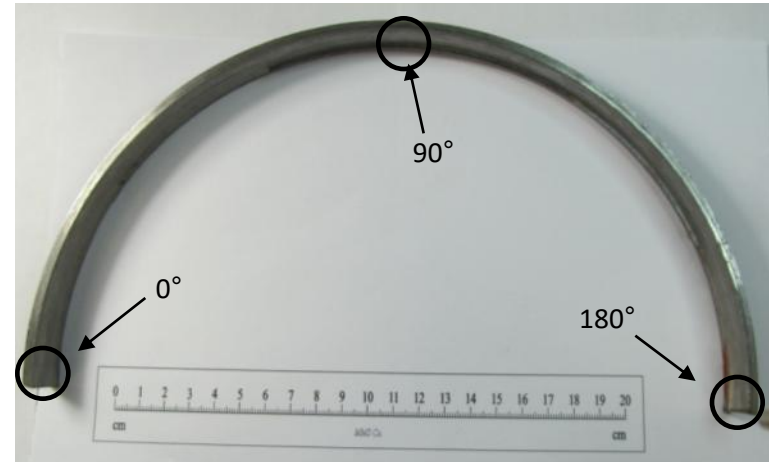
4000x



# Pomiary twardości

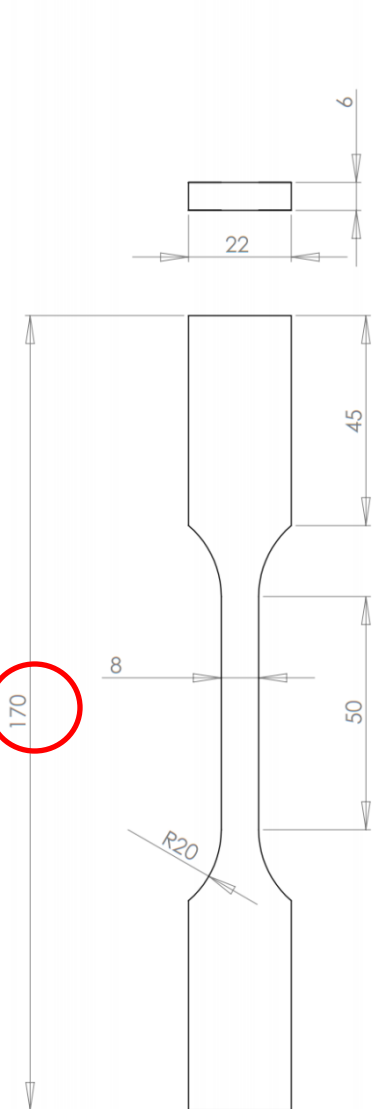


- Pomiary twardości wykonano za pomocą:
  - Przenośnego twardościomierza MIC 10 firmy Krautkramer z wgłębniakiem MIC 205L (UCI),
  - Stacjonarnego twardościomierza Zwick ZHU 2.5 (HV5)
- Pomiary prowadzono na przekroju poprzecznym, na powierzchni szlifowanej papierem ściernym o gradacji #320.
- Zmierzone twardości pierścieni w wybranych punktach pomiarowych mieszczą się w zakresie:
  - „**Str. wlotu**”  $196 \div 224HV$  ( $187 \div 195HV5$ )
  - „**Str. wylotu**”  $212 \div 226HV$  ( $207 \div 236HV5$ )
- Wartości zbliżone są do wartości zmierzonych bezpośrednio na wirniku WP TK 120.
- Może to świadczyć o znikomym wpływie przeprowadzonej obróbki mechanicznej (skrawanie) na właściwości wytrzymałościowe materiału.

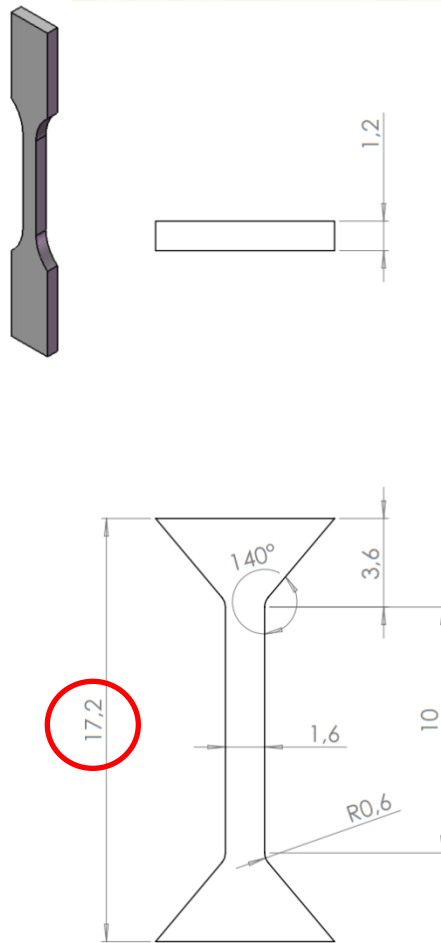




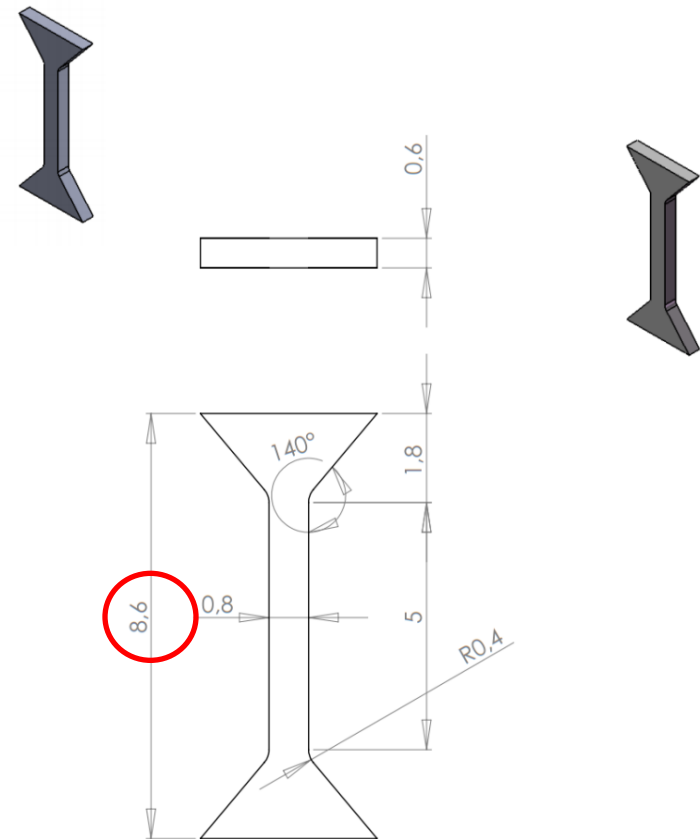
# Próbki standardowe i mini próbki



Próbka standardowa (S)  
 $S_0=48\text{mm}^2$

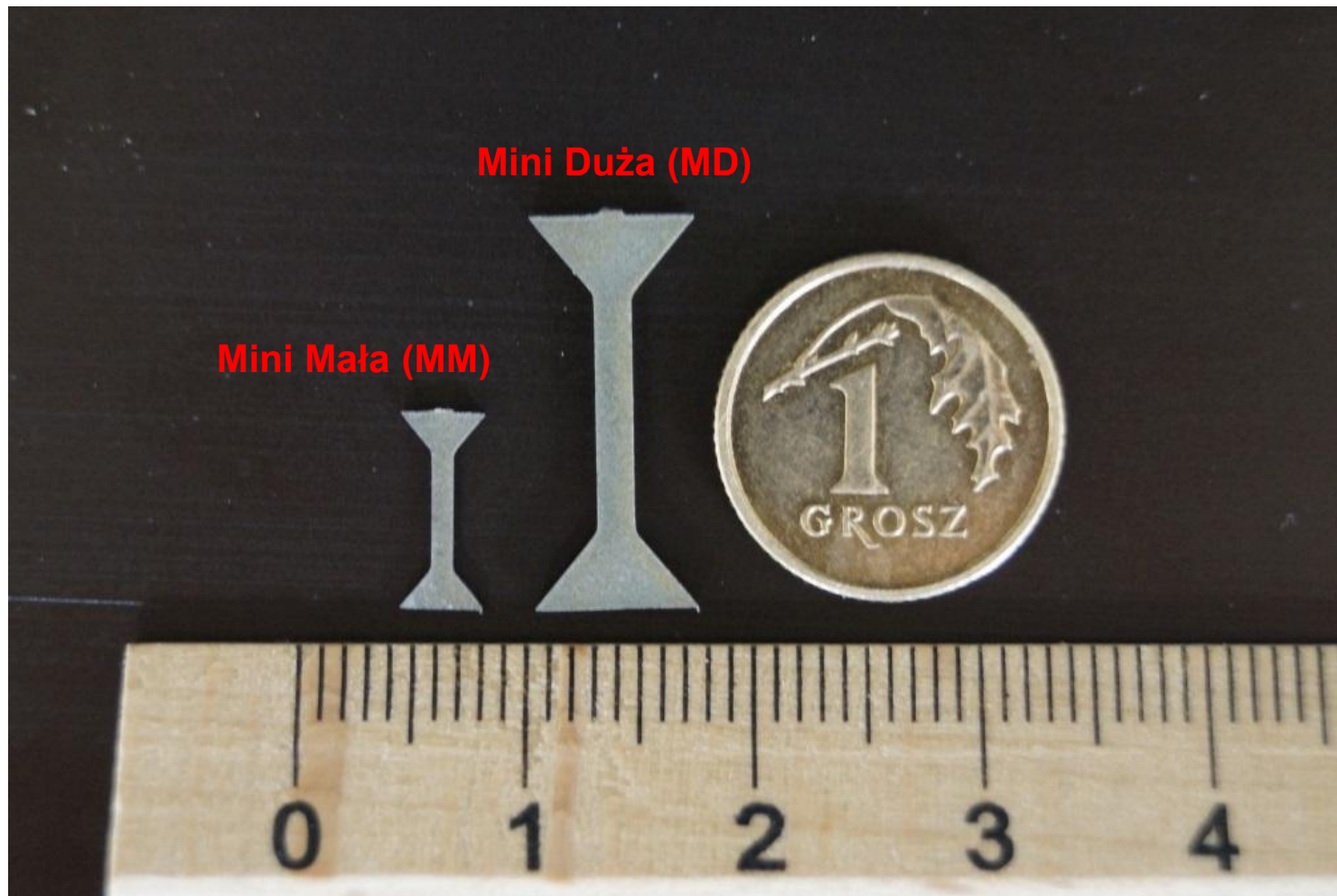


Próbka „mini duża” (MD)  
 $S_0=1,92\text{mm}^2$



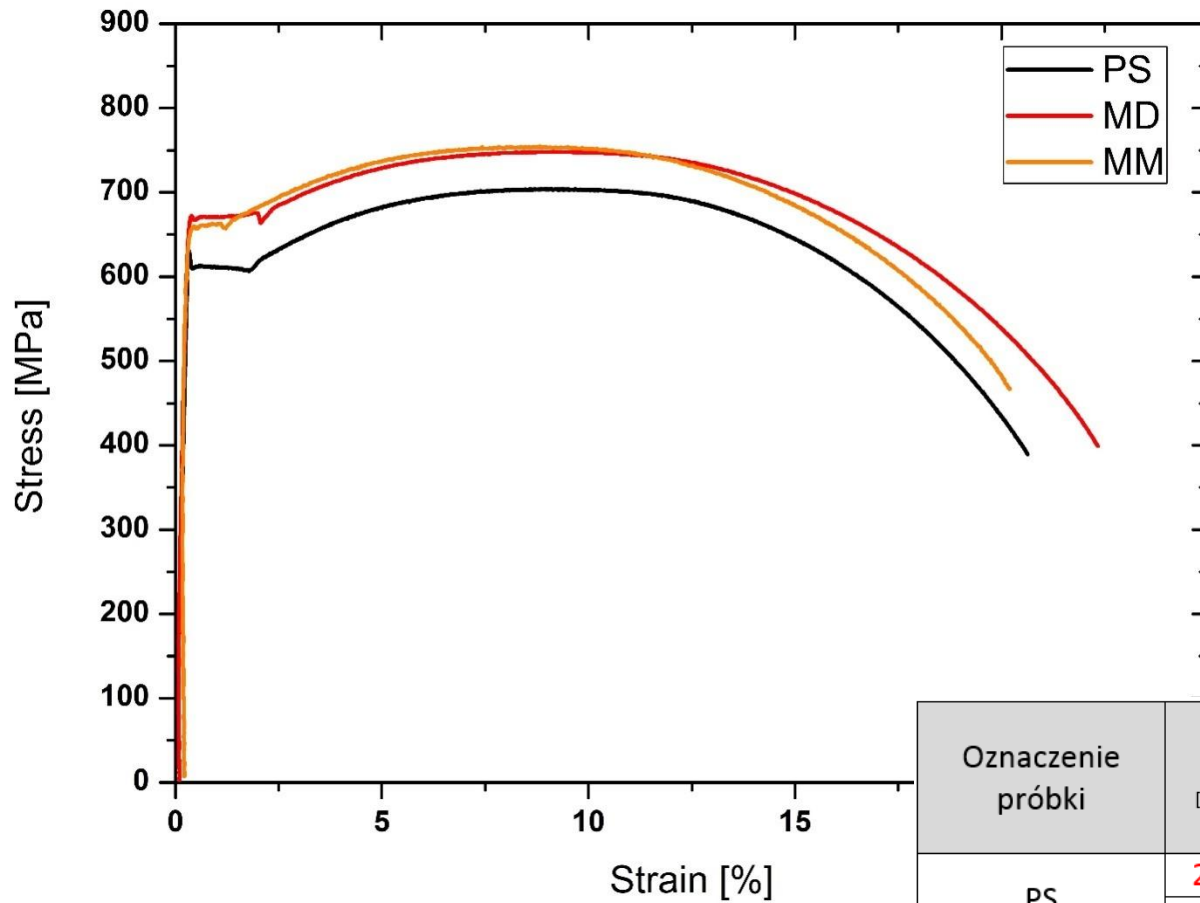
Próbka „mini mała” (MM)  
 $S_0=0,48\text{mm}^2$

# Mini próbki



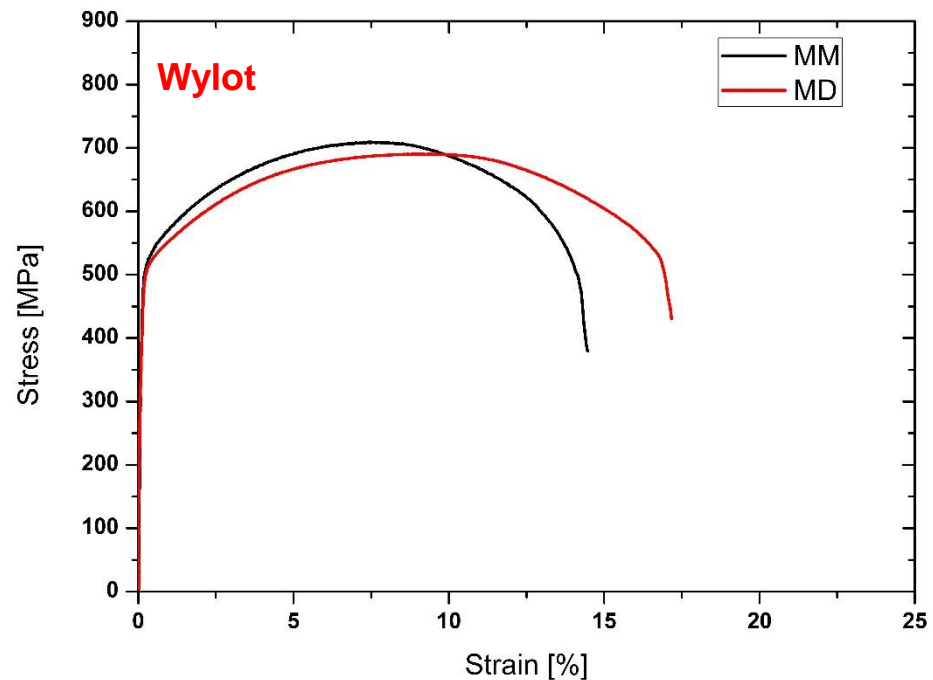
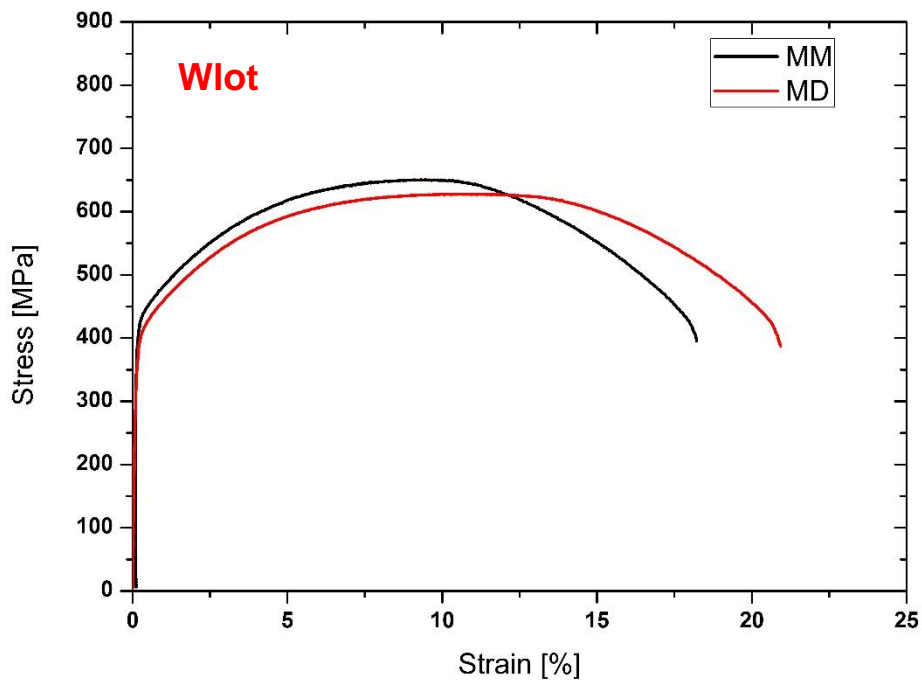


# Wpływ wielkości próbek 26H2MF w stanie dostawy



Oznaczenie próbki	E [GPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]	R <sub>eL</sub> [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	A <sub>g</sub> [%]
PS	214	638	609	-	701	20,6	8,88
	18	28	22		11	0,7	0,22
MD	236	663	656	-	743	22,3	8,66
	14	9	9		6	2,6	0,86
MM	221	666	660	-	752	20,3	8,34
	59	8	6		3	1,4	0,58

# Mini duże i Mini małe próbki



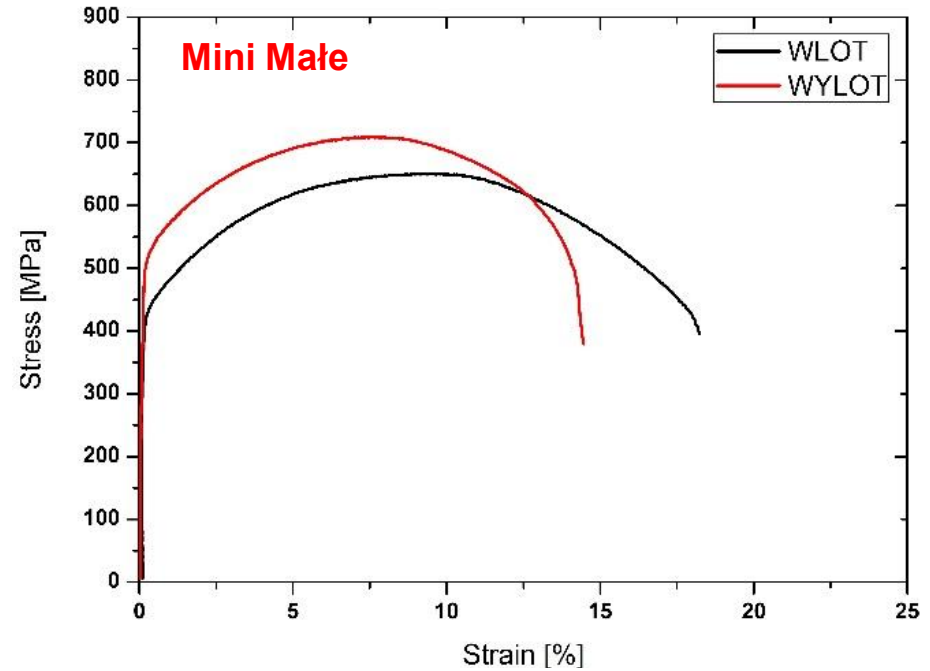
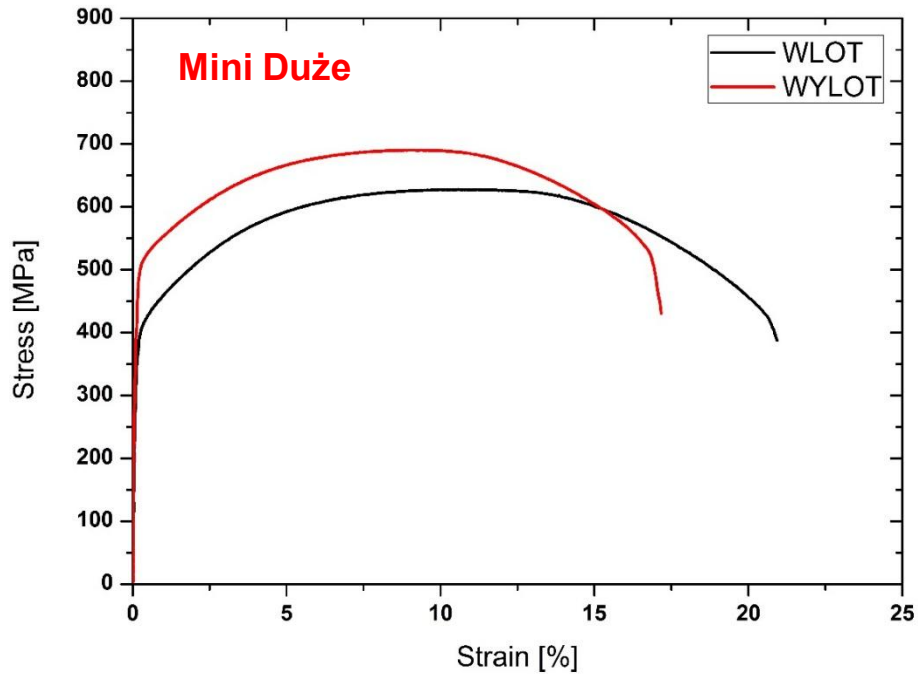
Oznaczenie próbki	E [GPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]	R <sub>eL</sub> [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	A <sub>g</sub> [%]
MD	-	-	-	413	627	19,3	9,9
				5	3	2,2	0,9
MM	-	-	-	441	647	17,8	8,6
				5,9	4,7	1,2	0,7

**Wlot**

Oznaczenie próbki	E [GPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]	R <sub>eL</sub> [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	A <sub>g</sub> [%]
MD	-	-	-	508	693	17,9	9,2
				3	3	0,7	0,3
MM	-	-	-	525	712	15,6	7,8
				12	14	1,1	0,6

**Wylot**

# Wylot i wlot turbiny



Oznaczenie próbki	E [GPa]	ReH [MPa]	ReL [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	A <sub>g</sub> [%]
WLOT	-	-	-	413	627	19,3	9,9
				5	3	2,2	0,9
WYLOT	-	-	-	508	693	17,9	9,2
				3	3	0,7	0,3

**Mini Duże**

Oznaczenie próbki	E [GPa]	ReH [MPa]	ReL [MPa]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	A <sub>g</sub> [%]
WLOT	-	-	-	441	647	17,8	8,6
				5,9	4,7	1,2	0,7
WYLOT	-	-	-	525	712	15,6	7,8
				12	14	1,1	0,6

**Mini Małe**



Dziękuję za uwagę