



URZĄD DOZORU
TECHNICZNEGO

WYTYCZNE URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO NR 4/UC/2025/1

WYTYCZNE KONTROLI WALCZAKÓW KOTŁÓW PAROWYCH
W ELEKTROWNIACH I ELEKTROCIEPŁOWNIACH



Szanowni Państwo,

zapraszamy do zapoznania się z opracowaniem dotyczącym energetyki konwencjonalnej i ciepłownictwa. W instalacjach energetycznych kluczową rolę odgrywają urządzenia ciśnieniowe, w tym także walczaki kotłów parowych, które mają istotne znaczenie w pracy bloków energetycznych.

Ocena stanu technicznego walczaków, prowadzona zgodnie z wymaganiami UDT, jest niezbędna podczas eksploatacji, modernizacjach czy w przypadku przesunięć terminów badań. Programy diagnostyczne wykorzystują nowoczesne metody analizy mikrostruktury i właściwości mechanicznych, co pozwala na skuteczne monitorowanie stanu technicznego, zwiększenie niezawodności kotła oraz ograniczenie ryzyka awarii.

Zachęcamy do korzystania z dokumentu w codziennej praktyce inżynierskiej.

Życzymy ciekawej i przydatnej lektury

Redakcja Wydania Wytycznych

Urząd Dozoru Technicznego



Wydanie rok 2025

Wszelkie prawa zastrzeżone © Urząd Dozoru Technicznego

SPIS TRESCI

WSTĘP	4
PLANY DIAGNOSTYCZNE WALCZAKÓW	5
BADANIA TECHNICZNE UDT	6
1. Badania okresowe UDT	6
1.1. Rewizja zewnętrzna	6
1.2. Rewizja wewnętrzna	6
1.3. Próba ciśnieniowa	8
1.4. Badania specjalne	9
2. Organizacja badań	10
2.1. Uzgodnienie terminów i opracowanie harmonogramu	10
2.2. Demontaż separacji	11
2.3. Zabezpieczenie otworów	11
2.4. Oczyszczenie walczaka	11
2.5. Zapewnienie właściwych warunków BHP	12
2.6. Przygotowanie powierzchni do badań	12
3. Zakres badań	13
4. Podsumowanie	14
BADANIA NIENISZCZĄCE (NDT)	15
1. Wybór metody badań	15
2. Badania wizualne endoskopowe	15
3. Badania penetracyjne (PT)	16
4. Badania magnetyczne (MT)	17
5. Pomiary głębokości pęknięć	18
6. Badania ultradźwiękowe (UT)	19
7. Badania radiograficzne (RT)	22
8. Badania emisją akustyczną (AE)	22
9. Zasady oceny elementów walczaka na podstawie wyników badań defektoskopowych	23
9.1. Metoda magnetyczna / metoda penetracyjna	23
9.2. Metoda ultradźwiękowa	23
9.3. Metoda radiograficzna	23
10. Pomiary owalizacji	23
11. Pomiary grubości ścianki	24
BADANIA WŁASNOŚCI MATERIAŁU	25
BADANIA MATERIAŁOWE	25
1. Badania wytrzymałościowe - pomiary twardości	25
2. Pomiary udarności	27
3. Badania wytrzymałościowe z wykorzystaniem korków i mikropróbek	28
4. Badania własności mechanicznych z wykorzystaniem mikropróbek	31
5. Badania metalograficzne	34
6. Small Punch Test (SPT)	35
7. Badania pozostałe	35
ANALIZA OBLICZENIOWA POD KĄTEM ZMĘCZENIA	36
BADANIA ZWIĄZANE Z NAPRAWĄ	38
DOKUMENTACJA BADAŃ DEFEKTOSKOPOWYCH	40
1. Dokumentacja graficzna	40
2. Dokumentacja tabelaryczna	43
3. Dokumentacja fotograficzna	44
DOKUMENTACJA BADAŃ SPECJALNYCH	44
1. Dokumentacja pomiarów owalizacji	44
1.1. Dokumentacja tabelaryczna	44
1.2. Dokumentacja graficzna	45
2. Dokumentacja pomiarów grubości	46
3. Dokumentacja badań metaloznawczych	47
3.1. Dokumentacja badań wytrzymałościowych	47
3.2. Dokumentacja badań metalograficznych	47
PRZEPISY BHP	47
1. Sposoby zapobiegania zagrożeniom	48
DOKUMENTY POWIĄZANE	51

WSTĘP

Niniejsze wytyczne obejmują kompleksowe zasady przeprowadzania badań walczaków kotłów parowych wykorzystywanych w elektrowniach i elektrociepłowniach. Znajdziemy w nich informację nt. metodologii oraz sposobu przeprowadzania badań, jak również prognozowania zużycia eksploatacyjnego. Informacje te są niezbędne dla inspektora UDT, przy podejmowaniu decyzji o dopuszczeniu badanego walczaka do dalszej eksploatacji. Stosowanie wytycznych umożliwia kompleksową analizę wyników badań w analizie statystycznej, umożliwiającą identyfikację przyczyn uszkodzeń oraz wdrożenie odpowiednich środków zaradczych.

Wytyczne przeznaczone są zarówno dla inspektorów UDT, jak i dla osób odpowiedzialnych za codzienną eksploatację walczaków, szczególnie w zakresie organizacji badań i przygotowania urządzenia do ich przeprowadzenia. Wytyczne mają zastosowanie do wszystkich eksploatowanych walczaków i mogą być stosowane w całości lub w określonej części w zależności od potrzeb i zaleceń inspektora UDT.

W wytycznych przyjęto, że pomiary oraz badania nieniszczące i niszczące w celu oceny stanu materiału, uzupełnione wynikami obliczeń przeprowadzonych dla rzeczywistych warunków pracy, stanowią podstawę rzetelnej oceny stanu technicznego walczaków, co umożliwia oszacowanie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji.

Głównym celem opracowania niniejszych wytycznych jest przedstawienie jednolitej metodologii oceny stanu materiału i sposobu oszacowania pozostałej bezpiecznej trwałości eksploatacyjnej walczaków. Zaproponowany sposób postępowania wykorzystuje dostępne współczesne narzędzia i metody badawcze zweryfikowane w praktyce na podstawie doświadczeń z pozytywnych wyników wieloletnich diagnostycznych badań materiałowych.

Wytyczne przedstawiają wymagania, które należy uwzględnić podczas wyboru reprezentatywnych miejsc do badań, rodzajów pomiarów, nieniszczących oraz niszczących metod badawczych, zakresu badań, a także liczby miejsc do badań, uwzględniając historię pracy oraz stan techniczny walczaka.

Wytyczne mogą być stosowane jako dokument odniesienia podczas określania stanu oraz trwałości eksploatacyjnej. Stanowią także podstawę do opracowania szczegółowych instrukcji, planów lub programów badań, które powinny być zatwierdzone przez Urząd Dozoru Technicznego.



PLANY DIAGNOSTYCZNE WALCZAKÓW

Zgodnie z § 37 ust. 1 rozporządzenia Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. (Dz.U. 2022 poz. 68), „kotły parowe o wydajności pary większej niż 100 t/h obejmuje się programem badań diagnostycznych uzgodnionym z organem właściwej jednostki dozoru technicznego.”

Zakres takiego programu powinien obejmować co najmniej elementy pracujące w warunkach pełzania oraz elementy, dla których dominującym mechanizmem degradacji jest zmęczenie materiału konstrukcyjnego.

W odniesieniu do walczaka oznacza to konieczność objęcia badaniami m.in.:

- złączy spawanych króćców, dennic i rur opadowych,
- obszarów o złożonej geometrii, gdzie występują lokalne koncentracje naprężeń,
- wewnętrznych urządzeń separacyjnych,
- powierzchni zewnętrznych – po zdjęciu izolacji – w kontekście zmęczenia cieplnego.

Program powinien zawierać harmonogram oraz dobór odpowiednich metod badawczych (np. repliki, Small Punch Test, udarność, i inne badania NDT) a także kryteria oceny wyników oraz zakres ewentualnych działań naprawczych lub kontrolnych po zakończeniu badań. Dodatkowo, zalecane jest zastosowanie monitorowania parametrów pracy urządzenia z wykorzystaniem analizy online na podstawie normy PN-EN 12952-4.

Uzgodnienie programu z UDT jest obowiązkowe, a jego realizacja ma kluczowe znaczenie w przypadku:

- przedłużania okresu eksploatacji powyżej zakładanej trwałości projektowej,
- wnioskowania o przesunięcie terminów badań okresowych,
- modernizacji lub napraw.

Wdrożenie programów badań diagnostycznych pozwala na monitorowanie stanu technicznego walczaka, zwiększenie niezawodności kotła oraz ograniczenie ryzyka awarii wynikających z degradacji mechanicznej i cieplnej.



BADANIA TECHNICZNE UDT

1. BADANIA OKRESOWE UDT

1.1. Rewizja zewnętrzna

Badanie zewnętrzne walczaka podczas jego pracy w elektrowni lub elektrociepłowni wymaga szczególnej uwagi i ostrożności ze względu na trwającą eksploatację urządzenia. Przed przystąpieniem do badania należy upewnić się, że personel przeprowadzający badanie posiada odpowiednie kwalifikacje i doświadczenie w tego typu czynnościach.

Zakres badania to:

- **Ocena wizualna:** podczas pracy kotła należy prowadzić bieżącą ocenę wizualną walczaka oraz jego przyłączy, koncentrując się na:
 - ewentualnych wyciekach w rejonie połączeń króćców, spoin, armatury i elementów kontrolno-pomiarowych,
 - oznakach nieszczelności takich jak: ślady soli, pary, kapanie kondensatu, wilgoć wokół króćców,Wszelkie nieprawidłowości powinny być dokumentowane i zgłaszane w celu weryfikacji oraz poddane odpowiedniej naprawie.

- **Analiza parametrów pracy walczaka (analiza online):** należy sprawdzić i poddać analizie parametry pracy walczaka od ostatniego badania (na podstawie dostępnych danych eksploatacyjnych). Należy zwrócić uwagę, czy nie występowały przekroczenia temperatury i ciśnienia dopuszczalnego oraz dokonać analizy dynamiki zmian tych parametrów.

1.2. Rewizja wewnętrzna

Przed przystąpieniem do badania walczaka konieczne jest odpowiednie przygotowanie, które zapewni bezpieczeństwo oraz rzetelność przeprowadzanych badań. W tym celu należy:

- ustalić odpowiedni termin wyłączenia walczaka z eksploatacji,
- zapoznać się z dokumentacją techniczną walczaka, aby w pełni zrozumieć jego konstrukcję i specyfikę pracy,
- zdemontować separacje i przygotować powierzchnie do badań diagnostycznych,
- zabezpieczyć otwory rur opadowych,
- zdemontować zawory bezpieczeństwa, wodowskazy oraz sondy poziomu wody w celu oceny stanu technicznego osprzętu oraz sprawdzenia drożności króćców.



Przeprowadzenie badania – bezpieczeństwo

Przeprowadzenie rewizji wewnętrznej walczaka w elektrowni lub elektrociepłowni wymaga rygorystycznego przestrzegania zasad bezpieczeństwa. Należy bezwzględnie stosować się do obowiązujących w elektrowni bądź elektrociepłowni przepisów BHP. Ponadto:

- Należy upewnić się, że walczak został właściwie przygotowany do przeprowadzenia badań oraz czy wszystkie adekwatne procedury BHP zostały zastosowane – w tym wystawienie pisemnego polecenia na wejście i pracę w przestrzeni zamkniętej.
- Przed wejściem do walczaka należy sprawdzić atmosferę panującą wewnątrz urządzenia pod kątem stężenia tlenu oraz upewnić się, że temperatura w środku pozwala na bezpieczne wykonanie badania.
- Należy zapewnić odpowiednie, bezpieczne oświetlenie pozwalające na dokładną ocenę stanu powierzchni wewnętrznej, spoin, króćców oraz elementów konstrukcyjnych.
- Wymagania do oświetlenia:
 - jasne, białe światło (barwa neutralna, zbliżona do dziennej),
 - przenośne reflektory LED lub latarki czołowe,
 - oświetlenie kierunkowe, umożliwiające dokładne doświetlenie stref kontrolnych,
 - w większych walczakach – możliwość zastosowania kamer z własnym źródłem światła,
 - zakazane jest użycie opraw 230V bez odpowiedniego separowanego zasilania,
 - preferowane źródła zasilania niskonapięciowe (np. 24V AC/DC),
 - oświetlenie musi być odporne na kurz, wilgoć i uszkodzenia mechaniczne.

Ocena wizualna

- Należy skontrolować wewnętrzne powierzchnie walczaka pod kątem widocznych uszkodzeń.
- Oględziny powinny obejmować zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne powierzchnie wszystkich spoin głównych (wzdłużnych i obwodowych) oraz spoin pomocniczych.
- Szczególną uwagę należy zwrócić na obszary narażone na duże obciążenia termiczne i mechaniczne: mostki, okolice króćców spustowych do ekranów, tuleje włączowe oraz elementy mocowania separacji.



Wykonanie badań diagnostycznych

Dobór metod diagnostycznych uzależniony jest od stanu technicznego walczaka oraz warunków jego eksploatacji. Badania istotne przy ocenie stanu technicznego tego typu urządzenia to m.in.:

- badania wizualne VT (wideoendoskop, wideoendoskop 3D),
- badania ultradźwiękowe UT,
- badania magnetyczno-proszkowe MT,
- badania penetracyjne PT,
- badania radiograficzne RT.

Dokumentacja i raportowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań diagnostycznych należy sporządzić sprawozdanie, które powinno zawierać kryteria akceptacji oraz odniesienia do wcześniejszych wyników badań. W dokumencie należy szczegółowo wskazać lokalizację wykrytych niezgodności oraz opisać ich charakter.

1.3. Próba ciśnieniowa

Kluczowym elementem przeprowadzenia próby ciśnieniowej walczaka w elektrowni lub elektrociepłowni jest zapewnienie pełnego bezpieczeństwa wykonania takiego badania. Próba ciśnieniowa walczaka przeprowadzana jest jednocześnie dla wszystkich elementów ciśnieniowych kotła. Odpowiedzialność za przygotowanie urządzeń do tego badania spoczywa na eksploatującym, który powinien wykonać je zgodnie z dokumentacją techniczną walczaka oraz obowiązującą instrukcją eksploatacji kotła. Eksploatujący przygotowuje kocioł do próby ciśnieniowej, zapewniając odpowiednią obsługę techniczną oraz nadzór. Należy upewnić się, że walczak został odpowiednio przygotowany do próby, a wszystkie niezbędne środki i procedury związane z bezpieczeństwem pracy zostały zachowane.

• Wybór ciśnienia próbnego:

Instrukcję przeprowadzenia próby ciśnieniowej walczaka należy opracować na podstawie wytycznych producenta kotła. Zakres instrukcji powinien zawierać informację o szybkości narastania ciśnienia próbnego, temperaturze wody oraz wartości ciśnienia próby. Dla walczaków wyprodukowanych przed 1995 r. **o rzeczywistej grubości ścianki nie mniejszej niż 50 mm** obowiązują ustalenia wynikające z „Decyzji Prezesa UDT nr 25/95 z dnia 10 listopada 1995 r. w sprawie odstąpienia od wymagań Warunków technicznych



UDT dotyczących wykonywania zwyczajnych i nadzwyczajnych prób wodnych kotłów parowych z walcakiem lub wodooddzielaczami o grubości ścianki nie mniejszej niż 50 mm". Zgodnie z tym dokumentem dopuszcza się obniżenie wartości ciśnień próbnych do wartości 0,8 ciśnienia obliczeniowego. Odstępstwo udziela się pod następującymi warunkami:

- temperatura ścianek walcaka/wodooddzielacza powinna być równomierna, w zakresie 50°C do 60°C przez cały czas trwania próby;
- eksploatujący jest zobowiązany do opracowania technologii przeprowadzenia próby hydraulicznej, uwzględniając wartości ciśnień progowych, szybkości zmian ciśnień na poszczególnych etapach oraz czas utrzymania ciśnienia progowego, a także określenia wysokości ciśnienia, przy którym będą przeprowadzane oględziny kotła.

Zaleca się, aby technologia była opracowana na podstawie oceny stanu technicznego konkretnego walcaka/wodooddzielacza, uwzględniając dotychczasowe warunki eksploatacyjne, zakres ewentualnych uszkodzeń, przeprowadzonych napraw oraz stopień zużycia urządzenia.

- szybkość zmian ciśnienia nie może przekraczać:
 - 0,5 MPa/min w trakcie podwyższania ciśnienia do 0,5 ciśnienia obliczeniowego,
 - 0,1 MPa/min w trakcie pozostałych faz zmian ciśnień, łącznie z obniżeniem ciśnienia po zakończeniu oględzin.

- **Stabilizacja i utrzymanie ciśnienia** - należy utrzymać stabilne ciśnienie w walcaku przez czas określony przez inspektora UDT, jednak nie krótszy niż 30 min, aby sprawdzić, czy nie wystąpiły wycieki lub inne nieprawidłowości.
 - **Ocena wizualna:** Podczas próby należy uważnie monitorować walcak, obserwując czy nie pojawiają się wycieki, uszkodzenia, w tym odkształcenia. W przypadku dostrzeżenia jakichkolwiek nieprawidłowości, należy natychmiast przerwać próbę.
 - **Zakończenie próby ciśnieniowej:** po zakończeniu oceny wizualnej należy powoli zmniejszać ciśnienie do ciśnienia wyjściowego.
 - **Dokumentacja i raportowanie:** należy dokładnie udokumentować przebieg próby ciśnieniowej, zanotować wszystkie wyniki pomiarów, obserwacje oraz opisać ewentualne nieprawidłowości.
- Należy pamiętać, że każda technologia przeprowadzenia hydraulicznej próby ciśnieniowej musi bezwzględnie zostać zweryfikowana i zatwierdzona przez Urzędu Dozoru Technicznego.

1.4. Badania specjalne

Zgodnie z art. 14 ust. 2 ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym (Dz. U. z 2024 r. poz. 1194), w uzasadnionych przypadkach organ właściwej jednostki dozoru technicznego w ramach badań inspekcyjnych może nakazać przeprowadzenie tzw. badań specjalnych, czyli wykraczających poza zakres badań okresowych UDT (np. rewizji wewnętrznej czy prób ciśnieniowych).



W przypadku walczaka kotła parowego, badania specjalne mogą zostać zalecone m.in. w sytuacjach:

- podejrzenia degradacji materiałowej,
- istotnych odstępstw od projektowych warunków pracy,
- próby określenia stopnia zużycia eksploatacyjnego w celu wyznaczenia pozostałego czasu bezpiecznej pracy.

Zakres badań specjalnych może obejmować:

- badania nieniszczące (np. AE, MT, UT, PT),
- badania replik (analiza mikrostruktury powierzchniowej),
- badania udarnośći,
- Small Punch Test (SPT),
- obliczeniową analizę zmęczeniową według normy EN 12952-4, Aneks B.

Badania specjalne powinny być wykonane przez laboratorium Urzędu Dozoru Technicznego. UDT może uzgodnić na wniosek Eksploatującego wykonanie badań specjalnych przez laboratorium posiadające odpowiednie świadectwo uznania UDT. Wszystkie badania wykonywane przez takie laboratorium muszą być uprzednio uzgodnione z UDT – z podaniem zakresu badań, metod badawczych oraz kryteriów akceptacji.

Wyniki badań specjalnych stanowią podstawę do dalszych decyzji w zakresie eksploatacji walczaka – w tym m.in. dopuszczenia do dalszej eksploatacji lub o konieczności wykonania niezbędnych napraw.

2. ORGANIZACJA BADAŃ

2.1. Uzgodnienie terminów i opracowanie harmonogramu

Zgodnie z rozporządzeniem, eksploatujący kotły bloków energetycznych o wydajności pary powyżej 100 t/h zobowiązani są do opracowania harmonogramów oraz uzgodnienia z wykonawcą terminów okresowych badań walczaków. Harmonogramy te należy opracować tak, aby badania przeprowadzane były w okresie kapitalnych, względnie średnich remontów i nie powodowały wydłużenia założonego okresu remontu. Ustalić należy również plany częściowego, naprzemiennego usuwania izolacji walczaka podczas następujących po sobie kolejnych rewizjach wewnętrznych.



2.2. Demontaż separacji

Dla prawidłowego przeprowadzenia badań nieniszczących walczaka od strony wewnętrznej niezbędny jest całkowity demontaż urządzeń separacyjnych. Należy zwrócić szczególną uwagę na odcinanie blach separacji nad spoinami pachwinowymi na powierzchni wewnętrznej walczaka. Należy pozostawić odcinki blach nad spoiną umożliwiające ponowne przyspawanie separacji – unika się w ten sposób ponownego układania spoiny pachwinowej w tym samym miejscu. **Podgrzewanie spoin pachwinowych przy płaszczu walczaka jest niedopuszczalne.** W przypadku spawania blach separacji do płaszcza walczaka należy uzgodnić z UDT technologie naprawy, zwłaszcza jeśli chodzi o walczaki wykonane ze stali **18CuNMT**. W sytuacjach, gdy demontaż wszystkich blach separacji nie jest możliwy, dopuszczalne jest przeprowadzenie badań endoskopowych.

2.3. Zabezpieczenie otworów

W trakcie przygotowania walczaka do rewizji wewnętrznej należy zadbać o właściwe zabezpieczenie wszystkich otworów znajdujących się wewnątrz walczaka, szczególnie tych zlokalizowanych w jego dolnej części. Celem takiego działania jest zapobieganie przedostaniu się do wnętrza instalacji zanieczyszczeń stałych, takich jak osady, kurz, resztki materiałów czyszczących czy ciała obce mogące stanowić zagrożenie podczas dalszej eksploatacji.

Zabezpieczenie powinno obejmować otwory technologiczne, gniazda po zdemontowanych elementach (np. termopary, rury wodowskazowe), a także króćce, przewody impulsowe oraz inne połączenia rurowe i strefy montażowe wewnątrz walczaka. Dotyczy to zwłaszcza połączeń prowadzących do rur opadowych, urządzeń separacyjnych i stref przyłączeniowych.

W praktyce można stosować tymczasowe zaślepki wykonane z drewna, tworzywa sztucznego, gumy lub metalu, oznaczone w sposób umożliwiający ich późniejszą identyfikację i usunięcie. Dozwolone jest także użycie taśm ochronnych, technicznych korków lub fizycznych barier ochronnych, takich jak siatki czy przegrody.

Po zakończeniu rewizji należy bezwzględnie przeprowadzić kontrolę kompletności – wszystkie tymczasowe zabezpieczenia powinny zostać usunięte, a powierzchnie i połączenia przywrócone do stanu pierwotnego. Pozostawienie nawet najmniejszego elementu może stanowić realne zagrożenie dla działania całego układu wodno-parowego.

2.4. Oczyszczenie walczaka

Po zakończeniu demontażu urządzeń separacyjnych oraz zabezpieczeniu wszystkich otworów technologicznych, kolejnym etapem przygotowania walczaka do rewizji jest jego dokładne oczyszczenie. Celem tego



procesu jest usunięcie wszelkich osadów eksploatacyjnych zalegających na wewnętrznych powierzchniach walczaka, jak również zanieczyszczeń powstałych w trakcie demontażu osprzętu – takich jak opiłki metalu, resztki materiałów uszczelniających, pył czy cząstki pokorozyjne.

Dokładne oczyszczenie wnętrza walczaka jest niezbędne do zapewnienia odpowiednich warunków dla przeprowadzenia oceny wizualnej oraz badań nieniszczących. Osady mogą maskować drobne niezgodności powierzchniowe, takie jak pęknięcia, ubytki korozyjne czy nieciągłości materiałowe, dlatego ich usunięcie jest warunkiem do rzetelnej oceny stanu technicznego.

Do oczyszczania stosuje się najczęściej metody mechaniczne – np. szczotkowanie ręczne lub maszynowe, szlifowanie, ewentualnie piaskowanie (jeśli przewiduje to instrukcja eksploatacji). W przypadku osadów trudnych do usunięcia dopuszcza się także zastosowanie środków chemicznych, odpowiednich dla danego materiału konstrukcyjnego. Wymaga to jednak uprzedniego uzgodnienia z UDT.

Jeśli zakres badań przewiduje również ocenę powierzchni zewnętrznej walczaka (np. przy badaniach magnetycznych, ultradźwiękowych lub pomiarach grubości), konieczne jest wcześniejsze przygotowanie wyznaczonych obszarów. W tym celu należy zdemontować izolację cieplną w miejscach podlegających badaniu, przygotować odpowiednie podesty robocze zapewniające bezpieczny dostęp do badanych powierzchni oraz oczyścić zewnętrzną powierzchnię walczaka.

Prawidłowe oczyszczenie jest warunkiem koniecznym do przeprowadzenia dalszych etapów badania technicznego. Ma ono kluczowe znaczenie zarówno na jakości wykonanych badań, jak i dla zapewnienia bezpieczeństwa osób przeprowadzających inspekcję.

2.5. Zapewnienie właściwych warunków BHP

W celu zapewnienia właściwych warunków do przygotowania walczaka i przeprowadzenia badań, eksploatujący powinien zapewnić przenośne oświetlenie miejsca badania umożliwiające wyraźne rozróżnienie wszystkich szczegółów konstrukcyjnych walczaka w obrębie strefy poruszania się badającego. Ponadto należy zapewnić intensywne wentylowanie walczaka za pomocą wentylatora umieszczonego w jednym z otworów włączonych (dla walczaków z jednym otworem włączonym zaleca się wykonać specjalne przewody tłoczne powietrza z wentylatora tak, by odbite powietrze z pełnej dennicy wypływało tym samym otworem włączonym).

2.6. Przygotowanie powierzchni do badań

W przypadku badań trudno dostępnych obszarów pod spoinami pachwinowymi, gdzie ocena nieciągłości metodami radiologicznymi lub ultradźwiękowymi jest utrudniona, dopuszcza się podszlifowanie fragmentów spoin biegnących osiowo, aby odstąpić strefę podsponową. Umożliwi to przeprowadzenie badań defektoskopowych (np. magnetycznych) oraz pomiar głębokości pęknięć.

Wytypowane do badań powierzchnie walczaka należy oczyścić do metalicznego połysku. Oczyszczenie można prowadzić poprzez szlifowanie, względnie inną metodą zapewniając dobre przygotowanie powierzchni i nie zacierając obrazu nieciągłości. Szlifowanie należy wykonać w sposób umożliwiający usunięcie wszelkich śladów podtopień i nierówności lica spoin, odprysków spawalniczych, nierówności powierzchni, zgorzeliny, rdzy, osadów oraz innych zanieczyszczeń. Proces ten należy przeprowadzić przy

użyciu odpowiedniego sprzętu i narzędzi, w taki sposób aby nie uszkodzić powierzchni walczaka oraz aby nie naruszyć jego struktury materiałowej.

Przy oczyszczeniu wzdłużnych i obwodowych połączeń spawanych walczaka szlifowanie powinno obejmować nie tylko lico spoiny, lecz również przyległe do spoiny strefy materiału o szerokości ok. 50 mm. Badania ultradźwiękowe połączeń spawanych króćców centralnych rur opadowych oraz tulei włączonych wymagają dokładnego oczyszczenia powierzchni wewnętrznych, po których prowadzone są głowice ultradźwiękowe.

Oczyszczenie powierzchni wewnętrznych króćców centralnych rur opadowych powinno sięgać 30 mm poniżej lica zewnętrznej spoiny króćca, a w przypadku tulei włączonych czyszczeniu podlegają całe powierzchnie wewnętrzne.

3. ZAKRES BADAŃ

Typując obszary do badań należy pamiętać, że badaniom defektoskopowym podlegają przede wszystkim te obszary, w których podczas oględzin przeprowadzonych w trakcie rewizji kotła ujawniono niezgodności powierzchniowe.

Jednakże niezależnie od obszarów wytypowanych do badań na podstawie oględzin, zakres badań w każdym przypadku powinien obejmować następujące węzły walczaka:

- złącza spawane króćców centralnych rur opadowych,
- złącza spawane tulei włączonych,
- złącza wzdłużne i obwodowe płaszcza walczaka,
- złącza spawane króćców rur wodowskazowych,
- złącza spawane urządzeń wewnętrznych walczaka,
- krawędzie otworów i mostki między otworowe płaszcza walczaka,
- złącza spawane stref przejściowych pod spoinami pachwinowymi,
- powierzchnie wewnętrzne otworów,
- obszary otworów z osadzonymi tulejami termopar,
- mocowania elementów podtrzymujących separacje.

Ww. złącza spawane powinny być przebadane od wewnątrz, a w uzasadnionych przypadkach również od strony zewnętrznej walczaka.

Badania nieniszczące należy przeprowadzać także na zewnętrznej części płaszcza oraz dennicach po uprzednim usunięciu izolacji, uwzględniając spoiny kątowe rur opadowych, spoiny na połączeniach kielichowych króćców wody zasilającej w walczaku oraz spoiny króćców wchodzących w kolana rur. Badania te są szczególnie istotne w przypadku podejrzenia występowania nieciągłości materiałowych od strony zewnętrznej, które mogą powstawać m.in. w wyniku zmęczenia cieplnego, naprężeń montażowych lub wcześniejszych napraw eksploatacyjnych.



4. PODSUMOWANIE

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych maksymalne terminy badań technicznych kotłów o wydajności powyżej 100 t/h zostały ustalone następująco:

- rewizja zewnętrzna co roku;
- rewizja wewnętrzna co 5 lat;
- próba ciśnieniowa co 10 lat.

Ustalone terminy badań dotyczą nowych kotłów (a tym samym także walczaków) oraz tych, których stan techniczny pozwala na dalszą eksploatację przez co najmniej kolejnych 5 lat. Proponowane terminy mają zastosowanie przy założeniu, że kocioł pracuje zgodnie z wytycznymi wytwórcy, mając na względzie fakt, iż praca niezgodna z założeniami projektowymi skraca żywotność kotła oraz walczaka.

Należy tutaj nadmienić, iż w przypadku stwierdzenia podczas badania występowania niezgodności, terminy badań mogą zostać skrócone. Propozycje terminów kolejnych badań diagnostycznych powinny być zawarte w ekspertyzie stanu walczaka, wykonanej przez np. firmę diagnostyczną, z uwzględnieniem wszystkich uzyskanych dotąd danych na temat stanu technicznego urządzenia.

Ponadto miejsca, w których dokonywano napraw, po uprzedniej analizie przyczyn ich powstania, powinny zostać objęte szczególnym nadzorem.

Proponowane terminy rewizji wewnętrznej wynikające z przepisów uwzględniające stan techniczny walczaka mogą być następujące:

- brak uszkodzeń – rewizja wewnętrzna co 5 lat;
- brak uszkodzeń oraz zastosowanie monitoringu pracy – rewizja co 5 lat, z możliwością przesunięcia o jeden rok (po dwukrotnym przesunięciu badania o 6 miesięcy, na podstawie zapisów § 33 ust. 1., rozporządzenia Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021). Rewizję wewnętrzną wówczas będzie można wykonać w ograniczonym zakresie (bez usuwania separacji), następnie po 10 latach badanie będzie wykonane w pełnym zakresie;
- po naprawie (np. spawanie, napawanie) – po roku od naprawy, a w przypadku niestwierdzenia niezgodności w badaniu, wydłużamy termin następnej rewizji wewnętrznej do 5 lat;
- w przypadku stwierdzenia niezgodności – w zależności od jej wpływu na stan techniczny i pracę walczaka oraz możliwości monitorowania jej rozwoju, termin rewizji może zostać odpowiednio skrócony.

Kluczowe znaczenie dla zachowania bezpieczeństwa eksploatacji oraz oceny niezawodności walczaka może mieć wprowadzenie systemu monitoringu kotła, który pozwoliłby na ocenę procesów pełzania i zmęczenia poszczególnych jego elementów. W tym celu niezbędne jest prowadzenie analizy pozyskiwanych danych w sposób ciągły w celu precyzyjnego szacowania stopnia wyczerpania trwałości eksploatacyjnej. Jednocześnie szybkie wykrywanie nawet niewielkich odchyłeń od norm umożliwia podjęcie natychmiastowych działań zapobiegawczych, minimalizując ryzyko awarii oraz przedłużając żywotność urządzeń. Monitorowanie parametrów online pozwala również na efektywne planowanie badań diagnostycznych oraz dostarcza istotne informacje do podejmowania strategicznych decyzji dotyczących utrzymania ruchu.

BADANIA NIENISZCZĄCE (NDT)

1. WYBÓR METODY BADAŃ

Aby wykryć pęknięcia powierzchniowe oraz wewnętrzne nieciągłości stosuje się następujące metody:

- badania wizualne bezpośrednie,
- badania wizualne pośrednie endoskopowe z użyciem elastycznej sondy o małej średnicy, do oględzin niedostępnych powierzchni wewnętrznych,
- badania penetracyjne - do wykrywania pęknięć powierzchniowych ,
- badania magnetyczno-proszkowe - do wykrywania pęknięć powierzchniowych i płytko zalegających podpowierzchniowych,
- badania ultradźwiękowe (objętościowe) - do wykrywania nieciągłości wewnętrznych w materiale i złączach spawanych oraz do określenia głębokości pęknięć jak również pomiaru rzeczywistej grubości ścianki elementu,
- badania radiograficzne - do wykrywania nieciągłości wewnętrznych w materiale i złączach spawanych,
- badania metodą emisji akustycznej - metoda objętościowa pozwalająca na ujawnienie i zlokalizowanie źródła emisji akustycznej, które jest następstwem występowania aktywnych uszkodzeń.

Badania nieniszczące takie jak badania penetracyjne, magnetyczno-proszkowe, ultradźwiękowe, emisji akustycznej czy radiograficzne, dobierane są indywidualnie w zależności od stanu technicznego walczaka, wyników wcześniejszych badań NDT oraz czasu eksploatacji urządzenia.

Badania wizualne bezpośrednie wykonuje się na całej dostępnej powierzchni walczaka. Natomiast badania wizualne z użyciem endoskopu stosuje się w przypadku elementów trudno dostępnych jak np. rury opadowe.

Podczas wyboru metody badań złączy spawanych spełnione muszą być wymagania normy PN-EN ISO 17635. Technika oraz klasa badań są ustalane na podstawie załącznika A tej normy, z uwzględnieniem wymaganego poziomu jakości złącza określonego w dokumentacji technicznej urządzenia. Należy również pamiętać o ograniczeniach związanych z przeprowadzenia danego badania takich jak: temperatura, stan powierzchni, rodzaj materiału, grubość elementu oraz dostęp do badanego obszaru.

2. BADANIA WIZUALNE ENDOSKOPOWE

Badania endoskopowe służą do wykrywania uszkodzeń wewnętrznych elementów. Wykonuje się je, aby ocenić stan powierzchni wewnętrznych walczaka.

Najczęściej wykrywanymi uszkodzeniami od strony powierzchni wewnętrznej badanych elementów są:

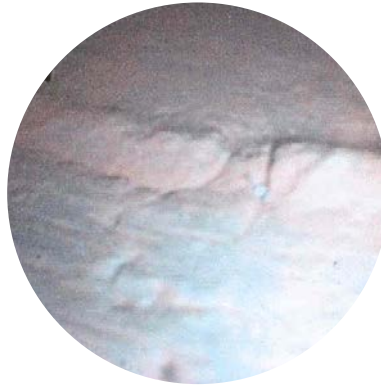
- pęknięcia 'słoneczkowe' na krawędziach otworów króćców i propagujące w obszary mostków elementów grubościennych,
- pęknięcia mostkowe,
- pęknięcia wzdłużne i poprzeczne w grani spoin obwodowych,
- pęknięcia i wypłukania materiału wzdłuż grani spoin obwodowych w strefie wpływu ciepła,
- pęknięcia w materiale płaszczka walczaka.

Przykładowe uszkodzenia powierzchni wewnętrznej wykryte w badaniach endoskopowych pokazano na rys. 1.

Pęknięcia mostkowe



Pęknięcia poprzeczne w grani spoiny obwodowej



Pęknięcia w materiale płaszcza



Rysunek 1. Przykłady najczęściej występujących uszkodzeń

3. BADANIA PENETRACYJNE (PT)

Metody penetracyjne mogą być stosowane do wykrywania nieciągłości powierzchniowych jako techniki pomocnicze w miejscach, gdzie zastosowanie metody magnetycznej jest utrudnione z powodu ograniczonego dostępu do badanej powierzchni. Badania penetracyjne umożliwiają wykrywanie nieciągłości, które są otwarte w różnych kierunkach względem powierzchni. Są one powszechnie stosowane do badań złączy spawanych oraz oceny stanu powierzchni elementów.

Nieciągłości wykrywane tą metodą to przede wszystkim: pęknięcia gorące i zimne, przyklejenia powierzchniowe, braki przetopu, pęknięcia zmęczeniowe, pęknięcia wywołane korozją naprężeniową, zawalcowania itp. Badania penetracyjne umożliwiają kontrolę obiektów wykonanych z materiałów nieferromagnetycznych, które nie mogą być badane metodami magnetycznymi. Metody penetracyjne pozwalają na wykrywanie nieciągłości w miejscach, gdzie następują nagłe zmiany przekroju obiektu, które są trudne lub wręcz niemożliwe do wykrycia za pomocą innych technik badawczych. Stosowane są również do badania obiektów o małych wymiarach, gdzie stanowią często jedyną dostępną metodę wykrywania nieciągłości. Do najczęściej stosowanych metod penetracyjnych należą:

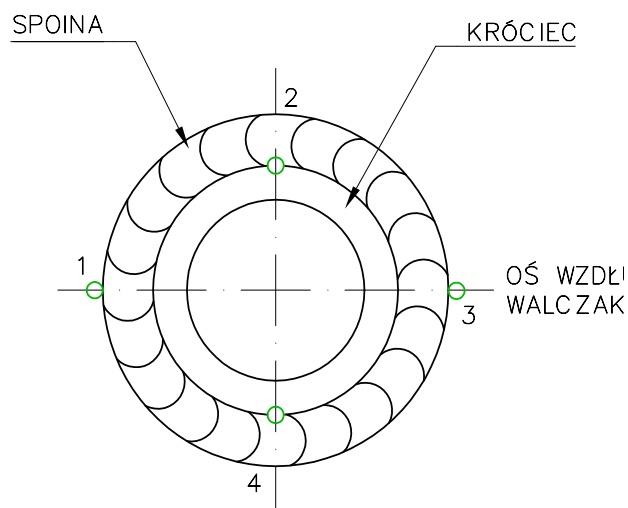
- metoda barwnych wskaźników pęknięć;
- metoda fluorescencyjna.

W wyniku badań przeprowadzonych metodą penetracyjną na kontrolowanych powierzchniach walczaka mogą występować nieciągłości powierzchniowe w postaci cienkich lub grubych, ciągłych bądź rozlanych linii, linii przerywanych, a także obszarów z małymi lub większymi plamkami.

Linie ciągłe wskazują na pęknięcia, linie przerywane na przyklejenia, a obszary z plamkami wywołane są obecnością porowatości lub wżerów korozyjnych.

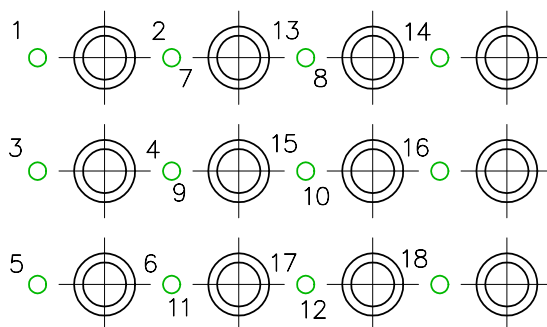
4. BADANIA MAGNETYCZNE (MT)

Metoda magnetyczna stanowi podstawową i najskuteczniejszą technikę wykrywania pęknięć oraz nieciągłości powierzchniowych. Stosuje się ją do badania połączeń spawanych króćców centralnych rur opadowych i tulei włączowych, złączy wzdłużnych i obwodowych płaszcza walczaka, krawędzi otworów i mostków międzyotworowych. Stosuje się ją również do połączeń spawanych pozostałych króćców i urządzeń wewnętrznych walczaka oraz obszarów, w których podejrzewa się występowanie nieciągłości powierzchniowych. Rysunki przedstawiające sposób wykonania badań dla złącza kąтового króćca, dla mostków międzyotworowych oraz spoin wzdłużnych i obwodowych pokazano na rysunkach nr 2, 3 oraz 4.



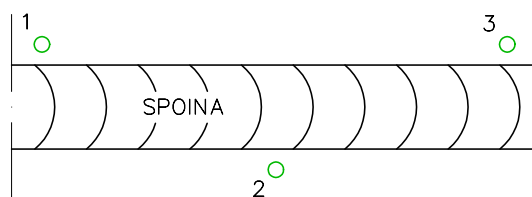
○—1,2,3,4—MIEJSCA PRZYŁOŻENIA ELEKTROD

Rysunek 2. Schemat badania magnetycznego złącza kąтового króćca



○—1/2, 7/8, 13/14—miejsca przyłożenia elektrod.

Rysunek 3. Schemat badania magnetycznego mostków międzyotworowych



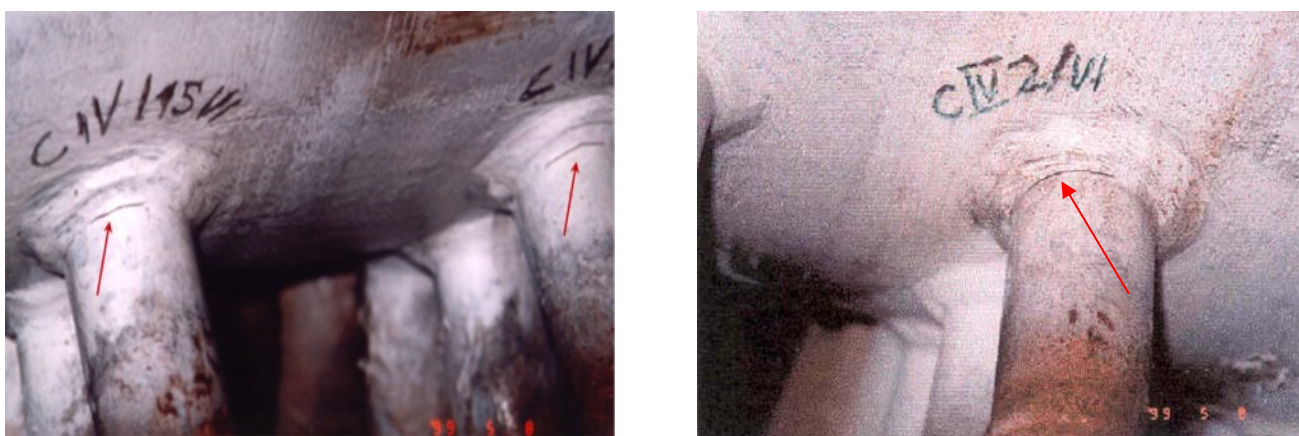
○—1/2, 2/3—miejsca przyłożenia elektrod.

Rysunek 4. Schemat badania magnetycznego spoin wzdłużnych i obwodowych

W trakcie badań magnetyczno-proszkowych na powierzchni badanego elementu powstają obrazy proszkowe, które należy interpretować w następujący sposób:

- koncentracja proszku o ostrych konturach wskazuje na nieciągłość otwartą na powierzchni,
- rozmyte linie konturu skoncentrowanego proszku występują przy nieciągłościach położonych pod powierzchnią,
- ostre kontury i duża koncentracja proszku pochodzą z głębokiego pęknięcia powierzchniowego,
- ostre cienko zarysowane linie odpowiadają płytkim pęknięciom powierzchniowym,
- przerywane linie w sposób nieregulowany wskazują również na obecność pęknięć,
- krótkie i ostre linie o nieregularnych konturach należy traktować jako żuźle pasmowe.

Oprócz nieciągłości rzeczywistych mogą wystąpić nieciągłości pozorne, np. w pobliżu elektrod (w wyniku silniejszego namagnesowania powierzchni). W takiej sytuacji należy badanie powtórzyć, zmieniając położenie elektrod.

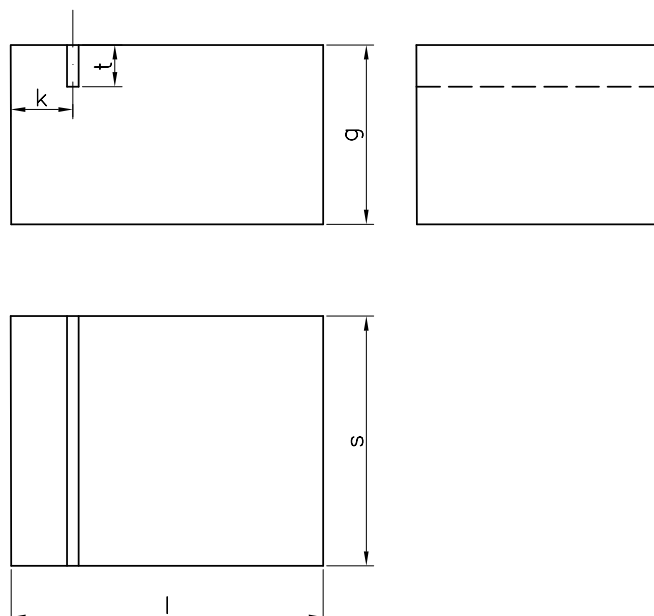


Rysunek 5. Przykłady pęknięć obwodowych złączy kątowych na powierzchni zewnętrznej ujawnione metodą magnetyczno-proszkową

5. POMIARY GŁĘBOKOŚCI PĘKNIĘĆ

Pomiary głębokości pęknięć są stosowane w przypadku wykrycia pęknięć powierzchniowych w walczaku. Umożliwiają podjęcie decyzji dotyczącej sposobu naprawy urządzenia.

Przy pomiarze głębokości pęknięć metodą sond potencjałowych mierzy się opór elektryczny między dwoma punktami pomiarowymi na powierzchni przedmiotu metalicznego. W miejscu występowania pęknięcia opór elektryczny jest wyższy niż na powierzchni wolnej od pęknięć, co stanowi miarę określającą głębokość pęknięcia. Pomiar ten doskonale uzupełnia badania przeprowadzane metodą magnetyczną lub penetracyjną. Na rysunku nr 6 przedstawiono wzorce do pomiaru głębokości pęknięć.

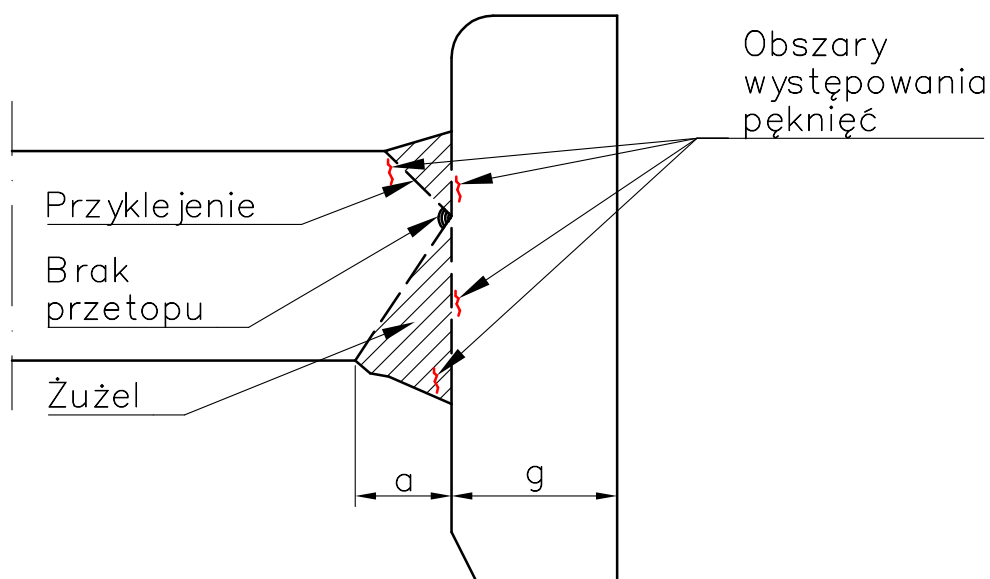


	oznac. wzorca.	mm				
		l	k	g	s	t
1	WPG-4	100	20	90	50	4
2	WPG-6	-//-	-//-	-//-	50	5
3	-9	-//-	-//-	-//-	50	9
4	-15	-//-	-//-	-//-	60	15
5	-20	-//-	-//-	-//-	80	20
6	-30	-//-	-//-	-//-	100	30
7	-40	-//-	-//-	-//-	120	40
8	-50	-//-	-//-	-//-	150	50
9	-60	-//-	-//-	-//-	180	60
10	-70	-//-	-//-	-//-	210	70

Rysunek 6. Wzorce do pomiaru głębokości pęknięć

6. BADANIA ULTRADŹWIĘKOWE (UT)

Badania ultradźwiękowe stosuje się do wykrywania nieciągłości wewnętrznych w połączeniach spawanych króćców centralnych rur opadowych i tulei włączonych oraz ewentualnie do określania głębokości pęknięć powierzchniowych występujących na mostkach międzyotworowych. Metoda ultradźwiękowa, w połączeniu z metodą magnetyczną, umożliwia kompleksową ocenę badanego elementu. Pozwala ona na wykrycie pęknięć, zawałców, wtrąceń makroskopowych, rozwarstwień, jam i porowatości oraz nieciągłości spawalniczych. Szkic występowania typowych nieciągłości w złączu kątowym przedstawiono na rysunku nr 7.



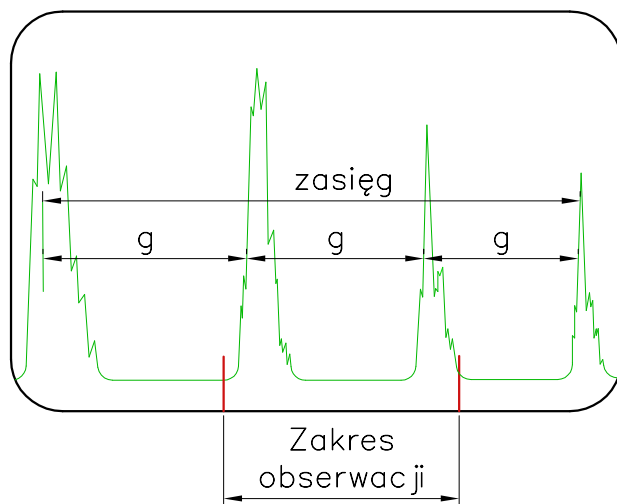
Rysunek 7. Szkic występowania typowych nieciągłości w złączu kątowym

Złącza kątowe mogą zawierać takie nieciągłości spawalnicze, jak pęknięcia, przyklejenia, braki przetopu, żużel i pęcherze. Badanie ultradźwiękowe w warunkach ruchowych nie pozwala na precyzyjne określenie rodzaju wykrywanych nieciągłości. Dlatego, w celu uproszczenia interpretacji wyników, przyjmuje się ich podział na dwa główne typy:

- nieciągłości pojedyncze – kiedy wielkość nieciągłości nie przekracza efektywnej średnicy użytego przetwornika (wielkość echa osiąga wysokość graniczną na wykresach OWR),
- nieciągłości ciągłe – kiedy wielkość nieciągłości przekracza rozmiary przetwornika głowicy, a jej wymiar określa się przesuwem głowicy.

W przypadku nieciągłości pierwszego rodzaju (pojedynczych) ich wielkość równoważną określa się przy pomocy wykresu OWR. Nieciągłości o wymiarach poniżej $\varnothing 6$ mm nie są rejestrowane.

Podczas korzystania ze wzorca specjalnego należy na ekranie defektoskopu narysować dwie linie proste łączące wierzchołki ech otworów $\varnothing 3$ mm oraz $\varnothing 6$ mm, odpowiadające minimalnemu i maksymalnemu zasięgowi. Szczegóły dotyczące rysowania tych linii przedstawia rys. 8. W zapisie wyników uwzględnia się jedynie nieciągłości o średnicy większej niż $\varnothing 6$ mm.

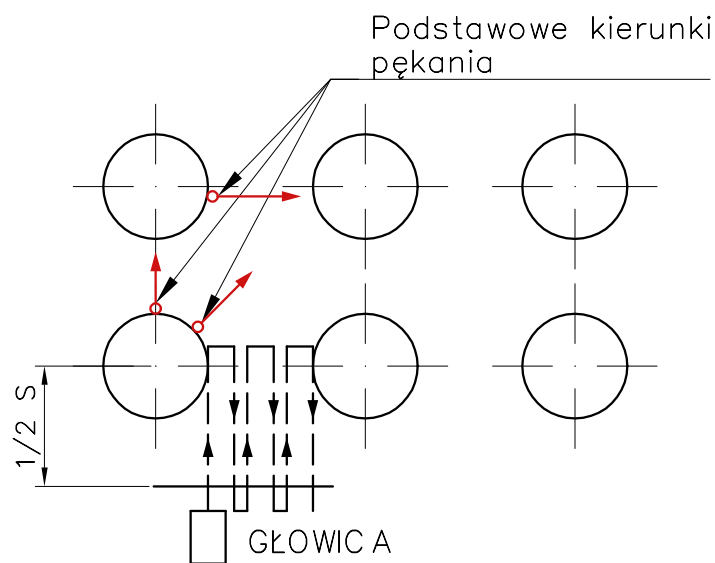


Rysunek 8. Ustawienie zasięgu i zakresu obserwacji

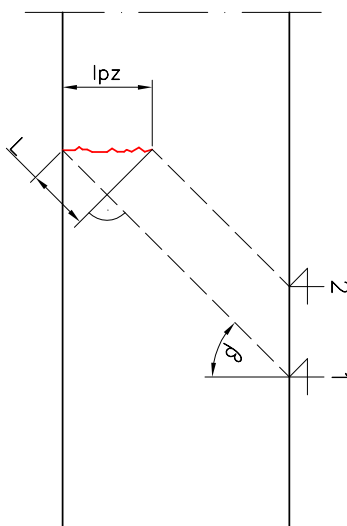
Nieciągłości drugiego rodzaju (ciągłe) należy scharakteryzować największą wielkością równoważną, korzystając z wykresów OWR. W przypadku stosowania wzorca specjalnego należy określić, czy nieciągłość ma średnicę mniejszą czy większą niż 6 mm. Dodatkowo, każdorazowo zapisuje się długość wykrytej nieciągłości, którą określa się na podstawie przesuwu głowicy.

Podczas prowadzenia badań należy uwzględnić, że echa nieciągłości, w szczególności przyklejeń i pęknięć, mogą pojawić się kilka milimetrów przed wskaźnikiem początku zakresu obserwacji. Zjawisko to wynika z głębokości wtopu spoiwa w materiał króćca lub tulei, a także może być efektem powstawania pęknięć w strefie wpływu ciepła.

Jeśli wyniki badań magnetycznych wykażą obecność pęknięć mostków, można przeprowadzić dodatkowe badania ultradźwiękowe w celu określenia głębokości tych pęknięć. Na rysunku nr 9 przedstawiono sposób badania mostków rurowych.



Rysunek 9. Schemat badania mostków rurowych



Rysunek 10. Określenie głębokości zalegania pęknięcia metodą ultradźwiękową

7. BADANIA RADIOGRAFICZNE (RT)

Badania radiograficzne stosuje się do wykrywania nieciągłości wewnętrznych w obwodach i we wzdluznych połączeniach spawanych walczaka. Metodę tę można stosować również do wykrywania innych nieciągłości (wg wielkości pęknięcia) w płaszczu walczaka.

Badania radiograficzne są zazwyczaj stosowane dla nowych walczaków jeszcze na etapie wytwarzania, natomiast w przypadku walczaków eksploatowanych przeprowadza się je jedynie w sytuacjach technicznie uzasadnionych.

Wielkość i nasilenie nieciągłości określa się wg norm PN-EN ISO 10675-1 oraz PN-EN ISO 10675-1.

8. BADANIA EMISJĄ AKUSTYCZNĄ (AE)

Badania metodą emisji akustycznej mają na celu wykrycie lokalizacji oraz klasyfikację źródeł sygnałów emisji akustycznej generowanych przez powierzchniowe i wewnętrzne nieciągłości w konstrukcji urządzeń technicznych. Możliwość przeprowadzania badań w trakcie eksploatacji urządzeń sprawia, że obecnie metoda ta jest uznawana za odpowiednią do badań okresowych dużych urządzeń technicznych. Emisja akustyczna stanowi doskonałe uzupełnienie innych metod badań nieniszczących, umożliwiając weryfikację i dokładniejszą ocenę wykrywanych uszkodzeń.

Nietypowe dźwięki mogą wskazywać na obecność defektów, pęknięć, korozji lub innych problemów.

Na podstawie otrzymanych wyników można formułować diagnozy oraz zalecenia dotyczące niezbędnych działań naprawczych lub konserwacyjnych. Badanie ma na celu zapobiegać potencjalnym awariom lub uszkodzeniom, które mogą skutkować przerwami w dostawach energii elektrycznej.

Podstawowe informacje na temat tej metody można znaleźć w normach PN-EN 1330-9:2017-09 „Badania nieniszczące. Terminologia. Część 9: Terminy stosowane w badaniach emisją akustyczną” oraz PN-EN 13554:2011 „Badania nieniszczące. Emisja akustyczna. Zasady ogólne”.

9. ZASADY OCENY ELEMENTÓW WALCZAKA NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ DEFEKTOSKOPOWYCH

Ocena stanu technicznego walczaków na podstawie defektoskopowych badań nieniszczących dotyczy głównie walczaków będących w eksploatacji. Metody te mogą być również stosowane przy odbiorze nowych walczaków, o ile zostało to uprzednio uzgodnione pomiędzy wytwórcą a odbiorcą.

Przyjęte zasady oceny obejmują przypadki, kiedy w wyniku badań:

- nie stwierdzono nieciągłości,
- wykryto nieciągłości, których rodzaj, wielkość i usytuowanie pozwalają na pozostawienie ich bez naprawy,
- wykryto nieciągłości wymagające naprawy.

9.1. Metoda magnetyczna / metoda penetracyjna

W eksploatowanych walczakach, po uzgodnieniu z inspektorem UDT, dopuszcza się występowanie nieciągłości powierzchniowych w złączach kątowych centralnych rur opadowych i tulei włączowych, pod warunkiem, że po uwzględnieniu ich głębokości zachowana zostanie minimalna wymagana grubość ścianki płaszczka lub dna walczaka, a wzmocnienie otworu spełni wymagania przepisów dozoru technicznego. Dopuszczalne są również pęknięcia, niezależnie od ich głębokości i długości w jednej ze spoin pachwinowych przy króćcach dwustronnie spawanych. **Jednakże występowanie pęknięć w obu spoinach jest niedopuszczalne.** W pozostałych badanych obszarach walczaka nie dopuszcza się żadnych pęknięć powierzchniowych, a wykryte nieciągłości w tych obszarach należy natychmiast usunąć.

9.2. Metoda ultradźwiękowa

Kryteria oceny w tej metodzie odnoszą się wyłącznie do kątowych połączeń spawanych centralnych rur opadowych i tulei włączowych. Przy ustalaniu kryteriów przyjmuje się zasadę dopuszczania do dalszej eksploatacji złącza z nieciągłościami wewnętrznymi, które tylko w nieznacznym stopniu wpływają na osłabienie przekroju nośnego całego złącza.

9.3. Metoda radiograficzna

Klasyfikację jakości złącz spawanych na podstawie badań radiograficznych przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN ISO 10675-1:2022-05. Kryteria oceny złącz wzdłużnych i obwodowych w walczakach określone są przez organy dozoru technicznego w ramach uprawnień do spawania nadanych wytwórcy.

10. Pomiary owalizacji

Pomiary owalizacji stosuje się do wyznaczenia wewnętrznego kształtu przekroju poprzecznego walczaka. Na ich podstawie oblicza się wartości dodatkowych naprężeń w ściance walczaka wywołanych momentami gnącymi powstałymi w wyniku odchylenia płaszczka od kształtu kołowego.

Pomiary owalizacji dla nowych walczaków powinny być przeprowadzone przez wytwórcę, a dla walczaków eksploatowanych – na polecenie inspektora UDT, w przypadku ujawnienia pęknięcia na cylindrycznej powierzchni walczaka lub przeprowadzenia obróbki cieplnej związanej z naprawą przez spawanie cylindrycznej części walczaka.

Do wyznaczania wewnętrznego kształtu przekroju poprzecznego walczaka stosowane są specjalistyczne przyrządy pomiarowe. Pomiar przeprowadza się na całej długości cylindrycznej części walczaka, przy czym

płaszczyzny pomiarowe muszą znajdować się w odległości co najmniej 350 mm od spoin obwodowych. Dla każdego dzwona należy wykonać pomiary minimum w trzech przekrojach. Przekroje należy wyznaczyć w taki sposób, aby w miarę możliwości nie przebiegały przez otwory rurowe.

11. Pomiary grubości ścianki

Pomiary grubości ścianki płaszcza walczaka stanowią istotny element oceny jego stanu technicznego i powinny być wykonywane zarówno w przypadku wykrycia niezgodności (np. pęknięć powierzchniowych), jak i w ramach okresowej diagnostyki oraz kwalifikacji urządzenia do dalszej eksploatacji.

Pomiary przeprowadza się w szczególności:

- po oczyszczeniu i przygotowaniu powierzchni do badań, np. przez szlifowanie,
- przed naprawą spawalniczą, w celu oceny rzeczywistego przekroju i doboru właściwej technologii,
- po zakończeniu naprawy, w celu kontroli miejsc podgrzewanych lub osadzania termopar do pomiaru temperatury podczas obróbki cieplnej (PWHT).

Do pomiaru grubości ścianek elementów oraz oceny wielkości ubytków materiału najczęściej stosuje się grubościomierze ultradźwiękowe lub defektoskopy pracujące w trybie echo-echo. Urządzenia pomiarowe powinny być regularnie sprawdzane i wzorcowane zgodnie z procedurą systemu jakości laboratorium lub producenta. Badania należy wykonywać zgodnie z aktualnymi normami, np. PN-EN 14127, bądź równoważną normą zakładową.

Pomiary realizuje się w punktach wyznaczonych według wcześniej zaplanowanej siatki pomiarowej. Punkty tej siatki powinny być rozmieszczone dostatecznie gęsto, aby obejmowały obszary o minimalnej grubości ścianki. W przypadku, gdy największe ubytki mogą znajdować się poza wyznaczonymi punktami, należy rozszerzyć zakres badań o dodatkowe miejsca. Przy występowaniu lokalnej erozji lub korozji o dalszej eksploatacji decyduje nie średnia grubość ścianki, lecz głębokość poszczególnych ubytków.

Przed pomiarem konieczne jest odpowiednie przygotowanie powierzchni (oczyszczenie, szlifowanie) oraz skalowanie aparatury pomiarowej na wzorcach grubości. Sam pomiar polega na przyłożeniu głowicy z od-



powiednim sprzęgaczem do powierzchni walczaka i odczytanie wartości grubości ze wskaźnika analogowego lub ekranu cyfrowego urządzenia.

Uzyskane wyniki należy dokumentować w formie tabelarycznej oraz nanosić na szkic techniczny walczaka, co umożliwi ich analizę porównawczą w kolejnych rewizjach. Wyniki pomiarów (gr) porównuje się z wartością obliczeniową grubości ścianki (go). Urządzenie można dopuścić do dalszej eksploatacji, gdy $gr \geq go$. W przypadku stwierdzenia miejscowych ubytków poniżej grubości obliczeniowej stosuje się naprawy spawalnicze (np. napawanie), a przy rozległych zniszczeniach – częściową lub całkowitą wymianę elementu.

W przypadku korozji wżerowej pomiar należy przeprowadzać od strony oddziaływania czynnika korozyjnego, wykorzystując badania wizualne, odpowiednie przyrządy pomiarowe lub masy plastyczne odwzorowujące ubytki. Jeżeli bezpośredni pomiar nie jest możliwy, można zastosować metodę ultradźwiękową z użyciem techniki mapowania powierzchni, co pozwala na dokładniejsze odwzorowanie rozkładu grubości.

BADANIA WŁASNOŚCI MATERIAŁU

W celu oceny stanu materiału walczaka stosuje się różne metody nieniszczące, w tym także pomiar tłumienia fali ultradźwiękowej. Pomiar taki stosuje się w celu:

- Oceny niejednorodności struktury stali.
- Wykrycia miejsc z uszkodzeniami w wyniku korozji międzykrystalicznej.
- Możliwości oceny stanu materiału na całej grubości ścianki płaszcza.

Metoda ta służy do oceny zmian strukturalnych i może być stosowana do głębokości 10 mm. Wszelkie nieprawidłowości wykryte za pomocą pomiaru tłumienia powinny zostać potwierdzone przy użyciu alternatywnej metody badawczej.

BADANIA MATERIAŁOWE

1. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE - POMIARY TWARDOŚCI

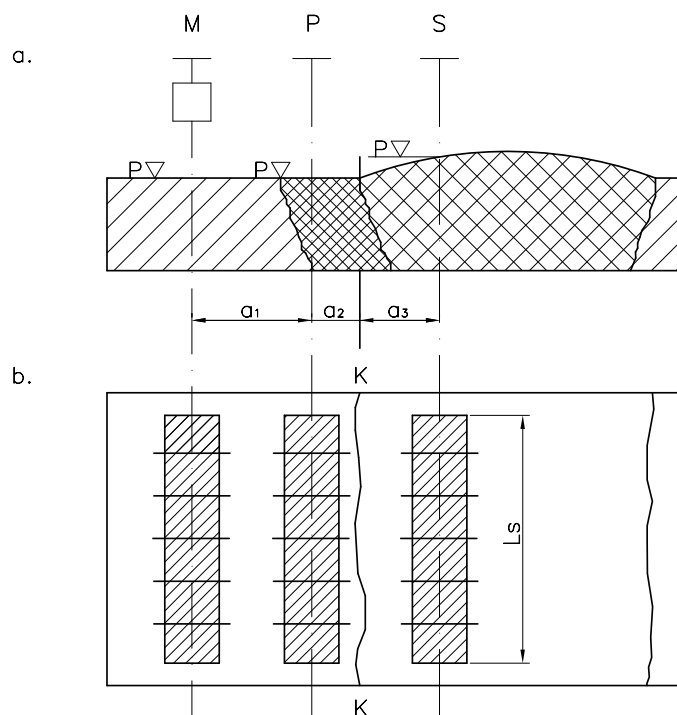
Na badanie powierzchni składają się próby twardości oraz ocena stanu powierzchni walczaków w miejscach, które w procesie technologicznym wytwarzania były najbardziej narażone na wpływy temperatury lub zgniotu (np. złącza spawane czy powierzchnie zakrzywione dennic), oraz w miejscach, które w procesie eksploatacji były najbardziej obciążone mechanicznie (np. mostki międzyotworowe, obszary w pobliżu złączy spawanych itp.).

Przygotowanie powierzchni do pomiarów twardości:

Miejsca do pomiaru twardości powinny być szlifowane i polerowane przy pomocy kompletu ręcznych szlifierek z giętkimi wałkami. Powierzchnia powinna być szlifowana ostrożnie, aby uniknąć wprowadzenia zgniotu.

Pomiar twardości:

Do pomiarów twardości należy stosować aparaty przenośne ze specjalnymi uchwytami przystosowanymi do wykonywania kilku lub kilkunastu pomiarów za jednym zamocowaniem.



Rysunek 11. Schemat rozmieszczenia punktów pomiaru twardości w strefie złącza spawanego:
a) przekrój złącza; b) widok z góry złącza

M – obszar materiału rodzimego

P – strefa przejściowa (wpływu ciepła)

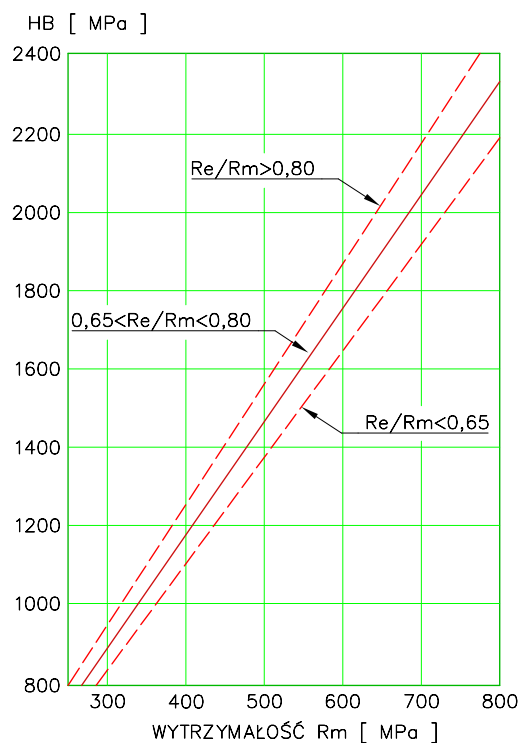
S – strefa stopiona

LS – długość powierzchni przygotowanej do pomiaru twardości

Wyniki pomiarów twardości stanowią istotne źródło informacji przy ocenie jakości materiału w kontekście niejednorodności oraz poprawności przeprowadzenia obróbki cieplnej płaszcza walczaka. Dodatkowo mogą być podstawą do jakościowej oceny zmian własności mechanicznych stali wynikających z długotrwałej eksploatacji walczaka. Jednocześnie wyniki pomiarów twardości mogą stanowić podstawę do oceny poprawności doboru technologii i wykonania obróbki cieplnej złączy spawanych.

W przypadku stwierdzenia, że twardość materiału przekracza górną granicę, należy w danym obszarze przeprowadzić serię prób złożoną z co najmniej 10 pomiarów na powierzchni ok. 10cm². Jeśli średnia wartość z tej serii również przekroczy górną granicę przyjętą dla danego materiału, miejsce to powinno zostać objęte dodatkowymi badaniami defektoskopowymi.

W takim przypadku szczególnie istotne jest ustalenie, czy po przeciwnej stronie blachy również występuje podobne utwardzenie. Jeżeli tak, zjawisko to należy uznać za bardziej niebezpieczne niż w przypadku jednostronnego utwardzenia.



Rysunek 12. Zależność między twardością Brinella HB a wytrzymałością na rozciąganie dla stali o różnym stosunku Re/Rm

Dopuszczalne różnice twardości w złączach spawanych przedstawiono w tabeli 2.

2. POMIARY UDARNOŚCI

Badanie udarności materiału walczaka kotła parowego stanowi jedno z kluczowych badań materiałowych wykonywanych w celu określenia jego odporności na kruche pękanie pod wpływem dynamicznego obciążenia. Jako grubościenny zbiornik ciśnieniowy pracujący w wysokiej temperaturze i narażony na cykliczne zmiany obciążenia cieplnego i ciśnieniowego, walczak może z czasem utracić właściwości plastyczne. Utrata udarności może prowadzić do niebezpiecznych, gwałtownych zniszczeń materiału.

Badanie udarności pozwala zatem ocenić stopień degradacji materiału na poziomie strukturalnym, którego nie wykryją badania nieniszczące. W szczególności wykorzystywane jest w diagnostyce walczaków eksploatowanych przez długi okres (np. powyżej 100 000 godzin), a także po stwierdzeniu nieciągłości materiałowych lub planowanych naprawach, wymagających określenia stanu materiału w strefach spawanych lub napawanych.

Badanie przeprowadza się metodą Charpy'ego zgodnie z normą PN-EN ISO 148-1. Do badań przygotowuje się standardowe próbki o wymiarach $10 \times 10 \times 55$ mm z nacięciem typu V. Próbki uderzane są młotem wahadłowym w temperaturze kontrolowanej, a urządzenie rejestruje ilość energii potrzebnej do złamania próbki. Zazwyczaj wykonuje się serie badań w temperaturach $+20^{\circ}\text{C}$, 0°C , -20°C , a czasami także w niższych, jeśli kocioł pracuje w warunkach wychładzania lub awaryjnego postoju.

W praktyce przemysłowej próbki udarności pobierane są z korków wyciętych z płaszcza walczaka, najczęściej w strefach reprezentatywnych — to znaczy tam, gdzie nie wykryto wcześniejszych uszkodzeń, ale które są najbardziej obciążone cieplnie i mechanicznie. Pobór próbek powinien odbywać się po uprzedniej ocenie grubości ścianki, oczyszczeniu powierzchni oraz z zachowaniem zasad minimalnej ingerencji w strukturę zbiornika. W przypadku walczaków naprawianych spawalniczo można rozważyć pobór próbek również ze stref wpływu ciepła (HAZ).

Otrzymane wyniki należy porównać z wartościami minimalnymi zawartymi w dokumentacji materiałowej, normach projektowych (np. PN-EN 12952, PN-EN 10028) lub wytycznych producenta. Dla wielu stali stosowanych w konstrukcjach walczaków wartość graniczna udarności wynosi 27–40 J (w zależności od temperatury badania i klasy materiału). Spadek poniżej tych wartości może świadczyć o zużyciu eksploatacyjnym materiału, grafityzacji, degradacji fazowej lub mikroprzemianach strukturalnych.

Wyniki badań udarności mają kluczowe znaczenie przy podejmowaniu decyzji o dalszej eksploatacji walczaka.

Badanie udarności powinno być traktowane jako uzupełniający, ale niezwykle istotny element kompleksowej diagnostyki walczaka, zwłaszcza w ramach rewizji okresowych i analiz zmęzeniowych urządzeń ciśnieniowych



3. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE Z WYKORZYSTANIEM KORKÓW I MIKROBRÓBEK

Wycinki przypowierzchniowe należy pobierać z miejsc zawierających:

- pęknięcia rozprzestrzeniające się promieniowo, tzw. „pęknięcia słoneczkowe” na krawędziach otworów – patrz rysunek 13;
- pęknięcia powierzchniowe w strefach złączy spawanych;
- pęknięcia powierzchniowe na mostkach międzyotworowych.

Technika pobierania wycinków przypowierzchniowych polega na:

- precyzyjnej lokalizacji oraz rozpoznaniu rozmiarów uszkodzenia przy użyciu oględzin na powierzchni oraz metod defektoskopowych,
- w wyniku tego rozpoznania należy na powierzchni wyznaczyć prostokątny kontur KLMN (rysunek 14b) w zależności od głębokości maksymalnego zalegania uszkodzenia *gu*.

Szerokość b prostokąta KLMN określa się ze wzoru:

$$b = 2(gu + n)$$

gdzie:

gu – jest maksymalną, stwierdzoną podczas pomiarów na głębokościomierzu lub innymi metodami nieniszczącymi, głębokością zalegania uszkodzenia (odległość pkt. C od powierzchni blachy),

n – jest naddatkiem wynoszącym ok. 10 mm.

Długość a prostokąta KLMN (rysunek 14b), gdzie $KL=MN=a$, określa się ze wzoru:

$$a = 1 + 2m$$

gdzie:

1 – jest największym rozmiarem strefy pękniętej (odległość AB),

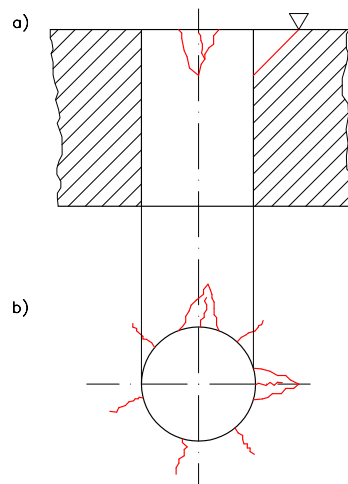
m – jest naddatkiem ok. 15 mm.

Pobieranie wycinka może być przeprowadzane za pomocą obróbki skrawaniem, np. metodą odwiercania lub cięcia frezem tarczowym pod kątem 45° . Przed cięciem kątowym należy jednak uprzednio wyznaczyć trasę konturu i ją zukosować, aby zapewnić prawidłową obróbkę oraz zapobiec łamaniu wiertel i tarcz (rysunek 14a). Można również wycinać odcinek wzdłuż konturu kołowego.

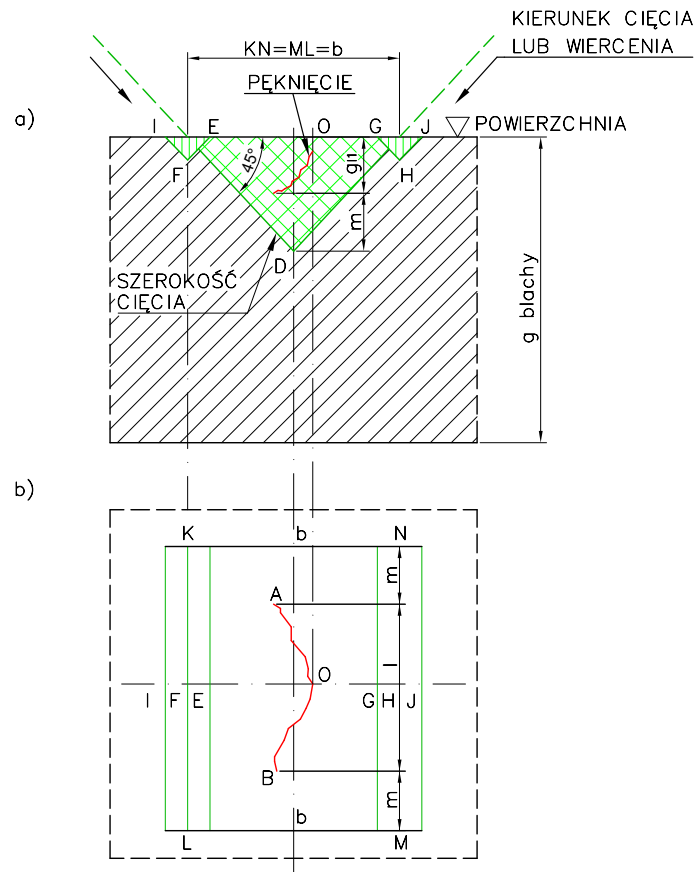
Po dokładnej lokalizacji oraz rozpoznaniu rozmiarów występowania uszkodzeń na powierzchni oraz w głębi materiału, należy wokół tego uszkodzenia wyznaczyć kontur kołowy o promieniu $R_{\min} = 50$ mm (w szczególnych przypadkach w porozumieniu z wykonawcą badania można wykonywać wycinki o mniejszych wymiarach).

Wzdłuż trasy konturu należy wiercić otwory prostopadle do powierzchni blachy, zachowując minimalne odległości między nimi, które zapewnią prawidłowe prowadzenie wiertel w materiale. Po całkowitym odwierceniu należy przeciąć mostki międzyotworowe oraz usunąć wycinek z otworu.

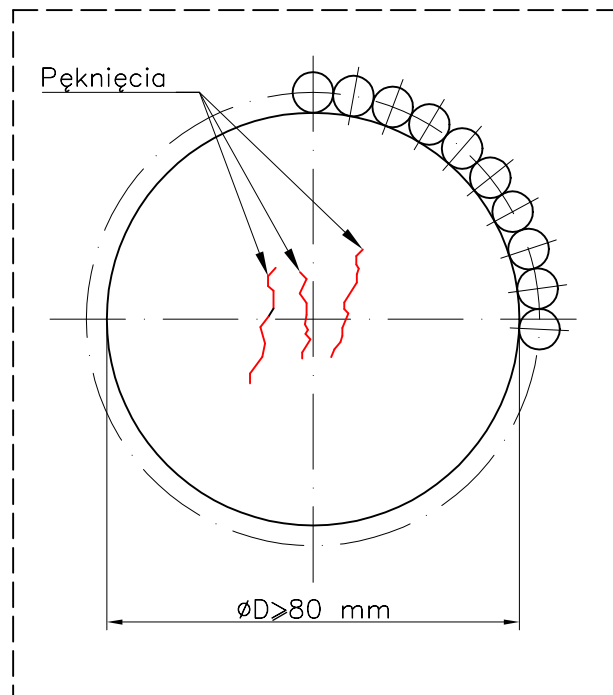
Istnieje również możliwość wycięcia odcinka przy pomocy specjalnej obrabiarki skrawającej na obwodzie ok. $\varnothing 90$ mm lub przyrządu skrawającego obwodowo.



Rysunek 13. Schemat pobierania wycinka łódkowego z pęknięciem przy krawędzi otworu tzw. „słoneczkowym”.
a) przekrój wzdłuż osi otworu; b) widok z góry



Rysunek 14. Schemat pobierania wycinka z pęknięciem. a) przekrój prostopadły do zarysu pęknięcia AB; b) widok zarysu pęknięcia AB oraz kontur KLMN



Rysunek 15. Schemat pobierania wycinka próbnego z pełnej grubości płaszcza walczaka

4. BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM MIKROPRÓBEK

Ze względu na warunki eksploatacji czy też trudności w odtworzeniu (naprawie) walczaka, po pobraniu wycinka do prób materiałowych zasadne jest przeprowadzenie badań na mikropróbkach. Pobór materiału do tych badań jest realizowany metodą powierzchniowego pobierania wycinków materiału. Zaletą realizacji takich badań jest możliwość pobrania mniejszej ilości materiału, w sposób taki że ubytek materiału powstały w elemencie nie zawiera ostrych korbów. W przypadku urządzeń grubościennych, którym jest walczak, nie zawsze są wymagane działania naprawcze. Jednocześnie badania na pobranym materiale są zazwyczaj dokładniejsze od badań realizowanych metodami przenośnymi na obiektach.

Na pobranym wycinku do badań można zrealizować badania:

- oceny struktury materiału za pomocą mikroskopu świetlnego lub skaningowego mikroskopu elektronowego,
- składu chemicznego,
- twardości materiału,
- własności wytrzymałościowych,
- określające temperaturę przejścia plastyczno-kruchego,
- próby pełzania.

Pobrany wycinek materiału pozwala zrealizować badania wymienione w pkt 1 do 3 w laboratorium w sposób standardowy w oparciu o aktualne normy. Badania z pkt 4 do 5 są możliwe do wykonania np. z wykorzystaniem metody *Small Punch Test* – SPT, w oparciu o wytyczne normy PN-EN 10371 *Metale* - Metoda badania małym stemplem oraz przywołane w niej inne normy dotyczące m.in. wymagań odnośnie aparatury.

Ze względu na specyfikę metody, istotnym jest, aby jednostka realizująca badania posiadała potwierdzenia walidacji metody w odniesieniu do standardowych badań materiałowych, np. statycznej próby rozciągania czy prób udarności.

Wybór metod badawczych realizowanych na mikropróbkach powinien być każdorazowo uzgadniany z Urzędem Dozoru Technicznego.

Jeżeli z pobranych wycinków można przygotować próbki o wymiarach $\varnothing 3 \times 25 \text{ mm}$ należy:

- wykonać pomiar twardości metodą Vickersa przy obciążeniach 10 lub 30 kG, lub wykonać pomiar twardości metodą Brinella kulką $\varnothing 5 \text{ mm}$ lub $\varnothing 2,5 \text{ mm}$.
- wykonać próbę wytrzymałości na rozciąganie na mikrozrywarcie.



Dla blach walczakowych o grubości ≥ 60 mm pobrane wycinki z pełnej grubości muszą umożliwiać przeprowadzenie pełnej charakterystyki wytrzymałościowej, a następnie otrzymane wyniki należy porównać z wymaganiami norm. W związku z tym wymiary wycinka powinny zapewniać wykonanie próbek wytrzymałościowych o długości 90 mm. W tym przypadku zakres badań własności mechanicznych w temperaturze otoczenia powinien obejmować:

- badania wytrzymałości na rozciąganie określające wskaźniki R_m , R_e , A_5 , Z (na co najmniej 3 próbkach),
- próby udarności na co najmniej 3 próbkach w kierunku wzdłużnym i poprzecznym do kierunku walcowania,
- próby twardości metodami Brinella i Vickers'a oraz jeśli zajdzie potrzeba, mikrotwardości na zgładach metalograficznych.

Przy badaniu własności mechanicznych na gorąco jako temperaturę prób należy przyjąć temperaturę nominalną pracy walczaka przewidzianą w projekcie, bądź względnie najbliższą wartość temperatury przewidzianej warunkami technicznymi odbioru materiału, normami itd.

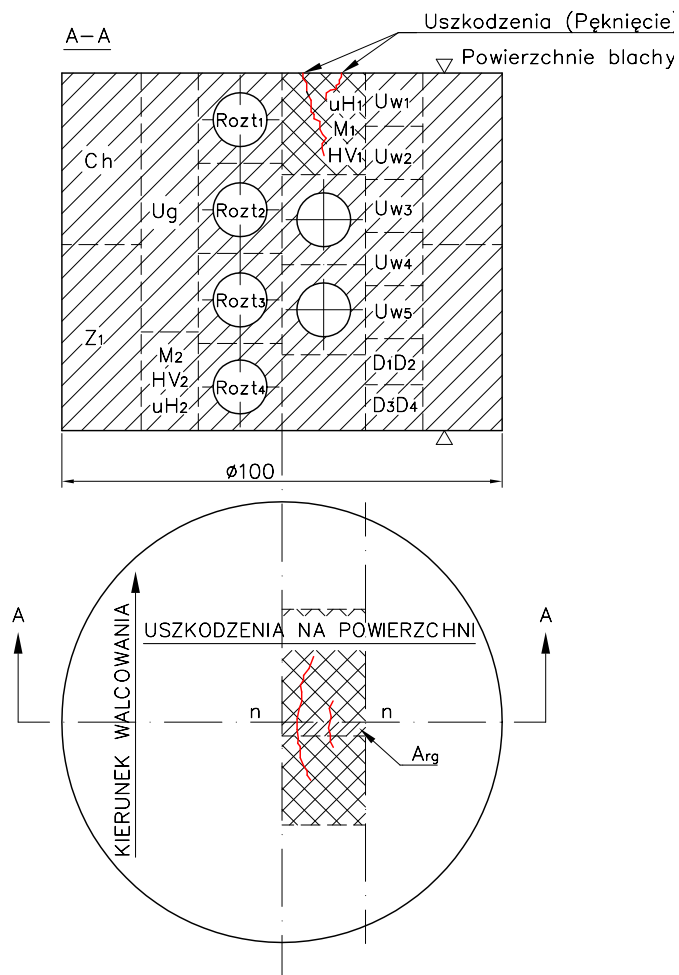
Umożliwi to porównanie własności z wartościami znormalizowanymi lub ujętymi w atestach. Przykładowo do zakresu prób wytrzymałościowych na gorąco mogą wchodzić:

- wyznaczenie granicy plastyczności R_{et} lub $R_{0,2}$ (z gwarantowaną dokładnością),
- wyznaczenie doraźnej wytrzymałości R_{mt} (na tej samej próbce co R_{et}),
- wyznaczenie udarności U_t .

Badania własności dynamicznych stali walczakowych o temperaturach innych niż 20°C mają na celu określenie progu kruchości związanego z temperaturą przejściową. Przykładowy schemat rozmieszczenia próbek z wycinka pełnej grubości oraz widok uszkodzenia na powierzchni przedstawia rysunek 16. Obszar zakresowany podwójnie obrazuje próbkę M_1 , HV_1 , H_1 , obejmując stwierdzone uszkodzenia (pęknięcie na powierzchni, które należy przeciąć prostopadle do powierzchni blachy wzdłuż n-n), w celu przeprowadzenia następujących badań:

- na odcinku I – badania strukturalne uszkodzeń oraz mikrotwardości H i twardości HV ,
- na odcinku II – badania autoradiograficzne na cenniejszej płytce pobranej z przekroju uszkodzonego.





Rysunek 16. Przykład rozplanowania próbek w wycinku $\varnothing 100$ mm blachy walczaka o grubości 85 mm

Oznaczenia próbek:

Rm – wytrzymałość

$ROZt$ – granica plastyczności

Uw – udarność wzdłużna

Ug – udarność w kierunku grubości blachy

Ch – analiza chemiczna

M – metalografia

HV – twardość Vickersa

Z – odc. zapas

μH – mikrotwardość

D – badania dyfraktometryczne

$P - Ch$ – badania fizyko-chemiczne

Arg – autoradiografia.

5. BADANIA METALOGRAFICZNE

Dokładne rozpoznanie charakteru uszkodzeń jest możliwe dopiero po przeprowadzeniu badań strukturalnych na próbkach wyciętych z wadliwych miejsc. W przypadku, gdy możliwe jest pobranie fragmentu z powierzchni przełomu, należy przeprowadzić analizę mikrograficzną pod dużym powiększeniem oraz fraktografię przy użyciu mikroskopu skaningowego. Celem takich badań jest m. in.:

- określenie czy przełom jest kruchy, czy plastyczny,
- ocena przebiegu złomu (międzykrystaliczny czy „poprzez ziarno”),
- określenie charakteru zmęczeniowego lub termozmęczeniowego pęknięcia.

Zakres badań strukturalnych obejmuje:

1. badania metalograficzne miejsc uszkodzonych oraz struktury na przekrojach prostopadłych do powierzchni blachy lub złącza. Obserwacje należy przeprowadzić na mikroskopach metalograficznych przy powiększeniach 100% oraz 400x – 600x i 1000x – 2000x w zależności od możliwości mikroskopu. Głównymi celami takiego badania są:
 - oceny rodzaju, ilości i rozmieszczenia wtrąceń niemetalicznych lub nieciągłości pierwotnych pochodzących z procesu hutniczego (obszarów rzadzisz, pęcherzy, mikropęknięć i pęknięć, zawalcowania itp.),
 - oceny pasmowości blachy wg wzorców znormalizowanych,
 - obecności martenzytu, ewentualnie bainitu o zbyt wysokiej twardości będącej dowodem nieprawidłowej obróbki cieplnej blachy,
 - obecności struktury Widmanstättena, nawet jeśli twardość zawiera się w prawidłowych granicach, która jest dowodem niekorzystnych własności plastycznych stali.
2. badania na mikroskopie elektronowym skaningowym, mikrosondzie rentgenowskiej itp. prowadzące do oceny:
 - zaawansowania procesów „niskocyklicznego” zmęczenia, termozmęczenia lub lokalnego umocnienia ziarna,
 - struktury granic ziarna z uwzględnieniem objawów braku spójności (mikropęknięcia, pustki), nasilenia defektów sieciowych lub obecności obcych faz i wydzielen (np. węgliki lub wtrącenia niemetaliczne),
 - charakteru przełomu (uszkodzenie walczaka), uwzględniając przebieg międzykrystaliczny lub „poprzez ziarno”, ewentualnie obecność wydzielen lub wtrąceń na przełomie,
 - stopnia mikrosegregacji składników.
3. badania rentgenostrukturalne fazowe oraz tekstury,
4. badania autoradiograficzne niejednorodności rozmieszczenia składników stopowych w strukturze materiału blachy (np. Cu, Cr i Mo).

W zależności od wielkości posiadanych próbek badania struktury należy poprzedzić analizą składu chemicznego.

6. SMALL PUNCH TEST (SPT)

Badanie metodą Small Punch Test (SPT) to mało inwazyjna technika wykorzystywana do określania mechanicznych właściwości materiałów konstrukcyjnych, w tym materiałów eksploatowanych w warunkach wysokiej temperatury i naprężeń pełzających. Ze względu na niewielką ilość materiału potrzebnego do przeprowadzenia próby, metoda znajduje zastosowanie szczególnie w diagnostyce i ocenie trwałości elementów kotłów i rurociągów, których eksploatacja przekroczyła 100 000 godzin, a możliwości poboru standardowych próbek są ograniczone.

SPT polega na ściskaniu cienkiej, dyskowej próbki (zwykle o średnicy 8 mm i grubości 0,5 mm) za pomocą kulistego stempla (ang. *punch*), który wywiera nacisk centralnie w osi próbki. Próbka jest osadzona w matrycy i poddawana odkształceniu aż do przebicia. Proces ten przeprowadzany jest najczęściej w temperaturze otoczenia, ale możliwa jest także próba w podwyższonej temperaturze (np. 300–750°C) dla oceny zachowania materiału w warunkach pełzania (tzw. Small Punch Creep Test).

Na podstawie rejestracji siły przebicia i przemieszczenia stempla wyznaczane są następujące parametry:

- umownej granicy plastyczności,
- wytrzymałości na rozciąganie,
- wydłużenia do zerwania,
- temperatury przejścia w stan kruchy,
- odporności na pełzanie podczas skróconych prób pełzania (tzw. Small Punch Creep Test).

Zaletą metody jest możliwość uzyskania reprezentatywnych danych mechanicznych nawet z bardzo małych próbek, co czyni ją szczególnie przydatną w ocenie materiałów wyeksploatowanych lub zmodernizowanych. Próbki do badań można przygotować m.in. z mikrowycinków pobieranych z powierzchni wewnętrznych lub zewnętrznych płaszcza walczaka, najczęściej w miejscach, gdzie wcześniej pobrano materiał do badań metalograficznych.

Dzięki SPT możliwa jest szybka ocena degradacji materiału, wpływu długookresowej eksploatacji na jego właściwości, a także porównanie stanu technicznego różnych obszarów walczaka. Metoda pozwala także na wykrycie lokalnych zmian w mikrostrukturze, które nie są możliwe do zaobserwowania w badaniach nieniszczących.

7. BADANIA POZOSTAŁE

Pozostałe badania jakie można przeprowadzić to:

- analiza naprężeń w obszarach określonych przy pomocy niskobazowych czujników tensometrycznych,
- specjalne badania fizykochemiczne mające na celu określenie odporności na korozję itp.,
- sprawdzenie zawiesznień walczaka i pomiary geodezyjne.

ANALIZA OBLICZENIOWA POD KĄTEM ZMĘCZENIA

Monitorowanie online parametrów pracy walczaka kotłów parowych (dot. przede wszystkim zmęczenia) jest kluczowe dla zapewnienia bezpiecznej pracy całego bloku energetycznego oraz dla oceny niezawodności i efektywności ich pracy. Zgodnie z wymaganiami norm PN-EN 12952-4 i PN-EN 13480-3, zastosowany system monitoringu powinien rejestrować rzeczywiste warunki eksploatacji, szczególnie w przypadkach, gdy urządzenia pracują w trybie regulacyjnym, który nie był pierwotnie przewidziany na etapie projektowania.

Praca urządzeń w trybie regulacyjnym, nieuwzględniona na etapie projektowania, zwiększa ryzyko przyspieszonego zużycia materiału, wynikającego z częstych zmian parametrów pracy. Monitorowanie takiego bloku powinno być skoncentrowane głównie na elementach grubościennych. Wprowadzenie systemu monitoringu, który pozwoliłoby na ocenę procesu zmęczenia walczaka wydaje się kluczowe dla zachowania bezpieczeństwa eksploatacji oraz oceny niezawodności urządzenia. Stąd niezbędne jest prowadzenie analizy pozyskiwanych danych w sposób ciągły w celu precyzyjnego szacowania stopnia wyczerpania trwałości eksploatacyjnej. Jednocześnie szybkie wykrywanie nawet niewielkich odchyłeń od norm umożliwia podjęcie natychmiastowych działań zapobiegawczych, minimalizując ryzyko awarii oraz przedłużając żywotność urządzenia. Monitorowanie parametrów online pozwala również na efektywne planowanie badań diagnostycznych oraz dostarcza istotne informacje do podejmowania strategicznych decyzji dotyczących utrzymania ruchu.

Jednym z kluczowych aspektów takiego monitoringu urządzeń pracujących w warunkach zmęczenia jest bieżąca analiza stopnia ich zużycia w zakresie tych dwóch procesów degradacyjnych. Obliczenia takie powinny być prowadzone na podstawie aktualnych norm, w tym przypadku w szczególności normy PN-EN 12952-4, która opisuje procedurę oceny trwałości elementów pracujących w warunkach zmęczenia na podstawie zarejestrowanych danych oraz sztywnych przedziałów tj. nawiązujących do średnich temperatur z analizowanych przedziałów czasowych.

Do najważniejszych parametrów monitorowanych online należą:

- temperatura metalu na podstawie pomiaru płytkiego oraz głębokiego, umożliwiającego wyznaczenie gradientu temperatur w ścianie analizowanego elementu;
- ciśnienie wewnętrzne;
- rzeczywista grubość ścianek uwzględniająca korozję i erozję.

W celu oceny stopnia zużycia materiału w wyniku zmęczenia należy stosować metodę obliczeniową opisaną w normie PN-EN 12952-4.

Wyznaczenie uszkodzenia powodowanego zmęczeniem (D_f) wymaga odpowiedniego rozmieszczenia czujników temperatury, które umożliwiają pomiar różnicy temperatur w ścianie badanego elementu. Uzyskana wartość ΔT pozwala na określenie naprężeń zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12952-3.

Obliczenia naprężeń powinny być przeprowadzone zgodnie z hipotezą von Missesa opisaną w normie PN-EN 12952-4. Należy przy tym uwzględnić:

- naprężenia mechaniczne wynikające z działania ciśnienia wewnętrznego;
- naprężenia termiczne powstające na skutek różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią zewnętrzną a wewnętrzną ścianki elementu.

Implementacja metody wyznaczania zużycia zmęczeniowego w oparciu o pomiary online wymaga wykonania co najmniej następujących kroków:

- wyznaczenie historii naprężeń;
- identyfikacja wartości ekstremalnych naprężeń;
- eliminacja ekstremów związanych z małymi cyklami obciążenia
- identyfikacja cykli obciążeń.

Przy wyznaczaniu naprężeń należy uwzględnić wiarygodność zmierzonych wartości, które stanowią dane pośrednie w procesie obliczeniowym. Najprostszym sposobem weryfikacji jest określenie dopuszczalnych zakresów wartości oraz ich zmian. W przypadku zmęczenia niskocyklicznego, obliczanego zgodnie z normą PN-EN 12952-4, czas trwania naprężenia ani odstęp czasowy między ekstremami nie wpływają bezpośrednio na wynik. Mimo to, dla poszczególnych elementów ustala się odpowiednie okresy próbkowania oraz stosuje znacznik czasowy dla każdego pomiaru. W analizie należy również uwzględnić geometrię badanego elementu, w tym m.in. średnicę, grubość ścianki oraz rozmieszczenie króćców. Istotne są także właściwości wytrzymałościowe materiału, określone na podstawie normy hutniczej dla stali, z której wykonano element, na którym rozmieszczone są czujniki. W obliczeniach należy wykorzystać rzeczywistą, zmierzoną grubość ścianki. Oznacza to, że wszelkie ubytki materiału spowodowane korozją lub erozją, które mogły wystąpić w trakcie eksploatacji aż do momentu analizy, powinny być uwzględnione w modelu obliczeniowym.

Wyznaczenie stopnia zużycia zmęczeniowego bez wykorzystania danych pomiarowych wymaga posiadania szczegółowej historii eksploatacji analizowanego elementu. Niezbędne są informacje takie jak liczba uruchomień, liczba odstawień oraz inne dane dotyczące pracy urządzenia, które mogły mieć wpływ na jego zużycie. Wszystkie dane powinny zostać zweryfikowane, m.in. na podstawie książki ruchu kotła oraz innych dokumentów potwierdzających ich wiarygodność. Procedura wyznaczania naprężeń pozostaje taka sama jak w przypadku metody opartej na pomiarach online. Właściwości fizyczne stali, niezbędne do przeprowadzenia analizy naprężeń, należy przyjmować zgodnie z załącznikiem D normy PN-EN 12952-3, w zależności od grupy materiałowej, z której wykonany jest analizowany element.

Algorytmy służące do wyliczenia zużycia pełzaniem oraz zmęczeniem powinny być uzgodnione i zwalidowane przez UDT.

Po osiągnięciu sumarycznego zużycia zmęczeniowego $D_f = 50\%$, należy przeprowadzić odpowiednie badania nieniszczące (NDT) lub skrócić odstępy między kolejnymi badaniami diagnostycznymi.

Dane uzyskiwane w procesie obliczeń online powinny być bezpośrednio integrowane z systemami informacyjnymi służącymi do analizy predykcyjnej, opartymi na algorytmach sztucznej inteligencji (AI) oraz uczenia maszynowego (ML). Takie podejście umożliwia:

- bieżącą analizę tendencji zmian zużycia i degradacji materiału,
- automatyczne wykrywanie nietypowych wzorców eksploatacyjnych, mogących sugerować przyspieszenie procesów pełzania i zmęczenia,
- tworzenie precyzyjnych modeli prognostycznych na podstawie wyliczonych wartości D_f do przewidywania przyszłego zużycia elementów oraz planowania działań diagnostycznych, remontowych i konserwacyjnych.

BADANIA ZWIĄZANE Z NAPRAWĄ

W przypadku wykrycia w czasie badań nieciągłości powierzchniowych o głębokości nieprzekraczającej naddatku grubości ścianki płaszcza walczaka należy je (z wyjątkiem nieciągłości powierzchniowych w złączach kątowych centralnych rur opadowych i tulei włazowych) usunąć przez szlifowanie. Naprawy ubytków materiałowych powinny być wykonane po uprzednim rozpoznaniu i usunięciu przyczyn powstania uszkodzenia.

W przypadku pęknięć powierzchniowych, należy szlifować je do momentu całkowitego zaniku pęknięcia. Trzeba jednak zachować ostrożność, dbając o odpowiednią geometrię powierzchni oraz kontrolując głębokość szlifowanego miejsca, mając na uwadze minimalną grubość ścianki walczaka.

W przypadku pęknięć na granicy tworzącej walczaka można usunąć pęknięcia poprzez szlifowanie. Jednakże należy zachować szczególną ostrożność, gdyż może dojść do wytworzenia nieokrągłości otworu po szlifowaniu. W takim przypadku ze względu na rozkład naprężeń trzeba doprowadzić w miarę możliwości do rozszlifowania otworu do zarysu okrągłego. Należy zwrócić szczególną uwagę na wymiar mostków pomiędzy otworami, średnicę pozostawionego otworu oraz głębokość miejsca szlifowanego. Po szlifowaniu zaleca się wykonanie badań UT i MT w obszarze szlifowania.

Wszystkie pęknięcia poddane zabiegowi szlifowania powinny mieć powierzchnię o łagodnych przejściach z grubości np. nominalnej do grubości minimalnej, gdzie wykazano brak pęknięć.

Jeżeli na ściankach walczaka wykryto pęknięcia wymagające naprawy przez spawanie, to przed naprawą należy pobrać próbki materiału celem sprawdzenia struktury i udarność stali oraz ustalenia właściwej regeneracyjnej obróbki cieplnej.

Jeżeli wykryte nieciągłości powierzchniowe są głębsze od naddatku grubości ścianki płaszcza walczaka i podjęta zostanie decyzja o naprawie walczaka spawaniem, wykryte nieciągłości należy również usunąć, np. metodą szlifowania lub frezowania, a następnie przeprowadzić ponowne badania defektoskopowe.

Nieciągłości większe od dopuszczalnych (powierzchniowe lub wewnętrzne), wykryte w połączeniach spawanych króćców centralnych rur opadowych lub tulei włazowych, należy usuwać metodą żłobienia elektropowietrznego lub przez szlifowanie.

Zgodnie z ustawą o dozorcze technicznym każda naprawa urządzenia technicznego wymaga uzgodnienia z Urzędem Dozoru Technicznego. Firma naprawiająca musi posiadać odpowiednie uprawnienia oraz uprzednio przedstawić sposób naprawy w celu jego uzgodnienia.

Przed rozpoczęciem naprawy walczaka należy złożyć do UDT wnioski o jej uzgodnienie. Wniosek powinien zawierać:

- zakres planowanej naprawy,
- opis technologii wykonania (wraz z odniesieniem do zatwierdzonych przez UDT dokumentów lub – w przypadku braku uprawnień – ich szczegółowy opis),
- metody i zakres badań niszczących i nieniszczących oraz kryteria ich akceptacji.

Inspektor UDT weryfikuje, czy zakres prac mieści się w definicji naprawy. Jeśli nie – wniosek traktowany jest jako wniosek o modernizację i wymaga uzupełnienia dokumentacji.

W przypadku zgodności zakresu z definicją naprawy, uzgodnienie może być dokonane pisemnie lub w formie wpisu do protokołu. Podczas uzgadniania dokumentacji UDT sprawdza, czy zaproponowane technologie mieszczą się w uprawnieniach wykonawcy. Gdy procedury wykraczają poza te uprawnienia, uzgodnienie może być warunkowe i wymaga dodatkowego nadzoru.

Po zakończeniu naprawy urządzenia technicznego, a przed rozpoczęciem badania doraźno-eksploatacyjnego, inspektor UDT sprawdza:

- czy zakres naprawy odpowiada zakresowi uzgodnionemu w przedłożonej dokumentacji,
- czy technologie zastosowane przy naprawie zostały zatwierdzone przez UDT,
- kompletność i poprawność dokumentacji powykonawczej,
- w przypadku podmiotu świadczącego usługę naprawy okazjonalnie, czy spełnione zostały wymagania wynikające z nadzoru technologii.

W trakcie badania doraźnego inspektor sprawdza prawidłowość wykonania naprawy zgodnie z dokumentacją powykonawczą oraz weryfikuje wyniki przeprowadzonych badań niszczących i niszczących.

Po naprawie walczak poddany zostaje próbie hydraulicznej zgodnie z uzgodnioną dokumentacją naprawy. Następnie sporządzone zostaje sprawozdanie, które stanowi podstawę do podjęcia decyzji odnośnie dopuszczenia walczaka do eksploatacji.



DOKUMENTACJA BADAŃ DEFECTOSKOPOWYCH

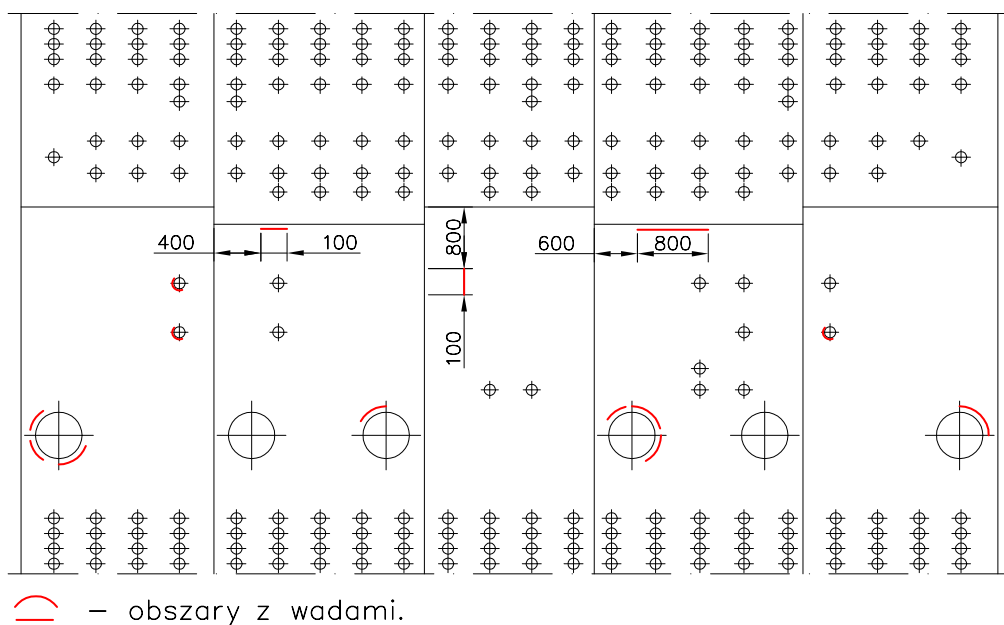
Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno, oprócz części opisowej, zawierać również sekcję z wynikami, umożliwiającą rekonstrukcję ujawnionych nieciągłości w walczaku. Dokumentacja ta może być sporządzona w formie graficznej, tabelarycznej lub fotograficznej, w zależności od charakteru i rodzaju wykrytych nieciągłości.

1. DOKUMENTACJA GRAFICZNA

Dokumentację graficzną wykonuje się przede wszystkim w celu przedstawienia wykrytych nieciągłości w badanym walczaku. W tym celu wykorzystuje się wyniki wszystkich zastosowanych metod badawczych. Dokumentacja graficzna składa się zasadniczo z dwóch zestawów rysunków:

- schematu rozwinięcia wewnętrznej powierzchni płaszcza walczaka z zaznaczonymi obszarami występowania nieciągłości powierzchniowych oraz współrzędnymi tych obszarów,
- szczegółowych szkiców wykonanych do określenia położenia nieciągłości w złączach spawanych króćcach oraz tulejach włazowych.

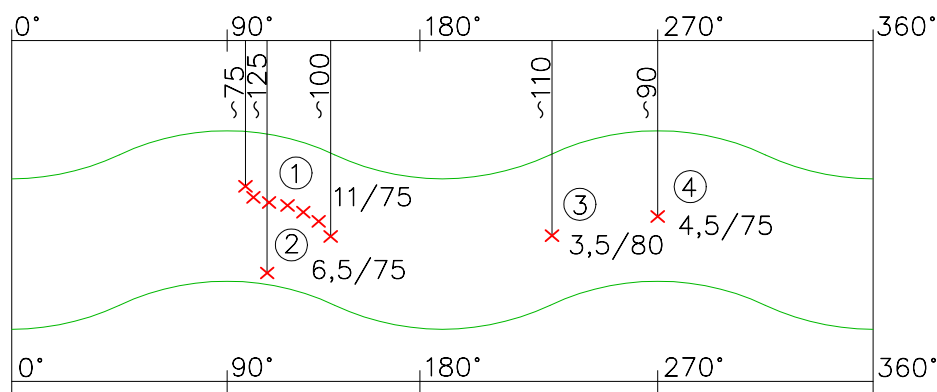
Przykład schematu rozwinięcia płaszcza walczaka z naniesionymi obszarami występowania nieciągłości pokazano na rysunku 17. Schemat ten powinien być uzupełniony zestawieniem tabelarycznym podającym liczbę wykrytych nieciągłości oraz ich rozmiary.



Rysunek 17. Rozwinięcie płaszcza walczaka po średnicy wewnętrznej kotła OP-380b

Króćce centralnych rur opadowych należy ponumerować kolejno, zaczynając od strony dennicy, na której umieszczona jest tabliczka znamionowa walczaka. Kąt załęgania nieciągłości w połączeniu spawanym króćca określa się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, przyjmując 0° w osi wzdłużnej walczaka od strony dennicy z tabliczką znamionową.

Przykład wykonanego szkicu rozwinięcia połączenia spawanego króćca centralnej rury opadowej wraz z oznaczonymi nieciągłościami przedstawia rysunek 18.



② – Kolejny nr wady.

11/75 – ϕ_{EKW} /Odległość od powierzchni wew. króćca [mm]

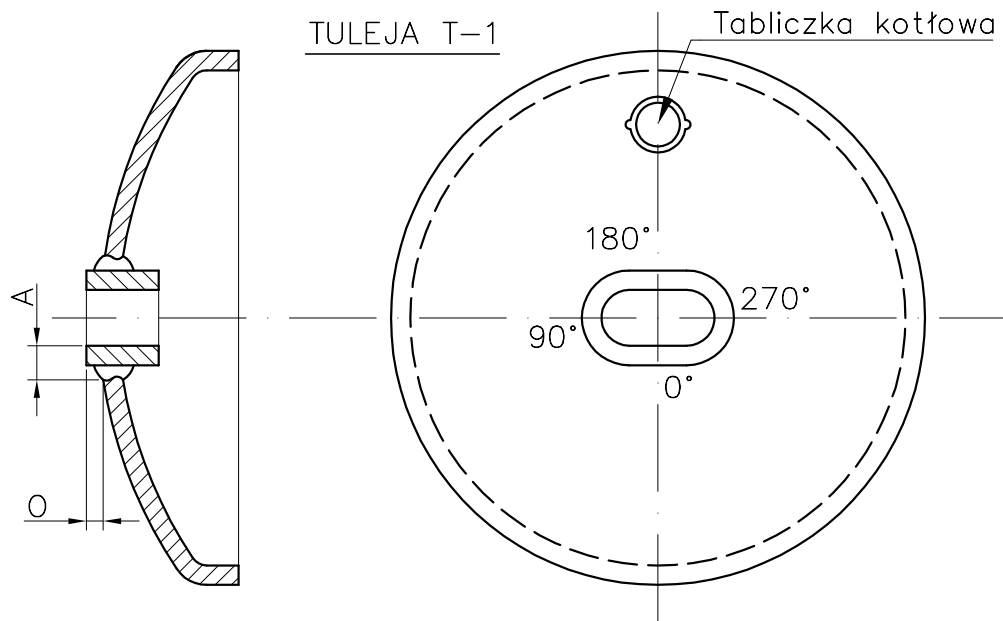
Rysunek 18. Schemat rozmieszczenia nieciągłości wewnętrznych na rozwinięciu złącza spawanego króćca CRO

Podobnie jak dla króćców centralnych rur opadowych, przy badaniu połączeń spawanych tulei włączowych wykonuje się szczegółowe szkice. Na szkicach tych zaznacza się usytuowanie nieciągłości, a ich charakterystykę przedstawia zestawienie tabelaryczne podane wraz ze szkicem. Tuleje numeruje się podobnie jak króćce centralnych rur opadowych, tzn. za tuleją T1 przyjmuje się tuleję umieszczoną w dennicy z tabliczką znamionową walczaka, a za tuleją T2 – tuleję umieszczoną na przeciwnej dennicy.

Kąt zalegania nieciągłości w połączeniach spawanych tulei włączowych określa się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, dla tulei T1 od zewnętrznej powierzchni walczaka, a dla tulei T2 od wewnętrznej powierzchni walczaka przyjmując 0° w osi pionowej tulei od strony dna walczaka.

Przykłady wykonanych szkiców tulei włączowych z zaznaczonymi nieciągłościami w połączeniach spawanych pokazano na rysunkach 19 i 20.





A. Wady wewnętrzne.

Kol. nr wady	$\phi_{ekw.}$	Kąt zalegania wady	O	A	Uwagi

B. Wady powierzchniowe.

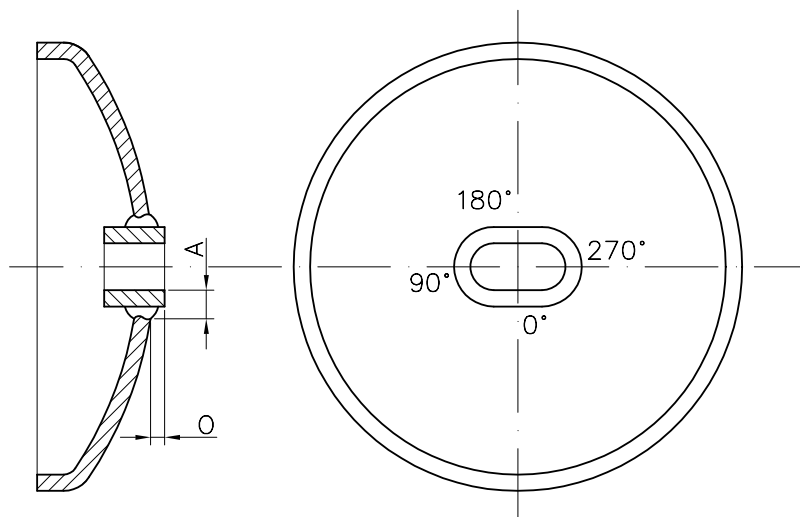
Kol. nr wady	Kąt zalegania wady	Wymiar wady		Uwagi
		długość [mm]	głębokość [mm]	

Legenda:

- wady powierzchniowe od strony zewnętrznej walczaka;
- ∩ wady powierzchniowe od strony wewnętrznej walczaka;
- x wady wewnętrzne.

Rysunek 19. Schemat tulei włączowej numer 1

TULEJA T-2



A. Wady wewnętrzne.

Kol. nr wady	$\varnothing_{ekw.}$	Kąt zalegania wady	O	A	Uwagi

B. Wady powierzchniowe.

Kol. nr wady	Kąt zalegania wady	Wymiar wady		Uwagi
		długość [mm]	głębokość [mm]	

Legenda:

- wady powierzchniowe od strony zewnętrznej walczaka;
- ~ wady powierzchniowe od strony wewnętrznej walczaka;
- x wady wewnętrzne.

Rysunek 20. Schemat tulei włączowej numer 2

2. DOKUMENTACJA TABELARYCZNA

Poniżej podano przykładowy sposób tabelarycznego zapisu nieciągłości:

Kolejny numer nieciągłości	Nazwa badanego obszaru z wykrytymi nieciągłościami	Liczba nieciągłości	Wymiary nieciągłości długość [mm]	Wymiary nieciągłości głębokość [mm]	Uwagi
1	<i>Spoina wzdłużna</i>	3	20-100	2-7	
2	<i>Spoina kątowa króćca C.R.O Nr 2</i>	1	50	4	∠ 90-105°
3	<i>Krawędzie otworów rur ekranowych</i>	2	4-10	0,5-2	

Dokumentację tabelaryczną stosuje się dla ściślejszego określenia wykrytych nieciągłości powierzchniowych podanych w dokumentacji graficznej. Powinna ona zawierać nazwę badanego obszaru z wykrytymi nieciągłościami, kolejny numer nieciągłości odpowiadający numerowi naniesionemu na schemacie, a także liczbę wykrytych nieciągłości, w przypadku występowania kilku pęknięć obok siebie, oraz ich głębokość i długość.

3. DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA

Dokumentację fotograficzną można wykonać w miejscach ujawnionych nieciągłości na powierzchni walczaka – niezależnie od wykonanej dokumentacji w innej formie. Jeżeli w sprawozdaniu występuje dokumentacja graficzna, wtedy fotografie stanowią materiał uzupełniający, wrywkowo przedstawiając najistotniejsze szczegóły nieciągłości. W przypadku, gdy występują trudności w prawidłowym odtworzeniu graficznym nieciągłości, w szczególności pęknięć, podstawową dokumentacją wadliwości badanego elementu jest właśnie dokumentacja fotograficzna. Przed wykonaniem fotografii powierzchni uszkodzonego walczaka należy w obrębie ujęcia nanieść kolejny numer nieciągłości i wskaźnik długości.

DOKUMENTACJA BADAŃ SPECJALNYCH

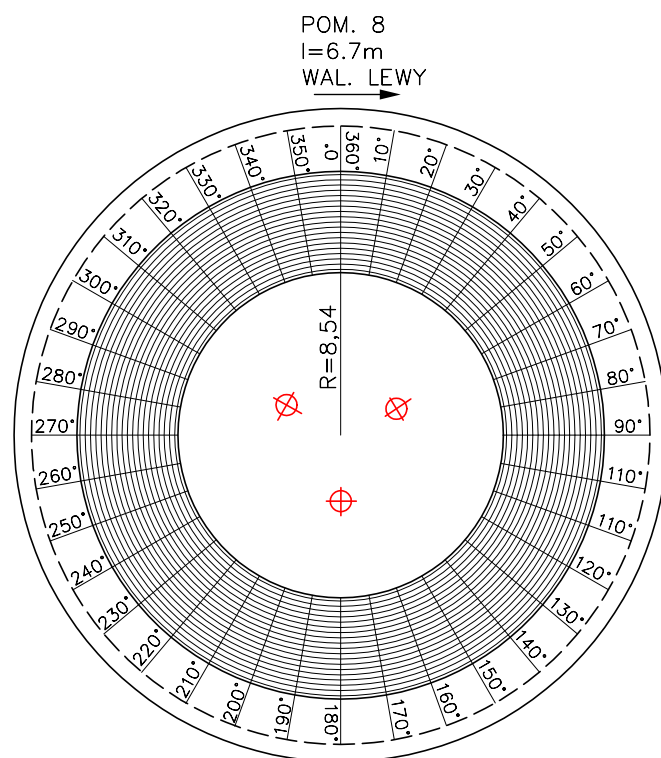
1. DOKUMENTACJA POMIARÓW OWALIZACJI

1.1. Dokumentacja tabelaryczna

Otrzymany w wyniku pomiarów wykres przedstawiający w odpowiedniej skali zarys wewnętrznego kształtu przekroju poprzecznego walczaka (rysunek 21) wraz z dodatkowymi danymi takimi jak: numer fabryczny walczaka, numer kolejnego pomiaru, promień walczaka w danym przekroju odczytywany na nodze mocującej przyrządu, odległość mierzonego przekroju od stałej płaszczyzny odniesienia, ciśnienie robocze walczaka, temperatura robocza walczaka, materiał walczaka, średnica zewnętrzna walczaka, rzeczywista średnica grubości ścianki walczaka w danym przekroju – należy wykorzystać w celu wyznaczenia wartości naprężeń gnących wynikających z nieokrągłości kształtu w poszczególnych punktach pomiaru. Wyniki przeprowadzonych obliczeń należy przedstawić w formie tabelarycznej w protokole, zgodnie z obowiązującym szablonem CLDT lub innym wzorem stosowanym przez uznane laboratorium badawcze.

Dla każdego punktu pomiarowego badanego przekroju tabela powinna zawierać:

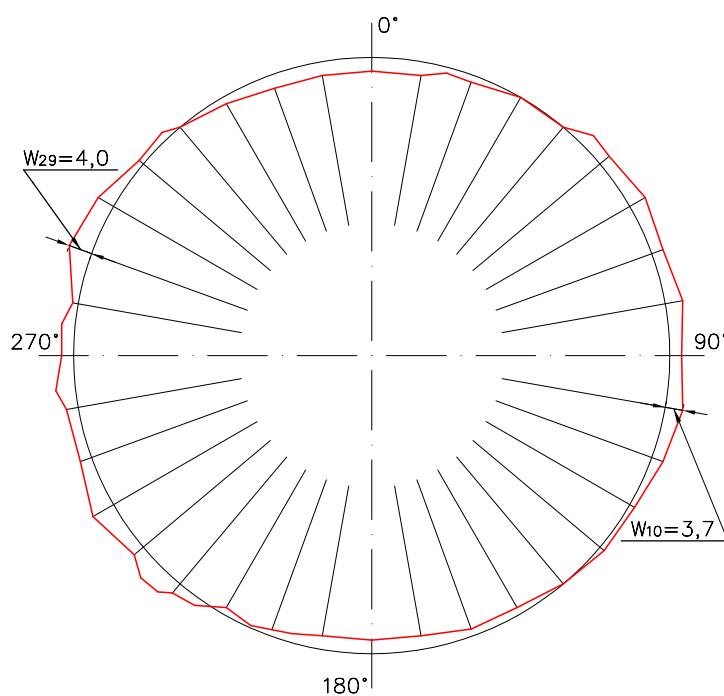
- wartość promienia zmierzonego (RZM),
- wartość promienia obliczonego – rzeczywistego (R OBL),
- wartość liczby naprężeń gnących (PSI),
- wartość naprężeń gnących od nieokrągłości (SIG),
- oraz dla każdej płaszczyzny pomiarowej:
 - średnie naprężenie w ściance walczaka (SIGMA P),
 - maksymalne naprężenie w pełnej ściance z uwzględnieniem naprężeń gnących (SIGMA PG max),
 - maksymalne naprężenie na krawędzi otworu rurowego z uwzględnieniem naprężeń gnących (SIGMA OPG max),
- kątów, w których występują ww. max. naprężenia.



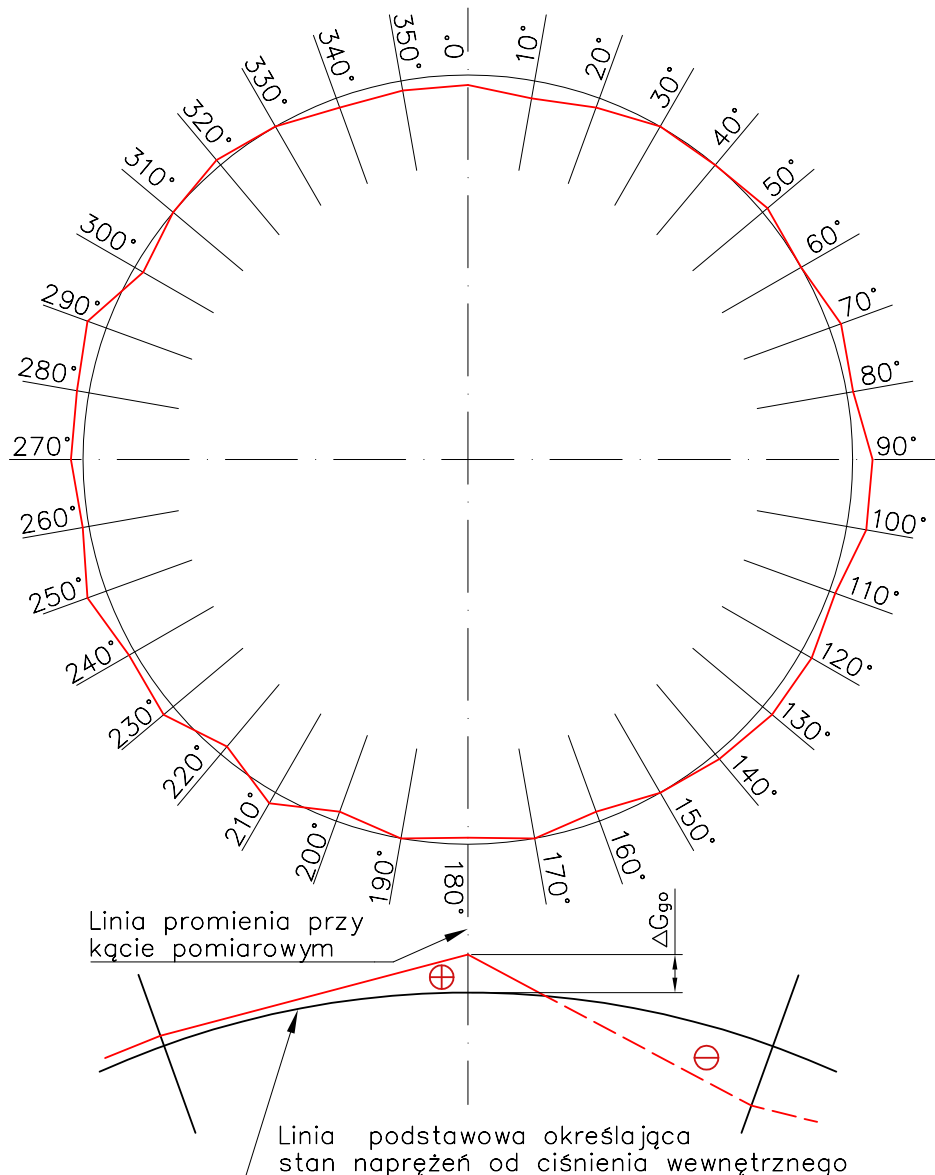
Rysunek 21. Wykres wewnętrznego kształtu przekroju poprzecznego walczaka

1.2. Dokumentacja graficzna

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń sporządzane są wykresy odchyień od przekroju kołowego (rysunek 22) oraz wykres rozkładu naprężeń gnących na wewnętrznej powierzchni walczaka. Naprężenia te można przedstawić zarówno na rozwinięciu płaszcza walczaka, jak i na rysunku przekroju poprzecznego walczaka w danej płaszczyźnie pomiarowej (rysunek 23).



Rysunek 22. Wykres odchyień promieni od przekroju kołowego walczaka



OBJAŚNIENIA:

Podziałka 1mm–20 Mpa

$\pm \Delta G_{go}$ –przyrost naprężeń gnących od nieokrągłości walczaka

Rysunek 23. Wykres naprężeń gnących powstających w wyniku nieokrągłości walczaka

2. DOKUMENTACJA POMIARÓW GRUBOŚCI

Otrzymane wyniki pomiarów grubości należy zestawić w formie tabeli zawierającej numer porządkowy pomiaru, oznaczenia i współrzędne mierzonych obszarów oraz uzyskaną grubość ścianki. Oprócz tego wszystkie obszary, w których przeprowadzono pomiary, należy nanieść na rysunek rozwinięcia płaszcza walczaka.

3. DOKUMENTACJA BADAŃ METALOZNAWCZYCH

3.1. Dokumentacja badań wytrzymałościowych

Dokumentacja pomiarów twardości na walczaku powinna zawierać:

- opis miejsca pomiarów, zaznaczonych na rysunku walczaka lub widocznego na fotografii,
- protokół z pomiarów należy sporządzić w formie tabelarycznej, zgodnie z obowiązującym szablonem CLDT lub innym wzorem stosowanym przez uznane laboratorium badawcze – osobno dla materiału oraz dla złączy spawanych.

Dokumentacja badań własności mechanicznych na wycinkach powinna zawierać:

- dokładny opis miejsca pobrania wycinka z walczaka z zaznaczeniem na rysunku, ewentualnie na fotografii walczaka,
- opis kształtu oraz wielkości wycinka (z podaniem wymiarów po wycięciu),
- schemat rozplanowania pobrania próbek do badań wytrzymałościowych z naniesieniem oznaczeń,
- protokół z prób wytrzymałościowych należy sporządzić w formie tabelarycznej, uwzględniając dane odpowiednie dla rodzaju przeprowadzonych prób, zgodnie z obowiązującym szablonem CLDT lub innym wzorem stosowanym przez uznane laboratorium badawcze.

3.2. Dokumentacja badań metalograficznych

Wyniki badań metalograficznych należy przedstawić w następujący sposób:

- badania makroskopowe powinny być udokumentowane fotograficznie wraz z opisem badanego miejsca,
- dokumentacja badań mikroskopowych powinna zawierać fotografię zgładów nietrawionych i po trawieniu oraz opis obejmujący sposób przygotowania i trawienia zgładu, jak również zestawienie widocznych elementów strukturalnych z oceną jakościową i ilościową.

PRZEPISY BHP

Potencjalne zagrożenia związane z badaniem walczaka to m.in.:

- ryzyko poparzenia w wyniku przedostania się do walczaka gorącej wody lub pary z powodu niezapewnienia szczelnego odcięcia kotła od innych urządzeń,
- udar cieplny na skutek długotrwałej pracy w niedostatecznie wystudzo-
nym walczaku, w sąsiedztwie innych pracujących kotłów,
- możliwość porażenia prądem elektrycznym z układów zasilających wykorzystywanych do badań defektoskopów magnetycznych i ultradźwiękowych,



- urazy ciała wynikające z ciasnej przestrzeni badania, słabej widoczności, wystających ostrych krawędzi blach czepnych pozostałych po usuniętych urządzeniach separacyjnych, śliskiej powierzchni na skutek rozlanej cieczy podczas badań magnetycznych, ciasnych włazów itp.,
- ryzyko zatrucia na skutek wdychania produktów spalania węglowodorów z nafty i oleju, powstającej miejscowo przy przyłożeniu elektrod defektoskopu magnetycznego, oparów penetrantów i roztworów trawiących,
- negatywne skutki działania promieniowania jonizującego w czasie obsługi defektoskopu przy badaniach radiograficznych.

SPOSOBY ZAPOBIEGANIA ZAGROŻENIOM

Badanie walczaka powinno być przeprowadzane z zachowaniem najwyższych standardów bezpieczeństwa, zgodnie z obowiązującymi procedurami BHP. Ze względu na charakter pracy – zamknięta przestrzeń, możliwe ostre krawędzie - działania inspekcyjne należy traktować jako prace w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia.

W związku z tym:

1. prace wewnątrz walczków jako prace w warunkach szczególnego zagrożenia zdrowia i życia ludzkiego muszą być podejmowane wyłącznie na podstawie pisemnego pozwolenia do wejścia wydanego przez eksploatującego,
2. osoba wydająca pozwolenie musi sprawdzić, czy przygotowania organizacyjne i techniczne zapewniają bezpieczeństwo pracownikom podczas wykonywania prac, oraz musi zapewnić stały nadzór i możliwość udzielenia natychmiastowej pomocy w razie nagłej potrzeby lub wypadku,
3. prace wewnątrz walczaka mogą być podjęte tylko po odpowiednim przygotowaniu,
4. w celu zapobiegania przedostaniu się wody, względnie pary, do walczaka należy bezwzględnie zapewnić odcięcie wszystkich rurociągów łączących walczak z innymi urządzeniami przez założenie na rurociągu zaślepki lub głowicy bezpieczeństwa (w przypadku połączeń kołnierzowych) dobranej odpowiednio do ciśnienia roboczego lub zamknięcie co najmniej dwuseregowo zainstalowanych w układzie zawieradeł. Zawieradła te powinny być zabezpieczone przed przypadkową zmianą położenia (np. łańcuchami z zamkniętymi kłódkami) oraz wyposażone w tablice ostrzegawcze. Przy dopuszczeniu do pracy dopuszczający powinien kierującego zespołem (brygadzystę) oraz zespół zaznajomić z urządzeniami i warunkami bezpieczeństwa w miejscu pracy,



5. aby uniknąć udaru cieplnego prace w walczakach mogą być wykonywane w temperaturze poniżej 30°C. Wykonywanie prac w walczakach w temperaturze do 50°C jest dozwolone pod warunkiem zastosowania:
- środków chłodzących i obniżających temperaturę powietrza otaczającego pracownika,
 - ubioru ochronnego,
 - przerw w pracy i odpoczynku na zewnątrz walczaka,
6. wewnątrz walczaków należy używać przenośnego sprzętu oświetleniowego i aparatów zasilanych napięciem znamionowym nie wyższym niż 24V. Zezwala się na stosowanie sprzętu i aparatury na napięcie znamionowe wyższe niż 24V w wykonaniu specjalnym, dopuszczonym do pracy w takich warunkach.
7. przed wejściem do walczaka należy otworzyć wszystkie otwory inspekcyjne. Jeżeli nie jest możliwe utrzymanie wystarczających parametrów powietrza w walczaku, należy stosować stały nadmuch powietrza. Osoby przebywające wewnątrz walczaka powinny być wyposażone w detektor wielogazowy. Aktywacja brzęczka oraz zapalenie się czerwonej diody jest sygnałem, że przekroczone zostały wartości granicznie mierzonych stężeń, lub jest oznaką uszkodzenia przyrządu. Należy w tym wypadku niezwłocznie opuścić walczak oraz sprawdzić w otoczeniu neutralnej atmosfery działanie detektora. Zabrania się wchodzić do urządzenia, jeżeli zawartość tlenu w jego wnętrzu wynosi mniej niż 19,5% lub więcej niż 22,5%.
8. w celu uniknięcia urazów głowy i innych części ciała badający powinien być bezwzględnie wyposażony w hełm ochronny oraz ubrany w ubranie robocze niekrępujące ruchów i w obuwie robocze. Dodatkowo pracownicy pracujący wewnątrz walczaka powinni być wyposażeni w okulary ochronne, zabezpieczenie kolan oraz rękawice.
9. w przypadku stosowania przez inspektora UDT środków ochrony indywidualnej dostarczonej przez eksploatującego, inspektor UDT powinien zostać zapoznany z zasadami ich stosowania,
10. prace wewnątrz walczaków powinny być wykonywane przez co najmniej 2 osoby. Osoby pracujące wewnątrz walczaków muszą być bezwzględnie asekurowane przez osobę będącą na zewnątrz walczaka. Osoba asekurowująca musi być w stałym kontakcie z pracownikami znajdującymi się wewnątrz walczaka oraz musi mieć możliwość niezwłocznego powiadomienia innych osób mogących, w razie potrzeby, niezwłocznie udzielić im pomocy.



GRANICZNE WARTOŚCI ŚREDNIE TWARDOŚCI DLA MATERIAŁÓW BLACH WALCZAKÓW O STOSUNKU

TABELA 1. MATERIAŁY

Lp.	Gatunek stali	Dolna granica HB		Górna granica HB	
		[MPa]		[MPa]	
		H_D	H_{min}	H_G	H_{max}
1	<u>St 36 k</u>	105	98	132	145
2	<u>St 41 K</u>	120	108	148	163
3	<u>St 44 K</u>	132	119	162	170
4	<u>K 22 M</u>	132	119	164	176
5	<u>18CuNMT</u>	165	148	204	224
6	K 32 Nb	165	148	204	224
7	16 GNM /ZSRR/	152	137	–	–
8	Ducol W 30 /Anglia/	165	148	194	213
9	15 MDV 405 /Francja/	155	140	183	201
10	BHW 38 /RFN/	183	165	224	246
11	WB 35 /RFN/	178	160	220	242

H_D – dolna granica twardości materiału wg zależności HB – f(Rm) rys. 12

H_{min} – dolna dopuszczalna granica twardości materiału z uwzględnieniem rozrzutu

H_G – górna granica twardości materiału wg zależności HB – f(Rm) – rys. 12

H_{max} – górna dopuszczalna granica twardości materiału z uwzględnieniem rozrzutu

TABELA 2. DOPUSZCZALNE ZAKRESY TWARDOŚCI ZŁĄCZ SPAWANYCH

Lp.	Gatunek stali	H_D [MPa]	$H_{z,max}$ [MPa]	Dopuszczalny zakres H_z [MPa]	
1	<u>St 36 k</u>	105	158	$H_M < H_z$	<158
2	<u>St 41 K</u>	120	180	$H_M < H_z$	<180
3	<u>St 44 K</u>	132	198	$H_M < H_z$	<198
4	<u>K 22 M</u>	132	198	$H_M < H_z$	<198
5	<u>18CuNMT</u>	165	247	$H_M < H_z$	<247
6	K 32 Nb	165	247	$H_M < H_z$	<247
7	16 GNM /ZSRR/	152	228	$H_M < H_z$	<228
8	Ducol W 30 /Anglia/	165	247	$H_M < H_z$	<247
9	15 MDV 405 /Francja/	155	232	$H_M < H_z$	<232
10	BHW 38 /RFN/	183	274	$H_M < H_z$	<274
11	WB 35 /RFN/	178	267	$H_M < H_z$	<267

H_D – dolna granica twardości wg zależności HB – f(Rm) – rys. 12

$H_{z,max}$ – maksymalna dopuszczalna twardość złącza spawanego

H_z – twardość złącza spawanego

H_M – twardość materiału

DOKUMENTY POWIĄZANE:

- Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 17 grudnia 2021 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego dla niektórych urządzeń ciśnieniowych
- Decyzja nr 25/95 Prezesa UDT z dnia 10 listopada 1995 r. w zakresie wykonywania hydraulicznych prób ciśnieniowych
- Ustawa o dozorze technicznym z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym (Dz. U. z 2024 r. poz. 1194)



eUDT

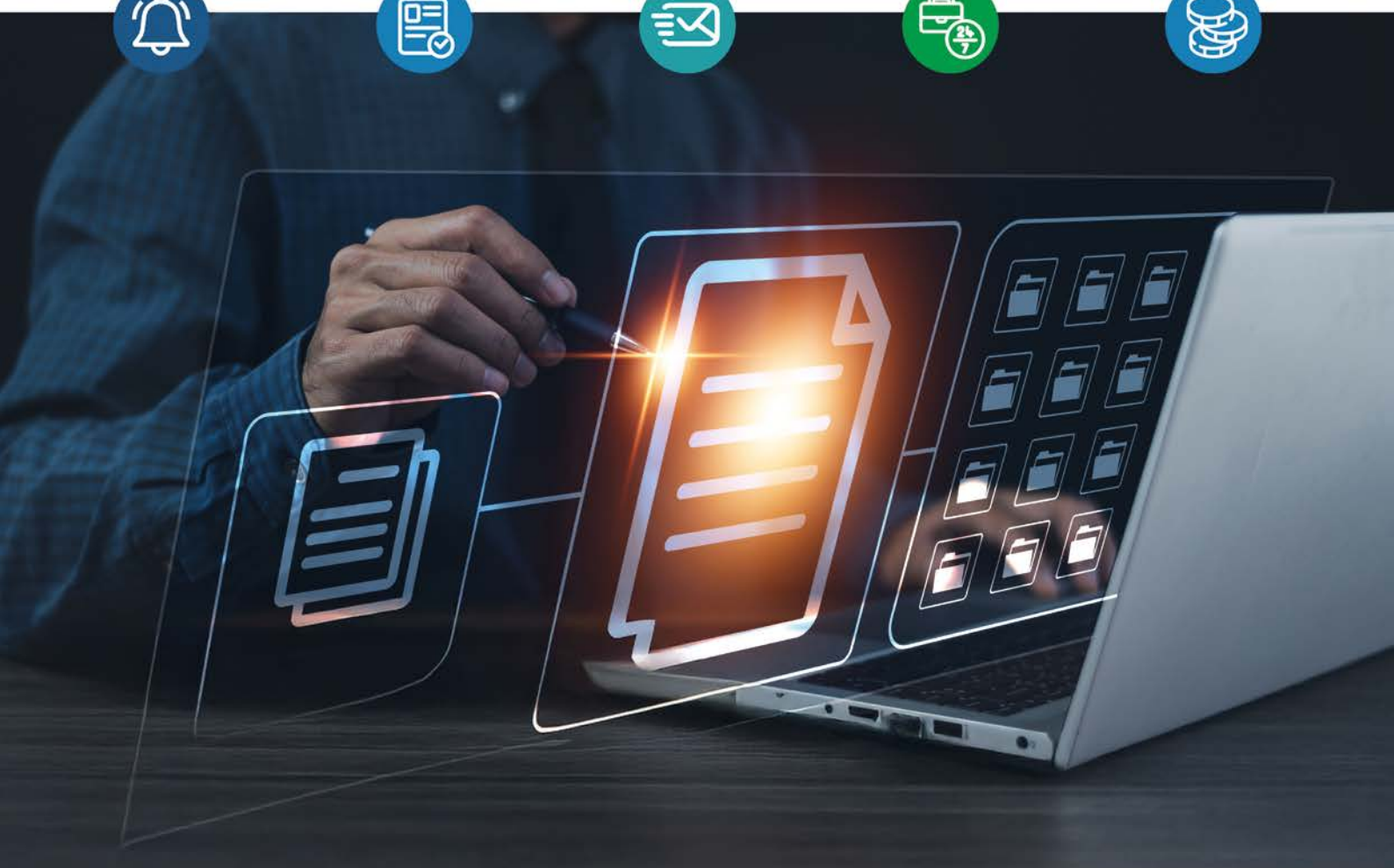
PORTAL INTERNETOWY

Urzędu Dozoru Technicznego

Załącz konto na portalu eUDT.

Wypełnij formularz rejestracyjny
dostępny na <https://eudt.gov.pl/>
i korzystaj z usług oferowanych przez

UDT on-line!



- Wygodny i szybki dostęp do informacji o Twoich urządzeniach, terminach badań i rozliczeniach finansowych z UDT
- Darmowy dostęp do portalu 24/7/365
- Łatwe i proste śledzenie zdarzeń związanych z Twoimi urządzeniami
- Możliwość ustawienia własnego kalendarza wydarzeń oraz alertów
- Możliwość wyświetlania i pobierania dokumentów UDT
- Elektroniczna korespondencja z UDT, więcej spraw, które załatwisz on-line
- Decyzje i protokoły w formie elektronicznej
- Płatności on-line

