



URZĄD DOZORU
TECHNICZNEGO

Ocena stanu technicznego urządzeń transportu bliskiego



Urząd Dozoru Technicznego

ul. Szczęśliwicka 34

02-353 Warszawa

wydanie 1, lipiec 2021

1. Spis treści

2.	Informacje wstępne.....	4
3.	Cel oraz zakres.....	4
4.	Wymagania dla osoby kompetentnej.....	5
5.	Trwałość eksploatacyjna.....	7
6.	Ocena konstrukcji nośnej UTB - etapy.....	14
6.1	ETAP 1 – zapoznanie się z dokumentacją eksploatacyjną, konstrukcyjną i ogólnym stanem technicznym UTB	15
6.1.1	Dokumentacja.....	15
6.1.2	Konstrukcje nośne UTB	16
6.1.3	Rodzaje konstrukcji nośnych	22
6.1.4	Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 6520-1.....	37
6.1.5	Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 5817.....	39
6.1.6	Weryfikacja połączeń śrubowych.....	45
6.2	ETAP 2 - ocena wymiarowa konstrukcji.....	48
6.3	ETAP 3 - podstawowe badania NDT	51
6.3.1	Wstęp do badań nieniszczących.....	51
6.3.2	Badanie wizualne	52
6.3.3	Wytypowanie miejsc do badań wizualnych	53
6.3.4	Dokumentowanie badania	63
6.4	ETAP 4 - pozostałe badania NDT	64
6.4.1	Wiarygodność wyników	64
6.4.2	Dobór i zakres stosowalności poszczególnych metod.....	66
6.4.3	Badania penetracyjne.....	73
6.4.4	Badania magnetyczno – proszkowe.....	77
6.4.5	Badania metodą prądów wirowych.....	80

6.4.6	Badania radiograficzne.....	83
6.4.7	Badania ultradźwiękowe.	86
6.4.8	Badania metodą emisji akustycznej.	89
6.4.9	Ultradźwiękowa technika TOFD (Time of Flight Diffraction).....	90
6.4.10	Technika badań phased array.	92
6.4.11	Wymagane dokumenty końcowe.	92
6.5	ETAP 5 - interpretacja i udokumentowanie wyników badań.....	93
6.6	ETAP 6 – ewentualna naprawa	96
7.	Uwagi końcowe	96

2. Informacje wstępne.

Wyniki oceny stanu technicznego urządzeń transportu bliskiego, dla których został przekroczony rezsurs są istotne, co do podjęcia decyzji dotyczącej dalszej ich eksploatacji lub ewentualnych działań naprawczych. Niniejszy dokument dotyczy określenia stanu technicznego urządzeń nośnych:

- a) układnic;
- b) wyciągów towarowych;
- c) urządzeń dla osób niepełnosprawnych;
- d) schodów i chodników ruchomych;
- e) przenośników okrężnych kabinowych i platformowych;
- f) dźwignic linotorowych.

W trakcie oceny stanu technicznego urządzeń, należy co do zasady przestrzegać wymagań dokumentacji technicznej wytwórcy urządzenia, posilrkować się wybranymi normami przedmiotowymi, korzystać z wytycznych niniejszego dokumentu oraz stosować dobrą praktykę inżynierską, w oparciu o aktualny stan wiedzy technicznej.

Wyniki wykonanej oceny stanu technicznego mogą wskazywać na konieczność podjęcia działań przywracających właściwy poziom bezpieczeństwa eksploatacji (np. konieczność wymiany elementu, wykonania naprawy lub modernizacji). W przypadku skrajnym mogą stanowić podstawę decyzji o złomowaniu urządzenia.

Dokument ten jest uzupełnieniem wytycznych UDT dotyczących eksploatacji urządzeń transportu bliskiego.

3. Cel oraz zakres.

Celem niniejszego dokumentu jest określenie sposobu postępowania oraz wyjaśnienie poszczególnych etapów wykonywania oceny stanu technicznego UTB, w tym konstrukcji nośnych, w świetle wymagań Rozporządzenia Ministra Przedsiębiorczości i Technologii z dnia 30 października 2018 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji, napraw i modernizacji urządzeń transportu bliskiego (Dz. U. 2018 poz. 2176), zwanego dalej rozporządzeniem UTB. Dotyczy to między innymi zakresu wymaganych czynności, kwalifikacji personelu, interpretacji wyników w tym badań nieniszczących (NDT), sposobu dokumentowania i wymaganych działań kończących proces.

Dokument dotyczy urządzeń podlegających dozorowi technicznemu, o których mowa w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz.U. 2012 poz. 1468).

Należy zauważyć, że zawarte w dokumencie wytyczne nie opisują wszystkich możliwych przypadków osiągnięcia przez UTB parametrów granicznych eksploatacji, ale wskazują i wyjaśniają te, z którymi można się spotkać najczęściej.

Szczegółowe opisy dotyczące budowy urządzeń, metod badań dopuszczalnych odchyłek, interpretacji wyników badań opisane są najczęściej w dokumentacjach technicznych urządzeń oraz w normach przedmiotowych, które zaleca się stosować, jako wymagania odniesienia.

4. Wymagania dla osoby kompetentnej.

Złożoność działań związanych z oceną stanu technicznego wymaga, aby wykonywała je osoba, która jest w stanie zapewnić prawidłowość wykonania czynności w ramach tego procesu. Powinna więc to być osoba kompetentna w wielu dziedzinach. Definicja osoby kompetentnej została umieszczona w **Wytycznych UDT dotyczących eksploatacji urządzeń transportu bliskiego**.

Wybór osoby kompetentnej ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji UTB, rzetelności prowadzonego procesu, wiarygodności wyników oraz odpowiedniości dokumentacji będącej wynikiem oceny stanu technicznego.

To w procesie oceny stanu technicznego osoba kompetentna ocenia przydatność konstrukcji urządzenia oraz jego poszczególnych elementów do jego dalszej eksploatacji.

W ramach oceny stanu technicznego konstrukcji nośnych UTB wskazane jest, aby osoba kompetentna uwzględniła informacje związane z:

- a) przepisami prawa, normami i innymi dokumentami technicznymi (instrukcje eksploatacji, konserwacji, katalogi części zamiennych, literatura branżowa, itp.);
- b) rodzajami stosowanych materiałów konstrukcyjnych (struktura, własności mechaniczne, fizyczne i chemiczne, starzenie się materiałów, odporność na kruche pękanie, itp.);
- c) projektowaniem konstrukcji nośnych (znajomość spotykanych typów konstrukcji, budowa poszczególnych elementów nośnych itp.);
- d) obliczeniami wytrzymałościowymi (metody obliczeń, rozkład widma obciążeń w elementach nośnych, wpływ karbów, obliczanie węzłów konstrukcyjnych, itp.);
- e) połączeniami nierozłącznymi (spawanie i nitowanie, podstawowa wiedza z zakresu spawalnictwa, wpływ spawania na własności i wytrzymałość materiałów, ocena poziomów jakości spoin, itp.);

- f) połączeniami rozłącznymi (rodzaje połączeń, połączenia pasowane, sprężane, wytrzymałość i obliczenia połączeń rozłącznych, itp.);
- g) pomiarami, diagnostyką i metodami badań NDT (posiadane przyrządy kontrolno – pomiarowe, umiejętność posługiwania się nimi, prawidłowa interpretacja wyników, sposób dokumentowania, itp.);
- h) wykonywaniem dokumentacji z badań i ekspertyz (sposób dokumentowania wykonanych czynności, poziom dokładności i wiarygodności dokumentacji, protokoły z badań i wyniki pomiarów, itp.).

Złożoność procesu oceny stanu technicznego jak i konieczność posiadania inżynierskiej wiedzy w wielu dziedzinach powoduje, że całościowa ocena stanu technicznego powinna być wykonywana przez zespół osób o różnych kwalifikacjach, posiadających wiedzę w wielu dziedzinach, pracujących pod nadzorem jednej osoby koordynującej całość procesu. Wynika to również z faktu, że wykonywanie pewnych czynności związanych z procesem oceny stanu technicznego ustroju nośnego może być przeprowadzane jedynie przez osoby posiadające stosowne zaświadczenia kwalifikacyjne, certyfikaty czy uprawnienia określone innymi przepisami.

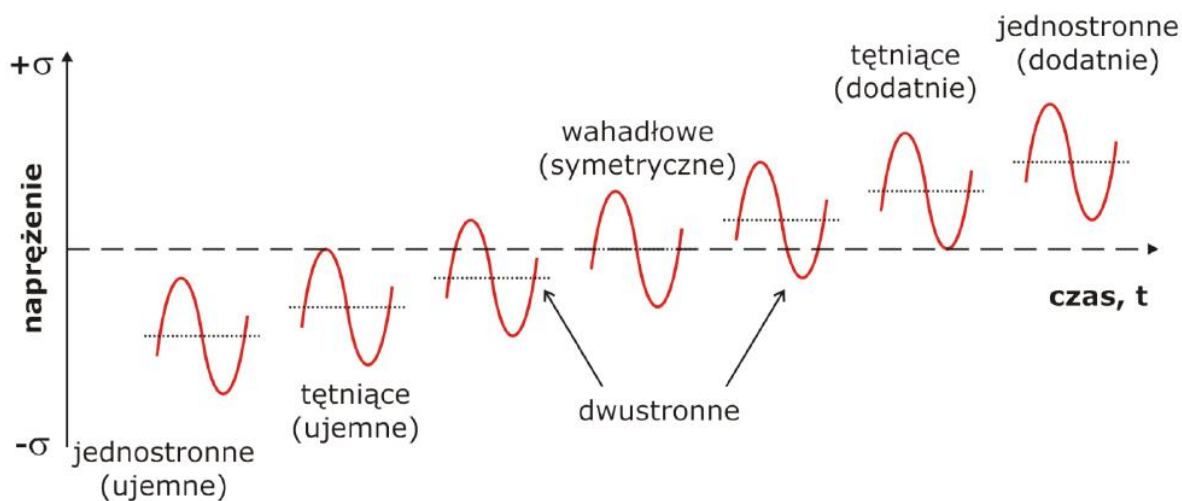
Wyżej opisane wytyczne dotyczące osoby kompetentnej bazują nie tylko na doświadczeniu inżynierów pracujących w UDT, ale również na dokumentach normatywnych stosowanych zarówno w Europie jak i na świecie. Warto w tym miejscu wspomnieć serię norm ISO 9927 – Cranes – Inspections, które opisują nie tylko proces inspekcji dźwignic w całym okresie ich eksploatacji, ale także wymagania dla osób kompetentnych na poszczególnych etapach badań. Podział ten obrazuje hierarchię wymaganej niezbędnej wiedzy dla poszczególnych osób zajmujących się eksploatacją dźwignic. Norma ta poświęca osobny załącznik na określenie osób kompetentnych i przewiduje przeprowadzanie oceny stanu technicznego urządzenia pod nadzorem inżyniera eksperta, zdefiniowanego jako *inżyniera posiadającego doświadczenie w projektowaniu, konstruowaniu i konserwacji dźwignic, posiadającego wiedzę z zakresu regulacji prawnych i norm, dysponującego niezbędnym wyposażeniem pomiarowo badawczym do wykonania inspekcji. Dodatkowo inżynier ekspert, to inżynier, który jest w stanie ocenić bezpieczeństwo dźwignicy i zdecydować, jakie czynności należy wykonać by zapewnić bezpieczną eksploatację.*

Reasumując, wybór osoby kompetentnej, który jest jednym z pierwszych etapów całego procesu, ma kluczowy wpływ na wszystkie pozostałe działania.

5. Trwałość eksploatacyjna.

Projektując urządzenie według „klasycznych” metod można by przyjąć, że każdy materiał konstrukcyjny stanowi idealne continuum, tzn., że w każdym przekroju ma dokładnie te same parametry, wytrzymałość, skład chemiczny i pozbawiony jest nieciągłości. Wyznaczając naprężenia jakim poddane zostanie urządzenie, a więc wyznaczając przekroje i wymiary poszczególnych elementów, projektant zakłada szereg współczynników bezpieczeństwa. Niestety nawet przy ich uwzględnieniu, rzeczywisty stan naprężenia cechuje losowość i nieprzewidywalność związana z wpływem środowiska, istniejącymi karbami, zmieniającymi się własnościami materiału, czy też zmiennością i rodzajem rzeczywistego obciążenia. Te czynniki mogą powodować, że pomimo braku ubytku materiału, a więc i braku zmiany przekroju urządzenie ulegnie uszkodzeniu lub zniszczeniu.

Problematyka trwałości eksploatacyjnej, jak również zmęczenia materiału dotyczy także urządzeń nośnych UTB. Szacuje się, że około 80% pęknięć spowodowanych jest zmęczeniem materiału, a tylko 20% przeciążeniem statycznym. Zmęczeniem materiałów nazywamy zmiany zachodzące w danym materiale pod wpływem zmiennych naprężeń i / lub odkształceń, niższych niż granica plastyczności ujawniających się zmniejszeniem wytrzymałości lub zniszczeniem. Zmienność może dotyczyć zarówno poziomu obciążenia, jak i częstości.



Rysunek 1. Cykle naprężeń.

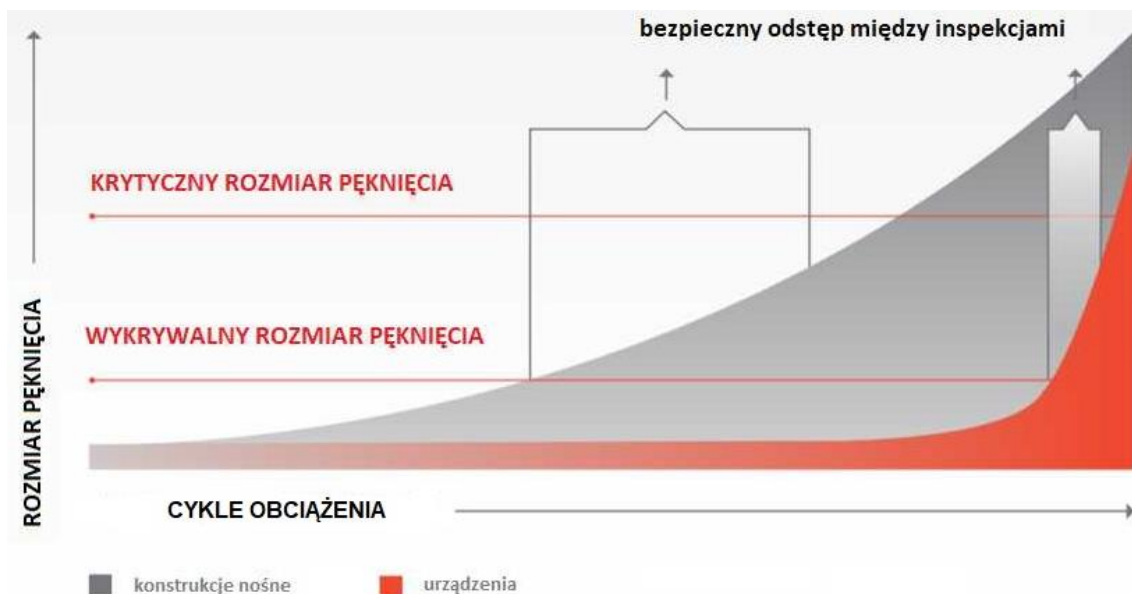
Zmęczenie materiału w połączeniu z istniejącymi lub powstałymi nieciągłościami mogą spowodować zniszczenie zmęczeniowe, którego cechą charakterystyczną jest fakt, że może ono wystąpić przy obciążeniach niższych od wytrzymałości statycznej elementów. Ma charakter pęknięć kruchych, a ostateczne zniszczenie, przy braku odpowiedniej diagnostyki,

następuje nagle i niespodziewanie, co w konstrukcjach nośnych urządzeń może mieć katastrofalne skutki.

Najczęstszymi przyczynami pęknięć zmęczeniowych są:

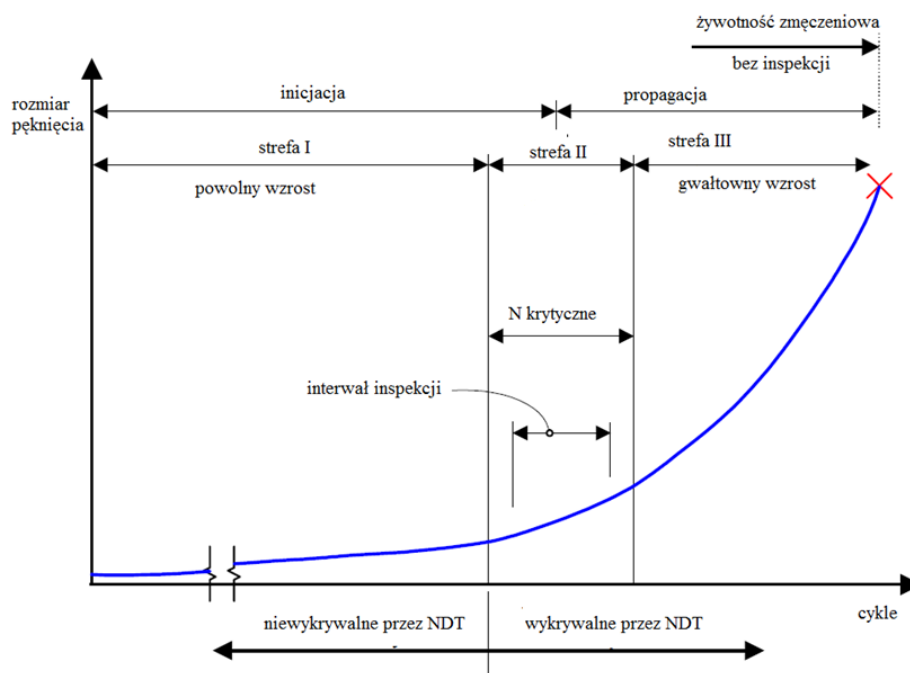
- a) niedoszacowanie wielkości obciążenia, ilości cykli czy też widma obciążenia (przeciążenie, kolizja, wypadek, itp.);
- b) nieuwzględnione źródła obciążenia zmęczeniowego (np. eksploatacja niezgodna z instrukcją);
- c) niewystarczająca analiza naprężeń;
- d) niewłaściwy projekt konstrukcyjny;
- e) przekroczenie projektowanej trwałości eksploatacyjnej urządzenia;
- f) występowanie karbów;
- g) wady podczas procesu wytwarzania (pęcherze gazowe, wtrącenia, rozwarstwienia, pęknięcia gorące, zimne, itp.);
- h) nieuwzględnienie drgań;
- i) wpływ środowiska pracy – korozja, wysokie i niskie temperatury.

Powstanie pęknięć nie zawsze ma katastrofalne skutki, ale tylko pod warunkiem wczesnej detekcji. Aby zachować akceptowalny poziom niezawodności pod kątem bezpieczeństwa eksploatacji jak również ekonomicznym, konstrukcja nośna wymaga okresowej kontroli. Interwał kontroli powinien być ustalony na tyle długi, aby były one ekonomicznie uzasadnione i na tyle krótki, aby wykryć pęknięcie w jego stabilnym stadium.



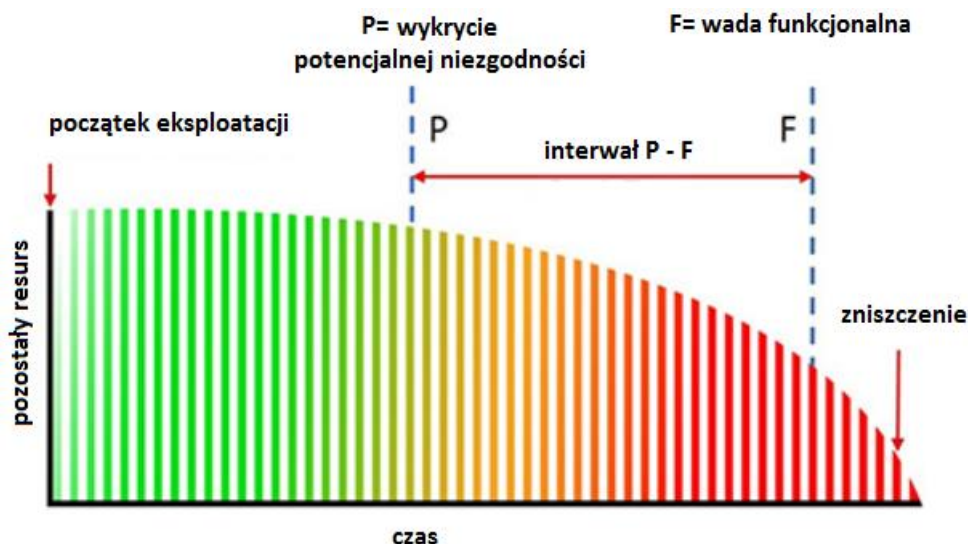
Rysunek 2. Zależność wystąpienia pęknięć od interwału kontroli.

W przypadku, kiedy z upływem lat materiał konstrukcyjny został poddany większej ilości cykli zmian naprężeń, obszar uszkodzeń zmęczeniowych może się powiększać, co powoduje, że naprawa urządzenia może stać się ekonomicznie nieopłacalna, lub nawet niemożliwa z uwagi na bezpieczeństwo eksploatacji. Dlatego tak ważna jest prawidłowa ocena konstrukcji nośnej i dobrane właściwych metod diagnostycznych pozwalających na wykrycie pęknięć w ich najwcześniejszym, a zarazem najbardziej optymalnym momencie.



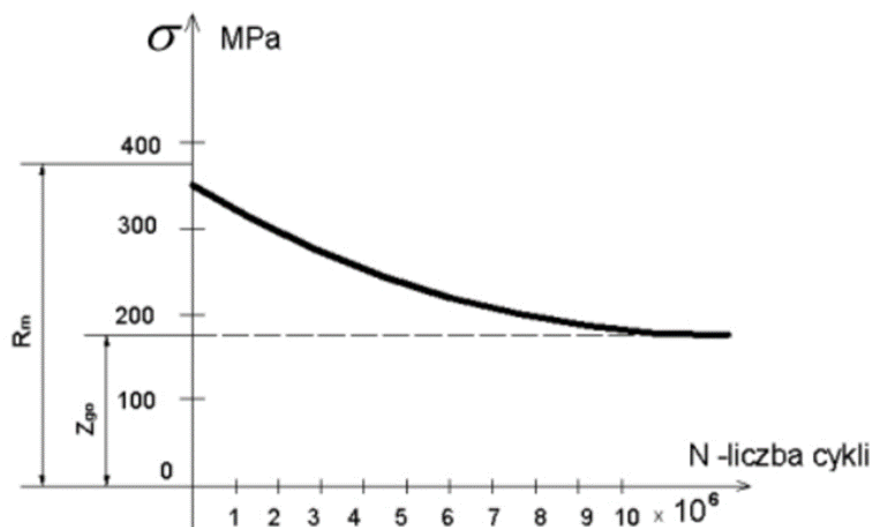
Rysunek 3. Rozwój pęknięć zmęczeniowych.

Zjawisko „zmęczenia materiału” bezpośrednio łączy się z pojęciem „trwałości eksploatacyjnej”. Istotne jest to, aby zasady dotyczące projektowania, budowy, obliczeń wytrzymałościowych urządzeń jak i logika oraz ekonomia wymusiły na producentach określenie „czasu życia” produktu czy tzw. resursu, a co za tym idzie, by konstrukcje zapewniały określoną długość bezpiecznej eksploatacji przy założonych parametrach.



Rysunek 4. „Czas życia” maszyny.

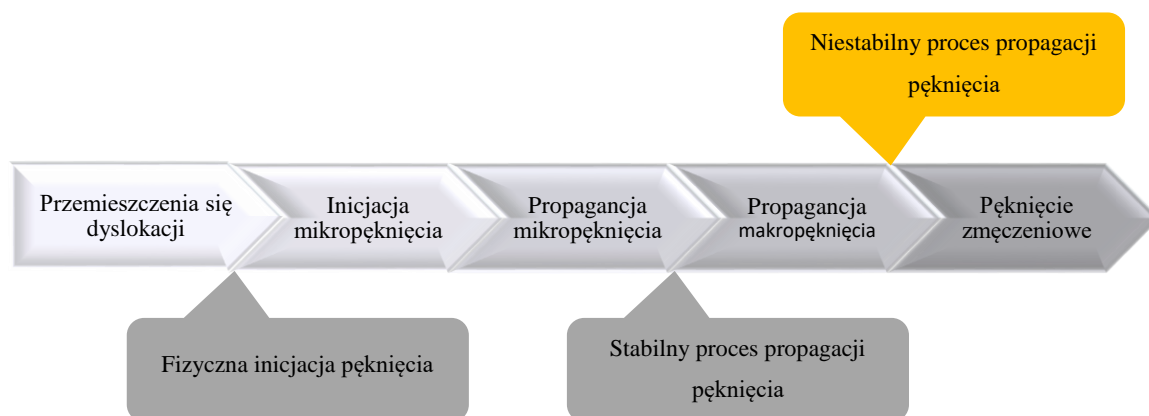
Proces zmęczenia rozwijający się w materiałach konstrukcyjnych pod wpływem zmiennych obciążeń był i jest obecnie istotnym zagadnieniem we współczesnej technice. Znane od dawna metody określania wytrzymałości zmęczeniowej, bazują na pewnych uproszczeniach i założeniach, które nie odzwierciedlają rzeczywistych zmian w danym materiale czy skomplikowanym węźle konstrukcyjnym, a opierają się o ilość cykli oraz wielkość obciążenia.



Rysunek 5. Przykładowy wykres wytrzymałości zmęczeniowej.

Elementy konstrukcyjne mają bardzo zróżnicowaną geometrię, są obciążane w złożony sposób, a ich materiał nie zachowuje się w pełni zgodnie z modelem teoretycznym. Im większe są różnice między właściwościami materiału, geometrią badanego elementu, rozmiarami, kształtem i orientacją nieciągłości, a także między polem naprężenia w materiale rzeczywistego elementu a odpowiednimi wielkościami modelu teoretycznego, tym większe mogą być rozbieżności w zachowaniu się rzeczywistych pęknięć i modelowych szczelin.

Niestety tylko stosowanie skomplikowanych eksperymentów i procedur badawczych, jak również symulacji komputerowych, pozwala na dokładną analizę zmian zachodzących w materiale przy złożonym stanie naprężeń i złożonej konstrukcji. Dokładność ta jest tym mniejsza im więcej czynników obniżających wytrzymałość wystąpi. W procesie zmęczenia można wyróżnić kilka faz, które obejmują fazę mikroskopową i fazę makroskopową (inicjacja pęknięć i propagacja pęknięć).



Rysunek 6. Fazy procesu zmęczenia.

Trwałość zmęczeniowa w ujęciu czasowym to suma dwóch okresów - inicjacji i propagacji pęknięcia. Należy pamiętać, że dla niektórych konstrukcji, zwłaszcza połączeń spawanych, okres inicjonowania pęknięcia jest krótki w przeciwieństwie do pęknięć w elementach pozbawionych karbów.

Rodzaj połączenia	Inicjacja pęknięcia	Propagacja pęknięcia	Przykład
Bez karbów lub z niewielkimi karbami	90% okresu trwałości	10% okresu trwałości	Elementy niespawane
Ze znacznymi karbami	10% okresu trwałości	90% okresu trwałości	Elementy znacznie skorodowane i spawane

Tabela 1. Porównanie okresów inicjacji i propagacji pęknięć.

W związku z tym faktem, przy ocenie konstrukcji ze złączami spawanymi, które dominują w konstrukcjach nośnych UTB, należy pamiętać że ewentualne pęknięcia bardzo szybko przechodzą z fazy mikro do fazy makro w której propagacja pęknięcia jest dużo szybsza. Progowa długość pęknięcia zależy od czynników, takich jak rodzaj materiału i warunki badań konstrukcji.

W związku z powstaniem uszkodzeń konstrukcji nośnych, także tych zmęczeniowych (również niewidocznych okiem nieuzbrojonym) w sposób drastyczny zmniejsza się bezpieczeństwo użytkowanego urządzenia. W przypadku powstania uszkodzeń może wystąpić częściowe lub całkowite zniszczenie urządzenia, zagrażające zdrowiu i życiu ludzi oraz spowodować straty materialne.

Należy tutaj zauważyć, że prawidłowe przyjęcie założeń projektowych (właściwy schemat obciążeń, prawidłowe rozpoznanie potrzeb i oczekiwań ze strony eksploatującego), prawidłowy sposób użytkowania (zgodny z przeznaczeniem) oraz przestrzeganie terminów konserwacji, jest kluczem do bezawaryjnej pracy urządzenia, w trakcie założonego przez wytwórcę resursu.

Właściwie każda, nawet najmniejsza zauważona wada (usterka) konstrukcji stwarza zagrożenie, które wymaga podejścia jednostkowego. Inaczej należy postępować, gdy na konstrukcji pojawiły się ślady korozji lub gdy zauważymy wyraźne pęknięcie na elemencie nośnym lub połączeniu nierozłącznym. Należy jednak przypomnieć, że żadnej, nawet najmniejszej tego typu usterki nie należy lekceważyć, gdyż może to doprowadzić do nieszczęśliwego wypadku lub awarii.

Ustrój nośny urządzenia lub poszczególne jego elementy przestają spełniać zadania, do jakich zostały przeznaczone, jeżeli przekroczony zostanie jeden z następujących stanów granicznych:

- I – stan graniczny – obejmujący stany graniczne ujawniające się następująco:
 - a) zniszczenie najbardziej wyężonego przekroju na skutek przekroczenia granicy wytrzymałości materiału;
 - b) odkształcenia trwałe spowodowane przekroczeniem granicy plastyczności materiału;
 - c) utrata stateczności ogólnej i lokalnej na skutek przekroczenia naprężeń krytycznych materiału.

Nieprzekroczenie I stanu granicznego zapewnia spełnienie warunku wytrzymałości.

- II – stan graniczny – ujawniający się powstawaniem pęknięć lub uszkodzeń zmęczeniowych.

Aby nie został przekroczony II stan graniczny należy spełnić warunek trwałości w założonym okresie eksploatacji.

- III – stan graniczny – ujawniający się przez nadmierne przemieszczenia i drgania, uniemożliwiające normalną eksploatację urządzenia i szkodliwie oddziałujące na organizm ludzki (obsługujących urządzenie).

W niniejszych rozważaniach w głównej mierze opisany będzie II stan graniczny. Czynniki wpływającymi na powstawanie uszkodzeń są:

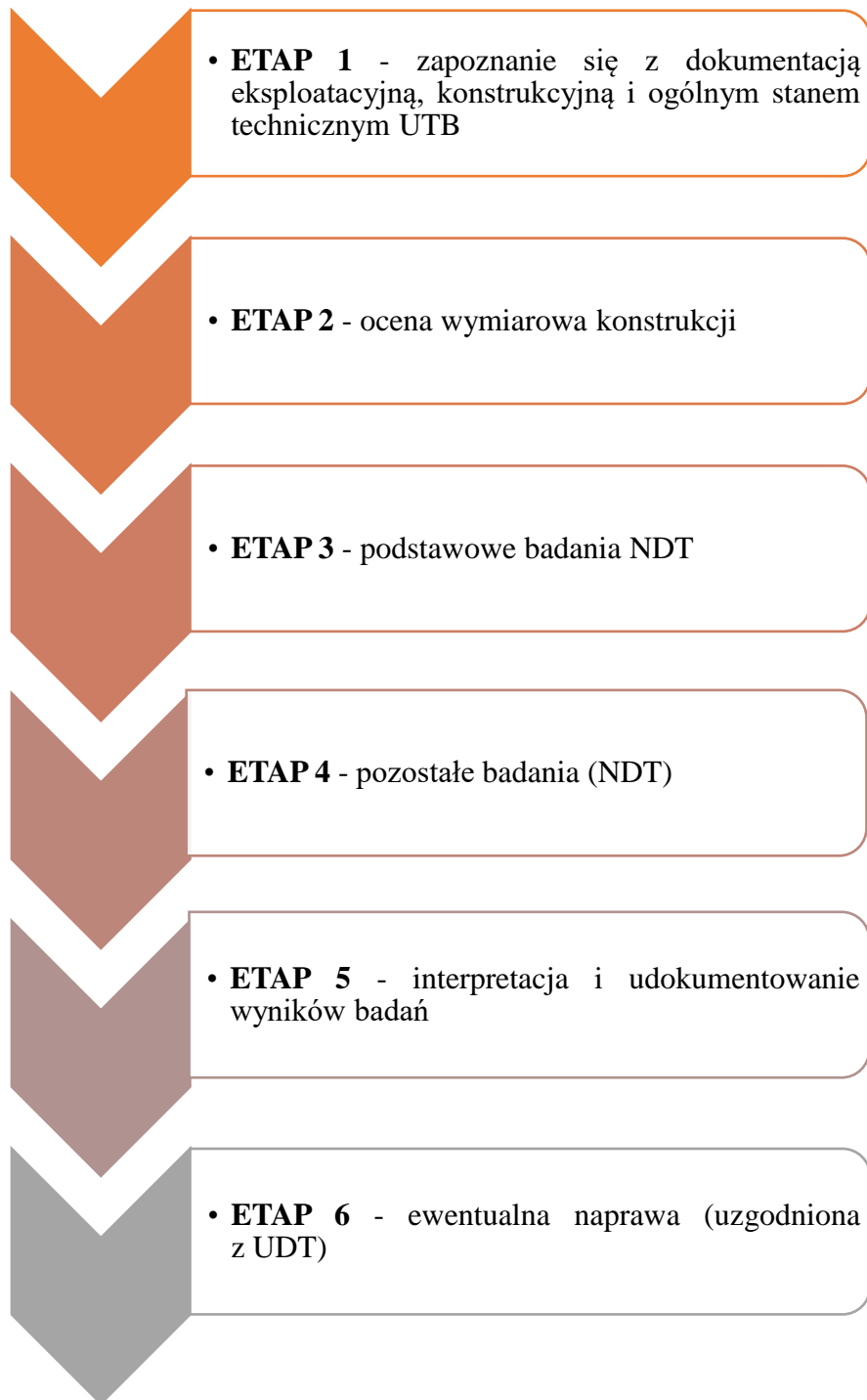
- a) brak prawidłowej konserwacji;
- b) użytkowanie urządzenia niezgodnie z jego przeznaczeniem;
- c) przeciążanie ustroju nośnego;
- d) przekroczenie ресурсu;
- e) nieprzestrzeganie (nieznajomość) instrukcji obsługi dotyczącej urządzenia;
- f) błędy wykonawcze;
- g) błędy montażowe;
- h) wady materiałowe.

Czasem trudno w sposób jednoznaczny ocenić przyczynę powstania uszkodzeń, bez dokonywania dodatkowych badań. Należy tutaj stwierdzić, że wiele uszkodzeń powstaje na skutek jednoczesnego nieprzestrzegania kilku z podanych wyżej zasad. Innym problemem jest zużycie eksploatacyjne konstrukcji objawiające się np. wytarciem prowadnic w wyciągach towarowych czy torów jezdnych w układnicach.



Rysunek 7. Wytarcie poprzeczek konstrukcji nośnej wyciągu towarowego.

6. Ocena konstrukcji nośnej UTB - etapy.



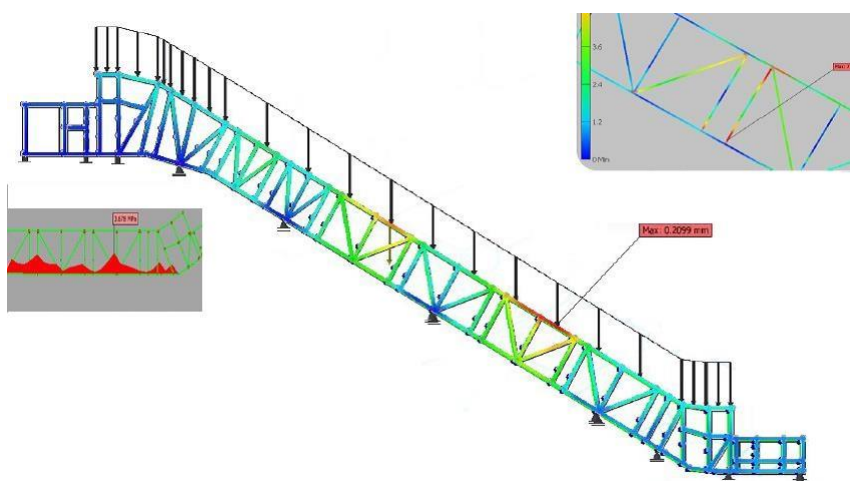
6.1 ETAP 1 – zapoznanie się z dokumentacją eksploatacyjną, konstrukcyjną i ogólnym stanem technicznym UTB.

6.1.1 Dokumentacja.

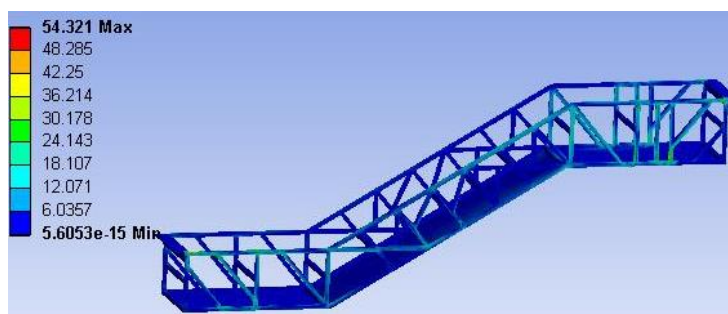
Podstawowym elementem, bez którego nie da się wykonać rzetelnej oceny konstrukcji nośnej jest zapoznanie się z dokumentacją eksploatacyjną i konstrukcyjną urządzenia.

W początkowej fazie należy pozyskać informacje dotyczące przebiegu eksploatacji UTB (lata eksploatacji, widmo obciążeń, liczby wykonanych cykli pracy, incydenty związane z przeciążeniem, naprawami czy modernizacjami itp.). Zebranie tych danych jest niezbędne do określenia zakresu wykonywanych badań, pomiarów czy doboru technik badawczych. Wpływ na stan konstrukcji nośnej może mieć również środowisko pracy urządzenia (temperatura otoczenia, wilgotność, środowisko korozyjne, itp.). Ten etap pozwoli na wstępne zorientowanie się, w którym momencie życia konstrukcji się znajdujemy i jak wygląda teoretyczna projektowana żywotność eksploatacyjna w odniesieniu do stanu faktycznego.

W tym miejscu należy jednocześnie nadmienić, że istnieją analityczne metody obliczeniowe, które można wykorzystać do oceny stanu obciążenia i które są stosowane do wyznaczania zakresu kontroli konstrukcji nośnych.

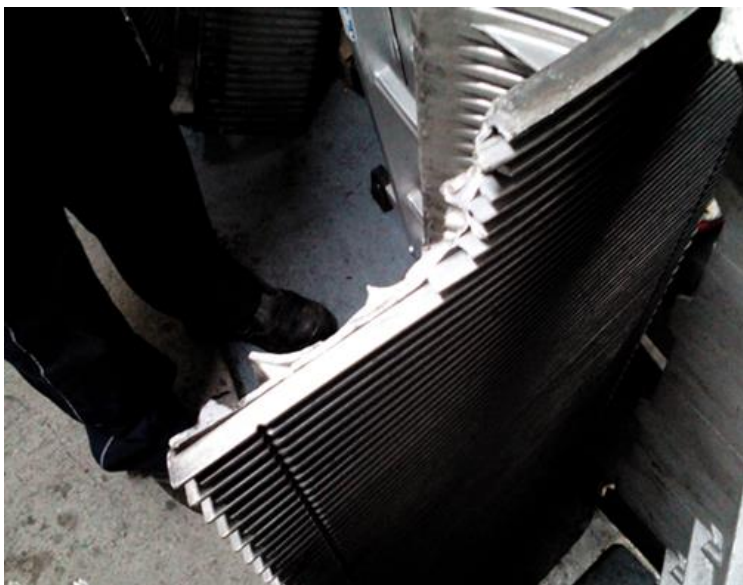


Rysunek 8. Przykładowe odkształcenia konstrukcji nośnej schodów ruchomych.



Rysunek 9. Przykładowy rozkład naprężeń konstrukcji nośnej schodów ruchomych.

Stan techniczny urządzenia oraz ryzyko uszkodzenia konstrukcji nie wynikają jedynie ze stopnia wykorzystania ресурсu. Wykonywane opracowania nie uwzględniają często innych ważnych czynników jakimi są metody zastosowane do projektowania i obliczeń czy jakość wykonania i zgodnej z instrukcją eksploatacji. Dlatego też wiedza dotycząca budowy urządzenia, przyjętych wymagań odniesienia jest niezwykle istotna w procesie oceny stanu technicznego.



Rysunek 10. Uszkodzony stopień schodów ruchomych.

6.1.2 Konstrukcje nośne UTB

Urządzenia transportu bliskiego, o których mowa w niniejszym dokumencie są to maszyny przeznaczone do przemieszczania ładunków lub osób (osób i ładunków), które scharakteryzowane zostaną w dalszej części.

6.1.2.1 Układnice

Układnice stanowią część systemu magazynowego i są przeznaczone do transportu i składowania w regałach magazynowych różnych przedmiotów, często ułożonych w znormalizowanych pojemnikach. Nowoczesne układnice pracujące w trybie automatycznym (możliwy również tryb półautomatyczny lub ręczny), posiadają zestaw sensorów oraz elementy wykonawcze realizujące potrzebne ruchy robocze. Prócz układnic pracujących w trybie automatycznym możliwe są inne rozwiązania np. obsługiwane przez osobę poruszającą się wraz z podstawą ładunkową. Ustrój nośny stanowi rama składająca się z kolumny (słupa) wraz z czołownicą po której porusza się wózek wyposażony w układ do manipulowania ładunkiem (np. widły lub platforma). Ustrój nośny wykonany jest z profili stalowych lub konstrukcji

blachownicowych, które są ze sobą powiązane za pomocą połączeń rozłącznych oraz nierozłącznych.



Rysunek 11. Przykład układnicy magazynowej.

W przypadku wykonywania oceny stanu technicznego tych urządzeń przydatna może być norma:

- PN-EN 528 Układnice. Bezpieczeństwo.

6.1.2.2 Wyciągi towarowe

Wyciąg towarowy jest to maszyna składająca się z podstawy ładunkowej prowadzonej w pochyłych prowadnicach, przystosowana do przemieszczania ładunków za pomocąciągników linowych lub łańcuchowych, gdzie podstawą ładunkową może być wózek, kosz itp. Konstrukcja nośna wyciągu towarowego to swego rodzaju maszt, najczęściej przypominający drabinę. W przypadku wyższych wysokości podnoszenia maszt może być dodatkowo podparty poprzez zastosowanie podpór. Ustrój nośny wykonany jest z profili stalowych lub konstrukcji

blachownicowych, które są ze sobą powiązane za pomocą połączeń rozłącznych oraz nierozłącznych. W przypadku wyciągów towarowych dość często maszt wykonany jest z aluminium, a poszczególne segmenty są ze sobą łączone za pomocą połączeń rozłącznych.



Rysunek 12. Przykład wyciągu towarowego.



Rysunek 13. Przykładowy układ napędowy wyciągu towarowego.

6.1.2.3 Urządzenia dla osób niepełnosprawnych

Urządzenie do przemieszczania osób niepełnosprawnych to urządzenia składające się z podstawy ładunkowej i mechanizmu podnoszenia, najczęściej o napędzie elektrycznym lub hydraulicznym, wykorzystywane do zniesienia barier architektonicznych.



Rysunek 14. Przykład urządzenia dla osób niepełnosprawnych.

W przypadku wykonywania oceny stanu technicznego tych urządzeń przydatne mogą być normy:

- PN-EN 81-40 Zasady bezpieczeństwa dotyczące budowy i instalowania dźwigów. Dźwigi specjalne do transportu osób i towarów. Część 40: Dźwigi schodowe oraz platformy podnoszące pochyłe dla osób z ograniczoną zdolnością poruszania się.
- PN-EN 81-41 Przepisy bezpieczeństwa dotyczące budowy i instalowania dźwigów. Dźwigi specjalne do transportu osób i towarów. Część 41: Platformy podnoszące pionowe dla osób z ograniczoną zdolnością poruszania się

6.1.2.4 Schody i chodniki ruchome

Schody ruchome to napędzany mechanicznie, nachylony ciąg schodów poruszający się bez końca do góry lub w dół, którym użytkownik przemieszczany jest na powierzchni (np. stopni), która pozostaje pozioma. Schody ruchome w uproszczeniu składają się z konstrukcji nośnej, taśmy, stopni i poręczy napędzanych przez zespół napędowy z silnikiem elektrycznym i przekładnią.

Chodnik ruchomy to napędzane mechanicznie urządzenie do transportu osób, w którym powierzchnia przemieszczająca użytkownika jest ciągła (np. palety, pas) oraz pozostaje równoległa do kierunku ruchu.



Rysunek 15. Przykład schodów ruchomych.

Ustrój nośny tych urządzeń ma konstrukcję kratownicową wykonaną najczęściej z profili walcowanych, które są ze sobą powiązane za pomocą połączeń rozłącznych oraz nierozłącznych.

6.1.2.5 Przenośniki okrężne kabinowe i platformowe

Urządzenia określane jako dźwig okrężny lub „paternoster” jest urządzeniem, składającym się z wielu podstaw ładunkowych, poruszających się z niewielką prędkością w zamkniętej pętli w ruchu ciągłym, w taki sposób, że gdy jedna strona porusza się w kierunku do góry, to druga do dołu.



Rysunek 16. Przykład przenośnika okrężnego.

6.1.2.6 Dźwignice linotorowe

Dźwignica linotorowa jest to dźwignica z urządzeniem chwytającym podwieszonym do wozzarki przemieszczającej się po linie nośnej zamocowanej na podporach. Urządzenie stosowane jest przy rozpiętościach powyżej 80 m do nawet 600 m i znacznych wysokościach podnoszenia. Atutem tych urządzeń jest to, że lina nośna może być zawieszona pochyło. Obsługują one często rozległe place składowe, kamieniołomy itp. Dźwignice te służą do transportu ładunków jednostkowych lub materiałów sypkich w pojemnikach. Budowane są w trudno dostępnym terenie.



Rysunek 17. Przykład dźwignicy linotorowej.

6.1.3 Rodzaje konstrukcji nośnych

W budowie powyższych urządzeń stosujemy konstrukcje nośne wykonane z otwartych i zamkniętych profili walcowanych, giętych i spawanych oraz w postaci konstrukcji kratownicowych.

Do takich elementów należy zaliczyć m.in.:

- elementy ram i podwozi (np. w wyciągach towarowych);
- elementy prowadzące współpracujące z rolkami mechanizmu podnoszenia;
- maszty;
- elementy mocowania podstaw ładunkowych;
- konstrukcja palet (w schodach i chodnikach ruchomych);
- elementy kratownic w budowie słupów (podpór).

6.1.3.1 Konstrukcje nośne z profili walcowanych i prostych blachownic

Najczęściej stosowaną konstrukcją są blachownicowe konstrukcje o przekroju skrzynkowym. Charakteryzują się dużym ciężarem w porównaniu z konstrukcjami kratownicowymi. Sposób konstruowania tego typu konstrukcji zmieniał się na przestrzeni lat w związku ze stosowaniem coraz nowszych materiałów, metod wytwarzania i technologii obliczeniowych. W starszych rozwiązaniach można zaobserwować przekroje skrzynkowe bazujące na kształcie prostokąta lub rury. Obecnie stosuje się skomplikowane, wielokątowe przekroje poprzeczne. Konstrukcje mogą być wykonywane z rury lub innego wielokątnego profilu zamkniętego, spawanego z blachy.



Rysunek 18. Przykład konstrukcji nośnej toru jezdnych wyciągu towarowego.



Rysunek 19. Przykład konstrukcji nośnej podstawy ładunkowej wyciągu towarowego.

6.1.3.2 Konstrukcje kratownicowe

Konstrukcje tego typu składają się z prętów, rur, łączących się w węzłach. Sposób przyłożenia obciążenia oraz charakterystyka przenoszenia obciążenia przez konstrukcję, powoduje, że pręty są ściskane i rozciągane, a więc przenoszą tylko obciążenia osiowe. Dzięki temu w znaczący sposób zwiększa się możliwość wykorzystania materiału w stosunku do elementów skręcanych i zginanych. Z tych m.in. powodów konstrukcje kratownicowe wymagają mniejszego zużycia materiału niż konstrukcje blachownicowe i są szeroko stosowane w konstrukcjach, począwszy od lekkich kratownic z prętów o przekroju okrągłym do ciężkich konstrukcji nośnych. Wraz ze zmniejszeniem zużycia materiału zmniejsza się oczywiście masa poszczególnych elementów ustroju nośnego co ma niebagatelne znaczenie jeżeli chodzi o użycie dodatkowych urządzeń montażowych, transport i czas montażu.

Kolejną zaletą jest możliwość wykonywania skomplikowanych kształtów w zależności od wymagań producenta i projektanta, które nie mogłyby być możliwe do wykonania z profili walcowanych lub blachownic. Konstrukcje kratownicowe posiadają również wady, które odnoszą się w głównej mierze do procesu wytwarzania. Jednostkowe wytwarzanie lekkich konstrukcji stalowych wymaga więcej czasu na etapie projektowania, z uwagi na skomplikowane obliczenia statyczne, więcej czasu na wykonanie poszczególnych elementów oraz wyższe koszty zabezpieczenia antykorozyjnego. Jedną z negatywnych cech, której wpływ widać na etapie eksploatacji, jest wyższa wrażliwość konstrukcji na deformacje np. podczas transportu czy montażu. Połączenia prętów kratownic w obecnie użytkowanych urządzeniach wykonane są w większości metodą spawania.



Rysunek 20. Podpora dźwignicy linotorowej.



Rysunek 21. Konstrukcja nośna schodów ruchomych

6.1.3.3 Materiały konstrukcyjne stosowane na konstrukcje nośne

Zagadnieniem, na które należy zwrócić uwagę podczas oceny stanu technicznego ustrojów nośnych urządzeń jest określenie materiałów użytych do jego budowy.

Rozwój materiałoznawstwa oraz metod wytwarzania stali, pozwolił na rewolucję w materiałach stosowanych na konstrukcje nośne urządzeń. Stosowane w ubiegłym wieku węglowe stale konstrukcyjne o granicach plastyczności około 235 - 460 MPa mogą być z powodzeniem zastępowane stalami o wyższych własnościach wytrzymałościowych. W chwili obecnej wytrzymałość stali stosowanej na konstrukcje może być niemal trzykrotnie wyższa od popularnie stosowanej niegdyś stali 18G2A (S355J2). Stosowanie stali o wysokich wytrzymałościach niesie za sobą niestety pewne uwarunkowania co do projektowania, wytwarzania, ale również poważne implikacje w fazie eksploatacji.

Gatunek stali	Oznaczenie	Dokument	Granica plastyczności w MPa	Wytrzymałość na rozciąganie w MPa
konstrukcyjna	S235J	EN-10025-2	≥ 235	≥ 360
	S355J	EN-10025-2	≥ 355	≥ 510
walcowana termomechanicznie	S355MC	EN 10149-2	≥ 355	≥ 460
	S700MC	EN 10149-2	≥ 700	≥ 750
drobnoziarnista normalizowana stal konstrukcyjna	S460N	EN10025-3	≥ 460	≥ 550
wysokowytrzymała stal konstrukcyjna	S460Q	EN10025-6	≥ 460	≥ 550
	S690Q	EN 10025-6	≥ 690	≥ 790
	S890Q	EN 10025-6	≥ 890	≥ 940
	S960Q	EN 10025-6	≥ 960	≥ 980
	S1100Q	zbieżne z EN 10025-6	≥ 1100	≥ 1200

Tabela 2. Przykładowe gatunki stali stosowane na konstrukcje nośne.

Przy projektowaniu i wytwarzaniu konstrukcji ze stali wysokowytrzymałych należy zachować nienaganny reżim technologiczny. Podczas projektowania należy zadbać o:

- zmniejszenie długości spoin;

- zmniejszenie przekroju poprzecznego rowka (obniżenie grubości materiału rodzimego, zmniejszenie kąta rozwarcia rowka, dobór odpowiedniej geometrii rowka);
- dobór takiej geometrii rowka, aby zachować proporcje pomiędzy objętością spoiny od strony grani i lica;
- odpowiednie do odkształceń rozmieszczenie elementów wzmacniających;
- takie rozmieszczenie złączy aby zmniejszyć ilość odkształceń;
- dobór konstrukcji odpowiednich do odkształceń.

Podczas wykonywania konstrukcji należy:

- stosować środki zapobiegające odkształceniom w czasie cięcia materiałów (np. poprzez zastosowanie cięcia plazmowego lub laserowego);
- poprawiać dokładność wykonania rowka, elementów głównych oraz tymczasowych;
- stosować odkształcenia wstępne;
- dobierać taką metodę spawania, w której energia liniowa będzie stosunkowo niska (np. wybrać raczej spawanie MAG niż spawanie elektrodą otuloną);
- likwidować nadmierne nadlewy oraz redukować wymiary spoiny pachwinowej (zmniejszenie długości ramion trójkąta jakie tworzy spoina);
- usztywniać elementy za pomocą przyrządów;
- stosować taką kolejność spawania oraz taką metodę układania poszczególnych warstw aby zmniejszyć odkształcenia;
- stosować środki zapobiegające odkształceniom w trakcie transportu i podczas przechowywania materiałów podstawowych.

Aby naprężenia i odkształcenia były niewielkie, należy dobrać odpowiednią kolejność spawania, która w miarę możliwości powinna być udokumentowana w planie spawania.

Wszystkie opisane wymagania powodują, że błędy popełnione na etapie projektowania czy wytwarzania mogą być brzemienne w skutkach na etapie eksploatacji. Tego typu konstrukcje należy poddać szczególnie uważnej kontroli w zakresie badań nieniszczących. Dodatkową kwestią, którą należy wziąć pod uwagę jest prawidłowość eksploatacji urządzenia. Z punktu widzenia własności wytrzymałościowych należy zwrócić uwagę na udarność i odporność na kruche pękanie. Część z omawianych urządzeń może być wykorzystywana na otwartej przestrzeni i jest narażona zarówno na działanie środowiska korozyjnego jak i niskich temperatur, które powodują drastyczny spadek własności wytrzymałościowych, co w skrajnym przypadku może doprowadzić do nagłego uszkodzenia.

Z innych materiałów konstrukcyjnych, które zyskują sobie popularność, na uwagę zasługuje aluminium, a przede wszystkim jego stopy, z których wykonuje się coraz więcej konstrukcji i ich elementów. Z grupy metali nieżelaznych jest to najczęściej stosowany na świecie materiał, znajdujący użycie praktycznie we wszystkich branżach przemysłu. Popularności materiałów aluminiowych należy doszukiwać się w połączeniu pożądanych właściwości, takich jak relatywnie niska masa, duża wytrzymałość, plastyczność umożliwiająca szeroką obróbkę, a przede wszystkim doskonała odporność na korozję. Korzystne cechy stopów aluminium sprawiają, że w wielu sytuacjach zaczynają być one traktowane jako alternatywny dla stali materiał konstrukcyjny, z którego wykonuje się zasadniczą konstrukcję nośną.

Wysokie parametry mechaniczne materiałów aluminiowych obserwuje się również w niskich temperaturach, co rozszerza spektrum ich zastosowania w konstrukcjach narażonych na oddziaływania klimatyczne. Dodatkowo w niskich temperaturach aluminium cechuje się dobrą odpornością na kruche pękanie, co jest jego bardzo ważną zaletą jako materiału konstrukcyjnego.

Odporność korozyjna stopów aluminiowych wynika z warstwy tlenku, jaka tworzy się na powierzchni metalu natychmiast po jego zetknięciu z powietrzem. Warstwa ta jest zazwyczaj niewidoczna, stosunkowo mało aktywna chemicznie i samoszczelna, jako że tworzy się naturalnie w środowiskach zawierających tlen. W środowiskach o niskiej korozyjności powierzchnia aluminiowa zachowuje swój oryginalny wygląd przez lata, a większość stopów nie wymaga specjalnego zabezpieczenia. W środowiskach przemysłowych o umiarkowanej korozyjności powierzchnie ciemnieją i stają się szorstkie. W miarę wzrostu agresywności atmosfery, jak w środowiskach silnie kwasowych lub alkalicznych, odbarwienia i szorstkość nasilają się w postaci widocznego białego nalotu, a warstwa tlenku staje się samorozpuszczalna. Metal przestaje być w pełni chroniony i wymaga dodatkowego zabezpieczenia. Takie warunki mogą również występować w szczelinach wskutek koncentracji szkodliwych czynników kwasowych lub zasadowych, które jednakże nie są zbyt liczne. W środowiskach przybrzeżnych i morskich niezabezpieczone powierzchnie niektórych stopów stają się szorstkie i nabierają siwego, kamienistego wyglądu. Konieczne więc jest ich zabezpieczenie, przy czym specjalnych zabiegów mogą wymagać elementy aluminiowe zanurzone w wodzie. Krzywa postępu korozji w przypadku aluminium i jego stopów ma zazwyczaj charakter wykładniczy, przy czym już na początku procesu starzenia powierzchnia traci połyskliwość. Następnie przez dłuższy czas nie obserwuje się dużych zmian. W warunkach atmosferycznych po wstępnej fazie, która może trwać kilka miesięcy lub 2-3 lata, następuje okres 20, 30 lub nawet 80 lat, w którym obserwuje

się niewielkie (o ile jakiegokolwiek) zmiany. Taki przebieg procesu korozji jest typowy w warunkach ekspozycji na otwartym powietrzu, jak i wewnątrz budynków, z wyjątkiem środowisk silnie kwasowych i alkalicznych. Środowiska tropikalne na ogół nie są bardziej szkodliwe dla aluminium niż środowiska w klimacie umiarkowanym, choć niektóre stopy szeregu 5xxx są bardziej narażone w warunkach wysokiej temperatury otoczenia, zwłaszcza w środowisku morskim. Na ogół, aby uniknąć korozji, konstrukcje projektuje się biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia. Ewentualne ryzyko wystąpienia korozji elektrochemicznej lub szczelinowej eliminuje się poprzez odpowiednie rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe. Wszystkie części konstrukcji powinny być tak zaprojektowane, aby umożliwiony był łatwy odpływ wody opadowej. Jeśli dekoracyjny wygląd aluminium jest wymagany przez dłuższy czas, to odpowiednie zabezpieczenie stanowią ciekłe/proszkowe powłoki organiczne lub też anodyzacja. Dobierając odpowiedni sposób zabezpieczenia powierzchni bierze się pod uwagę naprawialność powłok, ich odporność na starzenie oraz wymogi związane z czyszczeniem.

Znakomite parametry aluminium i jego stopów w zakresie odporności na korozję to główny czynnik sprawiający, że konstrukcje wykonane z tych materiałów cechują się bardzo dużą trwałością. Dodając do tego możliwość w zasadzie nieograniczonego recyklingu, aluminium traktowane jest jako materiał ekologiczny, który zarówno w wyrobie pierwotnym, jak i elemencie wytworzonym z materiału odzyskanego może funkcjonować dziesiątki, a nawet setki lat.

Z technologicznego i produkcyjnego punktu widzenia materiały aluminiowe charakteryzują się bardzo dobrymi cechami plastycznymi, pozwalającymi na ich różnorodną obróbkę, tj. skrawanie, frezowanie, gięcie, perforowanie czy wyciskanie, które jest często wykorzystywane w produkcji profili konstrukcyjnych.

Niestety aluminium i jego stopy mają swoje wady, które często są przyczyną powstawania pęknięć w trakcie eksploatacji urządzeń. Podstawowy problem to trudna spawalność. Wynika ona z:

- dużego powinowactwa aluminium do tlenu i powstawania trudno topliwego;
- wysokiej przewodności cieplnej;
- dużej rozszerzalności stopów aluminium;
- dużego skurczu odlewniczego (przyczyna odkształceń i naprężeń spawalniczych);
- znacznych spadków wytrzymałości w temperaturach spawania;
- utraty w czasie spawania pierwiastków stopowych takich jak magnez, cynk czy lit.

Problemem przy spawaniu jest konieczność usunięcia warstewki tlenku aluminium. Wysoka rozpuszczalność wodoru w ciekłym aluminium i praktycznie brak rozpuszczalności w stanie stałym mogą powodować w złączach spawanych z przetopem obecność pęcherzy gazowych. Kolejny problem stanowi duża przewodność cieplna aluminium, która z jednej strony utrudnia miejscowe nagrzanie metalu do temperatury topnienia, a z drugiej powoduje szybkie chłodzenie materiału – w wyniku tego w spoinie powstają wysokie naprężenia spawalnicze, mogące z łatwością doprowadzić do zniszczenia złącza. Wysokie przewodnictwo cieplne aluminium powoduje konieczność zwiększenia energii liniowej spawania. W konwencjonalnych metodach spawania stopów aluminium (MIG, TIG) prowadzi to do powstawania szerokiej strefy wpływu ciepła wokół spoiny. Negatywnie wpływa również niska wytrzymałość aluminium w temperaturach wyższych od ok. 500°C, powodująca występowanie pęknięć gorących, a także duża rozszerzalność cieplna skutkująca powstawaniem znacznych naprężeń i pękaniem spoin. Z powodu braku zmiany barw przejściowych przy podgrzewaniu aluminium trudno jest określić stopień nagrzania metalu i bliskości punktu topienia.

Rozpatrując konstrukcje aluminiowe z punktu widzenia oceny stanu technicznego urządzeń, należy wspomnieć o bardzo istotnej własności stopów aluminium (w szczególności stopów przerabianych plastycznie). W tego typu stopach możemy mieć do czynienia z korozją międzykrystaliczną i naprężeniową.

Korozja międzykrystaliczna to selektywne niszczenie metalu wzdłuż granic ziaren. Występuje w metalach, gdzie skład granic ziaren i przylegających do nich obszarów znacząco różni się od składu chemicznego osnowy. Różnica ta może powstać na skutek procesów wydzieleniowych zachodzących na granicach bądź z powodu segregacji składników stopu.

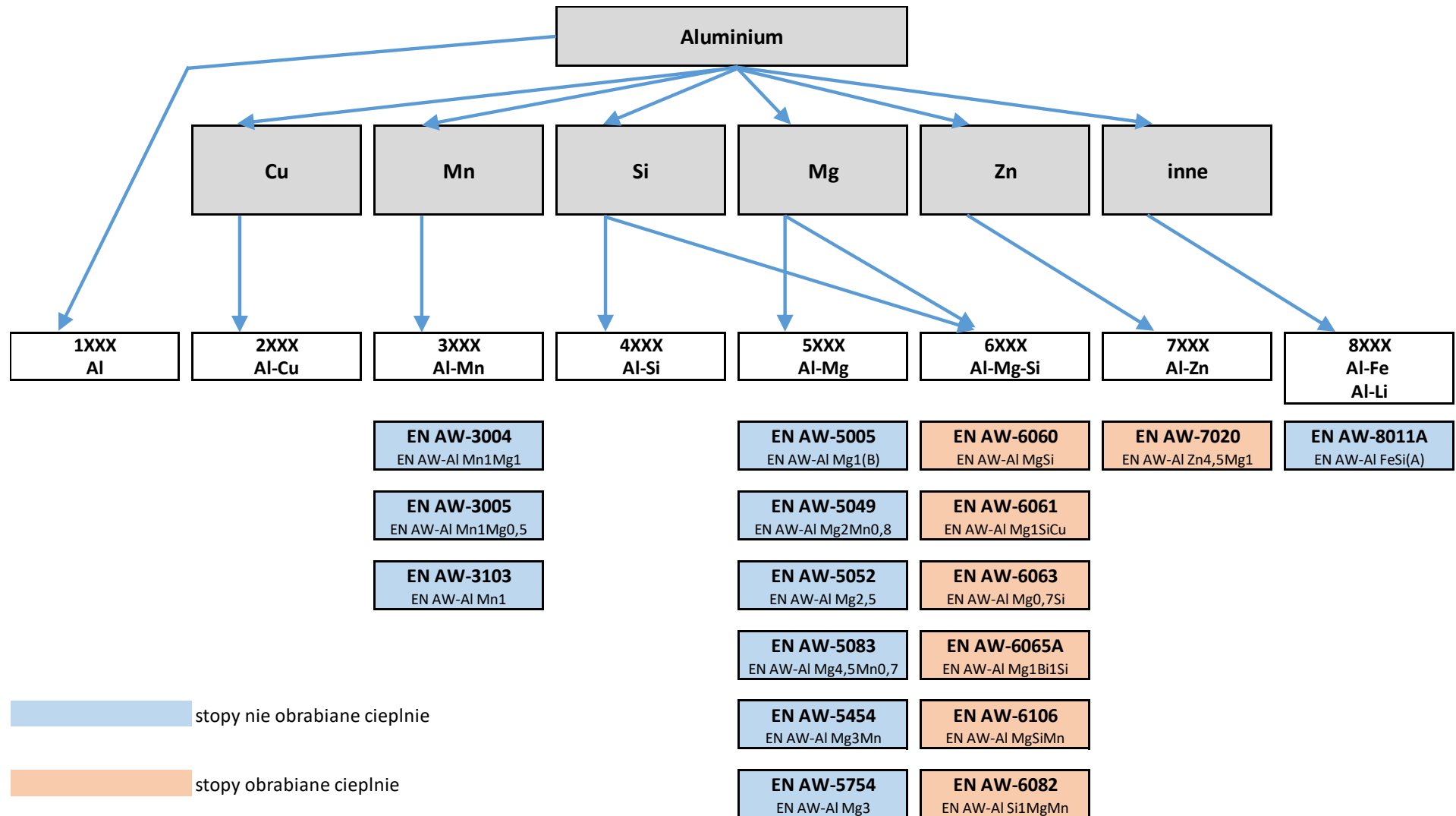
Korozja naprężeniowa, której skutkiem są pęknięcia zmęczeniowe, zachodzi na skutek agresywności środowiska i jednoczesnego działania czynników mechanicznych. Pęknięcia naprężeniowe i zmęczeniowe wywołane są głównie naprężeniami pierwszego rodzaju, to znaczy naprężeniami w makroskali, występującymi w całej objętości i współmiernymi z wielkością elementu. Jeśli naprężenia zginające, rozciągające lub ściskające, będące efektem oddziaływań zewnętrznych lub przemian strukturalnych leżą z zakresie odkształceń sprężystych, to wpływają na obniżenie odporności materiału na korozję w wyniku dwóch procesów:

- obniżania stabilności termodynamicznej metalu na skutek dostarczenia energii;
- naruszenia ciągłości warstwy pasywnej, powodującego obniżenie właściwości ochronnych tej warstwy.

Takie naprężenia najczęściej sprzyjają korozji ogólnej, ale nie prowadzą do powstawania zlokalizowanych pęknięć materiału. Pękanie korozyjne pod wpływem naprężenia może zachodzić tylko przy równoczesnym oddziaływaniu środowiska korozyjnego i naprężeń rozciągających. Pęknięcia korozyjne rozwijają się zarówno po granicach ziaren jak i śródkrystalicznie. Przełomy, nawet w materiałach plastycznych, mają charakter kruchego pęknięcia. W przypadku braku detekcji potencjalnych ośrodków pęknięć należy pamiętać, że w końcowym etapie niszczenia korozyjnego następuje pękanie lawinowe, prowadzące do przełomu, a więc nieprzewidzianego uszkodzenia konstrukcji nośnej.

Detekcja wyżej wymienionych typów korozji nie jest możliwa powszechnie dostępnymi metodami (VT, PT, MT, UT). Jej potwierdzenie wymaga pobrania próbki z materiału rodzimego i wykonanie badań niszczących lub zastosowania metody prądów wirowych. Dlatego też pęknięcia konstrukcji aluminiowych stwierdzone na etapie eksploatacji należy poddać szczególnie wnikliwej analizie.

Stopy aluminium zostały podzielone na grupy w zależności od dodatku stopowego wg diagramu poniżej.



Rysunek 22. Podział stopów aluminium na grupy wraz z najczęściej stosowanymi stopami konstrukcyjnym

Stopy aluminium plastyczne obrabialne cieplnie.

Stopy EN AW-6082 i EN AW-6061 - Stop EN AW-6082 jest jednym z najszerszej stosowanych stopów obrabialnych cieplnie, często stosowany jako główny materiał do konstrukcji spawanych i niespawanych. Stopy o wysokiej wytrzymałości są dostępne w szerokim asortymencie wyrobów, w postaci pełnych i rurowych wyrobów wyciskanych, rur okrągłych, blach oraz odkuwek, i znajdują coraz szersze zastosowanie w elementach konstrukcji narażonych na oddziaływania środowiska morskiego. Obrabialny cieplnie stop EN AW-6061 w postaci pełnych i rurowych wyrobów wyciskanych oraz rur okrągłych jest również szeroko stosowany do konstrukcji spawanych i niespawanych. Oba wymienione stopy są zazwyczaj stosowane jako odmiany w pełni obrobione cieplnie – EN AW-6082-T6 oraz EN AW-6061-T6. Wybór wymienionych stopów jako materiału konstrukcyjnego wynika z kombinacji korzystnych cech – wysokiej wytrzymałości w wyniku obróbki cieplnej, dobrej odporności na korozję, dobrej spawalności zarówno w przypadku metody MIG, jak i TIG, dobrej formowalności w przypadku odmiany T4 oraz dobrej skrawalności. W strefach wpływu ciepła należy uwzględniać spadek wytrzymałości materiału. Spadek ten w pewnym stopniu może ulec odwróceniu w procesie naturalnego starzenia materiału po spawaniu. Proces ten w przypadku wyrobów wyciskanych zazwyczaj jest ograniczony do relatywnie grubszych, mniej skomplikowanych kształtowników, inaczej niż w przypadku stopów serii 6xxx. Stop AW-6082 jest głównie stosowany na wyroby wyciskane i blachy produkowane na skład.

Stop EN AW-6005A - Stop zalecany również do zastosowań konstrukcyjnych, jest dostępny wyłącznie w postaci wyrobów wyciskanych i charakteryzuje się średnią wytrzymałością oraz przydatnością do wyciskania kształtowników bardziej złożonych niż uzyskiwane ze stopów EN AW-6082 i EN AW-6061; w szczególności do wyciskania cienkościennych kształtowników rurowych. Podobnie jak stopy EN AW-6082 i EN AW-6061, omawiany stop jest łatwo spawalny metodami TIG i MIG i wykazuje przy tym podobny spadek wytrzymałości w strefach wpływu ciepła.

Stopy EN AW-6060, EN AW-6063 i EN AW 6106 - Zalecane do zastosowań konstrukcyjnych, są dostępne wyłącznie w postaci wyrobów wyciskanych i ciągnionych na zimno. Stosuje się je wtedy, gdy istotne znaczenie ma wygląd, wykończenie powierzchni i trwałość konstrukcji, a także zdolność do wyciskania skomplikowanych kształtowników cienkościennych. Szczególnie nadają się do anodyzacji i podobnych zabiegów

wykończeniowych. Podobnie jak stopy serii 6xxx, są łatwo spawalne metodami TIG i MIG i wykazują przy tym spadek wytrzymałości w strefach wpływu ciepła.

Stop EN AW-7020 - zalecany do konstrukcji spawanych i niespawanych. Jest to stop o wysokiej wytrzymałości, dostępny w postaci pełnych i rurowych wyrobów wyciskanych, blach i rur okrągłych. Stop ten, w odróżnieniu od stopów serii 6xxx, nie jest łatwo formowalny w przypadku wyrobów wyciskanych o skomplikowanych kształtach, a ponadto nie jest łatwo dostępny. Zazwyczaj jest on stosowany jako w pełni obrobiony cieplnie, w odmianie EN AW-7020-T6. Dzięki naturalnej skłonności do starzenia, wykazuje on lepszą niż stopy serii 6xxx wytrzymałość po spawaniu. Omawiany stop, podobnie jak inne stopy serii 7xxx, jest jednak wrażliwy na wpływy środowiska, a jego właściwości użytkowe zależą nie tylko od przestrzegania składu chemicznego, ale także od prawidłowych metod wytwarzania i przetwarzania materiału. Z powodu podatności na korozję warstwową materiał w odmianie T4 może być stosowany tylko pod warunkiem poddania wykonanej konstrukcji procesowi sztucznego starzenia. Jeśli materiał w odmianie T6 poddawany jest operacjom na zimno, takim jak gięcie, cięcie czy przebijanie itp, to w miejscach zgniotu należy liczyć się z pęknięciami wskutek korozji naprężeniowej. Zasadniczym wymogiem jest więc bezpośrednia współpraca (wzajemna konsultacja) projektanta i wytwórcy konstrukcji w kontekście jej przeznaczenia i przewidywanych warunków eksploatacji.

Stopy plastyczne nieobrabialne cieplnie

Stopy EN AW-5049, EN AW-5052, EN AW-5454 i EN AW-5754 - Są przydatne w przypadku części konstrukcji z połączeniami spawanymi lub mechanicznym, poddanych umiarkowanym (w sensie naprężeń) warunkom eksploatacji. Stopy te zachowują ciągliwość po odprężaniu, natomiast szybko tracą ciągliwość przy obróbce na zimno. Są one łatwo spawalne metodami MIG i TIG, a ponadto wykazują bardzo wysoką odporność na korozję, zwłaszcza

w środowisku morskim. Choć dostępne głównie w postaci wyrobów walcowanych, ze względu na obniżoną zawartość magnezu nadają się tylko do wyciskania wyrobów grubościennych o nieskomplikowanych kształtach. Stopy te w twardszych odmianach łatwo poddają się obróbce skrawaniem. Najmocniejszy ze stopów serii 5xxx, stop AW-5754, jest praktycznie odporny na korozję międzykrystaliczną i naprężeniową.

Stop EN AW-5083 - Jest najwytrzymalszym nieobrabialnym cieplnie stopem konstrukcyjnym oferowanym na rynku, który wykazuje dobre cechy w elementach spawanych i dobrą odporność na korozję. Jest on ciągliwy i łatwo formowalny w odmianach miększych, natomiast traci ciągliwość przy obróbce na zimno, zyskując w strefach zgniotu większą twardość kosztem znacznego spadku ciągliwości. Stop EN AW-5083 we wszystkich odmianach Hx, zwłaszcza w odmianach H32 i H34, może być podatny na korozję międzykrystaliczną, która w pewnych okolicznościach może doprowadzić do korozji naprężeniowej i rozwoju pęknięć w warunkach obciążeń długotrwałych. W celu minimalizacji tego efektu opracowano specjalne odmiany stopu, jak np. H116. Stosowanie tej odmiany nie jest jednak zalecane, gdy materiał ma być poddany dalszej znacznej obróbce na zimno i/albo przewidywana temperatura eksploatacji konstrukcji przekracza 65° C. W takich przypadkach zaleca się wybór stopu EN AW-5754. W warunkach eksploatacji, które stwarzają dla wybranego materiału (odmiany stopu) ryzyko rozwoju pęknięć w związku z korozją naprężeniową, przed dostawą wyrobu przeprowadza się odpowiednie próby na okoliczność korozji naprężeniowej. Warunki, w jakich przeprowadzone zostaną takie próby, uwzględniające warunki eksploatacji konstrukcji oraz realne właściwości materiałowe, powinny być uzgodnione między projektantem a dostawcą wyrobów. Stop EN AW-5083 jest dostosowany do spawania metodami MIG i TIG. Spawanie materiału umocnionego przez zgniot powoduje odwrócenie tego efektu w strefie wpływu ciepła i powrót do właściwości jak w stanie wyżarzonym. Omawiany stop jest dostępny w postaci blach, wyciskanych wyrobów grubościennych o nieskomplikowanych kształtach, rur bez szwu i ciągnionych oraz odkuwek. Z powodu wysokiej zawartości magnezu stop ten jest trudny do wyciskania i dlatego jest dostarczany w postaci nieskomplikowanych kształtowników o relatywnie grubych ściankach oraz w postaci jednokomorowych kształtowników rurowych bez szwu. Stop EN AW 5083 we wszystkich odmianach wykazuje dobrą skrawalność.

Stopy EN AW-3004, EN AW-3005, EN AW-3103 i EN AW 5005 - Są dostępne i najchętniej stosowane w postaci blach. Stopy te są nieco wytrzymalsze i twardsze niż dostępne na rynku tzw. czyste aluminium o wysokiej ciągliwości, dobrej spawalności i odporności na korozję.

Stop EN AW-8011A - Należy do grupy stopów AlFeSi i ma długą tradycję stosowania jako materiał do pakowania. Jednak dzięki zaletom technologicznym znajduje on coraz szersze zastosowanie w budownictwie i maszynach, zwłaszcza w produkcji elementów ścian osłonowych.

6.1.4 Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 6520-1.

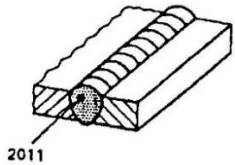
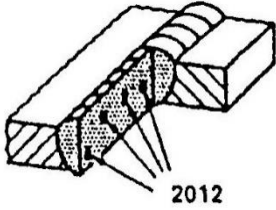
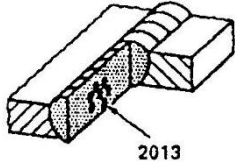
Norma PN-EN ISO 6520-1 „Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1” służy jako podstawa do dokładnej klasyfikacji i opisu niezgodności spawalniczych spoin. Podstawą systemu jest klasyfikacja niezgodności spawalniczych w sześciu grupach głównych.

Są to:

- a) pęknięcia;
- b) pustki;
- c) wtrącenia stałe;
- d) przyklejenie i braki przetopu;
- e) niezgodności kształtu i wymiaru;
- f) niezgodności spawalnicze różnorodne.

Każda z tych grup charakteryzuje się innymi wadami spoiny. Weryfikacja złącza spawanego polega na ocenie niezgodności spawalniczych. Norma dotycząca niezgodności spawalniczych, celem uniknięcia niejasności, definiuje podając opis i ewentualnie szkic poszczególnych niezgodności spawalniczych. Pełną klasyfikację niezgodności spawalniczych zamieszczono w przedmiotowej normie.

Nr odniesienia	Określenie i objaśnienie	Szkic
Grupa nr 1 Pęknięcia		
100	Pęknięcie Niezgodność spawalnicza spowodowana miejscowym rozerwaniem w stanie stałym, które może być spowodowane chłodzeniem lub naprężeniami	
104 1045 1046 1047	Pęknięcia w kraterze Pęknięcia w kraterze na końcu spoiny które może być: - podłużne - poprzeczne - promieniowe (pękanie gwiazdziste)	

Grupa nr 2 Pustki		
2011	<p>Pęcherz gazowy</p> <p>Pustka gazowa zasadniczo o kształcie kulistym</p>	
2012	<p>Pęcherze równomiernie rozłożone</p> <p>Pewna liczba pęcherzy gazowych w przybliżeniu równomiernie rozłożona w metalu spoiny. Nie należy ich mylić z łańcuchem pęcherzy (2014) i gniazdem pęcherzy (2013)</p>	
2013	<p>Skupisko porowatości (umiejscowione)</p> <p>Grupa pęcherzy gazowych mająca przypadkowy rozkład</p>	
Grupa nr 3 Wtrącenia stałe		
<p>304</p> <p>3041</p> <p>3042</p> <p>3043</p>	<p>Wtrącenie metaliczne</p> <p>Wtrącenie stałe w postaci obcego metalu</p> <p>Wtrąceniami metalicznymi mogą być:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wolfram - miedź - inny metal 	

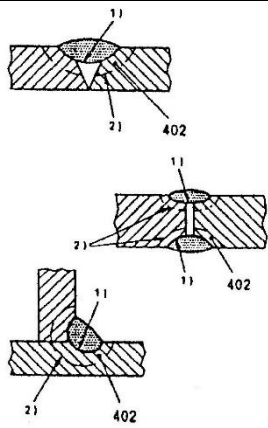
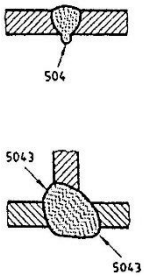
Grupa nr 4 Przyklejenie i brak przetopu		
402	Niepełny przetop (brak przetopu) Różnica między rzeczywistym i nominalnym przetopem	 <p>1) rzeczywisty przetop 2) nominalny przetop</p>
Grupa nr 5 Niezgodności kształtu i wymiarów		
504	Wyciek Wzmocnienie spoiny czołowej po stronie grani jest za duże	
5041	Może to być: - wyciek miejscowy	
5042	- wyciek ciągły	
5043	- przetopienie na wylot	
Grupa 6 Niezgodności spawalnicze różnorodne		
602	Rozprysk Cząstki stopiwa lub spoiwa rozpryskiwane w podczas spawania i przyklejające się do powierzchni materiału podstawowego lub skrzepniętego metalu spoiny	

Tabela 3. Przykłady sklasyfikowania niezgodności spawalniczych.

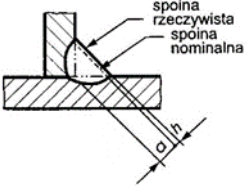
6.1.5 Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 5817.

PN-EN ISO 5817 – „Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) - Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych” może być stosowana w pełnym systemie jakości w celu wykonywania zadawalających złączy spawanych. Norma określa trzy podstawowe poziomy jakości.

Oznaczenie	Poziom jakości
D	wymagania łagodne
C	wymagania średnie
B	wymagania ostre

Tabela 4. Poziomy jakości złączy spawanych.

Oznaczenia D, C i B jednoznacznie określają poziomy jakości, które obejmują podstawowe zastosowania praktyczne. W przypadku ustrojów nośnych UTB przyjmuje się zazwyczaj, że dla poszczególnego złącza spawanego określenie jednego poziomu jakości, który obejmuje wymiary graniczne niezgodności spawalniczych, jest zwykle wystarczające. Złącza spawane należy zwykle oceniać indywidualnie dla każdego rodzaju niezgodności spawalniczej.

Nr	Określenie niezgodności spawalniczej	Odniesienie do ISO 6520	Komentarze	t [mm]	Wymiary graniczne niezgodności spawalniczych		
					Wymagania łagodne D	Wymagania średnie C	Wymagania ostre B
1. Niezgodności spawalnicze powierzchniowe							
1.1	Pęknięcie	100	-	$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
1.2	Pęknięcie w kraterze	104	-	$\geq 0,5$	Dopuszcza się	Nie dopuszcza się	
1.3	Por powierzchniowy	2017	Maksymalny wymiar pojedynczego pęcherza dla: - spoin czołowych - spoin pachwinowych	od 0,5 do 3	$d \leq 0,3 s$ $d \leq 0,3 a$	Nie dopuszcza się	
			Maksymalny wymiar pojedynczego pęcherza dla: - spoin czołowych - spoin pachwinowych	> 3	$d \leq 0,3 s$ ale max 3 mm $d \leq 0,3 a$ ale max 3 mm	$d \leq 0,2 s$ ale max 2 mm $d \leq 0,2 a$ ale max 2 mm	Nie dopuszcza się
1.21	Nadmierna grubość spoiny pachwinowej	5214	Rzeczywista grubość spoiny pachwinowej jest zbyt duża 	$\geq 0,5$	Nieograniczona	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 a$ ale max 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$ ale max 3 mm
2. Niezgodności spawalnicze wewnętrzne							
2.1	Pęknięcia	100	Wszelkie typy pęknięć z wyjątkiem mikropęknięć i pęknięć w kraterze	$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
2.2	Mikropęknięcia	1001	Pęknięcia widoczne zazwyczaj tylko pod mikroskopem (50x)	$\geq 0,5$	Dopuszcza się	Akceptacja zależna od rodzaju materiału podstawowego, ze szczególnym uwzględnieniem skłonności do pęknięcia	

2.11	Wtrącenia miedzi	3042		$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
3. Niezgodności spawalnicze geometrii złącza							
3.1	Przesunięcie liniowe	507	Wartości graniczne odnoszące się do odchyień od prawidłowego położenia. Jeżeli nie określono inaczej, prawidłowe położenie to takie, gdy osie pokrywają się.	od 0,5 do 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,25 t$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,15 t$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$

Tabela 5. Wartości graniczne niezgodności spawalniczych.

Niezgodności powierzchniowe dla złączy doczołowych i teowych			
Stale ferrytyczne	VT	VT i PT	VT i MT
Niezgodności wewnętrzne dla złączy doczołowych i teowych z pełnym przetopem wg. PN-EN ISO 17635			
Stale ferrytyczne	Grubość materiału spawanego		
	$t \leq 8$	$8 < t \leq 40$	$t > 40$
Złącza doczołowe	RT lub (UT)	RT lub UT	UT lub (RT*)
Złącza teowe	(UT*) lub (RT*)	UT lub (RT*)	UT lub (RT*)
Uwaga: * - rodzaje badań niezalecanych			
Badania wizualne - VT			
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817		Technika badania	
B		zgodnie z PN-EN ISO 17637	
C			
D			
Badania penetracyjne - PT			
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817		Technika badania	Poziom akceptacji zgodnie z PN-EN ISO 23277
B		PN-EN ISO 3452-1	2X
C			
D			3X
Badania magnetyczno - proszkowe - MT			
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817		Technika badania	Poziom akceptacji zgodnie z PN-EN ISO 23278
B		PN-EN ISO 17638	2X
C			
D			3X
Badania radiograficzne - RT			
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817		Technika badania / „klasa” badania wg PN-EN ISO 17636-1	Poziom akceptacji zgodnie z PN-EN ISO 10675-1
B		„klasa” badania B	1

C		2
D	„klasa” badania min. A	3
Badania ultradźwiękowe - UT		
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817	Technika badania / „klasa” badania wg PN-EN ISO 17640	Poziom akceptacji zgodnie z PN-EN 11666
B	„klasa” badania min. B	2
C	„klasa” badania min. A	3
D	nie zdefiniowano	UT nie rekomendowane

Tabela 6. Wymagania dotyczące badań nieniszczących spoin.

Podsumowując, znajomość konstrukcji urządzenia oraz metod wytwarzania daje świadomość co do ewentualnych zagrożeń, które należy wziąć pod uwagę w dalszych etapach.

Kolejnym krokiem związanym z oceną stanu technicznego, powinny być wstępne oględziny konstrukcji nośnej. Osoba dokonująca oględzin konstrukcji nośnej weryfikuje ją pod kątem występowania zewnętrznych objawów uszkodzenia czyli np. pęknięć powierzchniowych, odspojonych elementów itp. Czynność ta nie może być oczywiście traktowana jako badanie wizualne, natomiast pozwala na wyeliminowanie podstawowych defektów przed prowadzeniem dalszych czynności.

Podczas dokonywania oględzin konstrukcji nośnej należy zweryfikować poprawność połączeń rozłącznych, w tym momentów dokręcenia.

W przypadku zauważenia podczas oględzin miejsc skorodowanych, należy w ramach czynności związanych z oceną stanu technicznego ustroju nośnego, wykonać pomiar grubości elementów nośnych w miejscach występowania korozji wraz z oceną wpływu na wytrzymałość konstrukcji. W przypadku urządzeń pracujących na wolnym powietrzu gdzie konstrukcja ma postać profilu zamkniętego, należy dokonać pomiarów grubości w wytypowanych miejscach celem sprawdzenia, czy korozja nie występuje wewnątrz profilu zamkniętego. Czynność pomiaru grubości ścianek można pominąć w przypadku ustrojów nośnych urządzeń pracujących w pomieszczeniu zamkniętym bez widocznych ognisk korozji.

Oględziny urządzenia powinny dostarczyć wstępnych informacji nie tylko na temat poziomu jakości wykonania urządzenia ale też ogólnego stanu technicznego i realnych warunków pracy, oraz innych aspektów ważnych w kolejnych etapach, takich jak:

- a) możliwość dostępu do konstrukcji – np. wykorzystanie rusztowań, podestów, konieczności demontażu konstrukcji np. masztu, platformy;

- b) stanu powłok antykorozyjnych – np. możliwość wykonania badań wizualnych bez oczyszczania, usunięcie ognisk korozji, piaskowanie konstrukcji, częściowe oczyszczenie konstrukcji;
- c) oświetlenia – np. natężenie oświetlenia, możliwości zastosowania przenośnych źródeł światła;
- d) rzeczywistego środowiska pracy – np. panujące temperatury, wilgotność, atmosfera wybuchowa, stężenie substancji szkodliwych;
- e) aspekty związane z bezpiecznym przeprowadzeniem procesu oceny konstrukcji.

6.1.6 Weryfikacja połączeń śrubowych.

Ocena stanu technicznego połączeń śrubowych, powinna polegać na wymianie całości użytych zestawów (śruba, nakrętka, podkładka). Osiąga się w ten sposób pewność połączeń przywracając właściwości mechaniczne do stanu pierwotnego. Takie rozwiązanie nie ma znaczącego wpływu na ekonomiczną stronę wykonywania oceny stanu technicznego całości ustroju nośnego urządzenia. Ze względu na różne właściwości mechaniczne zestawów nie należy łączyć lub stosować zamiennie. Zestawy powinny być dostarczone razem jako komplet z jednej partii produkcyjnej i spełniać podane w specyfikacji wymagania. Wraz z zestawami powinno być dostarczone świadectwo kontroli 3.1 (wg PN-EN 10204 „Wyroby metalowe – Rodzaje dokumentów kontroli”), które może być pominięte i zastąpione nawet dokumentem 2.1, jeżeli dostarczona partia będzie oznaczona przez wytwórcę, z podaniem wyników testów. Należy wskazać na pojawiające się w instrukcjach zapisy, odnośnie momentu dokręcenia połączenia, jak również możliwości tylko kilkukrotnego dokręcania połączenia. W przypadku stosowania połączeń śrubowych należy również zwrócić uwagę na stan otworu pod śrubę. Weryfikacji podlega nadmierne wyoblenie, pęknięcie, korozja itp.

Podczas weryfikacji połączeń śrubowych należy skontrolować czy zastosowano podstawowe zasady związane z wykonywaniem połączeń:

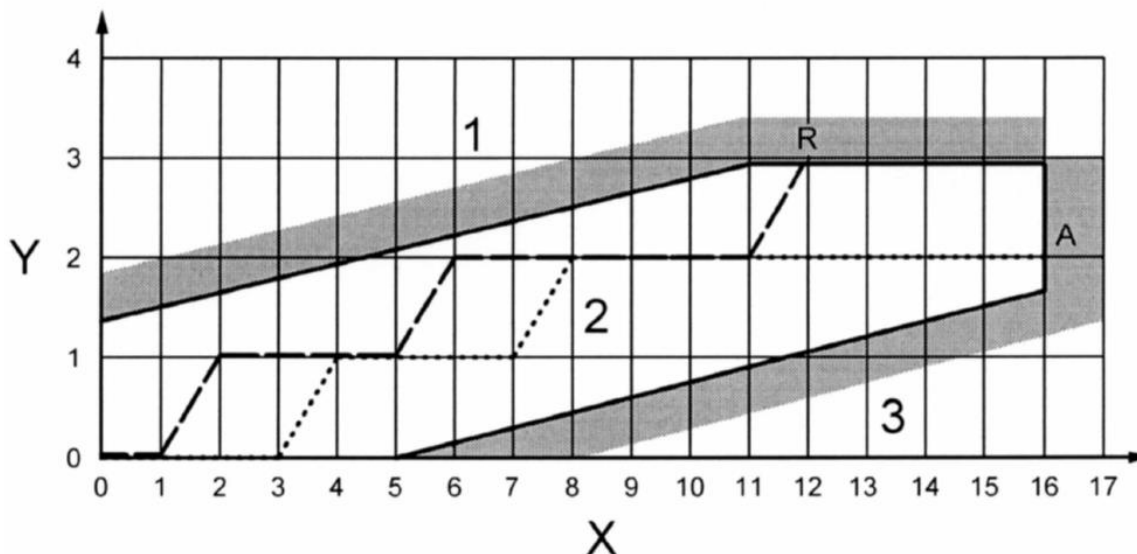
- a) dla śrub o klasie własności mechanicznej 8.8 należy stosować podkładki pod łbem lub nakrętką, dla śrub o klasie 10.9 pod łbem i pod nakrętką;
- b) do śrubowych połączeń sprężanych należy stosować śruby dokładne lub średniodokładne;
- c) przy połączeniach pasowanych należy stosować śruby pasowane o klasie wytrzymałości minimum 5.6 i pasowaniu trzpienia z otworem w konstrukcji H11/h11 (pasowanie luźne);

- d) dla śrub pasowanych należy stosować podkładki sprężyste lub okrągłe, natomiast dla połączeń śrubowych sprężanych należy stosować podkładki okrągłe ze stali ulepszonej cieplnie;
- e) w połączeniach wystająca część gwintu mierzona od lica nakrętki do końca trzpienia powinna mieć długość nie mniejszą niż jedna podziałka gwintu;
- f) dobór długości śruby do grubości połączenia;
- g) dobór właściwego momentu dokręcenia dla danego połączenia.

Gwint śruby	Powierzchnia przekroju rdzenia	Siła sprężająca	Moment sprężający	
			Smarowanie gwintu dwusiarczkiem molibdenu MoS ₂	Smarowanie gwintu smarem stałym
	mm ²	kN	Nm	
M12	84,3	57	100	120
M16	157	106	250	350
M20	245	166	450	600
M24	353	239	800	1100
M30	561	379	1650	2200

Tabela 7. Przykłady momentów dokręcenia połączeń śrubowych klasy 10.9.

Jeżeli kontrola wyrywkowa połączeń śrubowych jest uzasadniona, to można zastosować graficzną metodę sekwencyjną, która opisana jest w PN-EN 1090-2 „Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych”.



Linie ciągłe na wykresie wyznaczają trzy strefy: strefę odrzucenia (1), strefę kontynuacji (2) i strefę akceptacji (3), oś X – liczba skontrolowanych łączników, oś Y – liczba wadliwych łączników

Rysunek 23. Przykładowa obwiednia w metodzie sekwencyjnej.

Aby w sposób zrozumiały wyjaśnić zasadę metody sekwencyjnej warto omówić przykładowe przypadki:

- a) linia kropkowana: łączniki 4 i 8 okazały się wadliwe. Kontrolę kontynuowano do momentu przecięcia wykresu kontrolnego z pionowym odcinkiem obwiedni, w 16 próbie (pkt A) jest to równoznaczne z akceptacją wyników kontroli.
- b) linia przerywana; łączniki 2, 6, i 12 okazały się wadliwe. Krzywa kontrolna, przecinając obwiednię w 12 próbie (pkt R) znalazła się w strefie odrzucenia kontroli, co wiąże się z potrzebą wymiany wszystkich połączeń śrubowych.

Zaznaczyć trzeba, że przy zastosowaniu wyrywkowej kontroli połączeń śrubowych stosowanych w ustrojach nośnych, należy w sposób jednoznaczny udokumentować przyjętą metodę, zastosowane kryterium oceny oraz wykonane czynności.



Rysunek 24. Przykład połączenia śrubowego kolumny układnicy.

6.2 ETAP 2 - ocena wymiarowa konstrukcji

Ocena geometrii ustroju nośnego, opiera się na przeprowadzeniu pomiarów głównych elementów nośnych oraz weryfikacji trwałych odkształceń elementów. Wymagania dotyczące przyjętych kryteriów akceptacji muszą zostać wskazane przez osobę kompetentną. Osoba ta, na etapie określania właściwych poziomów akceptacji powinna posiłkować się dokumentacją eksploatacyjną urządzenia oraz normami przedmiotowymi. W związku z tym, że na rynku istnieją urządzenia, które wytwarzane były w różnych latach w oparciu o obowiązujące w danym okresie wymagania, kluczowym jest zidentyfikowanie wymagań, wg których należy ustrój nośny urządzenia weryfikować.

Poniżej przedstawiono przykładowe odchyłki przyjmowane przez normy przedmiotowe dotyczące konstrukcji spawanych (PN-EN ISO 13920 „Spawalnictwo. Tolerancje ogólne dotyczące konstrukcji spawanych. Wymiary liniowe i kąty. Kształt i położenie.”) W przypadku braku zaleceń wytwórcy co do tolerancji wymiarów elementów spawanych zaleca się przyjęcie klas B lub C wg tabeli 8 i 9 oraz F lub G wg tabeli 10.

Zakres wymiarów nominalnych [mm]											
Klasa tolerancji	2 ÷ 30	Powyżej 30 ÷ 120	Powyżej 120 ÷ 400	Powyżej 400 ÷ 1000	Powyżej 1000 ÷ 2000	Powyżej 2000 ÷ 4000	Powyżej 4000 ÷ 8000	Powyżej 8000 ÷ 12000	Powyżej 12000 ÷ 16000	Powyżej 16000 ÷ 20000	Powyżej 20000
	Tolerancje [mm]										
A	± 1	± 1	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9
B		± 2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
C		± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18	± 21	± 24	± 27
D		± 4	± 7	± 9	± 12	± 16	± 21	± 27	± 32	± 36	± 40

Tabela 8. Tolerancje wymiarów liniowych.

Klasa tolerancji	Zakres wymiarów nominalnych „l” [mm] (długość krótszego ramienia)		
	do 400	Powyżej 400 ÷ 1000	Powyżej 1000
	Tolerancje $\Delta \alpha$ (w stopniach i minutach)		
A	± 20'	± 15'	± 10'
B	± 45'	± 30'	± 20'
C	± 1°	± 45'	± 30'
D	± 1° 30'	± 1° 30'	± 1°
Wyliczone i zaokrąglone tolerancje „t” [mm/m] ¹⁾			
A	± 6	± 4,5	± 3
B	± 13	± 9	± 6
C	± 18	± 13	± 9
D	± 26	± 22	± 18
1) Wartość w mm/m jest równa wartości tangensa kąta i odpowiada tolerancji ogólnej. Dla wyliczenia odpowiedniej wartości tolerancji wartość „t” mnoży się przez długość krótszego ramienia „l” wyrażoną w m.			

Tabela 9. Tolerancje wymiarów kątowych.

Zakres wymiarów nominalnych „l” [mm] (w odniesieniu do dłuższej powierzchni)										
Klasa tolerancji	30 ÷ 120	120 ÷ 400	400 ÷ 1000	1000 ÷ 2000	2000 ÷ 4000	4000 ÷ 8000	8000 ÷ 12000	12000 ÷ 16000	16000 ÷ 20000	powyżej 20000
	Tolerancja „t” w [mm]									
E	0,1	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8
F	1	1,5	3	4,5	6	8	10	12	14	16
G	1,5	3	5,5	9	11	16	20	22	25	25
H	2,5	5	9	14	18	26	32	36	40	40

Tabela 10. Tolerancje prostoliniowości, płaskości i równoległości.

Wymiar nominalny mm	powyżej	-	2000	4000	8000	16000	32000
	do	2000	4000	8000	16000	32000	-
Dopuszczalna odchyłka mm		± 2	± 4	± 6	± 10	± 16	± 25

Tabela 11. Tolerancje części i podzespołów stalowego ustroju nośnego nie powiązanych z zespołami mechanicznymi

wg PN-M-45535.

Jeszcze raz warto wspomnieć jak ważne jest stosowanie odpowiednich specyfikacji technicznych do oceny ustrojów nośnych, gdyż w przypadku stosowania innych wymagań odniesienia niż w procesie wytwarzania, może okazać się, że osoba kompetentna przyjęła wyższe („ostrzejsze”) kryteria akceptacji niż te, które założył wytwórca urządzenia.

W przypadku wykonywania pomiarów geometrii w sporządzonym dokumencie należy:

- a) wskazać opis wykonanych czynności;
- b) metodę pomiaru;
- c) uzyskane wyniki z odniesieniem do przyjętych kryteriów akceptowalności;
- d) szacowane błędy pomiarowe

Zaleca się, aby dokument ten spełniał zasadę identyfikowalności, a więc zawierał odniesienia do punktów pomiarowych poprzez dokładny opis, rysunki czy zdjęcia. Osoba wykonująca pomiary powinna dysponować wyposażeniem pomiarowo - badawczym o aktualnym statusie wzorcowania/sprawdzenia.



Rysunek 25. Odkształcenie konstrukcji nośnej wyciągu towarowego.

6.3 ETAP 3 - podstawowe badania NDT

6.3.1 Wstęp do badań nieniszczących.

Badania nieniszczące (NTD – ang. Non Destructive Testing) to badania, które służą do wykrywania nieciągłości materiałowych, oceny właściwości materiałów i pomiarów wymiarów obiektów, bez powodowania zmian w ich właściwościach użytkowych. W przypadku zapisów niniejszego dokumentu, badania nieniszczące dotyczą urządzeń, które podlegają ocenie stanu technicznego po osiągnięciu ресурсu przez urządzenie (konstrukcję nośną). Dzięki przeprowadzeniu badań nieniszczących możliwe jest zbadanie całego wyznaczonego przez osobę kompetentną obszaru będącego przedmiotem weryfikacji. Obiektami technicznymi badań nieniszczących w przypadku konstrukcji nośnych, są przede wszystkim połączenia nierozłączne spawane jak również materiał rodzimy. Warto w tym rozdziale przekazać ogólną wiedzę dotyczącą procesów związanych z przeprowadzaniem badań nieniszczących oraz właściwego doboru badania w stosunku do materiału, wielkości spoiny oraz rodzaju złącza.

Z uwagi na charakter wykrywanych nieciągłości, metody badań nieniszczących (NDT) można podzielić na:

- a) metody powierzchniowe – metody pozwalające na wykrywanie nieciągłości występujących na powierzchni materiału;
- b) metody objętościowe – metody pozwalające na wykrywanie nieciągłości występujących wewnątrz materiału.

W ramach metod powierzchniowych możemy wyróżnić:

- a) badania wizualne;
- b) badania penetracyjne;

c) badania magnetyczno-proszkowe.

W ramach metod objętościowych możemy wyróżnić:

a) badania radiograficzne;

b) badania ultradźwiękowe.

6.3.2 Badanie wizualne

Badania wizualne (VT – ang. Visual Testing) są podstawową metodą badawczą, która pozwala na wykrywanie nieciągłości powierzchniowych danego obiektu. Za pomocą nieuzbrojonego oka lub przyrządów optycznych o powiększeniach dochodzących do 20× wykrywane są pęknięcia, zniekształcenia, zażużlenia czy zmiany korozyjne i erozyjne materiałów. W badaniach wizualnych wymagane jest, aby kąt obserwacji wynosił min. 30°. Odległość obserwacji nie powinna być większa niż 600 mm. Do badań można wykorzystać zarówno światło naturalne jak i sztuczne białe. Natężenie światła podczas badania wizualnego powinno wynosić m.in. 500 lx, przy czym za wystarczającą wartość do badań połączeń spawanych wg norm europejskich przyjmuje się 350 lx. Do podstawowego wyposażenia badawczego w tej metodzie należą:

a) suwmiarka;

b) przymiar liniowy;

c) spoinomierz;

d) szczelinomierz;

e) sprawdziany np. do pomiaru kształtu suwmiarki;

f) lupy;

g) lusterko;

h) źródło światła białego;

i) miernik natężenia światła (luksomierz);

j) endoskopy:

- sztywne (boroskopy);

- giętkie (fiberoskop);

k) wideoendoskop;

l) aparat fotograficzny.

Badania wizualne dzielimy na:

- a) badania wizualne bezpośrednie czyli takie, w którym ścieżka optyczna od oka obserwatora do badanego obszaru nie jest przerywana (np. badanie bez wspomagania, badanie z zastosowaniem lusterka, soczewki, endoskopu);
- b) badanie wizualne zdalne czyli takie, w którym dochodzi do przerywania ścieżki optycznej od oka obserwatora do badanego obszaru (np. badanie z zastosowaniem wideosystemów, fotografii, robotów).



Rysunek 26. Pęknięcie spoiny konstrukcji nośnej wyciągu towarowego.

6.3.3 Wytypowanie miejsc do badań wizualnych

Poprzednie etapy oceny stanu technicznego powinny dostarczyć osobie kompetentnej wiele informacji na temat stanu technicznego urządzenia, jego historii eksploatacji i możliwych uszkodzeń. Oprócz aspektów dotychczas omówionych należy wskazać na kolejny, który powinien zostać wzięty pod uwagę przy typowaniu miejsc do badania VT.

W elementach konstrukcyjnych bardzo często występują spiętrzenia odkształceń i naprężeń, które zmniejszają wytrzymałość zmęczeniową. Takie zjawisko w literaturze określono jako efekt działania karbu. Udowodniono, że najbardziej niebezpiecznym miejscem w konstrukcjach są właśnie karby, określane również jako koncentratory naprężeń. W tych obszarach w trakcie obciążeń eksploatacyjnych mogą pojawiać się pęknięcia (lub mikropęknięcia), co w rezultacie prowadzi do zniszczenia elementu i awarii maszyny.

W mechanice pękania dokonano podziału tych nieciągłości na trzy podstawowe grupy:

- a) karby geometryczne;
- b) karby strukturalne;
- c) karby złożone, które uwzględniają jednocześnie geometrię i strukturę.

Karby geometryczne charakteryzują się tym, że w ich dnie występuje złożony stan naprężenia o wartościach zdecydowanie przekraczających naprężenia nominalne. Przykładem tego typu karbów są:

- a) gwinty;
- b) zmiana przekrojów;
- c) otwory.

Większość karbów geometrycznych wynika z umieszczenia dodatkowych elementów wyposażenia konstrukcji, jak na przykład osłony, wsporniki, mocowania napędów, itp. Dlatego bardzo trudno wyeliminować wszystkie karby geometryczne w konstrukcji i należy uwzględnić ich wpływ oraz zminimalizować skutki ich oddziaływania na konstrukcję.

Karby strukturalne to nieciągłości umiejscowione w poprzecznym przekroju elementu powstałe w skutek zmian w strukturze materiału. Karbami tego typu mogą być wtrącenia niemetaliczne, metaliczne, czy zmiany wielkości ziarna w skutek przeprowadzonych obróbek cieplnych i chemicznych materiału. Bardzo często występują w nich naprężenia własne pochodzące z procesów technologicznych. Te naprężenia często nazywane są naprężeniami reszkowymi lub naprężeniami własnymi.

Karby złożone uwzględniają jednocześnie geometrię oraz strukturę i są najczęściej spotykanymi typami karbów w konstrukcjach, czy w elementach maszyn. Doskonałym przykładem takiego karbu są połączenia spawane, w których występuje złożony stan naprężeń. W następstwie powstają strefy koncentracji naprężeń, w których najczęściej dochodzi do pęknięcia zmęczeniowego.

Znajomość konstrukcji elementów nośnych urządzenia, tematyka związana z mechaniką pękania i wpływem karbów na wytrzymałość i trwałość konstrukcji, a także jej oględziny powinny być podstawowymi założeniami do prowadzenia procesu badania. Poniżej kilka przykładów miejsc koncentracji naprężeń:

- a) węzły kratownic;
- b) miejsca w obrębie mocowania siłowników hydraulicznych;
- c) miejsca zmian przekrojów elementów konstrukcyjnych;
- d) miejsca krzyżowania się spoin;
- e) miejsca wykonanych napraw i modernizacji z zastosowaniem spajania;
- f) mocowanie stężeń, wsporników, zastrzałów, itp.;

- g) mocowanie elementów wyposażenia, które z uwagi na sposób mocowania oraz masę mogą mieć wpływ na powstawanie pęknięć.

Nie wyczerpuje to wszystkich możliwych przypadków, a jedynie wskazuje miejsca najczęstszego występowania nieciągłości dotyczących eksploatowanych UTB. Wytypowane przez osobę kompetentną miejsca powinny zostać przygotowane do badania VT zgodnie z wytycznymi osoby wykonującej badania.

Celem przeprowadzenia prawidłowej oceny konstrukcji nośnej jako minimum można traktować poniższe wskazówki, analizując wykonane spoiny w kontekście grupy 1 (pęknięcia) normy PN-EN ISO 6520-1 tabela 1. W przypadku stwierdzenia podczas badań przekroczenia dopuszczalnych wartości związanych z poziomami akceptacji oraz kryteriami akceptacji, badaniu podlega 100% spoin w badanym obszarze. Stwierdzone niezgodności należy udokumentować, a następnie podjąć decyzję co do dalszego postępowania. Mogą one być usunięte w procesie naprawy zgodnie z przepisami o dozorze technicznym. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie metod obliczeniowych, które pozwolą na określenie czy dana niezgodność ma istotny wpływ na obniżenie wytrzymałości i trwałości konstrukcji. W przypadku stwierdzenia, że wpływ wykrytej niezgodności na konstrukcję nośną jest znikomy, można nie przeprowadzać procesu naprawy. Jednakże w tym przypadku dokumentacja obliczeniowa stanowi załącznik do całości dokumentacji przeprowadzanej oceny stanu technicznego. Metody badania podane w tabeli mogą zostać zastąpione inną, równoważną metodą.

Rodzaj badanego obiektu	Rodzaj badania	Badany obszar	Zakres kontroli	Poziom jakości	Kryterium akceptacji	Technika badania
Spoiny blachownicowych konstrukcji nośnych	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie najbardziej obciążonego połączenia	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT ¹		50%		2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
	MT		50%	2X zgodnie z PN-EN ISO 23278	zgodnie z PN-EN ISO 17637	
	UT ²		50%	-	2 zgodnie z PN-EN 11666	„klasa” badania min. B wg PN-EN ISO 17640

¹ Metodę PT można zastąpić metodą MT w każdym z przypadków podanych w niniejszej tabeli

² Tylko dla grubości materiału spawanego $8 < t \leq 40$

Spoiny blachownicowych konstrukcji nośnych podwozi, ram, podpór i podstaw	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie połączenia	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT		50%		2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
	UT ³		25%	-	2 zgodnie z PN-EN 11666	„klasa” badania min. B wg PN-EN ISO 17640
Spoiny w obrębie połączeń rozłącznych pomiędzy elementami konstrukcyjnymi (sekcje masztów, platform, podstaw ładunkowych itp.)	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie połączenia	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT		50%		2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
	UT ⁴		50%	-	2 zgodnie z PN-EN 11666	„klasa” badania min. B wg PN-EN ISO 17640

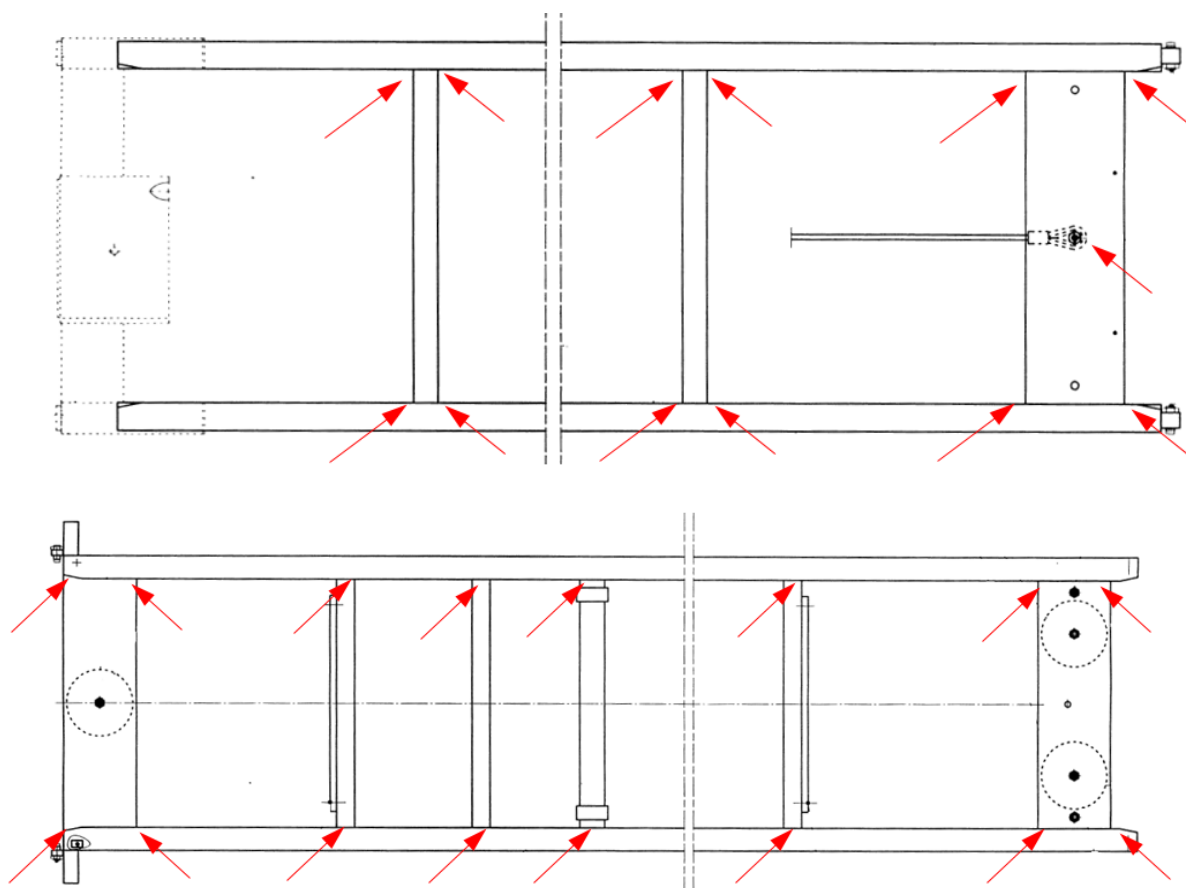
³ Tylko dla grubości materiału spawanego $8 < t \leq 40$

⁴ Tylko dla grubości materiału spawanego $8 < t \leq 40$

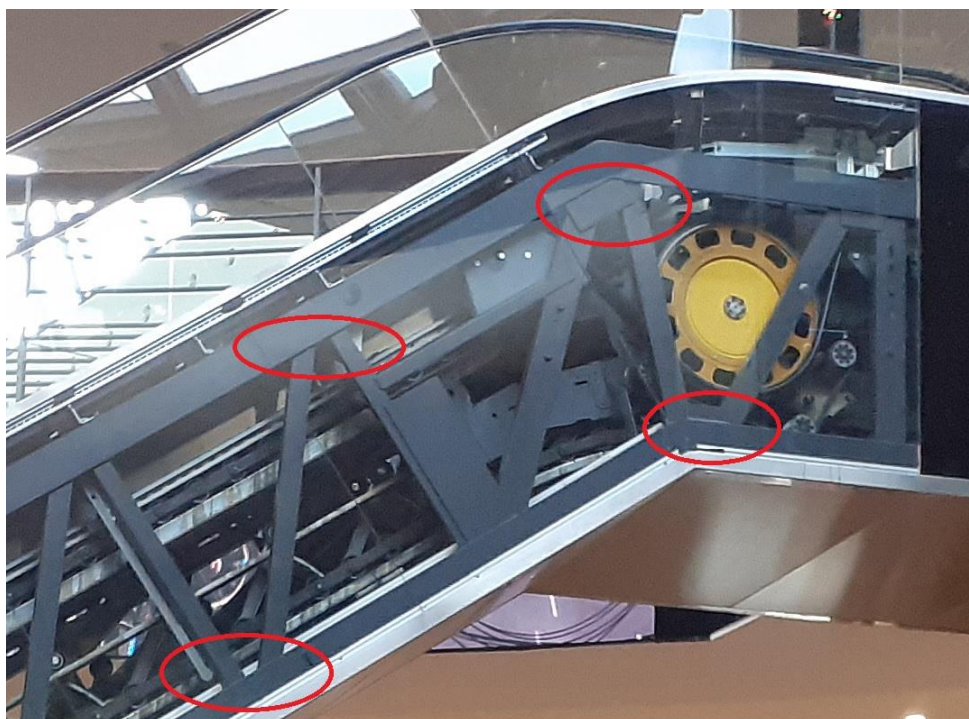
Spoiny kratownicowych konstrukcji nośnych	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie połączenia	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT		25%	C zgodnie z PN-EN ISO 5817	2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
Spoiny w miejscach zmian przekrojów elementów konstrukcyjnych	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie połączenia	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT		25%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
Miejsca krzyżowania się spoin innych niż ww	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie mocowania	50%	C zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT		25%	C zgodnie z PN-EN ISO 5817	2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1

Spawane mocowanie stężeń, wsporników, zastrzałów, itp.	VT	Wszystkie dostępne spoiny	50%	D zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT	w obrębie mocowania	25%	D zgodnie z PN-EN ISO 5817	3X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
Spawane mocowania elementów wyposażenia, które z uwagi na sposób mocowania oraz masę mogą mieć wpływ na powstawanie pęknięć	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie mocowania	10%	D zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637

Tabela 12. Miejsca oraz kryteria akceptacji dotyczące wykonywanych badań NDT w ramach oceny stanu technicznego urządzenia nośnego.



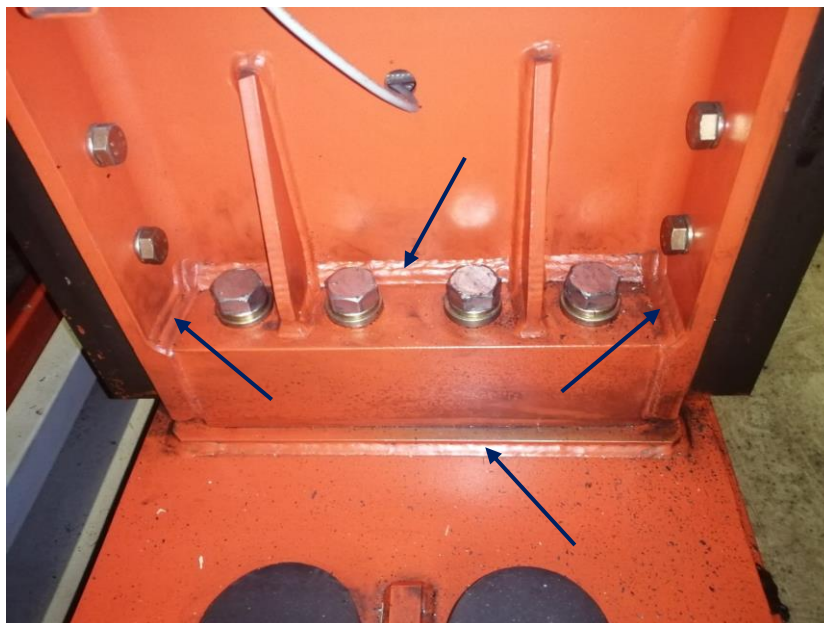
Rysunek 27. Przykładowe miejsca kontroli konstrukcji nośnej wyciągu towarowego.



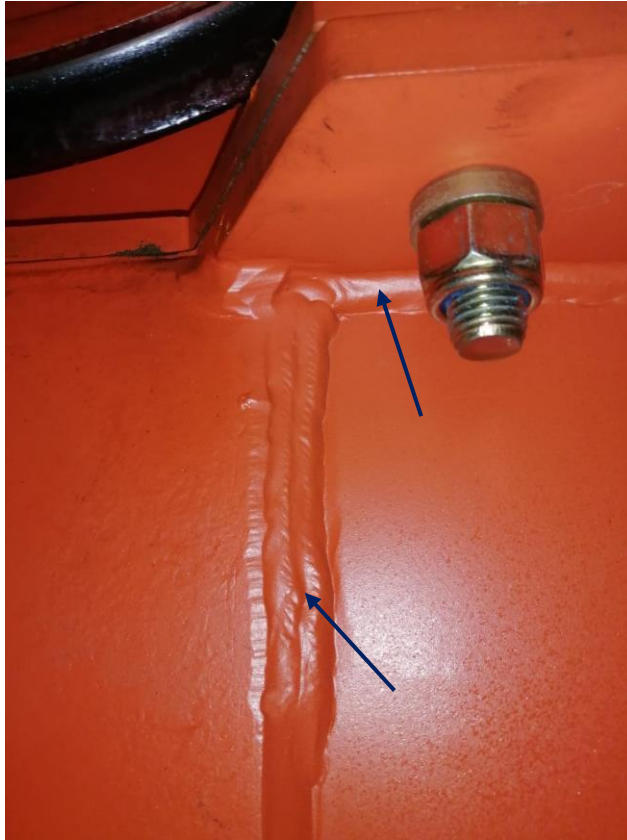
Rysunek 28. Przykładowe węzły konstrukcji nośnej schodów ruchomych podlegające badaniom.



Rysunek 29. Przykładowe węzły podpory dźwignicy linotorowej podlegające badaniom.



Rysunek 30. Przykładowe spoiny połączenia kolumny z dolnym zespołem jezdny układnicy podlegające badaniom.



Rysunek 31. Przykładowe spoiny kolumny układnicy podlegające badaniom.



Rysunek 32. Przykładowe spoiny kolumny układnicy podlegające badaniom.



Rysunek 33. Przykładowe spoiny podstawy ładunkowej układnicy podlegające badaniom.



Rysunek 34. Przykładowe spoiny górnego zespołu prowadzącego układnicy podlegające badaniom.

6.3.4 Dokumentowanie badania

Każdorazowo z przeprowadzonych badań należy utworzyć dokument, który jest załącznikiem (lub integralną częścią) do protokołu z oceny stanu technicznego konstrukcji

nośnej. Zasady dokumentowania przeprowadzonych badań VT omówione są w normach przedmiotowych dla badań NDT. Zaleca się, aby protokół spełniał wspomnianą wcześniej zasadę identyfikowalności, a więc zawierał odniesienia do punktów pomiarowych poprzez dokładny opis, rysunek czy zdjęcie. Osoba wykonująca pomiary powinna dysponować wyposażeniem pomiarowo - badawczym o aktualnym statusie wzorcowania / sprawdzenia wymienionym w raporcie z badania. Po pozytywnej ocenie wizualnej konstrukcji nośnej, można przejść do kolejnego etapu jakim jest wykonanie dodatkowych badań NDT.

6.4 ETAP 4 - pozostałe badania NDT

6.4.1 Wiarygodność wyników

Na wiarygodność wyników badań nieniszczących wpływają elementy związane z:

- a) wyborem odpowiednich miejsc konstrukcji do badania;
- b) wyborem właściwej metody badania;
- c) sposobem przeprowadzenia badania;
- d) kompetencjami / biegłością personelu badawczego;
- e) kompetencją laboratorium badawczego;
- f) nadzorem metrologicznym (wzorcowanie, sprawdzenia);
- g) warunkami środowiskowymi.

Badania urządzeń objętych dozorem technicznym powinny być wykonywane przez personel kwalifikowany i certyfikowany zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9712:2012 „Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących”. Personel wykonujący badania nieniszczące winien posiadać odpowiednie kompetencje w poszczególnych metodach badawczych.

Metoda NDT	Symbol
Badania emisją akustyczną	AT
Badania prądami wirowymi	ET
Badania termograficzne w podczerwieni	TT
Badania szczelności	LT
Badanie magnetyczne	MT
Badania penetracyjne	PT
Badania radiograficzne	RT
Badania tensometryczne	ST
Badania ultradźwiękowe	UT
Badania wizualne	VT

Tabela 13. Rodzaje i symbole badań NDT.

Wyposażenie pomiarowo – badawcze (WPB) powinno podlegać weryfikacji, być monitorowane, sprawdzane i wzorcowane zgodnie z odpowiednio przyjętym programem postępowania.

Badania powinny być prowadzone w warunkach środowiskowych określonych w odpowiednich dokumentach odniesienia. Warunki środowiskowe powinny być monitorowane zgodnie z wymaganiami normy PN – EN ISO/IEC 17025:2018-02 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”. W przypadku odstępstw od wymagań normy przedmiotowej, należy przerwać badania lub przeprowadzić proces walidacji.

Stopnie kwalifikacji personelu do wykonywania badań NDT		
1 stopień	2 stopień	3 stopień
<p>Osoba certyfikowana na 1 stopień posiada kompetencje do wykonywania NDT pod nadzorem personelu 2 lub 3 stopnia, zgodnie z pisemnymi instrukcjami.</p> <p>W zakresie kompetencji określonej certyfikatem, personel 1 stopnia może być upoważniony przez pracodawcę, aby wykonywać następujące czynności zgodnie z instrukcjami NDT:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) nastawianie aparatury NDT; b) wykonywanie badań; c) zapisywanie wyników badań i klasyfikowanie na podstawie pisemnych kryteriów; d) protokołowanie wyników badań. <p>Personel 1 stopnia nie powinien być odpowiedzialny za wybór stosowanej metody lub techniki badania, ani za interpretację wyników badań.</p>	<p>Osoba certyfikowana na 2 stopień posiada kompetencje do wykonywania NDT zgodnie z procedurami NDT.</p> <p>W zakresie kompetencji określonej certyfikatem, personel 2 stopnia może być upoważniony przez pracodawcę do:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) doboru techniki NDT dla stosowanej metody badania; b) określania ograniczeń w stosowaniu metody badania; c) przenoszenia wymagań kodeksów, norm, specyfikacji i procedur do instrukcji NDT dostosowanych do rzeczywistych warunków pracy; d) nastawiania i sprawdzania ustawień aparatury; e) wykonywania i nadzorowania badań; f) interpretacji i oceny wyników zgodnie z obowiązującymi normami, kodeksami, specyfikacjami lub procedurami; g) wykonywania i nadzorowania wszystkich obowiązków dla personelu 2 stopnia i niższych; h) wprowadzania wytycznych dla personelu 2 stopnia lub niższego; protokołowania wyników NDT. 	<p>Osoba certyfikowana na 3. stopień posiada kompetencje do wykonywania i kierowania działaniami w ramach NDT, w których jest certyfikowana.</p> <p>W zakresie kompetencji określonej w certyfikacie, personel 3. stopnia może być upoważniony przez pracodawcę do:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) przyjęcie pełnej odpowiedzialności za laboratorium badawcze i personel; b) ustalania, przeglądu poprawności redakcyjnej i technicznej oraz zatwierdzania instrukcji i procedur NDT; c) interpretowania norm, kodeksów, specyfikacji, procedur i instrukcji NDT; d) wprowadzania do stosowania szczególnych metod badania, procedur i instrukcji; e) wykonywania i nadzorowania wszystkich obowiązków personelu wszystkich stopni; f) ustalania wytycznych dla personelu NDT na wszystkich stopniach.

Tabela 14. Zakres kompetencji personelu NDT.

6.4.2 Dobór i zakres stosowalności poszczególnych metod.

Jednym z głównych czynników mających wpływ na wiarygodność uzyskanych wyników jest dobór prawidłowej metody przeprowadzania badań. Niestety nie dysponujemy jedną metodą badań, która miałaby zastosowanie do wszystkich urządzeń, materiałów, rodzajów oraz wielkości złączy. W związku z tym, na osobie kompetentnej spoczywa

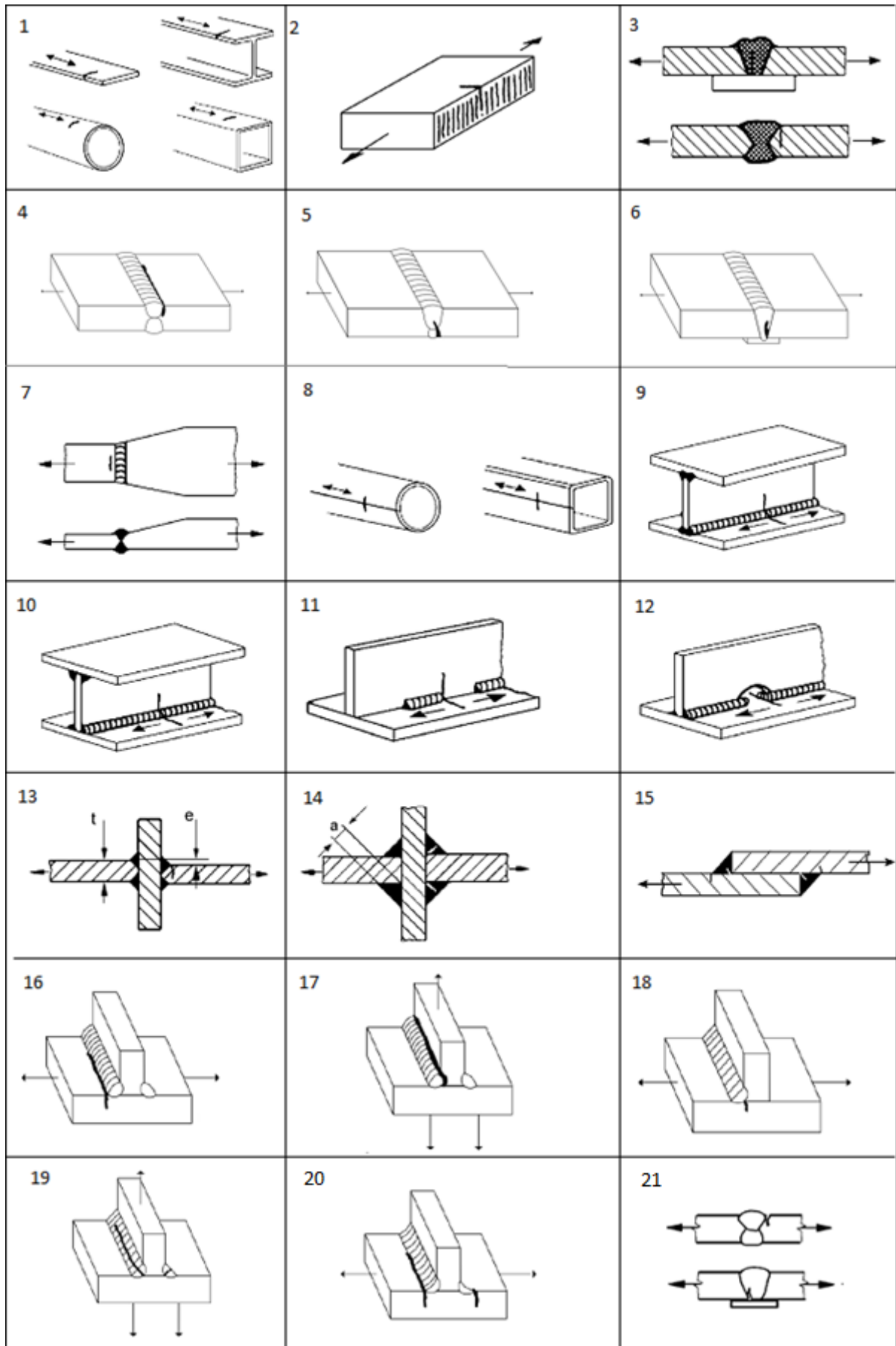
w głównej mierze dobór właściwej metodologii badań dla danego obiektu badanego. Badania wizualne określane są jako badania obarczone bardzo dużym błędem. Wielkość niezgodności, które oko ludzkie może zauważyć jest nieporównywalnie większa od niezgodności, które wykrywane są innymi metodami. Z zasady można przyjąć, że uzupełnienie badań VT inną, dokładniejszą metodą badania wydaje się niezbędne, w szczególności dla konstrukcji spawanych. Poniżej porównano różne metody badań wskazując ich zalety i wady.

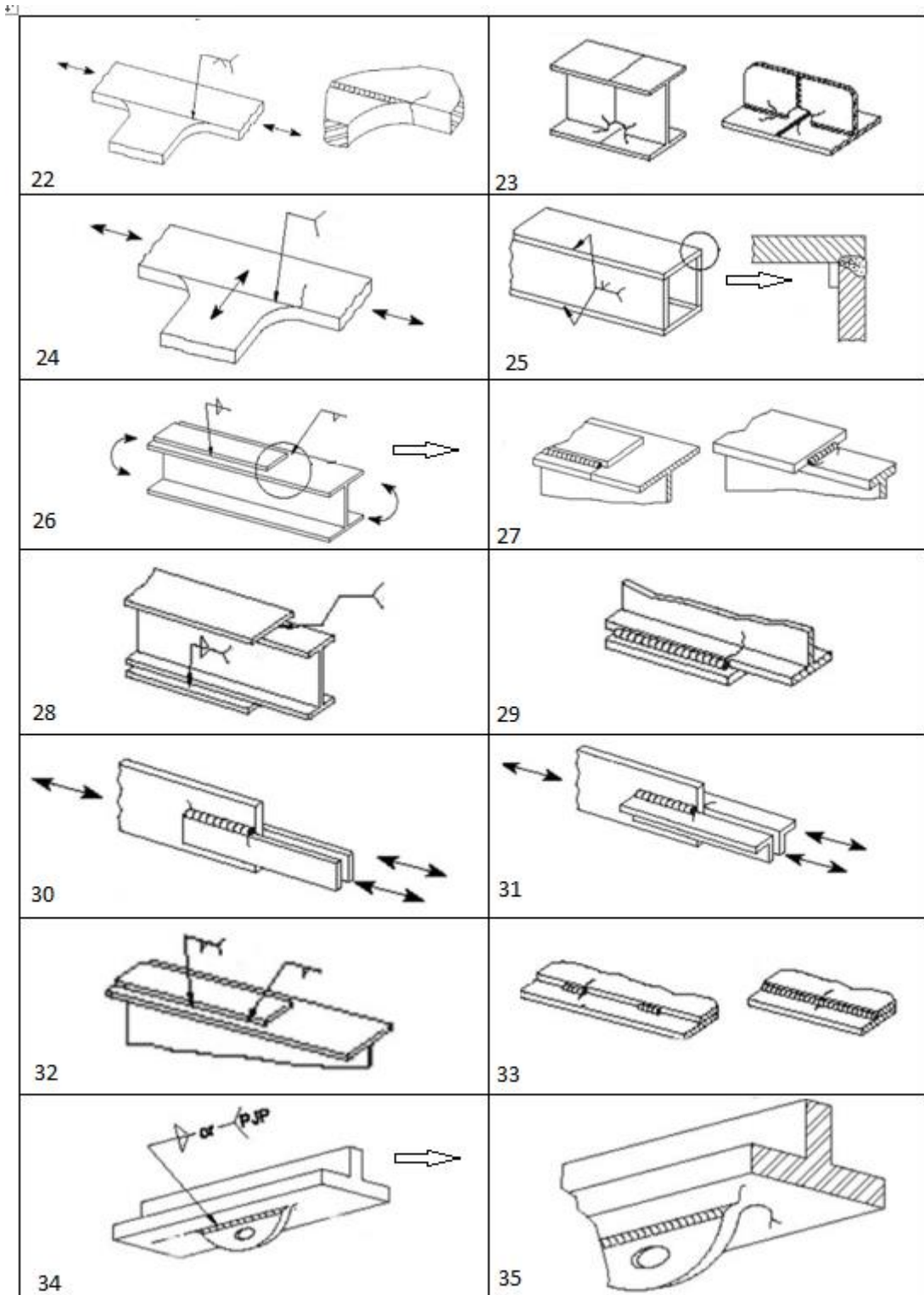
Metoda badań	Zasady wykrywania nieciągłości	Zastosowania	Ograniczenia	Zalety	Materiały badane	Rodzaje wykrywanych nieciągłości
Badania wizualne	Obserwacje okiem nieuzbrojonym, za pomocą lup oraz urządzeń do zdalnej obserwacji, endoskopów (boroskopów i fiberoskopów)	Wykrywanie nieciągłości na dostępnych i niedostępnych powierzchniach	Wykrywanie jedynie nieciągłości powierzchniowych, brak możliwości wykrywania nieciągłości zaciśniętych	Prostota i niski koszt prowadzenia badań wizualnych, możliwość obserwacji powierzchni trudnodostępnych, przy małych średnicach sond endoskopowych	Wszelki materiały	Wszystkie nieciągłości powierzchniowe, np. pęknięcia, wżery korozyjne
Metoda penetracyjna	Wnikanie cieczy - penetrantów barwnych i fluorescencyjnych do nieciągłości, stosowanie wywoływaczy i ewentualnie emulgatorów	Wykrywanie nieciągłości powierzchniowych	Wykrywanie tylko nieciągłości powierzchniowych otwartych, powierzchnia obiektów nie może być zbyt chropowata	Prostota i niski koszt prowadzenia badań, możliwość kontroli w jednej operacji obiektów o skomplikowanym kształcie	Wszelkie metale i ich stopy, niemetale	Pęknięcia produkcyjne i pęknięcia eksploatacyjne
Metoda magnetyczno - proszkowa	Magnesowanie obiektów stałym, przemiennym lub impulsowym polem magnetycznym, wykrywanie strumienia rozproszenia magnetycznego, proszki magnetyczne i przetworniki indukcyjnościowe	Wykrywanie nieciągłości powierzchniowych i podpowierzchniowych z obiektów materiałów ferromagnetycznych	Brak możliwości zastosowania do badania metali nieferromagnetycznych i niemetali	Prostota prowadzenia badań	Stale ferromagnetyczne, nikiel, kobalt	Wykrywanie nieciągłości powierzchniowych, pęknięć i nieciągłości podpowierzchniowych np. pęcherzy, pustek, wtrąceń niemetalicznych (do głębokości kilku milimetrów)
Metoda prądów wirowych	Umieszczanie obiektów w obszarze oddziaływania zmiennego w czasie pola magnetycznego, wytwarzanego przez przetworniki indukcyjnościowe oraz późniejsze przetwarzanie sygnałów przetworników	Wykrywanie nieciągłości powierzchniowych i podpowierzchniowych	Brak możliwości zastosowania do badania materiałów nie przewodzących prąd elektryczny	Metoda łatwa do automatyzacji, możliwość wykonywania badań na powierzchni pokrytej powłokami, duża czułość wykrywania wad	Materiały przewodzące prąd elektryczny	Wykrywanie nieciągłości wychodzących na powierzchnię obiektów, pęknięć, zawałców, wtrąceń, łusek, ubytków korozyjnych, niezgodności spawalniczych

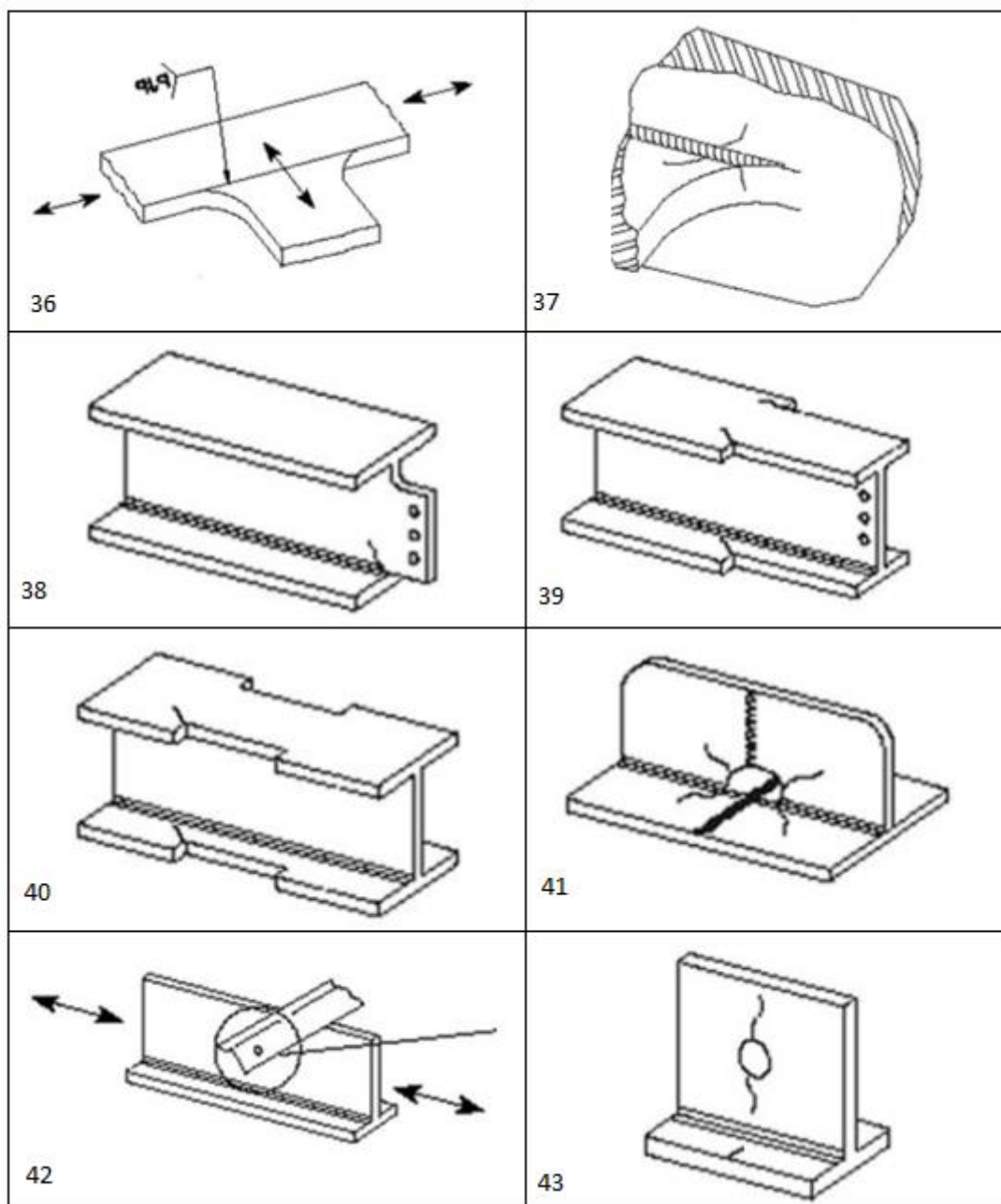
Tabela 15. Porównanie metod powierzchniowych.

Metoda badań	Zasady wykrywania nieciągłości	Zastosowania	Ograniczenia	Zalety	Materiały badane	Rodzaje wykrywanych nieciągłości
Metoda radiograficzna	Wprowadzenie promieniowania X lub γ , otrzymanie obrazu „cienia”, w kierunku rozchodzenia się promieniowania, rejestracja na błonach radiograficznych i rejestracja komputerowa - w systemach radiografii czasu rzeczywistego	Wykrywanie nieciągłości wprowadzanych w procesach wytwarzania i podczas eksploatacji obiektów, badania i diagnostyka złączy spawanych oraz odlewów	Możliwość wykrywania nieciągłości wewnętrznych i powierzchniowych korzystnie zorientowanych względem kierunku rozchodzenia się promieniowania, czułość wykrywania nieciągłości ograniczona do nieciągłości o wielkości zwykle $0,5 \div 2\%$ grubości obiektów, ograniczona grubość obiektów, niebezpieczeństwo narażenia personelu i środowiska na napromieniowanie	Wizualna ocena zobrażeń nieciągłości, zobrazenia nieciągłości w widoku zgodnym z kierunkiem promieniowania – na radiogramach	Wszelkie metale i ich stopy, niemetale, żywność, wykrywanie obcych obiektów w zapakowanych obiektach, promieniowanie X lub γ tym silniej jest tłumione im większa jest gęstość materiału	Wykrywanie nieciągłości przestrzennych, pęcherzy, pozostałości jamy skurczowej oraz nieciągłości płaskich, pęknięć skurczowych, wtrąceń, braków przetopu – w złączach spawanych, wykrywanie nieciągłości odlewów, pęcherzy, pęknięć skurczowych, wykrywanie i ocena zmian grubości obiektów oraz powłok
Metoda ultradźwiękowa	Wprowadzenie fal ultradźwiękowych, fale są odbijane przez nieciągłości, uginane i rozpraszane na krawędziach nieciągłości	Wykrywanie w zależności od rodzaju fal, nieciągłości wewnętrznych i powierzchniowych, pomiary grubości, wykrywanie braku przyczepności w połączeniach klejonych, połączenia nitowane, badanie właściwości materiałów np. pomiar naprężeń własnych	Możliwość wykrywania nieciągłości korzystnie zorientowanych względem wiązki fal, czułość badań ograniczona przy chropowatej powierzchni obiektów	Możliwość wykrywania nieciągłości o średnicy porównywalnej lub większej od długości fali, możliwość pomiaru grubości obiektów, przy dostępie jednostronnym	Wszystkie metale i ich stopy, niemetale	Wykrywanie nieciągłości płaskich oraz przestrzennych, pęknięcia wewnętrzne i powierzchniowe, wtrącenia i pozostałości jamy usadowej, rozwarstwienia w obiektach walcowanych i ciągnionych, pęknięcia odkuwek, nieciągłości odlewów, niezgodności złączy spawanych, pęknięcia, przyklejenia braki przetopu, wtrącenia, pęcherze

Tabela 16. Porównanie metod objętościowych.







Rysunek 35. Lokalizacja pęknięć w spoinach i materiale rodzimym.

Oprócz cech, jakie charakteryzują poszczególne metody, należy wspomnieć o różnych możliwościach występowania pęknięć w zależności od stanu obciążenia węzła konstrukcyjnego oraz rozwiązania tego węzła. W tabeli powyżej przedstawiono możliwości lokalizacji pęknięć zmęczeniowych dla różnych konstrukcji. Należy zauważyć, że pęknięcia przedstawione dla przykładu na rysunkach numer 5, 6, 15 czy 18 nie zostaną wykryte przez badania takie jak VT, PT czy MT jeżeli przeprowadzimy je od strony lica spoiny (dostęp do spoin od strony grani często jest niemożliwy na etapie eksploatacji). W takich przypadkach pomocne będą metody objętościowe, które niestety mają również swoje ograniczenia.

6.4.3 Badania penetracyjne.

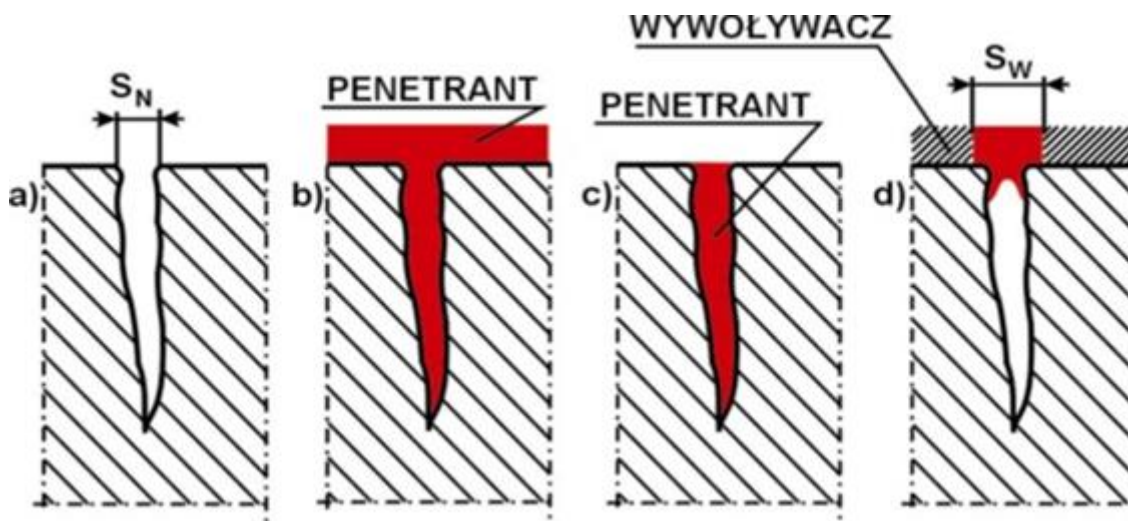
Badania penetracyjne (PT – ang. Penetrant Testing) to nieniszcząca metoda badań, która pozwala na wykrywanie powierzchniowych wad materiałów takich jak:

- a) pęknięcia;
- b) rozwarstwienia;
- c) zawalcowania;
- d) niespawy.

Metoda ta opiera się na zjawisku włoskowatości, a więc na wnikaniu cieczy do wąskich i trudno dostępnych obszarów i wypełnianiu ich. Stosowane penetranty mają za zadanie wnikać w otwory powierzchniowe. Po upływie odpowiedniego czasu nadmiar penetrantu jest usuwany z powierzchni pozostając jedynie w otworach. Przed badaniem powierzchnia powinna być oczyszczona, bez powłoki malarskiej, powłoki galwanicznej, produktów korozji itp. Materiał badanego obiektu nie może być silnie porowaty i odporny na działanie środków do badań penetracyjnych. Badania penetracyjne pozwalają na wykrywanie pęknięć o szerokości od 1 μm , długości od 1 mm i głębokości od 10 μm .

Operacje wykonywane podczas przeprowadzania badań metodą penetracyjną można podzielić na:

- a) widok nieciągłości przed badaniem;
- b) nasycenie nieciągłości penetrantem;
- c) widok nieciągłości po usunięciu penetrantu z badanej powierzchni;
- d) wywołanie penetrantu z nieciągłości.



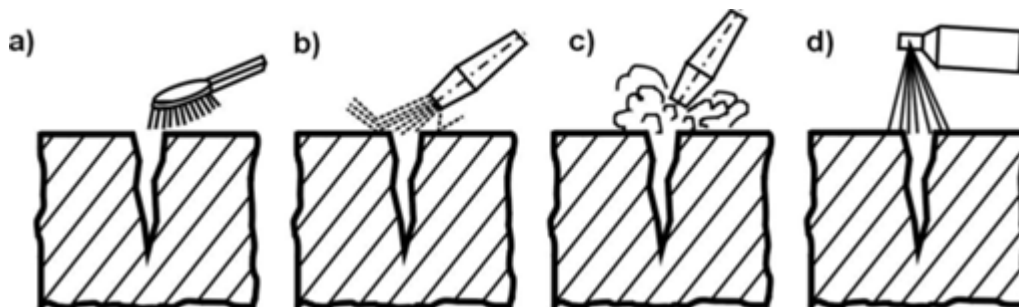
S_N – szerokość nieciągłości; S_W – szerokość wskazania

Rysunek 36. Operacje podczas prowadzenia badań metodą penetracyjną.

Ogólny opis przebiegu badań metodą penetracyjną można podzielić na kilka etapów.

Pierwszym etapem jest czyszczenie wstępne, w którym to wyróżnia się czyszczenie:

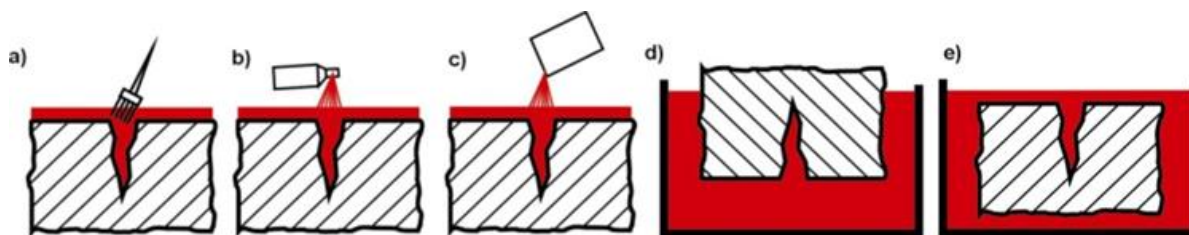
- a) mechaniczne z użyciem szczotki drucianej;
- b) strumieniowo;
- c) odtłuszczanie parą;
- d) oczyszczanie rozpuszczalnikiem.



Rysunek 37. Czyszczenie wstępne badanego obiektu.

Kolejnym etapem badań metodą penetracyjną jest nanoszenie penetrantu z zastosowaniem następujących metod:

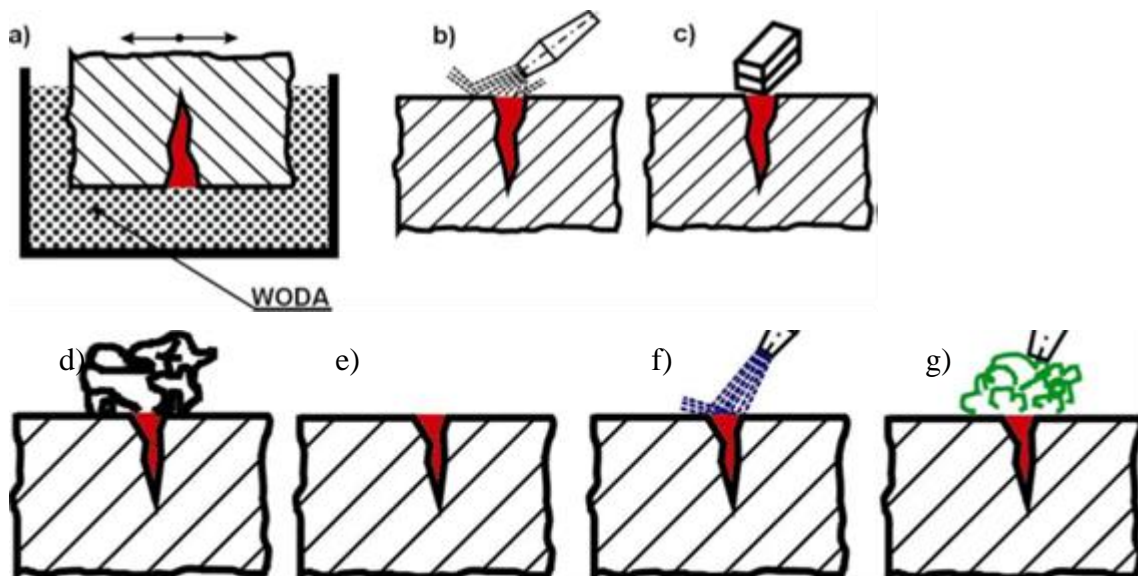
- a) pędzlem;
- b) przez natrysk;
- c) przez polewanie;
- d) przez zamaczanie;
- e) przez zanurzenie.



Rysunek 38. Metody nanoszenia penetrantu.

Po naniesieniu penetrantu należy usunąć jego nadmiar z zastosowaniem:

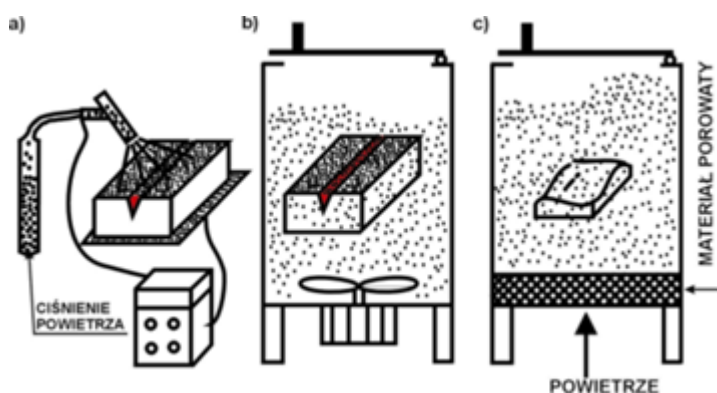
- a) płukania;
- b) zmywania natryskowego;
- c) przecierania wilgotną gąbką lub szmatką;
- d) wycierania czystą, suchą nie postrzępioną tkaniną;
- e) odparowania w temperaturze otoczenia po opłukaniu gorącą wodą;
- f) odparowanie w podwyższonej temperaturze;
- g) suszenie strumieniem powietrza.



Rysunek 39. Usuwanie nadmiaru penetrantu.

W następnym etapie badania należy nanieść na badaną powierzchnię wywoływacz. Można to wykonać:

- elektrostatycznie;
- w komorze wirowej;
- w komorze fluidyzacyjnej.



Rysunek 40. Nanoszenie wywoławcza.

W zależności od zastosowanych środków i warunków obserwacji wyróżnia się następujące techniki badań penetracyjnych:

- technika barwna – zastosowane środki do badań pozwalają na wykonanie obserwacji w świetle białym: naturalnym lub sztucznym;
- technika fluorescencyjna – zastosowane środki do badań pozwalają na wykonanie obserwacji w świetle UV;
- technika barwno-fluorescencyjna – zastosowane środki do badań pozwalają na wykonanie obserwacji zarówno w świetle białym jak i UV.

Ważnym aspektem jest wykonywanie badań w odpowiednich warunkach. Jako odpowiednie warunki należy przyjąć:

- a) temperatura otoczenia: 10÷50 °C;
- b) czas wnikania: 5÷60 min.;
- c) czas wywoływania: 10÷30 min.

Innymi ważnymi elementami są warunki obserwacji:

- a) technika barwna: natężenie oświetlenia min. 500 lx;
- b) technika fluorescencyjna: napromieniowanie UV min. 10 W/m² i natężenie oświetlenia max. 20 lx.

Do badań metodą penetracyjną wykorzystywane są:

- a) środki do badań metodą penetracyjną (penetrant, zmywacz, wywoływacz);
- b) źródło światła białego;
- c) lampa UV;
- d) miernik natężenia oświetlenia;
- e) miernik natężenia promieniowania UV;
- f) próbka wzorcowa nr 2;
- g) termometr;
- h) suwmiarka;
- i) przymiar liniowy;
- j) zegarek;
- k) marker;
- l) czyściwo;
- m) szczotka druciana.

Przed rozpoczęciem badań należy zwrócić uwagę na to, czy środki do badań penetracyjnych posiadają stosowane atesty oraz czy ich data ważności nie została przekroczona. Ważną zasadą jest to, że nie należy łączyć środków pochodzących od różnych producentów

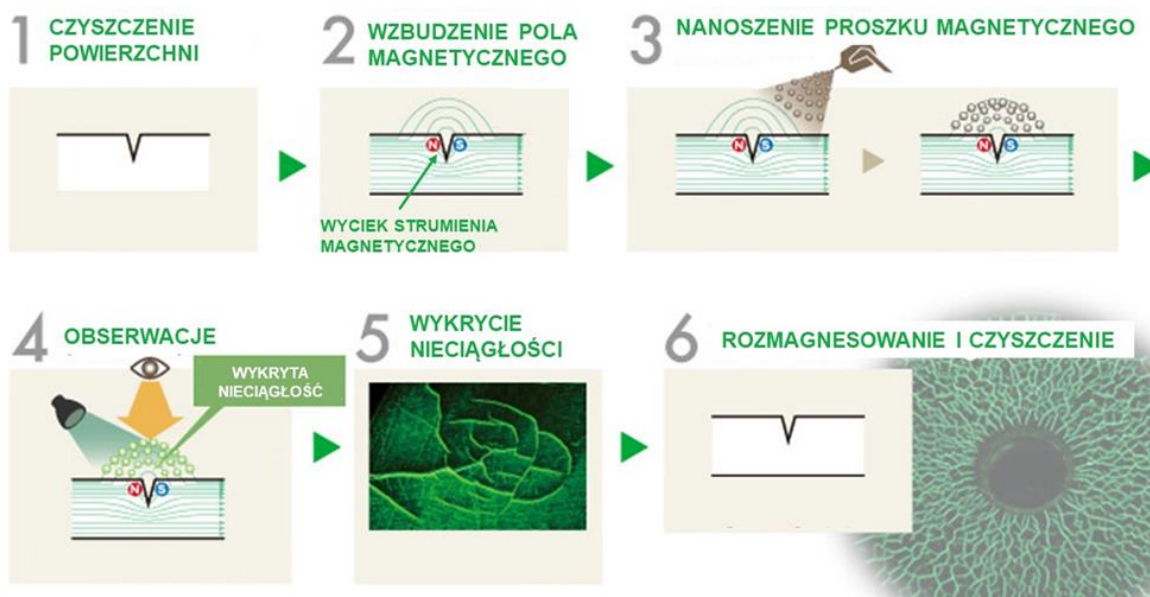


Rysunek 41. Przykład nieciągłości stwierdzonej metodą penetracyjną.

6.4.4 Badania magnetyczno – proszkowe.

Badania magnetyczno - proszkowe (MT – ang. Magnetic Particle Testing) to nieniszcząca metoda badań, która pozwala na wykrywanie powierzchniowych nieciągłości materiału i stosunkowo dużych, położonych blisko powierzchni wad podpowierzchniowych. Metoda ta wykorzystuje zjawisko rozproszenia pola magnetycznego.

Oczyszczone i odłuszczone powierzchnie namagnesowuje się, a następnie nanosi proszek magnetyczny lub zawiesinę. Po wykonaniu tych czynności następują oględziny i rejestracja wyników. Badana powierzchnia jest następnie rozmagnesowywana i oczyszczana. Badania magnetyczno-proszkowe mogą być stosowane na różnych etapach produkcji i eksploatacji, dla całej powierzchni lub miejscowo. Metoda ta wykazuje większą czułość niż badania penetracyjne. Badania MT mogą być stosowane wyłącznie dla materiałów ferromagnetycznych (obiekty wykonane ze stali austenitycznych nie mogą być badane).



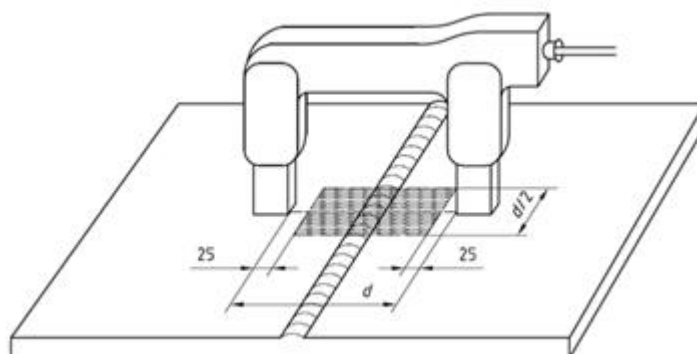
Rysunek 42. Etapy wykonywania badania metodą MT.

Stosowane są następujące sposoby magnesowania obiektów:

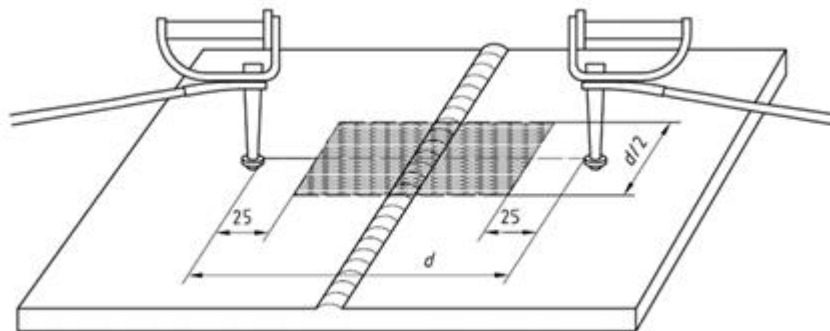
- przez wprowadzenie pola magnetycznego do obiektów;
- przez przepływ prądu elektrycznego przez objekty, w tym indukcyjne wzbudzenie prądu elektrycznego / pola magnetycznego;
- kombinowane sposoby (techniki) wzbudzania pola magnetycznego.

Pole wzbudzone w obiektach może być:

- rozległe, umożliwiające badanie całego obiektu;
- miejscowe, umożliwiające badanie części obiektu.



Rysunek 43. Przenośny elektromagnes jarzmowy.



Rysunek 44. Elektrody.

W zależności od zastosowanych środków i warunków obserwacji, wyróżnia się następujące techniki badań magnetyczno-proszkowych:

- a) technika barwna – zastosowane proszki magnetyczne pozwalają na wykonanie obserwacji w świetle białym naturalnym lub sztucznym;
- b) technika fluorescencyjna – zastosowane proszki magnetyczne pozwalają na wykonanie obserwacji w świetle UV;
- c) technika barwno - fluorescencyjna – zastosowane proszki magnetyczne pozwalają na wykonanie obserwacji zarówno w świetle białym jak i UV.

Jako warunek przeprowadzenia badań podaje się natężenie stycznego pola magnetycznego na poziomie $2 \div 6$ kA/m.

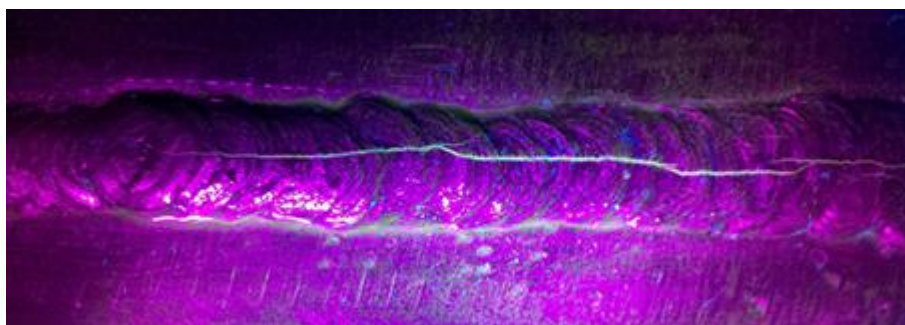
Jako warunki obserwacji podaje się dla:

- a) techniki barwnej natężenie oświetlenia min. 500 lx;
- b) techniki fluorescencyjnej:
 - napromieniowanie UV min. 10 W/m²;
 - natężenie oświetlenia max. 20 lx.

W skład wyposażenia do badań wchodzi:

- a) środki do badań magnetyczno-proszkowych:
 - farba podkładowa;
 - zawiesina magnetyczna;
- b) miernik natężenia pola magnetycznego;
- c) wzorce:
 - wzorzec Bertholda;
 - próbka odniesienia nr 1;
 - próbka odniesienia nr 2;
- d) źródło światła białego, lampa UV;

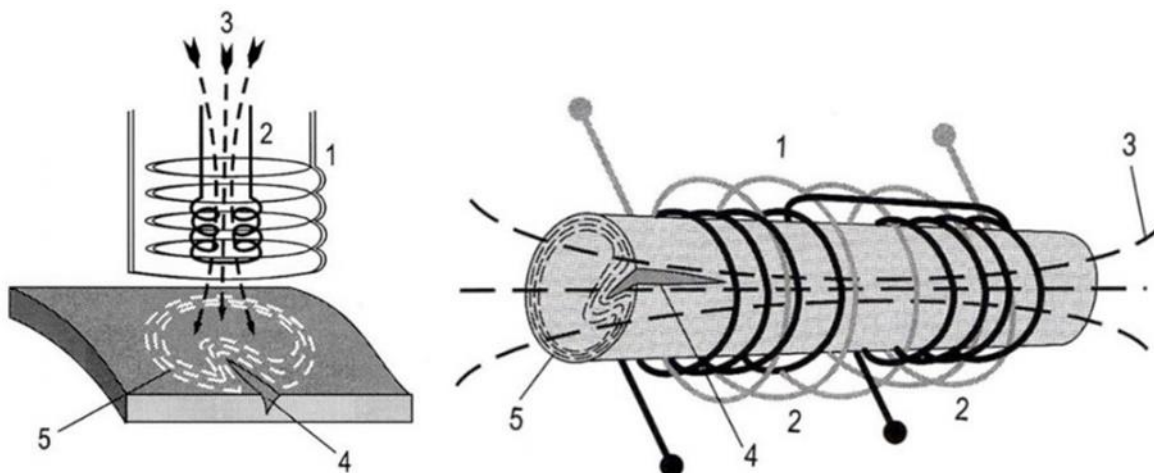
- e) miernik natężenia oświetlenia;
- f) miernik natężenia promieniowania UV;
- g) termometr;
- h) suwmiarka;
- i) przymiar liniowy;
- j) marker;
- k) czyściwo;
- l) szczotka druciana.



Rysunek 45. Nieciągłość wykryta metodą MT.

6.4.5 Badania metodą prądów wirowych.

Metoda prądów wirowych (ET – ang. Eddy current Testing) jest jedną z metod „badań powierzchniowych” nieniszczących. Metoda ta wykorzystuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej, które polega na generowaniu prądu w materiale przewodzącym, w wyniku działania na niego zmiennego pola magnetycznego i pozwala na wykrywanie nieciągłości powierzchniowych płaskich, wąskoszczelinowych, a także większych, położonych blisko powierzchni nieciągłości podpowierzchniowych. Wśród nich należy wyróżnić pęknięcia, zawalcowania, wtrącenia, łuski, ubytki korozyjne oraz niezgodności spawalnicze (np. przyklejenia, pęknięcia, porowatość, przepalenia, wycieki i inne niezgodności kształtu).



Rysunek 46. Linie sił pola magnetycznego i linie przepływu prądów wirowych. 1- uzwojenie wejściowe, 2- uzwojenie wyjściowe, 3- linie sił pola magnetycznego, 4- nieciągłość (pęknięcie), 5- linie przepływu prądów wirowych.

Metodą prądów wirowych można badać obiekty wykonane z materiałów przewodzących prąd elektryczny. W przypadku metali, możliwa jest kontrola obiektów wykonanych zarówno ze stali ferrytycznych jak i austenitycznych, miedzi i stopów miedzi, aluminium i stopów aluminium, tytanu i stopów tytanu. Niewątpliwą zaletą tej metody jest możliwość wykrywania nieciągłości, znajdujących się pod warstwą pokrycia malarskiego lub galwanicznego. Metoda prądów wirowych jest stosowana w badaniach prętów, rur, skraplaczy pary, wymienników ciepła i złącz spawanych.

Do wzbudzania w badanych obiektach prądów wirowych i odbioru informacji zawartej w polu magnetycznym obiektu, objętego oddziaływaniem pola elektromagnetycznego przetwornika stosowane są przetworniki wiropądowe. Istnieje wiele rodzajów przetworników, między innymi możemy dokonać ich podziału ze względu na:

- a) czułość wykrywania nieciągłości;
- b) konfigurację;
- c) wielkość wyjściową, uzyskiwaną z przetworników;
- d) sprzężenie przetworników z obiektami badanymi.



Rysunek 47. Przykłady przetworników wiropądowych.

W miarę rozwoju metody, na rynku pojawiły się przetworniki wiropądowe mozaikowe, które pozwalają na szybszy skan większych powierzchni oraz umożliwiają automatyzację badań.

Źródłem sygnałów zasilających przetworniki wiropądowe jest defektoskop wiropądowy. Służy on także do późniejszego przetwarzania i prezentacji sygnałów pochodzących z przetworników.



Rysunek 48. Przykładowy defektoskop wiropądowy.

Kompletny zestaw do prowadzenia badań obiektów metodą prądów wirowych obejmuje:

- a) instrukcję badania;
- b) defektoskop wiropądowy;
- c) przetwornik wiropądowy;
- d) cewka do podmagnesowania obiektu i źródło prądu do podmagnesowania;
- e) cewka do demagnetyzacji i źródło prądu do demagnetyzacji;
- f) wzorzec.

Na przebieg badania metodą prądów wirowych składają się następujące, najważniejsze czynności:

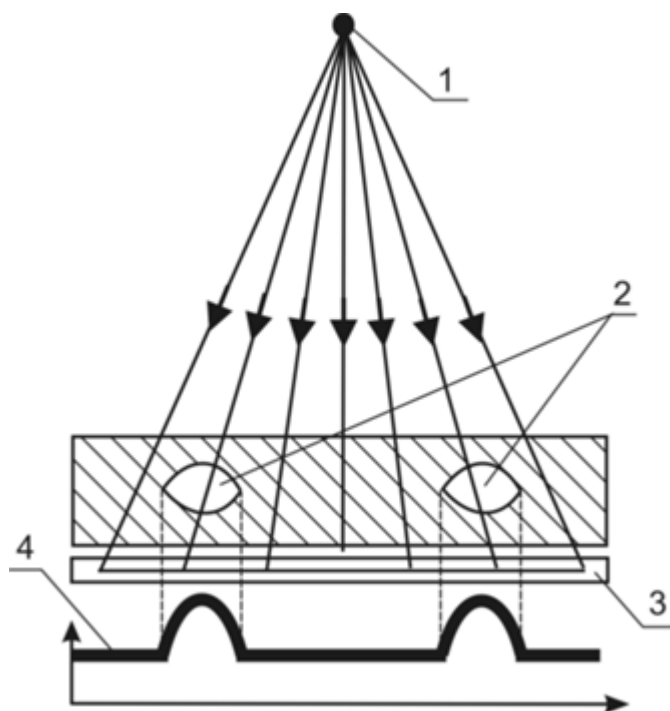
- a) zapoznanie się z obiektem badań, ich technologią oraz kryteriami akceptacji;
- b) dobór defektoskopu;
- c) dobór sposobu analizy i prezentacji sygnałów, wywołanych przez nieciągłości obiektów;
- d) dobór przetwornika wiropądowego;
- e) dobór cewek do podmagnesowania obiektu i dobór prądu magnesującego;
- f) sprawdzenie poprawności działania defektoskopu;
- g) dobór lub obliczenie częstotliwości pracy defektoskopu;
- h) dobór wzmocnienia defektoskopu i relacji fazowych sygnałów;

- i) sprawdzenie wykrywalności nieciągłości obiektów za pomocą wzorca z nieciągłościami naturalnymi lub sztucznymi;
- j) dobór układu i sposobu demagnetyzacji w zautomatyzowanych badaniach (o ile dotyczy);
- k) wykonanie badania obiektu;
- l) wykonanie demagnetyzacji obiektu (tylko w przypadku podmagnesowywania obiektów);
- m) sporządzenie raportu z badań.

6.4.6 Badania radiograficzne.

Badania radiograficzne (RT – ang. Radiographic Testing) pozwalają na wykrywanie wad znajdujących się w całej objętości badanego elementu. W badaniach radiograficznych stosuje się najczęściej promieniowanie jonizujące X (Roentgena) lub γ (gamma).

Do wykrycia wewnętrznych niezgodności znajdujących się w materiale, wykorzystuje się zdolność promieni X lub promieni γ do przenikania przez ten materiał. Kontrola radiograficzna polega na wykonaniu radiogramu badanego obiektu, następnym opisanie zaobserwowanych na radiogramach niezgodności i ocenie jakości danego wyrobu. Promieniowanie X powstaje w wyniku zahamowania strumienia rozpędzonych elektronów (lub innych cząstek naładowanych np. cząstek alfa, protonów) na materialnej przeszkodzie. Do wytwarzania promieniowania X stosuje się zazwyczaj lampy rentgenowskie. Zasada wykrywania niezgodności w badanych materiałach (złączach) polega na zmianie natężenia promieniowania X i γ przy przejściu przez badany obiekt. Zapis natężenia promieniowania następuje w błonie rentgenowskiej w postaci tzw. obrazu utajonego. Błony rentgenowskie posiadają emulsję światłoczułą naniesioną na podłoże z poliestru lub trójoctanu celulozy. Emulsja składa się ze związków srebra, które pod wpływem promieniowania jonizującego ulegają rozkładowi tworząc właśnie obraz utajony. Obraz ten, ujawnia się po wywołaniu i utrwaleniu (obróbce fotochemicznej) błony w postaci różnej gęstości optycznej. Niezgodności w złączu spawanym (lub wady w obiekcie) mają zwykle mniejszą gęstość od badanego materiału. Promieniowanie jonizujące jest więc słabiej pochłaniane i niezgodności ujawniają się na radiogramach w postaci ciemnych plam, linii itp.



1 – źródło promieniowania X lub γ ; 2 – niezgodności; 3 - kasetta z błoną rentgenowską (radiograficzną);

4 - wykres gęstości optycznej na wywołanym radiogramie.

Rysunek 49. Zasada rejestracji niezgodności materiałowych w metodzie radiograficznej.

Źródłami promieniowania jonizującego są:

- a) lampy rentgenowskie;
- b) aparaty gammagraficzne – izotopy sztuczne (Co 60, Ir 192).

W skład pozostałego wyposażenia stosowanego do badań radiograficznych wchodzi:

- a) negatoskop;
- b) densytometr;
- c) dawkomierz (dozymetr);
- d) kalkulator ekspozycji;
- e) wskaźniki IQI;
- f) pomieszczenie do prowadzenia badań (w przypadku badań laboratoryjnych) i wywoływania radiogramów;
- g) odczynniki do obróbki fotochemicznej błon;
- h) statyw;
- i) miara;
- j) marker;
- k) taśma.

Naświetlone błony radiograficzne należy poddawać obróbce fotochemicznej, która składa się z trzech etapów:

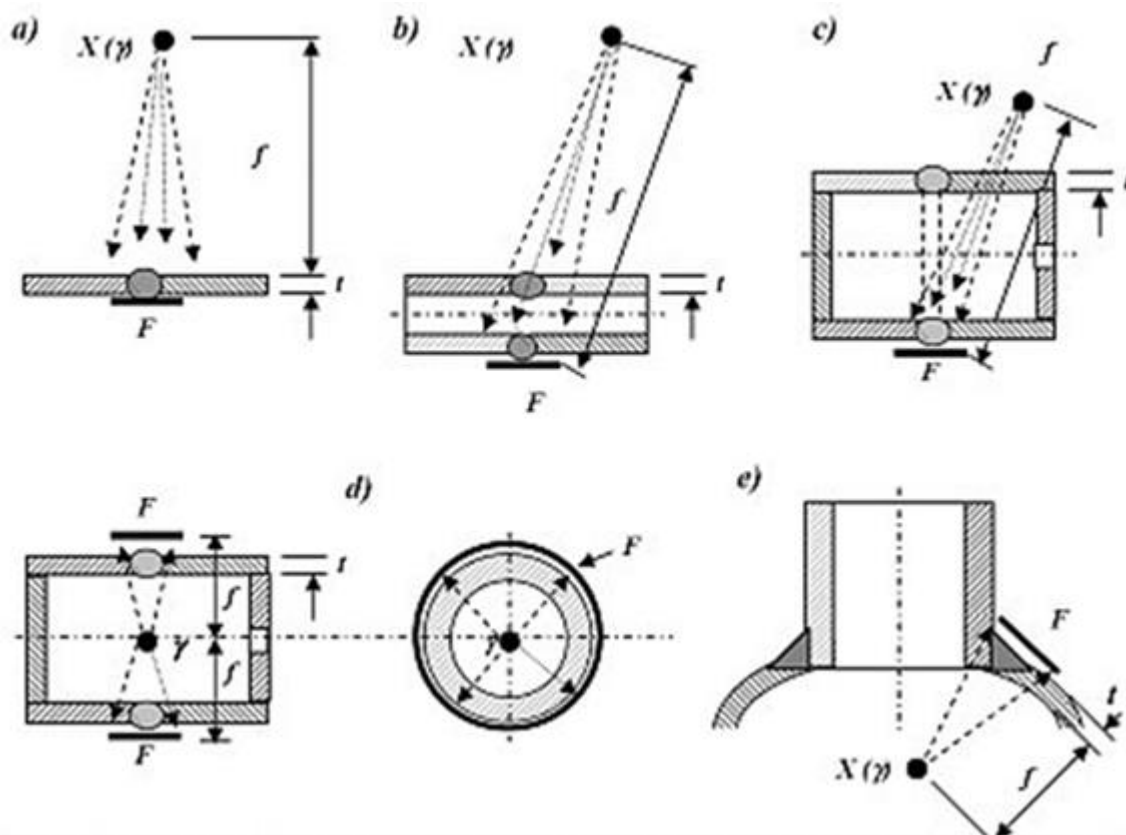
- a) wywoływanie;
- b) utrwalanie;
- c) płukanie.

Czynności należy wykonywać ściśle wg instrukcji producenta błon i środków chemicznych. Celem obróbki jest ujawnienie powstałego obrazu radiograficznego oraz uzyskanie wymaganej jego klasy. Podczas obróbki fotochemicznej błon, szczególną uwagę należy zwrócić na temperaturę procesu oraz czas ich wywoływania i płukania.

Radiogramy powinny być oceniane w pomieszczeniu zaciemnionym, na ekranie negatostopu z regulowaną luminancją. Ekran negatostopu powinien być maskowany do obszaru obserwowanego. Należy zwrócić uwagę, iż oko potrzebuje pewnego czasu na adaptację do warunków obserwacji. Z reguły czas ten wynosi około 10-15 minut.

Rozróżniamy dwie klasy technik radiograficznych:

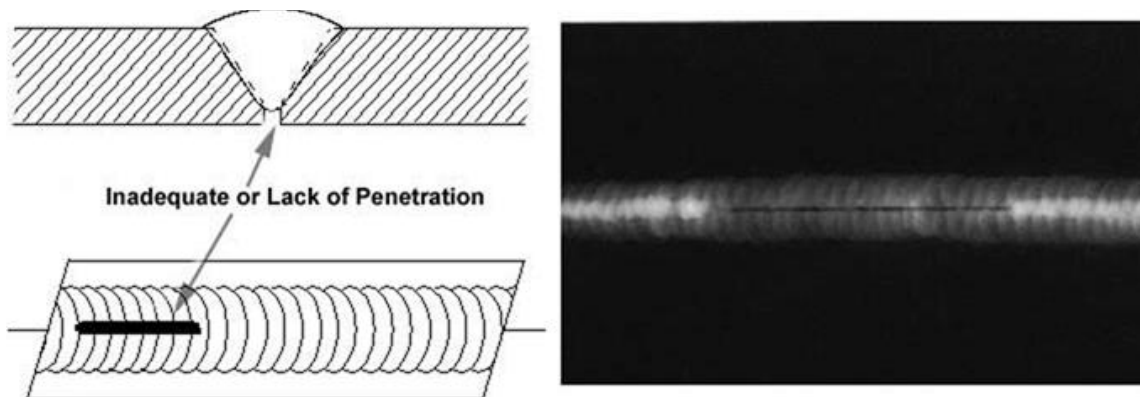
- a) klasę A – techniki podstawowe o tzw. normalnej czułości;
- b) klasę B – techniki ulepszone o tzw. podwyższonej czułości.



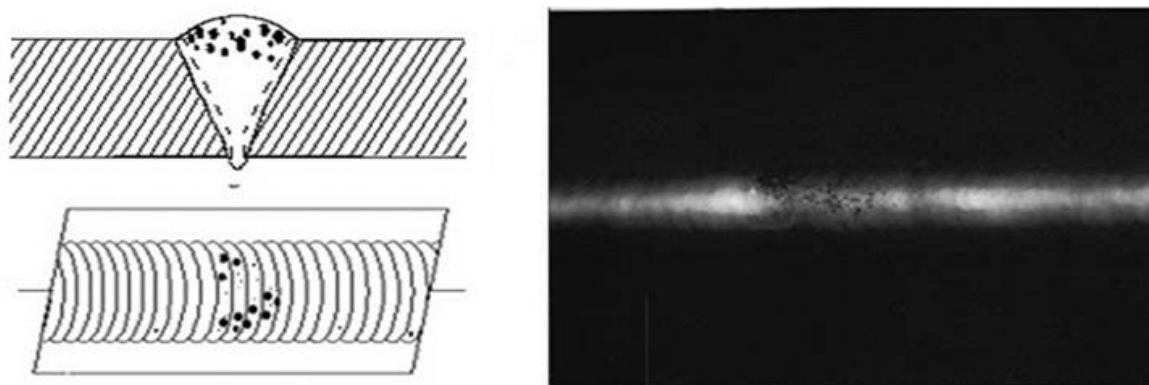
- a) metoda podstawowa, badanie złączy płaskich przez jedną ściankę;
- b) metoda eliptyczna;

- c) metoda przez dwie ścianki;
- d) metoda centryczna przez jedną ściankę;
- e) metoda przez jedną ściankę obiektów zakrzywionych.

Rysunek 50. Podział metod.



Rysunek 51. Brak pełnego przetopu.



Rysunek 52. Skupisko pęcherzy.

6.4.7 Badania ultradźwiękowe.

Badania ultradźwiękowe (UT – ang. Ultrasonic Testing) należą do metod badań objętościowych. Umożliwiają one, zależnie od stosowanych rodzajów fal, wykrywanie przede wszystkim wewnętrznych, ale także powierzchniowych i podpowierzchniowych nieciągłości obiektów. Metoda ta pozwala na wykrywanie najbardziej niebezpiecznych nieciągłości płaskich i wąskoszczelinowych.

Prowadzenie badań obiektów metodą ultradźwiękową polega na:

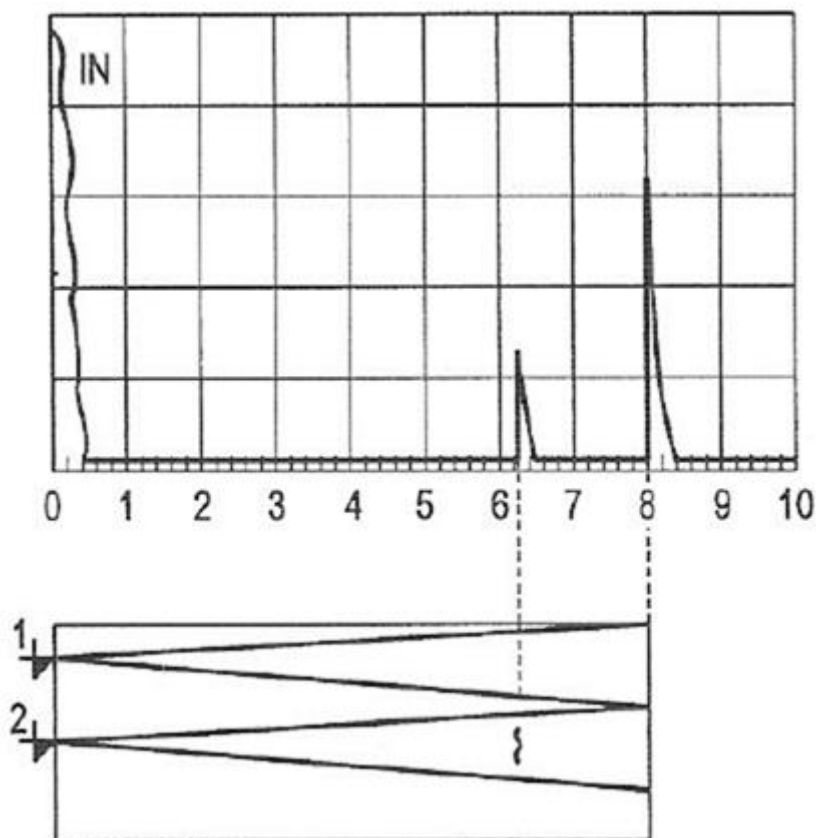
- a) wprowadzeniu do obiektów fal ultradźwiękowych (sprężystych), tj. drgań mechanicznych o częstotliwościach większych od 20 kHz. Konieczne jest skanowanie powierzchni obiektu i przesuwanie głowicy po powierzchni obiektu;
- b) detekcji sygnałów (impulsów), wywołanych przez fale przechodzące przez objekty.

Do oceny wymiarów nieciągłości obiektów, wykorzystywana jest głównie informacja zawarta w amplitudzie sygnałów, w zależności od drogi przebytej przez falę, a dla rozległych nieciągłości płaskich i nieciągłości liniowych informacja zawarta w obwiedni sygnałów ech dla nieciągłości, uzyskiwanych przy przemieszczaniu głowic wzdłuż nieciągłości.

W przypadku badań ultradźwiękowych możemy wyróżnić metody:

- a) echa;
- b) przepuszczania.

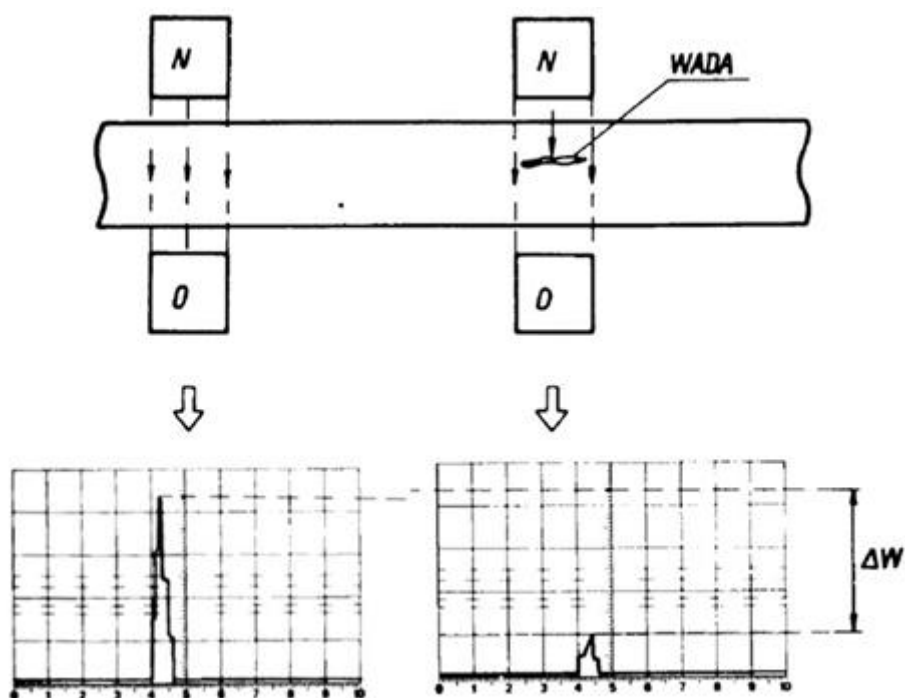
Metoda echa wymaga dostępu tylko do jednej powierzchni obiektu, tej z której prowadzi się skanowanie. Za pomocą głowicy normalnej wprowadzono do obiektu podłużne fale ultradźwiękowe. Sygnały, wywołane przez reflektory obiektów, prezentowane na ekranach defektoskopów ultradźwiękowych nazywane są echami. Gdy głowica znajduje się w położeniu 1, na ekranie defektoskopu obserwujemy echo dna obiektu. Jeśli głowica znajduje się w położeniu 2 i jeżeli nieciągłość nie przysłania całkowicie wiązki fal ultradźwiękowych, na ekranie defektoskopu obserwuje się echo nieciągłości i echo dna obiektu.



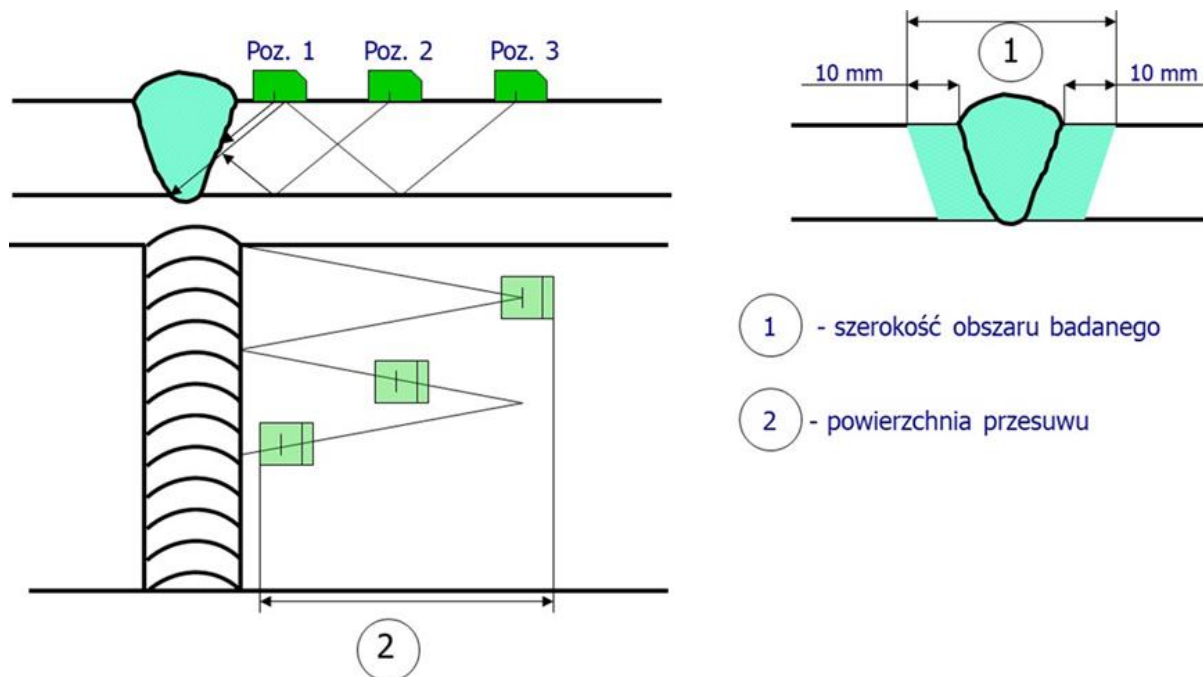
Rysunek 53. Metoda echa.

Metoda przepuszczania, nazywana też metodą cienia, jest stosowana do badania obiektów, wykonanych z materiałów silnie tłumiących fale ultradźwiękowe, dla których nie

może być zastosowana metoda echa oraz do wykrywania nieciągłości położonych blisko powierzchni obiektu. W metodzie przepuszczania, dwie oddzielne głowice pojedyncze są umieszczane naprzeciwko siebie, na przeciwległych powierzchniach obiektu. Jedna z głowic pełni rolę głowicy nadawczej, a druga – głowicy odbiorczej. Sygnał obserwowany na ekranie, stanowi impuls fali, która przechodzi przez obiekt. Jeśli na drodze fali występuje nieciągłość, to rejestrowany impuls ma mniejszą amplitudę niż wówczas gdy nie ma nieciągłości. O występowaniu nieciągłości świadczy więc osłabienie energii fali przechodzącej od nadajnika do odbiornika.



Rysunek 54. Metoda przepuszczania.



Rysunek 55. Przykład obszaru badania, jaki należy objąć podczas badania na występowanie wskazań w kierunku podłużnym.

6.4.8 Badania metodą emisji akustycznej.

Badania metodą emisji akustycznej (AT – ang. Acoustic Testing) prowadzone są w celu wykrycia i lokalizacji oraz klasyfikacji źródeł sygnałów emisji akustycznej generowanych przez powierzchniowe i wewnętrzne wady w konstrukcji urządzeń technicznych. Możliwość wykonywania badań w trakcie eksploatacji urządzeń sprawia, że obecnie metoda ta jest uznawana za odpowiednią do zastosowań dla badań okresowych dużych urządzeń technicznych. Emisja akustyczna bardzo dobrze uzupełnia się z innymi metodami badań nieniszczących, co pozwala na weryfikację i dokładniejszą ocenę wykrywanych uszkodzeń.

Metoda emisji akustycznej należy do grupy metod pasywnych, co oznacza, że aparatura EA nie emituje sygnałów i nie wpływa na stan fizyczny badanego obiektu, natomiast rejestruje efekty fizyczne samoistnie powstające w tym obiekcie.

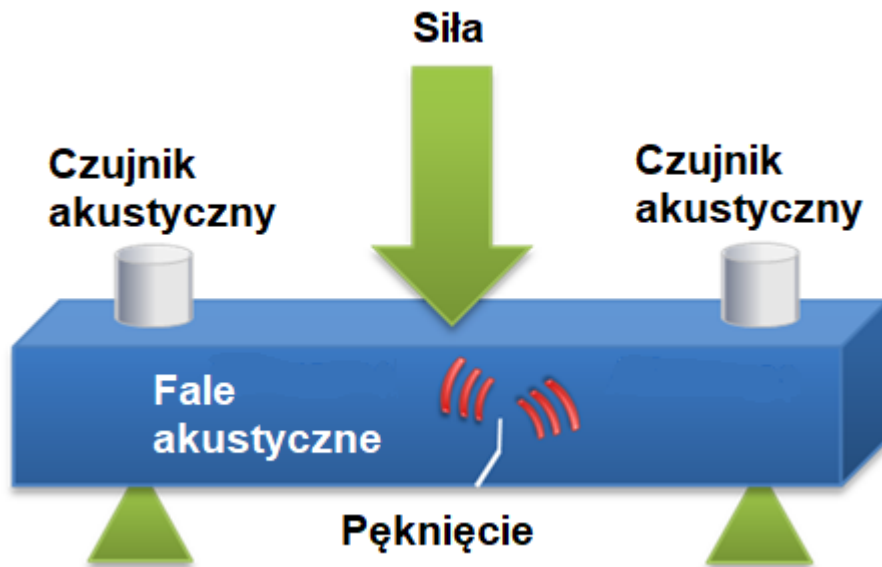
Wiadomo, że wiele różnych materiałów, zwłaszcza stali, podczas obciążania emituje impulsy fal dźwiękowych (prześciowe fale sprężyste). Pomiar takich impulsów fal dźwiękowych odbywają się za pomocą łańcuchów urządzeń składających się z czujnika, przedwzmacniacza i kanału emisji akustycznej w układzie pomiarowym. Czujniki piezoelektryczne są wykorzystywane do przekształcania mechanicznej fali w sygnał elektryczny (sygnał emisji akustycznej). Czujniki przymocowane są na metalowej powierzchni zazwyczaj za pomocą uchwytów magnetycznych. Niewątpliwą zaletą metody jest możliwość przeprowadzania badań na urządzeniach pracujących w podwyższonych temperaturach, przy czym należy wtedy

stosować specjalne rozwiązania zapobiegające uszkodzeniu czujników (np. falowody). W zależności od częstotliwości stosowanych czujników akustycznych metoda emisji akustycznej umożliwia wykrycie nieciągłości płaskich – pęknięć, jak również ubytków korozyjnych.

Sygnał jest poddawany digitalizacji w kanale emisji akustycznej. Charakterystyki sygnału (takie jak: amplituda szczytowa, energia, czas narastania, czas trwania itd.) są określone i zapisywane w zbiorze danych. Następnie zbiór ten jest przesyłany przez system magistrali do komputera pomiarowego, w którym jest przechowywany. Dane uzyskane w wyniku pomiarów można przedstawić w formie diagramów przy zastosowaniu odpowiedniego oprogramowania. Ocena końcowa zostaje przeprowadzona za pomocą analizy statycznej charakterystyki sygnału.



Rysunek 56. Przykład systemu akwizycji danych..



Rysunek 57. Badania metodą emisji akustycznej.

6.4.9 Ultradźwiękowa technika TOFD (Time of Flight Diffraction).

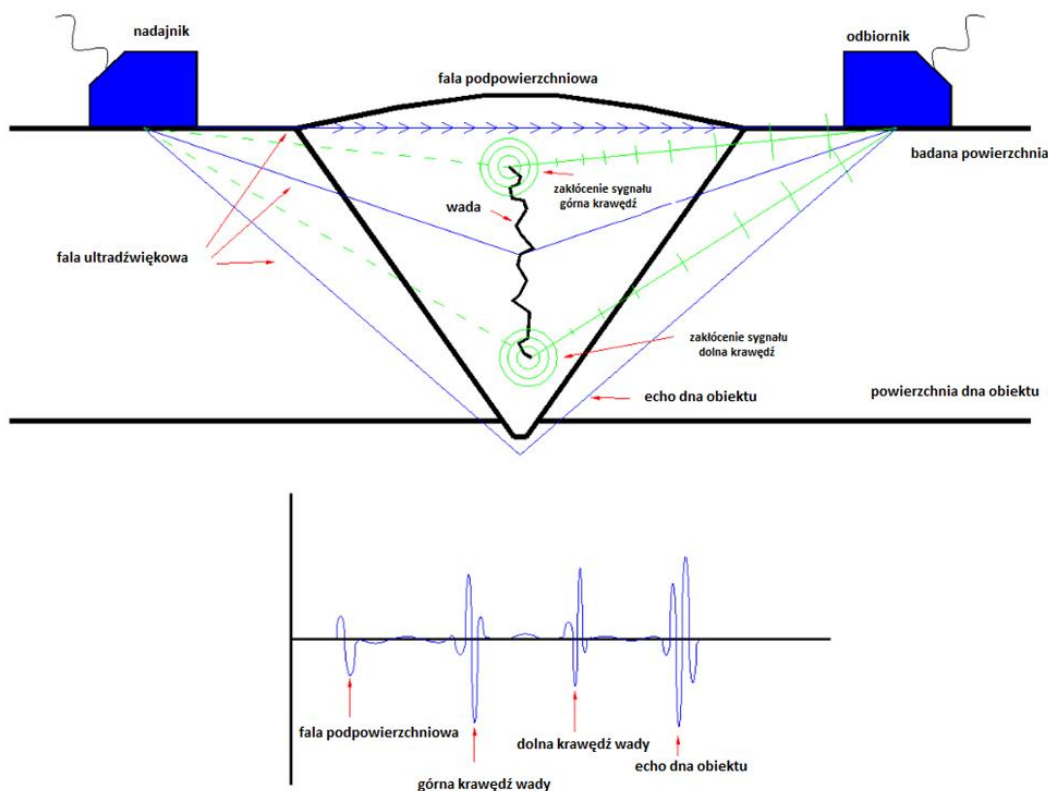
Badania UT(TOFD) umożliwiają wykrywanie dowolnie zorientowanych niezgodności płaskich i objętościowych. Badanie techniką TOFD oprócz zjawiska odbicia

wykorzystuje także zjawisko dyfrakcji fal ultradźwiękowych rozproszonych dyfrakcyjnie na krawędziach niezgodności. W technice TOFD wykorzystuje się parę głowic umieszczonych po przeciwnych stronach spoiny. Jedna z głowic emituje sygnał ultradźwiękowy, który przechwytywany jest przez drugą głowicę. Jeśli w spoinie nie ma wad odbierane są dwie fale:

- a) jedna wędruje tuż pod powierzchnią;
- b) druga odbita jest od przeciwległej powierzchni (dna).

Wraz z wskazaniem pojawia się dyfrakcja fali ultradźwiękowej, którą wykrywa głowica odbiorcza. Badania wskazują, że technika TOFD jest pewniejsza niż badania rentgenowskie. Brak wrażliwości na orientację nieciągłości sprawia, że technika ta cechuje się wysoką powtarzalnością i odtwarzalnością wyników badania, co znajduje szerokie zastosowanie przy monitoringu wykrytych nieciągłości.

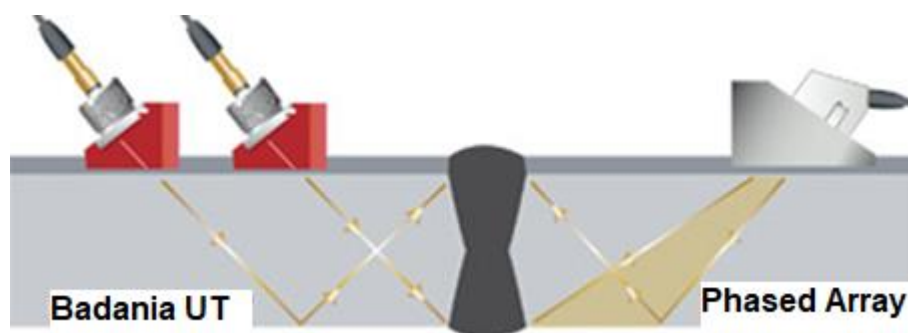
Wysoka prędkość pozyskiwania danych (sięgająca do 500 mm/s), powoduje znaczny przyrost wydajności i obniżenie kosztów w przypadku badania długich złączy. Technikę TOFD stosuje się tylko do złączy doczołowych ze stali niskowęglowych a inne materiały każdorazowo wymagają sprawdzenia skuteczności. Problematiczne lub niemożliwe są badania złączy spawanych ze stali "nierdzewnych". Normy pozwalają badać złącza od grubości 6 mm, jednak zdarzają się przepisy podwyższające dolną granicę stosowania tej metody.



Rysunek 58. Technika TOFD.

6.4.10 Technika badań phased array.

Technika badań phased array (PA) jest rozwinięciem klasycznych badań ultradźwiękowych, które mają głównie na celu zwiększenie szybkości wykonywania badań, jak i ułatwienie interpretacji wskazań. Jest to technika wykorzystująca specjalne głowice wieloelementowe, w których przetworniki są sterowane elektronicznie i każdy generuje falę ultradźwiękową z zadaniem opóźnieniem, uzyskując w ten sposób emisję fal pod określonym kątem i ze zdefiniowanym ogniskowaniem. Dzięki możliwości sterowania kątem i ogniskowaniem wiązki fal ultradźwiękowych, badania Phased Array znajdują zastosowanie w wykrywaniu wad w skomplikowanych geometrycznie elementach, jak np. odkuwki o złożonym kształcie czy cienkie złącza spawane.



Rysunek 59. Technika badań phased array w porównaniu z badaniami ultradźwiękowymi.

6.4.11 Wymagane dokumenty końcowe.

W oparciu o zapisy norm, każdorazowe przeprowadzenie badań musi kończyć się powstaniem protokołu. Zaleca się, aby protokół spełniał zasadę identyfikowalności, a więc zawierał odniesienia do punktów pomiarowych poprzez dokładny opis, rysunek czy zdjęcie. Normy przedmiotowe w sposób dokładny określają zawartość protokołów po przeprowadzeniu badań. Jednakże, każdorazowo protokół z badań złączy spawanych powinien zawierać w szczególności:

- a) identyfikację podmiotu przeprowadzającego badanie;
- b) identyfikację badanego elementu;
- c) materiał;
- d) rodzaj złącza;
- e) grubość materiału;
- f) kryteria odbioru;
- g) niezgodności spawalnicze przekraczające kryteria odbioru i ich lokalizacja;
- h) zakres badań z odesłaniem, w razie potrzeby do rysunków;
- i) przyrządy zastosowane podczas badań (numery świadectw wzorcowania);

- j) wyniki badań w oparciu o kryteria odbioru;
- k) imię i nazwisko osoby przeprowadzającej badania (właściwe uprawnienia, numer certyfikatu);
- l) inne wymagane informacje w oparciu o normy przedmiotowe dotyczące zastosowanej metody.

6.5 ETAP 5 - interpretacja i udokumentowanie wyników badań

W niniejszym dokumencie, wielokrotnie opisane zostały wytyczne dotyczące sposobu dokumentowania poszczególnych etapów oceny, które dają podstawy do podjęcia decyzji o dalszej bezpiecznej eksploatacji urządzenia, jego naprawie lub jego wycofaniu z eksploatacji.

Należy zauważyć, że dokumentowanie badań i zachowanie odpowiedniej identyfikacji i identyfikowalności nie jest proste, szczególnie w odniesieniu do wyciągów towarowych. Ocenie stanu technicznego powinno zostać poddane całe urządzenie wraz ze wszystkimi elementami pomocniczymi i wymiennymi. Niejednoznaczność identyfikacji może występować w szczególności w przypadku urządzeń eksploatowanych przez jeden podmiot, które posiadają taką samą konstrukcję i te same własności, a więc ich elementy składowe mogą być stosowane zamiennie. Niniejszy dokument nie narzuca konkretnego sposobu identyfikacji poszczególnych części urządzenia poddanych ocenie stanu technicznego, natomiast zwraca uwagę na konieczność jednoznacznego zinterpretowania czy dany segment został/nie został poddany ocenie i jaki był jej wynik.

W przypadku dalszej eksploatacji i wyznaczenia dla urządzenia (ustroju nośnego), nowego resursu dokument z oceny stanu technicznego będzie stanowił bazę do wykonania kolejnej oceny stanu technicznego. Poniżej przedstawiono przykładowy protokół z oceny stanu technicznego konstrukcji nośnej. Zaleca się, aby protokół zawierał część opisową z wykonanych czynności, a nie ograniczał się do podania tylko wyniku końcowego badania. Przykładowy protokół, który można wykorzystać podczas oceny stanu technicznego ustroju nośnego znajduje się na końcu niniejszego dokumentu w załączniku nr 1.

Dane identyfikacyjne
Informacje ogólne
Nazwa i adres wykonującego ocenę stanu technicznego ustroju nośnego
Nazwa i adres eksploatującego urządzenie

Rodzaj badanego obiektu					
Numer ewidencyjny				Numer fabryczny	
Udźwig		Rok produkcji		Typ	
Ocena stanu technicznego konstrukcji nośnej					
Oględziny konstrukcji wykonane przez osobę posiadającą stosowne zaświadczenia kwalifikacyjne do konserwacji					
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):					
Uwagi:					
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>			Wynik negatywny <input type="checkbox"/>		
Data wykonania			Imię i nazwisko		
Sprawdzenie połączeń rozłącznych oraz połączeń nierozłącznych nitowanych wykonane przez osobę posiadającą stosowne zaświadczenia kwalifikacyjne do konserwacji					
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):					
Uwagi:					
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>			Wynik negatywny <input type="checkbox"/>		
Data wykonania			Imię i nazwisko		
Pomiar grubości elementów nośnych w miejscach występowania korozji wraz z oceną jej wpływu na wytrzymałość konstrukcji					
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):					

Uwagi:			
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>		Wynik negatywny <input type="checkbox"/>	
Data wykonania		Imię i nazwisko	
Pomiar geometrii elementów ustroju nośnego			
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):			
Uwagi:			
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>		Wynik negatywny <input type="checkbox"/>	
Data wykonania		Imię i nazwisko	
Badania nieniszczące połączeń nierozłącznych			
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):			
Uwagi:			
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>		Wynik negatywny <input type="checkbox"/>	
Data wykonania		Imię i nazwisko	
Orzeczenie osoby kompetentnej			
Przeprowadzona ocena stanu technicznego ustroju nośnego zakończyła się wynikiem pozytywnym / negatywnym*) i urządzenie nadaje się / nie nadaje*) się do dalszej bezpiecznej eksploatacji. Przy założeniu niezmiennych warunków eksploatacji, ustala się dla ustroju nośnego dalszy okres eksploatacji wynoszącylat / godzin / cykli pracy*).			
*) <i>niepotrzebne skreślić</i>			
Data wykonania		Imię nazwisko i podpis	

Załączniki:

- 1) protokół pomiaru grubości elementów nośnych nr
- 2) protokół pomiaru geometrii ustroju nośnego nr
- 3) protokół badań nieniszczących połączeń nierozłącznych nr
- 4) inne

6.6 ETAP 6 – ewentualna naprawa

Sposób postępowania w przypadku naprawy omówiony jest szczegółowo w „Wytycznych UDT dotyczących eksploatacji urządzeń transportu bliskiego”.

7. Uwagi końcowe

Ocena stanu technicznego konstrukcji nośnej jest tylko częścią oceny stanu technicznego całego urządzenia. W każdym urządzeniu występuje również szereg mechanizmów i układów, które także muszą podlegać ocenie stanu technicznego. Poszczególne mechanizmy mogą osiągać swój resurs w różnych, często wcześniejszych terminach, co powoduje potrzebę wykonania oceny stanu technicznego tych elementów.

Protokół oceny stanu technicznego ustroju nośnego UTB

Dane identyfikacyjne					
Informacje ogólne					
Nazwa i adres wykonującego ocenę stanu technicznego ustroju nośnego					
Nazwa i adres eksploatującego urządzenie					
Rodzaj badanego obiektu					
Numer ewidencyjny				Numer fabryczny	
Udźwig		Rok produkcji		Typ	
Ocena stanu technicznego konstrukcji nośnej					
Oględziny konstrukcji wykonane przez osobę posiadającą stosowne zaświadczenia kwalifikacyjne do konserwacji					
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):					
Uwagi:					
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>			Wynik negatywny <input type="checkbox"/>		
Data wykonania				Imię i nazwisko	
Sprawdzenie połączeń rozłącznych oraz połączeń nierozłącznych nitowanych wykonane przez osobę posiadającą stosowne zaświadczenia kwalifikacyjne do konserwacji					
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):					

<p>Uwagi:</p>			
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>		Wynik negatywny <input type="checkbox"/>	
Data wykonania		Imię i nazwisko	
Pomiar grubości elementów nośnych w miejscach występowania korozji wraz z oceną jej wpływu na wytrzymałość konstrukcji			
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):			
<p>Uwagi:</p>			
Wynik pozytywny <input type="checkbox"/>		Wynik negatywny <input type="checkbox"/>	
Data wykonania		Imię i nazwisko	

Pomiar geometrii elementów stroju nośnego			
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):			
Uwagi:			
Wynik pozytywny	<input type="checkbox"/>	Wynik negatywny	<input type="checkbox"/>
Data wykonania		Imię i nazwisko	
Badania nieniszczące połączeń nierozłącznych			
Opis wykonanych czynności z podaniem wyników, odniesieniem do dowodów z wykonanych czynności (rysunki, zdjęcia):			
Uwagi:			
Wynik pozytywny	<input type="checkbox"/>	Wynik negatywny	<input type="checkbox"/>
Data wykonania		Imię i nazwisko	

Orzeczenie osoby kompetentnej			
Przeprowadzona ocena stanu technicznego ustroju nośnego zakończyła się wynikiem pozytywnym / negatywnym ^{*)} i urządzenie nadaje się / nie nadaje ^{*)} się do dalszej bezpiecznej eksploatacji. Przy założeniu niezmiennych warunków eksploatacji, ustala się dla ustroju nośnego dalszy okres eksploatacji wynoszący lat / godzin / cykli pracy ^{*)} .			
<i>*) niepotrzebne skreślić</i>			
Data wykonania		Imię nazwisko i podpis	
Załączniki:			
1) protokół pomiaru grubości elementów nośnych nr			
2) protokół pomiaru geometrii ustroju nośnego nr			
3) protokół badań nieniszczących połączeń nierozłącznych nr			
4) inne			