



URZĄD DOZORU  
TECHNICZNEGO

# Ocena stanu technicznego ustrojów nośnych przenośników do celów rekreacyjno- rozrywkowych



Urząd Dozoru Technicznego  
ul. Szczęśliwicka 34  
02-353 Warszawa

wydanie 1, lipiec 2021

## **1. Spis treści**

1.	Spis treści.....	2
2.	Informacje wstępne. ....	4
3.	Historia podległości przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych.....	4
4.	Cel oraz zakres. ....	5
5.	Wymagania dla osoby kompetentnej.....	5
6.	Trwałość eksploatacyjna. ....	7
7.	Ocena konstrukcji nośnej UTB - etapy. ....	15
8.	ETAP 1 – zapoznanie się z dokumentacją eksploatacyjną, konstrukcyjną i ogólnym stanem technicznym UTB. ....	16
8.1	Dokumentacja.....	16
8.2	Konstrukcje nośne przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych.....	16
8.2.1	Konstrukcje nośne z profili walcowanych i prostych blachownic. ....	31
8.2.2	Konstrukcje kratownicowe.....	32
8.2.3	Podwozia i ramy.....	42
8.3	Materiały konstrukcyjne stosowane na konstrukcje nośne karuzel.....	46
8.4	Kontrola spoin wg polskich norm. ....	48
8.5	Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 6520-1. ....	51
8.6	Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 5817.....	53
8.7	Weryfikacja połączeń śrubowych.....	59
8.8	Weryfikacja połączeń sworzniowych.....	63
9.	ETAP 2 - ocena wymiarowa konstrukcji.....	67
10.	ETAP 3 - podstawowe badania NDT. ....	69
10.1	Wstęp do badań nieniszczących. ....	69
10.2	Badanie wizualne.....	70
10.3	Wytypowanie miejsc do badań wizualnych. ....	73
10.4	Przykładowe miejsca kontroli. ....	79

10.5	Dokumentowanie badania. ....	89
11.	ETAP 4 - pozostałe badania NDT. ....	89
11.1	Wiarygodność wyników. ....	89
11.2	Dobór i zakres stosowalności poszczególnych metod. ....	92
11.3	Badania penetracyjne. ....	98
11.4	Badania magnetyczno – proszkowe. ....	102
11.5	Badania metodą prądów wirowych. ....	105
11.6	Badania radiograficzne. ....	108
11.7	Badania ultradźwiękowe. ....	112
11.8	Badania metodą emisji akustycznej. ....	114
11.9	Ultradźwiękowa technika TOFD (Time of Flight Diffraction). ....	116
11.10	Technika badań phased array. ....	117
11.11	Wymagane dokumenty końcowe. ....	118
12.	ETAP 5 - interpretacja i udokumentowanie wyników badań. ....	118
13.	ETAP 6 – ewentualna naprawa ....	121
14.	Uwagi końcowe ....	121

## **2. Informacje wstępne.**

Wyniki oceny stanu technicznego urządzeń transportu bliskiego, dla których został przekroczony resurs są istotne co do podjęcia decyzji dotyczącej dalszej ich eksploatacji lub ewentualnych działań naprawczych. Złożoność tego problemu, niniejszy dokument przedstawi na przykładzie analizy określenia stanu technicznego urządzeń nośnych przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych zamiennie zwanych karuzelami.

W trakcie oceny stanu technicznego urządzeń należy co do zasady przestrzegać wymagań dokumentacji technicznej wytwórcy urządzenia, posiłkować 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 stanowić podstawę decyzji o złomowaniu urządzenia.

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

## **3. Historia podległości przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych.**

W przypadku przenośników do celów rekreacyjno – rozrywkowych warto przybliżyć historię dotyczącą obowiązujących przepisów oraz przedmiotowych norm. Pierwszym dokumentem prawnym, który obejmował swoim zakresem w/w urządzenia było Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać przenośniki kabinowe i krzeselkowe (Dz.U. 2001 nr 77 poz. 827). Na podstawie tego aktu przeprowadzano czynności związane z dozorem technicznym karuzel. Obecnie obowiązującym jest Rozporządzenie Ministra Przemysłu 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). Oprócz wskazanego rozporządzenia pomocnymi w prowadzeniu działań związanych z oceną stanu technicznego urządzeń nośnych karuzel mogą być normy:

- a) PN-EN 13814-1 Bezpieczeństwo atrakcji i urządzeń lunaparków. Część 1: Konstrukcja i wykonanie;

- b) PN-EN 13814-2 Bezpieczeństwo atrakcji i urządzeń lunaparków. Część 2: Obsługa, konserwacja i użytkowanie;
- c) PN-EN 13814-3 Bezpieczeństwo atrakcji i urządzeń lunaparków. Część 3: Wymagania dla kontroli podczas konstrukcji, wykonania, obsługi i użytkowania.
- d) PN-EN 15628 Obsługiwanie. Kwalifikacje personelu obsługiwanego.

Powyższe normy w sposób jasny wskazują zasady dotyczące określenia czasu jak również sposobu przeprowadzenia działań w zakresie oceny stanu technicznego urządzeń.

#### **4. 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. W przypadku karuzel będą to normy serii PN-EN 13814.

#### **5. 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.

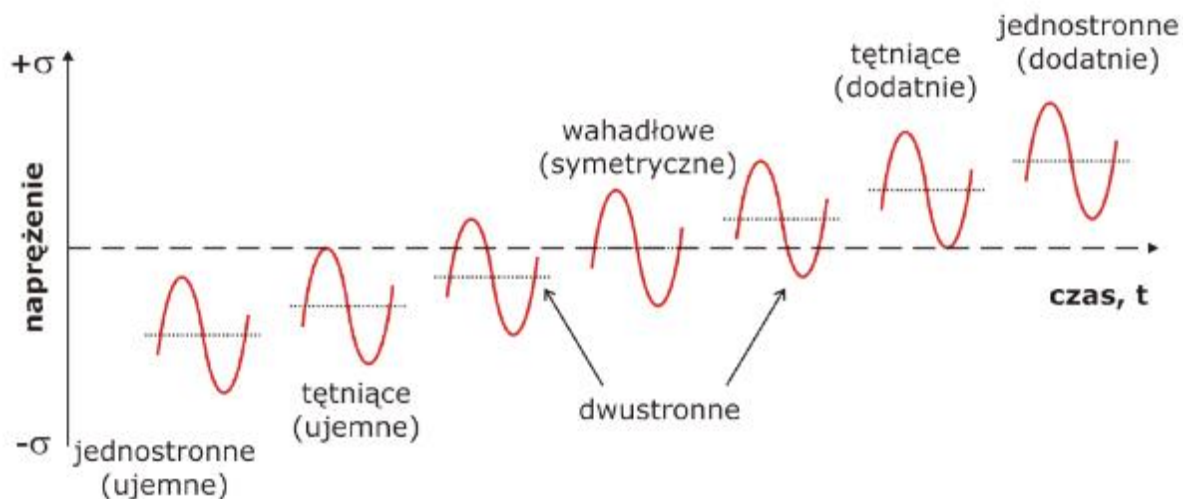
Wyżej opisane wytyczne dotyczące osoby kompetentnej bazują nie tylko na doświadczeniu inżynierów pracujących w UDT, ale również na dokumentach normatywnych stosowanych zarówno w Europie jak i na świecie. Celem określenia kwalifikacji personelu w odniesieniu do zadań, które mają być wykonywane w ramach oceny stanu technicznego możemy posługiwać się normą PN-EN 15628.

Jednakże warto zwrócić uwagę na fakt, że w powyższej normie nie określono kryteriów weryfikacji ani szkolenia specjalistycznego personelu, który jest związany z konkretnym sektorem branżowym. Widać więc wyraźnie, że wybór odpowiedniej osoby kompetentnej, który jest jednym z pierwszych etapów całego procesu, spoczywa na eksploatującym dane urządzenie techniczne i ma kluczowy wpływ na wszystkie pozostałe działania.

## **6. 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 ustrojów 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.

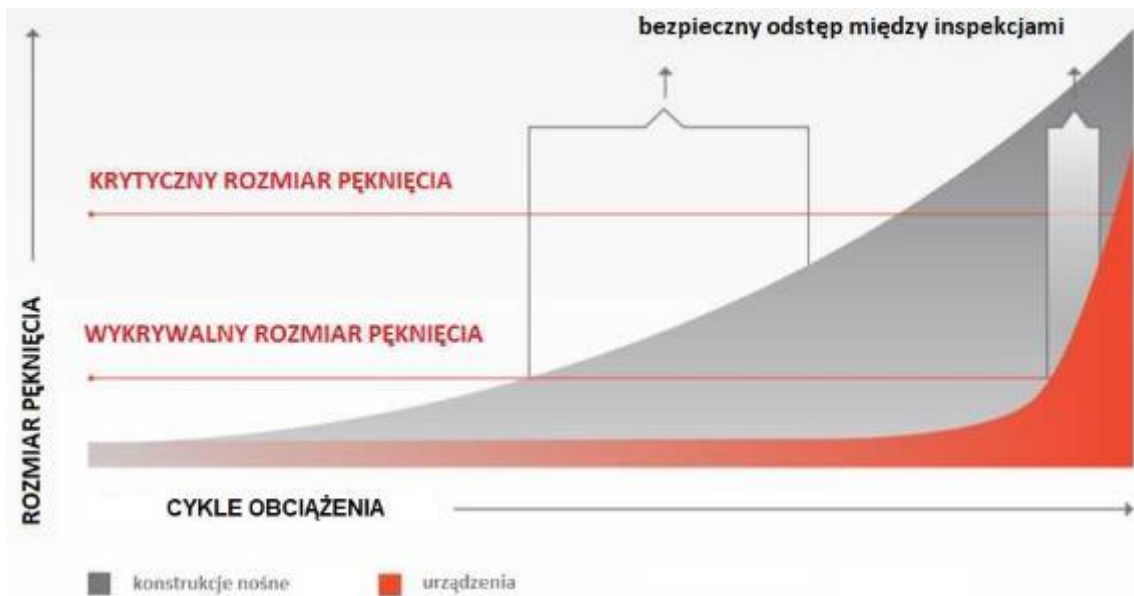
Zmęczenie materiału w połączeniu z istniejącymi lub powstałymi nieciągłościami mogą spowodować zniszczenie zmęczeniowe, którego cechą charakterystyczną jest fakt, że może ono wystąpić przy obciążeniach niższych od wytrzymałości statycznej elementów. Ma charakter pęknięć kruchych, a ostateczne zniszczenie przy braku odpowiedniej diagnostyki następuje nagle i niespodziewanie, co w konstrukcjach nośnych urządzeń może mieć katastrofalne skutki.

Najczęstszymi przyczynami pęknięć zmęczeniowych są:

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

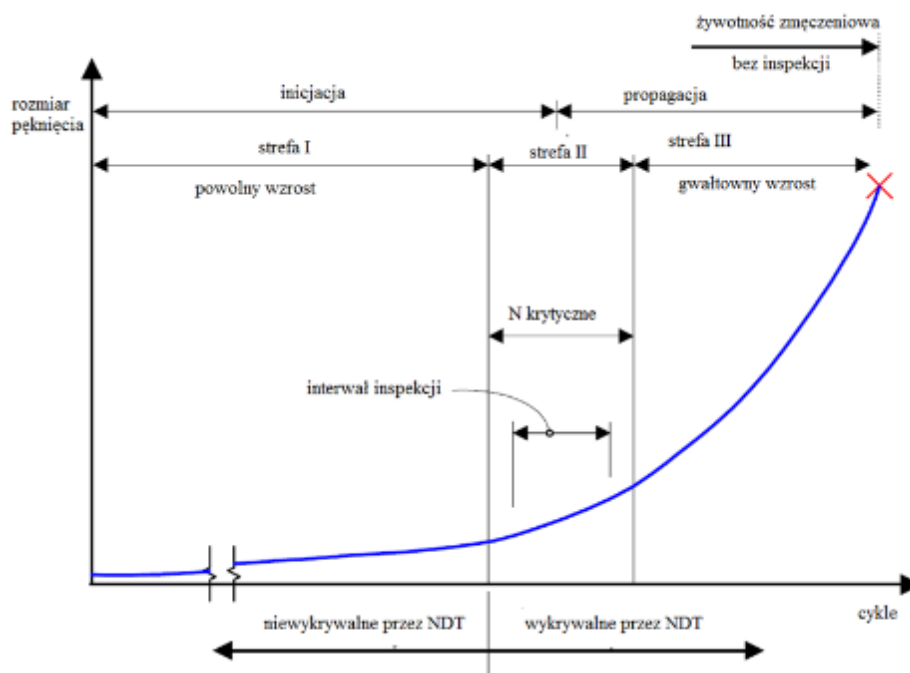
Powstanie pęknięć nie zawsze ma katastrofalne skutki, ale tylko pod warunkiem wczesnej detekcji. Aby zachować akceptowalny poziom niezawodności pod kątem bezpieczeństwa eksploatacji jak również ekonomicznym, konstrukcja nośna wymaga

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.



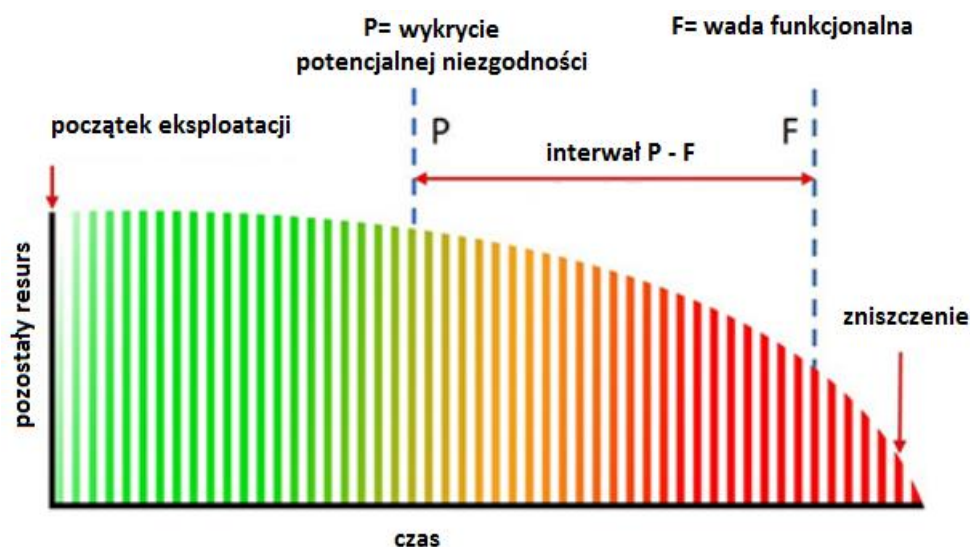
Rysunek 2. Zależność wystąpienia pęknięć od interwału kontroli.

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 dobranie 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 produktu czy tzw. resursu, a co za tym idzie, by konstrukcje zapewniały określoną długość bezpiecznej eksploatacji przy założonych parametrach.



Rysunek 4. „Czas życia” maszyny.

Normy serii PN-EN 13814 wymagają przedłożenia teoretycznego obliczenia czasu życia oraz dokonania oceny zmęczenia części przenoszących obciążenie (maszynowe i konstrukcyjne), z uwzględnieniem następującej liczby cykli obciążenia (jeżeli nie można podać dokładniejszych obliczeń dotyczących cykli obciążenia i czasu życia):

- a) Limit zmęczenia po 35000 godzin pracy. Przy obliczaniu zmęczenia urządzeń rozrywkowych, z wyłączeniem czasu wejścia i wyjścia, należy przyjąć co najmniej 35000 godzin pracy. Liczbę cykli obciążenia ustala się dla każdego konkretnego urządzenia rozrywkowe i jego elementów.
- b) Limit wytrzymałości. Komponenty związane z bezpieczeństwem muszą być zaprojektowane dla granicy wytrzymałości. W tym kontekście zakres naprężeń  $\Delta\sigma_D$  jest rozumiany jako granica zmęczenia stałej amplitudy. Gdy żaden zakres naprężeń nie jest większy niż  $\Delta\sigma_D$  dla odpowiedniej kategorii szczegółów, można przyjąć nieskończoną trwałość zmęczeniową. Jeżeli nie przedstawiono szczegółowego obliczenia cykli obciążenia, należy zastosować obliczenie limitu wytrzymałości.
- c) Standardowe produkty. Wyłączone są produkowane seryjnie wymienne elementy maszyn związane z bezpieczeństwem stosowane jako części konstrukcyjne (np. łożyska i pierścienie obrotowe), dla których dostępne są standardy firmy. Ich czas życia należy

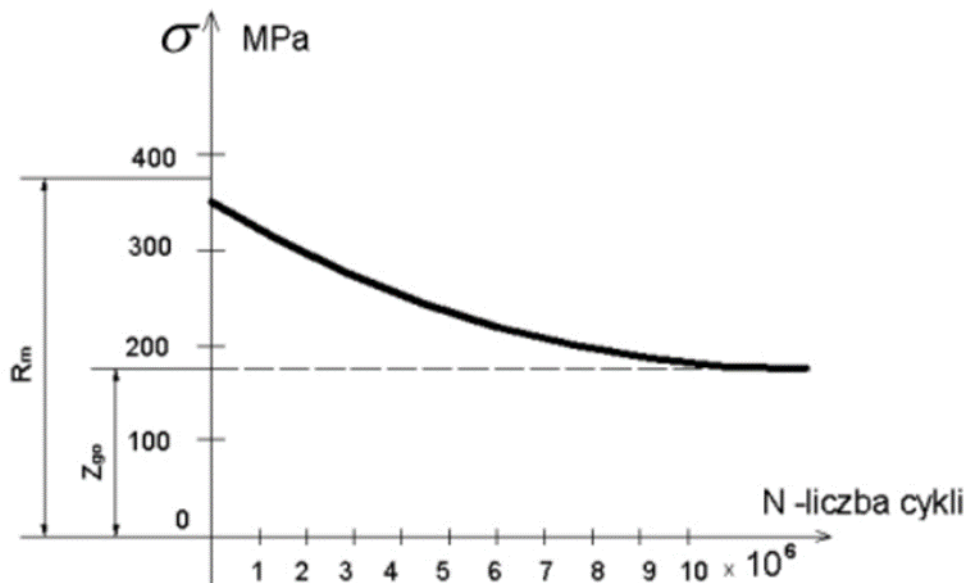
przewidywać na co najmniej 5000 godzin pracy. Częstotliwość wymiany części opiera się na obliczonym okresie użytkowania w godzinach lub liczbie cykli.

Dodatkowo należy uwzględnić minimalną wymaganą liczbę cykli, która zawiera się od  $N_{\min} \geq 5 \times 10^6$  tam gdzie liczba obrotów jest decydująca dla liczby cykli obciążeń, lub  $N_{\min} \geq 2 \times 10^6$  tam gdzie liczba cykli (czas wsiadania i wysiadania plus jeden przejazd) jest decydująca dla liczby cykli obciążenia.

Norma PN-EN 13814 zaleca stosowanie Eurokodu 3 do projektowania konstrukcji stalowych i oceny zmęczenia, ale pozostawia możliwość zastosowania innych norm.

Celem uzyskania wymaganej minimalnej liczby godzin pracy urządzenia jako całości ważnym jest wskazanie elementów, które muszą być wymieniane w trakcie eksploatacji urządzenia.

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.

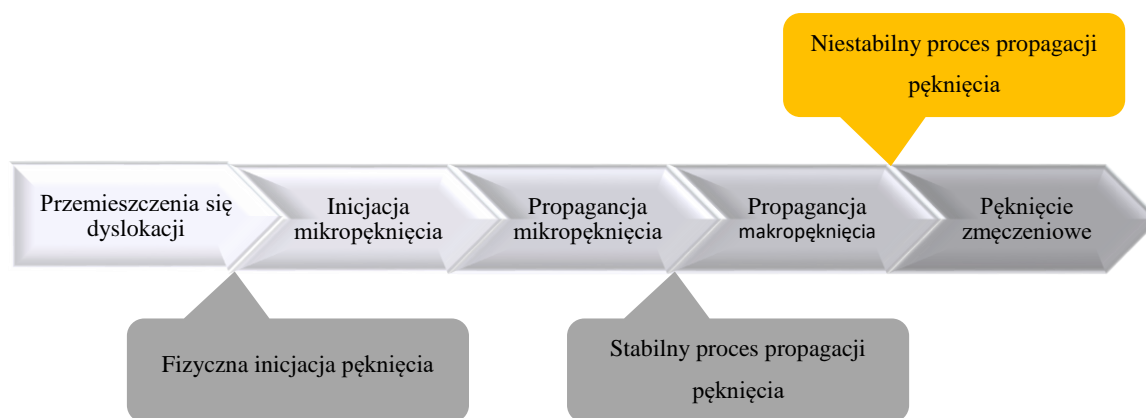


Rysunek 5. Przykładowy wykres wytrzymałości zmęczeniowej.

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 wyczerpanego przekroju na skutek przekroczenia granicy wytrzymałości materiału;
- b) odkształcenia trwale 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 i korzystających z urządzenia).

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 ich przeznaczeniem;
- c) przeciążanie ustroju nośnego;
- d) przekroczenie resursu;
- 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.

## 7. Ocena konstrukcji nośnej UTB - etapy.



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

### **8.1 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.

W większości karuzel występuje wiele elementów konstrukcyjnych i mechanicznych, podlegających znacznej ilości cykli zmian naprężeń. Wynika z tego, że należy stosować raczej analizę zmęczeniową, a nie proste sprawdzenie stanu granicy zrywania. Decyzje dotyczące wymaganej oceny stanu technicznego można więc opierać na wynikach wykonanych obliczeń zmęczeniowych.

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

### **8.2 Konstrukcje nośne przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych.**

Konstrukcje nośne karuzel różnią się od siebie w sposób diametralny. W kolejnych podrozdziałach zostaną scharakteryzowane główne rozwiązania konstrukcyjne stosowane na elementy konstrukcji nośnej różnego typu karuzel.

Do podstawowych elementów konstrukcyjnych przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych należą:

- a) ramiona;
- b) wieże;
- c) słupy;
- d) kolumny;
- e) maszty;
- f) podstawy;
- g) podwozia;
- h) ramy;
- i) głowice obrotowe.

Stopień zróżnicowania tych elementów jak również samych urządzeń jest ogromny, a rozwiązania konstrukcyjne przeplatają się co powoduje, że trudno jest jednoznacznie określić czy nazwać poszczególne kategorie karuzel.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać przenośniki kabinowe i krzeselkowe zwane potocznie karuzelami podawało definicję i podział przenośników ze względu na:

- a) ruch wokół osi pionowej lub odchylonej od pionu;
- b) ruch wokół poziomej osi obrotu;
- c) ruch wokół dowolnych dwu lub więcej osi obrotu.

Jest to dość prosty sposób podziału nie uwzględniający złożoności budowy karuzel i ich konstrukcji, który jest istotny dla potrzeb niniejszego dokumentu.

W związku z tym, warto dokonać podziału przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych na:

- a) karuzele dla dzieci:
  - podłogowe;
  - z siedziskami podwieszonymi;
  - z podłogą podwieszaną;
  - z siedziskami lub figurami ruchomymi;
  - z ramionami i gondolami podnoszonymi hydraulicznie lub pneumatycznie.
- b) karuzele o konstrukcji prostej:
  - z podłogą jedną lub więcej;

- z siedziskami (gondolami) podwieszonymi;
  - z siedziskami (gondolami ) bujanymi;
  - z podstawą lub wysięgnikami nachylonymi i obrotowymi.
- c) karuzele o konstrukcji złożonej:
- o wielu osiach obrotu;
  - o ruchach podnoszących;
  - o ruchach chaotycznych.



*Zdjęcie 1. Karuzele dziecięce podłogowe.*



*Zdjęcie 2. Karuzele dziecięce z siedziskami podwieszonymi.*



*Zdjęcie 3. Karuzele dziecięce z podłogą podwieszaną.*



*Zdjęcie 4. Karuzela dziecięca z siedziskami lub figurami ruchomymi.*



*Zdjęcie 5. Karuzele dziecięce o małej prędkości.*



*Zdjęcie 6. Karuzele dziecięce z ramionami i gondolami podnoszonymi hydraulicznie lub pneumatycznie.*



*Zdjęcie 7. Karuzela z podłogą jedną lub więcej.*



*Zdjęcie 8. Karuzele z siedziskami lub gondolami podwieszonymi.*



*Zdjęcie 9. Karuzele z siedziskami bujanymi lub gondolami wolno poruszającymi się.*



*Zdjęcie 10. Karuzele z podstawą lub wysięgnikami nachylnymi i obrotowymi.*

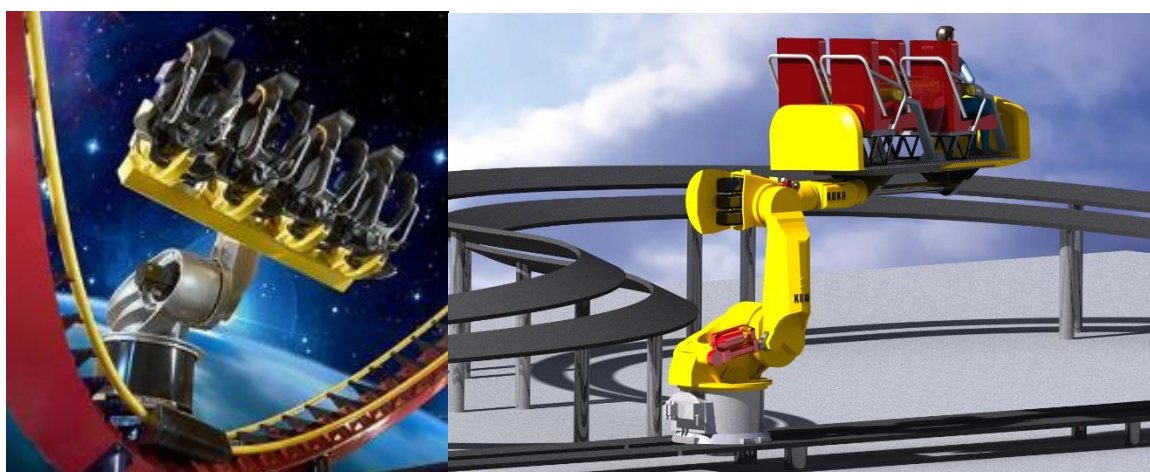


*Zdjęcie 11. Karuzele szybko poruszające się.*



*Zdjęcie 12. Karuzele o konstrukcji złożonej, szybko poruszające się, o wielu osiach obrotu.*





*Zdjęcie 13. Karuzele o konstrukcji złożonej, o chaotycznych ruchach podnoszących i obrotowych, przeważnie szybko poruszające się.*





*Zdjęcie 14. Kola młyńskie.*





Zdjęcie 15. Wieże z obrotem korony („tower”).

### 8.2.1 Konstrukcje nośne z profili walcowanych i prostych blachownic.

Najprostsze karuzele wykonane są z profili walcowanych lub z zamkniętych profili spawanych. Podstawowym elementem nośnym jest kolumna / słup:

- a) mocowana do podłoża;
- b) posadowiona na krzyżaku;
- c) zamontowana na podwoziu samochodowym lub przyczepce.

Drugim elementem jest zespół pojedynczych wysięgników lub ramion, na których podwieszane są siedziska, figurki, gondole lub podłoga, na której zamontowane są miejsca dla pasażerów.

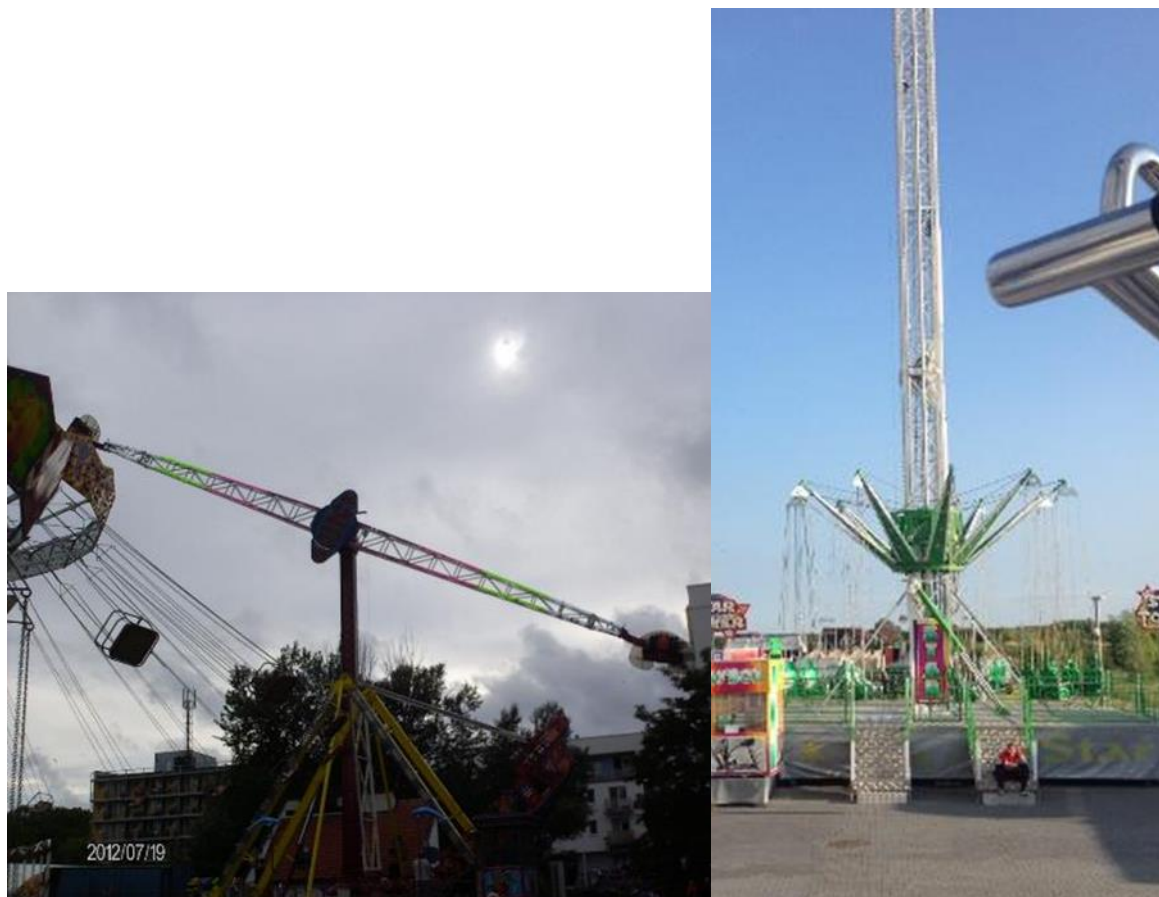
Konstrukcje słupów zazwyczaj wykonywane są z rury, lub wielokątnego profilu zamkniętego spawanego z blachy.



*Zdjęcie 16. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych karuzel dziecięcych.*

### **8.2.2 Konstrukcje kratownicowe.**

Konstrukcje tego typu składają się z prętów i 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 budowie karuzel, 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 w przypadku karuzel mobilnych ma ogromne znaczenie, gdyż obniża to koszty transportu oraz ułatwia i skraca montaż, ograniczając bądź eliminując użycie dodatkowych urządzeń pomocniczych.



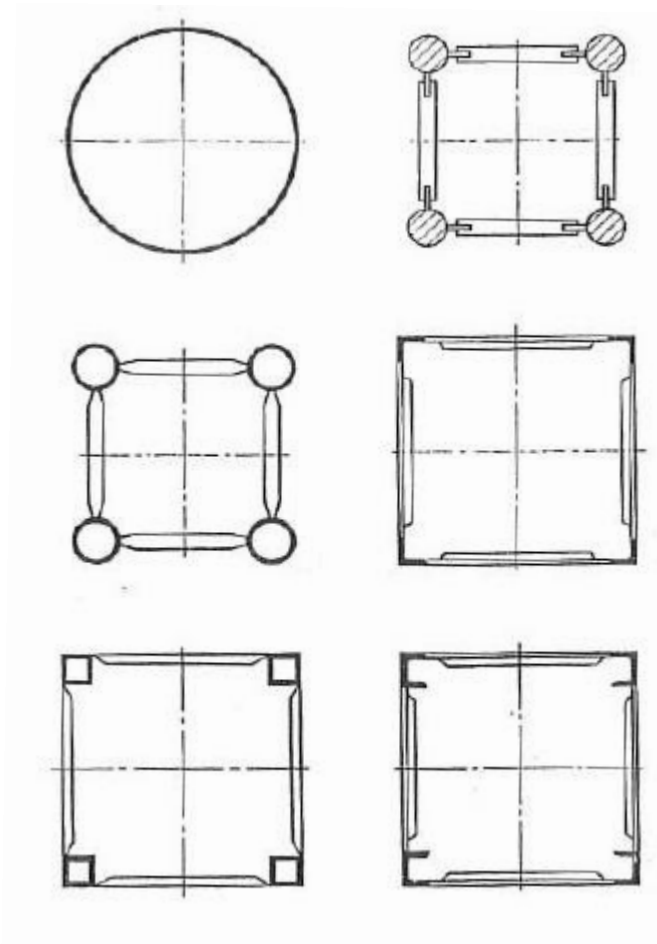
*Zdjęcie 17. Przykłady konstrukcji wież, wysięgników i podpór kratownicowych stosowanych w karuzelach mobilnych.*

Zmniejszenie masy elementów karuzel, powoduje jednocześnie zmniejszenie momentów wywracających działających na urządzenie, a co za tym idzie zwiększenie jej parametrów użytkowych. 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.

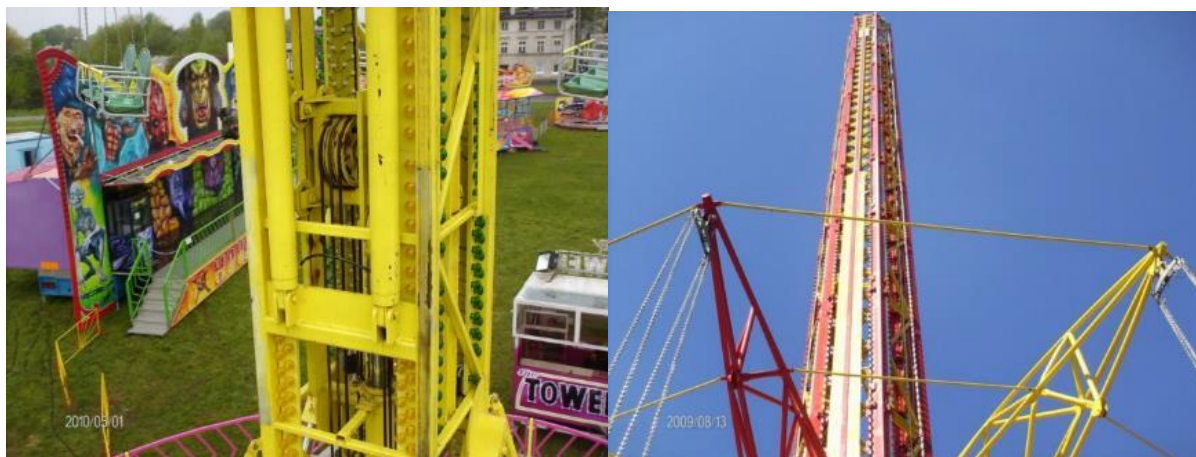




*Zdjęcie 18. Przykłady rozwiązań kratowych elementów karuzel (wykonane z rur, profili zamkniętych lub walcowanych).*



Rysunek 7. Przykłady przekrojów kratowych wieży, wsporników karuzeli (rura cienkościenna, rury, pręty i profile zamknięte jak również dwuteowniki i kątowniki wykorzystane na podłużnice wieży).



Zdjęcie 19. Przykłady rozwiązań kratowych wieży karuzel.

Elementami karuzel, w których najczęściej spotykana jest konstrukcja kratownicowa to:

- a) wysięgniki większości karuzel o konstrukcji prostej;
- b) wysięgniki lub ramiona i wieże karuzeli Tower;
- c) konstrukcje kół młyńskich;

- d) podbudowa podłogi;
- e) podwozia.

Charakteryzując konstrukcję nośną tego typu rozwiązań konstrukcyjnych nie należy zapominać o dodatkowych elementach konstrukcyjnych, łączących poszczególne części w kinematyczną całość. Należy uwzględnić wszelkiego rodzaju ciągnia odciągowe (giętkie i sztywne), mocowania balastów, głowice z krążkami linowymi, miejsca połączeń poszczególnych sekcji kratownicy, itp.

Konstrukcje blachownicowe.

Tego typu konstrukcje najczęściej mają szerokie zastosowanie w karuzelach nowszych i ekstremalnych, montowanych na stałe. Ponieważ ramię podparte jest w dwóch punktach, a obciążenie podwieszane jest do końcowej części, ramię podlega zginaniu. Często stosowaną konstrukcją są wysięgniki/kolumny/podpory spawane jako blachownicowe konstrukcje o przekroju skrzynkowym.

W porównaniu z elementami kratownicowymi są zazwyczaj cięższe. Elementy tego typu zyskują dużą popularność. Zmiana wysięgu, podnoszenie i konfiguracja karuzel może odbywać się tu w sposób płynny i szybki, co pozwala na dużą elastyczność w miejscu pracy.

Elementy teleskopowe składają się z członu bazowego, stałego połączonego z ramą nadwozia lub podstawą stałą. Pozostałe człony o zmniejszającym się przekroju umieszczone są wewnątrz i tworzą teleskopową konstrukcję urządzenia. Sposób konstruowania tego typu elementów zmieniał się na przestrzeni lat, w związku ze stosowaniem coraz nowszych materiałów, metod wytwarzania i technologii obliczeniowych. W starszych karuzelach można zaobserwować przekroje skrzynkowe bazujące na kształcie prostokąta lub rury. Obecnie stosuje się skomplikowane, wielokątowe przekroje poprzeczne dla optymalizacji wytrzymałości i masy.

Osobną kwestią jest montaż karuzel mobilnych, gdzie dzięki zastosowaniu elementów teleskopowych można w znacznym stopniu wyeliminować pracę ludzi. Układy teleskopowania i układy hydrauliczne skracają i upraszczają montaż i demontaż, oraz ograniczają pomyłki związane ze składaniem urządzenia z wielu osobnych elementów.



*Zdjęcie 20. Przykłady masztów teleskopowych.*



*Zdjęcie 21. Przykłady konstrukcji blachownicowych.*

W praktyce spotykane są również konstrukcje mieszane wykorzystujące zalety urządzeń kratownicowych i blachownicowych.





*Zdjęcie 22. Przykłady kombinacji różnego rodzaju konstrukcji karuzel.*

### **8.2.3 Podwozia i ramy.**

Kolejnym elementem konstrukcyjnym decydującym o wytrzymałości, stateczności i bezpieczeństwie eksploatacji karuzel są podwozia karuzel mobilnych wraz z konstrukcją podpór, ramy, czy też posadowienie i podstawy karuzel stacjonarnych. Należy zauważyć, że podwozia i ramy przenoszą na grunt wszystkie obciążenia wynikające z pracy urządzenia. Z uwagi na fakt, że w przeciwieństwie do ramion, ramy nie zmieniają położenia swojego środka ciężkości w czasie pracy karuzel, ich duża masa wpływa pozytywnie na stateczność urządzenia. Z tego powodu ramy karuzel budowane są jako ciężkie spawane konstrukcje blachownicowe. Szczególną uwagę należy poświęcić podporom karuzel oraz ich mocowaniu, jak również konstrukcji wieńca obrotowego, z uwagi na fakt dużego obciążenia.





*Zdjęcie 23. Przykłady podwozi karuzel mobilnych.*

W karuzelach stacjonarnych konstrukcja wsporcza może być posadowiona na kotwach lub stałej podstawie (ramie) krzyżowej.



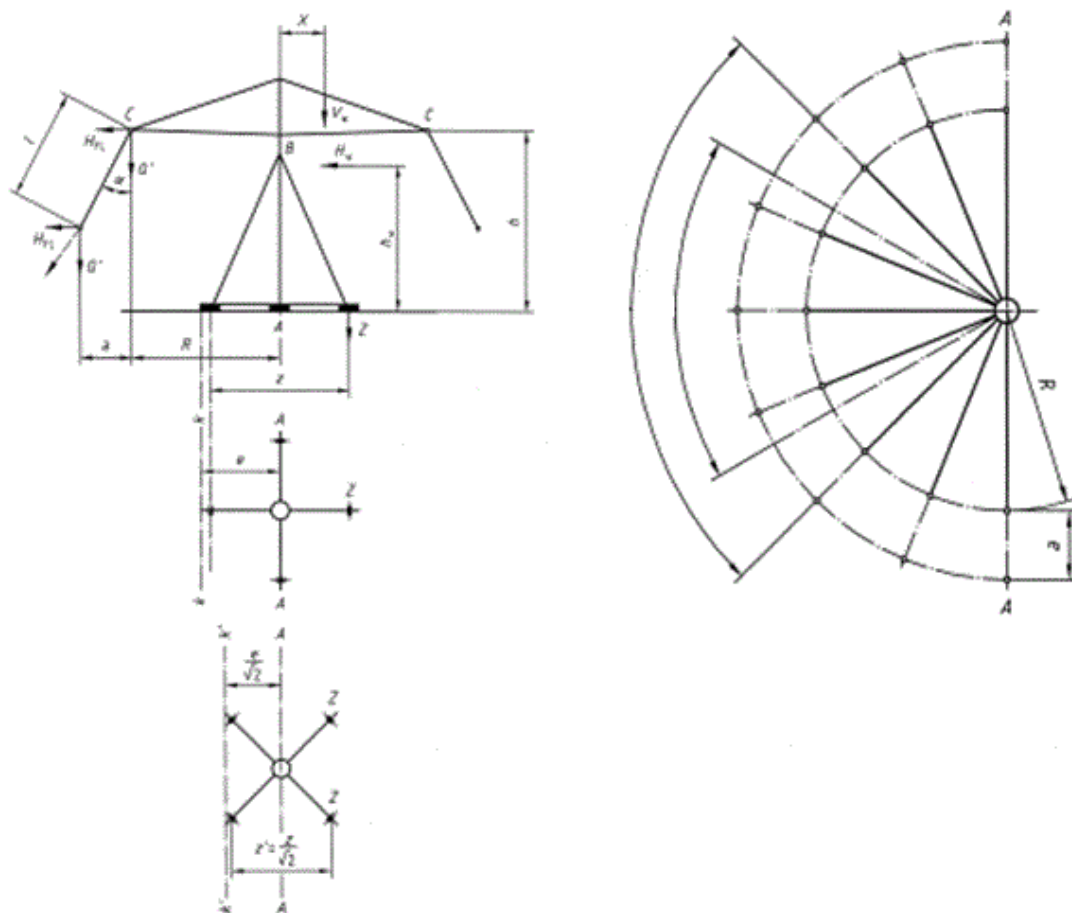
*Zdjęcie 24. Przykłady przygotowania fundamentu i posadowienia.*



*Zdjęcie 25. Przykłady podpór.*

### 8.3 Materiały konstrukcyjne stosowane na konstrukcje nośne karuzel.

Zagadnieniem, na które należy zwrócić uwagę podczas oceny stanu technicznego ustrojów nośnych karuzel jest określenie materiałów użytych do jej budowy. Jak wcześniej wspomniano bardzo ważna jest stateczność karuzel, ale najważniejsze jest bezpieczeństwo pasażerów. Osiągnięcie najlepszych parametrów eksploatacyjnych (udźwig, wysięg, wysokość roboczą, prędkość, przyspieszenia, pozycja, itp.), wymaga oprócz obliczeń wytrzymałościowych wykonania obliczeń stateczności.



Rysunek 8. Przykładowy model obliczeniowy stateczności karuzeli z siedziskami podwieszonymi, wg wymagań normy PN-EN 13814.

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 coraz rzadziej wykorzystuje się na konstrukcje nośne elementów wysięgników. W chwili obecnej, wytrzymałość stali stosowanej na konstrukcje jest 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.

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

*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:

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

Podczas wykonywania konstrukcji należy:

- a) stosować środki zapobiegające odkształceniom w czasie cięcia materiałów (np. poprzez zastosowanie cięcia plazmowego lub laserowego);
- b) poprawiać dokładność wykonania rowka, elementów głównych oraz tymczasowych;

- c) stosować odkształcenia wstępne;
- d) dobierać taką metodę spawania, w której energia liniowa będzie stosunkowo niska (np. wybrać raczej spawanie MAG niż spawanie elektrodą otuloną);
- e) likwidować nadmierne nadlewy oraz redukować wymiary spoiny pachwinowej (zmniejszenie długości ramion trójkąta jakie tworzy spoina);
- f) usztywniać elementy za pomocą przyrządów;
- g) stosować taką kolejność spawania oraz taką metodę układania poszczególnych warstw aby zmniejszyć odkształcenia;
- h) 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. Ponieważ przenośniki są urządzeniami wykorzystywanymi w większości na otwartej przestrzeni, są one narażone zarówno na działanie środowiska korozyjnego jak i niskich temperatur, które powodują drastyczny spadek własności wytrzymałościowych, co w skrajnym przypadku może doprowadzić do nagłego uszkodzenia.

#### **8.4 Kontrola spoin wg polskich norm.**

Stosowanie polskich norm do wytwarzania konstrukcji nośnych w Polsce było obowiązkowe do 31.12.1993 r. i pełniły one rolę warunków technicznych. Od 01.01.1994 r. stosowanie norm stało się dobrowolne przy czym do 31.12.2002 r. właściwy minister mógł nałożyć obowiązek ich stosowania. Od 01.01.2003 r. zgodnie z ustawą z 12.09.2002 r. o normalizacji stosowanie norm stało się całkowicie dobrowolne. Opierając na wymaganiach normy PN-88/M-06516 – „Złącza spawane w stalowych ustrojach nośnych dźwignic”, rozróżnia się 5 klas złączy spawanych: A, B, C, D i E. Klasy złączy spawanych były dobierane w zależności od poziomu obciążenia, rodzaju ustroju nośnego oraz sposobu projektowania. Poziom obciążenia złącza spawanego, definiowany jest jako stosunek naprężeń w złączu spawanym do wytrzymałości obliczeniowej lub zmęczeniowej.

W procesie wytwarzania karuzel obowiązującymi są zapisy normy EN ISO 17635. Dodatkowo, spawanie wszystkich części obciążonych dynamicznie powinno spełniać wymagania normy EN ISO 5817. Analizując dokumentacje przykładowych przenośników do celów rekreacyjno-rozrywkowych należy wskazać, że wytwórcy dla takich złączy jako akceptowalny podają poziom jakości B. W przypadku złączy obciążonych statycznie oraz elementów o mniejszym znaczeniu wytrzymałościowym, złącza powinny spełniać wymagania poziomu jakości C.

Rodzaj ustroju nośnego dźwignicy	Poziom obciążenia złącza spawanego		
	poniżej 50% lub złącza nieobliczane wytrzymałościowo	50 – 80%	powyżej 80%
	klasa złącza spawanego		
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek wytrzymałości	E	E	E <sup>1)</sup> lub D
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek trwałości zaliczane do grup natężenia pracy 1U, 2U, 3U, 4U	E	D	A i C
Ustroje nośne lub ich elementy projektowane ze względu na warunek trwałości zaliczane do grup natężenia pracy 5U, 6U	E	C	A i B
1) dla spoin ściskanych i ścinanych			

Tabela 3. Dobór klas w zależności od poziomu obciążenia, rodzaju ustroju nośnego oraz sposobu projektowania.

Wg wymagań tej normy każde złącze spawane jest poddawane kontroli. Zakres metod kontroli jakości złącza spawanego w zależności od klasy ilustruje tabela poniżej.

Klasa złącza	Metoda % przeprowadzenia kontroli jakości			
	badania wizualne		badania radiograficzne <sup>2)</sup> lub badania ultradźwiękowe <sup>3)</sup>	
	zakres kontroli	dopuszczalna klasa wadliwości	zakres kontroli	dopuszczalna klasa wadliwości
A	100 %	W1 (W2) <sup>1)</sup>	100 %	R1 lub U1
B		W2 (W3) <sup>1)</sup>	50 %	R2 lub U2
C		W3 (W4) <sup>1)</sup>	25 %	R3 lub U3
D		W4	10 %	R4 lub U4
E		W4	- <sup>4)</sup>	- <sup>4)</sup>

1) dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych.  
2) nie dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych.  
3) nie dotyczy spoin pachwinowych i spoin czołowych w złączach teowych o grubości poniżej 10 mm.  
4) nie jest wymagana kontrola radiograficzna lub ultradźwiękowa.

Tabela 4. Zakres metod kontroli jakości złącza spawanego w zależności od klasy złącza.

Rodzaj spoiny	Rodzaj naprężeń w spoinie	Współczynnik
Czołowe	Ściskanie osiowe i ściskanie przy ścinaniu	1.0
	Rozciąganie osiowe i rozciąganie przy zginaniu przy spawaniu automatycznym i ręcznym z kontrolą jakości i spoin - metoda radiograficzna i ultradźwiękowa	1.0
	- metoda oględzin zewnętrznych	0.8
	Ścinanie	0.6
Pachwinowe	Ścinanie	0.7

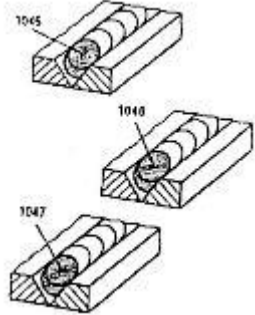
Tabela 5. Wartości współczynnika zależnego od rodzaju naprężeń występujących w spoinie.

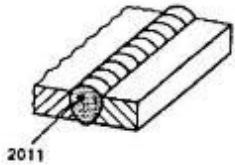
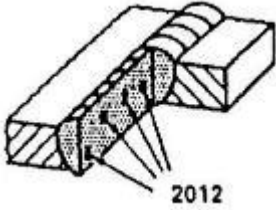
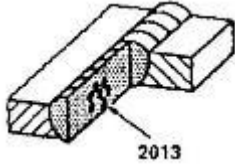
## 8.5 Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 6520-1.

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 Nie zgodność spawalnicza spowodowana miejscowym rozerwaniem w stanie stałym, które może być spowodowane chłodzeniem lub naprężeniami	
104	Pęknięcia w kraterze Pęknięcia w kraterze na końcu spoiny które może być:	
1045	- podłużne	
1046	- poprzeczne	
1047	- promieniowe (pęknięcie 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"> <li>- wolfram</li> <li>- miedź</li> <li>- inny metal</li> </ul>	

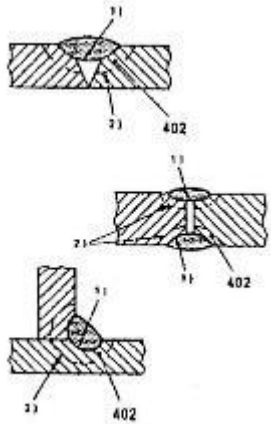
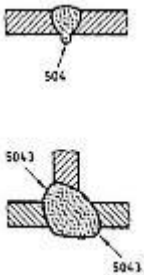
Grupa nr 4 Przyklejenie i brak przetopu		
402	Niepełny przetop (brak przetopu) Różnica między rzeczywistym i nominalnym przetopem	 <p>1) rzeczywisty przetop 2) nominalny przetop</p>
Grupa nr 5 Niezgodności kształtu i wymiarów		
504	Wyciek Wzmocnienie spoiny czołowej po stronie grani jest za duże Może to być:	
5041	- 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 6. Przykłady sklasyfikowania niezgodności spawalniczych.

## 8.6 Kontrola spoin wg normy PN-EN ISO 5817.

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

<b>Oznaczenie</b>	<b>Poziom jakości</b>
D	wymagania łagodne
C	wymagania średnie
B	wymagania ostre

*Tabela 7. Poziomy jakości złączy spawanych.*

Oznaczenia D, C i B jednoznacznie określają poziomy jakości, które obejmują podstawowe zastosowania praktyczne. W przypadku ustrojów nośnych dźwignic 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.

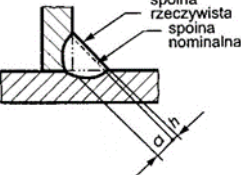
Nr	Określenie niezgodności spawalniczej	Odniesienie do ISO 6520	Komentarze	t mm	Wymiary graniczne niezgodności spawalniczych		
					Wymagania łagodne D	Wymagania średnie C	Wymagania ostre B
1. Niezgodności spawalnicze powierzchniowe							
1.1	Pęknięcie	100	-	$\geq 0,5$	Nie dopuszcza się		
1.2	Pęknięcie 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 odchyżeń 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 8. Wartości graniczne niezgodności spawalniczych.

Trudno w sposób jednoznaczny dokonać porównania obu tych norm. W związku z powyższym celem prawidłowej oceny połączeń nierozłącznych ustrojów nośnych, proponuje się stosować poniższe wymagania odnośnie niezgodności spawalniczych.

Klasa złącza wykonanego wg PN-88/M-06516	Badania wizualne – VT lub VT+PT lub VT+MT		Badanie RT lub UT	
	Zakres kontroli*	Poziom jakości / akceptacji	Zakres kontroli	Poziom jakości / akceptacji
A	100 %	VT- B i PT lub MT – B / 2X	100 %	RT: B/1 – UT: B/2
B		VT- B i PT lub MT – B / 2X	50%	RT: B/1 – UT: B/2
C		VT- B i PT lub MT – B / 2X	25%	RT: B/1 – UT: B/2
D		VT - C PT lub MT – C / 2X	10 %	RT: C/2 – UT: C/3
E		VT - C	-	-
*- dla badań PT lub MT zakres kontroli do ustalenia				

Tabela 9. Przeniesienie wymagań normy PN na obowiązujące.

<b>Niezgodności powierzchniowe dla złączy doczołowych i teowych</b>			
Stale ferrytyczne	VT	VT i PT	VT i MT
<b>Niezgodności wewnętrzne dla złączy doczołowych i teowych z pełnym przetopem wg. PN-EN ISO 17635</b>			
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			
<b>Badania wizualne – VT</b>			
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817	Technika badania		
B	zgodnie z PN-EN ISO 17637		
C			
D			
<b>Badania penetracyjne – PT</b>			
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		3X	
D			
<b>Badania magnetyczno - proszkowe – MT</b>			
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		3X	
D			
<b>Badania radiograficzne – RT</b>			
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
<b>Badania ultradźwiękowe – UT</b>		
Poziom jakości zgodnie z PN-EN ISO 5817	Technika badania / „klasa” badania wg PN-EN ISO 17640	Poziom akceptacji zgodnie z PN-EN ISO 11666
B	„klasa” badania min. B	2
C	„klasa” badania min. A	3
D	nie zdefiniowano	UT nie rekomendowane

Tabela 10. Wymagania dotyczące badań nieniszczących spoin.

Analizując dokumentacje przykładowych ustrojów nośnych „starych karuzel” należy stwierdzić, że większość połączeń nierozłącznych, w głównej mierze ze względu na poziom obciążenia była wykonywana w klasie „C” wg normy PN-88/M-06516. Bardzo rzadko można znaleźć zapisy o zastosowaniu klasy „B”. Wraz z rozwojem branży oraz optymalizowaniem postaci konstrukcyjnej ustrojów nośnych, coraz częściej spotyka się w ustrojach nośnych określenie poziomu jakości złącza spawanego „B” i „C” wg normy PN-EN ISO 5817.

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 dźwigara jest w postaci 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 urządzeń nośnych 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. wysięgnika/ramion, wieży;
- 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,
- e) aspekty związane z bezpiecznym przeprowadzeniem procesu oceny konstrukcji.

## **8.7 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 własności 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 stosować zamiennie lub łączyć. 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 zwrócić uwagę na podstawowe zasady związane z wykonywaniem połączeń:

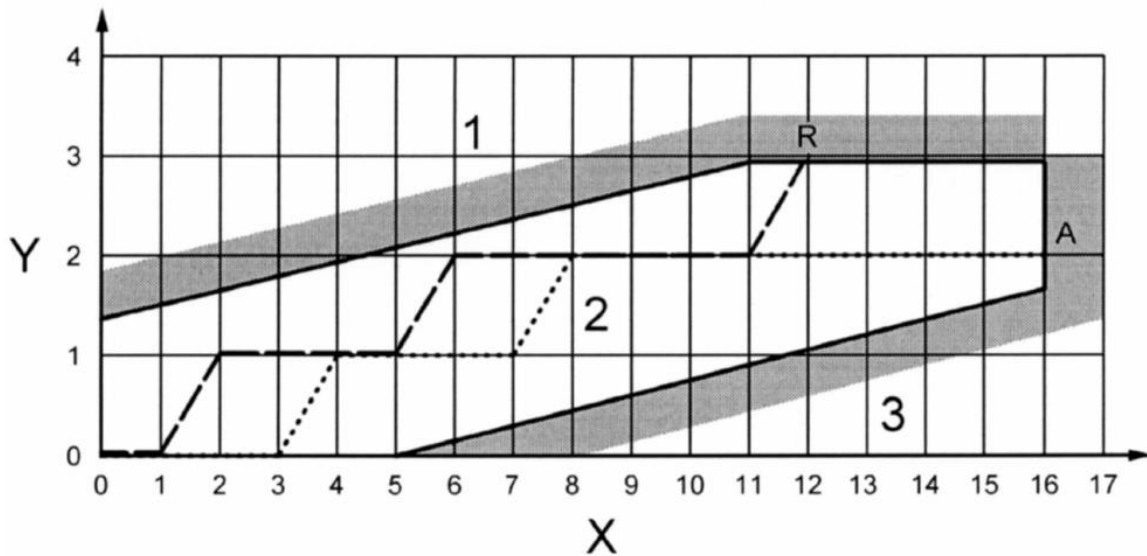
- a) dla śrub o klasie własności mechanicznej 8.8 należy stosować podkładki pod łbem lub nakrętką, dla śrub o klasie 10.9 pod łbem i pod nakrętką;

- 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;
- h) norma PN-EN 13814-1, -nie dopuszcza się śrub o wytrzymałości większej jak 12.9.

Rozmiar gwintu	Siła sprężenia $F_v$ (kN) dla klasy wytrzymałości mechanicznych		Moment dokręcania $M_a$ (Nm) dla klasy wytrzymałości		Moment dokręcania $M_a$ (Nm) dla klasy wytrzymałości	
			Zestawy śrubowe zgodnie z EN 14399-4 / EN 14399-6		Śruby wg EN ISO 4014 / EN ISO 4017	
			Stan powierzchni: nakrętka ocynkowana ogniowo i smarowana MoS2 lub jak zbudowano i nakrętkę smarowaną MoS2 $\mu = 0,10$		Lekko naoliwione $\mu = 0,14$	
	8.8	10.9	8.8	10.9	8.8	10.9
M 12 <sup>a</sup>	35	50	70	100	80	120
M 16 <sup>a</sup>	70	100	170	250	210	300
M 20 <sup>a</sup>	110	160	300	450	410	590
M 20 <sup>a</sup>	110	160	300	450	410	590
M 22 <sup>a</sup>	130	190	450	650	520	760
M 24 <sup>a</sup>	150	220	600	800	660	970
M 27 <sup>a</sup>	200	290	900	1250	1000	1450
M 30 <sup>a</sup>	245	350	1 200	1650	1370	1950
M 36 <sup>a</sup>	355	510	2 100	2800	2350	3380
M 42 <sup>b</sup>		710		4500		
M 48 <sup>b</sup>		930		6500		
M 56 <sup>b</sup>		1280		10000		
a) z EN 1993-1-8. b) więcej w bibliografii.						

Tabela 11. Siły sprężające i momenty dokręcenia śrub.

Jeżeli kontrola wrywkowa 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”.



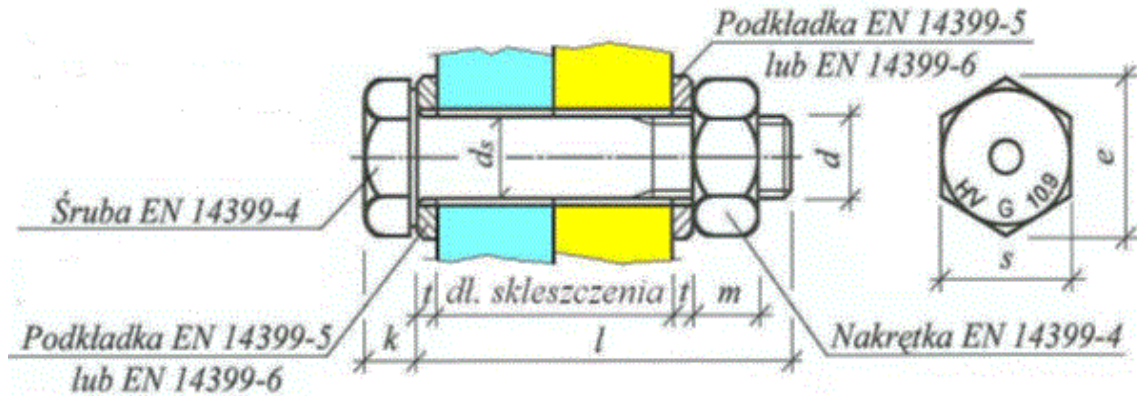
Linie ciągłe na wykresie wyznaczają trzy strefy: strefę odrzucenia (1), strefę kontynuacji (2) i strefę akceptacji (3), oś X – liczba skontrolowanych łączników, oś Y – liczba wadliwych łączników

Rysunek 9. Przykładowa obwiednia w metodzie sekwencyjnej.

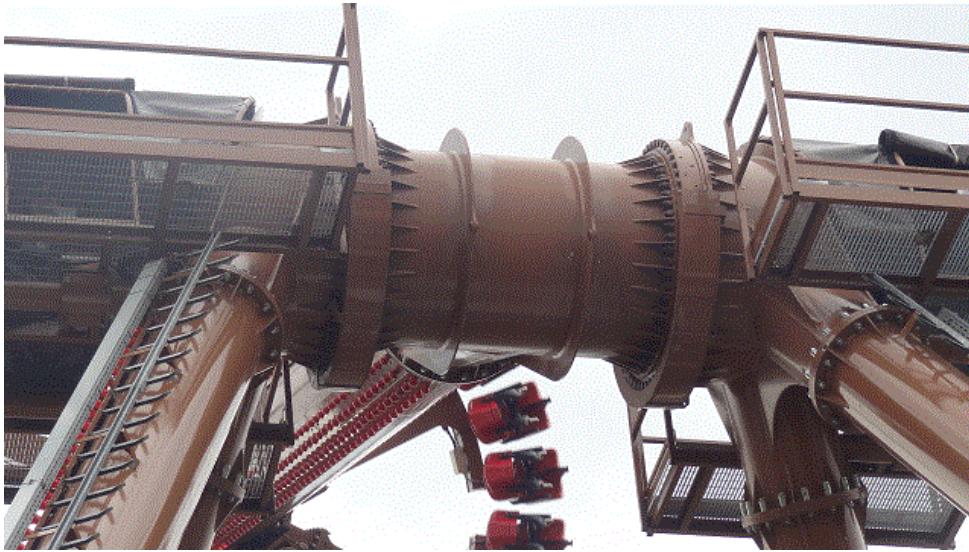
Aby w sposób zrozumiały wyjaśnić zasadę metody sekwencyjnej warto omówić przykładowe przypadki:

- 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.
- 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 wrywkowej kontroli połączeń śrubowych stosowanych w ustrojach nośnych, należy w sposób jednoznaczny udokumentować przyjętą metodę, zastosowane kryterium oceny oraz wykonane czynności.



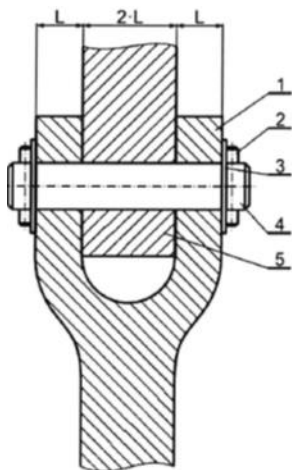
Rysunek 10. Zestaw śrubowy HV według norm.



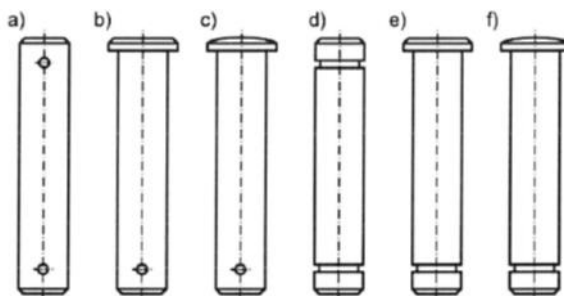
Zdjęcie 26. Przykład połączenia śrubowego.

## 8.8 Weryfikacja połączeń sworzniowych.

Połączenia sworzniowe są połączeniami ruchomymi, w których skład wchodzi sworzień, zabezpieczony obustronnie przed wypadaniem. Elementy współpracujące to widełki i ucho. W konstrukcjach elementów nośnych karuzel połączenia te są bardzo często stosowane. Jednym z powodów jest możliwość szybkiego demontażu i montażu oraz wielokrotnego wykorzystania.



Rysunek 11. Przykład połączenia sworzniowego: 1) widelki; 2) kolek mocujący; 3) podkładka; 4) sworzień; 5) ucho. Wymiar L charakteryzuje wymiary samego połączenia.



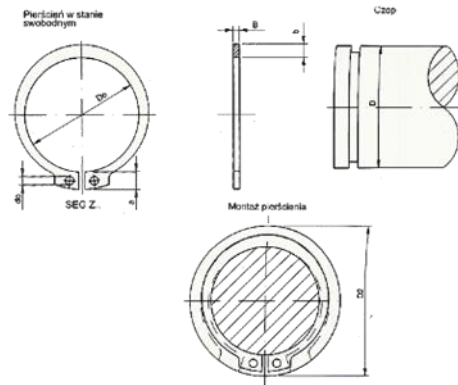
Rysunek 12. Przykład sworzni: a) z otworami pod kolki zabezpieczające przed wysuwaniem; b) z łbem płaskim i jednostronnym otworem pod kolek zabezpieczający; c) z łbem zaokrąglonym i otworem pod kolek zabezpieczający przed wypadaniem; d), e), f) wersje z rowkami pod pierścienie osadcze zewnętrzne.

Połączenia sworzni widelki są pasowane ciasno natomiast ucho-sworzni luźno.

a)

Nazwa	Norma	Rysunek	Zakres
Zawlecza	PN-86/M-82001 DIN 94 ISO 1234		Ø2 mm + Ø13 mm
Zawlecza sprężynowa pojedyncza			Ø2 mm + Ø8 mm
Zawlecza sprężynowa podwójna			Ø2 mm + Ø8 mm
Zawlecza z pierścieniem			Ø4 mm + Ø11 mm

b)



Rysunek 13. Zabezpieczenia sworzni przed wypadnięciem: a) zawlecзки b) pierścienia osadczy zewnętrzny.

Oznaczenia sworzni:

Podaje się średnicę sworznia „d” wraz z tolerancją wymiaru, jeżeli jest inna niż h12, znak „x”  
długość sworznia „l”, ewentualnie znak „/” oraz wymaganą, nieznormalizowaną długość „l<sub>o</sub>”,  
znak „-” oraz gatunek materiału sworznia lub klasę własności mechanicznych.

Przykład:

Sworzeń o średnicy  $d=8h11$ , długości  $l=50\text{mm}$ ,  $l_o=40\text{mm}$  ze stali A4:

**SWORZEŃ 8h11x50/40-A4**

$d$ [mm]	$l$ [mm]		$d_o$ [mm]	$k$ [mm]	$D$ [mm]	$r$ [mm]
	max.	min.				
5	16	50	1,2	3	10	0,5
6	16	60	1,6	4	12	0,5
8	16	70	2,0	4	14	0,5
10	20	80	2,5	5	16	0,6
12	22	90	3,2	5	20	0,8
16	30	100	4,0	6	24	1,0
18	35	100	4,0	7	27	1,0
20	40	110	4,0	8	30	1,0
24	45	130	5,0	9	36	1,2
27	50	150	5,0	10	40	1,2
30	55	170	6,3	10	45	1,2
32	60	190	6,3	10	48	1,6
36	65	200	6,3	10	52	2,0
40	70	200	6,3	10	56	2,0
42	80	200	8,0	10	60	2,0
45	90	200	8,0	12	65	2,0
48	90	200	8,0	12	65	2,0
50	100	220	8,0	12	70	2,0

Tabela 12. Występujące wymiary sworzni.



Zdjęcie 27. Przykłady połączeń sworzniowych karuzel.

Weryfikacja stanu technicznego połączenia, wymaga luzowania lub demontażu elementów aby była możliwość pełnej oceny. Kontrolę należy rozszerzyć o sprawdzenie otworów.

## 9. ETAP 2 - ocena wymiarowa konstrukcji.

Ocena geometrii ustroju nośnego, opiera się na przeprowadzeniu pomiarów głównych elementów nośnych oraz weryfikacji trwałych odkształceń elementów ustroju nośnego. 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.

Wcześniej nie było specjalnych wymagań i norm dotyczących weryfikacji np. odchyłek, wymiarów, tolerancji, itp. wymagań dotyczących konstrukcji nośnych karuzel. Poniżej przedstawiono przykładowe odchyłki przyjmowane przez normy przedmiotowe, które mogą być wykorzystane przez osobę kompetentną.

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 13. 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	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$
B	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$
C	$\pm 1^{\circ}$	$\pm 45'$	$\pm 30'$
D	$\pm 1^{\circ} 30'$	$\pm 1^{\circ} 30'$	$\pm 1^{\circ}$
Wyliczone i zaokrąglone tolerancje „t” [mm/m] <sup>1)</sup>			
A	$\pm 6$	$\pm 4,5$	$\pm 3$
B	$\pm 13$	$\pm 9$	$\pm 6$
C	$\pm 18$	$\pm 13$	$\pm 9$
D	$\pm 26$	$\pm 22$	$\pm 18$
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 14. 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 15. Tolerancje prostoliniowości, płaskości i równoległości.

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

Tabela 16. 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 karuzeli 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.

## **10. ETAP 3 - podstawowe badania NDT.**

### **10.1 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 ich właściwości użytkowych. W przypadku zapisów niniejszego dokumentu, badania nieniszczące dotyczą urządzeń, które podlegają ocenie stanu technicznego po osiągnięciu resursu 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.

## **10.2 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°, a 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 przerwana (np. badanie bez wspomaganie, 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).

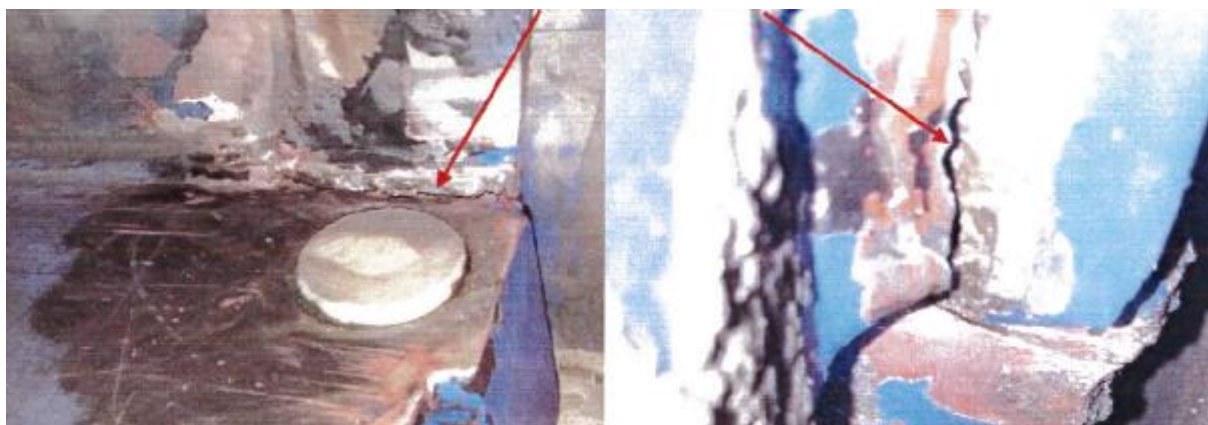
Przykłady stwierdzonych nieciągłości, podczas wykonywania badań wizualnych obrazują poniższe zdjęcia.



*Zdjęcie 28. Pęknięcia konstrukcji nośnej w okolicy wieńca obrotowego gondoli.*



*Zdjęcie 29. Przykłady nieautoryzowanych napraw.*



*Zdjęcie 30. Uszkodzenia konstrukcji nośnej ramy w miejscu mocowania podpór.*



*Zdjęcie 31. Pęknięcia konstrukcji.*



*Zdjęcie 32. Pęknięcia konstrukcji.*



*Zdjęcie 33. Pęknięcie ramienia gondoli w okolicy łożyska.*

### **10.3 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 być 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 zostało określone w literaturze 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 prowadzić może 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, takich jak na przykład osłony, wsporniki, mocowania napędów, itp. Dlatego bardzo trudno jest 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 resztkowymi 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 pęknięcia 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.



*Zdjęcie 34. Wypadek i niebezpieczne uszkodzenie spowodowane pęknięciem w jednym z węzłów konstrukcyjnych.*



*Zdjęcie 35. Wypadek karuzeli.*



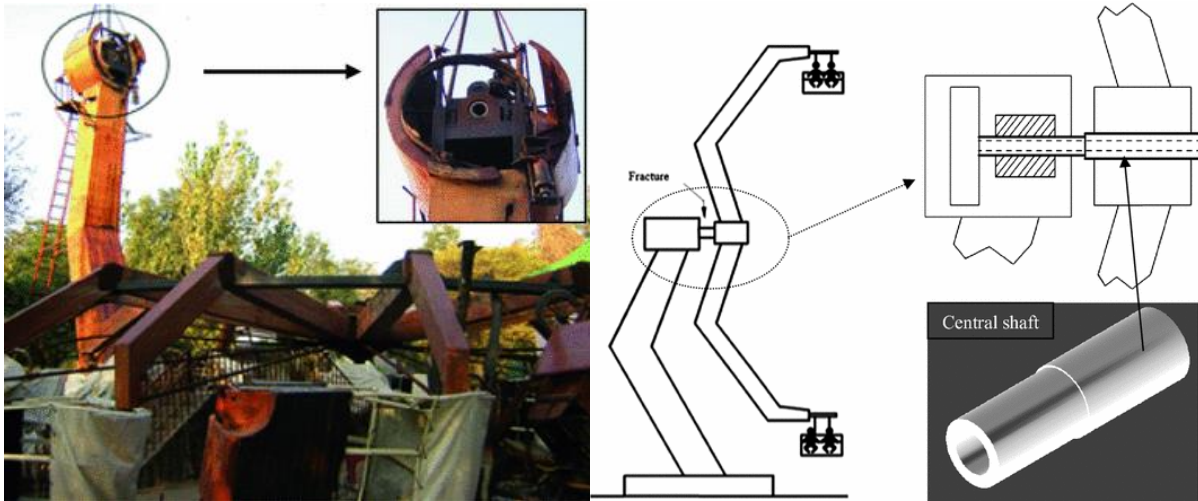
*Zdjęcie 36. Wypadek karuzeli.*



*Zdjęcie 37. Wypadek karuzeli spowodowany niedopuszczalnym zwiększeniem obrotów.*



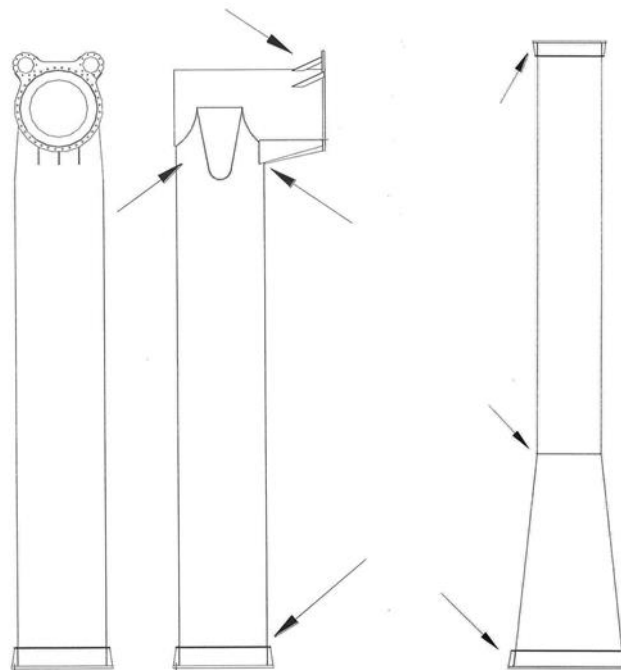
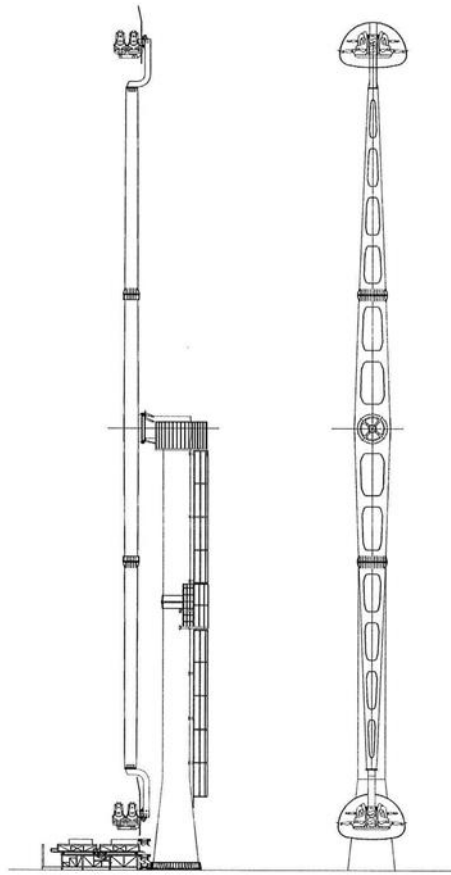
*Zdjęcie 38. Wypadek karuzeli spowodowany pęknięciem konstrukcji w okolicy wieńca obrotowego.*



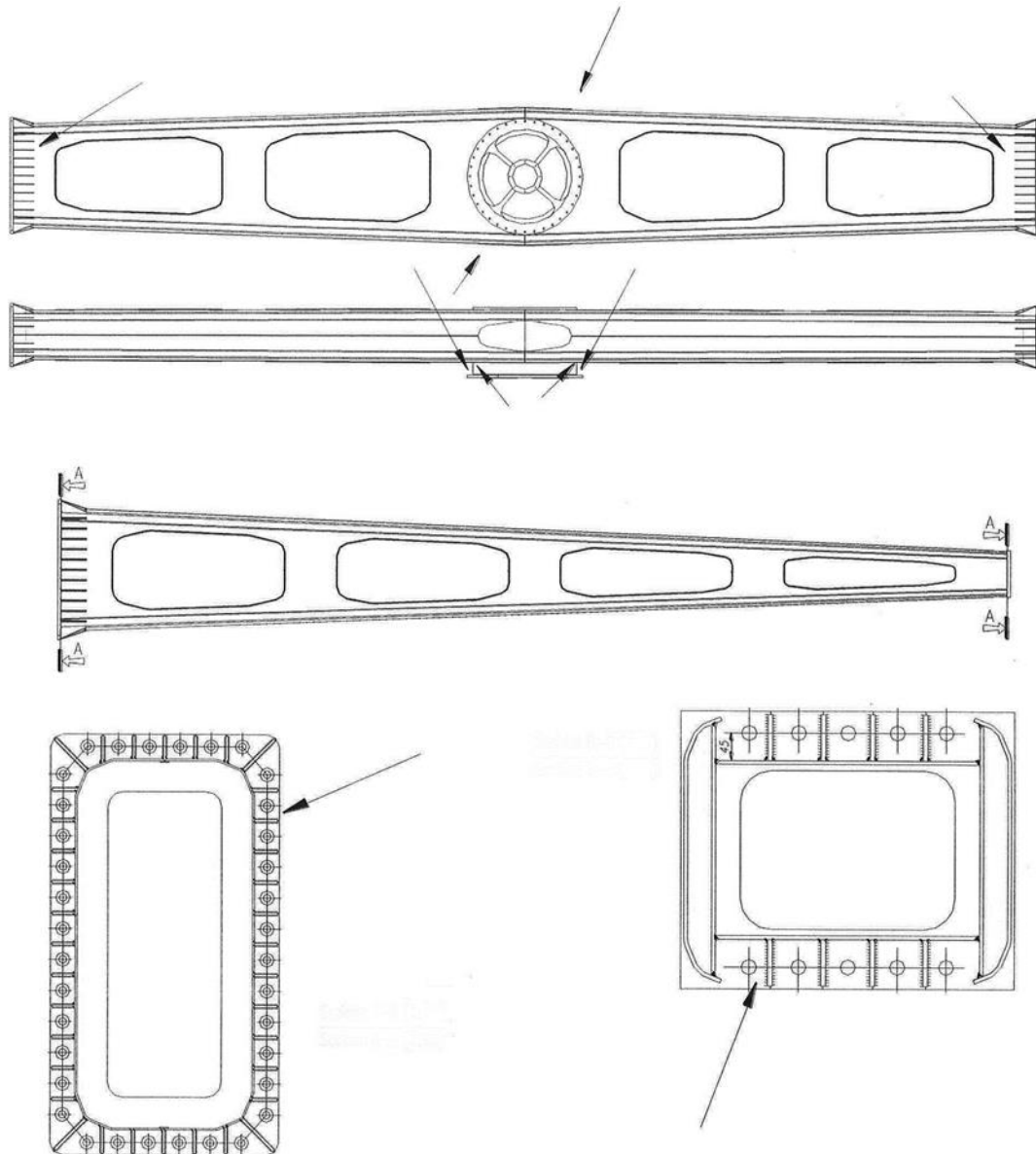
Zdjęcie 39. Wypadek karuzeli spowodowany pęknięciem wału obrotowego.

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, nie trzeba przeprowadzać procesu naprawy. Jednakże, w tym przypadku dokumentacja obliczeniowa stanowi załącznik do całości dokumentacji przeprowadzanej oceny stanu technicznego.

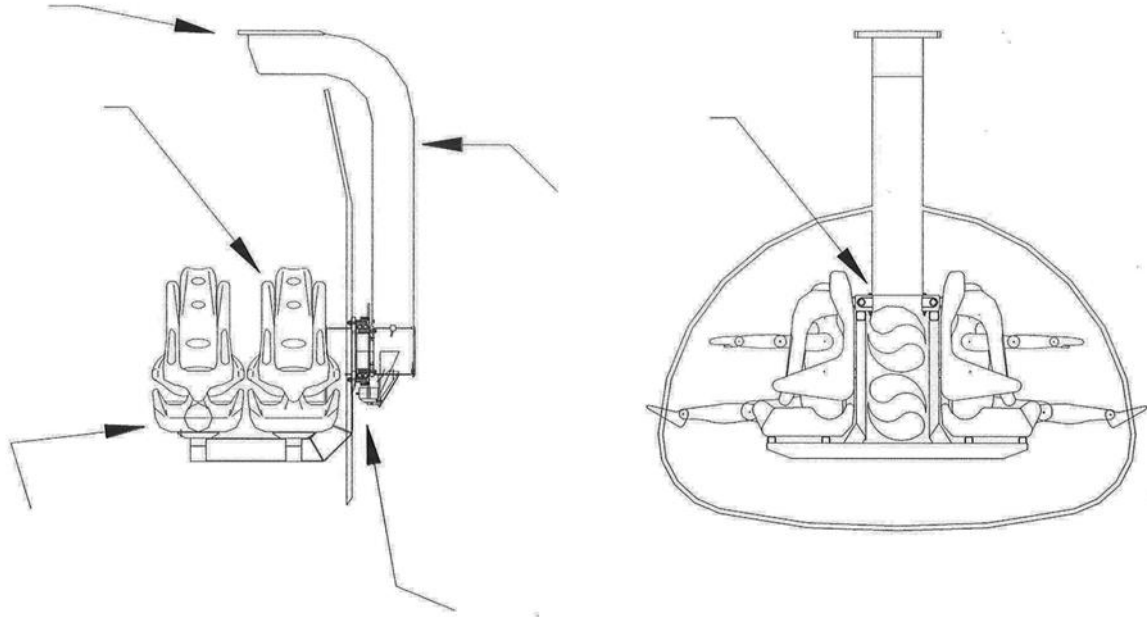
## 10.4 Przykładowe miejsca kontroli.



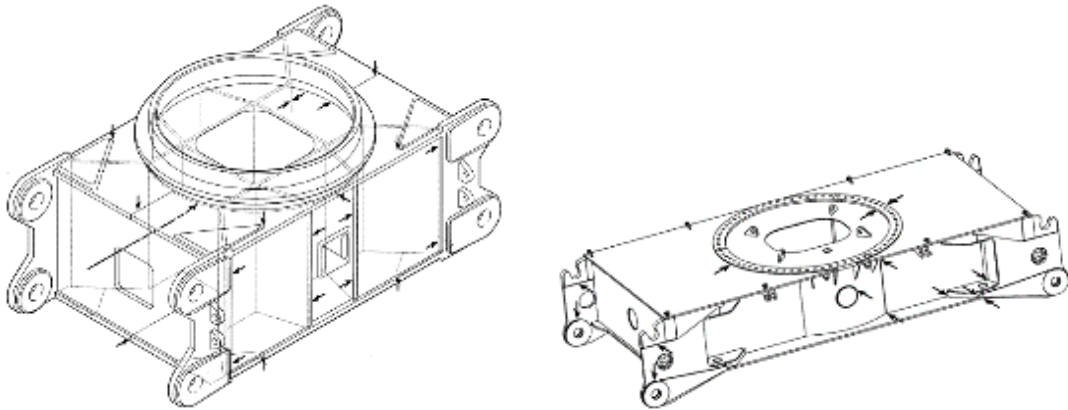
Rysunek 14. Przykładowe miejsca badań kolumny karuzeli.



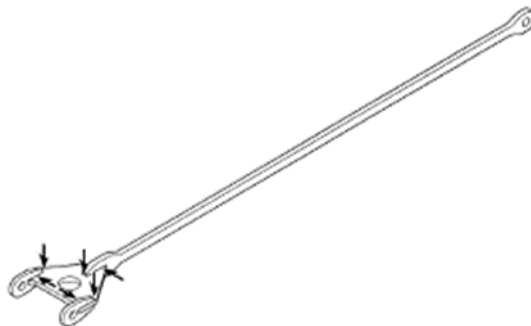
Rysunek 15. Przykładowe miejsca badań ramion karuzeli. [Zalecenia producenta:- przeprowadzić badania NDT w pobliżu obszarów wskazanych przez strzałki, - dokładniej w miejscach gdzie występują kołnierze i w części środkowej, - sprawdzić także losowo 30% powierzchni.]



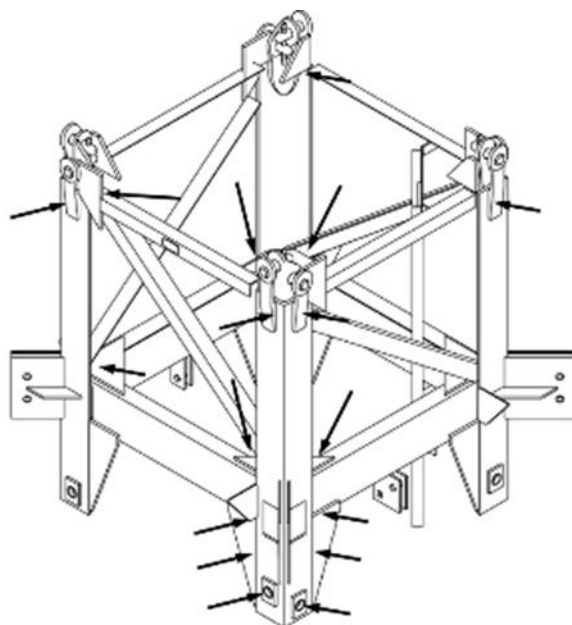
Rysunek 16. Przykładowe miejsca badań gondoli karuzeli. [Zalecenia producenta:- przeprowadzić badania NDT w pobliżu obszarów wskazanych przez strzałki, - sprawdzić połączenia konstrukcji stosowane jako osłony boczne, - sprawdzić wysięgniki przy siedzeniach, - sprawdzić górną konstrukcję przy kołnierzach i wstawkach, - sprawdzić 50% powierzchni.]



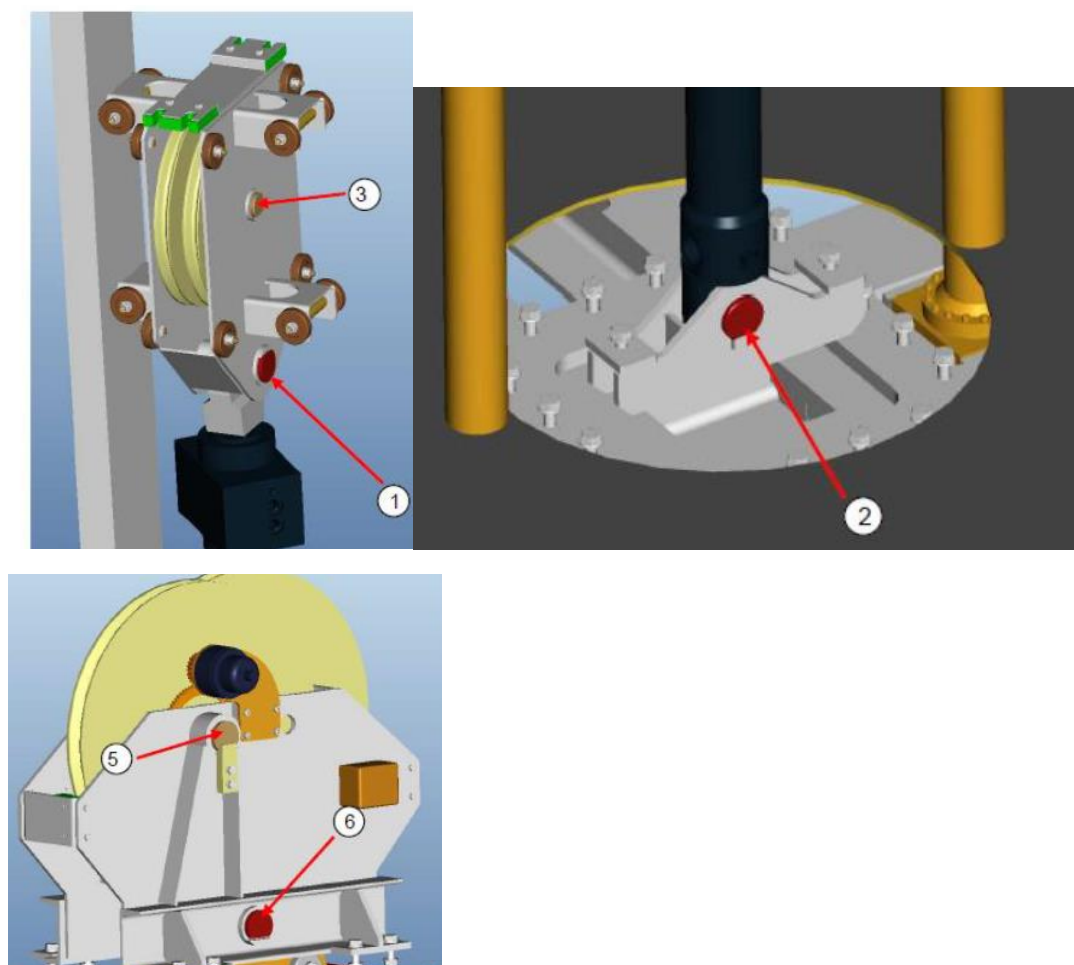
Rysunek 17. Przykładowe miejsca kontroli spoin na elementach ramy.



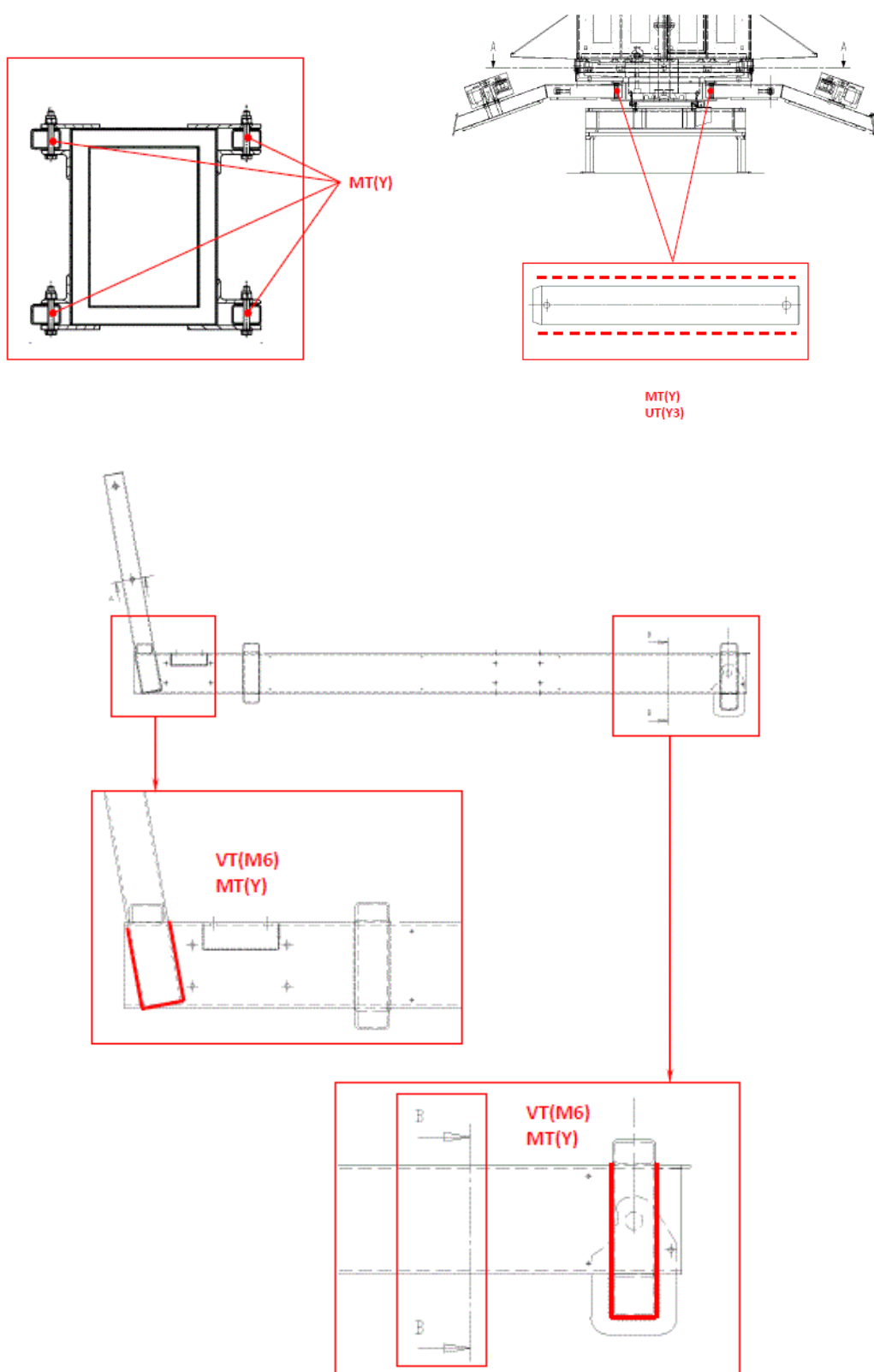
Rysunek 18. Przykładowe miejsca kontroli spoin na elementach odciągowych.



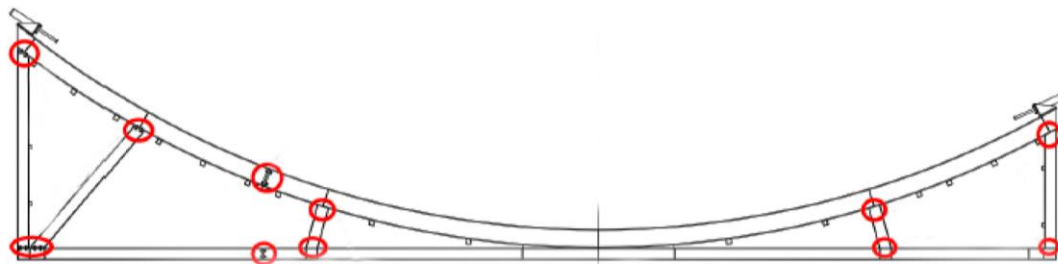
Rysunek 19. Przykładowe miejsca kontroli spoin na elementach wieży.



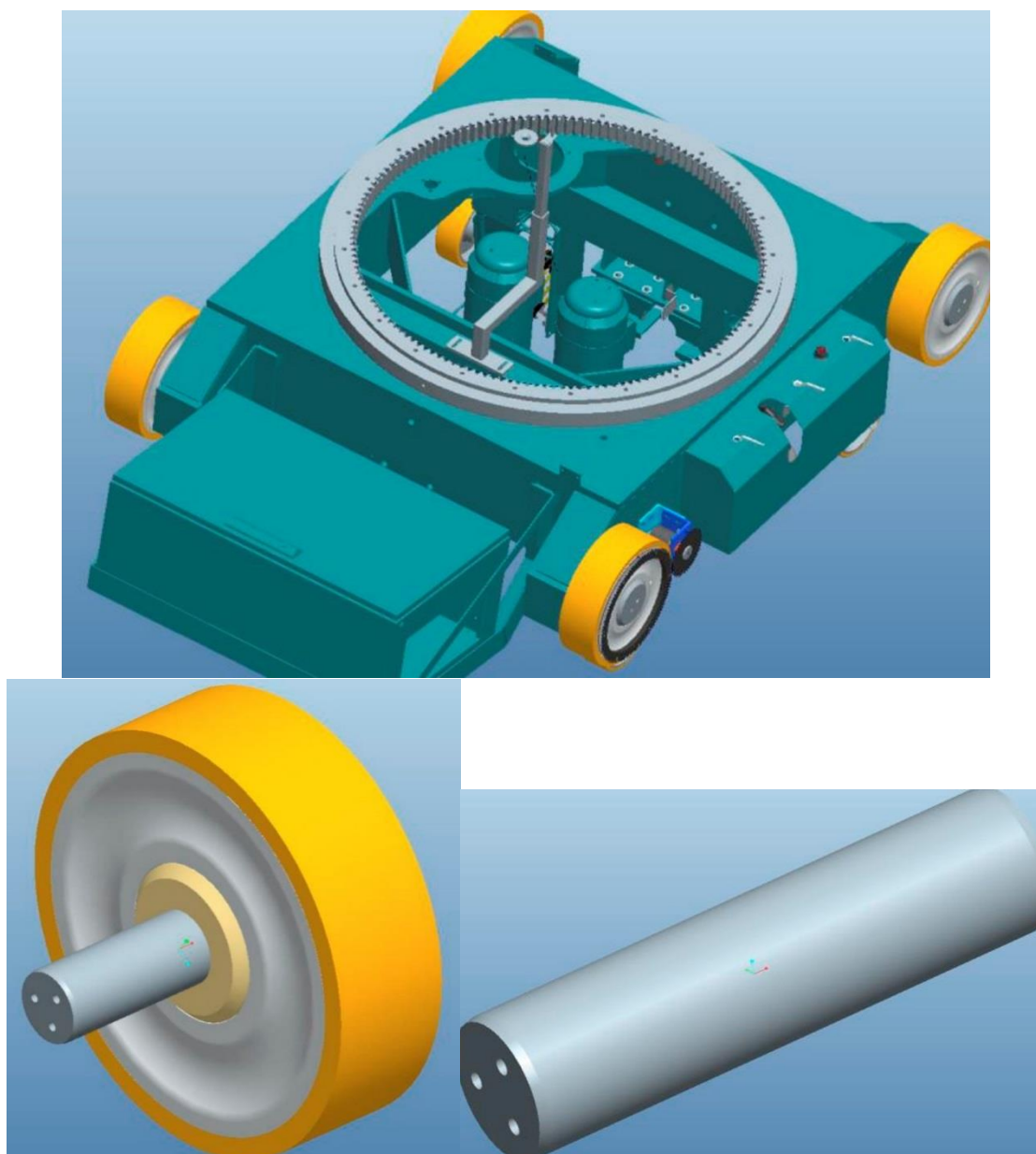
Rysunek 20. Przykładowe czasokresy badań i wymiany sworzni. [Zalecenia producenta: VT co sześć miesięcy, badanie pęknięć powierzchniowych (badanie PT lub MT) co 4 lata, 1-6 wymienić wszystkie sworznie najpóźniej po 8 latach].



Rysunek 21. Rodzaje badań i czasokresy. [M6 – co sześć miesięcy, Y – co roku, Y3 – co trzy lata]



Rysunek 22. Miejsca badań i czasokresy. [Badanie VT zaznaczonych spoin co 6 miesięcy, badanie MT zaznaczonych spoin co 6 lat 100%].



Rysunek 23. Rama wózka z kołami. [Badanie PT osi co rok].

Rodzaj badanego obiektu	Rodzaj badania	Badany obszar	Zakres kontroli	Poziom jakości	Kryterium akceptacji	Technika badania
Spoiny blachownicowych konstrukcji nośnych wysięgników, kolumn i wież	VT	Wszystkie dostępne spoiny w obrębie połączenia	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT <sup>1</sup>		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 <sup>2</sup>		50%		-	2 zgodnie z PN-EN ISO 11666

<sup>1</sup> Metodę PT można zastąpić metodą MT w każdym z przypadków podanych w niniejszej tabeli

<sup>2</sup> 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 <sup>3</sup>		25%	-	2 zgodnie z PN-EN ISO 11666	„klasa” badania min. B wg PN-EN ISO 17640
Spoiny w obrębie mocowania siłowników oraz w obrębie połączeń rozłącznych pomiędzy elementami konstrukcyjnymi (sekcje ramion i wieży, 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 <sup>4</sup>		50%	-	2 zgodnie z PN-EN ISO 11666	„klasa” badania min. B wg PN-EN ISO 17640

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

<sup>4</sup> 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 w/w	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

Spoiny spawanych konstrukcji odciągów i ich mocowania	VT	Wszystkie dostępne spoiny	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT	w obrębie mocowania	50%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	2X zgodnie z PN-EN ISO 23277	zgodnie z PN-EN ISO 3452-1
Spoiny w obrębie wieńców obrotowych	VT	Wszystkie dostępne spoiny	100%	B zgodnie z PN-EN ISO 5817	-	zgodnie z PN-EN ISO 17637
	PT	w obrębie mocowania	50%	B 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 17. Przykładowe miejsca oraz kryteria akceptacji dotyczące wykonywanych badań NDT w ramach oceny stanu technicznego ustroju nośnego karuzeli.

## **10.5 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. 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.

## **11. ETAP 4 - pozostałe badania NDT.**

### **11.1 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;
- h) zastosowaną metodą i wybranym wyposażeniem pomiarowym.

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 18. Rodzaje i symbole badań NDT.*

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"> <li>a) nastawianie aparatury NDT;</li> <li>b) wykonywanie badań;</li> <li>c) zapisywanie wyników badań i klasyfikowanie na podstawie pisemnych kryteriów;</li> <li>d) protokołowanie wyników badań.</li> </ul> <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"> <li>a) doboru techniki NDT dla stosowanej metody badania;</li> <li>b) określania ograniczeń w stosowaniu metody badania;</li> <li>c) przenoszenia wymagań kodeksów, norm, specyfikacji i procedur do instrukcji NDT dostosowanych do rzeczywistych warunków pracy;</li> <li>d) nastawiania i sprawdzania ustawień aparatury;</li> <li>e) wykonywania i nadzorowania badań;</li> <li>f) interpretacji i oceny wyników zgodnie z obowiązującymi normami, kodeksami, specyfikacjami lub procedurami;</li> <li>g) wykonywania i nadzorowania wszystkich obowiązków dla personelu 2 stopnia i niższych;</li> <li>h) wprowadzania wytycznych dla personelu 2 stopnia lub niższego; protokołowania wyników NDT.</li> </ul>	<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"> <li>a) przyjęcie pełnej odpowiedzialności za laboratorium badawcze i personel;</li> <li>b) ustalania, przeglądu poprawności redakcyjnej i technicznej oraz zatwierdzania instrukcji i procedur NDT;</li> <li>c) interpretowania norm, kodeksów, specyfikacji, procedur i instrukcji NDT;</li> <li>d) wprowadzania do stosowania szczególnych metod badania, procedur i instrukcji;</li> <li>e) wykonywania i nadzorowania wszystkich obowiązków personelu wszystkich stopni;</li> <li>f) ustalania wytycznych dla personelu NDT na wszystkich stopniach.</li> </ul>

Tabela 19. Zakres kompetencji personelu 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.

## **11.2 Dobór i zakres stosowalności poszczególnych metod.**

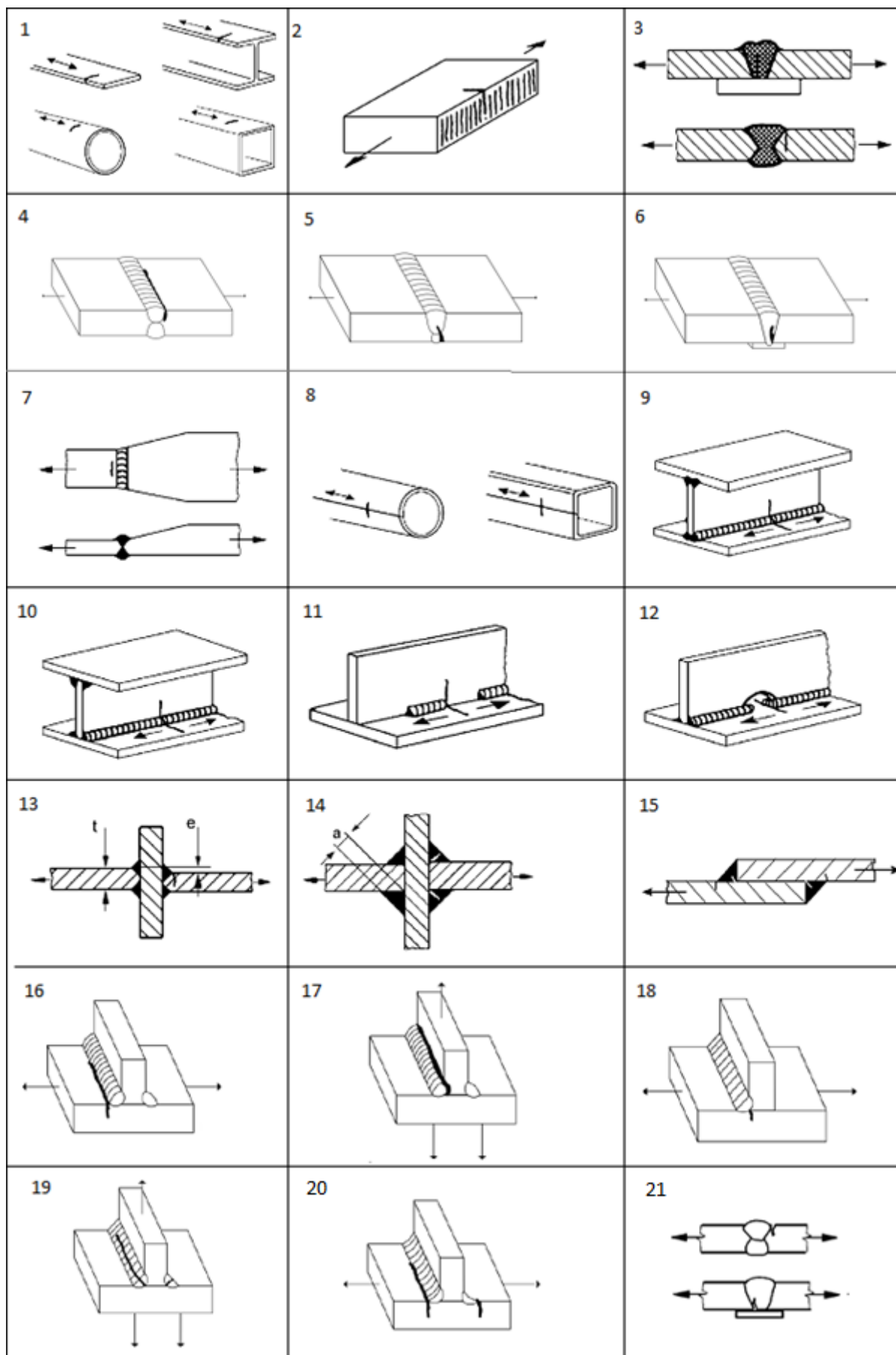
Jednym z głównych czynników mających wpływ na wiarygodność uzyskanych wyników jest dobór prawidłowej metody przeprowadzania badań. Niestety, nie dysponujemy jedną metodą badań, która miałaby zastosowanie do wszystkich urządzeń, materiałów, rodzajów oraz wielkości złączy. W związku z tym, na osobie kompetentnej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

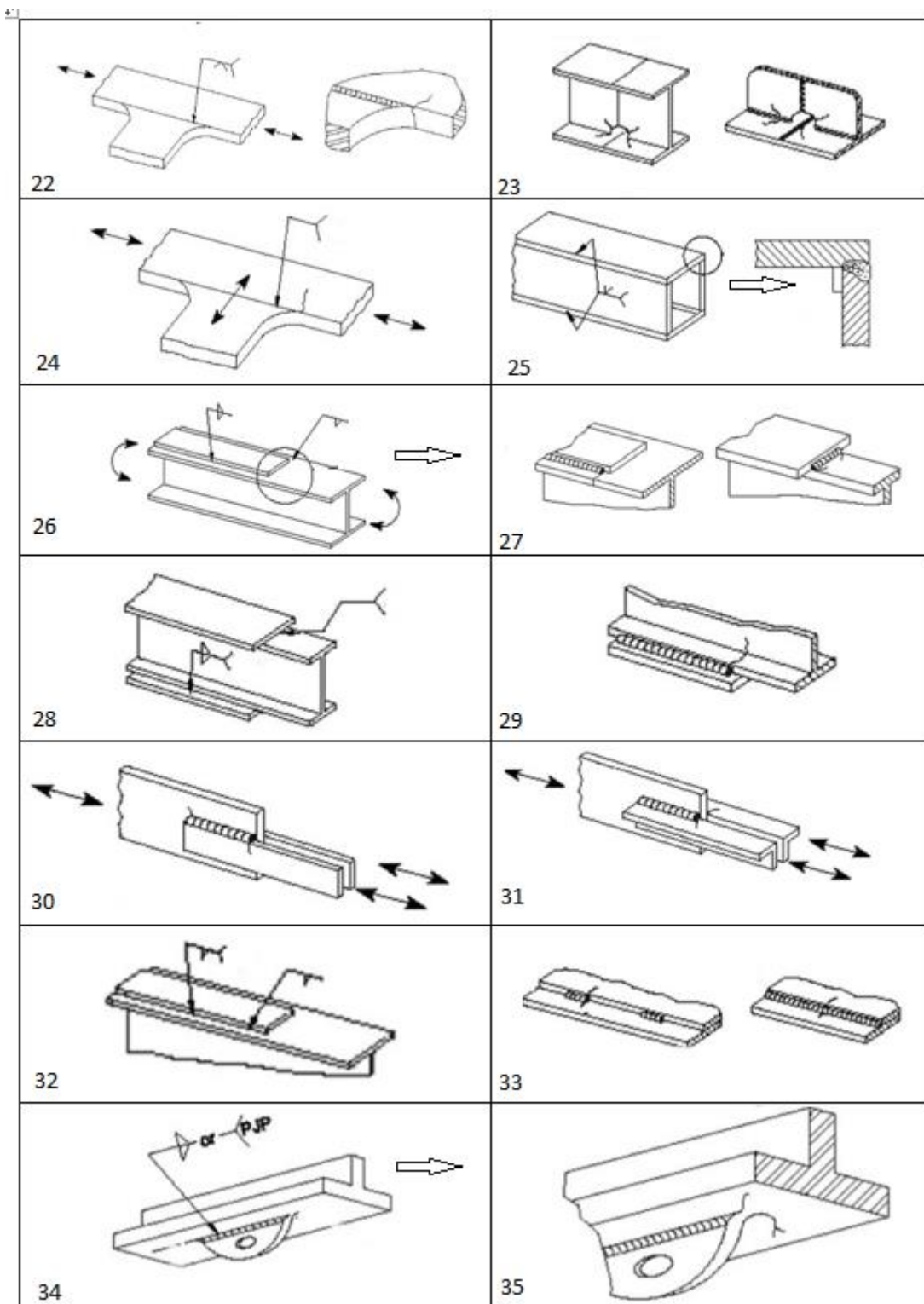
Metoda badań	Zasady wykrywania nieciągłości	Zastosowania	Ograniczenia	Zalety	Materiały badane	Rodzaje wykrywanych nieciągłości
<b>Badania wizualne</b>	Obserwacje okiem nieuzbrojonym, za pomocą lup oraz urządzeń do zdalnej obserwacji, endoskopów (boroskopów i fiberskopów)	Wykrywanie nieciągłości na dostępnych 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
<b>Metoda penetracyjna</b>	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
<b>Metoda magnetyczno - proszkowa</b>	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, obecność powłok znacząco zmniejsza czułość metody	Prostota prowadzenia badań, duża szybkość badania w porównaniu do metody penetracyjnej i wiroprowadowej	Stale ferromagnetyczne, nikiel, kobalt	Wykrywanie nieciągłości powierzchniowych, pęknięć i nieciągłości podpowierzchniowych np. pęcherzy, pustek, wtrąceń niemetalicznych (do głębokości kilku milimetrów przy założeniu bardzo dobrego stanu powierzchni)
<b>Metoda prądów wirowych</b>	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, zawałowań, wtrąceń, łusek, ubytków korozyjnych, niezgodności spawalniczych

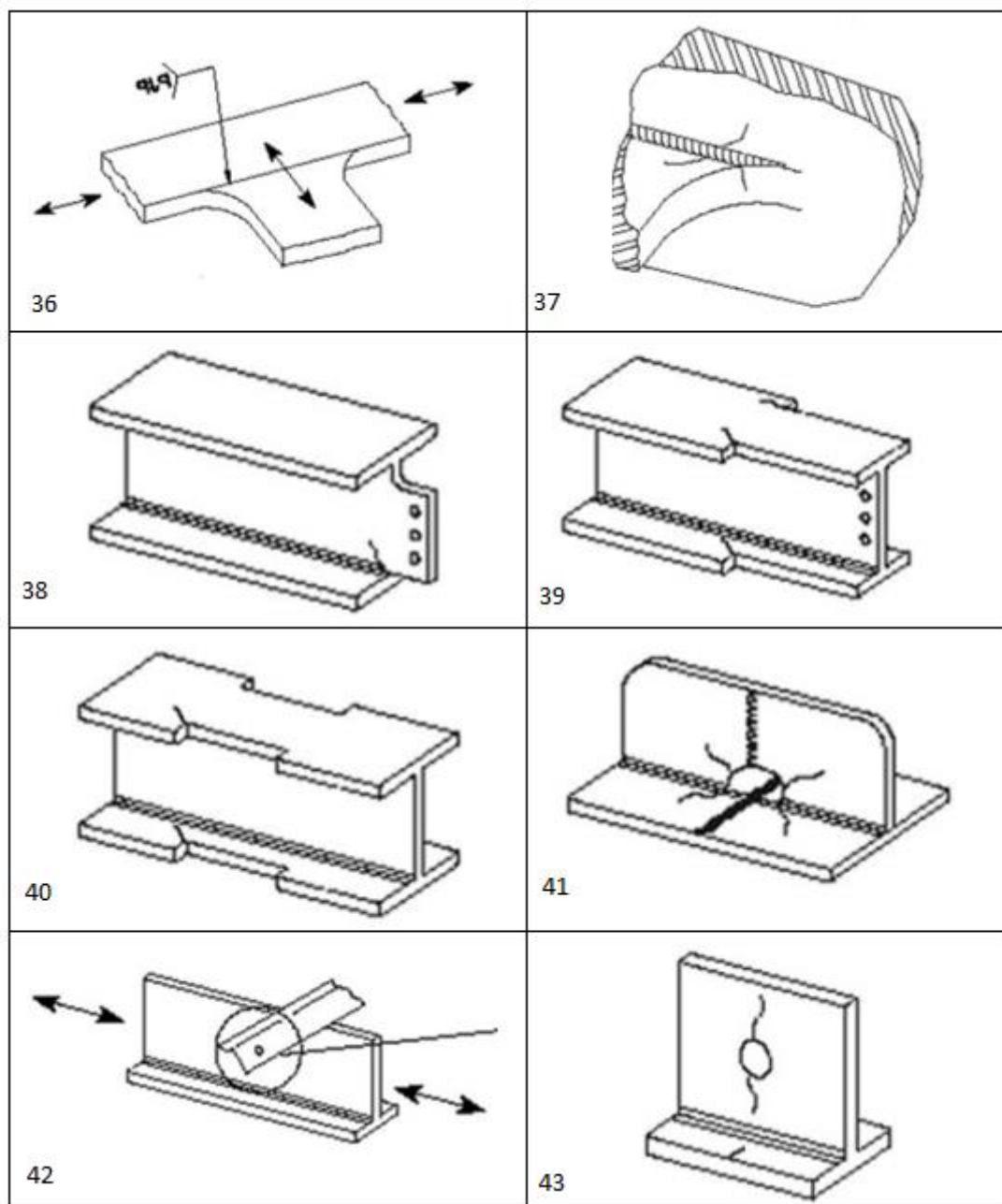
Tabela 20. Porównanie metod powierzchniowych.

Metoda badań	Zasady wykrywania nieciągłości	Zastosowania	Ograniczenia	Zalety	Materiały badane	Rodzaje wykrywanych nieciągłości
<b>Metoda radiograficzna</b>	Wprowadzenie promieniowania X lub $\gamma$ , 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 ÷ 2% grubości obiektów, ograniczona grubość obiektów, niebezpieczeństwo narażenia personelu i środowiska na napromieniowanie, ograniczona wykrywalność wad płaskich typu pęknięcia	Wizualna ocena zobrażeń nieciągłości, zobrażenia 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 $\gamma$ 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
<b>Metoda ultradźwiękowa</b>	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 21. Porównanie metod objętościowych.







Rysunek 24. 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.



*Zdjęcie 40. Deformacja elementów kratownicy.*

### **11.3 Badania penetracyjne.**

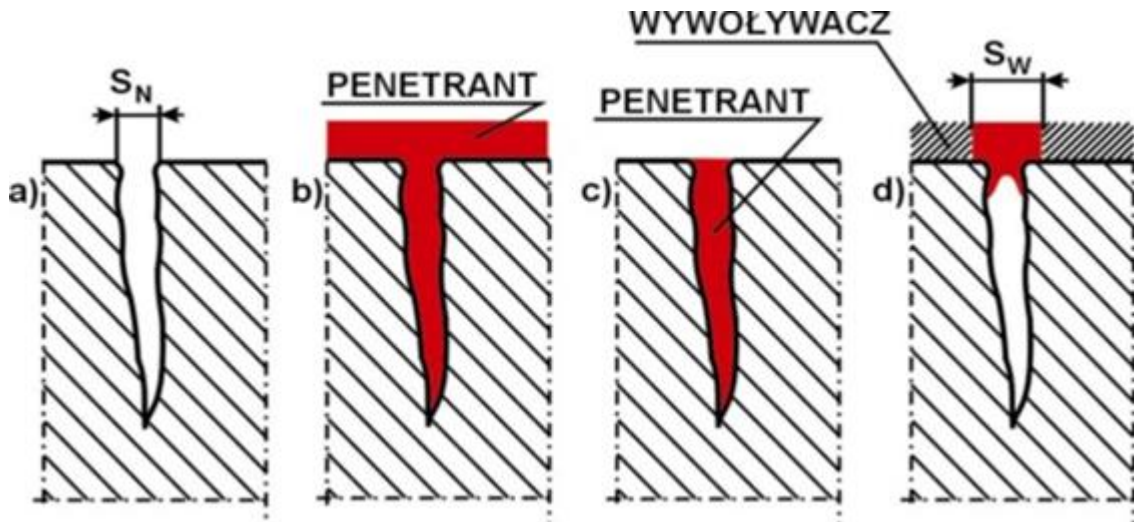
Badania penetracyjne (PT – ang. Penetrant Testing) to nieniszcząca metoda badań, która pozwala na wykrywanie powierzchniowych wad materiałów takich jak:

- a) pęknięcia;
- b) zawałowania;
- c) niespawy.

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

Operacje wykonywane podczas przeprowadzania badań metodą penetracyjną można podzielić na:

- widok nieciągłości przed badaniem;
- nasycenie nieciągłości penetrantem;
- widok nieciągłości po usunięciu penetrantu z badanej powierzchni;
- wywołanie penetrantu z nieciągłości.



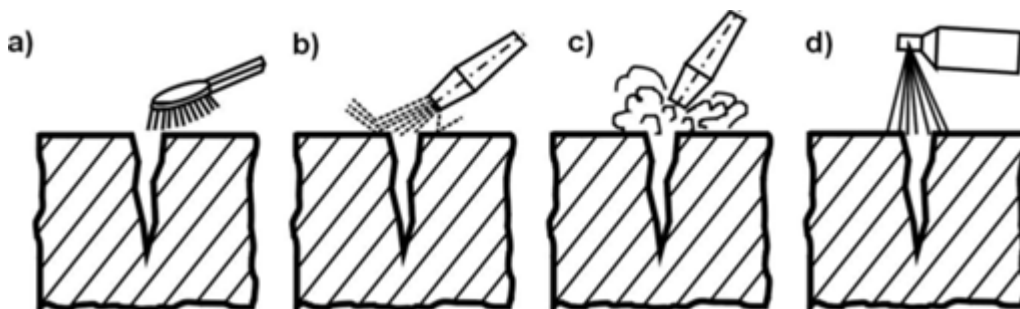
$S_N$  – szerokość nieciągłości;  $S_W$  – szerokość wskazania

Rysunek 25. 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:

- mechaniczne z użyciem szczotki drucianej;
- strumieniowo;
- odtłuszczanie parą;
- oczyszczanie rozpuszczalnikiem.

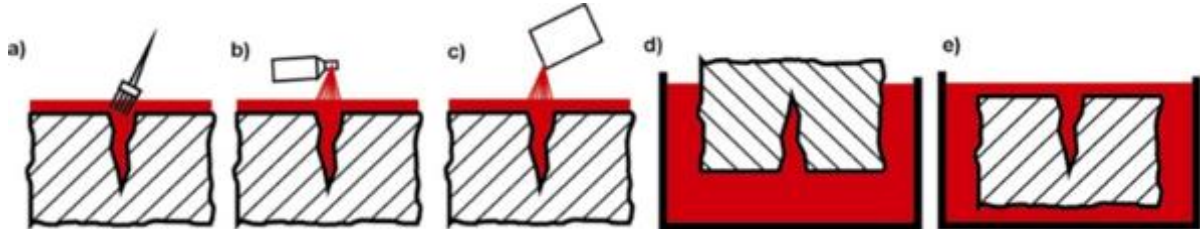


Rysunek 26. Czyszczenie wstępne badanego obiektu.

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

- pędzlem;

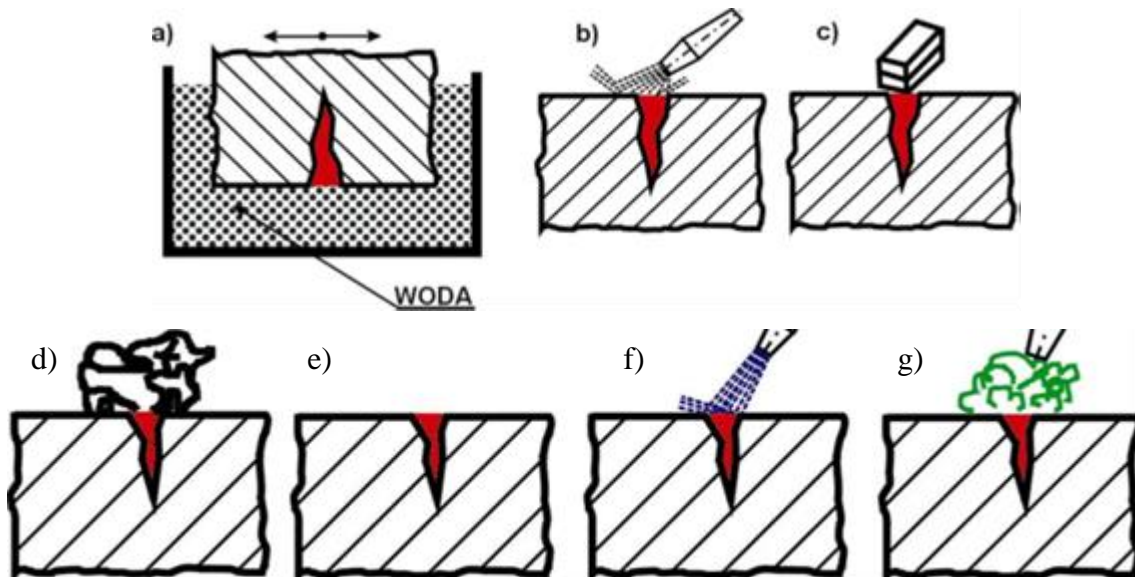
- b) przez natrysk;
- c) przez polewanie;
- d) przez zamaczanie;
- e) przez zanurzenie.



Rysunek 27. 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.



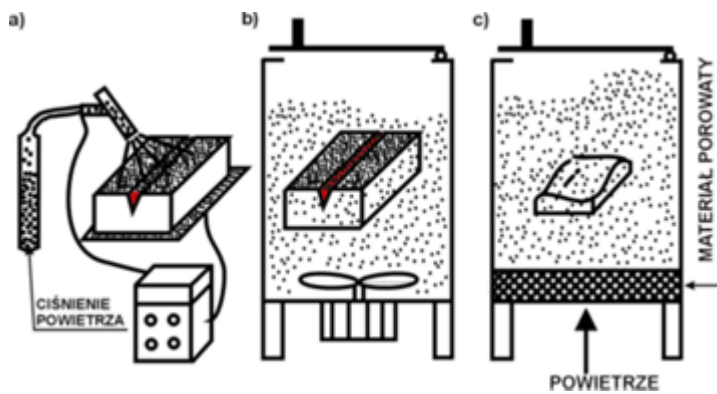
Rysunek 28. Usuwanie nadmiaru penetrantu.

W następnym etapie badania należy nanieść na badaną powierzchnię wywoływacz.

Można to wykonać:

- a) elektrostatycznie;
- b) w komorze wirowej;

c) w komorze fluidyzacyjnej.



Rysunek 29. Nanoszenie wywoławcza.

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

- a) technika barwna – zastosowane środki do badań pozwalają na wykonanie obserwacji w świetle białym: naturalnym lub sztucznym;
- b) technika fluorescencyjna – zastosowane środki do badań pozwalają na wykonanie obserwacji w świetle UV;
- c) 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:  $10 \div 50$  °C
- b) czas wnikania:  $5 \div 60$  min.
- c) czas wywoływania:  $10 \div 30$  min.

Innymi ważnymi elementami są warunki obserwacji:

- a) technika barwna: natężenie oświetlenia min. 500 lx;
- b) technika fluorescencyjna: napromieniowanie UV min. 10 W/m<sup>2</sup> i natężenie oświetlenia max. 20 lx.

Do badań metodą penetracyjną wykorzystywane są:

- a) środki do badań metodą penetracyjną (penetrant, zmywacz, wywoławca);
- 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



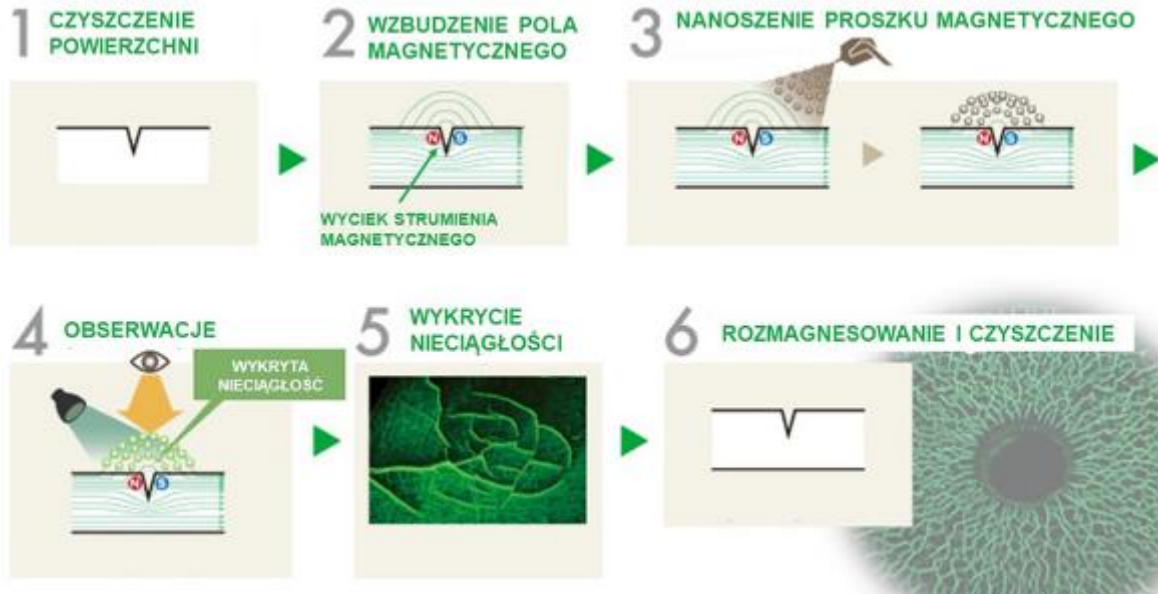
*Rysunek 30. Przykład nieciągłości stwierdzonej metodą penetracyjną.*

#### **11.4 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 odtłuszczone 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 niemagnetycznych nie mogą być badane).

Badania magnetyczno-proszkowe z zasady powinny być prowadzone na powierzchniach pozbawionych powłok, ponieważ może dojść do poważnej utraty czułości badań. Powłoki do grubości  $50\mu\text{m}$  można pozostawić w czasie badań, przy większych grubościach należy potwierdzić czułość metody.



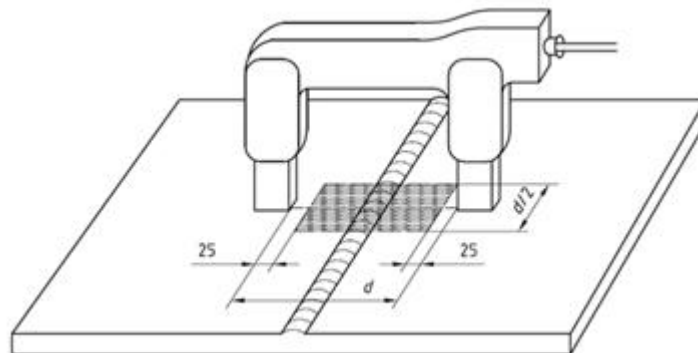
Rysunek 31. Etapy wykonywania badania metodą MT.

Stosowane są następujące sposoby magnesowania obiektów:

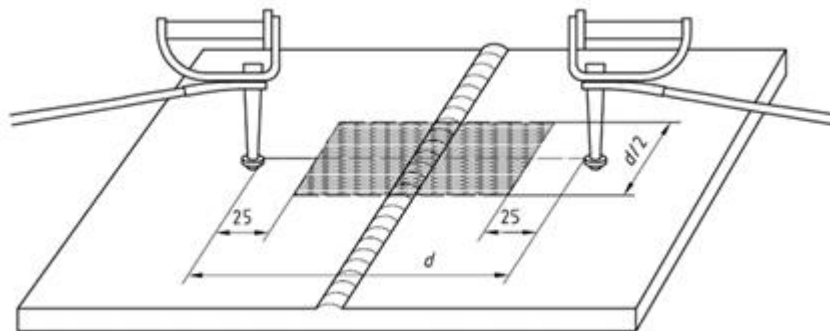
- przez wprowadzenie pola magnetycznego do obiektów;
- przez przepływ prądu elektrycznego przez objekty, w tym indukcyjne wzbudzenie prądu elektrycznego / pola magnetycznego;
- kombinowane sposoby (techniki) wzbudzania pola magnetycznego.

Pole wzbudzone w obiektach może być:

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



Rysunek 32. Przenośny elektromagnes jarzmowy.



Rysunek 33. 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.

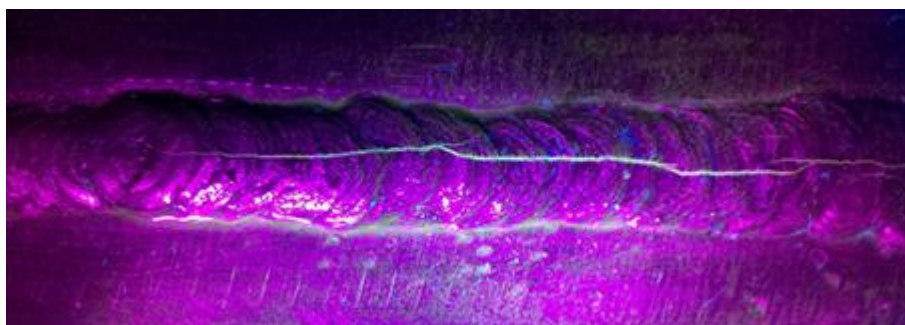
Jako warunki obserwacji podaje się dla:

- a) techniki barwnej natężenie oświetlenia min. 500 lx;
- b) techniki fluorescencyjnej:
  - napromieniowanie UV min. 10 W/m<sup>2</sup>
  - 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;

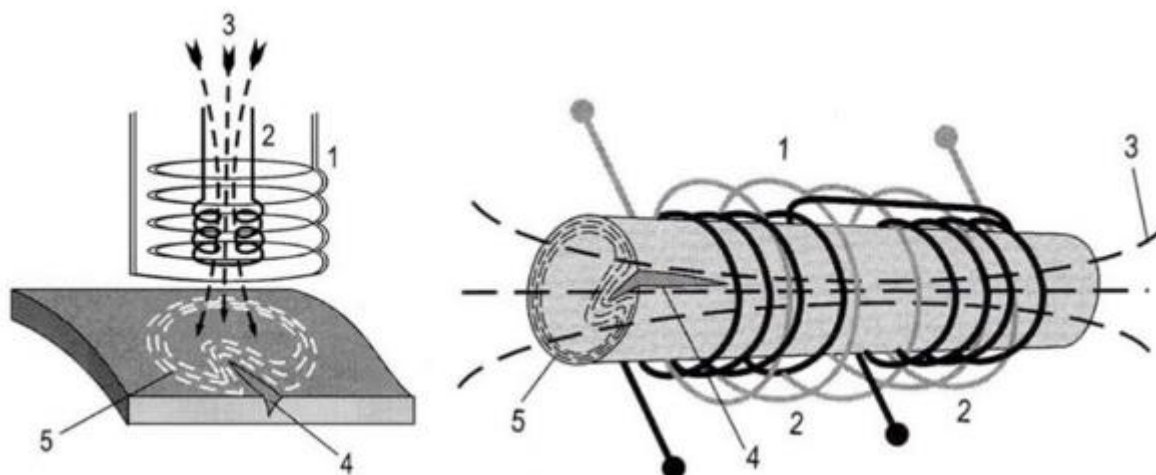
- e) miernik natężenia oświetlenia;
- f) miernik natężenia promieniowania UV;
- g) termometr;
- h) suwmiarka;
- i) przymiar liniowy;
- j) marker;
- k) czyściwo;
- l) szczotka druciana.



*Rysunek 34. Nieciągłość wykryta metodą MT.*

### **11.5 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, zwałcowania, wtrącenia, łuski, ubytki korozyjne oraz niezgodności spawalnicze (np. przyklejenia, pęknięcia, porowatość, przepalenia, wycieki i inne niezgodności kształtu).



Rysunek 35. 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, przy założeniu posiadania odpowiednich próbek odniesienia.

Metoda prądów wirowych jest stosowana w badaniach prętów, rur, skraplaczy pary, wymienników ciepła oraz 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 36. Przykłady przetworników wiroprądowych.*

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

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



*Rysunek 37. Przykładowy defektoskop wiroprądowy.*

Kompletny zestaw do prowadzenia badań obiektów metodą prądów wirowych obejmuje:

- a) instrukcję badania;
- b) defektoskop wiroprądowy;
- c) przetwornik wiroprądowy;
- 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 wiroprądowego;
- 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.

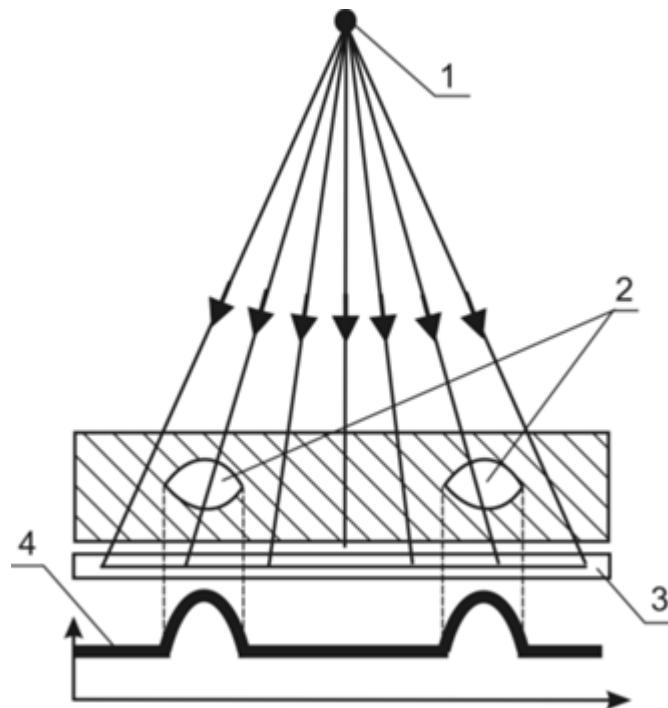
## **11.6 Badania radiograficzne.**

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  $\gamma$  (gamma).

Do wykrycia wewnętrznych niezgodności znajdujących się w materiale, wykorzystuje się zdolność promieni X lub promieni  $\gamma$  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  $\gamma$  przy przejściu przez badany obiekt. Zapis natężenia promieniowania następuje w błonie rentgenowskiej w postaci tzw. obrazu utajonego, lub na matrycy detektora

półprzewodnikowego (radiografia cyfrowa). 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.

Przed zastosowaniem metody radiograficznej należy bardzo dokładnie przemyśleć kierunek wiązki w stosunku do badanego elementu i charakteru poszukiwanych nieciągłości. Metoda RT ma dość ograniczone możliwości wykrywania wad płaskich i kluczowa jest orientacja wad typu pęknięcie w kierunku wiązki.



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

4 - wykres gęstości optycznej na wywołanym radiogramie.

Rysunek 38. 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 prowadzenie 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:

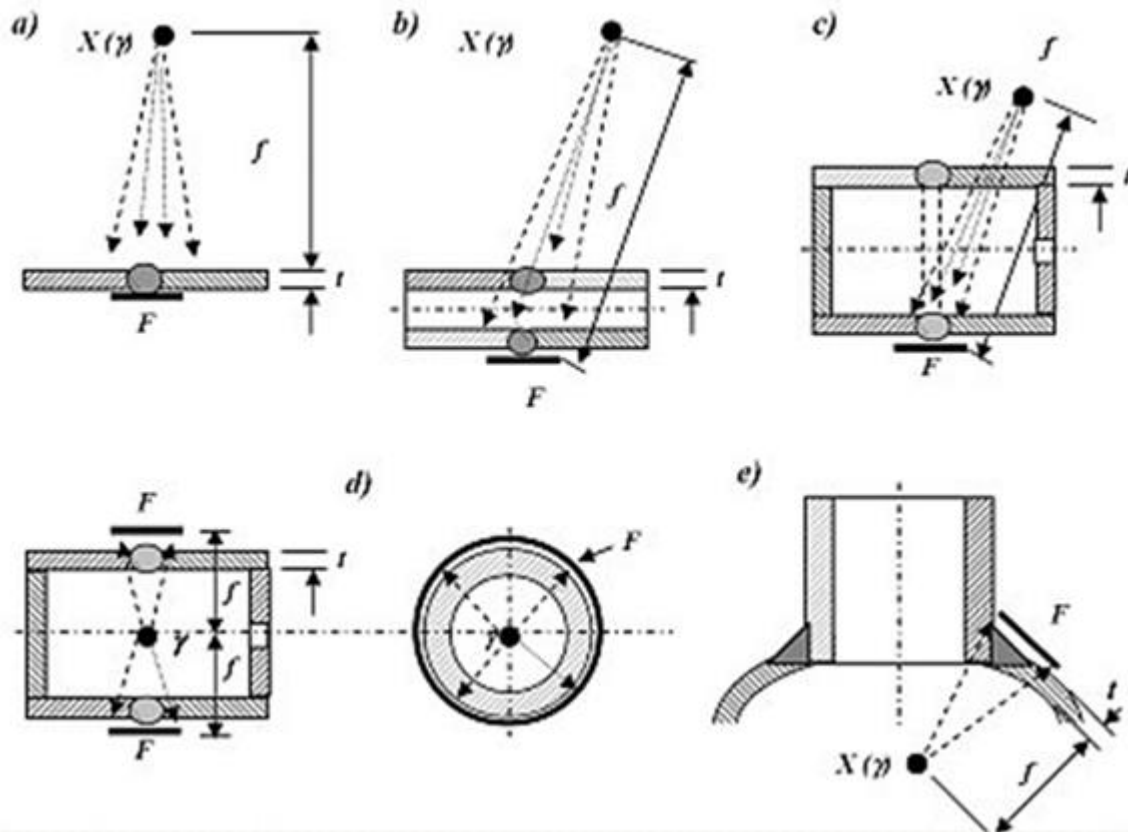
- a) wywoływanie;
- b) utrwalanie;
- c) płukanie.

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 negatoskopu z regulowaną luminancją. Ekran negatoskopu 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;

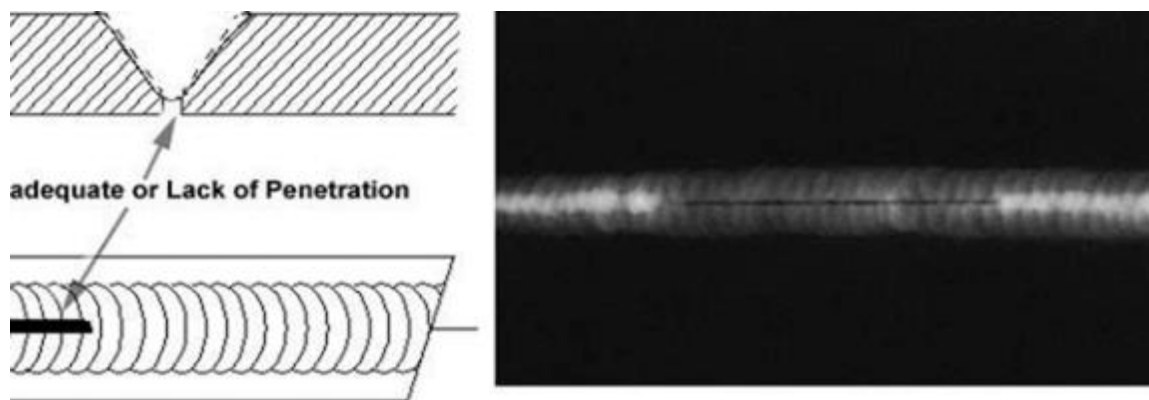
b) metoda eliptyczna;

c) metoda przez dwie ścianki;

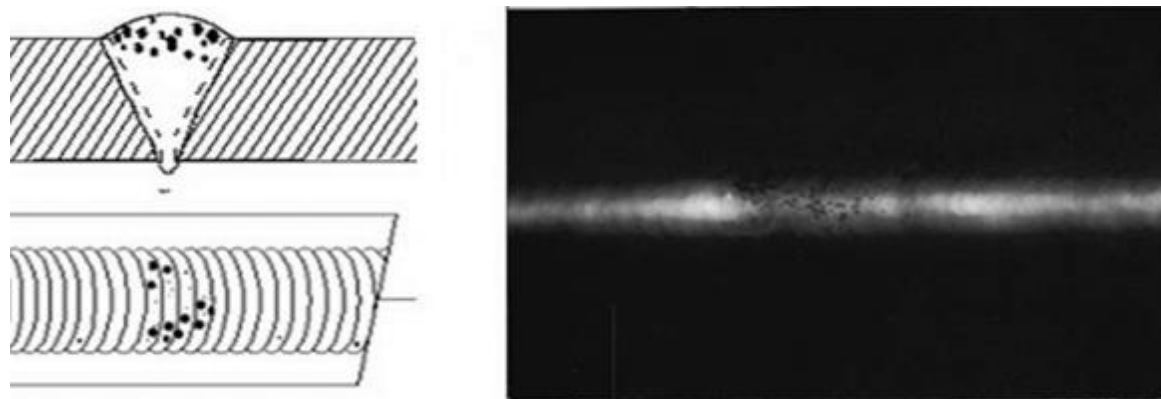
d) metoda centryczna przez jedną ściankę;

e) metoda przez jedną ściankę obiektów zakrzywionych.

Rysunek 39. Podział metod.



Rysunek 40. Brak pełnego przetopu.



Rysunek 41. Skupisko pęcherzy.

## 11.7 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, przesuwanie głowicy po powierzchni obiektu;
- b) detekcji sygnałów (impulsów), wywołanych przez fale przechodzące przez objekty.

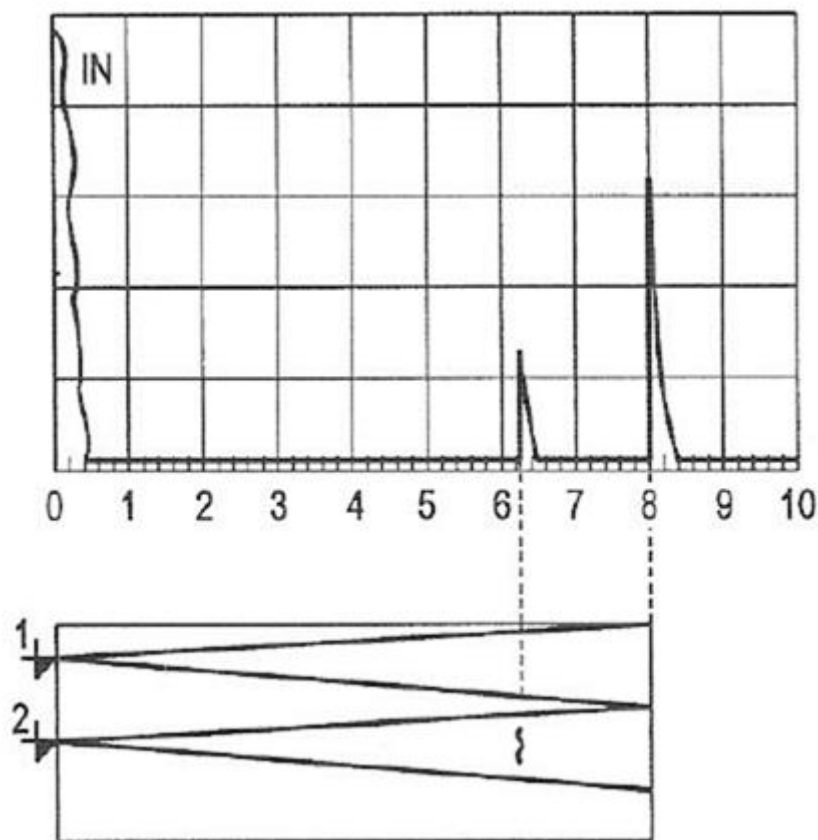
Do oceny wymiarów nieciągłości obiektów, wykorzystywana jest głównie informacja zawarta w amplitudzie sygnałów, w zależności od drogi przebytej przez falę, a dla rozległych nieciągłości płaskich i nieciągłości liniowych informacja zawarta w obwiedni sygnałów echa dla nieciągłości, uzyskiwanych przy przemieszczaniu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

W przypadku badań ultradźwiękowych możemy wyróżnić metody:

- a) echa;
- b) przepuszczania.

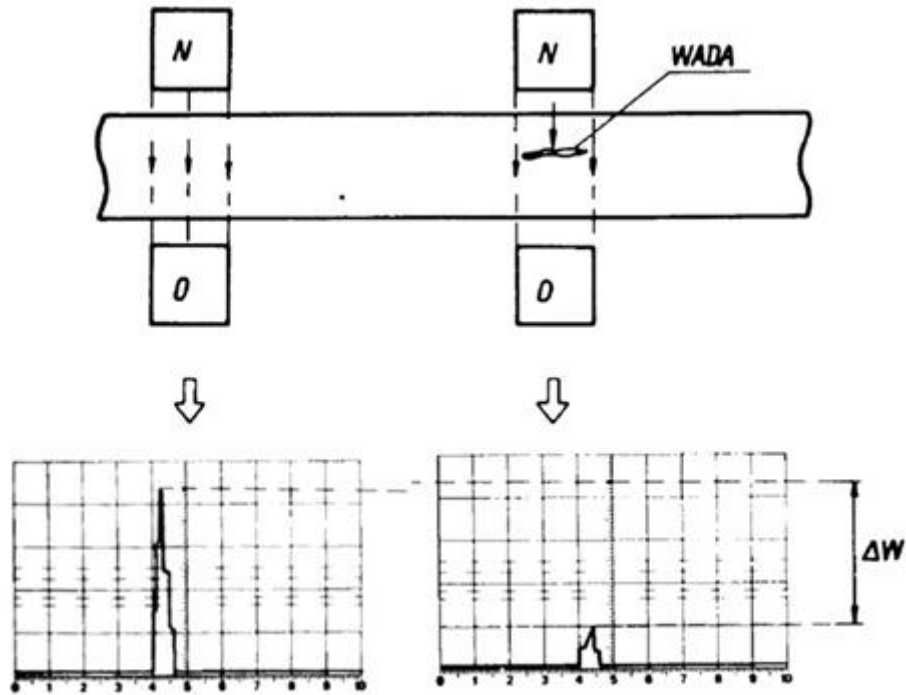
Metoda echa wymaga dostępu tylko do jednej powierzchni obiektu, tej z której prowadzi się skanowanie. Za pomocą głowicy normalnej wprowadzono do obiektu podłużne fale ultradźwiękowe. Sygnały wywołane przez reflektory obiektów, prezentowane na ekranach defektoskopów ultradźwiękowych nazywane są echem. 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.

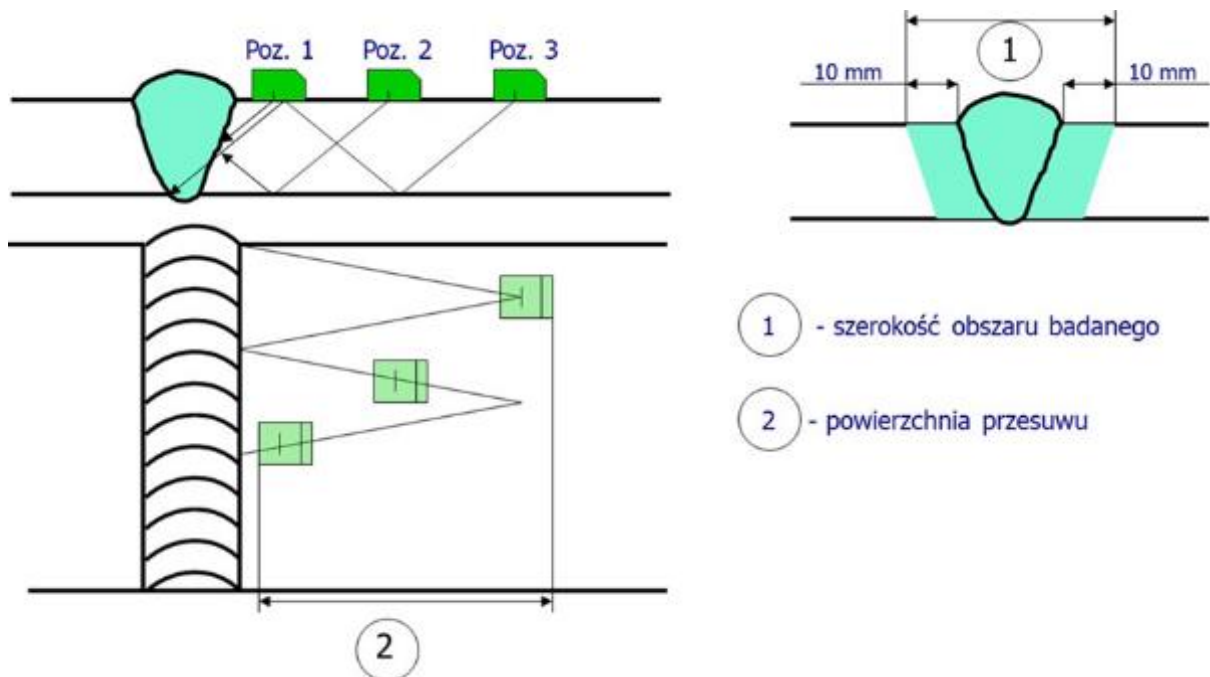


Rysunek 42. Metoda echa.

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, a możliwość oceny wielkości wad jest ograniczona.



Rysunek 43. Metoda przepuszczenia.



Rysunek 44. Przykład obszaru badania, jaki należy objąć podczas badania na występowanie wskazań w kierunku podłużnym.

## 11.8 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.

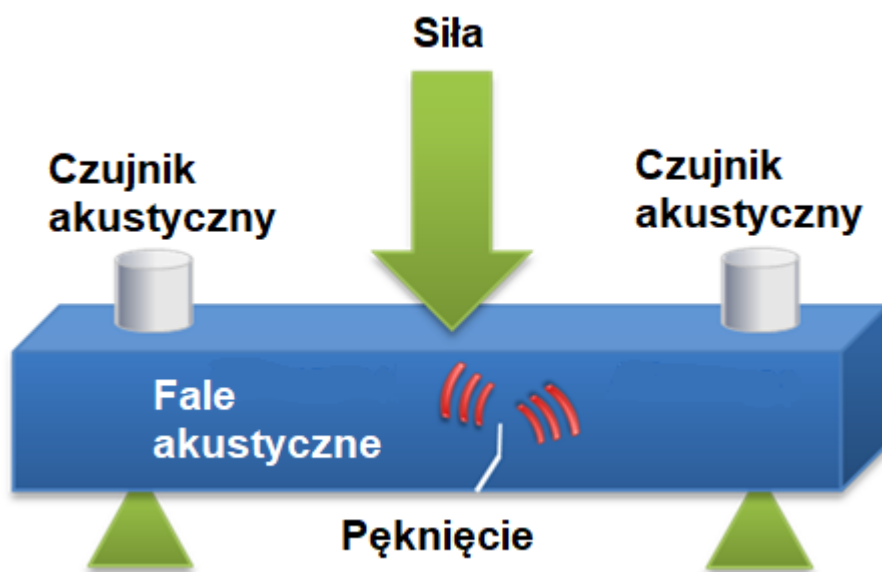
Metoda emisji akustycznej należy do grupy metod pasywnych, co oznacza, że aparatura EA nie emituje sygnałów i nie wpływa na stan fizyczny badanego obiektu, natomiast rejestruje efekty fizyczne samoistnie powstające w tym obiekcie.

Wiadomo, że wiele różnych materiałów, zwłaszcza stali, podczas obciążania emituje impulsy fal dźwiękowych (przejściowe 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 fali mechanicznej 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 źródeł emisji, w postaci najczęściej 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 45. Przykład systemu akwizycji danych.*



Rysunek 46. Badania metodą emisji akustycznej.

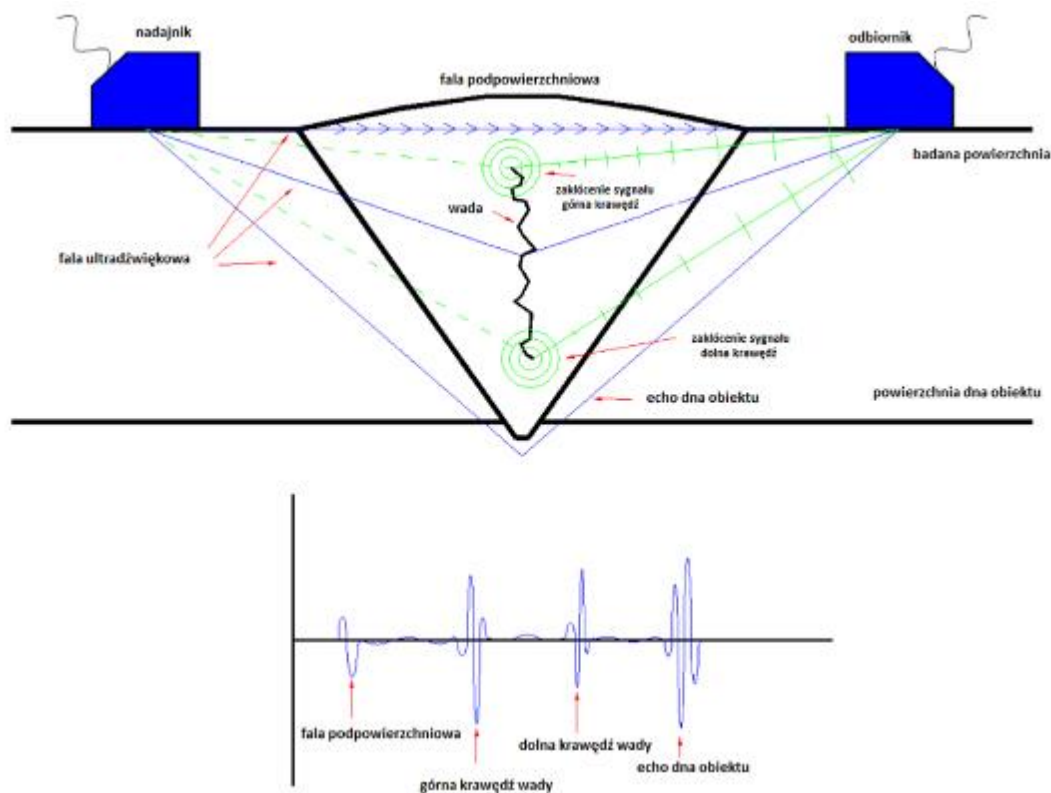
### 11.9 Ultradźwiękowa technika TOFD (Time of Flight Diffraction).

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, szczególnie przy wykrywaniu wad zorientowanych prostopadle do płaszczyzny zewnętrznej obiektu. 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.

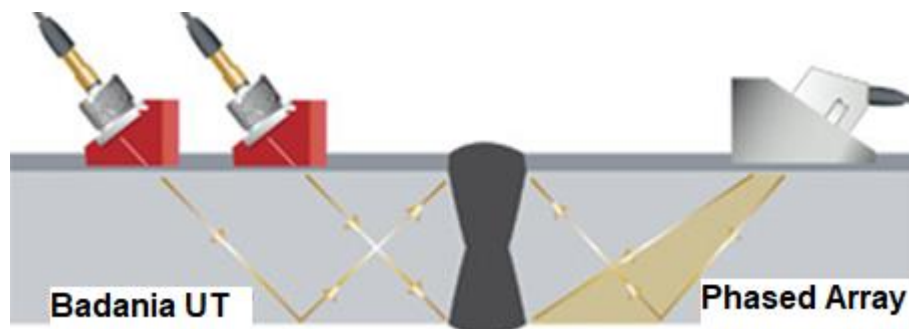
Wysoka prędkość pozyskiwania danych (sięgająca do 500 mm/s), powoduje znaczny przyrost wydajności i obniżenie kosztów w przypadku badania długich złączy. Technikę TOFD stosuje się tylko do złączy doczołowych ze stali niskowęglowych a inne materiały każdorazowo wymagają sprawdzenia skuteczności. Problematyczne 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 47. Technika TOFD.

### 11.10 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 48. Technika badań phased array w porównaniu z badaniami ultradźwiękowymi.

### **11.11 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.

### **12. 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.

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 urządzenia nośnego					
Nazwa i adres eksploatującego urządzenie					
Rodzaj badanego obiektu					
Numer ewidencyjny				Numer fabryczny	
Udźwig/ilość osób		Rok produkcji		Inne	
<b>Ocena stanu technicznego konstrukcji nośnej</b>					
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 przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych			
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 przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych 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 przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych nr .....			
3) protokół badań nieniszczących połączeń nierozłącznych nr .....			
4) inne .....			

### 13. ETAP 6 – ewentualna naprawa

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

### 14. 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 przenośnika do celów  
rekreacyjno-rozrywkowych**

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/ilość osób		Rok produkcji		Inne	
<b>Ocena stanu technicznego konstrukcji nośnej</b>					
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 przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych			
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			
<p>Przeprowadzona ocena stanu technicznego ustroju nośnego przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych zakończyła się wynikiem pozytywnym / negatywnym<sup>*)</sup> i urządzenie nadaje się / nie nadaje<sup>*)</sup> się do dalszej bezpiecznej eksploatacji. Przy założeniu niezmiennych warunków eksploatacji, ustala się dla ustroju nośnego dalszy okres eksploatacji wynoszący ..... lat / godzin / cykli pracy<sup>*)</sup>.</p> <p><i>*) niepotrzebne skreślić</i></p>			
Data wykonania		Imię nazwisko i podpis	
<p>Załączniki:</p> <p>1) protokół pomiaru grubości elementów nośnych nr .....</p> <p>2) protokół pomiaru geometrii ustroju nośnego przenośnika do celów rekreacyjno-rozrywkowych nr .....</p> <p>3) protokół badań nieniszczących połączeń nierozłącznych nr .....</p> <p>4) inne .....</p>			