

# **CZUŁOŚĆ BADANIA ULTRADŹWIĘKOWEGO wg EN 583-2**

Sławomir Mackiewicz  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN  
ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa

## **1. Wstęp**

Nastawienie czułości badania jest, obok skalowania podstawy czasu, najważniejszym elementem przygotowania aparatury do przeprowadzenia badań ultradźwiękowych. Od właściwego ustawienia czułości badania zależy prawidłowa rejestracja oraz ocena wskazań ultradźwiękowych.

W systemie norm europejskich zagadnienia skalowania podstawy czasu oraz nastawiania czułości badania reguluje norma EN 583-2:2001. Wymagania jakie stawia ta norma w zakresie skalowania podstawy czasu nie odbiegają od ogólnie znanych zasad i dostosowanie się do nich nie powinno stwarzać polskim specjalistom większych trudności. Jedyną nowością w tym zakresie jest określenie zasad skalowania w rzutach przy badaniach obiektów zakrzywionych.

Znacznie bardziej złożonym zagadnieniem są przedstawione w normie EN 583-2 zasady nastawiania czułości badania. W znacznym stopniu różnią się one od tego co praktykowano dotychczas w Polsce. Norma wprowadza w tym zakresie szereg szczegółowych uregulowań, które muszą być przestrzegane przy sporządzaniu skal ekranowych oraz nastawianiu wzmocnienia rejestracji.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie szerszym kręgom polskich specjalistów badań ultradźwiękowych zasad nastawiania czułości badania wg norm europejskich. Jest to tym bardziej uzasadnione, że norma EN 583-2 nie została dotychczas przetłumaczona na język polski zaś przeszkolenie w ramach kursów ultradźwiękowych programu PHARE przeszła jedynie niewielka grupa osób.

## **2. Techniki nastawiania czułości badania**

Norma EN 583-2 dopuszcza 3 techniki nastawiania czułości badań ultradźwiękowych:

- 1) Technikę pojedynczego reflektora odniesienia,
- 2) Technikę DAC (Distance Amplitude Curve),
- 3) Technikę DGS (Distance Gain Size)

Technika nr 1 polega na bezpośrednim porównywaniu wysokości echa nieciągłości z wysokością echa wyspecyfikowanego reflektora odniesienia, bez uwzględniania wpływu odległości. Zastosowanie tej techniki ogranicza się zatem do badań, w których poszukiwane wady znajdują się (w przybliżeniu) w tej samej odległości co reflektor stosowany do nastawienia czułości.

W większości typowych zastosowań badań ultradźwiękowych (np. badania spoin, odlewów, odkuwek) wady mogą wystąpić w dowolnym miejscu zakresu obserwacji i do nastawiania czułości badania należy zastosować jedną z dwóch pozostałych technik, które uwzględniają zależność wysokości echa od odległości.

Podstawą techniki DAC jest wyznaczana doświadczalnie zależność wysokości echa od odległości dla wyspecyfikowanego reflektora odniesienia. Reflektorem tym jest najczęściej otwór poprzeczny ale zgodnie z EN 583-2 może nim być również otwór płaskodenny (tarcza) lub otwór o

dnie sferycznym. Typ oraz rozmiar reflektora do sporządzenia krzywej DAC dla konkretnego badania powinien być wyspecyfikowany w odpowiedniej normie szczegółowej (np. w przypadku badań złączy spawanych jest to norma EN 1714).

Podstawą techniki DGS jest wykorzystanie serii teoretycznych zależności wiążących odległość, wzmocnienie i rozmiar reflektorów idealnych w postaci tarcz prostopadłych do osi wiązki. Sporządzenie ekranowej skali DGS polega tutaj na "przeniesieniu" odpowiedniej krzywej z wykresu DGS na ekran aparatu ultradźwiękowego.

### **3. Zasady ogólne**

Przed szczegółowym omówieniem wymagań normy EN 583-2 należy wskazać na pewne ogólne uwarunkowania związane z oceną wskazań ultradźwiękowych w badaniach ultradźwiękowych prowadzonych metodą echa. Wskazania te są oceniane i klasyfikowane poprzez bezpośrednie lub pośrednie porównywanie ich wysokości z wysokością ech od wyidealizowanych reflektorów odniesienia o regularnym kształcie (tarcza, cylinder, sfera). Należy jednak zauważyć, że zdolność odbijania fal ultradźwiękowych przez naturalne nieciągłości zależy zarówno od ich wielkości jak też od innych czynników takich jak kształt czy orientacja względem kierunku wiązki ultradźwiękowej. Stąd też poziom echa wady naturalnej nie jest miarą jej rzeczywistej wielkości a jedynie zdolności odbijania fal ultradźwiękowych. Obliczona na tej podstawie, tzw. równoważna wielkość wady określa rozmiar wady idealnej, która umieszczona w tym samym miejscu dałaby echo tej samej wysokości co oceniana wada rzeczywista.

Niezależnie od podanych zastrzeżeń poziom echa nieciągłości traktowany jest w wielu normach jako podstawowe kryterium oceny wskazań ultradźwiękowych. Konkretny poziomy akceptacji wynikają przy tym z praktycznych doświadczeń dotyczących badań określonej klasy obiektów i uwzględniają margines bezpieczeństwa związany z ograniczeniami ultradźwiękowej metody echa.

Procedura nastawiania czułości badania ma zapewnić możliwość obiektywnego określania poziomów ech wskazań ultradźwiękowych poprzez ich odniesienie do wysokości ech od wyspecyfikowanych reflektorów idealnych. Dzięki temu możliwe jest wyrażanie wyników badań ultradźwiękowych w sposób niezależny od szczegółów techniki badania oraz stosowanej aparatury.

## **4. Technika DAC**

### **4.1. Próbkki i reflektory odniesienia**

Technika DAC polega na doświadczalnym wyznaczeniu krzywej odniesienia na podstawie wysokości ech uzyskanych od serii jednakowych reflektorów znajdujących się w różnych odległościach głowicy. Norma EN 583-2 dopuszcza stosowanie dwóch rodzajów próbek odniesienia. Są to:

- 1) próbki ogólnego zastosowania wykonane z materiału o małym współczynniku tłumienia, o standardowo obrobionej powierzchni i grubości mieszczącej się w zakresie  $\pm 10\%$  grubości badanego materiału,
- 2) próbki specjalne wykonane z materiału o takich samych właściwościach akustycznych, stanie powierzchni oraz kształcie i krzywiznie powierzchni jak badany obiekt

W przypadku stosowania próbek odniesienia typu 1) konieczne jest stosowanie poprawki na straty przejścia uwzględniającej różnicę w warunkach propagacji fal ultradźwiękowych jakie mogą wystąpić między próbką odniesienia a badanym obiektem. W przypadku próbek typu 2) poprawka na straty przejścia ma wartość zero.

Oprócz warunków dotyczących próbek odniesienia norma określa również warunki jakie muszą spełniać znajdujące się w nich reflektory odniesienia. Do sporządzenia krzywej DAC mogą być zastosowane reflektory w postaci otworów poprzecznych, otworów płaskodennych lub otworów o dnice sferycznym. Poniżej omówiono warunki odnoszące się do najczęściej stosowanych w technice DAC otworów poprzecznych.

Rysunek nr 1 przedstawia schematy próbek odniesienia z otworami poprzecznymi dla różnych grubości materiałów. Po prawej stronie rysunku podano warunki jakie muszą spełniać znajdujące się w próbkach reflektory.

Warunek:  $e > 2\lambda_s/D_{\text{eff}}$  oznacza, że długość otworu poprzecznego musi być większa niż średnica wiązki ultradźwiękowej padającej na ten reflektor.

Warunek:  $D_{\text{SDH}} \geq 1,5\lambda$  mówi z kolei, że średnica otworów poprzecznych stosowanych do wyznaczania krzywych DAC musi być większa niż 1,5 długości fali. Przykładowo, dla głowicy fal poprzecznych o częstotliwości 2 MHz średnica reflektorów odniesienia musi być większa od 2,43 mm.

Pozostałe warunki dotyczą usytuowania reflektorów w próbce odniesienia. Odległość otworu od powierzchni próbki nie może być mniejsza niż 5 mm.

#### 4.2. Sporządzanie krzywej DAC

Poniżej opisano sposób postępowania przy sporządzaniu krzywej DAC na ekranie standardowego defektoskopu analogowego. W przypadku stosowania defektoskopów cyfrowych przedstawiona procedura musi być zmodyfikowana stosownie do instrukcji obsługi aparatu (np. zamiast zaznaczania wierzchołków ech na ekranie należy wprowadzać je do pamięci aparatu itp.).

Procedura sporządzania ekranowej krzywej DAC wg EN 583-2 jest następująca:

- 1) Przygotowanie próbki odniesienia zgodnie z wymaganiami normy EN 583-2 oraz odpowiedniej normy szczegółowej (np. EN 1714 w przypadku badania złączy spawanych)
- 2) Przygotowanie zestawu badawczego do badań (dobór głowicy, sprawdzenie parametrów, skalowanie zakresu obserwacji itp.)
- 3) Wstępne przeszukanie próbki odniesienia w celu zidentyfikowania reflektora dającego najwyższe echo
- 4) Zoptymalizowanie najwyższego echa i ustawienie wzmocnienia defektoskopu tak aby echo to osiągnęło wysokość 80% FSH (80% pełnej wysokości ekranu)
- 5) Oznaczenie na ekranie położenia wierzchołków wszystkich ech od reflektorów odniesienia, których wysokość zawiera się w granicach 20% - 80% FSH (w przypadku głowic kątowych należy uwzględnić echa uzyskane falą bezpośrednio padającą oraz falą jednokrotnie odbitą)
- 6) Podniesienie wzmocnienia defektoskopu o 12 dB i oznaczenie na ekranie położenia wierzchołków ech, których wysokość, przy podwyższonym wzmocnieniu, zawiera się w granicach 20% - 80% FSH
- 7) W razie potrzeby (np. dla dużych zakresów obserwacji) podniesienie wzmocnienia o kolejne 12 dB i zaznaczenie wierzchołków kolejnych ech o wysokości w zakresie 20% - 80% FSH
- 8) Narysowanie, w oparciu o punkty wierzchołków ech, krzywej DAC.

Typowy kształt krzywej DAC z odcinkami podwyższonymi przedstawiono na rys. 2. Należy pamiętać, że krzywa DAC ma zastosowanie jedynie do badań wykonywanych taką samą głowicą oraz przy tym samym zakresie obserwacji co stosowane podczas jej sporządzania.

#### 4.3. Uwzględnianie poprawki na straty przejścia

W przypadku gdy krzywą DAC wyznaczono na próbkach odniesienia ogólnego zastosowania przed przystąpieniem do badań należy uwzględnić wartość poprawki na straty przejścia wyznaczoną dla danego obiektu badania. Poprawkę tą można wprowadzić na jeden z następujących sposobów:

- 1) Przez skorygowanie wysokości punktów krzywej DAC o wartość poprawki już podczas sporządzania krzywej
- 2) Przez narysowanie poniżej podstawowej krzywej DAC drugiej skorygowanej krzywej
- 3) Przez uwzględnienie (stałej) wartości poprawki podczas nastawiania wzmocnienia rejestracji przed badaniem

Sposób 3) może być zastosowany jedynie w sytuacji gdy poprawka na straty przejścia jest niezależna od drogi fali tj. wynika głównie ze strat na sprzężenie akustyczne nie zaś z tłumienia fal

ultradźwiękowych w badanym materiale.

W przypadku badań materiałów silnie tłumiących (odlewy, materiały austenityczne) należy stosować sposób 1) lub 2), uwzględniający zależność strat przejścia od odległości.

Zasady wyznaczania poprawki na straty przejścia opisano w dalszej części artykułu.

#### 4.4. Zasady stosowania techniki DAC

Aby ekranowa krzywa DAC mogła być wykorzystana do oceny wskazań należy odpowiednio ustawić wzmocnienie rejestracji aparatu ultradźwiękowego. Najlepiej wykorzystać do tego celu próbkę odniesienia stosowaną wcześniej do wyznaczania przebiegu krzywej DAC.

Sposób postępowania jest następujący. Należy uzyskać echo ultradźwiękowe od jednego z reflektorów odniesienia, zmaksymalizować jego wysokość oraz ustawić wzmocnienie aparatu tak aby echo osiągnęło wysokość krzywej DAC. Następnie, o ile straty przejścia nie zostały uwzględnione podczas sporządzania krzywej, należy zwiększyć wzmocnienie o wartość poprawki na straty przejścia. Po wykonaniu opisanych czynności zestaw badawczy przygotowany jest do oceny wskazań ultradźwiękowych zgodnie z wyspecyfikowaną czułością badania.

Poziom echa rejestrowanych wskazań należy wyznaczać jako liczbę dB, którą należy dodać lub odjąć od wzmocnienia rejestracji aby sprowadzić dane echo na wysokość krzywej DAC. W przypadkach gdy oceniane echo pojawia się w zakresie podwyższonego odcinka krzywej DAC przed dokonaniem oceny należy podnieść wzmocnienie defektoskopu o liczbę dB określającą podwyższenie danego odcinka.

Powyższe rozważania formalnie ujmuje wzór:

$$\Delta H_U = V_r - V_U$$

gdzie:

$\Delta H_U$  - różnica wysokości echa nieciągłości i reflektora odniesienia w dB

$V_r$  - wzmocnienie rejestracji (z uwzględnieniem wzmocnienia dodatkowego stosowanego w zakresie podwyższonych odcinków krzywej DAC)

$V_U$  - wzmocnienie, przy którym echo nieciągłości ma wysokość krzywej DAC

## 5. Technika DGS

### 5.1. Zasady ogólne

Podstawą techniki DGS jest wykres DGS podający teoretyczne zależności między poziomami echa, odległościami i rozmiarami dla reflektorów idealnych w postaci tarcz prostopadłych do osi wiązki. Wykres DGS może mieć formę wykresu specjalnego, odnoszącego się do jednego typu głowicy, lub wykresu ogólnego, który może być stosowany dla różnych typów głowic.

Podstawą dalszych rozważań będzie wykres ogólny, na którym odległości reflektor-głowica wyrażone są w jednostkach pola bliskiego ( $A=s/N$ ) zaś średnice reflektorów w jednostkach równych średnicy skutecznej przetwornika ( $G=d_t/D_{eff}$ ). Ogólny wykres DGS wg normy EN 583-2 przedstawiono na rys 3.

Istotą oceny wskazań ultradźwiękowych w technice DGS jest porównywanie ich wysokości z teoretycznymi wysokościami ech od reflektorów idealnych w kształcie tarczy. Wynik tego porównania podaje się jako różnicę wysokości między echem ocenianym a echem od wyspecyfikowanego reflektora idealnego (w dB) lub jako średnicę równoważnego pod względem zdolności odbijania fal reflektora idealnego.

Zgodnie z normą EN 583-2 technika DGS może być stosowana na dwa sposoby jako:

- 1) Technika wysokości odniesienia DGS
- 2) Technika krzywej odniesienia DGS

Technika wysokości odniesienia polega na rejestrowaniu wysokości wskazań ultradźwiękowych w odniesieniu do ustalonej wysokości na ekranie defektoskopu (np. 40% FSH) i późniejszym ustalaniu poziomu echa względem wyspecyfikowanego reflektora idealnego za pomocą

graficznych operacji na wykresie DGS. Z tego względu technika ta jest w praktyce bardzo uciążliwa i trudna do stosowania w warunkach przemysłowych. Może być ona jednak przydatna w przypadku rzadko wykonywanych, nietypowych badań, dla których nie posiadamy odpowiedniej skali DGS.

Technika krzywej odniesienia DGS polega na porównywaniu wysokości wskazań ultradźwiękowych z krzywą odniesienia będącą "przeniesieniem" z wykresu DGS na ekran defektoskopu teoretycznej zależności wiążącej poziom echa i odległość dla wyspecyfikowanego reflektora idealnego. Technika ta pozwala na ocenę poziomu wskazania ultradźwiękowego bez potrzeby korzystania z wykresu DGS. Tym samym jest to technika znacznie szybsza i łatwiejsza w stosowaniu niż technika wysokości odniesienia. Wymaga jednak uprzedniego przygotowania skal ekranowych DGS odpowiednich dla danego badania.

## 5.2. Reflektory odniesienia

Pomimo tego, że technika DGS bazuje na zależnościach teoretycznych wymaga ona użycia reflektora odniesienia do skorelowania zależności teoretycznych z wysokościami ech od rzeczywistych reflektorów płaskodennych. Do nastawienia wzmocnienia rejestracji może być zastosowany zarówno odpowiedni otwór płaskodenny jak też inny typ reflektora, który poprzez przeliczenia teoretyczne można odnieść do reflektorów tarczowych. W szczególności norma EN 583-2 dopuszcza stosowanie następujących reflektorów odniesienia:

- ⊗reflektora nieskończonego w postaci płaskiej powierzchni prostopadłej do osi wiązki
- ⊗otworu poprzecznego
- ⊗otworu płaskodennego
- ⊗otworu z dnem sferycznym
- ⊗powierzchni cylindrycznej R100 wzorca nr 1 zgodnego z EN 12223
- ⊗powierzchni cylindrycznej R25 wzorca nr 2 wg EN 27963

Reflektory odniesienia muszą spełniać warunki podane w załączniku B do normy EN 583-2. Na rys.4 i rys.5 przedstawiono wymagania dotyczące otworów poprzecznych oraz otworów płaskodennych. Otwory poprzeczne muszą spełniać wymagania podane w pkt. 4.1 a ponadto warunek ( $s > 1,5 N$ ) oznaczający, że reflektor musi być oddalony od głowicy co najmniej o 1,5 długości pola bliskiego. Spełnienie tego warunku pozwala na zastosowanie teoretycznego wzoru przeliczeniowego wiążącego średnicę otworu poprzecznego ze średnicą równoważnego mu pod względem zdolności odbijania reflektora tarczowego:

$$D_{DSR} = \sqrt{\frac{\sqrt{2}}{\lambda E} A \sqrt{s D_{SDH}}}$$

gdzie:

$D_{SDH}$  - średnica otworu poprzecznego,

$D_{DSR}$  - średnica równoważnego mu pod względem zdolności odbijania reflektora tarczowego

$s$  - odległość otworu poprzecznego od głowicy,

$\lambda$  - długość fali ultradźwiękowej

Otwory płaskodenne muszą spełniać warunek:  $D_{DSR} < \lambda s / D_{eff}$  oraz być oddalone od głowicy co najmniej na odległość 0,7 długości pola bliskiego.

Specjalnego omówienia wymaga zagadnienie stosowania jako reflektorów odniesienia dla głowic kątowych powierzchni cylindrycznych wzorców nr 1 i nr2. Należy podkreślić, że reflektory te z uwagi na zakrzywienie oraz wpływ powierzchni bocznych wzorca nie mogą być uważane za reflektory nieskończone. Dopiero zastosowanie specjalnej poprawki na krzywiznę  $\Delta V_k$  pozwala traktować je tak jakby były reflektorami nieskończonymi. Wartości poprawek  $\Delta V_k$  są różne dla różnych typów głowic ultradźwiękowych i powinny być podawane przez producenta w specyfikacji głowicy. Niestety polscy producenci sprzętu ultradźwiękowego (UNIPAN, INCO) nie podają wartości poprawek na krzywiznę dla swoich głowic. W świetle wymagań normy EN 583-2 uniemożliwia to ich zastosowanie w przypadkach kiedy do nastawiania czułości badania chcemy wykorzystać powierzchnie cylindryczne wzorców nr1 lub nr2. Jeśli dla danej głowicy nie znamy

poprawki na krzywiznę wzorca nr1 lub nr2 musimy zastosować inny rodzaj reflektora odniesienia.

### 5.3. Sporządzanie skali ekranowej DGS

Wykonanie skali ekranowej DGS bez użycia odpowiedniego programu komputerowego jest zadaniem stosunkowo trudnym i czasochłonnym. Zasadniczo powinno być ono wykonywane przez specjalistów badań ultradźwiękowych posiadających kwalifikacje na poziomie stopnia 3.

Sporządzenie skali DGS związane jest z przeniesieniem z wykresu DGS na ekran defektoskopu krzywej odniesienia odpowiadającej reflektorowi idealnemu o wyspecyfikowanej średnicy. Poniżej opisano podstawowe etapy procesu przenoszenia krzywej odniesienia z wykresu na ekran defektoskopu.

- 1) Obliczenie długości pola bliskiego oraz średnicy skutecznej przetwornika głowicy dla której ma być sporządzona skala ekranowa
- 2) Obliczenie średnicy unormowanej wyspecyfikowanego reflektora odniesienia  $G=d_t/D_{eff}$
- 3) Zidentyfikowanie na ogólnym wykresie DGS krzywej odniesienia odpowiadającej wyspecyfikowanemu reflektorowi odniesienia
- 4) Zidentyfikowanie najwyższego punktu krzywej odniesienia, odczytanie jego odległości unormowanej oraz przeliczenie jej na odległość rzeczywistą od środka głowicy (w przypadku głowic kątowych należy pamiętać, o uwzględnieniu odcinka drogi fali w klinie załamującym głowicy)
- 5) Oznaczenie najwyższego punktu krzywej DGS na ekranie na wysokości 80% FSH, w położeniu odpowiadającym obliczonej odległości od głowicy
- 6) Przeniesienie kolejnych punktów krzywej DGS na ekran defektoskopu poprzez odczytywanie z wykresu ich odległości unormowanych oraz różnicy wzmocnień względem punktu maksymalnego a następnie przeliczanie odległości unormowanych na działki poziomej skali ekranu zaś różnicy wzmocnień na wysokość ekranu. Przeliczenia różnicy wzmocnień  $\Delta V$  na wysokość ekranu  $h$  dokonuje się wg wzoru:  
$$h[\%] = 80 \cdot 10^{\frac{\Delta V}{20}}$$
- 7) W przypadku gdy obliczane z powyższego wzoru wysokości punktów krzywej DGS spadną poniżej 20% należy podnieść je o 12 dB w celu uzyskania podwyższonego odcinka krzywej DGS
- 8) Narysowanie na ekranie krzywej DGS na podstawie wyznaczonych punktów
- 9) Wybór reflektora do nastawiania czułości badania (wzmocnienia rejestracji) oraz wyznaczenie z wykresu DGS różnicy wzmocnień  $\Delta V$  między tym reflektorem a krzywą odniesienia
- 10) Oznaczenie skali DGS poprzez podanie parametrów jej wykonania (typ głowicy, zakres obserwacji, średnica reflektora odniesienia DSR, reflektor do nastawiania czułości badania, wzmocnienie dodatkowe  $\Delta V$ )

Na rys. 6. przedstawiono przykład skali DGS wykonanej zgodnie z opisanymi zasadami. Jest to wydruk z programu komputerowego *EuroDGS* służącego do obliczania i wydruku skal ekranowych zgodnie z wymaganiami normy EN 583-2.

### 5.4. Ograniczenia techniki DGS

Technika DGS może być stosowana do nastawiania czułości badania i oceny wskazań ultradźwiękowych jedynie przy uwzględnieniu następujących warunków i ograniczeń:

- ⊗ krzywizna obiektu badania nie wymaga profilowania głowic ultradźwiękowych ( $D_{obj} < 10l_{ps}$ ),
- ⊗ w przypadku stosowania głowic kątowych grubość obiektu jest większa od pięciu długości fali
- ⊗ w przypadku stosowania głowic normalnych grubość obiektu jest większa od 0,7 długości pola bliskiego
- ⊗ ocena wskazań ultradźwiękowych jest dokonywana tylko w zakresie odległości większych od 0,7 długości pola bliskiego

### 5.5. Stosowanie techniki DGS

Zasady stosowania skal ekranowych DGS podczas badań są bardzo proste. W pierwszym rzędzie należy prawidłowo dobrać skalę ekranową do planowanego badania. W szczególności należy uwzględnić takie parametry badania jak typ głowicy, zakres obserwacji oraz średnicę reflektora tarczowego odpowiadającego linii odniesienia.

Następnie, po wyskalowaniu zakresu obserwacji, należy nastawić czułość badania stosując w tym celu reflektor określony na skali DGS. Procedura nastawiania czułości badania jest następująca:

- 1) Należy zoptymalizować echo od reflektora odniesienia i ustawić wzmocnienie aparatu tak aby echo to osiągnęło wysokość ekranowej krzywej DGS. Uzyskana w ten sposób wartość wzmocnienia aparatu określana jest symbolem  $V_j$
- 2) Zwiększyć wzmocnienie o wartość wzmocnienia dodatkowego  $\Delta V$  podanego na skali DGS
- 3) Zwiększyć wzmocnienie o wartość strat przeniesienia  $\Delta V_t$  charakterystycznych dla badanego obiektu

Uzyskane ostatecznie wzmocnienie rejestracji dane jest wzorem:

$$V_r = V_j + \Delta V + \Delta V_t$$

Ewentualna poprawka na krzywiznę wzorca  $\Delta V_k$  włączana jest do wzmocnienia dodatkowego  $\Delta V$ .

W czasie badania poziomy wskazań ultradźwiękowych określa się w odniesieniu do krzywej DGS jako liczbę dB, którą należy dodać lub odjąć od wzmocnienia rejestracji aby sprowadzić dane echo na wysokość krzywej. Zgodnie z przyjętą konwencją echa przewyższające krzywą DGS mają poziomy dodatnie, zaś echa niższe poziomy ujemne.

## 6. Straty przejścia

Straty przejścia muszą być wyznaczane w przypadkach gdy właściwości akustyczne i/lub stan powierzchni próbki odniesienia stosowanej do nastawiania czułości badania nie są reprezentatywne dla obiektu badania.

W ogólnym przypadku straty przejścia  $\Delta V_t$  mają dwie składowe:

- 1) straty na sprzężenie akustyczne związane z przejściem fali przez powierzchnię materiału, niezależne od długości drogi fali
- 2) straty spowodowane tłumieniem fali ultradźwiękowej w materiale, zależne od długości drogi fali

Norma EN 583-2 określa dwie techniki wyznaczania strat przejścia: technikę stałej drogi fali oraz technikę porównawczą.

Pierwsza technika może być stosowana w przypadkach gdy straty spowodowane tłumieniem fal ultradźwiękowych w materiale są relatywnie małe w porównaniu ze stratami na sprzężenie akustyczne. Wyznaczona wartość poprawki jest stała i obejmuje straty na sprzężenie akustyczne plus straty na tłumienie występujące na drodze fali od głowicy do przeciwległej powierzchni materiału i z powrotem (droga echa dna)

Procedura wyznaczania stałej poprawki na straty przejścia polega na wyznaczeniu różnicy poziomów echa dna próbki odniesienia oraz echa dna materiału badanego a następnie odjęciu od tej wartości strat na rozbieżność wynikających z ewentualnej różnicy dróg obu ech. W przypadku głowic kątowych stosuje się dwie jednakowe głowice pracujące metodą przepuszczania a echo dna uzyskuje się przepuszczając falę po torze typu V. Formalny wzór na wartość strat przejścia ma postać:

$$\Delta V_t = V_{t,t} - V_{t,r} - \Delta V_s$$

gdzie:

- $V_{t,t}$  - wzmocnienie przy którym echo dna obiektu badania osiągnęło wysokość 80% FSH,
- $V_{t,r}$  - wzmocnienie przy którym echo dna próbki odniesienia osiągnęło wysokość 80% FSH,
- $V_s$  - straty na rozbieżność wiązki wynikające z różnicy dróg ech dna próbki i obiektu badania

Metodyka wyznaczania zmiennych strat przejścia dla materiałów silnie tłumiących opisana

jest w punkcie 6.5.3 normy EN 583-2. Przypadek ten jest rzadko spotykany w praktyce badań ultradźwiękowych

W pkt. 6.5.4 norma odnosi się do przypadków, w których straty przejścia nie są jednakowe na całej powierzchni obiektu badania wprowadzając następujące zasady:

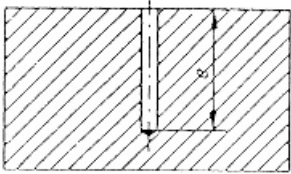
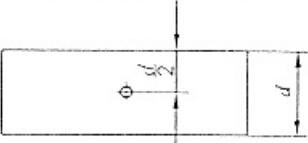
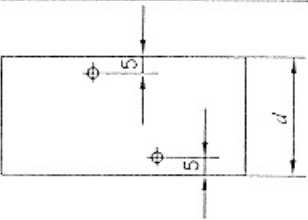
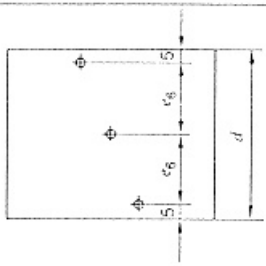
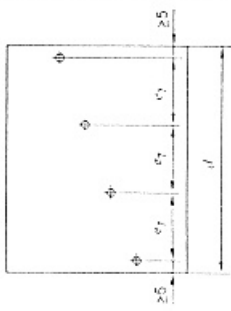
- ⊗ W przypadku gdy straty przejścia wyznaczone w różnych miejscach obiektu badania nie różnią się od siebie więcej niż o 6 dB obliczana jest ich wartość średnia; wartość ta jest następnie stosowana przy badaniach całego obiektu
- ⊗ W przypadku gdy straty przejścia wyznaczone w różnych miejscach obiektu badania różnią się od siebie więcej niż o 6 dB powinna być zastosowana jedna z poniższych metod postępowania:
  - a) należy zwiększyć średnią wartość strat przejścia  $\Delta V_t$  o wartość  $\Delta V_{\sim}$  równą średniej wartości nadwyżki ponad  $\Delta V_t$ . Skorygowaną wartość średnią tj.  $(\Delta V_t + \Delta V_{\sim})$  należy stosować przy badaniu całego obiektu
  - b) należy podzielić powierzchnię obiektu badania na strefy, w obrębie których różnice wartości strat przejścia nie przekraczają 6dB i stosować odmienne wartości poprawek w każdej ze stref

## 7. Podsumowanie

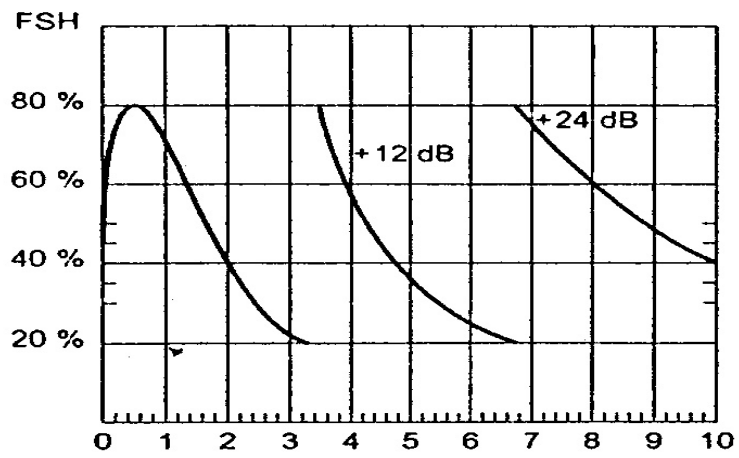
W artykule opisano zasady nastawiania czułości badania ultradźwiękowego wg normy EN 583-2. Norma dopuszcza stosowanie w tym celu dwóch odmiennych metod postępowania: zaczerpniętej z unormowań anglosaskich techniki DAC oraz bazującej na unormowaniach niemieckich techniki DGS.

Każda z opisanych technik posiada swoje zalety i ograniczenia, a wybór określonej techniki do konkretnego zadania badawczego jest uzależniony od wielu czynników. Można jednak sformułować kilka ogólnych zaleceń dotyczących stosowania obu technik:

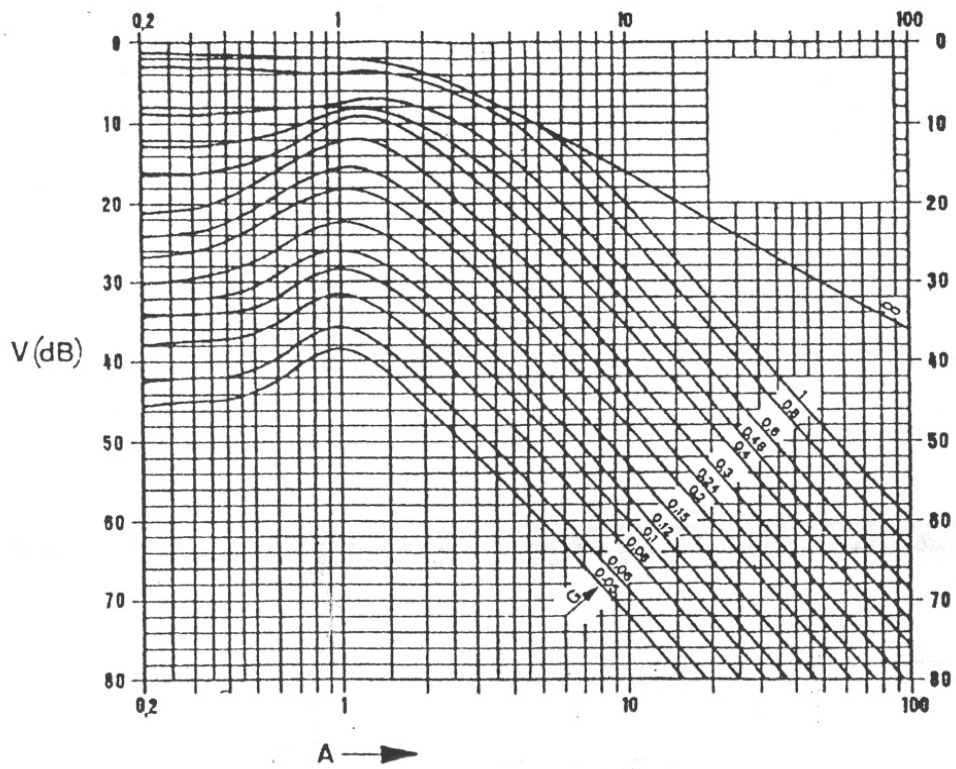
- ⊗ W przypadku badań obiektów o prostych kształtach, małej krzywiznie i zaniedbywanym tłumieniu fal ultradźwiękowych bardziej praktyczna jest technika DGS. Skale ekranowe dla różnych głowic i zakresów obserwacji można łatwo sporządzać np. przy wykorzystaniu programu komputerowego, nie ma potrzeby wykonywania wielu próbek odniesienia dla różnych grubości materiałów czy też różnych typów i rozmiarów reflektorów odniesienia
- ⊗ W przypadku badań obiektów o dużej krzywiznie (profilowane głowice) lub małej grubości zależności teoretyczne leżące u podstaw techniki DGS nie są spełnione i w konsekwencji stosowanie techniki DGS może prowadzić do dużych błędów. W tym przypadku należy stosować technikę DAC oraz próbki odniesienia wykonane z takiego samego materiału jak obiekt badania.
- ⊗ W przypadku badań materiałów o dużym tłumieniu zastosowanie techniki DAC oraz próbek odniesienia wykonanych z takiego samego materiału pozwala na wyeliminowanie konieczności wyznaczania zależnych od drogi strat przejścia
- ⊗ Kształt teoretycznych krzywych DGS jest regularny i powtarzalny natomiast kształt krzywych DAC wyznaczanych doświadczalnie jest często zakłócony wskutek przypadkowych wahań sprężenia akustycznego, nacisku głowicy lub innych przypadkowych efektów trudnych do wyeliminowania w warunkach przemysłowych. Oznacza to, że pomiary poziomów ech wykonane techniką DAC będą charakteryzować się większą niepewnością niż pomiary wykonane techniką DGS.

		
$10 \leq d \leq 15$		
$15 < d \leq 20$		$e > \frac{2\lambda_s}{D_{\text{eff}}}$
$20 < d \leq 40$		$D_{\text{SDH}} \geq 1,5\lambda$ $e_6 = \frac{d-10}{2}$
$d > 40$		$e_7 \leq \frac{d-10}{2}$

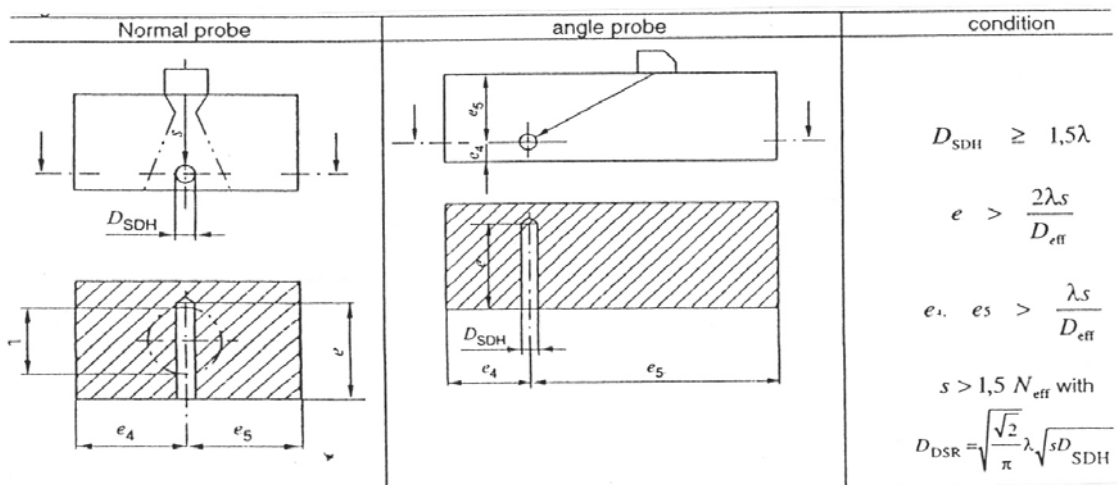
Rys.1. Schematy próbek odniesienia z reflektorami w postaci otworów poprzecznych dla różnych grubości materiału ( $d$ -grubość próbki,  $\lambda$ -długość fali,  $D_{\text{SDH}}$  -średnica otworu,  $D_{\text{eff}}$ -średnica skuteczna przetwornika głowicy)



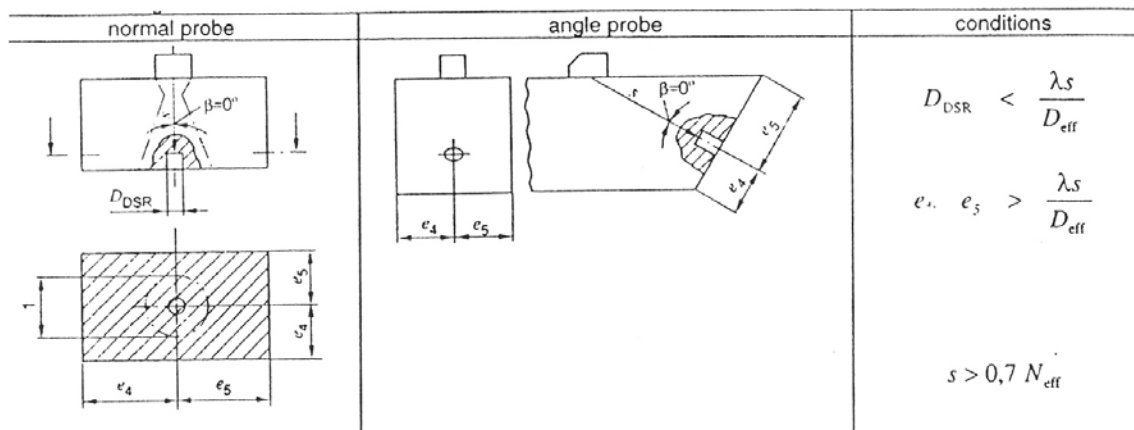
Rys.2. Typowy kształt ekranowej krzywej DAC z dwoma odcinkami podwyższonymi.



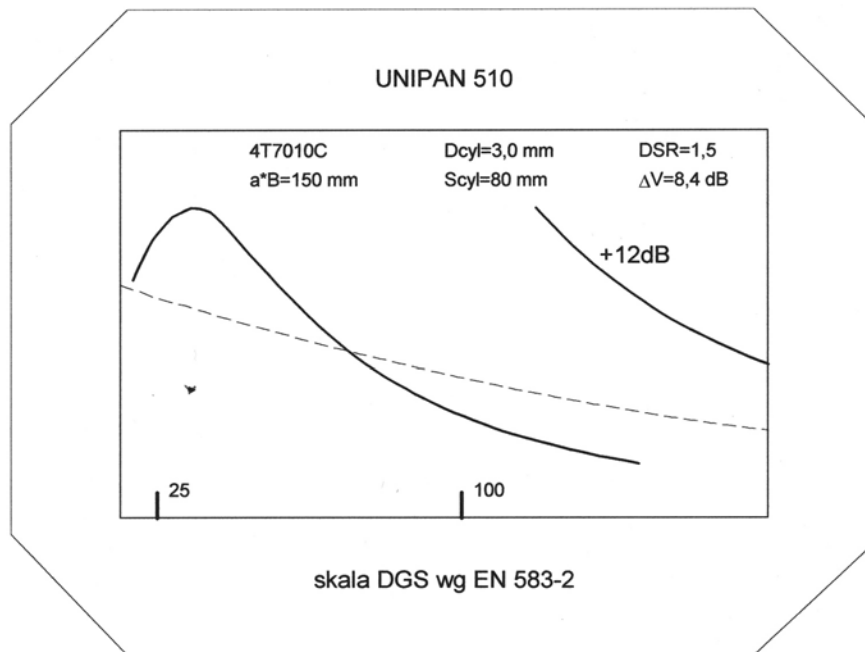
Rys.3. Wykres ogólny DGS wg normy EN 583-2.



Rys.4. Reflektor odniesienia w postaci otworu poprzecznego ( $D_{SDH}$ -średnica otworu poprzecznego,  $D_{DSR}$ -średnica równoważnego mu pod względem zdolności odbijania reflektora tarczowego, s-odległość reflektora od głowicy)



Rys.5. Reflektor odniesienia w postaci otworu płaskodennego ( $D_{DSR}$ -średnica otworu płaskodennego, s-odległość reflektora od głowicy,  $D_{eff}$ -średnica skuteczna przetwornika głowicy,  $N_{eff}$  - długość pola bliskiego głowicy)



Rys.6. Skala ekranowa DGS zgodna z EN 583-2 (wydruk z programu komputerowego EuroDGS).