

Sławomir Mackiewicz
IPPT PAN

OCENA JAKOŚCI RADIOGRAMÓW KOMPUTEROWYCH – ASPEKTY PRAKTYCZNE I METODOLOGICZNE

1. Wstęp

Jednym z podstawowych warunków prawidłowego wdrożenia i właściwego stosowania radiografii komputerowej CR w laboratorium badań nieniszczących jest zapewnienie efektywnego systemu oceny jakości wykonywanych radiogramów komputerowych. Jest to niezbędne w celu wykazania, że wykonywane radiogramy spełniają formalne wymagania jakościowe odpowiednich norm (np. EN 14784-2), po drugie zaś, w celu weryfikowania, testowania i ulepszania stosowanych technik radiograficznych. Wyznaczane parametry radiogramów cyfrowych powinny w szczególności umożliwiać weryfikację czasów ekspozycji, ocenę efektów stosowania określonych okładek, filtrów czy kolimatorów czy też zmian parametrów źródła promieniowania.

W tradycyjnej radiografii błonowej ocena jakości radiogramu sprowadza się zasadniczo do kontroli dwóch parametrów: gęstości optycznej i wykrywalności wskaźnikowej. Pomiar gęstości optycznej jest zrozumiały i łatwy do wykonania jednak jego prawdziwe znaczenie umyka czasem z pola uwagi. Należy więc przypomnieć, że głównym celem kontroli tego parametru nie jest wygoda przeglądania radiogramu na negatoskopie lecz sprawdzenie czy oceniany obraz radiograficzny posiada właściwy stosunek sygnału do szumu. Chociaż parametr SNR nie występuje w sposób jawny w unormowaniach dotyczących radiografii błonowej to faktycznie jest on jednoznacznie określony przez stosunek gradientu błony - G do jej ziarnistości - σ_D . Związek między tymi wielkościami dany jest zależnością:

$$SNR = 0,434 \frac{G}{\sigma_D} \quad (1)$$

W radiografii błonowej nie zachodzi potrzeba bezpośredniego pomiaru stosunku sygnał-szum ponieważ dla każdej klasy systemu błony (od C1 do C6) jest on jednoznacznie wyznaczony przez gęstość optyczną radiogramu. Potwierdzając, że gęstość optyczna radiogramu jest równa lub wyższa niż wymagana wartość normowa uzyskujemy jednocześnie pewność, że obraz na radiogramie posiada SNR odpowiedni dla danej klasy systemu błony.

Drugim parametrem wyznaczającym jakość obrazu klasycznego radiogramu jest wykrywalność wskaźnikowa określona przez widoczność na obrazie radiograficznym określonego wskaźnika jakości obrazu IQI. Najczęściej jest to wskaźnik typu pręcikowego (np. wg EN 462-1), w którym parametrem określającym jakość obrazu jest średnica lub numer najcieńszego widocznego pręcika. Pomimo nieco subiektywnego charakteru oceny widoczności pręcików również wyznaczenie tego parametru jest zadaniem stosunkowo prostym i nie nastęrcza w praktyce większych problemów. Należy jednak zauważyć, że wykrywalność wskaźnikowa jest parametrem zdeterminowanym przez różne, działające równolegle, efekty fizyczne takie jak nieostrość geometryczna, czułość kontrastowa czy nieostrość wewnętrzna błony. Stąd też jego interpretacja jest trudniejsza i bardziej złożona niż

gęstości optycznej, która jednoznacznie łączy się ze stosunkiem sygnał-szum i ekspozycją radiogramu.

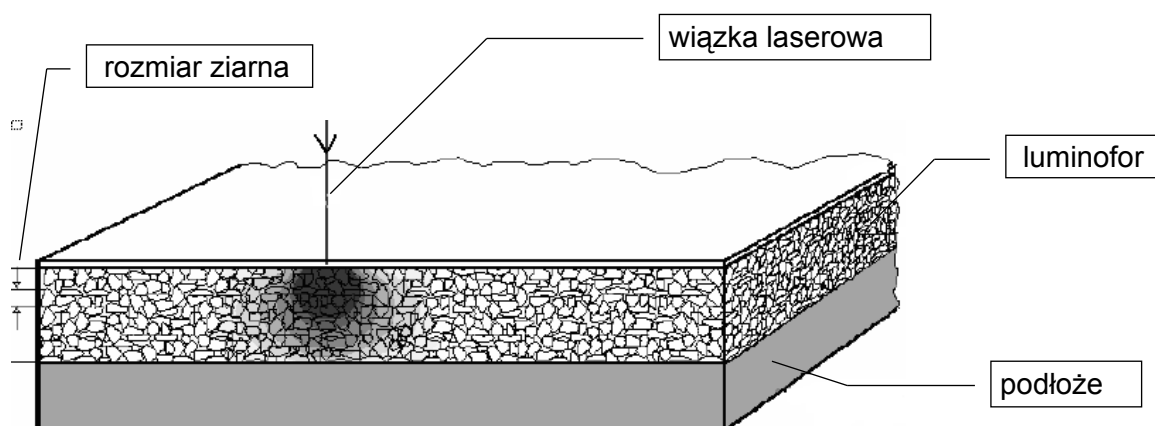
Parametry jakościowe radiogramów komputerowych, które powinny być kontrolowane przez użytkowników zostały określone w normie EN 14784-2. Zostały one zdefiniowane w dużym stopniu w oparciu o zasady sformułowane wcześniej w radiografii błonowej. W szczególności norma EN 14784-2 wymaga sprawdzania jakości obrazu za pomocą wskaźników IQI typu pręcikowego (wg EN 462-1) w taki sam sposób jak ma to miejsce w radiografii błonowej. Parametrem, który ma kontrolować stosunek sygnał-szum radiogramu komputerowego jest minimalna wartość intensywności sygnału PSL czyli minimalna wartość stopnia szarości pikseli na ocenianym radiogramie. Dodatkowo norma EN 14784-2 wprowadza wymóg kontrolowania nieostrości obrazu za pomocą wskaźnika IQI typu podwójny pręcik.

W artykule omówiono parametry jakościowe radiogramów komputerowych z perspektywy użytkownika, który ma je prawidłowo wyznaczyć, porównać z wymaganiami i interpretować w kategoriach parametrów stosowanej techniki radiograficznej. Zwrócono uwagę na zjawiska fizyczne i procesy przetwarzania obrazu w systemach CR, które mają decydujący wpływ na wartości tych parametrów. Ograniczono się jedynie do analizy parametrów określających jakość radiogramów produkcyjnych wykonywanych w ramach normalnego użytkowania systemów CR. Parametry funkcjonalne systemów CR wyznaczone w ramach testów klasyfikacyjnych lub nadzoru nad wyposażeniem stanowią osobny temat i nie zostały tutaj uwzględnione.

2. Nieostrość systemu

Nieostrość systemu w rozumieniu normy EN 14784 jest miarą możliwości uwidocznienia na radiogramie komputerowym drobnych szczegółów obrazu tworzonego przez promieniowanie na powierzchni systemu detekcyjnego płyty IP. W tym sensie jest to pojęcie bliskie *nieostrości wewnętrznej* systemu błona-okładki stosowanemu w radiografii konwencjonalnej. Konieczność stosowania takiego parametru w radiografii komputerowej wynika z faktu, że systemy CR oparte na pamięciowych płytach luminoforowych charakteryzują się znacznie większą nieostrością wewnętrzną niż błony radiograficzne. W przypadku tych ostatnich nieostrość wewnętrzna nie jest osobno kontrolowana ponieważ z reguły jest ona mniejsza lub co najwyżej porównywalna z występującą równolegle nieostrością geometryczną.

Podstawową przyczyną zwiększonej nieostrości systemów CR jest rozpraszanie wiązki laserowej w warstwie luminoforowej płyty IP podczas jej odczytu w czytniku CR.

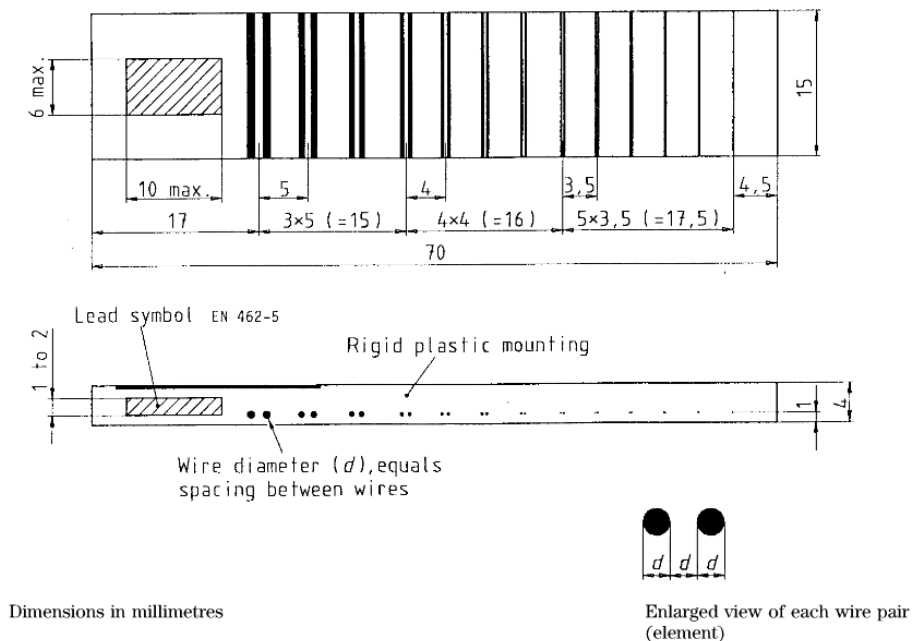


Rys. 1. Rozpraszanie wiązki laserowej w warstwie luminoforu płyty IP.

Warstwa luminoforowa płyty IP składa się z wielu drobnych kryształków $\text{BaFBr}_{0.85}\text{I}_{0.15}:\text{Eu}^{2+}$ rozmieszczonych w sposób przypadkowy w organicznym spoiwie polimerowym. Padając na taki układ światło lasera załamuje się i odbija się w różnych kierunkach oświetlając obszar luminoforu znacznie rozleglejszy niż wynikałoby to z szerokości wiązki lasera. Oznacza to, że wielkość obszaru pobudzonego do fotoluminescencji, z którego odczytywany jest sygnał pojedynczego piksela radiogramu komputerowego jest zdeterminowany przez efekt rozpraszania światła laserowego w warstwie luminoforowej. Redukując ten efekt można zmniejszyć wielkość obszaru stymulowanego i w efekcie zredukować nieostrość związaną z nieprecyzyjnym odczytem obrazu utajonego. Podejście takie zastosowano przy opracowywaniu płyt IP wysokiej rozdzielczości IP-HR. Efekt rozpraszania zredukowano w nich przez zmniejszenie grubości warstwy luminoforowej, zmniejszenie rozmiaru ziaren oraz zastosowanie niebieskiego barwnika dodawanego do spoiwa w celu zwiększenia absorpcji światła czerwonego. W niektórych płytach zastosowano także specjalną warstwę podłożową pochłaniającą światło czerwone ale odbijającą światło niebieskie.

Oprócz podstawowego źródła nieostrości w systemach CR, które związane jest z laserowym odczytem płyty IP istotne znaczenie ma tutaj również zjawisko rozpraszania promieniowania rentgenowskiego w systemie detekcyjnym płyty IP złożonym z kasety, okładek i samej płyty. Zjawisko to, związane z efektem Comptona, nasila się wraz ze wzrostem energii promieniowania padającego na płytę. Dla wysokoenergetycznych źródeł promieniowania takich jak Ir-192 czy Co-60 nieostrość wewnętrzna powodowana rozpraszaniem promieniowania podczas naświetlania płyty IP może znacznie przewyższyć nieostrość występującą przy jej odczycie. Nieostrość tego typu można w pewnym stopniu zredukować przez stosowanie płyt IP-HR z tego względu, że mają one cieńszą warstwę luminoforową niż płyty standardowe.

Nieostrość radiogramów komputerowych należy sprawdzać za pomocą wskaźników IQI typu podwójny pręcik (tzw. *Duplex*) wg EN 462-5. Budowę i podstawowe wymiary wskaźnika typu *Duplex* pokazano na rys. 2.



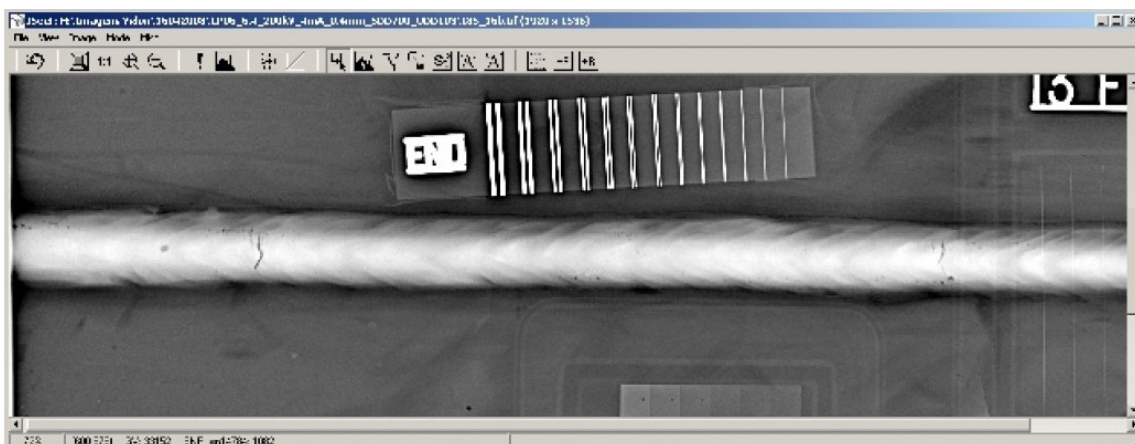
Rys. 2. Budowa i wymiary wskaźnika IQI typu Duplex.

Symbole oraz średnice par pręcików występujących we wskaźniku typu Duplex wraz z wartościami odpowiadających im nieostrości zestawiono w Tabeli. 1.

| Nr wskaźnika | Nieostrość U [mm] | Średnica pręcików d [mm] |
|--------------|-------------------|--------------------------|
| 13D | 0,10 | 0,050 |
| 12D | 0,13 | 0,063 |
| 11D | 0,16 | 0,080 |
| 10D | 0,20 | 0,100 |
| 9D | 0,26 | 0,130 |
| 8D | 0,32 | 0,160 |
| 7D | 0,40 | 0,200 |
| 6D | 0,50 | 0,250 |
| 5D | 0,64 | 0,320 |
| 4D | 0,80 | 0,400 |
| 3D | 1,00 | 0,500 |
| 2D | 1,26 | 0,630 |
| 1D | 1,60 | 0,800 |

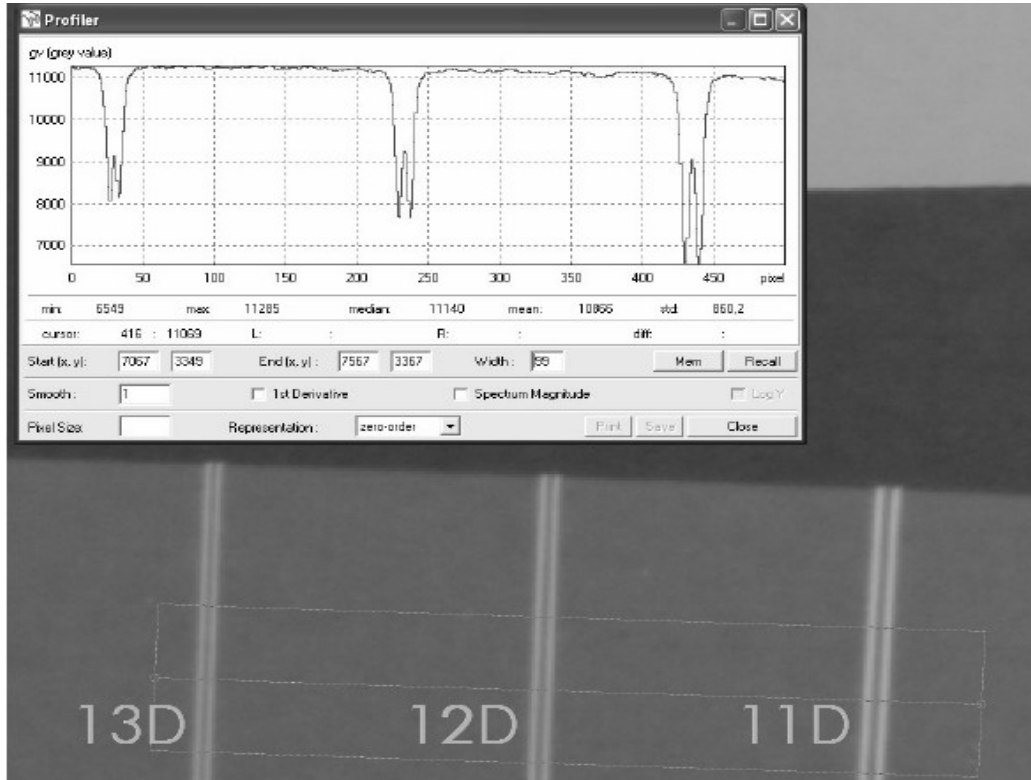
Tab. 1. Powiązanie numerów wskaźników (par pręcików) z ich średnicami oraz odpowiadającymi wartościami nieostrości.

Ze względu na rastrowy sposób skanowania płyty IP w czytniku CR (linia po linii) rozdzielczość radiogramu w kierunku skanowania może być inna niż w kierunku prostopadłym. Z tego względu norma EN 14784-1 dotycząca klasyfikacji systemów CR wymaga aby do kontroli nieostrości stosować dwa wskaźniki typu Duplex, jeden ustawiony pod kątem 5° do kierunku skanowania, drugi pod kątem 5° do kierunku prostopadłego. Jako maksymalną podstawową rozdzielczość przestrzenną systemu należy przyjmować większą z uzyskanych wartości. Norma EN 14784-2 określająca wymagania dla radiogramów produkcyjnych nie wprowadza wyraźnie konieczności stosowania dwóch wskaźników typu Duplex z czego należy wnosić, że w tym przypadku wystarcza zastosowanie jednego wskaźnika. Interpretację taką potwierdzają radiogramy prezentowane w pracach [6], [7], [8] gdzie stosowano jeden wskaźnik typu Duplex umieszczany na materiale rodzimym pod kątem ok. 5° do jednej z osi skanowania.



Rys. 3. Rozmieszczenie wskaźników IQI na radiogramie komputerowym.

Wartość nieostrości określa się jako numer wskaźnika IQI typu podwójny pręcik, który jako pierwszy przestaje być widoczny na radiogramie jako dwa oddzielne pręciki, między którymi spadek intensywności sygnału (dołek intensywności) jest większy niż 20%. Nieostrość wyznacza się specjalnym narzędziem programowym pokazującym profil intensywności sygnału wzdłuż linii zadawanej przez użytkownika. Przykład takiego profilu przebiegającego wzdłuż linii przecinającej 3 ostatnie pary pręcików pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Ocena nieostrości radiogramu komputerowego za pomocą narzędzia wyznaczającego profil intensywności sygnału wzdłuż linii zadawanej przez użytkownika.

Na pokazanym profilu ostatni wskaźnik 13D widoczny jest z rozdzielaniem pręcików przekraczającym 20% co oznacza, że przykładowemu radiogramowi, zgodnie z Tablicą 4 normy EN 14784-2, należy przyporządkować numer wskaźnika IQI typu podwójny pręcik oznaczony symbolem „>13”. Oznacza to, że nieostrość systemu jest mniejsza niż 0,10 mm.

Niezależnie od nieostrości radiogramu ocenianej za pomocą wskaźnika typu Duplex norma EN 14784-2 określa także maksymalne wielkości pikseli jakie należy stosować przy skanowaniu płyt IP w zależności od prześwietlanej grubości oraz energii stosowanego promieniowania. Należy jednak podkreślić, że zastosowanie odpowiedniej wielkości piksela podczas skanowania płyty IP jest warunkiem koniecznym ale niewystarczającym dla uzyskania odpowiednio małej nieostrości.

Jak widać z przedstawionego przykładu pomiar nieostrości radiogramu komputerowego za pomocą odpowiedniego narzędzia programowego jest zadaniem stosunkowo prostym. W celu formalnej oceny zgodności tego parametru z wymaganiami normy EN 14784-2 należy porównać wyznaczoną wartość z wartościami normatywnymi określonymi w Tablicy 4 tej normy. Wartości te zależą od prześwietlanej grubości oraz energii stosowanego promieniowania.

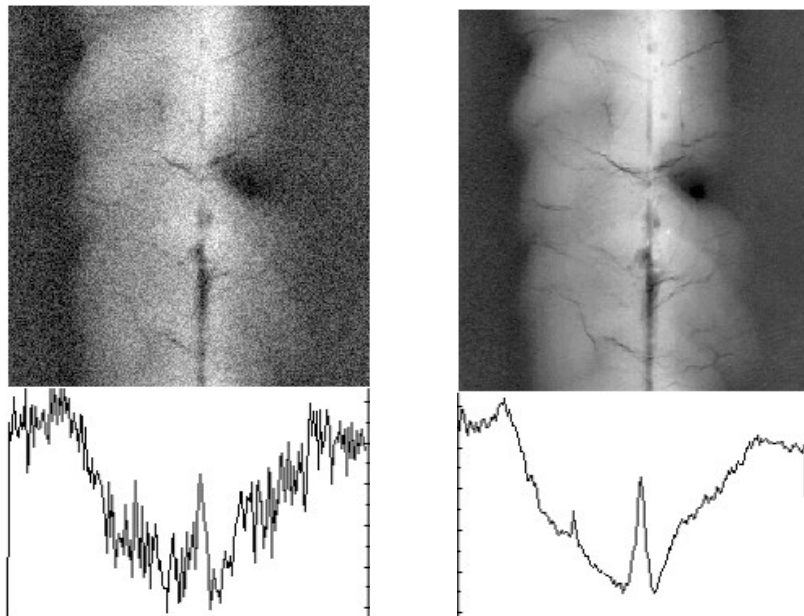
W przypadku nie uzyskania wymaganej wartości tego parametru należy w pierwszym rzędzie przeanalizować takie aspekty techniki radiograficznej jak typ stosowanej płyty IP,

grubość okładek wzmacniających oraz moc i/lub średnicę wiązki laserowej stosowanej do odczytu płyty w skanerze IP.

3. Znormalizowany stosunek sygnał-szum

Norma EN 14784-2 nakłada wymaganie aby każdy radiogram komputerowy miał odpowiednio wysoki SNR czyli znormalizowany stosunek sygnał-szum obrazu cyfrowego. Szczegółowy opis sposobu wyznaczania tego parametru zawarty jest w normie EN 14784-2 natomiast jego interpretację fizyczną oraz związek z wielkością ekspozycji płyty IP omówiono w referacie [4] prezentowanym na jednej z poprzednich KKBR.

Niezależnie od dość złożonej interpretacji fizycznej parametru SNR dla szybkiego uzmysłowienia sobie jego praktycznego znaczenia na rys. 5 pokazano dwa radiogramy komputerowe tego samego odcinka spiny wykonane tym samym systemem CR przy różnych czasach ekspozycji. Radiogram po lewej stronie wykonany został przy krótkim czasie ekspozycji i charakteryzuje się bardzo niskim SNR, natomiast radiogram po prawej naświetlany był wielokrotnie dłużej i wykazuje wysoki SNR.



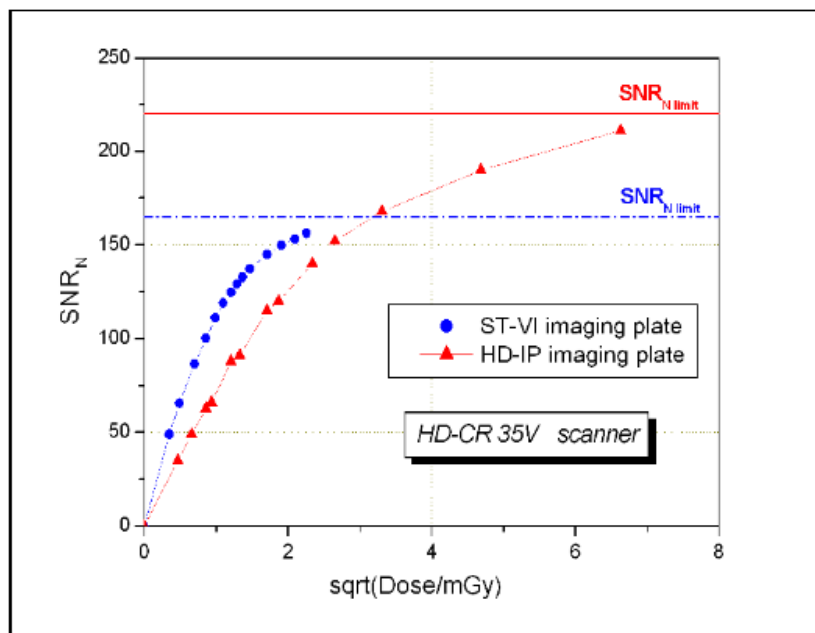
Rys. 5. Dwa radiogramy komputerowe tego samego odcinka spiny różniące się wartościami znormalizowanego stosunku sygnał-szum - SNR.

Jak już zaznaczono podstawowym parametrem, który wpływa na SNR radiogramu komputerowego jest wartość ekspozycji płyty IP lub mówiąc bardziej precyzyjnie wartość dawki promieniowania jaką naświetlono płytę. Jest to związane z rozkładem statystycznym liczby fotonów rejestrowanych na elementarnych obszarach (efektywnych pikselach) płyty IP. Ponieważ rozkład ten staje się coraz bardziej równomierny w miarę wzrostu liczby fotonów rejestrowanych przez płytę wynikający z tego efektu SNR zwiększa się proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z dawki promieniowania.

Drugim ważnym czynnikiem wpływającym na SNR radiogramu komputerowego jest tzw. szum strukturalny powodowany przez niejednorodności warstwy luminoforowej płyty IP (patrz rys. 1). Wynika on z tego, że liczba, wielkość i orientacja kryształków luminoforu znajdujących się w poszczególnych elementarnych obszarach płyty IP nie są jednakowe lecz charakteryzują się pewnym rozrzutem statystycznym. Czym większy rozrzut tym większy szum strukturalny odczytywanego sygnału PSL i w konsekwencji mniejszy SNR

uzyskiwanego obrazu radiograficznego. Stosunek wartości średniej sygnału PSL do wartości szumu strukturalnego zależy jedynie od niejednorodności warstwy luminoforowej płyty i nie zmienia się ze wzrostem napromieniowania płyty. Tym samym nie można go zredukować przez zwiększanie ekspozycji płyty i dla dużych wartości ekspozycji staje się on dominującą składową SNR radiogramu komputerowego.

Typowe zależności znormalizowanego SNR radiogramu komputerowego od dawki promieniowania jakimi naświetlono dwa podstawowe typy płyt IP pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Zależność znormalizowanego SNR radiogramu komputerowego od pierwiastka kwadratowego dawki promieniowania dla dwóch typów płyt IP, standardowej: ST-VI oraz wysokiej rozdzielczości: HD-IP [6].

Pokazane wykresy dobrze ilustrują omówione wcześniej zależności. Widoczne jest, że dla małych dawek promieniowania SNR radiogramu wzrasta proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z dawki jaką naświetlono płytę. Przy dalszym wzroście dawek zależności ulegają stopniowemu nasyceniu osiągając maksymalne wartości graniczne określone przez niejednorodność strukturalną danej płyty. Wartość graniczna SNR dla płyty HD-IP (wysokiej rozdzielczości) jest znacznie wyższa niż dla płyty standardowej (ST-VI). Wskazuje to na lepszą jednorodność warstwy luminoforowej płyty HD co prawdopodobnie jest związane z mniejszą średnicą kryształków luminoforu. Jednocześnie widać również, że płyta standardowa wymaga znacznie mniejszych dawek promieniowania w celu uzyskania określonego SNR niż płyta HD-IP. To z kolei wynika z faktu, że płyty standardowe mają większe grubości warstwy luminoforowej niż płyty HD. Ponadto obecność w warstwie luminoforowej niebieskiego barwnika obniża natężenie światła laserowego stymulującego luminescencję w głębiej położonych obszarach warstwy luminoforowej obniżając tym samym amplitudę sygnału PSL.

Ponieważ wykonywane w praktyce radiogramy komputerowe nie zawsze umożliwiają prawidłowe wyznaczenie parametru SNR (z uwagi na brak równomiernie naświetlonych fragmentów obrazu) norma EN 14784-2 wprowadza pośredni sposób kontroli SNR poprzez pomiar minimalnej intensywności (stopnia szarości) radiogramu komputerowego. Zakłada się przy tym, że producent systemu CR dostarcza użytkownikowi minimalne wartości

intensywności I_{IPx} gwarantujące uzyskanie na radiogramie wartości SNR odpowiadających określonej klasie IP_x . Wymagane minimalne wartości odczytu intensywności oraz odpowiadające im wartości SNR podano w tabeli 2.

| Klasa badania | Minimum odczytu intensywności dla klasy systemu x | Minimum SNR |
|---------------|---|-----------------|
| A | $0,81 I_{IPx}$ | $0,9 SNR_{IPx}$ |
| B | $1,0 I_{IPx}$ | $1,0 SNR_{IPx}$ |

Tab. 2. Minimalne wartości intensywności odczytu oraz odpowiadające im minimalne wartości SNR wymagane w normie EN 14784-2 dla radiogramów komputerowych.

Z przedstawionej tabeli wynika, że dla klasy badania A produkcyjne radiogramy komputerowe mogą charakteryzować się SNR obniżonym o 10% w stosunku do SNR wymaganego dla klasy systemu CR stosowanego w badaniu. W przypadku klasy badania B SNR radiogramów produkcyjnych powinien spełniać wymagania obowiązujące dla stosowanej klasy systemu CR. Klasa systemu CR, którą należy stosować do danego badania jest określona w tabeli 2 normy EN 14784-2 w zależności od rodzaju źródła promieniowania oraz grubości prześwietlanej ścianki.

Metodyka oceny SNR zaproponowana w normie EN 14784-2 opiera się na jednoznacznej zależności między parametrem SNR i intensywnością (stopniem szarości) pikseli radiogramu komputerowego. Należy jednak zauważyć, że zależność taka obowiązuje jedynie dla ściśle określonego systemu CR, na który składa się typ płyty IP, konkretny egzemplarz skanera CR, oraz określone parametry skanowania. Zmiana któregokolwiek z tych elementów, a także np. starzenie się płyt IP lub elementów skanera powoduje konieczność powtórzenia procedury wyznaczania minimalnych intensywności odczytu I_{IPx} opisanej w normie EN 14784-1. Dodatkową komplikacją jest tutaj efekt błędnięcia naświetlonych płyt IP, który powoduje, że płyty odczytywane w warunkach produkcyjnych z opóźnieniem innym niż standardowe 30 min będą wykazywać zaniżone wartości intensywności w stosunku do swojego faktycznego SNR (SNR radiogramu komputerowego jest zdeterminowany czasem ekspozycji płyty nie zaś czasem opóźnienia jego odczytu)

W sumie rozwiązanie zaproponowane w normie EN 14784-2 w celu kontroli parametru SNR jest mało praktyczne a jego stosowanie obarczone dużym ryzykiem błędu. Wydaje się, że autorzy normy zdawali sobie sprawę z ograniczeń opisanego podejścia ponieważ w zakończeniu paragrafu 7.9 znajduje się stwierdzenie cyt. „Jeśli wartości I_{IPx} nie są dostępne, uzyskaną klasę badania można określić za pomocą wartości odczytu zgodnie z EN 462-3 lub EN 462-4”. Ponieważ wartości I_{IPx} są podawane przez producentów systemów CR w bardzo ograniczonym zakresie stosunkowo łatwo spełnić warunek niedostępności odpowiednich wartości I_{IPx} (np. poprzez odpowiedni dobór parametrów skanowania) i obejść konieczność kontroli SNR. Podejście takie jest faktycznie prezentowane przez niektórych specjalistów oraz producentów sprzętu CR. Argumentują oni, że jeśli na radiogramie można dostrzec odpowiednie wskaźniki jakości obrazu IQI to można na nim również dostrzec odpowiednio małe rzeczywiste nieciągłości.

W opinii autora rezygnacja z oceny SNR produkcyjnych radiogramów komputerowych nie jest jednak podejściem prawidłowym. Po pierwsze możliwość dostrzeżenia wskaźnika IQI na radiogramie o niskim stosunku sygnał-szum jest bardzo ułatwiona przez regularny kształt pręcika i jego przewidywalne położenie. Dostrzeżenie a także prawidłowe rozpoznanie drobnego pęknięcia o nieznanym położeniu i nieregularnym kształcie będzie w tych samych warunkach dużo trudniejsze z uwagi na zaszumiane tło, które

utrudnia identyfikację typowych obrazów wad oraz samo tworzy „wirtualne wskazania” złożone z przypadkowych układów pikseli przypominających rzeczywiste wady.

Drugim powodem, dla którego potrzebna jest znajomość SNR wykonywanych radiogramów jest kontrola i korygowanie czasów ekspozycji. Jest to parametr spełniający w tym względzie podobną funkcję jak gęstość optyczna D w radiografii błonowej. Mierząc SNR wykonanego radiogramu i porównując ją z wartością normatywną SNR_{IPx} wymaganą dla danej klasy IPx można łatwo obliczyć prawidłowy czas ekspozycji zgodnie ze wzorem:

$$t_{kor} = t_0 \times \left(\frac{SNR_{IPx}}{SNR} \right)^2 \quad (2)$$

gdzie:

t_0 – początkowy czas ekspozycji, przy którym uzyskano wartość SNR

t_{kor} – skorygowany czas ekspozycji, który powinien zapewnić uzyskanie wymaganej wartości SNR_{IPx}

Biorąc pod uwagę powyższe uwagi można zalecić następujący sposób postępowania w przypadku gdy nie dysponujemy odpowiednimi minimalnymi wartościami intensywności I_{IPx} dostarczonymi przez producenta systemu CR. W większości przypadków program komputerowy stosowany do obsługi skanera CR i oceny radiogramów komputerowych posiada specjalny moduł statystyczny umożliwiający obliczanie wartości średniej oraz odchylenia standardowego intensywności pikseli w wybranym obszarze zainteresowania, tzw. ROI. W wielu przypadkach moduł taki pozwala także obliczyć znormalizowany SNR według procedury statystycznej opisanej w normie EN 14784-1. Kluczowe znaczenie ma jednak to czy moduł statystyczny obliczający SNR dokonuje prawidłowej linearyzacji intensywności pikseli, tak aby SNR obliczany był na podstawie wartości liczbowych proporcjonalnych do natężenia fotostymulowanej luminescencji odczytywanej przez skaner z płyty IP.

Istota problemu polega na tym, że sygnał proporcjonalny do natężenia PSL po wyjściu z fotopowielacza zostaje poddany nieliniowemu przekształceniu (np. logarytmowaniu) tak aby był lepiej dostosowany do wyświetlania na monitorze komputerowym w odcieniach szarości. Oznacza to, że wartości pikseli (stopnie szarości), które odczytujemy na obrazie komputerowym nie są już proporcjonalne do wartości sygnału PSL odczytanego z płyty. Aby spełnić wymaganie normy dotyczące sposobu obliczania SNR należy ponownie doprowadzić wartości liczbowe intensywności do liniowej zależności od PSL. Linearyzacja nie jest zadaniem prostym i zasadniczo może być wykonana jedynie na podstawie specjalnych tabel LUT (Look-Up Tables), które wiążą wartości sygnału oryginalnego i przekształconego. Tabele te nie są zazwyczaj ujawniane przez producentów systemów CR stąd też procedura linearyzacji intensywności odczytu i obliczania na tej podstawie unormowanego SNR może być prawidłowo opracowana jedynie przez producenta systemu CR.

Problem użytkownika polega na tym, że nie ma on możliwości sprawdzenia prawidłowości procesu linearyzacji i w konsekwencji sprawdzenia prawidłowości algorytmu obliczającego SNR. Niestety norma EN 14784-1, która wprowadza wymaganie linearyzacji nie przewiduje żadnych testów pozwalających skontrolować poprawność procedur statystycznych stosowanych do analizy radiogramów komputerowych. W praktyce spotkać można moduły statystyczne programów do analizy radiogramów komputerowych, które dają niezwykle wysokie wartości SNR (rzędu 500 i więcej) dla typowych radiogramów komputerowych wykonywanych na standardowych płytach IP. Są to wartości niewiarygodnie wysokie i prawdopodobnie wynikają z tego, że SNR obliczony został bezpośrednio z wartości pikseli (stopni szarości) wyświetlanych na obrazie bez przeprowadzenia ich linearyzacji. Niewątpliwie jest to istotna luka w unormowaniach dotyczących kwalifikacji i sprawdzania

systemów radiografii komputerowej, która powoduje, że pomiar jednego z podstawowych parametrów radiogramu komputerowego jest obarczony dużą dozą niepewności.

4. Wykrywalność wskaźnikowa

Norma EN 14784-2 wymaga aby jakość obrazu każdego wykonanego radiogramu komputerowego sprawdzana była za pomocą standardowego wskaźnika jakości obrazu IQI typu pręcikowego wg. EN 462-1. Sposób stosowania wskaźnika IQI jest taki sam jak w przypadku radiografii błonowej. Jakość obrazu IQI określa się jako nr najcieńszego pręcika widocznego na radiogramie. Minimalne wartości jakości obrazu IQI jakie należy osiągnąć zależą od grubości prześwietlanej ścianki i geometrii ekspozycji (przez jedną ściankę lub przez dwie ścianki). Odpowiednie wartości normatywne określono w tabelach normy EN 462-3.

Wykrywalność wskaźnikowa IQI jest parametrem uwzględniającym wiele czynników wpływających na jakość obrazu radiograficznego. Zasadniczo zależy ona od bardziej elementarnych parametrów określających jakość radiogramu komputerowego tj. od nieostrości systemu oraz stosunku sygnał-szum. W przypadku gdy wskaźnik IQI umieszczony jest od strony źródła promieniowania na wyznaczaną wykrywalność wskaźnikową wpływa dodatkowo nieostrość geometryczna oraz nieostrość wynikająca z rozpraszania promieniowania w badanym materiale. Efekty te mogą spowodować, że wymagana wykrywalność wskaźnikowa nie zostanie osiągnięta pomimo tego, że nieostrość oraz stosunek sygnał-szum ocenianego radiogramu są prawidłowe.

5. Podsumowanie

W artykule omówiono podstawowe parametry stosowane do oceny jakości radiogramów komputerowych. Przybliżono ich znaczenie fizyczne oraz związki jakie zachodzą między ich wartościami a zjawiskami fizycznymi, na których opiera się radiografia komputerowa. Wskazano podstawowe możliwości i kierunki optymalizacji stosowanych technik radiograficznych w przypadku nie uzyskania parametrów jakościowych radiogramów wymaganych przez odpowiednie normy. Główną uwagę skierowano na problemy praktyczne jakie pojawiają się przy wyznaczaniu parametrów jakościowych radiogramów przez użytkowników systemów CR.

Ocena jakości radiogramów wykonywanych techniką radiografii komputerowej jest generalnie trudniejsza i bardziej złożona niż ocena radiogramów wykonywanych techniką radiografii błonowej. Najtrudniejszym do oceny parametrem jest znormalizowany SNR. Wynika to w dużej mierze, ze złożoności procesu odczytu i przekształcania obrazu utajonego zapisanego w warstwie luminoforowej płyty IP przez system CR. Obecne unormowania dotyczące metodyki wyznaczania tego parametru są mało praktyczne, obarczone dużą dozą niepewności oraz brakiem metod weryfikacji procedury obliczania SNR zaimplementowanej przez producenta systemu CR.

Posiadanie wiarygodnych i efektywnych narzędzi do pomiaru znormalizowanego SNR radiogramów komputerowych jest ważnym elementem nadzoru nad jakością stosowania radiografii komputerowej a także prowadzenia prac mających na celu optymalizację i ulepszanie stosowanych technik radiograficznych. Wydaje się, że problem ten powinien być wzięty pod uwagę przy nowelizacji norm dotyczących radiografii komputerowej.

Literatura

1. PN-EN 14784-1 Badania nieniszczące – Radiografia przemysłowa z użyciem pamięciowych luminoforowych płyt obrazowych Część 1: Klasyfikacja systemów
2. PN-EN 14784-2 Badania nieniszczące – Radiografia przemysłowa z użyciem pamięciowych luminoforowych płyt obrazowych Część 2: Ogólne zasady radiograficznych badań materiałów metalowych za pomocą promieniowania X i gamma
3. ASTM E 2446 Standard Practice for Classification of Computed Radiology Systems
4. S. Mackiewicz, Rola i znaczenie czasu ekspozycji w radiografii komputerowej, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych – Popów 2008
5. S. Mackiewicz, Promieniowanie rozproszone i jego rola w badaniach radiograficznych, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych – Popów 2010
6. M.Thoms, U. Zscherper, U.Evert, Image Quality of High Definition Computed Radiography (HDCR) in NDT, INDE 2007
7. J. Beckmann, U. Zscherper, U.Evert, Image Quality Assessment of CR Systems., ECNDT, Moscow 2010.
8. D. F. Olivera, E.V. Moreira, A.S.S. Silva , J. M.B. Rabello, R.T. Lopes, M.S. Pereira, U. Zscherpel, Application of the Digital Radiography in Weld Inspection of Gas and Oil Pipelines