

Stanisław Bednarz, Bogusław Ładecki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica, Kraków

Badania nieniszczące urządzeń i sprzętu wiertniczego – wybrane przykłady

Wprowadzenie

Trudne warunki terenowe oraz długi okres eksploatacji urządzeń i sprzętu wiertniczego są przyczyną powstawania uszkodzeń – najczęściej o charakterze pęknięć zmęczeniowych, trwałych deformacji lub nadmiernego zużycia ściernego. Specyfika pracy takich urządzeń związana jest zwykle ze znacznymi konsekwencjami finansowymi i zagrożeniem bezpieczeństwa ludzi, a niekiedy również z zagrożeniem dla środowiska naturalnego. W stosowanych wcześniej polskich normach dotyczących wykonywania przeglądów, napraw i konserwacji takich urządzeń brak było dokładniejszych wytycznych odnośnie zakresu oraz sposobu wykonywania badań nieniszczących NDE (*Non-destructive Examinations*). Do początku lat 90. w Polsce badania nieniszczące urządzeń i sprzętu użytkowanego w przemyśle wiertniczym wykonywane były sporadycznie, niekiedy zgodnie z zaleceniami zawartymi we wcześniejszych wersjach amerykańskiej normy API RP 8B.

W niniejszym artykule omówiono przepisy oraz wyniki badań nieniszczących prowadzonych w naszym kraju, na przykładzie wybranych urządzeń i sprzętu wiertniczego.

W Polsce regularne i bardziej kompleksowe badania tego typu zaczęto prowadzić w drugiej połowie lat 90. ub. wieku. W poprzednim okresie badania takie były na ogół wymuszone przez wystąpienie awarii, wypadku, a czasami także przez konieczność dokonania naprawy w warunkach polowych [5]. Złamanie wieży wiertniczej pociągało za sobą m.in. nakaz przeprowadzenia kontroli oraz badań nieniszczących danego typu wież w całym przedsiębiorstwie. Na podstawie przeglądu wypadków, ustalonych przyczyn ich powstania, jak również awarii i uszkodzeń wywołujących zagrożenie bezpieczeństwa pracy, opracowane zostały wówczas odpowiednie wytyczne dotyczące kontroli urządzeń wiertniczych oraz eksploatacyjnych [14].

Wytyczne normowe badań nieniszczących urządzeń i sprzętu wiertniczego

W Polsce wykorzystuje się zwykle normę [9], opartą na normie [1], wydanie szóste z grudnia 1997 r., przy czym w chwili obecnej w USA stosowane jest najnowsze wydanie normy [1] z kwietnia 2005 r. W normie [9] zawarte są dokładne wytyczne odnośnie prowadzenia badań nieniszczących elementów urządzeń i narzędzi wiertniczych – takich jak: wielokrążki, haki, elewatory z klinami i zawieszami, głowice płuczkowe, klucze maszynowe oraz inne elementy urządzeń wiertniczych. Norma wprowadza pojęcie tzw. „obszaru krytycznego”, czyli miejsca o dużej koncentracji naprężeń w elementach przenoszących obciążenia główne, których lokalizacja określona powinna zostać przez wy-

twórcę. Norma narzuca na użytkowników, właścicieli oraz wytwórców urządzeń wspólne opracowanie i uaktualnianie pisemnych procedur wykonywania kontroli, konserwacji, napraw i modernizacji każdego z elementów urządzenia. W przypadku, gdy wytwórca wyposażenia już nie istnieje lub nie jest w stanie sprecyzować odpowiednich zaleceń, stosowne procedury opracowuje użytkownik/właściciel. Personel przeprowadzający badania nieniszczące, posiadający odpowiednie uprawnienia, powinien wykazywać się znajomością budowy i zasad funkcjonowania badanych urządzeń oraz powinien mieć zapewniony dostęp do rysunków, na których pokazano obszary krytyczne, jak

również do kryteriów uzasadniających odrzucenie badanego elementu. W przypadku braku rysunków określających obszary krytyczne, badaniom nieniszczącym należy poddać całą powierzchnię elementów przenoszących obciążenia główne, traktując ją jako obszar krytyczny. Powyższe dane powinny posłużyć do opracowania procedur kontroli NDE. Badania NDE występują czasem pod nazwą Badania NDT (*Nondestructive Testing*).

Norma wyróżnia cztery kategorie kontroli:

- kontrola kategorii I polega na codziennej kontroli wizualnej urządzenia, w celu wykrycia pęknięć, deformacji, przeciążenia, luzów, korozji, zużycia lub innych uszkodzeń,
- kontrola kategorii II polega na uzupełnieniu kontroli kategorii I o badania wizualne powierzchni zewnętrznej, wraz ze sprawdzeniem luzów, smarowania, braku elementów, korozji, koniecznych regulacji oraz występowania innych uszkodzeń,
- kontrola kategorii III polega na uzupełnieniu kontroli kategorii II o przeprowadzenie badań nieniszczących w obszarach krytycznych, wraz z kontrolą zużycia – co może się wiązać z koniecznością przeprowadzenia częściowego demontażu urządzenia,
- kontrola kategorii IV polega na uzupełnieniu kontroli kategorii III o przeprowadzenie badań nieniszczących wszystkich elementów przenoszących obciążenia główne, zgodnie z deklaracją wytwórcy.

Kontrole okresowe należy wykonywać w oparciu o opracowany przez użytkownika/właściciela harmonogram kontroli, oparty na posiadanym doświadczeniu i zaleceniach wytwórcy, uwzględniający następujące czynniki:

- oddziaływanie środowiska,
- wymagania przepisów,
- czas eksploatacji urządzenia,
- wyniki badań,
- analizę historii eksploatacji,
- wykonane naprawy i modernizacje.

Okresowe kontrole można przeprowadzać również w oparciu o tablicę zamieszczoną w normie, przy czym w przypadku kontroli kategorii III i IV, kontrole takie wykonywać należy przed lub po zaplanowanych pracach o znaczeniu krytycznym (takich jak np. zapuszczanie ciężkich kolumn rur okładzinowych, użycie nożyc hydraulicznych, napinanie przychwyconego przewodu, czy też prowadzenie prac w ekstremalnie niskich temperaturach). Norma zawiera również wytyczne odnośnie prowadzenia kontroli elementów po przeprowadzeniu ich rekonstrukcji lub modernizacji. Po regeneracji, elementy poddane temu procesowi zaleca się badać przy wykorzystaniu tych

samych metod NDE oraz procedur badań, które doprowadziły do wykrycia defektów materiałowych. W przypadku elementów przenoszących obciążenia główne, które naprawiano z wykorzystaniem procesu spawania, do wykonania badań nieniszczących wykorzystać należy przynajmniej dwie z następujących metod: metodę MT (*Magnetic Particle Testing*), metodę UT (*Ultrasonic Testing*) lub eksploatacyjną próbę obciążenia, wykonywaną w połączeniu z badaniami NDE. Możliwe jest także zastosowanie innych metod badań NDE – po uzyskaniu aprobaty użytkownika/właściciela oraz wytwórcy.

Obciążenie próbne, polegające na wywarciu obciążenia równego 1,5 obciążenia znamionowego dla danego podzespołu, musi być utrzymane przez czas nie krótszy niż 5 min [9, 12]. Obciążenie to może zostać przyłożone tylko jeden raz po wyprodukowaniu lub regeneracji urządzenia i nie może być traktowane jako zastępujące eksploatacyjną próbę obciążenia, ponieważ każdy cykl obciążenia większego od znamionowego powoduje skumulowanie uszkodzenia zmęczeniowego. W odniesieniu do masztów i wież wiertniczych wykonanie obciążenia próbnego jest pozostawione uzgodnieniom między odbiorcą a dostawcą, przy czym na konstrukcji powinna być umieszczona tabliczka znamionowa z podaną wartością stosunku obciążenia próbnego do obciążenia projektowego [10], lub wykonywana jest próba statycznego obciążenia przy wyżej wymienionym stosunku wynoszącym 1,25 według Dyrektywy Maszynowej 2006/42/WE. Kryteria akceptacji powinny być ustalone na podstawie doświadczenia oraz rekomendacji wytwórcy, przy czym jako wskazania powierzchniowe dopuszczalne traktuje się takie wskazania, których ze względu na rozmiar, kształt i lokalizację nie trzeba usuwać. Wskazania powierzchniowe główne to wskazania, których usunięcie wymaga zeszlifowania materiału w stopniu nieakceptowanym przez wytwórcę i należy je usunąć przez regenerację części, lub część taką należy wyczołfać z eksploatacji.

W przypadku urządzeń starszych oraz niektórych produkowanych obecnie, kryteria akceptacji nie zostały określone przez wytwórcę. W takim przypadku – zarówno dla nowych, jak i regenerowanych elementów oraz urządzeń – dokładniejsze wymagania odnośnie zalecanych metod NDE, a także oceny wskazań znaleźć można w normie [11].

W przemyśle krajowym mają zastosowanie wytyczne wykonywania kontroli i badań [14], które nawiązują do powyższych norm. Są one efektem modyfikacji poprzednich wydań instrukcji i wyróżniają następujące klasy kontroli:

- A – kontrola wizualna; kontrolę należy przeprowadzić nieuzbrojonym okiem lub przy użyciu lupy powiększa-

- jącej co najmniej dwukrotnie. Sprawdzana powierzchnia powinna być oczyszczona i dobrze oświetlona,
- B – kontrola pomiarowa; kontrolę należy przeprowadzić przy zastosowaniu przyrządów pomiarowych (lub odpowiednich sprawdzianów) zapewniających wymaganą dokładność. Kontrolą taką ocenia się wielkość zużycia, geometrię, wartość parametrów eksploatacyjnych, itp.,
 - C – badania nieniszczące; badania należy przeprowadzić takimi metodami, których wyniki będą najbardziej miarodajne dla osiągnięcia celu badania,

- D – kontrola zgodna z instrukcjami eksploatacji, normami i innymi obowiązującymi przepisami,
 - E – próba funkcjonalności, skuteczności działania, itp.
- Częstotliwość wykonywania, rodzaj kontroli i osoby dokonujące ich określone są w odpowiednim harmonogramie kontroli. Odwołanie się do zaleceń norm w procedurach oraz instrukcjach przyjętych w przedsiębiorstwach wiertniczych i serwisowych stwarza warunki poprawy eksploatacji tych urządzeń, a także zwiększa bezpieczeństwo pracy.

Wybrane wyniki badań NDE urządzeń i sprzętu wiertniczego

Wybrane wyniki badań NDE wykonywanych cyklicznie dla elewatorów i głowic płuczkowych w okresie od 2003 r. do 2009 r. zestawiono w tablicach 1 i 2 [6, 12], a przykładowe pęknięcia wykryte dla elewatorów i głowic płuczkowych zilustrowano na rysunkach 1 i 2.

Analiza wyników badań nieniszczących zestawionych w tablicach 1 i 2 wskazuje, że np. w przypadku elewatorów, w perspektywie 6 lat badań, liczba wykrywanych początkowo uszkodzeń zmalała ponad dwukrotnie, by ustabilizować się na stałym poziomie ok. 11%, przy dużej różnorodności obszarów wykrywania pęknięć. W przypadku badań nieniszczących głowic płuczkowych trudno wskazać jakiś trend, jeśli chodzi o nasilenie wykrywanych

uszkodzeń, przy czym wykrywane pęknięcia były najczęściej drobne i możliwe do naprawy z wykorzystaniem procesu spawania.

Prowadzone z większą intensywnością w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku kontrole oraz badania masztów i wież wiertniczych ujawniły występowanie licznych uszkodzeń elementów konstrukcyjnych – m.in. wież WB53 [5] oraz wielu masztów pozyskanych „z drugiej ręki” (importowanych z zamiarem wprowadzenia do eksploatacji) – często urządzenia te miały historię budzącą wątpliwości [2]. W przypadku wprowadzania takich urządzeń do eksploatacji w firmach krajowych wymagały one napraw – niekiedy o dość dużym zakresie. W niektó-

Tablica 1. Wyniki badań nieniszczących elewatorów

Rok	Liczba		Uszkodzenia [%]	Liczba wykrytych pęknięć				
	zbadanych	złomowanych		zawiesie	zamek	zawias	rączka	powierzchnia czołowa
2003	57	14	24,6	-	-	-	-	-
2004	77	22	28,6	2	3	7	6	9
2005	9	1	11,1	0	1	0	3	0
2006	70	7	10,0	2	1	1	2	1
2007	66	7	10,6	0	2	1	1	4
2008	67	7	10,5	2	2	3	2	1

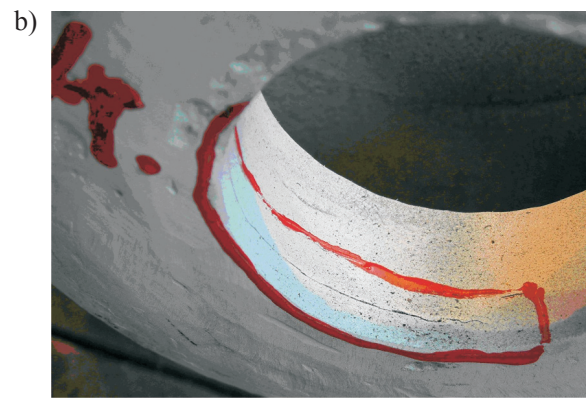
Tablica 2. Wyniki badań nieniszczących głowic płuczkowych

Rok	Liczba			Uszkodzonych [%]
	zbadanych	naprawianych*	złomowanych	
2004	5	2	-	40,0
2006	6	-	1	16,7
2007	4	1	-	25,0
2008	4	2	-	50,0
2009	2	1	-	50,0

* – drobne uszkodzenia, zwykle możliwe do naprawy z wykorzystaniem procesu spawania

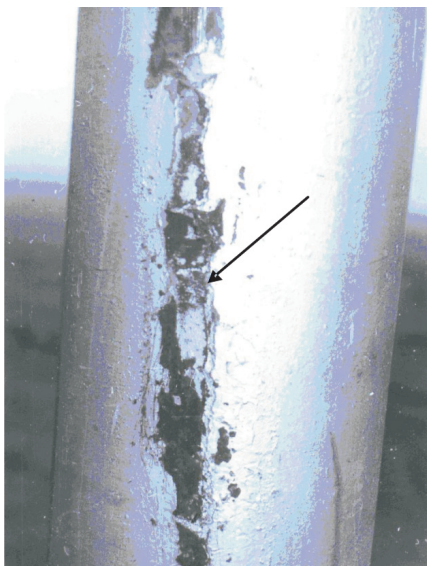


Rys. 1. Pęknięcia wykryte w elewatorach: a) dwa pęknięcia zawiasu, b) pęknięcie rączki



Rys. 2. Pęknięcia wykryte w głowicach płuczkowych: a) dwa pęknięcia kabłąka, b) pęknięcie korpusu

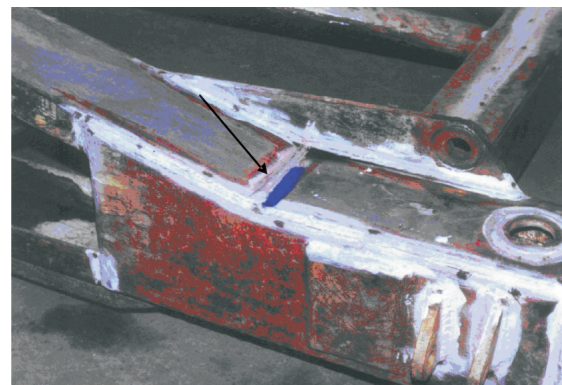
rych przypadkach konieczność przeprowadzenia badań NDE spowodowana była poważnym uszkodzeniem, które uniemożliwiało eksploatację i wówczas wymagany był remont takiej konstrukcji. Przykłady wykrytych uszkodzeń podano na rysunkach 3, 4, 5, 6 i 7. Wdrożenie wyników badań NDE pozwoliło istotnie zmniejszyć zagrożenia dla bezpieczeństwa pracy tych urządzeń.



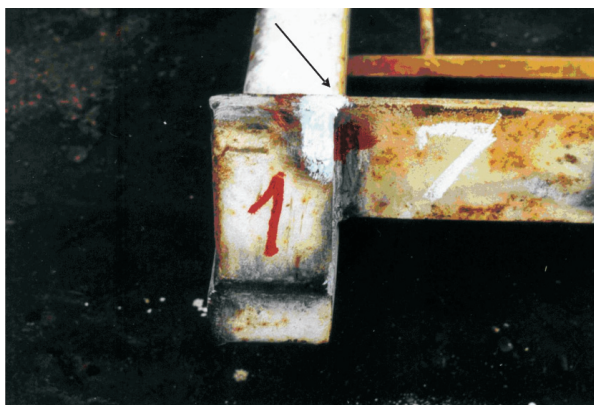
Rys. 3. Zawałcowanie rury narożnika wieży WB53



Rys. 4. Pęknięcie spiny zastrzału i poprzeczki masztu wiertnicy N12



Rys. 5. Pęknięcie spiny w stopie masztu wiertnicy N12



Rys. 6. Pęknięcie spiny poprzeczki i narożnika masztu Skytop Brewster N4A



Rys. 7. Pęknięcie spiny narożnika i zastrzału masztu Skytop Brewster N4A

Wytyczne normowe NDE dla wież i masztów wiertniczych

W przypadku konstrukcji wież i masztów, przy ich projektowaniu oraz wykonaniu mają zastosowanie normy: [7, 8, 10]. Normy te zawierają dokładne wytyczne odnośnie projektowania takich konstrukcji w zależności od przyjętej klasy niezawodności, a także wytyczne odbiorcze, wraz z dokładnymi zaleceniami odnośnie tolerancji wymiarowych oraz doboru metod i zakresu badań nieniszczących. Cytowane normy nie zawierają wytycznych odnośnie terminów i zakresu prowadzenia badań eksploatacyjnych takich obiektów – pozostawione jest to do ujęcia w odpowiednich instrukcjach [15]. Dla nowych obiektów opracowywane są instrukcje eksploatacji – dostarczane przez dostawców, jednak dla obiektów starszych instrukcje takie są zwykle trudnodostępne.

Jednym z krajowych aktów prawnych formułujących wymagania eksploatacyjne jest prawo budowlane, które dla rozważanych obiektów wymaga przeprowadzania ich przeglądów nie rzadziej niż raz na 5 lat, jednak nie precyzuje ono wymagań odnośnie konieczności wykonywania NDE obiektów. W odpowiednich przepisach branżowych [15] przemysłu naftowego określono konieczność wykonywania kontroli specjalnej po dziesięciu latach eksploatacji – powinna jej także towarzyszyć konieczność wykonania badania NDE. Zebrane przez autorów wyniki badań wskazują na występowanie – w dłuższym okresie eksploatacji – różnych, istotnych uszkodzeń rozważanych obiektów, których identyfikacja bez zastosowania NDE jest zwykle niemożliwa.

Podsumowanie

Opublikowane w grudniu 2002 r. normy [9, 11] zawierają dokładne wytyczne odnośnie metod, metodyki oraz kryteriów oceny wskazań badań nieniszczących wykonywanych dla urządzeń i sprzętu wiertniczego. W przypadku urządzeń starszych i dla niektórych urządzeń produkowanych obecnie nie zostały określone przez wytwórcę obszary krytyczne – co stanowi istotną przeszkodę w optymalizacji zakresu, a zatem czasu i kosztów wykonywania badań nieniszczących dla kontroli specjalnej lub kontroli kategorii III i IV. Zestawione wyniki badań nieniszczących wykonanych dla wybranych elementów urządzeń i sprzętu wiertniczego wskazują, że dla przeprowadzonej liczby i okresu badań nie jest możliwe określenie dokładniejszych trendów odnośnie nasilenia oraz rodzaju wykrywanych uszkodzeń, jednak wyniki zebrane dla reprezentatywnej liczby badań nieniszczących mogą stanowić istotną po-

moc w określeniu obszarów krytycznych rozważanych elementów. Taka baza danych stanowić może podstawę do doskonalenia procedur badań NDE – nie tylko dla urządzeń eksploatowanych w długiej perspektywie czasowej, bez odpowiedniej dokumentacji producenta.

W przypadku konstrukcji wież i masztów, stosowanie się do obowiązujących przepisów i norm technicznych jest warunkiem wstępnym ograniczenia zagrożeń wynikających z eksploatacji takich – wysoce obciążonych – układów maszynowych. Podwyższenie bezpieczeństwa eksploatacji wiąże się z koniecznością opracowania dokładnych wytycznych odnośnie niezbędnego zakresu oraz terminów prowadzenia przeglądów eksploatacyjnych i badań takich obiektów.

W celu ułatwienia gromadzenia oraz dostępu do informacji proponuje się tworzenie diagnostycznych baz danych,

związanych z eksploatacją różnych elementów określonych typów urządzeń i sprzętu wiertniczego, które powinny być pomocne w definiowaniu obszarów krytycznych, wydawaniu decyzji o ich stanie technicznym (poprzez porównanie z obowiązującymi kryteriami akceptacji), tworzeniu rapor-

tów, statystyk oraz wizualizacji danych i trendów analizowanych obiektów. Optymalnym miejscem tworzenia takich baz danych wydaje się być Internet – wraz z zapewnieniem do nich dostępu zespołom badawczym, służbom nadzoru eksploatacyjnego, a także producentom urządzeń.

Artykuł nadesłano do Redakcji 8.06.2011 r. Zatwierdzono do druku 29.06.2011 r.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Józef Raczkowski

Literatura

- [1] API RP 8B *Recommended Practice for Procedures for Inspection, Maintenance, Repair and Remanufacture of Hoisting Equipment*.
- [2] Artymiuk J., Bednarz S.: *Analiza zdolności eksploatacyjnej urządzenia wiertniczego Brewster N-4A*. AGH, WVNIG, prace niepublikowane, Kraków 1998.
- [3] Bednarz S., Artymiuk J.: *Assurance of safety of drilling and production machinery*. W: New knowledge in sphere of drilling, production, transport and gas storage: 10th International Scientific and Technical Conference: October 5th–7th, 1999, Podbanské, Slovakia: Conference contributions.
- [4] Bednarz S., Sołtysik A.: *Problemy oceny stanu technicznego i eksploatacji wież i masztów wiertniczych*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe Metody i Technologie w Geologii naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji i Gazownictwie”, Kraków 1996.
- [5] Bednarz S., Tasak E.: *Badania uszkodzenia i opracowanie wytycznych naprawy wieży WB 53 na wiertni Warys 5*. AGH, WVNIG, prace niepublikowane, Kraków 1994.
- [6] Ładecki B.: *Badania nieniszczące elementów urządzenia wiertniczego BAUER BBA 901*. Praca nr 30.30.130.857 – niepublikowana, AGH, KWMiK, Kraków 2006.
- [7] PN-B-06200 *Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe*, grudzień 2002.
- [8] PN-EN 1993-3-1 *Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-1: Wieże, maszty i kominy. Wieże i maszty*, listopad 2008.
- [9] PN-EN ISO 13534 *Przemysł naftowy i gazowniczy. Sprzęt do wierceń i eksploatacji. Kontrola, konserwacja, naprawy oraz modernizacja urządzeń wyciągowych*, grudzień 2002.
- [10] PN-EN ISO 13535 *Przemysł naftowy i gazowniczy. Sprzęt do wierceń i eksploatacji. Osprzęt urządzeń wyciągowych*, grudzień 2002.
- [11] PN-EN ISO 13626 *Przemysł naftowy i gazowniczy. Wyposażenie do wierceń i eksploatacji. Konstrukcje wiertnicze oraz konstrukcje do obsługi otworów*, grudzień 2006.
- [12] PN-EN ISO 14693:2006 *Przemysł naftowy i gazowniczy. Sprzęt do wierceń i obsługi odwiertów*.
- [13] Sołtysik A., Bednarz S., Bernasik J., Razowski A.: *Ocena stanu technicznego i zdolności eksploatacyjnej masztu urządzenia wiertniczego N-12*. AGH, WVNIG, prace niepublikowane, Kraków 1995.
- [14] Wyniki badań defektoskopowych wykonywanych dla elementów urządzeń i narzędzi wiertniczych przez SERW-NAFT, Kraków. Serwis i Defektoskopia Sprzętu Wiertniczego Sp. z o.o., Kraków 2003–2009.
- [15] Wytyczne kontroli urządzeń i sprzętu wiertniczego. Załącznik nr 4 do Uchwały nr 624/2007 Zarządu PGNiG w Warszawie z dnia 4 września 2007 r.
- [16] Wytyczne przeprowadzania okresowych kontroli urządzeń wiertniczych, przeciwerupcyjnego zabezpieczenia wylotu otworu, urządzeń do prób złożowych, rekonstrukcji i obróbki odwiertów oraz urządzeń do eksploatacji węglowodorów. PGNiG, Warszawa, 1995.



Dr inż. Stanisław BEDNARZ – pracownik naukowy na Wydziale Wiertnictwa Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Autor wielu opracowań naukowo-badawczych i ekspertyz z zakresu budowy oraz eksploatacji urządzeń wiertniczych i eksploatacyjnych. Autor i współautor kilkudziesięciu publikacji naukowych oraz jedenastu patentów.



Dr inż. Bogusław ŁADECCKI – pracownik naukowy Katedry Wytrzymałości, Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Zainteresowania naukowe: wytrzymałość, zmęczenie, badania mechaniczne oraz badania nieniszczące materiałów i konstrukcji. Rzeczoznawca SIMP oraz WIIH w Krakowie.