

MONITOROWANIE WYBRANYCH PARAMETRÓW URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

Nowe rozwiązania Centralnego Laboratorium Dozoru Technicznego



Mateusz Wróbel

Starszy Specjalista ds. Rozwoju Badań Laboratoryjnych, Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego



Marek Nowak

Ekspert ds. Badań, Dział Badań Laboratoryjnych w Krakowie



Radosław Karczewski

Starszy Specjalista ds. Rozwoju Badań Laboratoryjnych, Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego

Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego (CLDT) stale poszerza swoją ofertę badawczą skierowaną do klientów z różnych gałęzi przemysłu. Zakres dostępnych usług obejmuje szerokie spektrum działań, m.in. badania nieniszczące, badania wytrzymałościowe, badania chemiczne, badania akustyczne i pomiaru drgań, badania elektryczne i elektroniczne oraz badania kompatybilności elektromagnetycznej. Przykładem nowej usługi CLDT, która zyskuje coraz większe zainteresowanie wśród przedsiębiorców, jest monitorowanie wybranych parametrów urządzeń technicznych.

CENTRALNE LABORATORIUM DOZURU TECHNICZNEGO – PIERWSZE W POLSCE AKREDYTOWANE LABORATORIUM BADAWCZE

Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego jest jednostką badawczo-ekspertką Urzędu Dozoru Technicznego (UDT). Podstawowym zadaniem personelu CLDT jest wspieranie inspektorów UDT w podejmowaniu decyzji zezwalających na eksploatację urządzeń podlegających dozorowi technicznemu. Badania i pomiary wykonywane są zarówno na etapie wytwarzania, jak i podczas eksploatacji urządzeń technicznych. Z usług tej jednostki UDT korzystają również użytkownicy urządzeń i maszyn, które nie zostały objęte dozorem technicznym na mocy ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym.

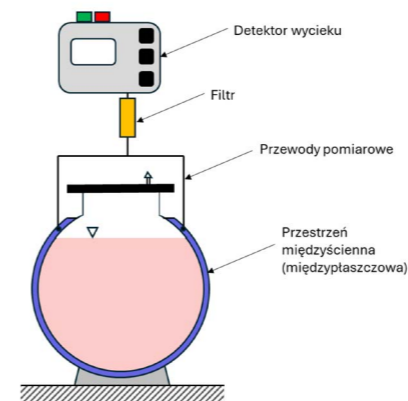
Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego to pierwsze w Polsce akredytowane laboratorium badawcze. Certyfikat akredytacji nr AB 001 wydany przez Polskie Centrum Akredytacji stanowi potwierdzenie spełnienia wysokich standardów opisanych w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”. CLDT to obecnie sieć 10 jednostek laboratoryjnych rozmieszczonych we wszystkich oddziałach Urzędu Dozoru Technicznego.

SYSTEMY MONITOROWANIA I ICH ZNACZENIE W PRAKTYCE PRZEMYSŁOWEJ

Zgodnie z definicją zawartą w słowniku języka polskiego, monitorowanie to „stała obserwacja i kontrola jakichś procesów lub zjawisk” [1].

Różne systemy monitorowania są wykorzystywane powszechnie w wielu urządzeniach i instalacjach przemysłowych. Istnieją wymagania prawne, które nakazują, aby określone rodzaje urządzeń były wyposażone w systemy monitorowania. Jako przykład mogą posłużyć zapisy zawarte w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 18 września 2001 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych* (Dz.U. 2001 nr 113 poz. 1211).

W § 10 ust. 1 i ust. 2 wskazano na konieczność wyposażenia zbiorników magazynowych „w urządzenie sygnalizujące powstanie wycieku”. Urządzeniami tymi mogą być: „system monitorowania przestrzeni międzydennej w zbiornikach naziemnych o osi pionowej” i „system monitorowania przestrzeni międzysciennej w zbiornikach podziemnych i naziemnych o osi poziomej”. Schemat tego typu systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykład prostego systemu do monitorowania szczelności zbiorników magazynowych o osi poziomej

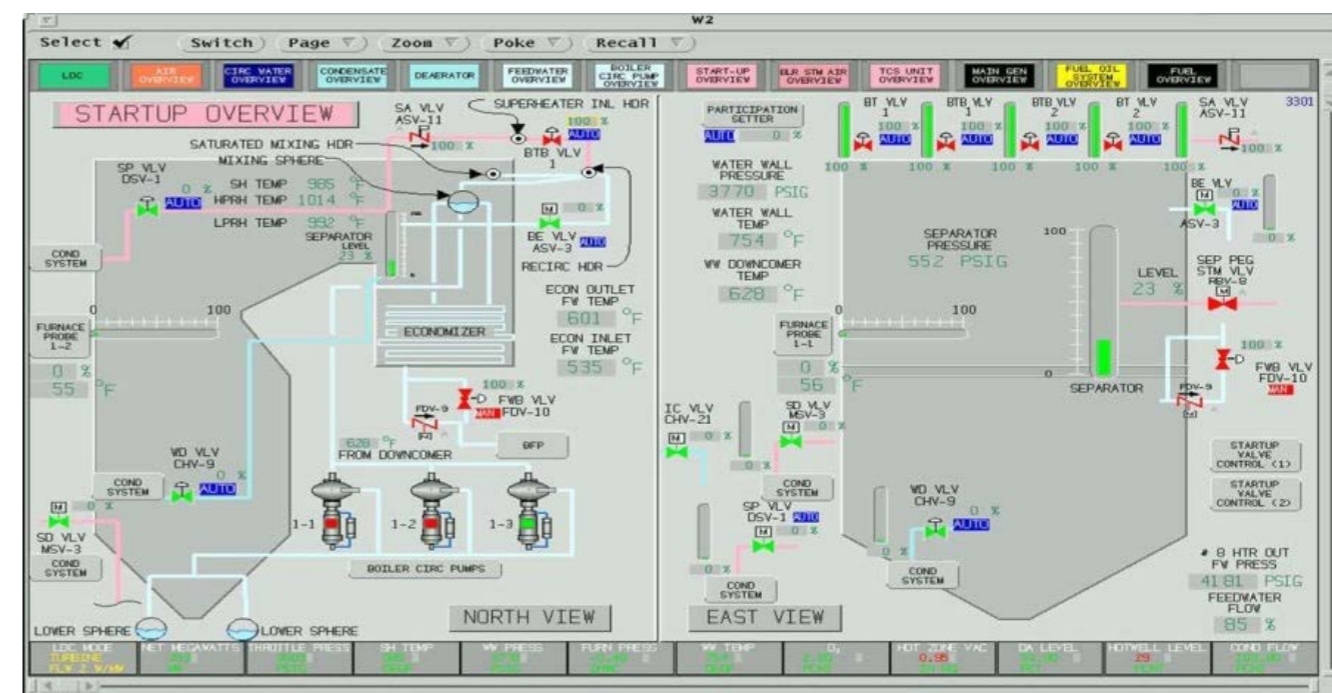
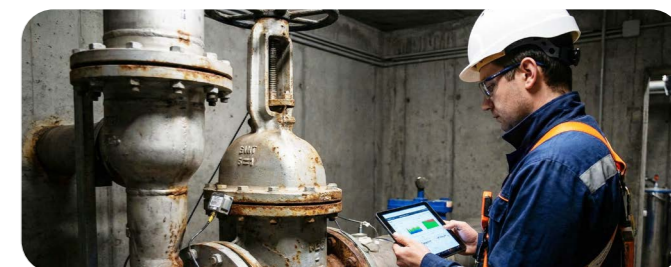
Systemy monitorowania w przemyśle wykorzystuje się przede wszystkim do obserwacji i kontroli parametrów eksploatacyjnych, np. temperatury, ciśnienia, szybkości przepływu i składu medium roboczego. Systemy te mogą stanowić jeden z elementów składowych rozproszonych systemów sterowania (DCS – ang. *Distributed Control System*), które pozwalają na sterowanie i wizualizację procesów. Przykładowy panel kontrolny DCS prezentujący informacje dotyczące monitorowanych wskaźników przedstawiono na rysunku 2.

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW MONITOROWANIA PRZEZ CENTRALNE LABORATORIUM DOZURU TECHNICZNEGO

Głównym zadaniem systemów monitorowania stosowanych przez CLDT jest rejestrowanie i przetwarzanie danych, które są następnie wykorzystywane do oceny stanu technicznego pojedynczego urządzenia, grupy urządzeń lub całej instalacji. Stanowi to istotną różnicę w stosunku do systemów monitorowania stosowanych przez służby utrzymania ruchu, zaprojektowanych pod kątem kontroli i sterowania parametrami procesowymi.

W jakich sytuacjach eksperci Centralnego Laboratorium Dozoru Technicznego stosują systemy monitorowania?

Dobrym przykładem jest monitorowanie elementów infrastruktury krytycznej, w których podczas eksploatacji wykryto istotne uszkodzenia. Gdy natychmiastowa wymiana i/lub naprawa zaworów, luków czy też złączy spawanych jest niemożliwa do zrealizowania, to należy taki komponent monitorować [2].



Rys. 2. Przykład panelu DCS

Brak możliwości natychmiastowej naprawy wynika z różnorodnych czynników, do których można zaliczyć:

- brak dostępności części zamiennych,
- długi okres oczekiwania na dostawę i wymianę uszkodzonych elementów,
- skomplikowany i trudny do wykonania proces naprawy,
- brak możliwości wstrzymania pracy danej instalacji, szczególnie w obiektach instalacji procesowych w branży chemicznej i petrochemicznej oraz energetyce.

Sam fakt wykrycia danego rodzaju uszkodzenia w obiekcie, np. pęknięcia, nie musi być równoznaczny z natychmiastową awarią tego elementu w przypadku ponownego włączenia do eksploatacji. Istotne są bowiem takie czynniki jak:

- charakter uszkodzenia: uszkodzenie może nie wykazywać tendencji do dalszego rozwoju (uszkodzenia nieaktywne) lub też posiadać skłonność do zwiększania swoich rozmiarów (uszkodzenia aktywne),
- wielkość uszkodzenia: do katastroficznego uszkodzenia danego materiału dochodzi w przypadku osiągnięcia określonego wymiaru (wielkości) uszkodzenia,
- charakter działających naprężeń: nagły wzrost naprężeń i/lub oddziaływanie dodatkowych obciążeń mogą prowadzić do utraty integralności danej konstrukcji.

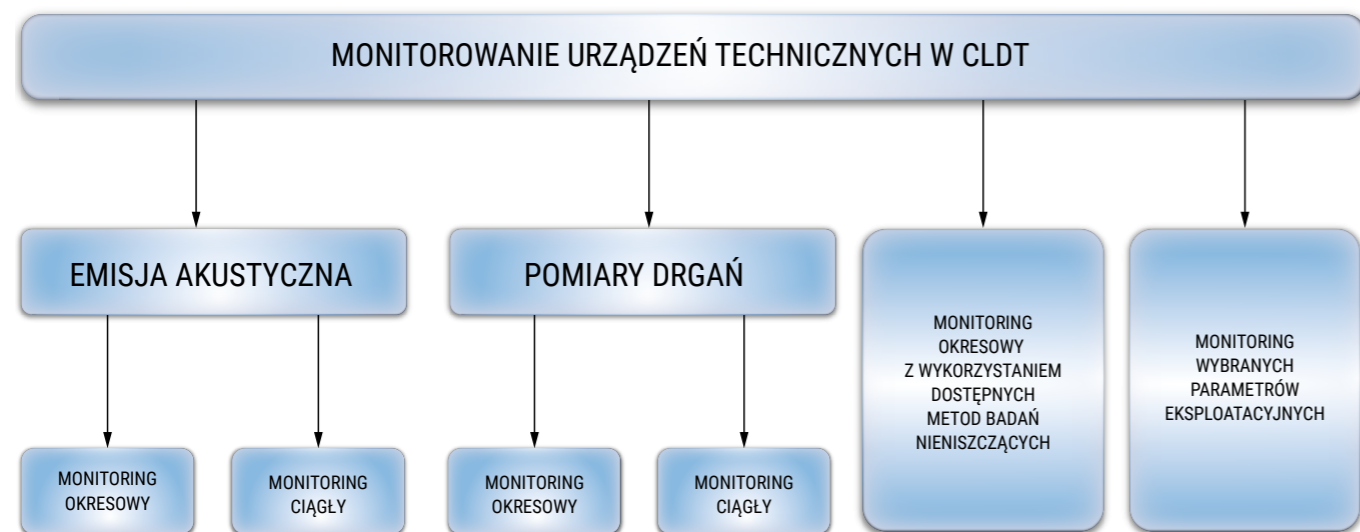
Zagadnienia związane z oceną uszkodzeń wykrytych podczas eksploatacji stanowią obszar zainteresowania inżynierów na całym świecie.

Tematyka ta została szczegółowo opisana w takich dokumentach jak:

- API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service,
- BS 7910 Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.

Jednym z zaleceń zawartych w wyżej wymienionych dokumentach jest konieczność monitorowania wielkości wykrytych uszkodzeń.

Dzięki dostępnym systemom monitorowania możliwe stają się:



Rys. 3. Podział wykorzystywanych przez CLDT systemów monitorowania

- rejestracja zmian wynikających ze zmiany wielkości danego uszkodzenia,
- rejestracja zmian wynikających ze zmiany wartości działających naprężeń,
- szybsze podejmowanie decyzji o wyłączeniu danego urządzenia z eksploatacji lub obniżeniu jego parametrów eksploatacyjnych w celu zapobieżenia wystąpienia awarii.

Innym przykładem aplikacji systemów monitorowania wykorzystywanych przez Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego jest diagnostyka drganiowa. Układy wyposażone w elementy wirujące, np. pompy czy też rurociągi, są narażone na działanie zbyt dużych wibracji. Błędnie wykonany projekt instalacji, niewłaściwe wykonanie podpór oraz zawieszzeń mogą prowadzić do zbyt dużych drgań, a w konsekwencji do przedwczesnego uszkodzenia wybranych komponentów. Dzięki dostępnym sposobom monitorowania możliwa jest długookresowa analiza wibracji, która pozwala na wskazanie newralgicznych obszarów, które mogą wymagać wymiany, naprawy lub przebudowy. Możliwe są również doraźne, cykliczne pomiary drgań umożliwiające monitorowanie stanu zużycia niektórych elementów konstrukcyjnych w dłuższych czasookresach kontroli.

Najczęściej stosowane systemy monitorowania wykorzystywane przez CLDT dają możliwość analizy wyników online, a – poprzez ustawienie odpowiednich kryteriów – możliwe jest generowanie alertów sygnalizujących np. wystąpienie zbyt wysokich wartości określonej danej pomiarowej. Co istotne, dane pomiarowe rejestrowane za pomocą czujników zainstalowanych bezpośrednio na obiekcie są zbierane, przesyłane i rejestrowane na wewnętrznym i zabezpieczonym serwerze Urzędu Dozoru Technicznego. Takie rozwiązanie jest istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa informacji.

RODZAJE SYSTEMÓW MONITOROWANIA WYKORZYSTYWANE PRZEZ CENTRALNE LABORATORIUM DOZURU TECHNICZNEGO

Aktualnie CLDT wykorzystuje kilka systemów monitorowania. Podział dostępnych rozwiązań przedstawiono na rysunku 3.

Dobór konkretnego systemu monitorowania lub ich kombinacji wymaga indywidualnego podejścia i szczegółowej charakterystyki danego zagadnienia. W zależności od dynamiki zmian możliwe jest stosowanie monitoringu ciągłego lub monitoringu okresowego.

Monitoring ciągły

Monitoring ciągły definiuje się jako długotrwały, liczony w miesiącach lub nawet latach, pomiar i rejestrację określonych parametrów. Ten rodzaj monitoringu jest wskazany do stosowania w najbardziej newralgicznych przypadkach, w których nagła zmiana jakiegoś czynnika może prowadzić do wystąpienia awarii.

Monitoring okresowy

Monitoring okresowy to z kolei zwiększona częstość wykonywania określonych badań i pomiarów. Standardowe badania diagnostyczne przeprowadza się zazwyczaj w okresie postojów remontowych lub podczas badań technicznych (tzw. inspekcji), które są realizowane, np. co kilka lat. Istnieją sytuacje, w których wskazane jest przeprowadzanie dodatkowych kontroli co kilka tygodni lub kilka miesięcy.

MONITOROWANIE Z WYKORZYSTANIEM METODY EMISJI AKUSTYCZNEJ (AE)

Emisja akustyczna to metoda badawcza, która często znajduje zastosowanie do monitorowania stanu technicznego konstrukcji. Rozwój uszkodzeń i związane z nimi zjawiska, np. generowanie, a następnie propagacja fal sprężystych, mogą być wykrywane przez czujniki piezoelektryczne. Istotną zaletą badań metodą emisji akustycznej jest fakt, iż czujniki rejestrują zdarzenia mające swoje źródło nie tylko w strefie montażu czujnika, ale i poza nią. Dzięki wykorzystaniu odpowiedniej liczby czujników możliwa jest dokładana lokalizacja miejsca generowania tych fal (miejsca uszkodzenia).

System do monitorowania z wykorzystaniem metody emisji akustycznej składa się z czujników AE, autonomicznego systemu pomiarowego wraz z komputerem przemysłowym, modułu do przesyłu danych oraz pozostałych elementów, tj. przewodów łączących, uchwytów montażowych itp. Dostępne wyposażenie pozwala na prowadzenie pomiarów również w warunkach podwyższonej temperatury, a także w strefach zagrożenia wybuchem (dyrektywa ATEX). Układ pomiarowy może być dodatkowo wyposażony w mobilną stację pogodową, która pozwala na skorelowanie sygnałów emisji akustycznej z ewentualnymi zjawiskami pogodowymi. Przykład elementów systemu monitorowania wykorzystującego metodę emisji akustycznej przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. a) Układ monitorujący z czujnikami emisji akustycznej zamontowanymi na jednym z urządzeń, b) szafa z systemem pomiarowym oraz stacja pogodowa

Podczas realizacji pomiarów przy monitoringu okresowym dane pomiarowe mogą być analizowane przez personel bezpośrednio w trakcie prowadzenia badania. Ciągłe badanie monitorujące wymaga użycia specjalistycznego oprogramowania, które pozwala na autonomiczne działanie systemu oraz przesyłu danych i ich późniejszą wizualizację przez ekspertów Centralnego Laboratorium Dozoru Technicznego. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykładowa wizualizacja danych pomiarowych z badań monitorujących

Monitorowanie z wykorzystaniem metody emisji akustycznej znajduje zastosowanie w następujących grupach urządzeń:

- zbiorniki magazynowe o osi pionowej (dna i płaszcze zbiorników),
- urządzenia ciśnieniowe (zbiorniki, reaktory, kolumny, rurociągi technologiczne itp.),
- inne konstrukcje, np. mosty stalowe, zasusy i zawory.

POMIARY DRGAŃ

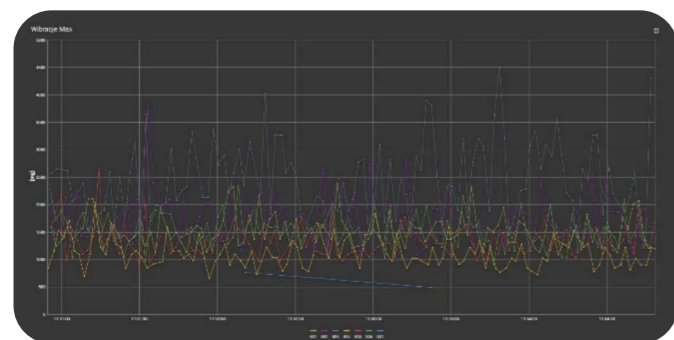
Mówiąc o pomiarze drgań, warto podkreślić, że pomiarom poddawane są drgania mechaniczne. Tak jak wspomniano wcześniej, działanie zbyt dużych drgań może oddziaływać niekorzystnie na urządzenia wirujące, obiekty znajdujące się w ich sąsiedztwie czy rurociągi. Monitoring drgań wykorzystywany przez CLDT realizowany jest za pomocą specjalnych czujników do pomiaru drgań lub szybkoobrotowej kamery wzmacniającej ruch i drgania.

Bezprzewodowe czujniki do pomiaru drgań

Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego posiada bezprzewodowe czujniki do pomiaru drgań i temperatury. Czujniki te są przystosowane do pracy w strefach zagrożonych wybuchem. Dopuszczalny zakres temperatury ich pracy wynosi od -55°C do 80°C. Czujniki te są stosowane do monitoringu ciągłego oraz okresowego. Dzięki pomiarom możliwe jest wskazanie newralgicznych elementów konstrukcji, które poddawane są działaniu drgań o najwyższej amplitudzie. Przykładowy czujnik drgań zamontowany na rurociągu i wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Czujnik drgań zainstalowany na rurociągu



Rys. 7. Wartości maksymalnych amplitud drgań zarejestrowane za pomocą serii czujników

Szybkobrotowa kamera wzmacniająca drgania

Jest to narzędzie wykorzystywane do monitoringu okresowego. Urządzenie to pozwala na nagrywanie i wzmacnianie ruchu, który nie jest widoczny gołym okiem. Każdy piksel na zarejestrowanym kamerą obrazie może pełnić rolę czujnika zdolnego do pomiaru drgań. Daje to możliwość mierzenia i kwantyfikowania ruchu dowolnych konstrukcji, które można sfilmować.

Wykrywane są przemieszczenia na poziomie od 2,5 µm, które są następnie wzmacniane do poziomu rejestrowalnego dla człowieka. Oprogramowanie pozwala następnie na wyizolowanie oraz wyselekcjonowanie indywidualnych częstotliwości w zarejestrowanym i wzmacnionym obrazie ruchu.

Wyniki badań kamerą wzmacniającą drgania pozwalają na:

- pomiar podstawowych parametrów drgań, takich jak częstotliwość i prędkość,
- pomiar przemieszczeń maszyn wirujących, rurociągów itp.,
- identyfikację częstotliwości wpływającej na drgania całych konstrukcji,
- identyfikację źródła wibracji w większym systemie pracujących obok siebie urządzeń oraz przyczyny ich rozprzestrzeniania,
- identyfikację miejsc, które należy zbadać lub monitorować,
- weryfikację prawidłowości mocowania rurociągów czy posadowienia maszyn.

Poglądowe zdjęcie zrobione w trakcie wykonywania pomiarów za pomocą kamery wzmacniającej drgania przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Badanie kamerą wzmacniającą ruch/drgania

MONITORING OKRESOWY Z WYKORZYSTANIEM DOSTĘPNYCH METOD BADAŃ NIENISZCZĄCYCH

Zgodnie z przyjętą definicją monitoringu okresowego, wszystkie dostępne metody badań nieniszczących mogą być stosowane jako badania monitorujące. Badania wizualne, badania penetracyjne i badania magnetyczno-proszkowe są przydatne w przypadku oceny uszkodzeń powierzchniowych. Badania ultradźwiękowe i badania radiograficzne wykorzystywane są natomiast do oceny nieciągłości znajdujących się wewnątrz materiału.

Jednym z najczęściej występujących uszkodzeń materiałów są ubytki korozyjne. Jeżeli w danym komponencie rzeczywista grubość materiału jest bliska przekroczenia grubości obliczeniowej i szybkość korozji nie jest znana, to wskazane może być wykonywanie częstszych pomiarów grubości, w celu zapobiegnięcia wystąpieniu zbyt dużego ubytku grubości.

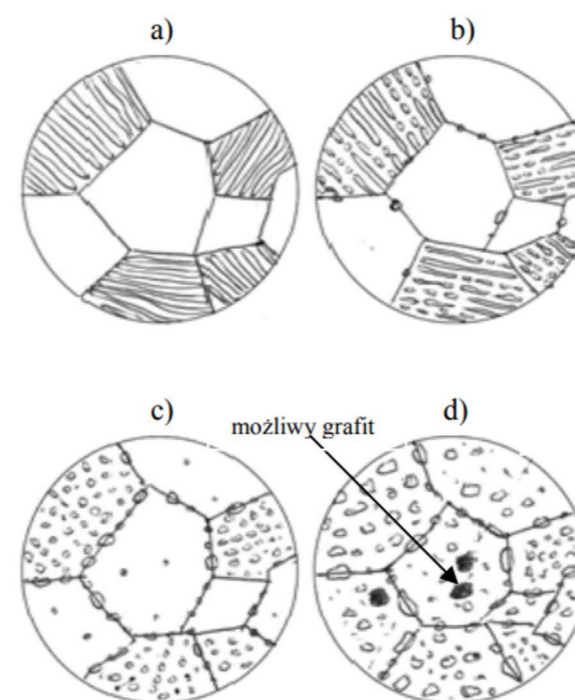
Oprócz tradycyjnych punktowych pomiarów grubości, możliwe jest również wykorzystanie specjalnych czujników, które pozwalają na:

- odczyt pomiaru grubości przez personel w dowolnym momencie (rozwiązanie korzystne z uwagi na np. brak konieczności usuwania izolacji) lub
- ciągły automatyczny transfer danych pomiarowych z zadaną częstością pomiaru (rozwiązanie zdecydowanie droższe, rekomendowane do najbardziej problematycznych przypadków).

Warto zaznaczyć, że dostępne metody monitorowania grubości mogą okazać się przydatne jedynie w przypadku wystąpienia korozji o charakterze ogólnym. W przypadku narażenia urządzenia na działanie korozji wżerowej, ten rodzaj pomiarów nie powinien być w ogóle stosowany.

Szczególnym rodzajem okresowych badań monitorujących są badania mikrostruktury metodą replik matrycowanych. Wykonywanie tego typu badań pozwala na śledzenie i analizowanie procesów degradacji zachodzących w materiale. Zmiany mikrostruktury materiału są szczególnie istotne w przypadku urządzeń pracujących w warunkach pełzania. Przykładowy model degradacji mikrostruktury stali ferrytyczno-perlitycznej powstałej w wyniku długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania przedstawiono na rysunku 9.

Regularne przeprowadzanie tego typu badań jest niezbędne w celu oceny trwałości eksploatacyjnej elementów pracujących w warunkach pełzania.



Rys. 9. Model degradacji struktury stali ferrytyczno-perlitycznej w wyniku pełzania (bez uszkodzeń wewnętrznych):

- a) płytki cementytu w perlicie, brak wydzieleni na granicach i wewnątrz ziarn ferrytu,
- b) fragmentacja płytek cementytu w perlicie z częściową koagulacją węglików, wydzielenia na granicach ziarn ferrytu,
- c) całkowita koagulacja wydzieleni w perlicie, łańcuszki wydzieleni na granicach ziarn,
- d) ferryt z wydzieleniami zróżnicowanej wielkości, równomiernie rozmieszczonymi wewnątrz i łańcuszkami zróżnicowanej wielkości na granicach ziarn [3]

MONITOROWANIE WYBRANYCH PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH

Oprócz danych, które charakteryzują dany materiał lub całe urządzenie, istotny jest również dostęp do parametrów procesów charakteryzujących przesyłane lub magazynowane medium. Optymalnie dane te mogą być dostarczane przez przedstawiciela eksploatującego, np. dane z DCS. Jeżeli z pewnych przyczyn nie jest to możliwe lub wskazane, pracownicy CLDT posiadają własne czujniki do monitorowania parametrów eksploatacyjnych. Ich montaż odbywa się bezpośrednio na obiekcie. Czujniki spełniają wymagania dyrektywy ATEX a dopuszczalny zakres temperatury ich pracy wynosi od -55°C do 80°C.

PODSUMOWANIE

Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego stale poszerza zakres i możliwości w obszarze monitorowania stanu urządzeń technicznych. Dobór optymalnego systemu jest każdorazowo poprzedzany szczegółową analizą urządzenia lub instalacji, która ma być monitorowana. W celu uzyskania bardziej szczegółowych informacji lub otrzymania odpowiedzi na Państwa pytania zapraszamy do kontaktu.



Urząd Dozoru Technicznego

Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego (CLDT)

ul. Szczęśliwicka 34, 02-353 Warszawa
tel. (+48) 22 57 22 100
e-mail: cldt@udt.gov.pl www.udt.gov.pl



Laboratorium badawcze akredytowane

wg PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02,
certyfikat akredytacji nr AB 001

Literatura:

1. Słownik języka polskiego PWN, <https://sjp.pwn.pl/slowniki/monitorowana%20C4%87.html>
2. <https://www.ws-corp.com/default.asp?PageID=29>
3. Dobrzański J., Materiałoznawcza interpretacja trwałości stali dla energetyki, Volume 3, 2011, s. 88, Microsoft Word - 1-2_12-09-JD-ogólna-charakt.doc